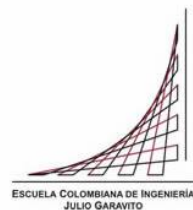


Maestría en Ingeniería Civil

Presentación estándar para diseño hidráulico de alcantarillas

Ricardo Bejarano Caballero

Bogotá, D.C., 15 de Diciembre de 2016



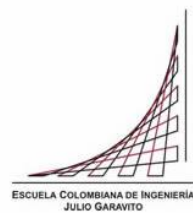
Presentación estándar para diseño hidráulico de alcantarillas

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente**

Germán Ricardo Santos Granados

Director

Bogotá, D.C., 15 de Diciembre de 2016



La tesis de maestría titulada “Presentación estándar para diseño hidráulico de alcantarillas”, presentada por Ricardo Bejarano Caballero, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

Director de la tesis

Germán Ricardo Santos Granados

Jurado

Héctor Alfonso Rodríguez Díaz

Jurado

Héctor Matamoros Rodríguez

Bogotá, D.C., 15 de Diciembre de 2016 (fecha de aceptación del trabajo por parte del jurado)

Dedicatoria

A DIOS y SU HIJO, por Su paciencia y toda la Gracia que me han dado,

a mi esposa Clara Inés, quien incondicionalmente me ha dado todo su apoyo,

a mis hijos Juan Guillermo y Carolina, por entender, regalarme todo este tiempo y brindarme todo lo posible y a su alcance,

a mis padres y hermanas que siempre creyeron

y a todas aquellas personas cercanas que de una u otra forma me han colaborado y animado.

Agradecimiento especial

Al ingeniero Dr. Germán Ricardo Santos Granados,
a colegas y amigos cercanos, por su apoyo.

Resumen

A nivel nacional en el campo de la ingeniería hidráulica para el diseño de alcantarillado urbano se recurre a formatos estándares avalados y sugeridos por algunas entidades de prestación de servicios públicos, con el fin de garantizar la calidad de los diseños. Esto se traduce en diseños rápidos y confiables de eficiente revisión por parte del ente interventor.

No es igual en el campo del diseño hidráulico de alcantarillas para carreteras, donde si bien se emplean las metodologías y modelos avalados en el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías, en muchas ocasiones se emplean formatos de hojas de cálculo elaborados por el mismo diseñador de tal manera que, si a juicio del interventor se debe incluir o eliminar información en la presentación de datos y resultados, esto conlleva a mayores tiempos en la ejecución de los diseños para tales proyectos.

La metodología de trabajo se basa en el fundamento teórico presentado en el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías y las necesidades que se presentan en los proyectos viales actualmente en el país, donde se requiere del diagnóstico de la infraestructura vial a través de la evaluación de las obras de arte existentes y el dimensionamiento de las obras de arte que se requieran para el correcto drenaje de los corredores viales.

El trabajo no pretende reemplazar las metodologías convencionalmente empleadas pero sí que se implemente como una presentación estándar a nivel nacional, en los capítulos de hidráulica para los diseños de la infraestructura vial.

Se han obtenido óptimos resultados para la condición con control a la entrada; para la condición con control a la salida se han tenido diferencias en razón de las características y condiciones que se presentan cuando funciona como un conducto cerrado y en algunos casos con flujo parcialmente lleno, sin que esto altere el criterio de diseño de flujo con control a la entrada o flujo con control a la salida.

Índice general

Introducción	12
Capítulo 1. Definición del Problema	13
Capítulo 2. Objetivos	15
2.1. Objetivo General	15
2.2. Objetivos Específicos	15
Capítulo 3. Metodología	16
Capítulo 4. Marco Teórico	17
4.1. Fundamentos	17
4.2. Factores que condicionan el diseño	20
4.2.1. Angulo de sesgo o esviaje	21
4.2.2. Pendiente de la corriente	21
4.2.3. Caudal de diseño	22
4.2.4. Datos de la alcantarilla	22
4.2.5. Datos de la estructura en el descole	23
4.2.6. Condiciones de flujo y tipo de control hidráulico	23
4.2.7. Arrastre de sedimentos	33
4.2.8. Pendiente del conducto o tubería	34
4.2.9. Recubrimiento y longitud del conducto	34
Capítulo 5 Formato de Presentación Estándar y Ejemplos	35
5.1. Ejemplo 1 – Manual de Drenaje para Carreteras del Invías	51
5.2. Ejemplo Casos con Control a la Entrada	63
5.2.1. Ejemplo Caso A – Condición de Flujo con Control a la Entrada	64
5.2.2. Ejemplo Caso B – Condición de Flujo con Control a la Entrada	67
5.2.3. Ejemplo Caso C – Condición de Flujo con Control a la Entrada	70
5.2.4. Ejemplo Caso D – Condición de Flujo con Control a la Entrada	73
5.2.5. Presentación Estándar. Casos A, B, C , D	76
5.3. Ejemplo Casos con Control a la Salida	78
5.3.1. Ejemplo Caso A – Condición de Flujo con Control a la Salida	79
5.3.2. Ejemplo Caso B – Condición de Flujo con Control a la Salida	82
5.3.3. Ejemplo Caso C – Condición de Flujo con Control a la Salida	85
5.3.4. Ejemplo Caso D – Condición de Flujo con Control a la Salida	88
5.3.5. Ejemplo Caso E – Condición de Flujo con Control a la Salida	91
5.3.6. Presentación Estándar. Casos A, B, C , D y E	94
Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones	97

Índice de tablas

Tabla 1. Ecuaciones para la hidráulica de alcantarillas con control a la entrada.	25
Tabla 2. Coeficientes de regresión a, b, c, d, e y f .	27
Tabla 3. Ecuaciones para el cálculo de las pérdidas por fricción.	30
Tabla 4. Coeficiente de pérdidas a la entrada.	32

Índice de figuras

Figura 1. Alcantarilla cajón.	18
Figura 2. Condiciones de Flujo en Alcantarillas con Control a la Entrada.	23
Figura 3. Condiciones de Flujo en Alcantarillas con Control a la Salida.	29
Figura 4. Ejemplo.	51

Índice de anexos

Anexo 1. Formato Estándar para Evaluación y Diseño de Alcantarillas	97
Anexo 2. CD	101

Introducción

Para optar al título de magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, se tiene como requisito indispensable la realización de un trabajo de grado enfocado en el desarrollo de un tema que permita al magister profundizar en un tema específico.

En este caso, se realiza una hoja de cálculo para alcantarillas, como presentación estándar en los proyectos de infraestructura vial.

El alcance del trabajo es desarrollar la presentación del cálculo hidráulico de alcantarillas para carreteras que faciliten y conlleve a la minimización de los tiempos de diseño y revisión.

Para ello se ha utilizado el fundamento teórico recomendado en el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías, especialmente empleando las formulaciones incluidas en el funcionamiento del modelo HY-8; se aclara, que este trabajo no pretende reemplazar las metodologías o modelos avalados por el Manual, pero sí, mediante su aplicación, emplearlos para tener una presentación estándar de diseño a nivel nacional.

Todo lo anterior se basa en la experiencia propia, dónde a través del tiempo se han encontrado dificultades entre diseñador e interventor, al tener presentaciones diferentes de los cálculos y de los resultados.

Cómo marco de referencia se tiene el procedimiento empleado para el cálculo de alcantarillado urbano en la ciudad de Bogotá, en donde los diseñadores deben realizar los cálculos en el formato de la Empresa de Acueducto, lo cual facilita el diseño eficiente y la revisión por parte del interventor.

Capítulo I

Definición del Problema

En Colombia, las metodologías y lineamientos técnicos necesarios para el estudio, diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación de vías, están a cargo del Invías, Entidad Ejecutora del Ministerio de Transporte para el modo vial. De acuerdo con la Resolución No. 000024 de 7 de Enero de 2011 del Ministerio de Transporte, se adoptó como Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional, el Manual de Drenaje para Carreteras elaborado en el año 2009 por el Invías.

Debido al impulso que ha recibido el sector de la infraestructura vial nacional en los últimos años, es amplia la cantidad de contratos de diseño que se han celebrado y que se espera celebrar para la construcción, rehabilitación y mantenimiento de vías de primer, segundo y tercer orden. Es así que surge la necesidad de diseños ágiles y eficientes que permitan cumplir con las metas técnicas y económicas, garantizando rendimientos altos y que conlleven a analizar de manera general la problemática del drenaje superficial transversal de un corredor vial determinado.

Un capítulo básico, amplio e importante en el drenaje superficial transversal de carreteras, es el de Alcantarillas, ante el cual, el Manual estandariza las metodologías y lineamientos técnicos de hidrología e hidráulica, donde el consultor libremente emplea diferentes presentaciones para el diseño de alcantarillas, basadas en hojas de cálculo elaboradas por sí mismo o a partir de las disponibles en la red y en el medio, incluyendo los modelos hidráulicos recomendados por el Manual, sin que exista una estandarización en la presentación de los cálculos para el dimensionamiento y resultados, que permita una pronta modificación de los parámetros por parte del diseñador y una rápida revisión por parte de revisores o interventores.

En el diseño de alcantarillas, para cualquiera de las aplicaciones que se empleen, el ingeniero diseñador debe tener el conocimiento apropiado con relación al manejo del respectivo programa o modelo de cálculo, con el fin de hacer la mejor elección, de utilizarlo correctamente, o de revisar de manera idónea los resultados de la aplicación

para extraer las conclusiones más precisas. El problema está, en que no todos los ingenieros emplean los mismos modelos a pesar de las recomendaciones del Manual, acudiendo en la mayoría de los casos a hojas de cálculo como se ha mencionado.

Con el formato de presentación objeto de este trabajo, para diseñadores, revisores e interventores, se facilitará la elaboración bajo los mismos estándares de presentación de diseño hidráulico de alcantarillas para infraestructura vial; como antecedente y considerándola como un ejemplo piloto, está la presentación de la hoja de cálculo que ampliamente se utiliza para diseño de alcantarillado pluvial y sanitario del Acueducto de Bogotá, EAB-ESP.

Para el cálculo hidráulico de alcantarillas, se emplean los modelos sugeridos por el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías, los que requieren para una alcantarilla determinada, un tiempo para ingreso de los datos y otro tiempo para el regreso al menú de entrada de datos cuantas veces sea necesario, para realizar los ajustes del caso, haciendo del cálculo un proceso prolongado en caso de no estar muy familiarizado con el software. Ese tiempo, para el caso de vías donde se debe diseñar una gran cantidad de alcantarillas transversales, se puede convertir en crítico, generando impactos negativos sobre el cronograma y presupuesto del proyecto.

Con los modelos, se obtienen gráficos de los tipos de perfiles que se presentan al interior de la estructura, pero si se tiene en cuenta el conocimiento teórico que debe tener el profesional, el aspecto gráfico puede ser sustituido por el hábil manejo de los datos en los procesos de cálculo, análisis o revisión. En la medida en que para una alcantarilla se tengan diferentes alternativas de diseño, donde varían ubicación, posición, longitudes, pendientes, etc., deberán realizarse igual cantidad de modelaciones, las cuales requerirán de mayores tiempos y recursos.

De otra parte, en el caso de las interventorías, el proceso de revisión en algunas oportunidades es demorado, por falta de acuerdo en la aplicación del modelo o por la forma de cálculo a emplear, y si en el caso se emplea una hoja de cálculo, el problema radica en que éstas son personalizadas. Con la Presentación Estándar se pretende dar un manejo más rápido en caso de tener varias alternativas de diseño para las estructuras e igualmente se pretende facilitar y disminuir los tiempos de revisión.

Capítulo II

Objetivos

2.1. Objetivo General

Desarrollar una aplicación en Excel que brinde una presentación estándar a nivel nacional, para el cálculo hidráulico de alcantarillas en carreteras y que facilite la disminución de tiempos de diseño y revisión.

2.2. Objetivos Específicos

Conocer y enumerar cada una de las variables de entrada.

Definir los factores que condicionan el diseño hidráulico de alcantarillas.

Definir las condiciones de flujo con control a la entrada.

Definir las condiciones de flujo con control a la salida.

Evaluar la eficiencia en tiempo de cálculo.

Capítulo III

Metodología

La siguiente es la metodología que se desarrollará en la ejecución del trabajo:

1. Determinar las variables de entrada o los factores que condicionan el diseño hidráulico de alcantarillas.
2. Desarrollar el módulo de diseño con control a la entrada.
3. Desarrollar el módulo de diseño con control a la salida.
4. Ejecución de ejemplos y comparación con el modelo HY-8.
5. Recomendaciones de uso.

Para el desarrollo de los numerales anteriores es necesario conocer la información de la alcantarilla existente, de la alcantarilla que se va a proponer y de la estructura hidráulica existente o que se construirá a la salida de la alcantarilla, toda vez que para la alcantarilla existente se requiere evaluar su capacidad hidráulica, y para la alcantarilla propuesta se debe determinar su dimensión.

Capítulo IV

Marco Teórico

Este trabajo busca estandarizar la presentación del cálculo hidráulico de alcantarillas en proyectos de infraestructura vial nacional, donde por las condiciones topográficas, una importante cantidad de ellas deben calcularse de manera similar. Los casos particulares de alcantarillas deben ser calculados o modelados por medio del software HY8, HEC-RAS o por métodos comúnmente empleados en la buena práctica de la ingeniería hidráulica y que sean avalados por el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

4.1. Fundamentos.

En el desarrollo de proyectos de infraestructura vial, se requieren diferentes tipos de obras para drenaje superficial y subsuperficial. Este trabajo se enfoca en las obras transversales para el drenaje superficial, tipo alcantarilla.

Se define una alcantarilla como el conducto hidráulico corto y cuya entrada es una clase especial de contracción, a través del cual se conduce el agua bajo la estructura de vía, de un costado a otro. Ese conducto puede tener cualquier sección geométrica, pero en el caso específico de nuestro país, es principalmente circular o rectangular (alcantarilla de cajón).

Las alcantarillas se diseñan para operar bajo flujo permanente gradualmente variado y se calculan para evacuar el caudal de diseño sin que se presente desborde en la rasante de la vía. El período de retorno empleado para diseño varía entre 10 y 25 años de acuerdo con las recomendaciones del Manual de Drenaje para Carreteras del Invías, por tanto para un período de retorno mayor se tendrá un caudal de diseño mayor y un tamaño de alcantarilla mayor.

El diseño de una alcantarilla consiste en determinar la dimensión más económica que permita conducir el caudal de diseño, sin exceder la carga máxima a la

entrada y especificada previamente, la cual corresponde a la profundidad del agua medida desde la batea, incluyendo la cabeza de velocidad a la entrada y que en muchos casos es despreciable. Adicionalmente, para su dimensionamiento, se tiene en cuenta el arrastre de sedimentos, las necesidades para mantenimiento y finalmente una pendiente mínima para garantizar autolimpieza.

Una alcantarilla se compone de un conducto, una estructura de entrada, una estructura de salida, y de obras que la complementan, como canales de encole y descole definidos para asegurar la continuidad de la corriente de agua intersectada por la vía.

El caudal de diseño de una alcantarilla corresponde al caudal de creciente de la corriente que se vaya a conducir. Para los casos de conjuntos de alcantarillas (baterías) de igual dimensión transversal, cota y pendiente, se asume que el caudal se reparte de manera uniforme entre los conductos.



Figura 1. Alcantarilla cajón. Fuente: Propia. Tomada en el approche del Puente Antonio Nariño de la vía Aguas de Dios – Tocaima, Departamento de Cundinamarca.

De acuerdo con Henderson (1966), el dimensionamiento de alcantarillas circulares para el rango $0 < H/D < 0,8$ se puede obtener de la siguiente expresión:

$$\frac{Q}{D^2 \sqrt{gD}} = 0.48 \left(\frac{S_o}{0.4} \right)^{0.05} \left(\frac{H}{D} \right)^{1.9}$$

y para el rango $0,8 < H/D < 1,2$ se obtiene de:

$$\frac{Q}{D^2 \sqrt{gD}} = 0.44 \left(\frac{S_o}{0.4} \right)^{0.05} \left(\frac{H}{D} \right)^{1.5}$$

El dimensionamiento de alcantarillas cajón o rectangulares cuando $H/D < 1,2$ se puede obtener de:

$$Q = \frac{2}{3} C_B B H \sqrt{\frac{2}{3} g H}$$

y cuando $H/D > 1,2$ se puede obtener de la siguiente expresión:

$$Q = C_H B D \sqrt{2g(H - C_h D)}$$

Donde,

Q caudal, en m^3/s .

D diámetro en el caso de alcantarilla circular o altura en caso de alcantarilla cajón, en m.

g aceleración de la gravedad, en m/s^2 .

S_o pendiente del conducto de la alcantarilla, en m/m.

H altura de la lámina de agua, aguas arriba del encole, en m.

B ancho de la sección hidráulica, en m.

C_B coeficiente que expresa el efecto de la contracción del flujo.

$C_B = 1,0$; para bordes verticales redondeados con un radio entre $0,1B$ o más, es decir, no hay contracción.

$C_B = 0,9$; para bordes verticales cuadrados (aristas vivas).

C_h coeficiente de contracción C_h en el plano vertical, que expresa el efecto combinado de la contracción vertical y horizontal, de acuerdo con resultados experimentales.

$C_h = 0,8$; para clave y bordes verticales redondeados.

$C_h = 0,6$; para bordes cuadrados.

Experimentaciones más recientes, han enfocado el diseño de alcantarillas con base en el tipo de control hidráulico que se presente en la obra: control en la entrada o control en la salida.

4.2. Factores que Condicionan el Diseño.

En este numeral se definen las variables de entrada o los factores que condicionan el diseño hidráulico de alcantarillas, algunos corresponden a la descripción de la alcantarilla y otros a la hidráulica de la misma; se pueden enumerar el tamaño y forma de la sección transversal, la pendiente de fondo de la corriente, la longitud del conducto, la rugosidad y las características en la entrada y en la salida de la alcantarilla.

Se tiene en cuenta que en una alcantarilla el flujo se puede presentar a superficie libre, cuando actúa como un canal abierto siempre que el flujo sea parcialmente lleno, como un conducto cerrado, o, con flujo a superficie libre en una parte y cerrado en la otra. La alcantarilla fluye llena cuando la salida se encuentra sumergida, o en el caso de no estar sumergida, cuando la profundidad a la entrada es alta y el conducto es largo.

La entrada de una alcantarilla normal no se sumergirá si la profundidad de la lámina de agua en la entrada es menor que un valor crítico H_w , siempre que la salida de la alcantarilla no esté sumergida, y variando de 1,2 a 1,5 veces el diámetro, altura o flecha de la alcantarilla D , de acuerdo con las condiciones de la entrada y las características del conducto. De manera preliminar se podría tener $H_w = 1,5D$.

En el caso de evaluar o dimensionar alcantarillas empleadas para el drenaje longitudinal de la vía (cunetas, filtros y zanjas de coronación), el criterio que se debe aplicar es el de flujo en canales, con una pendiente que genere una velocidad de flujo permisible.

Para la evaluación y diseño hidráulico de alcantarillas, se debe analizar el funcionamiento con control a la entrada y con control a la salida, tomando el mayor valor de carga H_w que resulte. Sin embargo como criterio para diseño, las alcantarillas se deben diseñar con un nivel de agua a la entrada menor a 1,2 veces la altura de la alcantarilla $H_w < 1,2D$, con el fin de evitar el contacto del agua con la estructura de pavimento, las afectaciones que se puedan presentar aguas arriba y permitir el paso de material flotante y basuras. De tal manera, para evitar que haya desbordamientos sobre la calzada vial, no se permite, que las alcantarillas funcionen como orificio.

Las alcantarillas que funcionan a presión solo se permiten en zonas planas de inundación, de humedales, de ciénagas y de costa, en donde se presentan estancamientos de niveles altos de agua por períodos prolongados. Éstas se analizan con control a la salida, permitiendo que el nivel de agua o carga a la entrada de la alcantarilla supere su cota clave, pero nunca el nivel de la calzada de la vía.

4.2.1. Ángulo de sesgo o esviaje.

Es la oblicuidad del eje de la alcantarilla con respecto al eje de la vía; las alcantarillas pueden ser normales a la vía o con esviaje en los casos de cruces de corrientes para los cuales se conserva la dirección del drenaje natural.

4.2.2. Pendiente de la corriente.

Es la pendiente a la cual debe tratar de ajustarse la pendiente de la alcantarilla; en caso de no ser posible, se debe proponer una estructura disipadora, como una

alcantarilla de fondo liso y una estructura de disipación a la salida o una estructura escalonada.

4.2.3. Caudal de diseño.

Es el caudal a evacuar por la alcantarilla. El caudal de diseño se calcula en función del tamaño de la cuenca aferente, para el tipo de obra y para el período de retorno requerido.

4.2.4. Datos de la alcantarilla.

Los siguientes son los parámetros básicos que deben conocerse a partir de la topografía del sitio donde se localiza o localizará la alcantarilla y del inventario o inspección de las obras existentes (para el caso de evaluación hidráulica): geometría y tamaño de la sección hidráulica, longitud del conducto, pendiente del conducto y del cauce aguas abajo, rugosidad del material de la alcantarilla y del cauce aguas abajo, número de conductos, tipo de estructura y condiciones de entrada, cotas de batea o clave en la entrada de la alcantarilla. Debe tenerse en cuenta que la rugosidad es función del material, acabado y tiempo de uso.

