



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

"DISEÑO HIDRÁULICO DE SIFONES"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

LUIS GABRIEL TAPIA GONZÁLEZ

DIRECTOR: M. EN I. PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ

San Juan de Aragón, Edo. de México marzo de 2013.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Con cariño dedico este trabajo de investigación a mi esposa:

***Yolanda** que estuvo siempre en los momentos más difíciles que surgieron en la realización de este trabajo apoyándome incondicionalmente y brindándome aliento para el término de este.*

mis hijas:

***Gabriela** a la cual he visto crecer, observando sus logros por su dedicación y perseverancia .siendo esto una motivación para la conclusión de esta investigación, como también me da la fuerza necesaria para seguir luchando y alcanzar sueños como este.*

*Y **Arisbeth** que aun con su corta edad, persigue sus pequeños objetivos y logra sus metas, aunque simples para uno son enormes para ella, lo que me enseña a conseguir mis objetivos no importándome que tan pequeños les parezcan a los demás mientras sean mis grandes logros personales así como este.*

*A mis queridos padres **Rosa** y **Manuel**, quienes con su esfuerzo y sacrificio me han guiado por el sendero del bien y la superación.*

*A mis **hermanos** que fueron pilares fundamentales de mi formación.*

*A todos y cada uno de los miembros de mi **Familia** que me ayudaron para este fin.*

A G R A D E C I M I E N T O S

A Dios por haberme concedido este logro personal.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, alma mater.

A la Facultad de Estudios Superiores Aragón por formarme profesionalmente.

A mis Profesores quienes con su experiencia y conocimientos sembraron el deseo constante de superación.

Al M. en I. Patrocinio Arroyo Hernández, asesor y amigo, por su tiempo y comentarios hechos en la realización de esta tesis.

I N D I C E

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO

ALCANCES

CAPITULADO

I. CONCEPTOS BASICOS.

- 1.1 Aspectos generales.
- 1.2 Definición.
- 1.3 Elementos constitutivos.
- 1.4 Tipo de tubería a emplear en los sifones.
- 1.5 Normas de proyecto.

II. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO.

- 2.1 Principios de funcionamiento del sifón.
- 2.2 Pérdidas hidráulicas.

III. METODOLOGÍA DE DISEÑO HIDRÁULICO.

IV. APLICACIONES.

- 4.1 Cruce de un arroyo mediante un sifón cuadrado.
- 4.2 Cruce de un camino mediante un sifón cuadrado.
- 4.3 Diseño de un sifón de sección circular.

V. CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCIÓN

En el recorrido de un canal pueden presentarse diversos obstáculos como lo son las depresiones del terreno, las quebradas secas, las vías de comunicación (carreteras, vías férreas, canales), entre otros. Entonces para dar continuidad a los obstáculos arriba mencionados se cruzan mediante el empleo de estructuras especiales que nos permiten la conducción del agua hasta la zona de demanda, ya sea urbana, de riego, de recreación o industrial.

Dentro de estas estructuras de cruce se encuentra el sifón invertido, el cual será el tema del presente trabajo.

Una de las razones que tuve para realizar esta investigación fue que no existe mucha información que nos ayude al cálculo hidráulico de un sifón invertido, por lo que con este estudio se pretende ayudar al mejor entendimiento del funcionamiento hidráulico y físico de dicha estructura, tratando el tema de una forma didáctica y sencilla para quien consulte este material.

OBJETIVO

Presentar una metodología sencilla para el cálculo hidráulico de los sifones invertidos.

ALCANCES

Describiremos los elementos que constituyen un sifón invertido, los tipos y formas de la tubería utilizadas para su construcción, así como las pérdidas que debemos considerar para el diseño de este, realizamos tres ejemplos donde se observa la aplicación de las fórmulas, parámetros y sugerencias que debemos tomar en cuenta al momento del su diseño hidráulico.

En el capítulo I.-"Conceptos básicos ", se exponen ideas elementales que ayudan a comprender los sifones invertidos, tales como sus elementos que los constituyen (principales y secundarios), los tipos de tubería que se usa para su construcción, así también algunas normas de proyecto, para el buen funcionamiento de los mismos.

En el capítulo II.-“Funcionamiento hidráulico”, como su nombre lo indica aquí se presentan los parámetros más importantes a tomar en cuenta en el diseño del tema que nos ocupa.

En el capítulo III.-“Metodología del diseño hidráulico”, se exhibe una serie de técnicas que se recomienda usar para el diseño hidráulico del sifón.

En el capítulo IV.-“Aplicaciones”, se desarrollan tres casos donde se describe lo más detalladamente posible el contenido mencionado en los dos capítulos anteriores que permitirán el diseño hidráulico del sifón.

Finalmente, este trabajo concluye con el **capítulo V.**-“Conclusiones”, donde se manifiestan las resoluciones más importantes del mismo.

I. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 Aspectos Generales

Para conducir el agua hasta la zona de demanda, ya sea urbana, de riego, de recreación o industriales, entre otras, se emplean canales a cielo abierto o tuberías trabajando a presión. En cualquiera de estos dos sistemas es necesario salvar o simplemente cruzar los obstáculos que presenta la configuración del terreno (depresiones y desniveles¹), así como los condicionados por el hombre (tales como caminos, vías de ferrocarril u otros), mediante el empleo de estructuras especiales, conocidas en la literatura técnica con el nombre de **estructuras de cruce**.

Respecto a las conducciones con canales a cielo abierto, se distinguen los diferentes tipos de puente-canal, los túneles, las alcantarillas, los sifones invertidos, etc. A continuación se hará una breve descripción de estas y se dará énfasis a los sifones, por ser el motivo principal de esta investigación.

Puente canal

Son estructuras que permiten la continuidad del canal sosteniéndolo sobre depresiones topográficas, por lo que prácticamente son puentes de corta longitud. Ver Fig. 1.

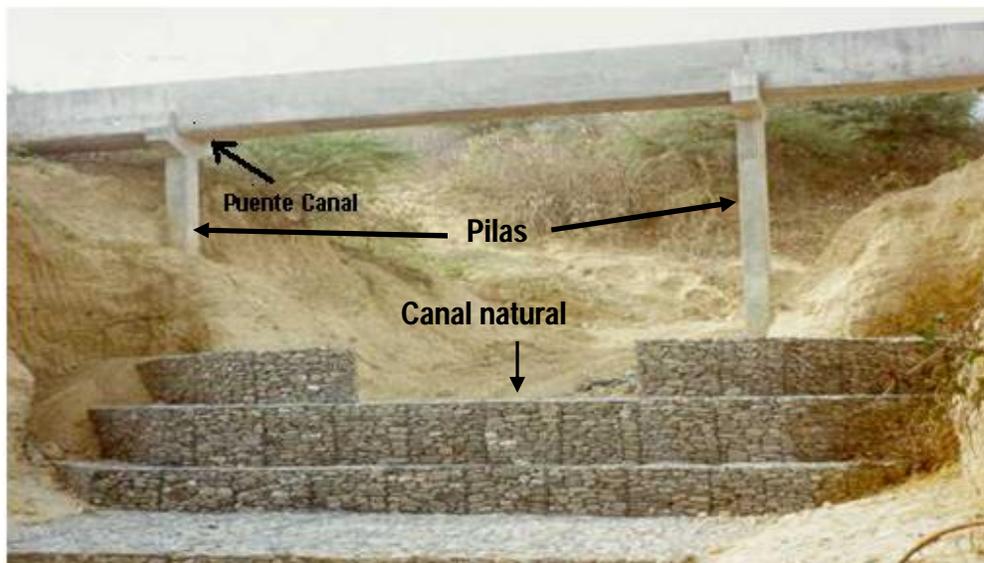


Fig. 1.-Ejemplo de puente canal

¹ Barranca o montañas, respectivamente.

Túneles



Fig. 2.-Ejemplo de túnel.

Se conocen así a las estructuras que permite extender el canal, a través de una abertura subterránea realizada en montículos (cerros, lomas, montañas), también pueden construirse por debajo de un río u otro obstáculo. Su diseño geométrico es tal que permite minimizar el volumen de excavación y ofrecer al mismo tiempo la mayor área hidráulica posible. Ver Fig. 2.

Las alcantarillas

Son estructuras que permiten el cruce del canal cuando se topa con un camino, normalmente están protegidas por una capa de material en la parte superior, pueden ser de forma rectangular, cuadrada, de arco o tubular, se construyen de concreto, lámina, piedra o madera. Para ayudar a canalizar el agua se complementan con muros o aleros en la entrada y salida. Ver Fig. 3.



Fig. 3.-Ejemplo de alcantarilla de forma tubular

Cada una de las estructuras arriba mencionadas, tiene su propia técnica de diseño que no será tratada en este trabajo.

1.2 Definición

Sifones

Técnicamente entendemos por sifón (Fig. 4a) a un conducto cerrado que alcanza una elevación mayor a la línea piezométrica y en donde la presión, en todos sus puntos es superior a la atmosférica, sin

embargo, para efectos de ingeniería, estos se emplean de manera invertida, es decir, presentan aproximadamente una forma de U (Fig. 4b), logrando de esta forma prolongar el canal en una depresión.

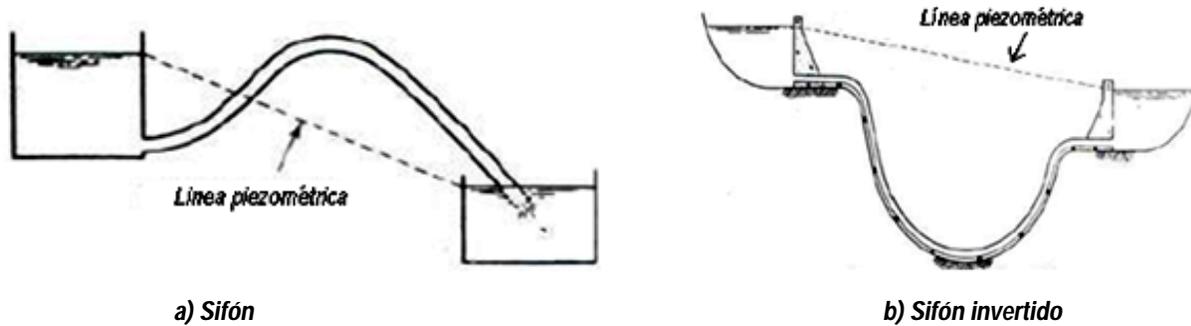


Fig. 4.-Tipos de sifón.



Los sifones invertidos son conductos cerrados que trabajan a presión, se proyectan de acuerdo con el gasto conducido por el canal y la carga a la que van a estar sujetos temporal o definitivamente.

Otro uso que se le da a los sifones, es que son muy socorridos para aplicar el riego al cultivo, ya sea directamente, o bien, por canales regadera. Fig. 5

Fig. 5.-Utilización de los sifones en el riego de cultivos.

1.3 Elementos constitutivos

Partes que conforman a los sifones (ver figura 6):

Principales:

- Transición de entrada
- Conducto o barril
- Transición de salida

Eventuales o secundarias:

- Desagüe de excedencias
- Caja de azolves y desarenador
- Compuerta de emergencia y rejilla de entrada
- Registros para limpieza y válvula de purga.

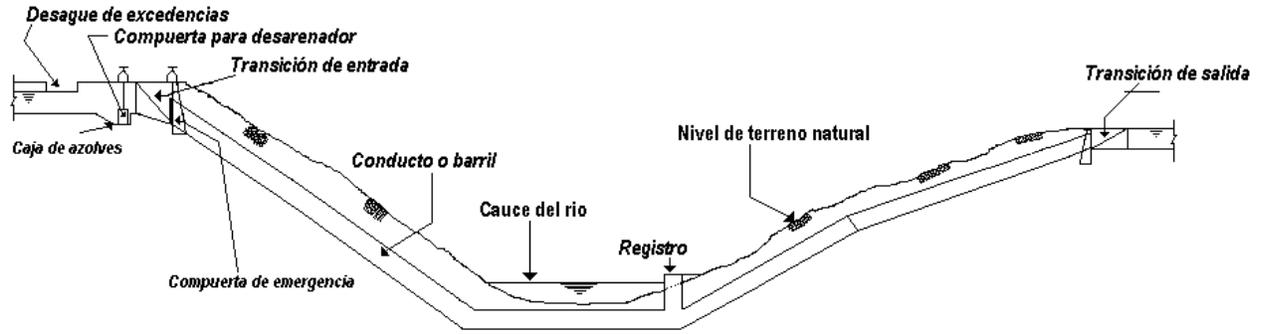


Fig. 6.-Corte longitudinal de un sifón para observar sus elementos constitutivos.

Las partes secundarias, se utilizan de acuerdo a las condiciones y características particulares del caso en estudio.

Principales

Transiciones de entrada y salida.

Por lo general en la mayoría de los casos la sección del canal es diferente a la adoptada en el conducto o barril por lo que es necesario construir una transición de entrada y otra de salida para pasar gradualmente de la primera a la segunda.

Para el cálculo de la longitud de las transiciones que son simétricas se seguirá el criterio de Julián Hinds, que consiste en considerar el ángulo que debe formar la intersección de la superficie del agua con cualquiera de las paredes al principio y fin de la transición. Ver fig. 7.

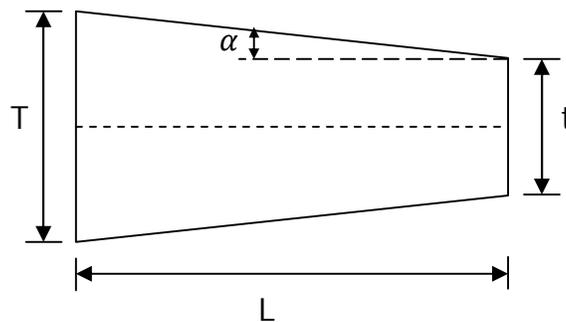


Fig. 7.-Parametros para determinar la longitud de transición.

entonces:

$$L = \frac{T-t}{2} \cot \alpha \quad (1)$$

donde:

L = Longitud de transición, en m.

T = Ancho superficie libre del agua sección mayor, en m.

t = Ancho superficie libre del agua sección menor, en m.

α = Ángulo necesario (Se recomienda utilizar $\alpha = 22^\circ 30'$), en grados.

En el diseño de una transición de entrada y salida, es aconsejable tener la parte superior de la abertura del sifón un poco más abajo de la superficie libre del agua. Esta metodología hace mínima la posibilidad de reducción de la capacidad de sifón causada por la introducción del aire. Se sugiere que la profundidad de sumergencia de la parte superior de la abertura del sifón, este comprendida entre un mínimo de 1.1 a un máximo de 1.5 veces la carga de velocidad (h_v).

Barril o Conducto

Forma la parte más importante y necesaria de los sifones. Para las pequeñas zonas agrícolas de riego, donde generalmente el gasto que se presenta es de poca magnitud, los conductos que se recomiendan por lo general para los sifones son los de asbesto cemento, estos presentan muchas ventajas sobre los de concreto, como son la facilidad y rapidez de instalación, la disminución de pérdidas por fricción ya que admite una sensible disminución del coeficiente de rugosidad ($n = 0.01$), una mayor adaptación al terreno natural a causa de las juntas que se usan para unir un tubo con otro, así también permiten deflexiones de ángulos pequeños, por presentarse en unidades con una longitud estándar de 4.00 m. pueden cortarse en el sitio, con la forma y ángulo que se requiera.

Eventuales o secundarias

Desagüe de excedencias

Es una estructura que evita que el nivel de agua suba más de lo tolerable en el canal de llegada, tirando el gasto que no pueda pasar por el sifón. Generalmente consiste en un vertedor lateral construido en una de las paredes del canal. La cresta del vertedor estará al nivel de la superficie libre del agua para el gasto normal.