De acuerdo con investigaciones en laboratorio, se ha encontrado que una alcantarilla con borde cuadrado en la parte superior de la entrada, no fluye llena aunque la entrada se encuentre por debajo de la lámina de aguas arriba y cuando la salida no está sumergida; bajo esas condiciones, el flujo que entra a la alcantarilla se contrae hasta una profundidad menor que la altura del conducto de forma similar a un chorro por debajo de una compuerta deslizante. El chorro con una velocidad alta continúa a lo largo de toda la longitud de la alcantarilla, pero su velocidad se reduce a medida que se pierde altura por causa de la fricción. Si es el caso de una alcantarilla no muy larga en la que no se logra la expansión del flujo por debajo de la contracción, nunca fluye llena. Este tipo de alcantarilla se

considera hidráulicamente corta y en caso contrario es hidráulicamente larga, debido a que fluye llena como una tubería o conducto cerrado.

De acuerdo con la referencia (1), una alcantarilla no se puede determinar si es corta o larga en función de la longitud del conducto, pues ello depende de otras características como la pendiente, el tamaño, la geometría de entrada, el tamaño y forma de la sección transversal, la rugosidad y las características de la entrada y de la salida de la alcantarilla.

4.2.5. Datos de la estructura en el descole.

También son importantes los datos de la estructura que se localiza o que se construirá aguas debajo de la alcantarilla, como la geometría de la sección hidráulica, la pendiente, la rugosidad del material, cota de batea inmediatamente a a la salida de la alcantarilla.

4.2.6. Condiciones de flujo y tipo de control hidráulico.

El flujo en una alcantarilla comúnmente es no uniforme, presentando zonas con flujo gradualmente variado y zonas con flujo rápidamente variado, por lo que su análisis teóricamente es complejo. De acuerdo con lo anterior, dependiendo del sitio de la alcantarilla en donde se encuentre la sección de control, el flujo puede ser con control a la entrada o con control a la salida y dependiendo de la sumergencia o no de los extremos del conducto y la condición de flujo (a tubo lleno o parcialmente lleno), se presentan diferentes tipos de flujo, los cuales han sido clasificados por diferentes autores. En este trabajo se basó en la clasificación realizada por Bodhaine (Chow, 1994). Ver Figura 2 y Figura 3.

Cuando la pendiente (S_o) es superior a la pendiente crítica (S_c), se presentarán condiciones de flujo con control de entrada. En caso contrario ($S_o < S_c$), se presentarán condiciones de flujo con control de salida.

4.2.6.1 Flujo con control a la entrada.

Una alcantarilla se encuentra con control a la entrada cuando la descarga depende únicamente de las condiciones en la entrada. En este caso, los factores que predominan para determinar la capacidad de la alcantarilla son el área del conducto, la geometría de la entrada y la profundidad de la lámina de agua, aguas arriba o en la entrada de la alcantarilla.

Para las diferentes descargas que se presentan en el conducto se origina flujo crítico, por lo tanto, el control de flujo crítico se establece a la entrada de la alcantarilla, con un perfil de flujo gradualmente variado tendiendo hacia la profundidad normal hacia aguas abajo.

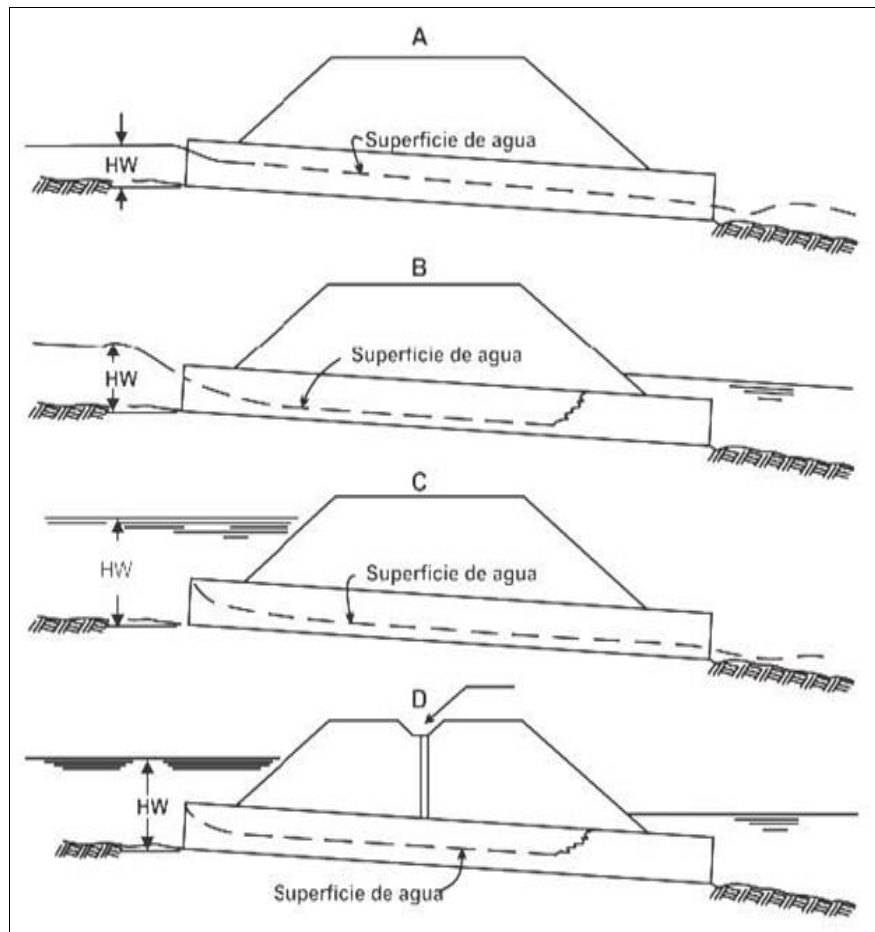


Figura 2. Condiciones de Flujo en Alcantarillas con Control a la Entrada. Fuente: Hydraulic Design of Highway Culverts. Pub. FHWA-NHI-01-020. Rev. May 2005.

Las figuras 2A y 2B, presentan los tipos de flujo en los que la entrada no está sumergida. El flujo pasa a través de la profundidad crítica justo aguas abajo de la entrada de la alcantarilla y el flujo que se presenta en el conducto es supercrítico. En la figura 2A, el flujo se aproxima a la profundidad normal en el extremo de salida del conducto. En la figura 2B, la sumergencia del extremo de salida de la alcantarilla no asegura que se presente control a la salida. En este caso, el flujo justo aguas abajo de la entrada de la alcantarilla es supercrítico y se forma un resalto hidráulico en el interior de la alcantarilla, cerca de la salida del conducto.

Las figuras 2C y 2D presentan los tipos de flujo, en los que se sumerge la entrada. En la figura 2C, el extremo de entrada de la alcantarilla está sumergido y el extremo de salida presenta flujo libre. El flujo es supercrítico, la profundidad crítica se encuentra justo aguas abajo de la entrada de la alcantarilla, y el flujo se aproxima a la profundidad normal en el extremo aguas abajo de la alcantarilla. La figura 2D, es una condición inusual donde la sumergencia de los extremos de entrada y de salida de la alcantarilla, no asegura flujo lleno. En este caso, se forma un salto hidráulico en el conducto. Las presiones subatmosféricas podrían desarrollar una condición inestable, en la que el conducto alternaría entre flujo lleno y flujo parcialmente lleno.

En resumen, el control a la entrada sucede cuando la alcantarilla tiene suficiencia para conducir más flujo que el permitido por el orificio de entrada, la sección de control se sitúa justamente en la entrada y el flujo pasa de profundidad crítica en la sección de control a supercrítica aguas abajo de la misma.

Si el control se localiza a la entrada, ésta trabaja como un orificio o un vertedero; si la entrada está sumergida $H_w > 1.2D$, el flujo es semejante al de un orificio, si la entrada no está sumergida $H_w < 1.2D$, el flujo es semejante al de un vertedero. Si la entrada es no sumergida pero la salida es sumergida, se forma un resalto hidráulico en el conducto.

El funcionamiento de la alcantarilla con control a la entrada se describe mediante las ecuaciones presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones para la hidráulica de alcantarillas con control a la entrada.

RANGO	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
$\frac{Hwi}{D} < \frac{1}{2}$	$Hwi = d_c + (1 + K_e) \frac{V_c^2}{2g}$ [4.22]	Ecuación de mínima energía de canales abiertos
	Si $Q < 0.15 * Q_{0.5}$ $Hwi = d_c + (1 + C_{vh}) \frac{V_{corr}^2}{2g}$ [4.23]	Ecuación de mínima energía asumiendo un canal muy ancho
$\frac{1}{2} \leq \frac{Hwi}{D} \leq 3.0$	$\frac{Hwi}{D} = a + (bzF) + c(zF)^2 + d(zF)^3 + e(zF)^4 + f(zF)^5 - 0.5S$ [4.24]	Ecuación de regresión
$\frac{Hwi}{D} > 3.0$	$Hwi = \left(\frac{Q}{k}\right)^2 + 0.5 D$ [4.25]	Ecuación de orificio

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras. Invías, 2009.

Donde:

Hwi Altura de la lámina de agua a la entrada, en m.

D Diámetro, altura o flecha de la alcantarilla, en m.

d_c Profundidad crítica, en m.

K_e Coeficiente de pérdidas a la entrada.

$$K_e = \frac{(0.5D - d_c)2g}{\frac{Q_{0.5}^2}{A_c^2}} - 1$$

Q Caudal de diseño, en m³/s.

$Q_{0.5}$ Caudal correspondiente a un valor $H_w = 0,5D$, en m³/s (calculado con la ecuación de regresión para su límite inferior).

A_c Área de la sección transversal con el caudal crítico, en m².

V_c Velocidad a la profundidad crítica, en m/s.

g Aceleración de la gravedad, 9,81 m/s².

C_{vh} Coeficiente de la cabeza de velocidad.

$$C_{vh} = \frac{1 - Q_{frac}}{1 + \left(\frac{V^2}{2g} Q_{frac} \right)}$$

$$Q_{frac} = \frac{0.15Q_{0.5} - Q}{0.15Q_{0.5}}$$

V Velocidad media, en m/s.

V_{corr} Velocidad corregida, en m/s.

$$\frac{V_{corr}^2}{2g} = (Q_{frac} 0.5d_c) + \left(\frac{V^2}{2g} C_{vh} \right)$$

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

F $Q/D^{2.5}$ para alcantarillas circulares y $Q/BD^{1.5}$ para alcantarillas de cajón o arco.

B Luz de la alcantarilla, en m.

S Pendiente del conducto de la alcantarilla, en m/m.

z Factor de conversión a unidades métricas, $z = 1,81130889$.

K Coeficiente basado en el caudal y la altura o flecha de la alcantarilla.

$$k = \frac{Q_{3.0}}{\sqrt{2.5D}}$$

$Q_{3.0}$ Caudal correspondiente a un valor $H_w = 3.0D$, en m³/s (calculado con la ecuación de regresión para su límite superior).

En la Tabla 2, se presentan los coeficientes de regresión a, b, c, d, e y f para cada tipo de alcantarilla, especificando los conductos y tipos de entrada usualmente empleados en Colombia.

Tabla 2. Coeficientes de regresión *a*, *b*, *c*, *d*, *e* y *f*.

DESCRIPCIÓN SEGÚN TIPO DE OBRA	CÓDIGO	a	b	c	d	e	f
Alcantarilla circular de concreto, aristas vivas, cabezote, aletas $30^\circ \leq \beta \leq 75^\circ$	1	0.087483	0.706578	-0.2533	0.0667	-0.00662	0.000251
Alcantarilla circular de concreto, aristas ranuradas, cabezote, aletas $30^\circ \leq \beta \leq 75^\circ$	2	0.114099	0.653562	-0.2336	0.059772	-0.00616	0.000243
Alcantarilla circular de concreto, aristas ranuradas, tubo prolongado (sin cabezote ni aletas)	3	0.108786	0.662381	-0.2338	0.057959	-0.00558	0.000205
Alcantarilla de cajón, aristas vivas, cabezote, aletas $30^\circ \leq \beta \leq 75^\circ$	7	0.072493	0.507087	-0.11747	0.02217	-0.00149	0.000038
Alcantarilla de cajón, aristas vivas, cabezote, aletas con $\beta=15^\circ$ o 90°	8	0.122117	0.505435	-0.10856	0.020781	-0.00137	0.0000346
Alcantarilla de cajón, aristas vivas, cabezote, aletas con $\beta=90^\circ$	9	0.144138	0.461363	-0.09215	0.020003	-0.00136	0.000036
Alcantarilla de cajón, aristas biseladas, cabezote, aletas con 45°	10	0.156609	0.398935	-0.06404	0.011201	-0.00064	0.000015

Fuente: Elaboración propia a partir del Manual de Drenaje para Carreteras. Invías, 2009.

4.2.6.2 Flujo con control a la salida

Como en esta condición la capacidad de la tubería es inferior a la de la estructura de entrada, las características del conducto son las que determinan la capacidad de la alcantarilla. El control en la salida ocurre cuando la profundidad aguas abajo $TW > 1.2 D$. En este caso, la alcantarilla está completamente sumergida, lo cual se asemeja al flujo en un conducto cerrado. El nivel aguas arriba se calcula por medio de la ecuación de la conservación de la energía, por lo tanto, el nivel aguas arriba está controlado por la elevación del nivel aguas abajo y las características de fricción de la alcantarilla.

El control a la salida también se produce cuando la pendiente de la alcantarilla es moderada o leve (flujo subcrítico) y tanto el nivel aguas arriba como el nivel aguas abajo son menores que el diámetro de la alcantarilla

($H_w < D$; $TW < D$). Para este caso, el procedimiento más apropiado es calcular un perfil de flujo.

La carga a la entrada H_w , se obtiene al calcular la curva de remanso a través del conducto, asumiendo flujo gradualmente variado y partiendo de una condición de control o lámina de agua en la salida correspondiente al máximo entre la profundidad crítica en la tubería d_c , y la profundidad del agua en el canal de salida TW .

La Figura 3 ilustra los tipos de flujo con control a la salida. El tipo de flujo depende de la sumergencia de los extremos de entrada y de salida de la alcantarilla. En todos los casos, la sección de control está en el extremo de salida de la alcantarilla o aguas abajo. Para condiciones de flujo parcialmente lleno, el flujo en el conducto es subcrítico.

La figura 3A presenta la condición de flujo lleno, con entrada y salida sumergidas. El conducto trabaja con flujo a presión en toda su longitud. Esta condición a menudo se asume en cálculos, pero rara vez se presenta.

La figura 3B presenta la salida sumergida con la entrada no sumergida. Para este caso, la profundidad de la lámina de agua en el extremo aguas arriba es poco profunda, de manera que la estructura de entrada sobresale por las contracciones de flujo en la entrada de la alcantarilla.

La figura 3C presenta la entrada sumergida a tal grado que la alcantarilla fluye llena a lo largo de toda su longitud, mientras que la salida no es sumergida. Esta es una condición poco común, en la que se requiere una cabeza extremadamente alta para mantener el conducto a flujo lleno sin descarga de agua. En estas condiciones, por lo general las velocidades de salida son altas.

La figura 3D es la más común, donde la entrada de la alcantarilla está sumergida por la lámina de agua y el extremo a la salida presenta flujo libre con una baja profundidad de lámina de agua. En esta condición, el conducto presenta flujo parcialmente lleno en una parte de su longitud (flujo

subcrítico) y pasa a través de la profundidad crítica justo aguas arriba de la salida.

La figura 3E también es un caso común, con el extremo a la entrada y el extremo a la salida de la alcantarilla sin sumergencia. El conducto presenta flujo parcialmente lleno en toda su longitud y el perfil del flujo es subcrítico.

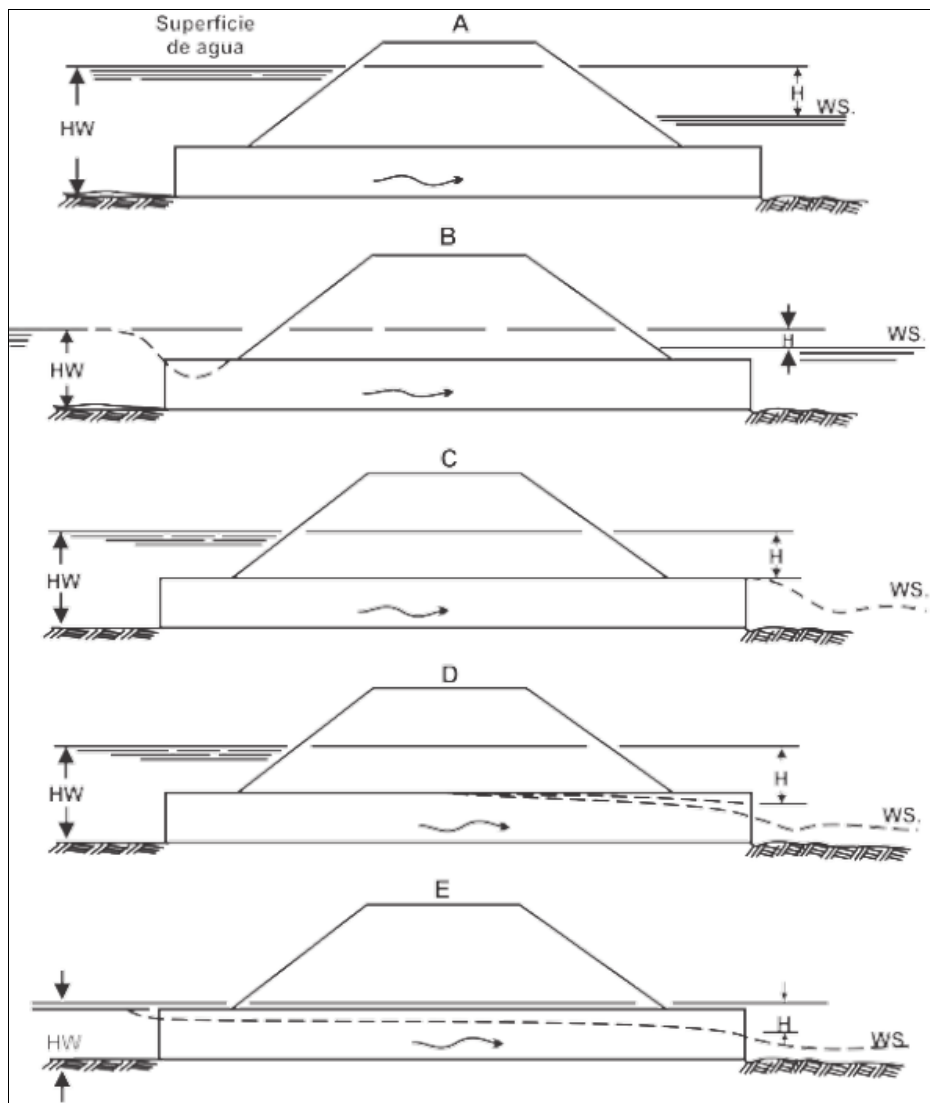


Figura 3. Condiciones de Flujo en Alcantarillas con Control a la Salida. Fuente: Hydraulic Design of Highway Culverts. Pub. No. FHWA-NHI-01-020. Rev. May 2005.

Las expresiones para obtener la carga en la entrada H_w se presentan a continuación:

$$H_w = h_0 + H_f + H_e + H_s - LS_0$$

Donde:

h_0 Profundidad del agua en la salida con respecto a la cota de batea de la alcantarilla, en m. Se obtiene de:

$$h_0 = \max \left[TW, \frac{D + d_c}{2} \right]$$

Donde:

TW Profundidad del agua en el canal a la salida de la alcantarilla, en m.

D Diámetro, altura o flecha de la alcantarilla, en m.

d_c Profundidad crítica, en m.

H_f Pérdida por fricción o energía requerida para vencer la rugosidad de la alcantarilla, en m. Se calcula de acuerdo con la Tabla 3.

Tabla 3. Ecuaciones para el cálculo de las pérdidas por fricción.

TIPO DE FLUJO	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
A tubo lleno	$H_f = L \left[\frac{Q n}{A R_h^{0.67}} \right]^2$ [4.33]	Ecuación de Manning
Como canal abierto	$H_f = \Sigma \delta H_f = \Sigma (S_f \delta L)$ [4.34]	Método del paso estándar
Parcialmente lleno	Combinación de las ecuaciones [4.33] y [4.34]	Combinación de ecuaciones

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras. Invías, 2009

Donde:

Q Caudal de diseño, en m³/s.

- n Coeficiente de rugosidad de Manning.
- A Área hidráulica o mojada, en m^2 .
- R_h Radio hidráulico, en m.
- L Longitud del conducto conteniendo el flujo a tubo lleno, en m.
- S_f Pendiente de fricción, en m/m.
- S_0 Pendiente de la alcantarilla, en m/m.
- δL Cambio incremental en la longitud, en m.
- H_e Pérdida a la entrada, en m.

H_e depende de la forma de la sección de la alcantarilla y de la geometría de los bordes de la entrada, y se expresa como un coeficiente K_e veces la cabeza de velocidad en la entrada de la alcantarilla.

$$H_e = K_e \frac{V^2}{2g}$$

$$H_s = 1.0 \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- H_s Pérdida a la salida, en m.
- V Velocidad de flujo en la salida de la alcantarilla, en m/s.

Los valores del coeficiente de pérdidas a la entrada K_e se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente de pérdidas a la entrada.

TIPO DE ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS DE LA ENTRADA	K_e
Tubos de hormigón	
Conducto prolongado fuera del terraplén	
arista ranurada	0.20
arista viva	0.50
Con muro de cabecera con o sin aletas	
arista ranurada	0.20
arista viva	0.50
arista redondeada ($r=1/12 D$)	0.20
arista biselada	0.20
Tubos circulares de metal corrugado	
Conducto prolongado fuera del terraplén	
sin muro de cabecera	0.90
con muro de cabecera perpendicular al eje del tubo sin o con aletas de aristas vivas	0.50
con muro de cabecera perpendicular al eje del tubo con o sin muro de aristas biseladas	0.25
Alcantarillas de cajón en concreto reforzado	
con muro de cabecera paralelo al terraplén	
sin aletas y bordes de aristas vivas	0.50
bordes aristas redondeadas ($r=1/12 D$) o biseladas	0.20
con aletas formando ángulos entre 30° y 75° con el eje del conducto:	
bordes de aristas vivas	0.40
bordes del dintel con aristas redondeadas ($r=1/12 D$) o biseladas	0.20
con aletas formando ángulos entre 10° y 25° con el eje del conducto, y aristas vivas	0.50
con muros de ala paralelos y aristas vivas en el dintel	0.70
con muros de ala alabeados y aristas redondeadas ($r=1/4 D$) en el dintel	0.20

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras. Invías, 2009

4.2.7. Arrastre de sedimentos.

En aquellas zonas en donde el arrastre de sedimentos causado por la corriente es muy alto o las pendientes del cauce son muy altas e inestables y existen desprendimientos de detritos de rocas de gran tamaño, se aplican diferentes criterios para dimensionar las alcantarillas. El primero de ellos, es proyectar una estructura de mayor tamaño a los requerimientos hidráulicos, la cual debe permitir

el paso de los materiales de arrastre; el segundo consiste en construir en el cauce o quebrada y aguas arriba de la estructura, una obra de retención de los materiales de arrastre; y el tercero es reemplazar la alcantarilla por un pontón con gálibo suficiente para el paso del material.

4.2.8. Pendiente del conducto o tubería.

La pendiente hidráulica de las alcantarillas debe estar comprendida en el rango 0,5% a 5,0%, siendo un valor usual el 2%, de forma que no se generen velocidades superiores a la admisible de acuerdo con el material del conducto y que finalmente comprometan la estabilidad de la obra.

En los casos de pendientes superiores a la máxima permisible de acuerdo con el criterio de velocidad, se debe proponer una alcantarilla como estructura disipadora con fondo liso y estructura de disipación o una estructura con fondo escalonado.

4.2.9. Recubrimiento y longitud del conducto

Para el caso de tuberías, el recubrimiento mínimo recomendado hasta la clave es de 1,0 m, que sumado al diámetro mínimo de 0,90 m, implica una altura de descole o terraplén de mínimo 2,0 m. Para el caso de zonas con terraplenes de alturas menores, es recomendable el empleo de alcantarillas cajón con recubrimientos bajos.

Así mismo, en conductos de gran longitud, como los que se presentan o resultan en la base de terraplenes muy altos o que resultan con un esviaje mayor, es recomendable construir alcantarillas con altura mínima de 2,0 m, para garantizar las operaciones de limpieza y mantenimiento.

Capítulo V

Formato de Presentación Estándar y Ejemplos

Para la elaboración de la hoja de cálculo estándar se han aplicado todos los fundamentos teóricos descritos anteriormente. Todos los parámetros requeridos como información de entrada, corresponden a las celdas con fuente de color rojo. Las celdas con fuente de color negro, corresponden a todas aquellas en donde se han introducido las formulaciones mencionadas anteriormente.

Debe tenerse en cuenta que, si existe una estructura de encauzamiento aguas abajo del descole de la alcantarilla (canal), se debe indicar la geometría y los demás parámetros hidráulicos, con el fin de analizar y determinar la formación de resalto hidráulico para evaluar de una manera más profunda el descole de la alcantarilla.

En la hoja, se deben introducir las características de la alcantarilla existente, en cuanto a geometría y condiciones de la estructura de entrada. Para la misma, se analiza la teoría de flujo con control a la entrada y la teoría de flujo con control a la salida. Para las alcantarillas existentes, se realiza una evaluación hidráulica de acuerdo con los requerimientos indicados en el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías, validando o no la dimensión de la alcantarilla para el caudal de diseño estipulado.

A continuación se indica el modo de funcionamiento de la alcantarilla, si opera con control a la entrada o control a la salida y se dan las recomendaciones del caso para la alcantarilla existente.

Luego se introducen los datos necesarios para dimensionar la alcantarilla propuesta, celdas en donde se indican las características de la obra, tales como: tipo, material, dimensiones, geometría, pendientes; se evalúa el funcionamiento de la alcantarilla bajo las condiciones de flujo con control a la entrada y bajo las condiciones de flujo con control a la salida, indicando finalmente cual es el criterio de funcionamiento de la obra.

En la elaboración de la hoja de cálculo se identifican las siguientes columnas:

En las columnas 1 a 6 se incluyen los datos de localización de la alcantarilla y características de la vía.

Columna 1.

Corresponde al número de obra designado para cada alcantarilla.

Columna 2.

Indica si la alcantarilla existe o es propuesta.

Columna 3.

Descripción del tipo de calzada vial: unidireccional, bidireccional, doble calzada, etc.

Columna 4.

Corresponde a la abscisa en la que se encuentra ubicada la alcantarilla, de acuerdo con el diseño geométrico definitivo.

Columna 5.

Corresponde a la identificación de la alcantarilla mediante tecnología con GPS.

Columna 6.

Corresponde al número de la cuenca aferente a la alcantarilla, si aplica.

Columna 7.

Corresponde al caudal de diseño para periodo del retorno de 10, 20 y 25 años (m^3/s). Se puede modificar según se requiera.

Columna 8.

Corresponde al caudal de diseño seleccionado, de acuerdo con los períodos de retorno de diseño indicados para obras de drenaje vial, el cual puede variarse a buen juicio del diseñador (m^3/s). Ver Tabla 2.8 de Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

Columnas 9.

Debe indicarse la existencia o inexistencia de alguna estructura conformada en la salida de la alcantarilla, diferente del muro cabezal y las aletas.

Columna 10.

Corresponde al caudal de diseño seleccionado en el descole de la alcantarilla (m^3/s).

Columna 11.

Corresponde al caudal adicional en la estructura de salida (m^3/s).

Columna 12.

Corresponde al caudal total (m^3/s). Es la suma del caudal a la salida de la alcantarilla y el caudal adicional en el descole.

De la Columna 13 a 18, se introducen los datos correspondientes a la geometría de la estructura de que se encuentre implantada aguas abajo de la salida de la alcantarilla.

Columna 13.

Dimensión del ancho de la estructura implantada en la salida de la alcantarilla (m).

Columna 14.

Dimensión del diámetro o altura de la estructura implantada en la salida de la alcantarilla (m).

Columna 15.

Dimensión de la longitud de la estructura implantada en la salida de la alcantarilla (m).

Columna 16.

Corresponde al coeficiente de rugosidad de Manning de la estructura implantada en la salida de la alcantarilla. (Chow, 1994).

Columna 17.

Es la inclinación del talud o del muro en caso de tener una estructura de sección trapezoidal; Z es la magnitud horizontal (m) por cada metro vertical.

Columna 18.

Es la pendiente longitudinal de la estructura implantada en la salida de la alcantarilla (m/m).

De las Columnas 19 a 27 se calculan los parámetros hidráulicos de la estructura localizada en el descole.

Columna 19.

Corresponde al cálculo de la profundidad crítica de la estructura de descole (m).

Columna 20

Es el ángulo correspondiente al área de la sección transversal hidráulica crítica para el caso de una sección circular (°).

Columna 21.

Corresponde al área crítica de la sección hidráulica de caudal crítico (m^3/s).

Columna 22.

Corresponde a la velocidad crítica del flujo en la estructura de descole (m/s).

Columna 23.

Corresponde a la profundidad normal del flujo en la estructura de descole (m).

Columna 24.

Es el ángulo correspondiente al área de la sección transversal hidráulica normal para el caso de una sección circular (°).

Columna 25.

Corresponde al área normal de la sección hidráulica en (m^2).

Columna 26.

Corresponde al número de Froude.

Columna 27.

Corresponde a la velocidad normal del flujo en la estructura de descole (m/s).

De las Columnas 28 a 47 se deben introducir los datos característicos de la alcantarilla existente.

Columna 28.

Corresponde al número de ductos que integran la alcantarilla.

Columna 29.

Se debe introducir el número 1 si la alcantarilla es de sección circular.

Columna 30.

Se debe introducir el número 1 si la alcantarilla es de sección en cajón.

Columna 31.

Se debe indicar si la obra es pontón o puente, como información consistente con el inventario o inspección de obras de la vía realizado para el proyecto (si aplica).

Columna 32.

En esta columna se debe introducir mediante la codificación del 1 al 10, el tipo y forma de la alcantarilla circular o de la alcantarilla cajón, de acuerdo con la Tabla 4.3 contenida en la hoja "Vmáx(material) - Tab.4.3" del archivo. De esta codificación dependen los coeficientes *a, b, c, d, e* y *f*.

Columna 33.

Se introduce el tipo de material de la alcantarilla, que incide en la velocidad máxima de flujo al interior del conducto. Está definido en la Tabla 2 contenida en la hoja "Vmáx(material) - Tab.4.3" del archivo, para concreto simple y reforzado, en acero con revestimiento o sin revestimiento, en acero galvanizado, asbesto cemento, hierro fundido y hierro dúctil, PEAD (HDPE) y PVC; en caso de que la alcantarilla sea cajón, el material se define como concreto reforzado.

Columna 34.

Se debe introducir la dimensión ancho (m).

Columna 35.

Se debe introducir la dimensión *D* o *H*, que corresponde al diámetro, altura o flecha de la alcantarilla (m).

Columna 36.

Corresponde a la longitud de la alcantarilla entre la entrada y la salida (m).

Columna 37.

Corresponde al coeficiente de rugosidad de Manning de la alcantarilla existente. (Chow, 1994). Se recomienda elegir un valor con uso del material en cambio de un valor para el material nuevo, dado que se está evaluando la capacidad en condiciones reales.

Columna 38.

Es la inclinación del talud o del muro en caso de tener una alcantarilla de sección trapezoidal; *Z* es la magnitud horizontal (m) por cada metro vertical.

Columna 39.

Corresponde a la pendiente longitudinal del conducto (m/m).

Columna 40.

Corresponde a la identificación del tipo de estructura y características de la entrada de acuerdo con la Tabla 4.5 Coeficiente de Pérdidas a la Entrada, del Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

Columna 41.

Corresponde a la cota clave en la entrada de la alcantarilla (msnm).

Columna 42.

Corresponde a la cota de la rasante en eje de la vía (msnm).

Columna 43.

Corresponde a la cota clave de la alcantarilla en el eje de la vía (msnm).

Columna 44.

Corresponde a la cota clave en la salida de la alcantarilla (msnm).

Columna 45.

Corresponde al recubrimiento de material sobre el lomo de la alcantarilla. Cota rasante menos cota clave (m).

Columna 46.

Corresponde a la carga aguas arriba de la alcantarilla para ser empleada en la ecuación de Henderson, referencia (6), para el cálculo de la capacidad del conducto; es útil para tener como referencia de la capacidad hidráulica (m).

Columna 47.

Corresponde a la altura de la alcantarilla a la salida (m).

De las Columnas 49 a 69 se calculan los parámetros hidráulicos de flujo para la alcantarilla existente con control a la entrada.

Columna 48.

Corresponde la profundidad crítica (m).

Columna 49.

Es el ángulo correspondiente al área de la sección hidráulica crítica para el caso de alcantarilla circular (°).

Columna 50.

Corresponde al área de la sección hidráulica transversal con el caudal crítico (m^2).

Columna 51.

Es la velocidad a la profundidad crítica (m^3/s).

Columna 52.

Corresponde a la profundidad normal (m).

Columna 53.

Es el ángulo correspondiente al área de la sección hidráulica normal para el caso de alcantarilla circular (°).

Columna 54.

Corresponde al área de la sección hidráulica transversal con el caudal normal (m^2).

Columna 55.

Corresponde al número de Froude en la alcantarilla existente.

Columna 56.

Es la velocidad correspondiente al área de flujo normal (m/s).

Columna 57.

Corresponde a la velocidad máxima que se puede presentar en el conducto, de acuerdo con el material (m/s).

Columnas 58 a 63.

Corresponden a los coeficientes de regresión para los conductos y tipos de entradas más empleados en Colombia de acuerdo con la Tabla 4.3 del Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

Columna 64.

Corresponde a la relación $Q/D^{2.5}$ para alcantarillas circulares y $Q/(BD^{1.5})$ para alcantarillas de cajón o arco.

Columna 65.

Corresponde al estado de flujo en donde se determina si el caudal del conducto excede el caudal máximo o su capacidad hidráulica, es decir, si hay insuficiencia hidráulica, o si es crítico, supercrítico o subcrítico.

Columna 66.

Corresponde a la altura de la lámina de agua que se presenta a la entrada de la alcantarilla (m).

Columna 67.

Corresponde a la condición de sumergencia que se presenta para valores H_w/D . Hay sumergencia si $H_w/D > 1,2$; no sumergencia si $H_w/D < 1,2$.

Columna 68.

Corresponde al caudal calculado mediante la ecuación de Henderson, referencia (6), para el cálculo de la capacidad del conducto; es útil para tener como referencia de la capacidad hidráulica (m).

Columna 69.

De acuerdo con el valor obtenido en la Columna 67, el cual si es excedido en el valor indicado, arroja el mensaje como resultado de la evaluación hidráulica: "Cumple" o "No cumple" con los criterios de diseño definidos en los numerales 4.2.6.1 y 4.2.6.2.

De las columnas 70 a 83, se indican los parámetros de flujo con control a la salida.

Columna 70.

Es la profundidad del agua en el canal o de salida de la alcantarilla, definido como TW (m).

Columna 71.

Corresponde a la profundidad del agua en la salida con respecto a la cota de batea de la alcantarilla en la salida (m).

Columna 72.

Corresponde al perímetro hidráulico de la alcantarilla (m).

Columna 73.

Corresponde al área de la sección transversal hidráulica de la alcantarilla (m²).

Columna 74.

Corresponde al radio de la sección transversal hidráulica de la alcantarilla (m).

Columna 75.

Corresponde a la velocidad de flujo en la alcantarilla (m/s).

Columna 76.

Corresponde a las pérdidas por sección o energía requerida para vencer la rugosidad de la alcantarilla (m).

Columna 77.

Corresponde a los valores del coeficiente de pérdidas a la entrada, de acuerdo con la Tabla 4.5 de Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

Columna 78.

Corresponde a las pérdidas a la entrada de la alcantarilla (m).

Columna 79.

Corresponde a las pérdidas a la salida de la alcantarilla (m).

Columna 80.

Corresponde a la carga que se presenta a la entrada de la alcantarilla (m).

Columna 81.

Corresponde a la condición de sumergencia que se presenta para valores H_w/D . Hay sumergencia si $H_w/D > 1,2$; no sumergencia si $H_w/D < 1,2$.

Columna 82.

Corresponde al caudal calculado mediante la ecuación de Henderson, referencia (6), para el cálculo de la capacidad del conducto; es útil para tener como referencia de la capacidad hidráulica (m).

Columna 83.

De acuerdo con el valor obtenido en la Columna 81, el cual si es excedido en el valor indicado, arroja el mensaje como resultado de la evaluación hidráulica: "Cumple" o "No cumple" con los criterios de diseño definidos en los numerales 4.2.6.1 y 4.2.6.2.

Columna 84.

Corresponde al estado de funcionamiento de la alcantarilla existente. Es resultado del análisis de la alcantarilla, el cual determina si funciona con control a la entrada o funciona con control a la salida, de acuerdo con la definición del parámetro de relación de carga - diámetro o altura (o flecha) de la alcantarilla H_w/D .

Columna 85.

Corresponde con las indicaciones, recomendaciones y observaciones que se dan sobre el cruce hidráulico y la obra de arte existente. Según el caso, se recomienda el reemplazo, conservación, la ejecución de labores de limpieza y mantenimiento, etc.

De las columnas 86 a 141 se introduce y define de forma similar la información correspondiente para la alcantarilla propuesta.

Columna 86.

Corresponde al número de ductos que integran la alcantarilla.

Columna 87.

Se debe introducir el número 1 si la alcantarilla es de sección circular.

Columna 88.

Se debe introducir el número 1 si la alcantarilla es de sección en cajón.

Columna 89.

Se debe indicar si la obra es pontón o puente, como información consistente con el listado obras existentes y nuevas de la vía (si aplica).

Columna 90.

En esta columna se debe introducir mediante la codificación del 1 al 10, el tipo y forma de la alcantarilla circular o de la alcantarilla cajón, de acuerdo con la Tabla 4.3 contenida en

la hoja “ $V_{\text{máx}}(\text{material})$ - Tab.4.3” del formato. De esta codificación dependen los coeficientes a, b, c, d, e y f .

Columna 91.

Se introduce el tipo de material de la alcantarilla, que incide en la velocidad máxima de flujo al interior del conducto. Está definido en la Tabla 2 contenida en la hoja “ $V_{\text{máx}}(\text{material})$ - Tab.4.3” del archivo, para concreto simple y reforzado, en acero con revestimiento o sin revestimiento, en acero galvanizado, asbesto cemento, hierro fundido y hierro dúctil, PEAD (HDPE) y PVC; en caso de que la alcantarilla sea cajón, el material se define como concreto reforzado.

Columna 92.

Se debe introducir la dimensión ancho (m).

Columna 93.

Se debe introducir la dimensión D o H , que corresponde al diámetro, altura o flecha de la alcantarilla (m).

Columna 94.

Corresponde a la longitud de la alcantarilla entre la entrada y la salida (m).

Columna 95.

Corresponde al coeficiente de rugosidad de Manning de la alcantarilla existente. (Chow, 1994). Se recomienda elegir un valor con uso del material en cambio de un valor para el material nuevo, dado que se está evaluando la capacidad en condiciones reales.

Columna 96.

Es la inclinación del talud o del muro en caso de tener una alcantarilla de sección trapezoidal; Z es la magnitud horizontal (m) por cada metro vertical.

Columna 97.

Corresponde a la pendiente longitudinal del conducto (m/m).

Columna 98.

Corresponde a la identificación del tipo de estructura y características de la entrada de acuerdo con la Tabla 4.5 Coeficiente de Pérdidas a la Entrada, del Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

Columna 99.

Corresponde a la cota clave en la entrada de la alcantarilla (msnm).

Columna 100.

Corresponde a la cota de la rasante en eje de la vía (msnm).

Columna 101.

Corresponde a la cota clave de la alcantarilla en el eje de la vía (msnm).

Columna 102.

Corresponde a la cota clave en la salida de la alcantarilla (msnm).

Columna 103.

Corresponde al recubrimiento de material sobre el lomo de la alcantarilla. Cota rasante menos cota clave (m).

Columna 104.

Corresponde a la carga aguas arriba de la alcantarilla para ser empleada en la ecuación de Henderson, referencia (6), para el cálculo de la capacidad del conducto; es útil para tener como referencia de la capacidad hidráulica (m).

Columna 105.

Corresponde a la altura de la alcantarilla a la salida (m).

De las Columnas 106 a 127 se calculan los parámetros hidráulicos de flujo para la alcantarilla existente con control a la entrada.

Columna 106.

Corresponde la profundidad crítica (m).

Columna 107.

Es el ángulo correspondiente al área de la sección hidráulica crítica para el caso de alcantarilla circular (°).

Columna 108.

Corresponde al área de la sección hidráulica transversal con el caudal crítico (m^2).

Columna 109.

Es la velocidad a la profundidad crítica (m^3/s).

Columna 110.

Corresponde a la profundidad normal (m).

Columna 111.

Es el ángulo correspondiente al área de la sección hidráulica normal para el caso de alcantarilla circular (°).

Columna 112.

Corresponde al área de la sección hidráulica transversal con el caudal normal (m^2).

Columna 113.

Corresponde al número de Froude en la alcantarilla proyectada.

Columna 114.

Es la velocidad correspondiente al área de flujo normal (m/s).

Columna 115.

Corresponde a la velocidad máxima que se puede presentar en el conducto, de acuerdo con el material (m/s).

Columnas 116 a 121.

Corresponden a los coeficientes de regresión para los conductos y tipos de entradas más empleados en Colombia de acuerdo con la Tabla 4.3 del Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

Columna 122.