Caja de azolves y desarenador

Cuando el agua del canal llegue a conducir materiales en suspensión de cierta magnitud, que puedan llegar a los conductos del sifón y obstruirlos poniendo en peligro su adecuado funcionamiento, es

conveniente construir un dispositivo de retención de azolves antes de la transición de entrada a la estructura, que consiste en una caja que se coloca en la plantilla del canal.

El fondo de dicha caja debe quedar a un nivel inferior de la rasante del canal, con el objeto que se incrementen los tirantes del agua en la caja de azolves, disminuyendo considerablemente la velocidad del agua y provocándose la precipitación de los materiales en suspensión, con lo que se depositan en la caja de azolves para ser posteriormente sustraídos de ella.

Cuando el volumen de azolves por depositarse se estime considerable, es conveniente acompañar al dispositivo anterior de un desarenador, que consiste de una o varias compuertas deslizantes colocadas en una de las paredes laterales y que se descargan a un canal con pendiente pronunciada (con una velocidad mayor a 2.5 m/s), misma que deberá tener en la caja de azolves.

Las compuertas servirán a la vez como desagüe total de las aguas del canal, cuando por reparaciones y mantenimiento a los conductos del sifón, sean cerradas las compuertas o agujas de emergencia ubicadas en la entrada del conducto.

Se recomienda que las dimensiones del desarenador sean las más convenientes para que pase el gasto máximo por desalojar y este caudal unirlo al canal colector del desagüe de excedencias.

Compuerta de emergencia y rejilla de entrada

La compuerta de emergencia consta de una o varias compuertas deslizantes o agujas de madera que corren sobre ranuras hechas en las paredes laterales o en viguetas de fierro y que en un momento determinado, pudieran cerrar la entrada al conducto, para poder hacer limpieza o reparaciones al sifón.

La rejilla de entrada tiene como finalidad impedir o disminuir la entrada de basura y objetos extraños al conducto que impidan el funcionamiento adecuado del sifón.

Por facilidades constructivas estas dos estructuras se localizan a la entrada del conducto finalizando la transición, cubriendo la rejilla a la compuerta con una separación tal que permita la operación de la compuerta (o agujas).

La finalidad de esta parte de la estructura es permitir, cuando sea necesario, la limpieza y reparación del conducto, desalojando el agua que queda interiormente en éste, y que es necesario retirar para poder limpiarlo de lodos y objetos obstructores, por lo que es recomendable quede ubicado en la parte más baja del barril. Se recurre al uso de esta parte cuando por restricción en la limitación de la pérdida de carga (poco nivel disponible), haya necesidad de bajar la velocidad mínima (requerida para evitar azolvamiento).

Registro para limpieza y válvula de purga

Se coloca en la parte más baja de los barriles y su objeto será el desalojar el agua que se quede aprisionada dentro de ellos y que es necesario retirar, para su limpieza o reparación y consistirá en válvulas de compuerta deslizante de las dimensiones que se estime conveniente de acuerdo con el gasto a desalojar. Se pueden usar para desalojar lodos. Algunas veces estas válvulas no se pueden colocar en la parte más baja del sifón, por tratarse del fondo del cauce del río por salvar, entonces cuando se presente el caso, se colocará alguna bomba que succione el agua restante. Estas válvulas se protegen por medio de un registro de tabique o concreto que llega hasta la parte superior del terreno. Deben abrirse gradualmente para evitar el aumento de velocidades fuertes en las tuberías.

1.4 Tipo de tubería a emplear en los sifones

Estas pueden construirse de concreto, asbesto cemento, lámina de acero, de P.V.C., de polietileno de alta densidad o de fibra de vidrio con resinas epóxicas, lo que permite una gran gama de materiales para dar solución a los problemas, en el diseño de la tubería a utilizar.

Su sección dependiendo el caso será cuadrada, rectangular, circular, en herradura u ovoide.

Por ejemplo las tuberías de asbesto cemento, generalmente se utilizan para gastos no muy grandes, por que se fabrican en diámetros chicos, las de concreto y de lámina de fierro se fabrican en línea, también para diámetros chicos, pero pueden hacerse en dimensiones muy grandes. Y son las cargas que obran sobre las tuberías nos señalaran el tipo a usar.

Por lo que respecta a la sección transversal, la más comúnmente empleada es la circular y enseguida la cuadrada, pero en esta última su uso es limitado, ya que solo se puede dar en obra. La determinación del material y forma del barril para el diseño hidráulico, está en función del área de sección requerida, de acuerdo con la expresión:

$$A_{req} = \frac{Q}{v} \quad (2)$$

donde:

A_{req} = Área requerida del barril, en m².

Q = Gasto del canal, en m³/s.

v = Velocidad del conducto, en m/s.

que se deberá corroborar con el diseño estructural.

A continuación se darán algunos detalles de la forma y el tipo de tuberías, que se ocupan en la construcción del conducto de los sifones.

Conductos circulares

Por especificación de la extinta Secretaria de Recursos Hidráulicos (SRH) el diámetro mínimo aceptado en secciones circulares será de 30" (pulgadas) equivalente a 0.762 m (metros) para tubos precolados y de 1.25 m para tubos colados en el sitio. Para las pequeñas zonas de riego se recomienda usar exclusivamente, cuando las exigencias lo requieran, tubos prefabricados para un diámetro mínimo de 18" (0.457 m).

Tubos de concreto simple: Son los tubos de menor resistencia, se fabrican en diámetros de 0.305 m (4") a 0.61 m (24") variando de 2 en 2 hasta 12" y de 3 en 3 hasta 24". Estos tubos resisten una carga de 9 m de presión interna de acuerdo al United States Bureau of Reclamation.

Tubos de concreto reforzado: Son tubos prefabricados que comercialmente se obtienen en diámetros de 12" (0.305 m) hasta 84" (2.134 m), variando en 3" hasta 18" y de 6 en 6 hasta 84". Se construyen para resistencias hasta de 36 m (de presión interna). Estos tubos pueden ser colados en el sitio en cuyo caso el diámetro mínimo recomendado es de 1.25 m.

Tubos de asbesto cemento: Son tubos exclusivamente prefabricados que comercialmente se obtienen en diámetros de 4" (0.10 m) hasta 36" (0.914 m), variando de 2 en 2 hasta 20", luego de 24" (0.61 m), 30" (0.762 m) y 36" (0.914 m). Se construyen comercialmente en varios "tipos" (Carga de ruptura por presión interna que resiste la tubería): A-5, A-7, A-10 y A-14 ó sea para presiones de 5, 7, 10 y 14 Kg/cm² equivalente a 50, 70, 100 y 140 m de carga de columna de agua respectivamente. En el laboratorio se prueban a 3.5 veces de presión nominal y en el campo cuando se van a instalar, se prueban a 1.5 veces la misma.

Tubos de acero: Son los tubos de mayor resistencia y exclusivamente prefabricados, comercialmente se adquieren en diámetros de 4" (0.102 m) hasta 36" (0.914 m) variando de 2" en 2". Se construyen con resistencias (prueba de presión hidrostática) desde 82 hasta 211 Kg/cm² en el diámetro menor (4") y de 20 hasta 114 Kg/cm² en el diámetro mayor (36") según sea el tipo de material (grado B, x-42 ó x-52) y espesor de la pared (cédulas: 5S, 10S, 10, 20, 30, 40, 60 u 80). Debido a su alto costo el uso de este tipo de tuberías es algo restringido.

Tubos de plástico P.V.C.: Estos tubos son exclusivamente prefabricados, comercialmente se adquieren en diámetros de 1/2" (0.013 m) hasta 6" (0.152 m). Variando en 1/4" hasta 1" y en 1" hasta 6", su resistencia puede llegar a los 5 Kg/cm².

Conductos cuadrados y rectangulares

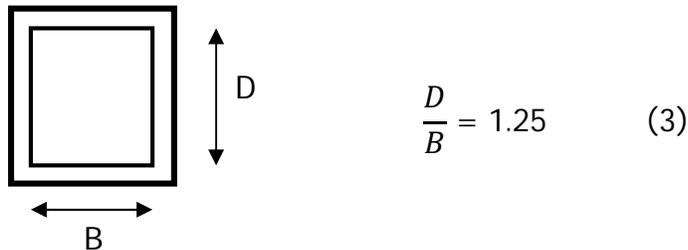
En pequeñas zonas de riego se prefiere la sección cuadrada ante la rectangular (según SRH), ya que es la que tiene más área con relación al perímetro mojado.

Para los conductos de sección rectangular y cuadrada el material más utilizado es el concreto, reforzado según las cargas y esfuerzos a que va a estar sujeto, generalmente se fabrican en el sitio.

Conductos Cuadrados: Para la sección cuadrada se recomienda como mínimo 0.90 m interiormente, acompañándose en ambos tipos de conducto, en las esquinas, con carteles de dimensiones mínimas de 0.10 x 0.10 m.

Conductos rectangulares: Se recomiendan las dimensiones mínimas interiores de 0.8 m de base por 1.0 m de altura conservando siempre la relación de 1.25 m de ésta última con respecto a la primera por motivos estructurales.

Por especificación de la extinta S R H, la sección de los conductos rectangulares debe cumplir con la siguiente relación:



en la que: D = Altura interior del conducto, en m.

B = Ancho de la plantilla interior del conducto, en m.

La sección mínima aceptada en conductos rectangulares es $B = 0.8$ m y $D = 1.00$ m con carteles en las esquinas de dimensión mínima de 0.10 m x 0.10 m, para evitar el azolvamiento de esos puntos.

1.5 Normas de proyecto

Para la realización del proyecto de sifones debemos tener en cuenta el tipo de cruce y las normas generales publicadas por la extinta Dirección General de Conservación de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP).

a) **En cruce con carreteras:**

- ❖ El espesor de tierra que debe dejarse del punto más bajo del terreno natural, dentro del derecho de vía del camino, a la parte superior de la estructura, debe ser por lo menos de 1.50 m.
- ❖ La longitud del conducto en proyección horizontal, debe ser como mínimo la longitud del derecho de vía, más un metro a cada lado a los muros de cabeza (21 m a cada lado del eje del camión), debiendo quedar las transiciones fuera del derecho de vía.

b) **En cruce con ferrocarril:**

- ❖ El espesor mínimo de relleno del patín del riel a la parte superior de la estructura, no debe ser menor de 0.90 m.
- ❖ La longitud mínima de los conductos en proyección horizontal, debe ser aquella que no impida el drenaje longitudinal del ferrocarril (paralelo al eje de este).

c) **En cruce con canal o dren:**

- ❖ El espesor mínimo del relleno debe ser de 1.50 m, medidos desde la rasante del canal o dren a la parte superior del conducto.
- ❖ La longitud de los conductos no debe ser menor a la sección del canal o dren por cruzar, considerando sus bermas y bordos.

d) **En cruce con ríos, barrancas o arroyos:**

- ❖ El espesor del relleno en la zona del cauce no debe ser menor a la profundidad de socavación en la zona de cruce. En las laderas el relleno no debe ser menor de 1 m.
- ❖ La longitud de la estructura está en función de la topografía del cruce, cuidando de que las transiciones del canal al conducto queden enterrados en el terreno natural, fuera de las laderas.

e) **Y de manera general:**

- ❖ Para un correcto funcionamiento se procura que en el barril del sifón el agua lleve velocidades grandes, entre 2 y 3.5 m/s (con esto se evita el azolvamiento y se abarata la obra), por lo que se tendrá una pérdida de carga por fricción más fuerte que la del canal.

- ❖ El final del sifón invertido estará a un nivel más bajo del que tendría el tramo de canal sustituido.
- ❖ Cuando el canal por conducir es grande y supera un conducto de 6.00 m de diámetro se diseña una batería de sifones.
- ❖ Para cargas pequeñas entre 0 y 5 m, se prefiere las secciones cuadradas y rectangulares, sin embargo cuando los momentos negativos no pueden absorberse en las esquinas interiores del sifón se prefiere secciones circulares.

Criterios de diseño

Se enumeran a continuación las siguientes recomendaciones que debemos considerar cuando se realice el diseño hidráulico:

- I. En el cruce de un canal con una quebrada, el sifón se proyecta para conducir el menor gasto y lo suficientemente profundo para no ser socavado, en ciertas ocasiones debido a sus dimensiones un sifón constituye un peligro, principalmente cuando está cerca de centros poblados, siendo necesario el uso de rejillas pero con la desventaja de que puedan obturarse las aberturas y causar remansos.
- II. Las dimensiones del tubo se determinan satisfaciendo los requerimientos de cobertura, pendiente en el suelo, ángulos de doblados y sumergencia de la entrada y salida.
- III. En sifones que cruzan caminos principales o debajo de drenes, se requiere un mínimo de 0.90 m de cobertura; cuando cruzan caminos parcelarios o canales de riego sin revestir, es suficiente 0.60 m y si cruza un canal revestido se considera suficiente 0.30 m de cobertura.
- IV. En sifones relativamente largos, se proyectan estructuras de alivio para permitir un drenaje del tubo para su inspección y mantenimiento.
- V. Con la finalidad de evitar la cavitación a veces se ubica ventanas de aireación en lugares donde el aire podría acumularse.
- VI. Cuando el sifón cruza debajo de una quebrada, es necesario conocer el gasto máximo de la creciente.
- VII. Con la finalidad de evitar desbordes aguas arriba del sifón debido a la ocurrencia fortuita de caudales mayores al de diseño, se recomienda aumentar en un 50% ó 0.30 m como máximo al borde libre del canal en una longitud mínima de 15 m a partir de la estructura.

- VIII. La pendiente de los tubos doblados, no debe ser mayor a 2:1 y la pendiente mínima del tubo horizontal debe ser 5%. Se recomienda transición de concreto a la entrada y salida cuando el sifón cruce caminos principales en los sifones con diámetro mayor de 36" y para velocidades en el tubo mayores a 1 m/s.
- IX. Con la finalidad de determinar el diámetro del tubo en sifones relativamente cortos con transiciones de tierra, tanto en entrada como salida, se puede usar una velocidad de 1 m/s. En sifones con transiciones de concreto igualmente cortos se puede usar 1.5 m/s y para sifones largos con transiciones de concreto con o sin control de entrada entre 3 a 2.5 m/s.
- X. A fin de evitar remansos aguas arriba, las pérdidas totales computadas incrementan en 10%.
- XI. En el diseño de transición de entrada se recomienda que la parte superior de la abertura del sifón, esté ligeramente debajo de la superficie normal del agua, esta profundidad de sumergencia es conocida como sello de agua y en el diseño se toma $1.5 h_v$ (carga de velocidad del sifón) ó 1.1 como mínimo.
- XII. En la salida, el valor de la sumergencia no debe exceder al valor de las pérdidas por entrada entre seis ($h_{te}/6$).
- XIII. En sifones largos bajo ciertas condiciones la entrada puede no sellarse ya sea que el sifón opere a flujo parcial o flujo lleno, con un coeficiente de fricción menor que el asumido en diseño, por esta razón se recomienda usar $n=0.008$ cuando se calculan pérdidas por energía.
- XIV. Con respecto a las pérdidas de cargas totales, se recomienda la condición que sean iguales o menores a 0.30 m.

II.- Funcionamiento Hidráulico

2.1 Principios de funcionamiento del sifón.

A.-Funcionamiento físico

Físicamente el flujo dentro del sifón trabaja bajo un principio físico muy sencillo que es el de los vasos comunicantes, trabajando bajo la acción de la gravedad, donde debemos tener presente que las longitudes son grandes y por lo tanto podemos tener pérdidas hidráulicas importantes a lo largo de nuestro conducto, por lo que deben ser consideradas de una manera adecuada para lograr llevar el flujo de un punto inicial a otro final sin ningún problema, entonces podemos decir que el funcionamiento de un sifón invertido se basa fundamentalmente en la diferencia de niveles en los extremos de esta estructura, permitiendo el flujo en una dirección, siendo esta diferencia, la sumatoria de las pérdidas de carga de un extremo a otro del sifón. Dando como resultado que el canal de entrada se localiza a una altura mayor al canal de salida. Ver Fig. 8.