Corresponde a la relación $Q/D^{2.5}$ para alcantarillas circulares y $Q/(BD^{1.5})$ para alcantarillas de cajón o arco.

Columna 123.

Corresponde al estado de flujo en donde se determina si el caudal del conducto excede el caudal máximo o su capacidad hidráulica, es decir, si hay insuficiencia hidráulica, o si es crítico, supercrítico o subcrítico.

Columna 124.

Corresponde a la altura de la lámina de agua que se presentará a la entrada de la alcantarilla (m).

Columna 125.

Corresponde a la condición de sumergencia que se presentará para valores H_w/D . Hay sumergencia si $H_w/D > 1,2$; no sumergencia si $H_w/D < 1,2$.

Columna 126.

Corresponde al caudal calculado mediante la ecuación de Henderson, referencia (6), para el cálculo de la capacidad del conducto; es útil para tener como referencia de la capacidad hidráulica (m).

Columna 127.

De acuerdo con el valor obtenido en la Columna 125, el cual si es excedido en el valor indicado, arroja el mensaje como resultado de la evaluación hidráulica: "Cumple" o "No cumple" con los criterios de diseño definidos en los numerales 4.2.6.1 y 4.2.6.2.

De las columnas 128 a 141, se indican los parámetros de flujo con control a la salida.

Columna 128.

Es la profundidad del agua en el canal o de salida de la alcantarilla, definido como TW (m).

Columna 129.

Corresponde a la profundidad del agua en la salida con respecto a la cota de batea de la alcantarilla en la salida (m).

Columna 130.

Corresponde al perímetro hidráulico del canal de salida (m).

Columna 131.

Corresponde al área de la sección transversal hidráulica de la alcantarilla (m^2).

Columna 132.

Corresponde al radio de la sección transversal hidráulica de la alcantarilla (m).

Columna 133.

Corresponde a la velocidad de flujo en la alcantarilla (m/s).

Columna 134.

Corresponde a las pérdidas por sección o energía requerida para vencer la rugosidad de la alcantarilla (m).

Columna 135.

Corresponde a los valores del coeficiente de pérdidas a la entrada de acuerdo con la Tabla 4.5 de Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

Columna 136.

Corresponde a las pérdidas a la entrada de la alcantarilla (m).

Columna 137.

Corresponde a las pérdidas a la salida de la alcantarilla (m).

Columna 138.

Corresponde a la carga que se presentará a la entrada de la alcantarilla (m).

Columna 139.

Corresponde a la condición de sumergencia que se presentará para valores H_w/D . Hay sumergencia si $H_w/D > 1,2$; no sumergencia si $H_w/D < 1,2$.

Columna 140.

Corresponde al caudal calculado mediante la ecuación de Henderson, referencia (6), para el cálculo de la capacidad del conducto; es útil para tener como referencia de la capacidad hidráulica (m).

Columna 141.

De acuerdo con el valor obtenido en la Columna 81, el cual si es excedido en el valor indicado, arroja el mensaje como resultado de la evaluación hidráulica: "Cumple" o "No cumple" con los criterios de diseño definidos en los numerales 4.2.6.1 y 4.2.6.2.

Columna 142.

Corresponde al estado de funcionamiento de la alcantarilla propuesta. Es resultado del análisis de la alcantarilla, el cual determina si funcionará con control a la entrada o funcionará con control a la salida, de acuerdo con la definición del parámetro de relación de carga - diámetro o altura (o flecha) de la alcantarilla H_w/D .

Columna 143.

Se obtiene como comentario preliminar, indicando la dimensión sugerida de la alcantarilla propuesta.

Columna 144.

Información para el cajetín a emplear en plano CAD.

Como obra complementaria para la protección del talud y disipación de energía, aguas abajo de la alcantarilla, es posible proyectar una rápida escalonada a la salida de ésta. Esta opción se puede determinar mediante el cálculo de una estructura escalonada con las ecuaciones de Chézy, para lo cual se ha adicionado su cálculo en la presentación estándar que es objeto de este trabajo.

De las columnas 145 a 147, se introducen los datos para el cálculo de la estructura escalonada en el descole.

De las columnas 148 a 159, se calculan los parámetros hidráulicos y dimensiones de la estructura escalonada en el descole.

Adicionalmente a las columnas descritas, se ha utilizado la opción de formato condicional para resaltar en rojo las celdas que exceden valores mínimos permitidos como velocidad, recubrimiento y alturas de sumergencia.

El funcionamiento de la hoja de cálculo se evalúa paralelamente con ejemplos enunciados en la literatura, como el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías, la Ayuda Rápida

del HY-8 y un ejemplo en el documento del Washington State Department of Transportation.

De acuerdo con los ejemplos analizados y comparados con la hoja de cálculo, se ha determinado que la hoja es muy útil para el dimensionamiento de las alcantarillas de un corredor vial, lo que permite un rendimiento alto para el cumplimiento de los plazos de los proyectos de infraestructura. Lo anterior, dado que se está realizando el diseño únicamente con el valor del caudal estimado para determinado periodo de retorno.

La metodología contrasta con la utilidad que presta el programa HY-8, de analizar el funcionamiento hidráulico de cada alcantarilla más allá de su dimensionamiento, pues se dispone de las curvas de rendimiento y de la posibilidad de diseñar disipadores internos y externos al conducto.

5.1. Ejemplo 1 – Manual de Drenaje para Carreteras del Invías.

En el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías, pág. 4-54, se presenta un ejemplo en el que se requiere diseñar el cruce de una corriente de agua. Esta corriente tiene un caudal de $3,11 \text{ m}^3/\text{s}$ para un período de retorno de 20 años, una pendiente aguas abajo del 1% con una sección semejante a un trapecio de base 2,0 m y taludes laterales 1H : 1V. El material de la quebrada es predominantemente tierra, con un coeficiente de rugosidad $n = 0.035$.

Como se observa en la Figura 4, la alcantarilla se proyecta inicialmente siguiendo la pendiente natural de la quebrada, es decir, 14.35%.

Tanto la estructura de entrada como la de salida, se proyectan con un muro de cabezote y aletas, con un ángulo de 45° .

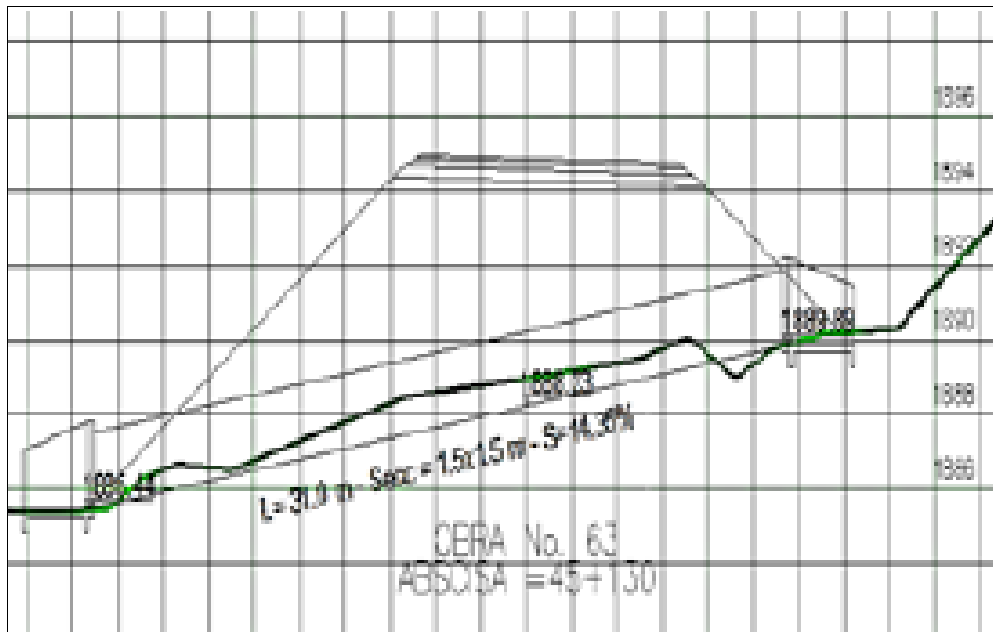


Figura 4. Ejemplo. Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras. Invías, 2009.

Solución con el HY-8

Ingreso de datos en el HY-8 para alcantarilla de 1,5 m x 1,5 m.

Crossing Data - Manual Drenaje Invas Ejemplo A

Crossing Properties

Name: **1.5 x 1.5**

Buttons: Add Culvert, Duplicate Culvert, Delete Culvert

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	3.11	cms
Maximum Flow	5.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	2.00	m
Side Slope (H:V)	1:00	:1
Channel Slope	0.0100	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	1885.44	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	10.00	m
Crest Elevation	1894.90	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	10.00	m

Culvert Properties

Name: **1.5 x 1.5**

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	1.5 x 1.5	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	1500.00	mm
Rise	1500.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	1889.89	m
Outlet Station	31.00	m

Buttons: Help, Energy Dissipation, Analyze Crossing, OK, Cancel

Para un análisis inicial se asume una estructura tipo alcantarilla de cajón en concreto, de dimensiones 1,5 m x 1,5 m, con un coeficiente de rugosidad de 0,014.

Los resultados del análisis realizado por el programa se presentan en la siguiente tabla:

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	1889.89	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.50	1890.19	0.30	0.0*	1-S2n	0.05	0.22	0.05	0.23	6.43	0.96
1.00	1.00	1890.37	0.48	0.0*	1-S2n	0.10	0.36	0.12	0.35	5.78	1.21
1.50	1.50	1890.52	0.63	0.0*	1-S2n	0.15	0.47	0.15	0.45	6.45	1.38
2.00	2.00	1890.66	0.77	0.0*	1-S2n	0.17	0.57	0.19	0.53	7.13	1.50
2.50	2.50	1890.80	0.91	0.0*	1-S2n	0.20	0.66	0.22	0.60	7.51	1.61
3.00	3.00	1890.93	1.04	0.0*	1-S2n	0.23	0.74	0.25	0.66	7.89	1.69
3.11	3.11	1890.96	1.07	0.0*	1-S2n	0.24	0.76	0.26	0.68	7.93	1.71
4.00	4.00	1891.18	1.29	0.0*	1-S2n	0.28	0.90	0.32	0.78	8.38	1.84
4.50	4.50	1891.30	1.41	0.0*	1-S2n	0.30	0.97	0.35	0.83	8.56	1.90
5.00	5.00	1891.43	1.54	0.0*	5-S2n	0.33	1.04	0.38	0.89	8.73	1.96

Se observa que para el caudal de 3.11 m³/s, la altura $H_w = 1,07$ m, es decir $H_w/D=0.71$, valor menor a 1,20 (dentro de lo permisible de acuerdo con las

recomendaciones de diseño). Los resultados muestran, también, que el flujo es supercrítico con control a la entrada, lo que representa un funcionamiento hidráulico adecuado. Sin embargo, la velocidad a la salida del conducto $V_{TW} = 7,93$ m/s, es bastante alta y muy superior a la del canal de salida $V_{can.des.} = 1,71$ m/s, siendo necesario aumentar la resistencia del concreto y modificar la pendiente del conducto, disminuyéndola o empleando un fondo escalonado.

Sin embargo, considerando que hay un alto valor en el transporte de sedimentos, se decide emplear una alcantarilla cajón de dimensiones 2,0 m x 2,0 m y una pendiente del 5%, con lo que su longitud se disminuye de 31,0 m a 23,14 m.

Ingreso de datos en el HY-8, para alcantarilla alternativa de 2,0 m x 2,0 m.

Crossing Data - Manual Drenaje Inviás Ejemplo B

Crossing Properties

Name: al Drenaje Inviás Ejemplo B

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	3.11	cms
Maximum Flow	5.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	2.00	m
Side Slope (H:V)	1:1	
Channel Slope	0.0100	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	1888.72	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	10.00	m
Crest Elevation	1894.90	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	10.00	m

Culvert Properties

2.0 x 2.0

Add Culvert Duplicate Culvert Delete Culvert

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	2.0 x 2.0	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	1889.89	m
Outlet Station	23.14	m

Help

Click on any icon for help on a specific topic

Energy Dissipation

Analyze Crossing

OK

Cancel

Con las nuevas características de la alcantarilla, mostradas en la tabla anterior, el funcionamiento hidráulico arrojado por el software HY-8 es el siguiente:

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	1889.89	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.50	1890.16	0.27	0.0*	1-S2n	0.05	0.19	0.08	0.23	3.08	0.96
1.00	1.00	1890.32	0.43	0.0*	1-S2n	0.11	0.29	0.14	0.35	3.60	1.21
1.50	1.50	1890.45	0.56	0.0*	1-S2n	0.16	0.39	0.18	0.45	4.15	1.38
2.00	2.00	1890.57	0.68	0.0*	1-S2n	0.20	0.47	0.22	0.53	4.52	1.50
2.50	2.50	1890.68	0.79	0.0*	1-S2n	0.23	0.54	0.26	0.60	4.77	1.61
3.00	3.00	1890.79	0.90	0.0*	1-S2n	0.26	0.61	0.30	0.66	4.98	1.69
3.11	3.11	1890.81	0.92	0.0*	1-S2n	0.26	0.63	0.31	0.68	5.02	1.71
4.00	4.00	1890.98	1.09	0.0*	1-S2n	0.31	0.74	0.38	0.78	5.31	1.84
4.50	4.50	1891.08	1.19	0.0*	1-S2n	0.34	0.80	0.41	0.83	5.43	1.90
5.00	5.00	1891.17	1.28	0.0*	1-S2n	0.37	0.86	0.45	0.89	5.55	1.96

El flujo en la alcantarilla continúa siendo supercrítico con control a la entrada, llegando la carga a la entrada a $H_w = 0,92$ m, con lo que $H_w/D = 0,46$, lo que aparentemente podría significar el sobredimensionamiento de la sección; sin embargo, si se considera el arrastre de sólidos y el mantenimiento de la estructura, la estructura es adecuada. La velocidad en la salida de la alcantarilla es $V_{TW} = 5,02$ m/s, apropiada para concretos convencionales.

Solución con Hoja de Cálculo para Presentación Estándar.

Nótese que en el desarrollo de la presentación estándar, se tienen mensajes que indican el valor admisible o no de la relación H_w/D , si la capacidad de la sección hidráulica es adecuada, y si el comportamiento es con control a la entrada o con control a la salida.

Las siguientes tablas, extraídas de la presentación estándar presentan:

- Introducción de información de caudal y geometría del descole.
- Cálculo de los parámetros hidráulicos del descole.
- Introducción de información de la alcantarilla propuesta.

Las siguientes tablas, extraídas de la presentación estándar presentan:

(1)	(2)	(3)	(4)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
DATOS DE LOCALIZACIÓN		CAUDAL DE			DATOS DEL DESCOLE			Geometría estructura de descole							
Nº Obra	Calzada	Abscisa		Q _{qs} (m ³ /s)	Q _{desco} (m ³ /s)	¿Estructura en la salida? SI/NO	Q _{salida alcantarilla} (m ³ /s)	Q _{adicional en descole} (m ³ /s)	Q _{total} (m ³ /s)	B (m)	Dimensiones D o H (m)	L (m)	Manning n	z (_: :1)	S (m/m)
i	MDI	EJEMPLO	K45+130	3.11	3.11	SI	3.11		3.11	2.00			0.035	1.0	0.0100
iii	MDI	EJEMPLO	K45+130	3.11	3.11	SI	3.11		3.11	2.00			0.035	1.0	0.0100

(1)	(2)	(3)	(4)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
Parámetros hidráulicos estructura de descole												
Nº Obra	Calzada	Abscisa		Y _c (m)	θ _c (°)	A _c (m ²)	V _c (m/s)	Y _n (m)	θ _n (°)	A _n (m ²)	No. Froude	V _n (m/s)
i	MDI	EJEMPLO	K45+130	0.57	-	1.46	2.13	0.68	-	1.82	0.7	1.71
iii	MDI	EJEMPLO	K45+130	0.57	-	1.46	2.13	0.68	-	1.82	0.7	1.71

(1)	(2)	(3)	(4)	(85)	(86)	(87)	(88)	(89)	(90)	(91)	(92)	(93)	(94)	(95)	(96)	(97)	(98)	(104)	(105)
CARACTERÍSTICAS OBRA PROPUESTA																			
Nº Obra	Calzada	Abscisa	Ductos	Tipo de Obra Circular	Código 12.37.8.9.10	Material	Dimensiones B (m)	D o H (m)	L (m)	Manning n	z (_: :1)	S (m/m)	Estructura de entrada 1 a 16	H ₁ = 1.2 H (m)	H ₂ (m)				
i	MDI	EJEMPLO	1	1	7	2	1.50	1.50	31.00	0.014	0.0	0.1435	12	1.80	1.50				
iii	MDI	EJEMPLO	1	1	7	2	2.00	2.00	23.14	0.014	0.0	0.0505	12	2.40	2.00				

- Cálculo de los parámetros hidráulicos de la obra propuesta con control a la entrada.
- Cálculo de los parámetros hidráulicos de la obra propuesta con control a la entrada y evaluación de suficiencia.
- Cálculo de los parámetros hidráulicos de la obra propuesta con control a la salida y evaluación de suficiencia.

(1)	(2)	(3)	(4)	(105)	(107)	(108)	(109)	(110)	(111)	(112)	(113)	(114)	(115)
DATOS DE LOCALIZACIÓN													
Control a la entrada (obra propuesta)													
Nº Obra	Caída	Abscisa	Y_c (m)	θ_z (°)	A_c (m ²)	V_c (m/s)	Y_n (m)	θ_n (°)	A_n (m ²)	No. Froude	V_n (m/s)	V_{max} (m/s)	
i	MDI	EJEMPLO	K45+130	-	1.14	2.73	0.24	-	0.36	5.7	8.67	15.00	
iii	MDI	EJEMPLO	K45+130	-	1.25	2.48	0.27	-	0.54	3.5	5.73	15.00	

(1)	(2)	(3)	(4)	(116)	(117)	(118)	(119)	(120)	(121)	(122)	(123)	(124)	(125)	(126)	(127)
DATOS DE LOCALIZACIÓN															
Control a la entrada (obra propuesta)															
Nº Obra	Caída	Abscisa	a	b	c	d	e	f	F	Estado de flujo	H_u (m)	H_u/D (m)	Q_{ave} (m ³ /s)	Evaluación hidráulica	
I	MDI	EJEMPLO	K45+130	0.07249	0.50709	-0.1175	0.02217	-0.0015	0.00004	1.13	Superficial	1.07	0.71	5.56	Cumple
II	MDI	EJEMPLO	K45+130	0.07249	0.50709	-0.1175	0.02217	-0.0015	0.00004	0.55	Subcrítico	0.91	0.46	11.41	Cumple

(1)	(2)	(3)	(4)	(128)	(129)	(130)	(131)	(132)	(133)	(134)	(135)	(136)	(137)	(138)	(139)	(140)	(141)
DATOS DE LOCALIZACIÓN																	
Control a la salida (obra propuesta)																	
Nº Obra	Caída	Abscisa	T_{iv} (m)	P_0 (m)	P_h (m)	A_0 (m ²)	R_0 (m)	V (m/s)	H_v (m)	K_u	H_u (m)	H_u (m)	H_u/D (m)	Q_{ave} (m ³ /s)	Evaluación hidráulica		
I	MDI	EJEMPLO	K45+130	0.68	1.13	1.96	0.18	17.13	4.45	0.40	1.53	3.83	6.49	4.33	5.56	No Cumple	
II	MDI	EJEMPLO	K45+130	0.68	1.31	2.54	0.21	12.18	1.17	0.40	0.67	1.68	3.66	1.83	11.41	No Cumple	

Resultado del análisis hidráulico que define si la alcantarilla debe diseñarse con control a la entrada o con control a la salida y dimensión sugerida.

(1) (2) (3) (4)				(142)	(143)
DATOS DE LOCALIZACIÓN				Recomendaciones de diseño	Observaciones de diseño para obra de arte propuesta
Nº Obra	Calzada	Abscisa			
i	MDI	EJEMPLO	K45+130	Diseñar con control a la entrada.	Alcantarilla cajón de 1.5 m x 1.5 m.
iii	MDI	EJEMPLO	K45+130	Diseñar con control a la entrada.	Alcantarilla cajón de 2 m x 2 m.

Los valores obtenidos para H_w , Y_n , Y_c , TW y V_{TW} , son los mismos por cualquiera de las dos metodologías, lo cual permite dar confiabilidad a la Hoja de Presentación Estándar en Excel. A continuación se presenta el resumen de los resultados mediante el modelo HY-8 y el formato de Presentación Estándar.

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	0,92	0,91
Y_n	0,26	0,27
Y_c	0,63	0,63
TW	0,68	0,68
V_{TW}	1,71	1,71

Como obra complementaria para la protección del talud y disipación de energía, es necesario proyectar a la salida de la alcantarilla, una rápida escalonada. Esta opción se puede determinar mediante los diversos modelos que incluye el HY-8 o por medio del cálculo de una estructura escalonada con las ecuaciones de Chezy, incluidas en la presentación estándar que es objeto de este trabajo.

La estructura escalonada resultante tiene ancho $B = 2,0$ m, longitud de cada escalón de $L = 1,0$ m, altura de cada escalón de $h = 0,8$ y altura mínima de los muros de $H = 0,5$ m. Su cálculo se presenta en la siguiente tabla.

(1)	(2)	(3)	(4)	(145)	(148)	(147)	(143)	(149)	(150)	(151)	(152)	(153)	(154)	(156)	(158)	(157)	(155)	(159)
CÁLCULO DE ESTRUCTURA ESCALONA DA EN DES COLE																		
Nº OOB	Caliza OB	Abocisa	Abocisa	Ancho de canal escalonada (m)	Altura escalonada (m)	Longitud de escalonada (m)	Caudal (m ³ /s)	Pendiente de la pila de escalonada (mm)	Ángulo de escalonada (°)	Distancia entre escalonadas (m)	Distancia entre escalonadas (m)	Altura de la pila de agua (m)	Área hidráulica (m ²)	Perímetro hidráulico (m)	Radio hidráulico (m)	Cosec. C	Velocidad de flujo V (m/s)	Altura mínima de muro H (m)
I	MDI	EJEMPLO	K45+130	B (m)	h (m)	b (m)	Q (m ³ /s)	S _a (mm)	θ (°)	a (m)	L (m)	Y (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	C	V (m/s)	H (m)
III	MDI	EJEMPLO	K45+130	2.00	0.80	1.00	3.11	0.80	38.66	0.62	1.28	0.31	0.61	2.61	0.23	11.74	5.08	0.50

5.2. Ejemplos Casos Control a la Entrada.

En el análisis de los casos A, B, C y D con control a la entrada, para las dos metodologías (HY-8 y Presentación Estándar) se empleó la misma alcantarilla y geometría en el canal de descole, al que se le varió la pendiente con el fin de obtener cada caso de estudio; con el mismo fin, se modeló con diferentes caudales para los casos A, B y C-D, aclarando que los casos C y D se modelaron con el mismo caudal.

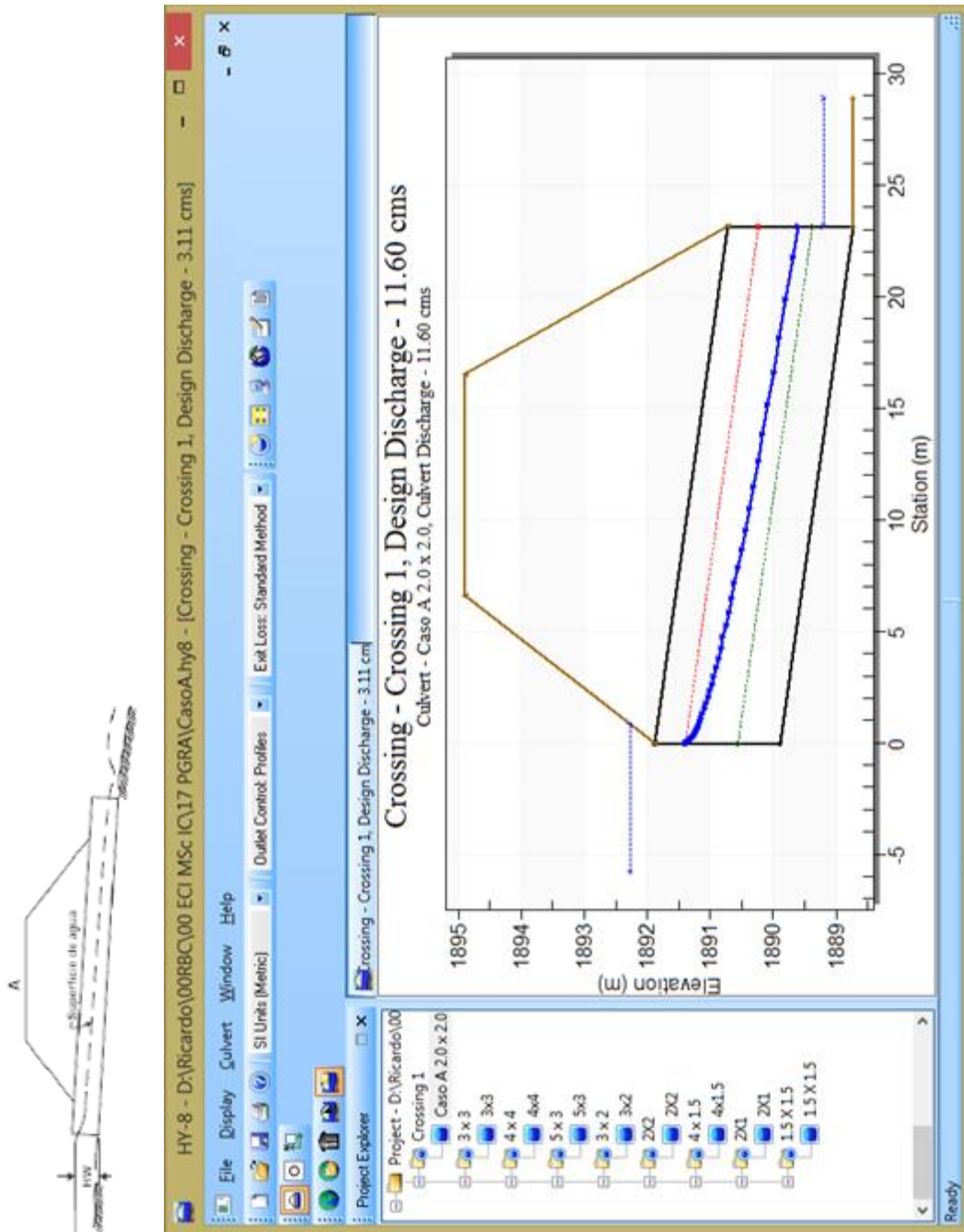
A continuación se presentan la figura y tablas del modelo HY-8 y las tablas de introducción de datos y análisis de la Presentación Estándar.

Como se observa en los resultados, para todos los casos se obtuvieron los mismos valores para H_w .

Para el caso B con la salida sumergida, en la alcantarilla se debe presentar flujo parcialmente lleno y flujo lleno, razón por la cual los valores de Y_n y V_n obtenidos con la Presentación Estándar no corresponden a los obtenidos por medio del HY-8. Esto se debe a que con la Presentación Estándar, solamente se estiman las pérdidas en el conducto asumiendo flujo lleno, lo cual no es cierto. El resultado se debe corregir calculando el perfil de flujo por el método del paso estándar.

Al final del numeral se presentan los resultados por medio del modelo HY-8 y de la Presentación Estándar.

5.2.1. Ejemplo Caso A – Condición de Flujo con Control a la Entrada.



Este es un caso con entrada y salida no sumergidas, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,5$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 11,6$ m³/s; donde el flujo pasa por la profundidad crítica a la entrada $Y_c = 1,51$ m, presentándose flujo supercrítico en la alcantarilla.

Ingreso de datos.

Crossing Data - Crossing 1

Crossing Properties
Name:

Culvert Properties

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	11.60	cms
Maximum Flow	40.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	2.00	m
Side Slope (H:V)	1:1	
Channel Slope	0.5000	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	1888.72	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	10.00	m
Crest Elevation	1894.90	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	10.00	m

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	Caso A 2.0 x 2.0	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	1889.89	m
Outlet Station	23.14	m

Resultados HY-8 resaltados en azul. Ver resumen al final del numeral.

Culvert Summary Table - Caso A 2.0 x 2.0

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	1889.89	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	4.00	1890.98	1.09	0.0*	1-S2h	0.31	0.74	0.38	0.25	5.31	7.10
8.00	8.00	1891.67	1.78	0.34	1-S2h	0.51	1.18	0.66	0.38	6.08	8.91
11.60	11.60	1892.27	2.38	1.28	5-S2h	0.66	1.51	0.89	0.47	6.53	10.00
16.00	16.00	1893.19	3.30	2.09	5-S2h	0.84	1.87	1.15	0.57	6.94	11.03
20.00	20.00	1894.30	4.41	2.90	5-S2h	0.99	2.00	1.37	0.64	7.28	11.78
24.00	22.44	1895.11	5.22	3.43	5-S2h	1.08	2.00	1.49	0.71	7.53	12.41
28.00	23.10	1895.34	5.45	3.59	5-S2h	1.10	2.00	1.52	0.78	7.61	12.97
32.00	23.62	1895.53	5.64	3.71	5-S2h	1.12	2.00	1.54	0.84	7.67	13.46
36.00	24.06	1895.70	5.81	3.82	5-S2h	1.14	2.00	1.56	0.89	7.72	13.91
40.00	24.47	1895.85	5.96	3.92	5-S2h	1.15	2.00	1.57	0.95	7.77	14.32

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

[Options...](#)

Geometry

Inlet Elevation: 1889.89 m

Outlet Elevation: 1888.72 m

Culvert Length: 23.17 m

Culvert Slope: 0.0506

Inlet Crest: 0.00 m

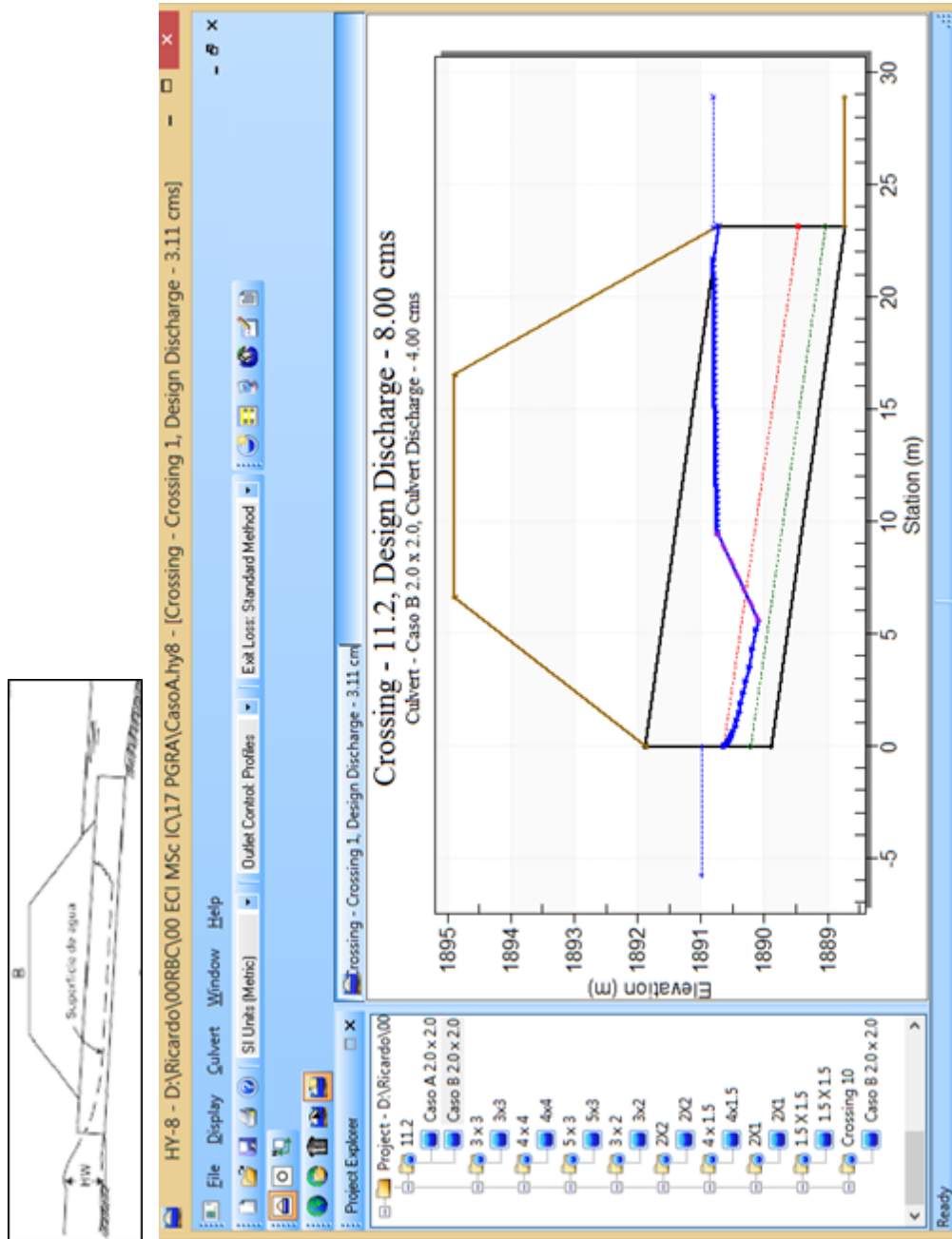
Inlet Throat: 0.00 m

Outlet Control: Profiles

Plot

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

5.2.2. Ejemplo Caso B – Condición de Flujo con Control a la Entrada.



Este es un caso con entrada no sumergida y salida sumergida, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,001$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 8,0$ m³/s; donde el flujo es supercrítico a la entrada $Y_c = 1,18$ m, presentándose resalto hidráulico en el interior y cerca de la salida de la alcantarilla.

Ingreso de datos.

Crossing Data - 11.2

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	8.00	cms
Maximum Flow	40.00	cms
TAIL WATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	2.00	m
Side Slope (H:V)	1:1	
Channel Slope	0.0010	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	1888.72	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	10.00	m
Crest Elevation	1894.90	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	10.00	m

Culvert Properties

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	Caso B 2.0 x 2.0	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	1889.89	m
Outlet Station	23.14	m

Resultados HY-8 resaltados en azul. Ver resumen al final del numeral.

Culvert Summary Table - Caso B 2.0 x 2.0

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	1889.89	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	2.00	1890.57	0.68	0.31	1-JS1t	0.20	0.47	1.46	1.46	0.69	0.79
8.00	4.00	1890.98	1.09	0.98	1-JS1f	0.31	0.74	2.00	2.07	1.00	0.95
12.00	6.40	1891.41	1.52	1.36	1-S2n	0.44	1.01	0.55	2.53	5.83	1.05
16.00	8.00	1891.97	1.78	2.09	1-S1f	0.51	1.18	2.00	2.90	2.00	1.13
20.00	10.00	1892.45	2.10	2.56	4-FFF	0.60	1.37	2.00	3.22	2.50	1.19
24.00	12.00	1892.94	2.45	3.08	4-FFF	0.68	1.54	2.00	3.50	3.00	1.25
28.00	14.00	1893.49	2.85	3.60	4-FFF	0.76	1.71	2.00	3.76	3.50	1.29
32.00	16.00	1894.00	3.30	4.15	4-FFF	0.84	1.87	2.00	3.99	4.00	1.34
36.00	18.00	1894.60	3.82	4.71	4-FFF	0.91	2.00	2.00	4.21	4.50	1.38
40.00	19.41	1895.07	4.23	5.19	4-FFF	0.97	2.00	2.00	4.41	4.85	1.41

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

[Options...](#)

Geometry

Inlet Elevation: 1889.89 m

Outlet Elevation: 1888.72 m

Culvert Length: 23.17 m

Culvert Slope: 0.0506

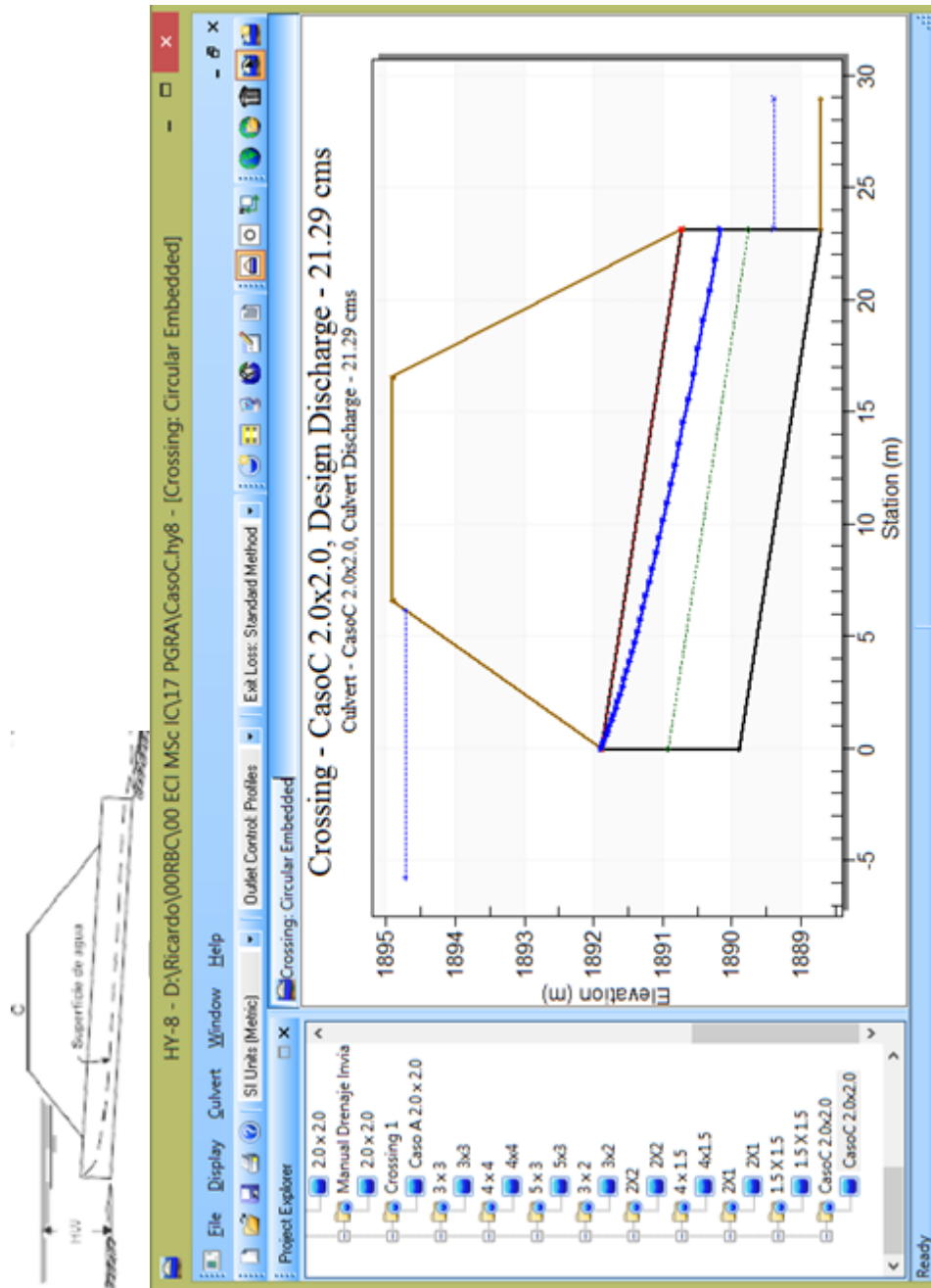
Inlet Crest: 0.00 m

Inlet Throat: 0.00 m

Outlet Control: Profiles

Plot

5.2.3. Ejemplo Caso C – Condición de Flujo con Control a la Entrada.



Este es un caso con entrada sumergida y salida no sumergida, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,5$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 21,29$ m³/s; donde el flujo es supercrítico, la profundidad crítica se encuentra aguas abajo de la entrada de la alcantarilla $Y_c = 2,0$ m y el flujo se aproxima a la profundidad normal en el extremo aguas abajo.

Ingreso de datos.

Crossing Data - CasoC 2.0x2.0

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	21.29	cms
Maximum Flow	40.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	2.00	m
Side Slope (H:V)	1:00	_:1
Channel Slope	0.5000	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	1888.72	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	10.00	m
Crest Elevation	1894.90	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	10.00	m

Culvert Properties

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	CasoC 2.0x2.0	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	1889.89	m
Outlet Station	23.14	m
Outlet Elevation	1888.72	m
Number of Barrels	1	

Click on any icon for help on a specific topic

Resultados HY-8 resaltados en azul. Ver resumen al final del numeral.