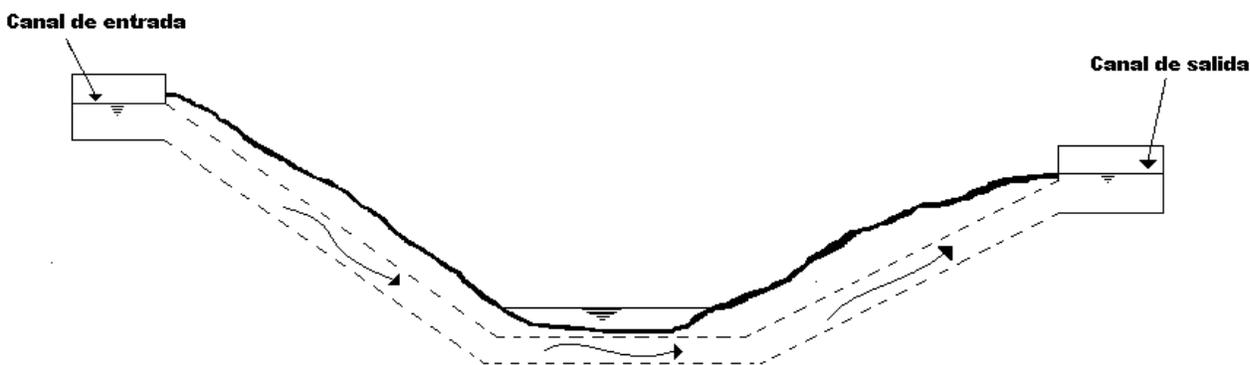


Fig. 8.-Sifón Invertido.

B.-Funcionamiento Hidráulico

Esta estructura conduce el agua mediante tubería con presiones positivas y cubre grandes distancias con diferencias de cotas pequeñas de niveles entre el canal de llegada y el canal de salida o de entrega. Por lo que el desnivel entre los gradientes de energía a la entrada y salida de la estructura, es igual a la suma de todas las pérdidas de la carga que se presenten en el sifón. Entonces el sifón funciona por diferencia de cargas, esta diferencia de cargas debe absorber todas las pérdidas en el sifón. Ver Fig. 9

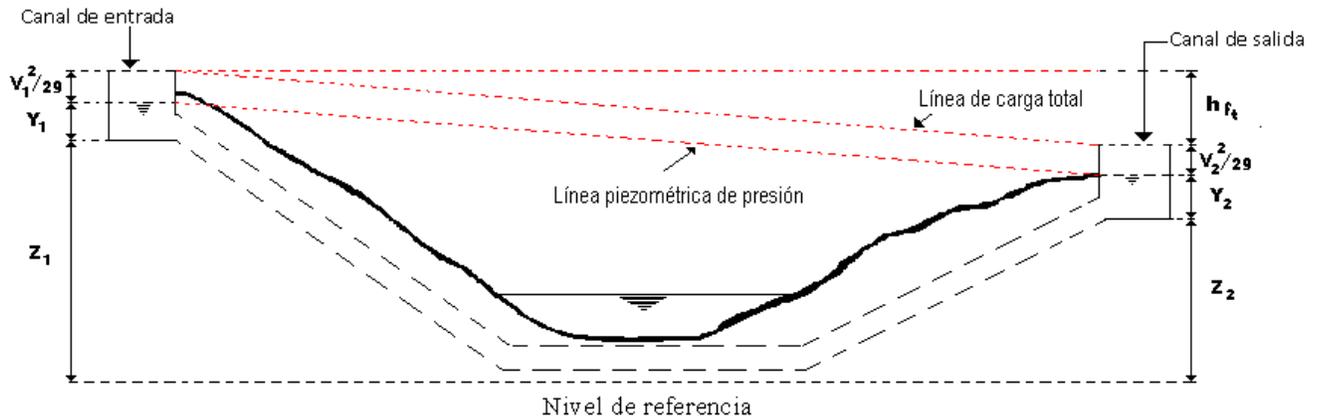


Fig. 9.-Esquema energético del funcionamiento de un sifón.

Donde:

$V_{1,y2}$ = Velocidad en el canal de entrada y salida, respectivamente, en m/s.

g = Aceleración de la gravedad, en m/s².

$\frac{V_{1,y2}^2}{2g}$ = Carga de velocidad en la entrada y salida, respectivamente, en m.

$Y_{1,y2}$ = Carga de presión en el canal de entrada y salida, respectivamente, en m.

$Z_{1,y2}$ = Carga de posición en el canal de entrada y salida, respectivamente, en m.

si;

$$H = Z + Y + \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

donde:

H = Energía por unidad de peso que tiene un líquido en una determinada sección, en m.

aplicando el teorema de Bernoulli nos queda:

$$H_1 = H_2 + hf_t \quad (5)$$

si;

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

entonces:

$$\Delta H \leq hf_t \quad (6)$$

donde

ΔH = Diferencia de carga, en m.

hf_t = Pérdidas hidráulicas totales, en m.

2.2 Pérdidas hidráulicas

Para el cálculo hidráulico debemos tener en cuenta las pérdidas hidráulicas generadas por los diferentes accesorios que pueden existir dentro del sifón.

A continuación se mencionaran las principales pérdidas de carga que se presentan son las que se mencionan en el cuadro, por:

- P1. Transición de entrada
- P2. Rejilla
- P3. Entrada al conducto
- P4. Fricción en el conducto o barril
- P5. Codos o cambio de dirección
- P6. Ampliación
- P7. Válvula
- P8. Transición de salida

P1. Pérdida de cargas por transición de entrada.

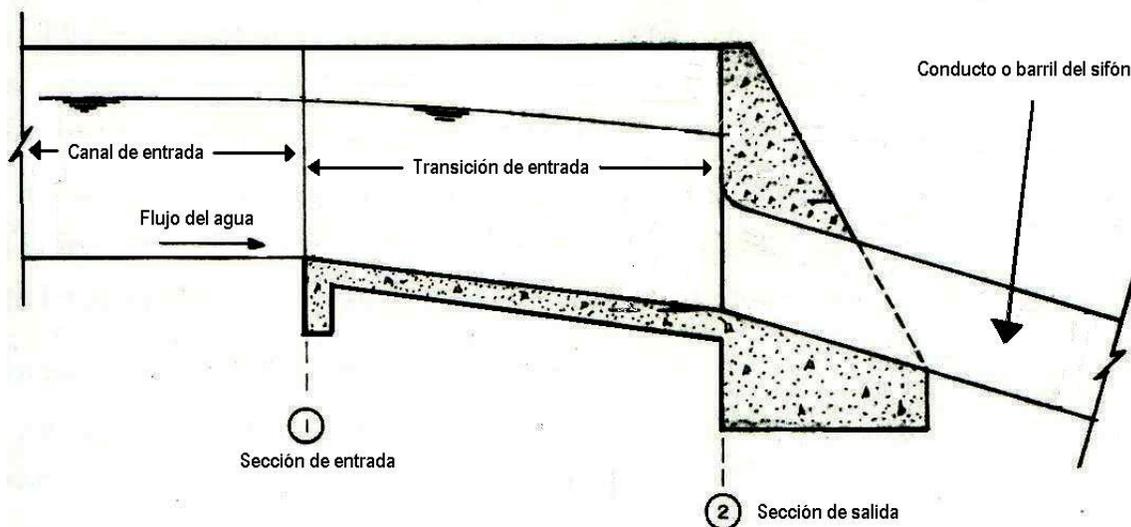


Fig. 10.-Transición de entrada al sifón.

Para su cálculo utilizaremos la siguiente fórmula:

$$h_{te} = k_{te}(h_{v2} - h_{v1}) = k_{te} \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right) \quad (7)$$

en la que:

h_{te} = Pérdidas de carga por transición de entrada, en m.

v_1 = Velocidad en la sección (1) de transición (como se observa en la Fig. 10), en m/s.

v_2 = Velocidad en la sección (2) de transición (mostrada en la Fig. 10), en m/s.

k_{te} = Coeficiente de pérdida de carga por transición de entrada, adimensional, depende del tipo de transición que es igual a 0.3, 0.2 o 0.1 si la transición es biplanar, reglada o alabeada, respectivamente.