Culvert Summary Table - CasoC 2.0x2.0

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	1889.89	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	4.00	1890.98	1.09	0.0*	1-S2n	0.31	0.74	0.38	0.25	5.31	7.10
8.00	8.00	1891.67	1.78	0.34	1-S2n	0.51	1.18	0.66	0.38	6.08	8.91
12.00	12.00	1892.34	2.45	1.35	5-S2n	0.68	1.54	0.91	0.48	6.57	10.11
16.00	16.00	1893.19	3.30	2.09	5-S2n	0.84	1.87	1.15	0.57	6.94	11.03
20.00	20.00	1894.30	4.41	2.90	5-S2n	0.99	2.00	1.37	0.64	7.28	11.78
21.29	21.29	1894.71	4.82	3.17	5-S2n	1.04	2.00	1.44	0.67	7.40	11.99
28.00	23.10	1895.34	5.45	3.59	5-S2n	1.10	2.00	1.52	0.78	7.61	12.97
32.00	23.62	1895.53	5.64	3.71	5-S2n	1.12	2.00	1.54	0.84	7.67	13.46
36.00	24.06	1895.70	5.81	3.82	5-S2n	1.14	2.00	1.56	0.89	7.72	13.91
40.00	24.47	1895.85	5.96	3.92	5-S2n	1.15	2.00	1.57	0.95	7.77	14.32

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

[Options...](#)

Geometry

Inlet Elevation: 1889.89 m

Outlet Elevation: 1888.72 m

Culvert Length: 23.17 m

Culvert Slope: 0.0506

Inlet Crest: 0.00 m

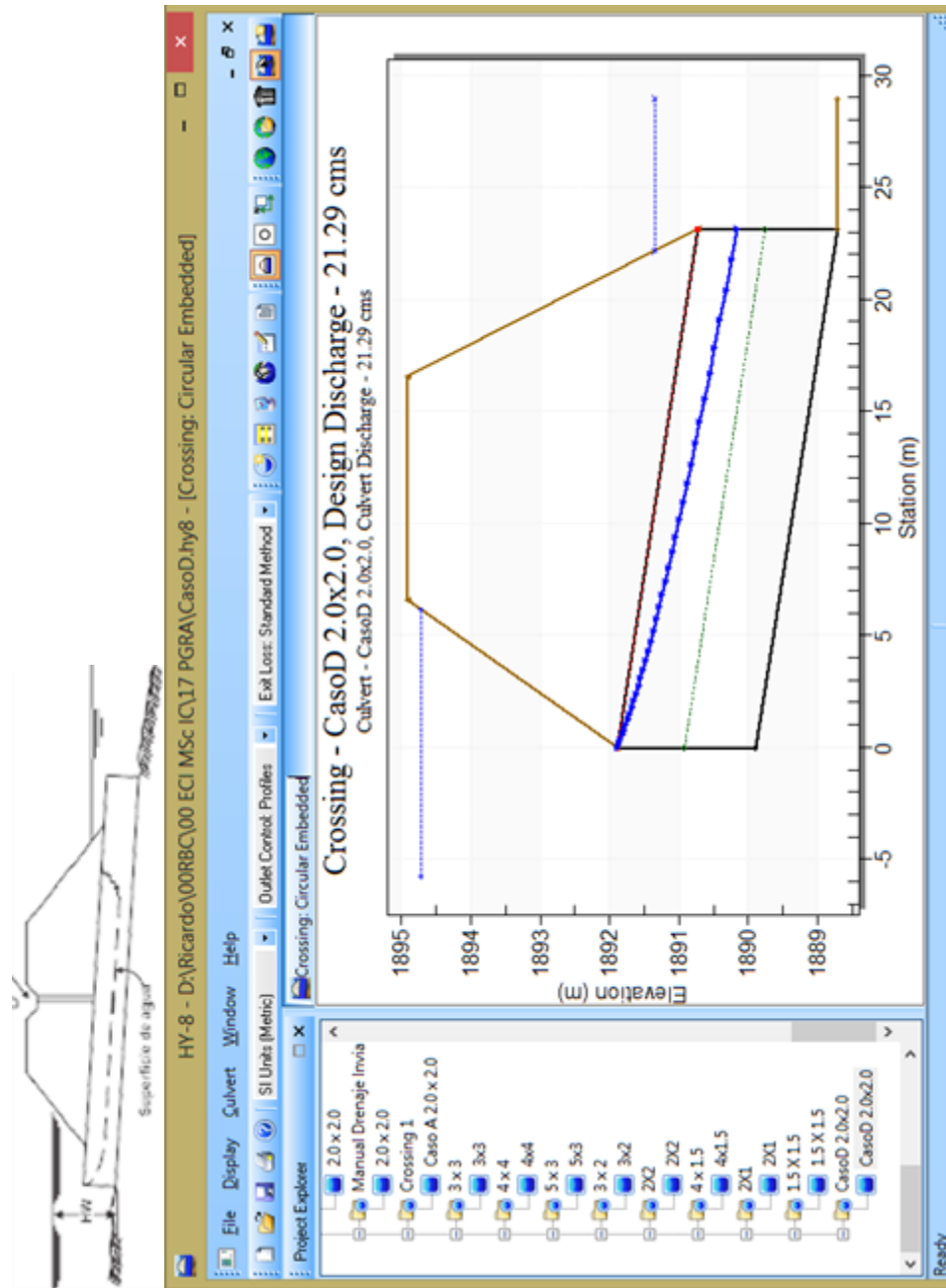
Inlet Throat: 0.00 m

Outlet Control: Profiles

Plot

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

5.2.4. Ejemplo Caso D – Condición de Flujo con Control a la Entrada.



Este es el caso inusual con entrada y salida sumergidas, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,0027$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 21,29$ m³/s; se desarrolla una condición inestable entre flujo lleno y parcialmente lleno, con un salto hidráulico dentro del conducto.

Ingreso de datos.

Crossing Data - CasoD 2.0x2.0

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	21.29	cms
Maximum Flow	40.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	2.00	m
Side Slope (H:V)	1:00	_:1
Channel Slope	0.0027	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	1888.72	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	10.00	m
Crest Elevation	1894.90	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	10.00	m

Culvert Properties

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	CasoD 2.0x2.0	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	1889.89	m
Outlet Station	23.14	m
Outlet Elevation	1888.72	m
Number of Barrels	1	

Resultados HY-8 resaltados en azul.

Culvert Summary Table - CasoD 2.0x2.0

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	1889.89	0.00	0.0	0-1F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	4.00	1890.98	1.09	0.03	1-S2h	0.31	0.74	0.38	1.12	5.31	1.14
8.00	8.00	1891.67	1.78	0.77	1-S2h	0.51	1.18	0.66	1.61	6.08	1.37
12.00	12.00	1892.34	2.45	1.56	5-S2h	0.68	1.54	0.91	1.98	6.57	1.52
16.00	16.00	1893.19	3.30	2.44	5-S2h	0.84	1.87	1.15	2.28	6.94	1.64
20.00	20.00	1894.30	4.41	3.44	5-S2h	0.99	2.00	1.37	2.54	7.28	1.73
21.29	21.29	1894.71	4.82	3.79	5-S2h	1.04	2.00	1.44	2.62	7.40	1.76
28.00	23.10	1895.34	5.45	4.57	4-FFF	1.10	2.00	2.99	2.99	5.77	1.88
32.00	23.62	1895.53	5.64**	4.89	5-FFF	1.12	2.00	2.00	3.18	5.90	1.94
36.00	24.06	1895.70	5.81**	5.18	5-FFF	1.14	2.00	2.00	3.36	6.02	2.00
40.00	24.47	1895.85	5.96**	5.45	5-FFF	1.15	2.00	2.00	3.53	6.12	2.05

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

Options...

Geometry

Inlet Elevation: 1889.89 m

Outlet Elevation: 1888.72 m

Culvert Length: 23.17 m

Culvert Slope: 0.0506

Inlet Crest: 0.00 m

Inlet Throat: 0.00 m

Outlet Control: Profiles

Plot

***** An unsteady, oscillatory hydraulic jump is possible, but full flow is likely.**

5.2.5. Presentación Estándar. Casos A, B, C , D.

Los valores característicos de la condición de flujo se iluminan en azul.

Casos	DATOS DEL DESBOLE				Geometría estructura de desbole				Parámetros hidráulicos estructura de desbole								
	Q Canal (m³/s)	Q Salida en desbole (m³/s)	Q Salida en canal (m³/s)	Q Salida en estructura (m³/s)	Dimensiones B (m)	Manning n	z (ZH-1V)	S (mm)	Yc (m)	θc (°)	Ac (m²)	Vc (m/s)	Yn (m)	θn (°)	An (m²)	Vn (m/s)	No. Froude
Central Entrada Caso A	11.60	SI	11.60		2.00	0.035	1.0	0.5000	1.22	-	3.94	2.95	0.47	-	1.16	5.1	10.00
Central Entrada Caso B	8.00	SI	8.00		2.00	0.035	1.0	0.0010	0.99	-	2.96	2.70	2.07	-	8.44	0.3	0.86
Central Entrada Caso C	21.29	SI	21.29		2.00	0.035	1.0	0.5000	1.70	-	6.30	3.38	0.87	-	1.78	9.2	11.88
Central Entrada Caso D	21.29	SI	21.29		2.00	0.035	1.0	0.0027	1.70	-	6.30	3.38	2.82	-	12.12	0.4	1.78

Casos	CARACTERÍSTICAS SOBRESISTENTE																
	Ductos	Tipo de Ducto	Código	Materia	Dimensiones D (m)	L (m)	Manning n	z (ZH-1V)	S (mm)	θ (°)	Costo estructura	Costo entubos	Costo cable	Costo Resolm.	H ₁ -1.2H ₂ (m)		
Central Entrada Caso A	1	1	7	2	2.00	23.14	0.014	0.0	0.6565	12	1891.89	1894.90	1891.31	1890.721	3.99	2.40	2.00
Central Entrada Caso B	1	1	7	2	2.00	23.14	0.014	0.0	0.6565	12	1891.89	1894.90	1891.31	1890.721	3.99	2.40	2.00
Central Entrada Caso C	1	1	7	2	2.00	23.14	0.014	0.0	0.6565	12	1891.89	1894.90	1891.31	1890.721	3.99	2.40	2.00
Central Entrada Caso D	1	1	7	2	2.00	23.14	0.014	0.0	0.6565	12	1891.89	1894.90	1891.31	1890.721	3.99	2.40	2.00

Casos	Control de velocidad (obra existente)																					
	Yc (m)	H ₂ (m)	H ₁ (m)	A ₁ (m²)	V ₁ (m/s)	H ₂ (m)	A ₂ (m²)	V ₂ (m/s)	Reynolds	Fr	θ	Fr	θ	Fr	θ	Fr	θ	Fr	θ			
Central Entrada Caso A	1.31	-	3.22	3.25	0.67	-	1.32	3.4	8.71	15.00	0.07249	0.40709	-0.1175	0.02217	-0.0019	0.00004	2.02	Superficial	2.33	1.39	11.41	Completamente
Central Entrada Caso B	1.13	-	2.25	3.40	0.51	-	1.02	3.5	7.80	15.00	0.07249	0.40709	-0.1175	0.02217	-0.0019	0.00004	1.41	Superficial	1.73	0.99	11.41	Completamente
Central Entrada Caso C	2.28	-	4.22	4.71	1.04	-	2.05	3.2	10.24	15.00	0.07249	0.40709	-0.1175	0.02217	-0.0019	0.00004	3.76	Superficial	4.32	2.41	11.41	No Completamente
Central Entrada Caso D	2.28	-	4.22	4.71	1.04	-	2.05	3.2	10.24	15.00	0.07249	0.40709	-0.1175	0.02217	-0.0019	0.00004	3.76	Superficial	4.32	2.41	11.41	No Completamente

Casos	Control de inundación (obra existente)																					
	Yc (m)	H ₂ (m)	H ₁ (m)	A ₁ (m²)	V ₁ (m/s)	H ₂ (m)	A ₂ (m²)	V ₂ (m/s)	Reynolds	Fr	θ	Fr	θ	Fr	θ	Fr	θ	Fr	θ			
Central Entrada Caso A	0.47	1.75	3.22	1.32	0.40	0.40	1.17	0.40	1.55	2.97	7.17	3.29	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente
Central Entrada Caso B	2.07	2.07	1.02	1.02	0.34	1.17	0.40	1.24	2.10	3.21	6.92	3.21	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente
Central Entrada Caso C	0.87	2.12	4.02	2.02	0.51	1.17	0.40	2.14	3.22	9.82	9.82	4.81	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente
Central Entrada Caso D	2.82	2.82	4.02	2.02	0.51	1.17	0.40	2.14	3.22	10.11	10.11	3.23	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente	11.41	No Completamente

El siguiente es el resumen de los resultados obtenidos para cada caso, mediante el modelo HY-8 y el formato de Presentación Estándar.

CASO A

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	2,38	2,38
Y_n	0,66	0,67
Y_c	1,51	1,51
TW	0,47	0,47
V_{TW}	10,0	10,0

CASO B

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	1,78	1,78
Y_n	0,51	0,51
Y_c	1,18	1,18
TW	2,90	2,07
V_{TW}	1,13	0,95

CASO C

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	4,82	4,82
Y_n	1,04	1,04
Y_c	2,00	2,26
TW	0,67	0,67
V_{TW}	11,99	11,99

CASO D

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	4,82	4,82
Y_n	1,04	1,04
Y_c	2,00	2,26
TW	2,62	2,62
V_{TW}	1,76	1,76

Como se observa, para todos los casos se obtuvieron los mismos valores para H_w . Para el caso B con la salida sumergida, los resultados se deben corregir calculando el perfil de flujo por el método del paso estándar, como se indicó anteriormente. Para los casos C y D, el Y_c presenta diferencias debido a la sumergencia que se presenta a la entrada, sin embargo, éstas diferencia respecto del Y_n no determinan la relación H_w/D que caracteriza la condición de control.

5.3. Ejemplos Casos Control a la Salida.

En el análisis de los Casos A, B, C, D y E con control a la salida, para las dos metodologías (HY-8 y Presentación Estándar) se empleó una alcantarilla con la misma geometría y pendiente, realizando variaciones en la longitud para lograr las condiciones de flujo en cada caso; la geometría en el canal de descole se mantuvo para cada caso con variaciones en la pendiente; y con caudal diferente para los casos A, B y E, excepto los casos C y D.

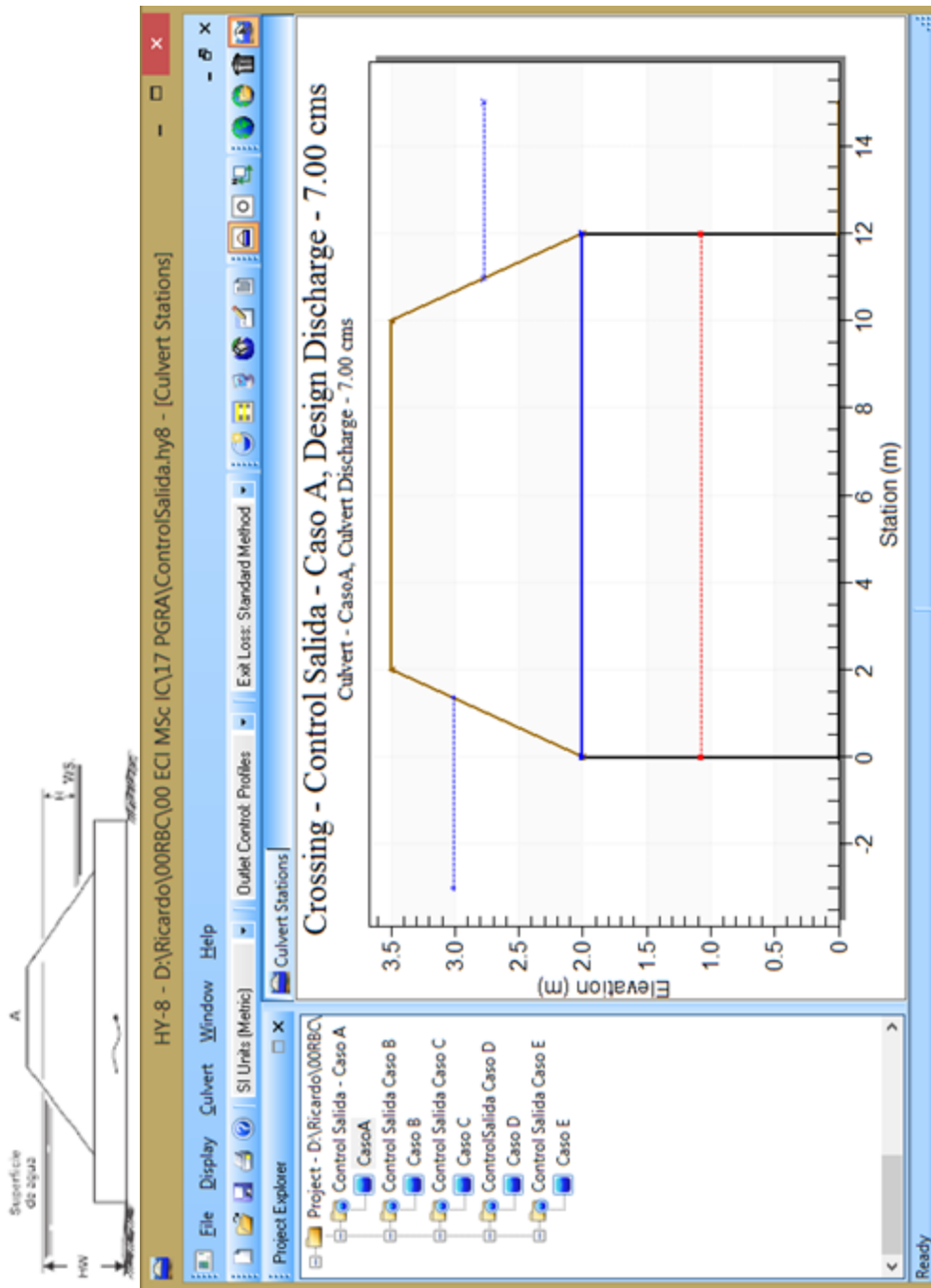
A continuación se presentan la figura y tablas del modelo HY-8 y las tablas de introducción de datos y análisis de la Presentación Estándar.

Como se observa, en ninguno de los casos se obtuvieron los mismos resultados para H_w , aunque sí muy aproximados a los obtenidos con el HY-8, debido a las condiciones de flujo en la alcantarilla bajo las condiciones de control a la salida, donde hay variaciones en su funcionamiento, con flujo lleno y parcialmente lleno. El resultado se debe corregir calculando en perfil de flujo por el método del paso estándar.

Al final del numeral se presentan los resultados por medio del modelo HY-8 y de la Presentación Estándar.

5.3.1. Ejemplo Caso A – Condición de Flujo con Control a la Salida.

Este es un caso con entrada y salida sumergidas, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,0001$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 7,0$ m³/s; se desarrolla flujo a presión en toda la longitud del conducto.



Ingreso de datos.

Crossing Data - Control Salida - Caso A

Crossing Properties
Name: **Control Salida - Caso A**

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	7.00	cms
Maximum Flow	30.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	6.00	m
Side Slope (H:V)	0.20	:1
Channel Slope	0.0001	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	0.00	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	8.00	m
Crest Elevation	3.50	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	8.00	m

Culvert Properties
Name: **Caso A**

Add Culvert
Duplicate Culvert
Delete Culvert

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	Caso A	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	0.00	m
Outlet Station	12.00	m
Outlet Elevation	0.00	m
Number of Barrels	1	

Energy Dissipation
Analyze Crossing
OK
Cancel

Help
Click on any icon for help on a specific topic

Resultados HY-8 resaltados en azul. Ver resumen al final del numeral.

Culvert Summary Table - CasoA

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	3.00	1.65	0.94	1.65	8-H2t	NA	0.61	1.58	1.58	0.95	0.30
6.00	6.00	2.68	1.50	2.68	4-FFF	NA	0.97	2.00	2.50	1.50	0.37
7.00	7.00	3.01	1.67	3.01	4-FFF	NA	1.08	2.00	2.78	1.75	0.38
12.00	5.30	4.13	1.38	4.13	4-FFF	NA	0.89	2.00	4.00	1.33	0.44
15.00	3.18	4.69	0.98	4.70	4-FFF	NA	0.64	2.00	4.65	0.80	0.47
18.00	2.74	5.28	0.89	5.29	4-FFF	NA	0.58	2.00	5.26	0.69	0.49
21.00	2.86	5.85	0.91	5.87	4-FFF	NA	0.59	2.00	5.83	0.71	0.50
24.00	2.97	6.39	0.93	6.41	4-FFF	NA	0.61	2.00	6.37	0.74	0.52
27.00	3.08	6.91	0.96	6.93	4-FFF	NA	0.62	2.00	6.89	0.77	0.53
30.00	3.18	7.41	0.98	7.43	4-FFF	NA	0.64	2.00	7.39	0.79	0.54

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

Geometry

Inlet Elevation: 0.00 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Culvert Length: 12.00 m

Culvert Slope: 0.0000

Inlet Crest: 0.00 m

Inlet Throat: 0.00 m

Plot

Outlet Control: Profiles

Options...

Energy Dissipation...

Export Report

Adobe PDF (*.pdf)

Close

Help

Flow Types...