P2. Pérdidas de carga por rejilla

Depende esencialmente de la forma de los barrotes que la estructuran, para su cálculo es muy empleada la fórmula de Kirschme:

$$h_r = k_r h_{v_n} = k_r \frac{v_n^2}{2g} \quad (8)$$

Siendo:

h_r = Pérdidas de carga por rejilla, en m.

k_r = Coeficiente de pérdida de carga en rejilla, adimensional, se determina de la ecuación (9).

h_{v_n} = Carga de velocidad de acuerdo al área neta (área de paso entre rejillas), en m.

v_n = Velocidad a través del área neta de la rejilla dentro del área hidráulica, en m/s.

en la que:

$$k_r = k \left(\frac{t}{d}\right)^{4/3} \quad (9)$$

entonces:

k = Coeficiente, según la forma del barrote, adimensional.

t = Grosor del barrote, en cm.

d = Distancia centro a centro entre barrotes, en cm.

Tabla I.-Valores del coeficiente k para la expresión de Kirschme según la forma de la sección transversal.

| <i>Tipo</i> | <i>Valor de k</i> |
|--|-------------------|
| Rectangular  | 2.42 |
| Circular  | 1.79 |
| Rectangular con esquinas redondeadas  | 1.67 |
| Lenteja  | 0.76 |

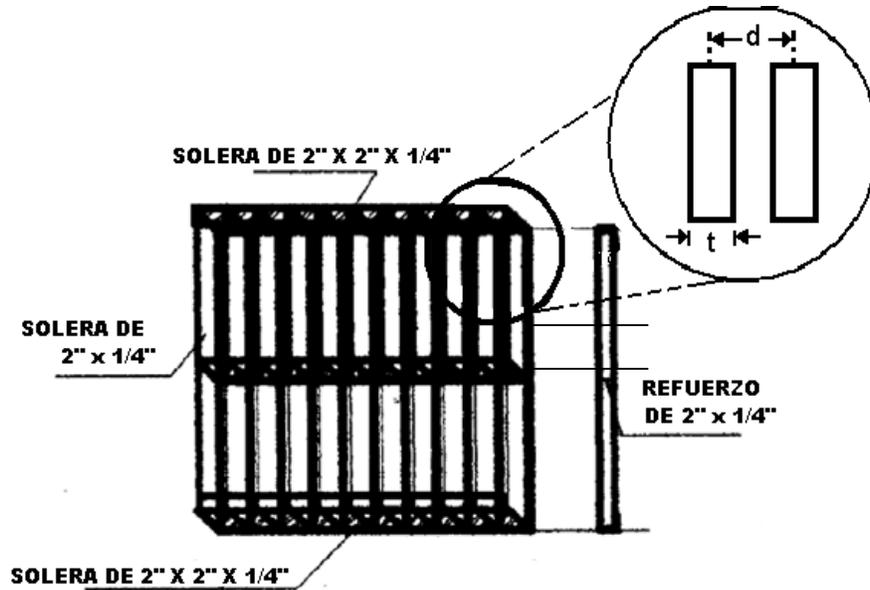


Fig. 11.- Ejemplo de rejilla cuadrada con barros de forma rectangular.

P3. Pérdida de carga por entrada al conducto

$$h_e = k_e h_v = k_e \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

h_e = Pérdidas de carga por entrada al barril, en m.

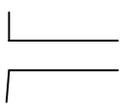
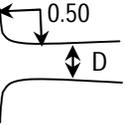
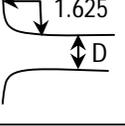
k_e = Coeficiente de pérdida, que depende de la forma de entrada (ver tabla II), adimensional.

h_v = Carga de velocidad, en m.

v = Velocidad del agua en el barril, en m/s.

Tabla II.-Valores de k_e para distintas formas de entrada

| <i>Tipo de entrada</i> | | k_e |
|--|---|-------|
| Compuerta en pared delgada contracción suprimida en los lados y en el fondo. |  | 1.00 |
| Para entrada con arista completamente redondeada |  | 0.10 |
| Para entrada abocinada circular |  | 0.004 |

| | | |
|---------------------------|---|------|
| Rectangular |  | 0.5 |
| Redondeada con r =0.5 D |  | 0.23 |
| Redondeada con r =1.625 D |  | 0.04 |

P4. Pérdida de carga por fricción en el conducto

En la generalidad de los casos, esta es la pérdida de mayor importancia, para calcularla se emplea la fórmula de Manning:

$$v = \frac{1}{n} r^{2/3} S_f^{1/2} \quad (11)$$

en la que:

v = Velocidad de agua en el conducto, en m/s.

n = Coeficiente de Manning, en el sistema métrico = $\frac{1m^{1/3}}{seg}$.

r = Radio hidráulico, en m.

S_f = Pendiente hidráulica de fricción, adimensional.

pero,
$$S_f = \frac{h_f}{L} \quad (12)$$

donde:

h_f = Pérdida de carga por fricción, en m.

L = Longitud total del conducto, en m.

agrupando términos de la ecuación (11) y (12) y despejando h_f nos queda:

$$h_f = S_f L = \left(\frac{v n}{r^{2/3}} \right)^2 L \quad (13)$$

Considerando lo siguiente para los tubos tenemos que:

$$r = \frac{A}{P} \quad (14)$$

siendo:

A = Área del tubo, en m².

P = Perímetro hidráulico del conducto, en m.

sí;
$$A = \frac{\pi \times D}{4} \quad (15)$$

y,
$$P = \pi \times D \quad (16)$$

donde:

π = Pi, valor adimensional.

D = Diámetro del conducto, en m.

sustituyendo las ecuaciones (15) y (16), en la ecuación (14) nos da,

$$r = \frac{A}{P} = \frac{D^2}{4D} = \frac{D}{4} \quad (17)$$

entonces la ecuación (11) queda como:

$$v = \frac{0.397}{n} D^{2/3} \left(\frac{hf}{L} \right)^{1/2} \quad (18)$$

sustituyendo valores en la ecuación (13), tenemos,

$$hf = SfL = \left(\frac{v n}{0.397 D^{2/3}} \right)^2 L \quad (19)$$

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n), generalmente usados para proyectar con diversos tipos de tubería (ver tabla III).

Tabla III. Valores de n de Manning para distintos materiales

| Material | n |
|-----------------------------|-----------------------|
| Plástico P.V.C. | 0.009 |
| Asbesto Cemento | 0.010 |
| Duela | 0.011 |
| Barro vitrificado | 0.012 |
| Fierro fundido revestido | 0.012 |
| Fierro fundido sin revestir | 0.013 |
| Concreto liso | 0.013 |
| Concreto Áspero | 0.016 |
| Acero remachado | 0.016 |

P5. Pérdida de carga por cambio de dirección

Si en un cambio de dirección se visualiza el flujo, se observa que los filetes tienden a conservar su movimiento rectilíneo en razón de su inercia. Esto modifica la distribución de velocidades y produce zonas de separación en el lado interior y aumentos de presión en el exterior.

El cambio de dirección puede verificarse con codo (arista viva) o con curva.

Para el cálculo de las pérdidas causadas por el cambio de dirección con codo utilizamos la siguiente fórmula:

$$h_c = c \sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ} \frac{v^2}{2g}} \quad (20)$$

en la que:

h_c = Pérdidas de carga por cambio de dirección, debidas a un codo, en m.

c = Coeficiente que está en función de la deflexión, cuyo valor comúnmente se adopta de 0.25 (según Hinds), adimensional.

Δ = Angulo de la deflexión, en grados

v = Velocidad en el conducto, en m/s.

g = Aceleración de la gravedad, en m/s².

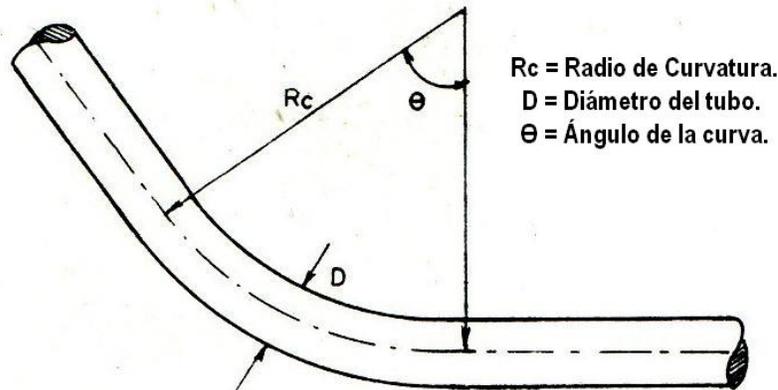


Fig. 12.-Cambio de dirección con curva en conducto a presión.

Cuando se trate de pérdidas por cambio de dirección con curva (ver Fig. 12) utilizaremos la siguiente ecuación:

$$h_c = k_c \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

donde:

h_c = Pérdidas de carga por cambio de dirección, debidas a una curva, en m.

k_c = Coeficiente de pérdida por cambio de dirección con curva (Federhofer), adimensional.

v = Velocidad en el conducto, en m/s.

g = Aceleración de la gravedad, en m/s².

siendo,

$$k_c = c_1 \eta \quad (22)$$

entonces:

c_1 = Coeficiente que depende de la relación del radio de la curva (Rc) con el diámetro del tubo (D), adimensional (ver tabla IV).

η = Coeficiente que es función del ángulo de la curva (θ), adimensional (ver tabla V).

Tabla IV.-Valores para c_1 .que son dados por la relación del radio de curva y el diámetro del tubo.

| | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|
| Rc/D | 1 | 2 | 4 | 6 | 10 |
| c_1 | 0.52 | 0.29 | 0.23 | 0.20 | 0.18 |

Tabla V.-Valores para η que están sujetos al ángulo de la curva.

| | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| Valores de θ | 10° | 20° | 30° | 40° | 60° | 90° | 135° | 150° | 180° |
| Valores de η | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.85 | 1.0 | 1.15 | 1.2 | 1.3 |

P6. Pérdida de carga por válvula de purga y registro de limpieza.

Las pérdidas de carga que se originan en los sifones por el hecho de insertar lateralmente una tubería, en la que se coloca una válvula para desagüe y un registro para limpieza, se deben considerar como pérdida por bifurcación de tubería.

Esta pérdida se genera al formarse turbulencia dentro de la tubería provocadas por este dispositivo, aun cuando uno de los extremos este cerrado por la válvula; como no se ha podido realizar una evaluación adecuada de ella, estimándose sea de pequeña magnitud se omite.

P7. Pérdida de carga por ampliación.

Algunas veces por exigencia topográficas no es posible localizar una transición a la salida del sifón para el cambio de sección, haciéndose a una caja amortiguadora, a la cual llega el agua para de ahí pasar al canal.

La pérdida de carga es motivada por ampliación brusca en la sección y se aplica la fórmula de Borda:

$$h_s = \frac{(v-v_c)^2}{2g} \quad (23)$$

en la que:

- h_s = Pérdidas de carga por ampliación, en m.
- v = Velocidad en el sifón, en m/s.
- v_c = Velocidad aproximada en la caja, en m/s.
- g = Aceleración de la gravedad, en m/s².

P8. Pérdida de carga por transición de salida

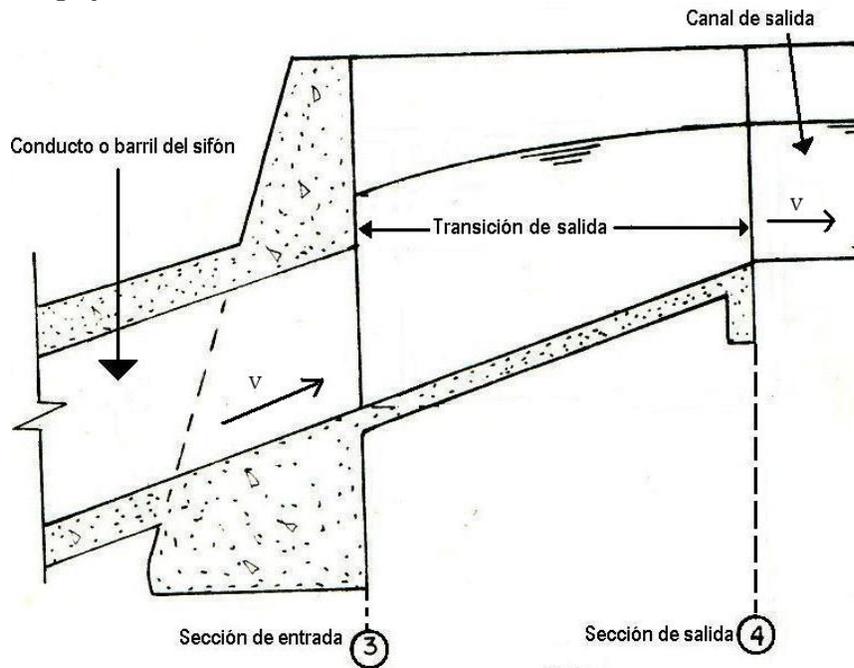


Fig. 13.-Transición de salida del sifón.

Según sea el tipo de transición será la pérdida por este concepto así, se tiene:

$$h_{ts} = k_{ts}(h_{v3} - h_{v4}) = k_{ts} \left(\frac{v_3^2 - v_4^2}{2g} \right) \quad (24)$$

donde:

h_{ts} = Pérdidas por transición de salida, en m.

v_3 = Velocidad en la sección (3) de transición (ver Fig. 13), en m/s.

v_4 = Velocidad en la sección (4) de transición (ver Fig. 13), en m/s

k_{ts} = Coeficiente de pérdida de carga por transición de salida, adimensional, depende del tipo de transición que es igual a 0.5, 0.3 o 0.2 dependiendo el tipo de transición, ya sea biplanar, reglada o alabeada, respectivamente.

III.- Metodología del Diseño Hidráulico

INFORMACIÓN PREVIA AL DISEÑO HIDRÁULICO

Trazo del perfil del Sifón

Antes de iniciar el diseño hidráulico conviene trazar el perfil del sifón en forma preliminar con los datos de campo para conocer la disposición general, su localización, deflexiones, etc. Para en un primer intento obtener las pérdidas de carga y saber si se está dentro de la conveniencia técnico-económica. Al hacer esto se deben tener en cuenta tres requisitos:

- ❖ Desarrollo mínimo posible
- ❖ Excavaciones mínimas
- ❖ Colchón o relleno sobre el conducto con espesores mínimos según especificaciones mostradas en las normas generales de proyecto.

DISEÑO HIDRÁULICO.

El diseño hidráulico de un sifón está gobernado por tres factores fundamentales: economía, pérdidas de carga y azolves. En función de estos factores y los que la práctica exige, se debe atender en forma primordial la velocidad del agua en el sifón. Muy importante es determinar las dimensiones de la sección del ducto, estas dependen del gasto que deben pasar y de la velocidad que se puede permitir; velocidades del agua en el barril entre 2.0 y 3.5 m/s evitan el depósito de azolve en el fondo del conducto y no son tan grandes que puedan producir desgaste en el material de los barriles. Cuando por las condiciones del problema no sea posible dar el desnivel que por estas limitaciones resulte, se podrán disminuir las pérdidas, reduciendo prudentemente la velocidad del agua (nunca menos de 1.25 m/s), en la inteligencia de que con esto se aumenta el peligro de azolvamiento del sifón, por lo que habrá necesidad de mejorar las facilidades para limpiar el interior del barril (utilizando un registro para limpieza válvula de purga) y proporcionarse una caja de azolves con su desarenador a la entrada.

El cálculo hidráulico consiste en determinar las pérdidas de carga que se generan en toda la estructura, obteniendo el desnivel que debe existir entre la cota del agua en el canal de entrada y la cota de agua en el canal de salida, o cuando las características de entrada y salida son iguales, el desnivel entre plantillas.