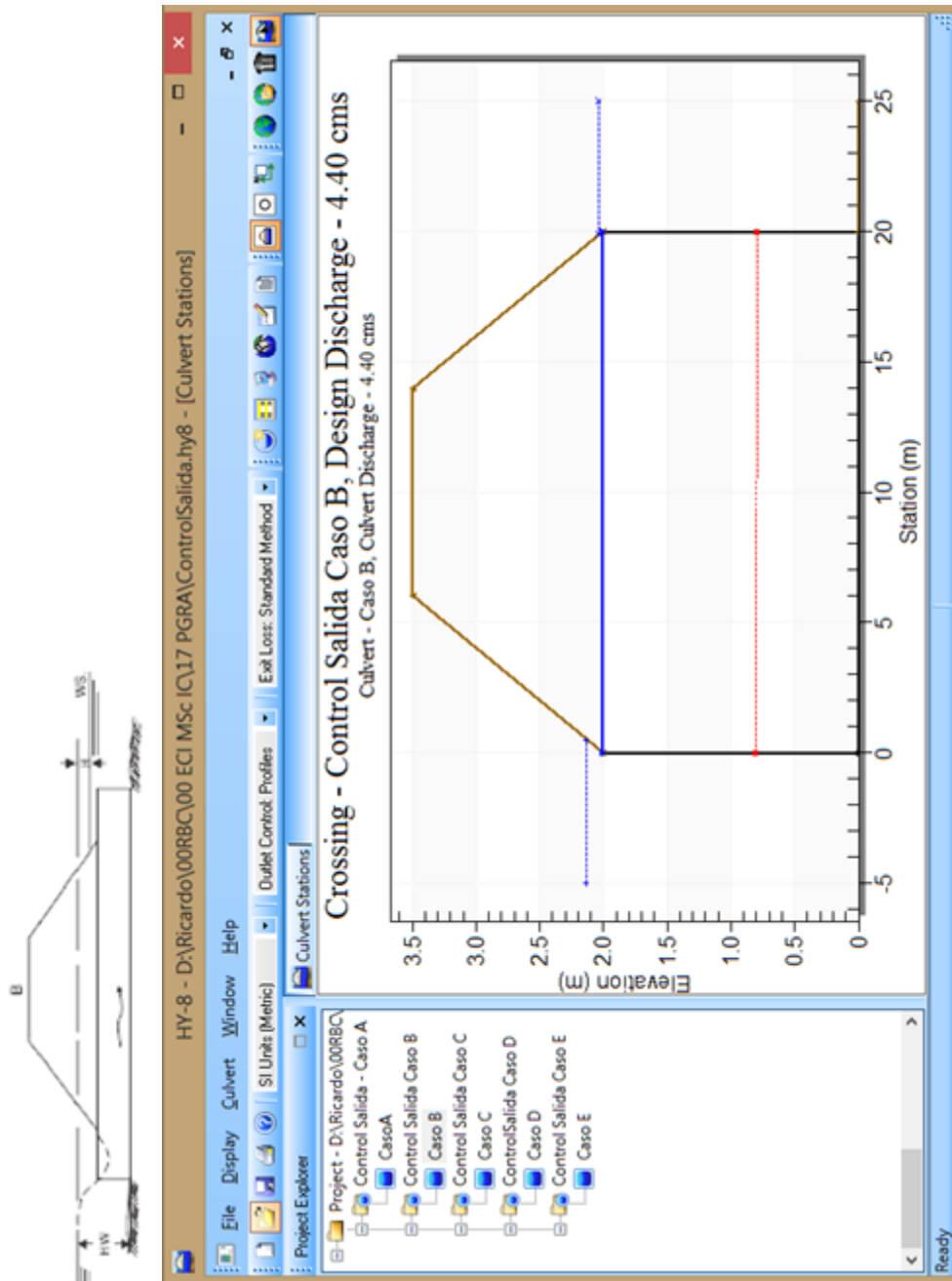
Edit Input Data...

Export Report

Adobe PDF (*.pdf)

Close

5.3.2. Ejemplo Caso B – Condición de Flujo con Control a la Salida.



Este es un caso con entrada no sumergida y salida sumergida, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,0001$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 4,40$ m³/s; la altura de la lámina de agua en la entrada es poco profunda, de forma que la estructura de encole sobresale por las contracciones de flujo que se presentan en la entrada de la alcantarilla.

Ingreso de datos.

Crossing Data - Control Salida Caso B

Crossing Properties

Name: Control Salida Caso B

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	4.40	cms
Maximum Flow	30.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	6.00	m
Side Slope (H:V)	0.20	_:1
Channel Slope	0.0001	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	0.00	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	8.00	m
Crest Elevation	3.50	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	8.00	m

Culvert Properties

Caso B

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	Caso B	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	0.01	m
Outlet Station	20.00	m
Outlet Elevation	0.00	m
Number of Barrels	1	

Click on any icon for help on a specific topic

Resultados HY-8 resaltados en azul. Ver resumen al final del numeral.

Culvert Summary Table - Caso B

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	0.01	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	3.00	1.65	0.94	1.64	3-M1t	1.35	0.61	1.58	1.58	0.95	0.30
4.40	4.40	2.13	1.22	2.12	4-FFF	2.00	0.79	2.00	2.03	1.10	0.34
9.00	9.00	3.70	1.99	3.69	4-FFF	2.00	1.27	2.00	3.29	2.25	0.41
12.00	13.34	3.70	2.76	4.89	4-FFF	2.00	1.65	2.00	4.00	3.33	0.44
15.00	18.00	4.65	3.87	6.28	4-FFF	2.00	2.00	2.00	4.65	4.50	0.47
18.00	21.00	5.26	4.78	7.48	4-FFF	2.00	2.00	2.00	5.26	5.25	0.49
21.00	23.88	5.83	5.79	8.71	4-FFF	2.00	2.00	2.00	5.83	5.97	0.50
24.00	25.30	6.37	6.36	9.61	4-FFF	2.00	2.00	2.00	6.37	6.33	0.52
27.00	26.50	6.89	6.88	10.44	4-FFF	2.00	2.00	2.00	6.89	6.62	0.53
30.00	27.60	7.39	7.38	11.24	4-FFF	2.00	2.00	2.00	7.39	6.90	0.54

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

Options...

Geometry

Inlet Elevation: 0.01 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Culvert Length: 20.00 m

Culvert Slope: 0.0005

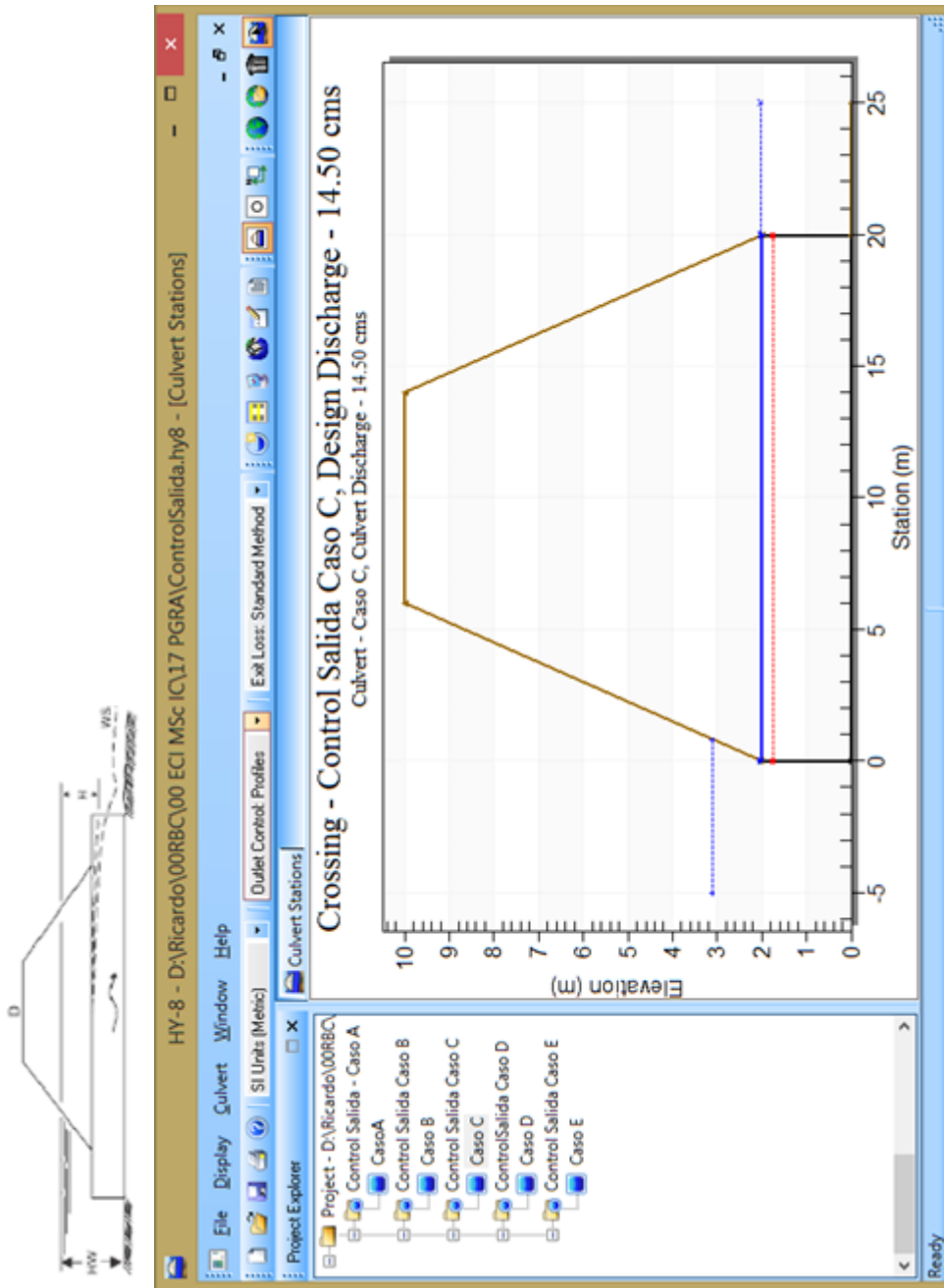
Inlet Crest: 0.00 m

Inlet Throat: 0.00 m

Outlet Control: Profiles

Plot

5.3.3. Ejemplo Caso C – Condición de Flujo con Control a la Salida.



Este es un caso inusual con entrada sumergida y salida no sumergida, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,0011$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 14,50$ m³/s; si la cabeza es muy alta se presenta flujo lleno en toda la longitud de la alcantarilla y se generan velocidades muy altas a la salida.

Ingreso de datos.

Crossing Data - Control Salida Caso C

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	14.50	cms
Maximum Flow	40.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	6.00	m
Side Slope (H:V)	0.20	_:1
Channel Slope	0.0011	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	0.00	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	8.00	m
Crest Elevation	10.00	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	8.00	m

Culvert Properties

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	Caso C	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	0.01	m
Outlet Station	20.00	m
Outlet Elevation	0.00	m
Number of Barrels	1	

Resultados HY-8 resaltados en azul. Ver resumen al final del numeral.

Culvert Summary Table - Caso C

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	0.01	0.00	0.0	0-MF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	4.00	1.28	1.14	1.27	3-M2t	1.70	0.74	0.87	0.87	2.29	0.74
8.00	8.00	2.01	1.83	2.00	3-M2t	2.00	1.18	1.37	1.37	2.93	0.93
12.00	12.00	2.63	2.50	2.62	3-M2t	2.00	1.54	1.79	1.79	3.36	1.06
14.50	14.50	3.09	3.01	3.08	4-FFF	2.00	1.75	2.00	2.03	3.62	1.12
20.00	20.00	4.54	4.46	4.53	4-FFF	2.00	2.00	2.00	2.51	5.00	1.22
24.00	24.00	5.84	5.83**	5.75	5-FFF	2.00	2.00	2.00	2.84	6.00	1.29
28.00	28.00	7.57	7.56**	7.12	5-FFF	2.00	2.00	2.00	3.15	7.00	1.34
32.00	32.00	9.58	9.57**	8.63	5-FFF	2.00	2.00	2.00	3.45	8.00	1.39
36.00	33.38	10.34	10.33**	9.37	5-FFF	2.00	2.00	2.00	3.74	8.34	1.43
40.00	33.83	10.60	10.59**	9.81	5-FFF	2.00	2.00	2.00	4.01	8.46	1.47

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

Options...

Geometry

Inlet Elevation: 0.01 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Culvert Length: 20.00 m

Culvert Slope: 0.0005

Inlet Crest: 0.00 m

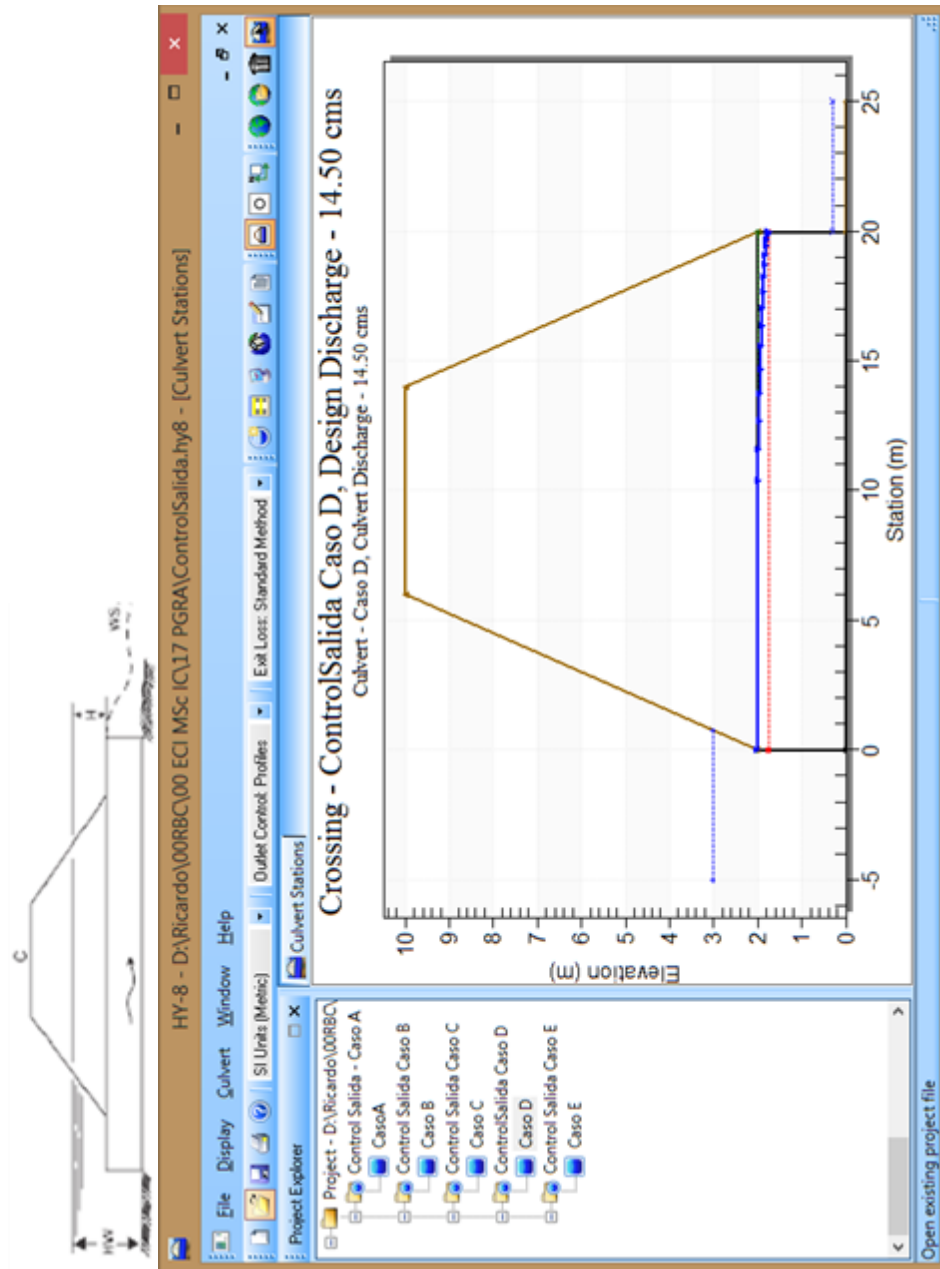
Inlet Throat: 0.00 m

Outlet Control: Profiles

Plot

** An unsteady, oscillatory hydraulic jump is possible, but full flow is likely.

5.3.4. Ejemplo Caso D – Condición de Flujo con Control a la Salida.



Este es el caso más común, con entrada sumergida y salida no sumergida, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,5$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 14,50$ m³/s; si la profundidad de la lámina de agua a la salida es muy baja se presenta flujo libre, dejando una parte del la alcantarilla en flujo parcialmente lleno y pasando por la profundidad crítica en la salida.

Ingreso de datos.

Crossing Data - ControlSalida Caso D

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	14.50	cms
Maximum Flow	40.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	6.00	m
Side Slope (H:V)	0.20	1:1
Channel Slope	0.5000	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	0.00	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	8.00	m
Crest Elevation	10.00	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	8.00	m

Culvert Properties

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	Caso D	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	0.01	m
Outlet Station	20.00	m
Outlet Elevation	0.00	m
Number of Barrels	1	

Click on any icon for help on a specific topic

Resultados HY-8 resaltados en azul. Ver resumen al final del numeral.

Culvert Summary Table - Caso D

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	0.01	0.00	0.0	0-1NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	4.00	1.27	1.14	1.26	2-M2c	1.70	0.74	0.74	0.13	2.70	5.07
8.00	8.00	2.00	1.83	1.99	2-M2c	2.00	1.18	1.18	0.20	3.40	6.64
12.00	12.00	2.61	2.50	2.60	7-M2c	2.00	1.54	1.54	0.26	3.89	7.75
14.50	14.50	3.02	3.01	3.00	7-M2c	2.00	1.75	1.75	0.29	4.14	8.32
20.00	20.00	4.47	4.46	4.02	6-FFc	2.00	2.00	2.00	0.35	5.00	9.39
24.00	24.00	5.84	5.83	4.91	6-FFc	2.00	2.00	2.00	0.39	6.00	10.05
28.00	28.00	7.57	7.56	5.97	6-FFc	2.00	2.00	2.00	0.43	7.00	10.64
32.00	32.00	9.58	9.57	7.18	6-FFc	2.00	2.00	2.00	0.47	8.00	11.18
36.00	33.38	10.34	10.33	7.64	6-FFc	2.00	2.00	2.00	0.51	8.34	11.67
40.00	33.83	10.60	10.59	7.80	6-FFc	2.00	2.00	2.00	0.54	8.46	12.12

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

Options...

Geometry

Inlet Elevation: 0.01 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Culvert Length: 20.00 m

Culvert Slope: 0.0005

Inlet Crest: 0.00 m

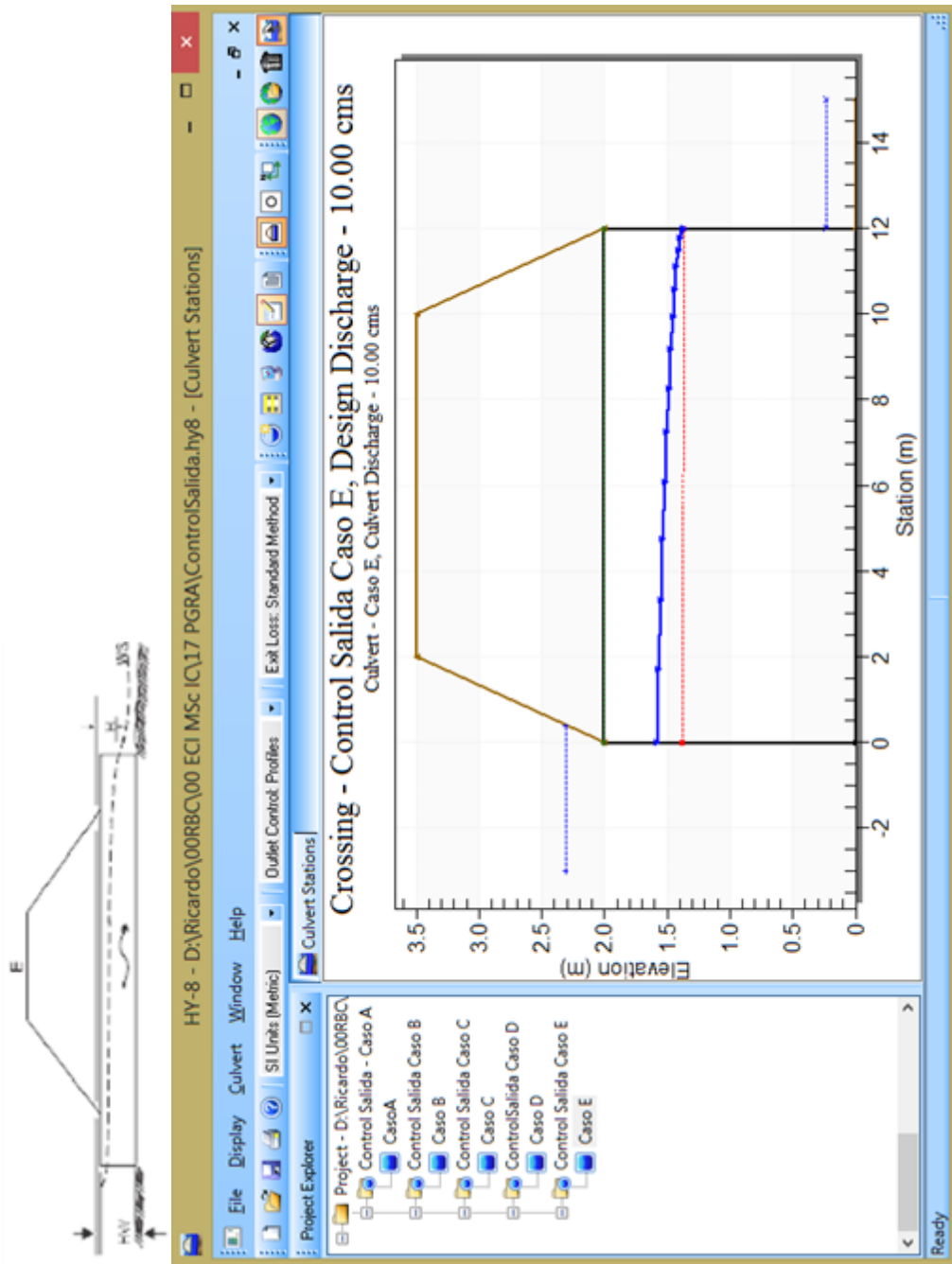
Inlet Throat: 0.00 m

Outlet Control: Profiles

Plot

~ Inlet control is shown, but flow profile is substantially FF.

5.3.5. Ejemplo Caso E – Condición de Flujo con Control a la Salida.



Este caso también es común, con entrada y salida no sumergidas, para una alcantarilla cajón de 2,0 m x 2,0 m, con una pendiente $S_o = 0,5$ m/m, trabajando para un caudal de $Q = 10,0$ m³/s; se presenta flujo subcrítico y toda la alcantarilla fluye parcialmente llena.

Ingreso de datos.

Crossing Data - Control Salida Caso E

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	10.00	cms
Maximum Flow	30.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	6.00	m
Side Slope (H:V)	0.20	_:1
Channel Slope	0.5000	m/m
Manning's n (channel)	0.0350	
Channel Invert Elevation	0.00	
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	8.00	m
Crest Elevation	3.50	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	8.00	m

Culvert Properties

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	Caso E	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.00	mm
Rise	2000.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0140	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge (30-75° flare) Wingwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	0.01	m
Outlet Station	12.00	m
Outlet Elevation	0.00	m
Number of Barrels	1	

Resultados HY-8 resaltados en azul. Ver resumen al final del numeral.

Culvert Summary Table - Caso E

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	0.01	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	3.00	1.04	0.94	1.03	2-M2C	1.11	0.61	0.61	0.11	2.45	4.53
6.00	6.00	1.64	1.50	1.63	2-M2C	2.00	0.97	0.97	0.17	3.09	5.94
9.00	9.00	2.15	1.99	2.14	7-M2C	2.00	1.27	1.27	0.21	3.53	6.94
10.00	10.00	2.30	2.15	2.29	7-M2C	2.00	1.37	1.37	0.23	3.66	7.23
15.00	15.00	3.13	3.12 ~	3.03	7-M2C	2.00	1.79	1.79	0.29	4.19	8.43
18.00	17.17	3.66	3.65 ~	3.41	7-M2C	2.00	1.96	1.96	0.33	4.38	9.03
21.00	17.97	3.87	3.86	3.55	6-FFC	2.00	2.00	2.00	0.36	4.49	9.57
24.00	18.59	4.05	4.04	3.66	6-FFC	2.00	2.00	2.00	0.39	4.65	10.05
27.00	19.12	4.20	4.19	3.75	6-FFC	2.00	2.00	2.00	0.42	4.78	10.50
30.00	19.60	4.34	4.33	3.84	6-FFC	2.00	2.00	2.00	0.45	4.90	10.92

Display

Crossing Summary Table

Culvert Summary Table

Water Surface Profiles

Tapered Inlet Table

Customized Table

Options...

Geometry

Inlet Elevation: 0.01 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Culvert Length: 12.00 m

Culvert Slope: 0.0008

Inlet Crest: 0.00 m

Inlet Throat: 0.00 m

Outlet Control: Profiles

Plot

~ Inlet control is shown, but flow profile is substantially FF.

5.3.6. Presentación Estándar. Casos A, B, C, D y E.

Los valores característicos de la condición de flujo se iluminan en azul y verde.

DATOS DEL BOCLE										Geometría estructura de desbore										Parámetros Hidráulicos estructura de desbore									
Cazados	Q. sum. (m³/s)	Estructura en las pilas SI/NO	Q. salida (m³/s)	Q. salida en las pilas (m³/s)	Q. total (m³/s)	Dimensiones		Manning n	z (24-1V)	S (mm)	Vc (m)	βc (°)	Ac (m²)	Vc (m/s)	Vn (m)	βn (°)	An (m²)	No. Froude	Vn (m/s)										
						S (m)	L (m)																						
Central Salidas C.A.M. A	7.00	SI	7.00	7.00	7.00	6.00	0.035	0.2	0.0001	0.51	-	3.14	2.23	2.78	-	18.21	0.1	0.28											
Central Salidas C.A.M. B	4.40	SI	4.40	4.40	4.40	6.00	0.035	0.2	0.0001	0.38	-	2.30	1.91	2.03	-	13.03	0.1	0.24											
Central Salidas C.A.M. C	14.50	SI	14.50	14.50	14.50	6.00	0.035	0.2	0.0011	0.83	-	5.14	2.82	2.03	-	12.96	0.3	1.12											
Central Salidas C.A.M. D	14.50	SI	14.50	14.50	14.50	6.00	0.035	0.2	0.5000	0.83	-	5.14	2.82	0.28	-	1.74	5.0	8.22											
Central Salidas C.A.M. E	10.00	SI	10.00	10.00	10.00	6.00	0.035	0.2	0.5000	0.65	-	4.00	2.50	0.23	-	1.38	4.8	7.23											

CARACTERÍSTICAS OBRAS EXISTENTE																			
Cazados	Ductos	Tipo de Ducto	Código	Módulo	Dimensiones				Manning n	z (24-1V)	S (mm)	Estructura de encaje		Cota sobre cote	Cota sobre cote	Cota sobre cote	Recurrim. (m)	H ₁ =1.2 H ₂ (m)	H ₂ (m)
					S (m)	D (m)	L (m)	S (mm)				S (mm)							
Central Salidas C.A.M. A	1	1	7	2	2.00	2.00	12.00	0.014	0.0	0.0040	12	1891.89	1891.87	1891.89	1891.87	1891.842	1.52	2.40	2.00
Central Salidas C.A.M. B	1	1	7	2	2.00	2.00	20.00	0.014	0.0	0.0005	12	1891.89	1891.89	1891.89	1891.89	1891.89	1.51	2.40	2.00
Central Salidas C.A.M. C	1	1	7	2	2.00	2.00	20.00	0.014	0.0	0.0005	12	1891.89	1891.89	1891.89	1891.89	1891.89	8.01	2.40	2.00
Central Salidas C.A.M. D	1	1	7	2	2.00	2.00	20.00	0.014	0.0	0.0005	12	1891.89	1891.89	1891.89	1891.89	1891.89	8.01	2.40	2.00
Central Salidas C.A.M. E	1	1	7	2	2.00	2.00	12.00	0.014	0.0	0.0005	12	1891.89	1891.89	1891.89	1891.89	1891.89	1.50	2.40	2.00

Control de la salida de obras existentes																				
Cazados	V ₁ (m)	β ₁ (°)	A ₁ (m²)	No. Froude	V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	V ₃ (m/s)	V ₄ (m/s)	V ₅ (m/s)	V ₆ (m/s)	V ₇ (m/s)	V ₈ (m/s)	V ₉ (m/s)	V ₁₀ (m/s)	V ₁₁ (m/s)	V ₁₂ (m/s)	V ₁₃ (m/s)	V ₁₄ (m/s)	V ₁₅ (m/s)	V ₁₆ (m/s)
Central Salidas C.A.M. A	1.09	-	2.15	2.25	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
Central Salidas C.A.M. B	0.79	-	1.85	2.75	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84
Central Salidas C.A.M. C	1.73	-	2.50	4.14	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
Central Salidas C.A.M. D	1.73	-	2.50	4.14	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
Central Salidas C.A.M. E	1.27	-	2.73	2.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85

Control de la salida de obras existentes																				
Cazados	I ₁₆ (m)	I ₁₇ (m)	I ₁₈ (m)	I ₁₉ (m)	I ₂₀ (m)	V ₁₆ (m/s)	V ₁₇ (m/s)	V ₁₈ (m/s)	V ₁₉ (m/s)	V ₂₀ (m/s)	R ₁₆ (m)	R ₁₇ (m)	R ₁₈ (m)	R ₁₉ (m)	R ₂₀ (m)	R ₂₁ (m)	R ₂₂ (m)	R ₂₃ (m)	R ₂₄ (m)	R ₂₅ (m)
Central Salidas C.A.M. A	2.78	2.78	2.78	4.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Central Salidas C.A.M. B	2.03	2.03	2.03	3.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
Central Salidas C.A.M. C	2.03	2.03	2.03	13.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23
Central Salidas C.A.M. D	0.29	1.85	1.85	13.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23
Central Salidas C.A.M. E	0.23	1.85	1.85	9.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25

El siguiente es el resumen de los resultados obtenidos para cada caso, mediante el modelo HY-8 y el formato de Presentación Estándar.

CASO A

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	3,01	2,981
Y_n	NA	1,17
Y_c	1,08	1,08
TW	2,78	2,78
V_{TW}	0,38	0,38

CASO B

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	2,13	2,076
Y_n	2,00	1,84
Y_c	0,79	0,79
TW	2,03	2,03
V_{TW}	0,34	0,34

CASO C

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	3,09	2,140
Y_n	2,00	5,11
Y_c	1,75	1,75
TW	2,03	2,03
V_{TW}	1,12	1,12

CASO D

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	3,02	3,569
Y_n	2,00	5,11
Y_c	1,75	1,75
TW	0,29	0,29
V_{TW}	8,32	8,32

CASO E

Parámetro	HY-8	FORMATO
H_w	2,30	2,999
Y_n	2,00	3,68
Y_c	1,37	1,37
TW	0,23	0,23
V_{TW}	7,23	7,23

Como se observa, en ninguno de los casos se obtuvieron los mismos resultados para H_w , aunque sí muy aproximados a los obtenidos con el HY-8, debido a las condiciones de flujo

en la alcantarilla reguladas por el control a la salida, donde hay variaciones en su funcionamiento, con flujo lleno y parcialmente lleno. Los resultados se deben corregir calculando en perfil de flujo por el método del paso estándar.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

1. De acuerdo con los ejercicios resueltos, se estimó un tiempo inferior en la introducción de los datos en el formato estándar comparado con el tiempo empleado en la introducción de los datos en el modelo HY-8. Para el caso de alcantarillas existentes, se pueden introducir las cotas clave de entrada y salida del conducto y en el caso de alcantarillas nuevas se puede definir cotas o pendiente según se requiera, en comparación con el programa HY-8 que solo ofrece la opción de introducir las cotas.
2. Es importante mencionar que el modelo HY-8 permite analizar diferentes tipos de disipadores de energía, frente al formato estándar que facilita la implementación de una estructura escalonada en la salida de las alcantarillas evaluadas o dimensionadas.
3. La metodología empleada en la hoja de cálculo, contrasta con la utilidad que presta el programa HY-8, de analizar el funcionamiento hidráulico de cada alcantarilla más allá de su dimensionamiento, pues se dispone de las curvas de rendimiento y de la posibilidad de diseñar disipadores internos y externos al conducto.
4. La presentación del formato permite listar en el orden del abscisado del proyecto vial, la totalidad de las obras menores existentes y proyectadas, permitiendo dimensionar las alcantarillas que requieran ser reemplazadas, sin alterar el orden de las mismas. Con el modelo HY-8, no se obtiene cuadro resumen de obras del proyecto.
5. Con el formato se pueden filtrar los datos para ser empleados en la elaboración de cuadros descriptivos para cada tipo de alcantarilla, los cuales se pueden exportar a planos en formato AutoCAD como cajetines de información.
6. Con la opción de filtro, se tiene una base de datos para la determinación de cantidades de obra.

7. A partir de lo expuesto en los puntos 5 y 6, se reduce el tiempo de elaboración de planos y de obtención de las cantidades de obra y presupuesto.
8. Dentro del Formato Estándar de la alcantarilla con control a la salida, se puede incluir otro tipo de pérdidas que no han sido considerados en este trabajo, como curvas (en caso que el alineamiento horizontal de la alcantarilla lo requiera) o uniones con otra alcantarilla afluente. Estos casos se pueden presentar en zonas de grandes terraplenes.
9. Las diferencias que se presentan en algunos de los resultados y que son pequeñas, en comparación con los obtenidos a través del modelo HY-8, se deben a que las formulaciones que se emplean, se resuelven de manera gráfica en nomogramas que han sido elaborados para alcantarillas con pendiente del 2%.
10. Para la condición de control a la salida en alcantarillas cortas con sumergencia de la entrada $H_w/D > 1,2$ y profundidad de salida menor a la altura o diámetro de la alcantarilla ($< D$) y en alcantarillas sin sumergencia a la entrada, $H_w/D < 1,2$ y salida libre con pendiente de flujo subcrítica, los valores de H_f no son los reales y deberán corregirse mediante el cálculo del perfil hidráulico por el método del paso estándar, dado que el cálculo de las pérdidas por fricción H_f , solo se estima para cuando hay flujo a presión.
11. En comparación con el HY-8, para evaluar desborde sobre la vía de acuerdo con todas las consideraciones que sean necesarias, se deben realizar los ajustes que sean del caso en la hoja electrónica de Presentación Estándar.
12. En comparación con el HY-8, no se consideran secciones diferentes a la circular y rectangular, en razón de ser las más construidas en el país.
13. La hoja electrónica para dimensionamiento, se puede enlazar con hojas de cálculo de parámetros hidrológicos para la determinación de caudales y con hojas de cálculo que contengan inventarios de obras.

Capítulo VII

Bibliografía

1. Chow, V. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá D.C. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A.
2. Federal Highway Administration. (1985a). *Hydraulic Design of Highway Culverts. Hydraulic Design Series Number 5 (HDS 5)*, Norman, J. Houghtalen, J. Johnston, W. Virginia. Recuperado de <http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/015808.pdf> el 15 de agosto 2015.
3. Federal Highway Administration. (1999b). *Hydrain-Integrated Drainage Design Computer System. Volume V. HY8-Culverts*. Washington D.C.
4. Federal Highway Administration. (2001c). *Introduction to Highway Hydraulics. Hydraulic Design Series Number 4 (HDS 4)*. Schall, J. Richardson, E. Morris, J. Washington, D.C. Recuperado de http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/08090/HDS4_608.pdf el 15 de agosto 2015.
5. Federal Highway Administration. (2001d). *Urban Drainage Design Manual. Hydraulic Engineering Circular No. 22 (HEC 22)*. Brown, S. Stein, S. Warner, J. Recuperado de <http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/010593.pdf> el 15 de agosto 2015.
6. Henderson, F. M. (1966). *Open Channel Flow*. New York. Macmillan Publishing Co. Inc.
7. Instituto Nacional de Vías. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*.
8. Novak, P. Moffat, A. Nalluri, C. (2001). Drenaje transversal y estructuras de caída. En *Estructuras Hidráulicas* (pp. 357-363). Bogotá D.C. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A.

9. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. (2010). *HEC-RAS River Analysis System-Hydraulic Reference Manual Version 4.1*. Recuperado de http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf el 15 de agosto 2015.
10. USBR - United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation. (1987). *Design of Small Dams*. Water Resources Technical Publication.
11. USGS-United States Geological Survey Water-Supply. (1984). *Metric Version Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. Paper 2339. Recuperado de <http://www.fhwa.dot.gov/BRIDGE/wsp2339.pdf> el 15 de agosto de 2015.

Anexo 1

Formato Estándar para Evaluación y Diseño de Alcantarillas

EVALUACIÓN DE ALCANTARILLAS EXISTENTES Y DIMENSIONAMIENTO DE ALCANTARILLAS PROPUESTAS.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	
DATOS DE LOCALIZACIÓN				CAUDAL				DATOS DEL DESCOLE				Geometría estructura de descole					Parámetros hidráulicos estructura de descole										
Nº Obra	Calzada	Abscisa	ID GPS	No. de cuenca	Q ₂₅ (m³/s)	Q ₅₀ (m³/s)	Q ₁₀₀ (m³/s)	Q Diseño (m³/s)	¿Estructura en la salida? SI/NO	Q salida alcantarilla (m³/s)	Q adicional en descole (m³/s)	Q total (m³/s)	Dimensiones			Manning n	z (zH:1V)	S (m/m)	Y _c (m)	θ _c (°)	A _c (m²)	V _c (m/s)	Y _n (m)	θ _n (°)	A _n (m²)	No. Froude	V _n (m/s)
													B (m)	D o H (m)	L (m)												

(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)	(41)	(42)	(43)	(44)	(45)	(46)	(47)	
CARACTERÍSTICAS OBRA EXISTENTE																				
Ductos	Tipo de Obra			Código 1,2,3,7,8,9,10	Material	Dimensiones			Manning n	z (zH:1V)	S (m/m)	Estructura de entrada 1 a 16	Cota entrada clave	Cota eje		Cota salida clave	Recubrim. (m)	H ₁ = 1,2 H (m)	H ₂ (m)	
	Circular	Cajón	Puente Pontón			B (m)	D o H (m)	L (m)						Rasante	Clave					

(48)	(49)	(50)	(51)	(52)	(53)	(54)	(55)	(56)	(57)	(58)	(59)	(60)	(61)	(62)	(63)	(64)	(65)	(66)	(67)	(68)	(69)	
Control a la entrada (obra existente)																						
Y _c (m)	θ _c (°)	A _c (m²)	V _c (m/s)	Y _n (m)	θ _n (°)	A _n (m²)	No. Froude	V _n (m/s)	V _{máx} (m/s)	a	b	c	d	e	f	F	Estado de flujo	H _w (m)	H _w /D (m)	Q _{lleno} (m³/s)	Evaluación hidráulica	

(70)	(71)	(72)	(73)	(74)	(75)	(76)	(77)	(78)	(79)	(80)	(81)	(82)	(83)	(84)	(85)
Control a la salida (obra existente)														Estado de funcionamiento de la obra existente para $Q_{\text{Diseño}}$	Recomendaciones sobre cruce y obra de arte existente
T_w (m)	h_0 (m)	P_h (m)	A_h (m ²)	R_h (m)	V (m/s)	H_f (m)	K_e	H_e (m)	H_s (m)	H_w (m)	H_w/D (m)	Q_{lleno} (m ³ /s)	Evaluación hidráulica		

(86)	(87)	(88)	(89)	(90)	(91)	(92)	(93)	(94)	(95)	(96)	(97)	(98)	(99)	(100)	(101)	(102)	(103)	(104)	(105)		
CARACTERÍSTICAS OBRA PROPUESTA																					
Ductos	Tipo de Obra			Código 1,2,3,7,8,9,10	Material	Dimensiones			Manning n	z (zH:1V)	S (m/m)	Estructura de entrada 1 a 16	Cota entrada clave	Cota eje		Cota salida clave	Recubrim. (m)	$H_1 = 1,2 H$ (m)	H_2 (m)		
	Circular	Cajón	Puente Pontón			B (m)	D o H (m)	L (m)						Rasante	Clave						

(106)	(107)	(108)	(109)	(110)	(111)	(112)	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)	(119)	(120)	(121)	(122)	(123)	(124)	(125)	(126)	(127)	
Control a la entrada (obra propuesta)																						
Y_c (m)	θ_c (°)	A_c (m ²)	V_c (m/s)	Y_n (m)	θ_n (°)	A_n (m ²)	No. Froude	V_n (m/s)	$V_{\text{máx}}$ (m/s)	a	b	c	d	e	f	F	Estado de flujo	H_w (m)	H_w/D (m)	Q_{lleno} (m ³ /s)	Evaluación hidráulica	

(128)	(129)	(130)	(131)	(132)	(133)	(134)	(135)	(136)	(137)	(138)	(139)	(140)	(141)	(142)	(143)
Control a la salida (obra propuesta)														Recomendaciones de diseño de la obra propuesta para $Q_{\text{Diseño}}$	Dimensiones para obra de arte propuesta
T_w (m)	h_0 (m)	P_h (m)	A_h (m ²)	R_h (m)	V (m/s)	H_f (m)	K_e	H_e (m)	H_s (m)	H_w (m)	H_w/D (m)	Q_{lleno} (m ³ /s)	Evaluación hidráulica		

(144) CAJETÍN DE TEXTO PARA PLANO CAD				(145)	(146)	(147)	(148)	(149)	(150)	(151)	(152)	(153)	(154)	(155)	(156)	(157)	(158)	(159)	
				CÁLCULO DE ESTRUCTURA ESCALONADA EN DESCOLE															
Texto 1	Texto 2	Texto 3	Texto 4	Ancho del canal escalonado o rápida B (m)	Altura escalón h (m)	Longitud del escalón o paso b (m)	Caudal Q (m ³ /s)	Pendiente de la rápida o del tramo escalonado S_e (m/m)	Ángulo talud ángulo escalonado θ (°)	Distancia a extremo externo del escalón a (m)	Distancia entre extremos externos del escalón L (m)	Altura de lámina de agua y (m)	Área hidráulica A (m ²)	Perímetro hidráulico P (m)	Radio hidráulico R (m)	$C_{\text{CHÉZY}}$	Velocidad de flujo V (m/s)	Altura mínima de muro H (m)	

Anexo 2

CD