Puede darse el caso de que se tenga fijo el desnivel indicado y haya necesidad de dimensionar el sifón para hacer posible el flujo que se desea.

Se parte del supuesto de que se conocen las características hidráulicas de los canales de entrada y salida del sifón, así como la elevación del agua en el canal al inicio de la transición de entrada; se comienza el cálculo determinando las dimensiones de la sección de los barriles.

Para encontrar la elevación del canal a la salida del sifón, se aplica el teorema de Bernoulli entre los puntos (1) y (4), ver Fig. 14.

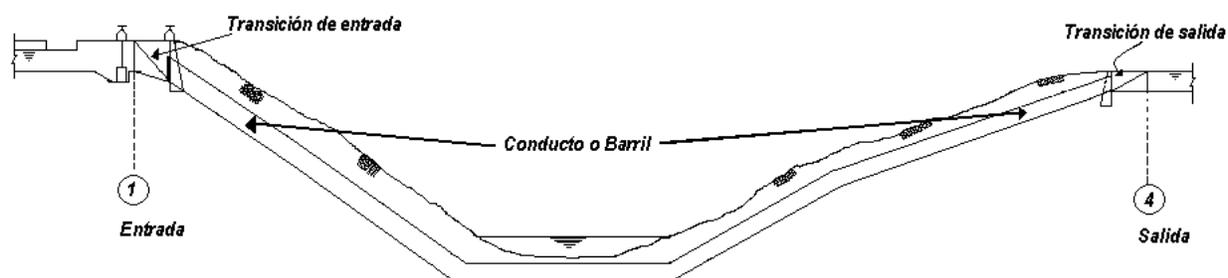


Fig. 14.-Perfil transversal de un sifón donde se observan los puntos de referencia para determinar la elevación del canal de salida.

Por lo que:

$$d_1 + h_{v1} + \delta_4 = d_4 + h_{v4} + \Sigma_{perd.} \quad (25)$$

en la que:

d_1 = Tirante en el canal de entrada, en m.

h_{v1} = Carga de velocidad en el canal de entrada, en m

δ_4 = Desnivel entre las plantillas del canal en las secciones (1) y (4), en m, (ver Fig. 14).

d_4 = Tirante en el canal de salida, en m.

h_{v4} = Carga de velocidad en el canal de salida, en m

$\Sigma_{perd.}$ = Suma de pérdidas de carga que se generan entre las secciones (1) y (4) de la estructura (ver Fig. 14), en m.

Cuando se tienen las mismas características en el canal de entrada y salida del sifón, es decir $d_1 = d_4$ y $v_1 = v_4$ así como $\delta_4 = \Sigma_{perd.}$, esto causa que algunas veces el desnivel entre el canal de entrada y salida sea insuficiente para vencer las pérdidas; en este caso, y si la diferencia es pequeña, hay necesidad de aplicar el teorema de Bernoulli pero en sentido inverso (del final al principio de la estructura), para poder encontrar el nivel del agua a la entrada del sifón y determinar el remanso que se produce en el canal de acceso al sifón, (nunca debe rebasar el 25 % del libre bordo), si se desea que pase todo el gasto y

conservar el diseño propuesto. También pueden modificarse las dimensiones del barril para disminuir las pérdidas de carga. Otras veces el desnivel forzoso entre el canal de entrada y salida será muy grande, es inconveniente reducir la sección del ducto. En este caso es necesario perder carga haciendo caídas en el canal de llegadas y aplicando el teorema de Bernoulli en sentido inverso, para que mediante algunos tanteos de longitud de barril, se encuentre el nivel del agua antes de la transición de entrada; puede proyectarse un tanque de pozo en este lugar para entregar tranquilas las aguas al sifón.

Para encontrar el abatimiento que sufre la S L A (e), por la presencia de la transición de entrada, es conveniente aplicar el teorema de Bernoulli (ver Fig. 15) entre los puntos (1) y (2) y determinar la velocidad en el punto (2).

El tubo a la entrada y a la salida debe quedar ahogado entre un mínimo de 1.1 y un máximo de 1.5 de la h_v , para evitar la entrada de aire que pueda producir un funcionamiento defectuoso.

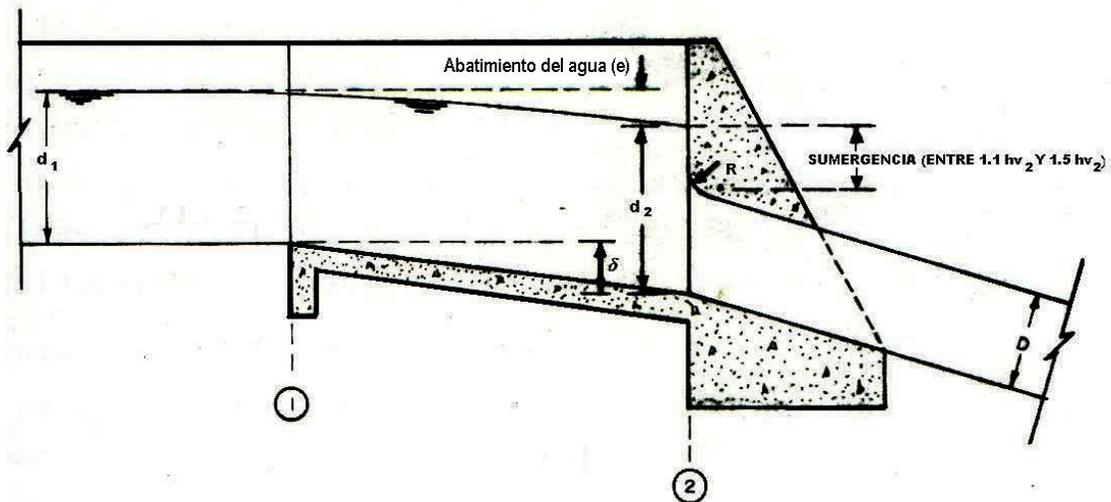


Fig. 15.-Transición de entrada al sifón.

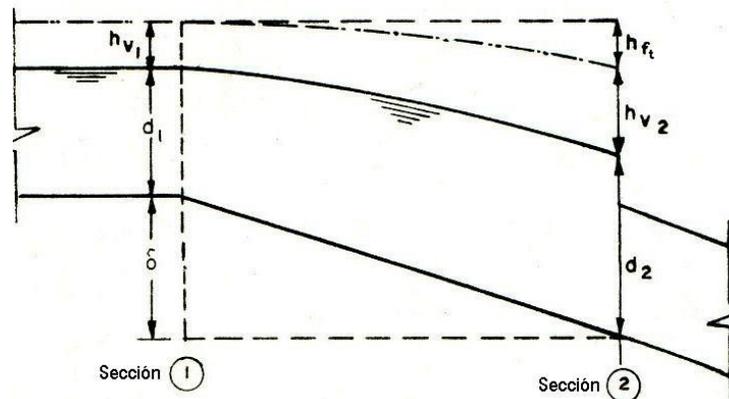


Fig. 16.-Análisis hidráulico en transición de entrada al sifón.

Aplicando el teorema de Bernoulli entre las secciones 1 y 2 (ver Fig. 15 y 16) de la transición de entrada, queda:

$$d_1 + h_{v1} + \delta = d_2 + h_{v2} + h_{ft} \quad (26)$$

donde:

d_1 = Tirante en el canal de llegada, en m.

h_{v1} = Carga de velocidad en el canal de llegada, en m.

δ = Diferencia de niveles entre las plantillas en la sección 1 y 2, en m.

d_2 = Tirante en la sección 2, en m.

h_{v2} = Carga de velocidad en la sección 2, en m.

h_{ft} = Suma de pérdidas de carga habidas en el paso de la sección 1 a la sección 2 (Fig.16), en m.

Por lo general para la suma de pérdidas totales (h_{ft}) de la sección 1 a la sección 2, solo se tiene h_e , pudiendo existir además la de rejilla, si se encuentra entre las dos secciones, y la fricción en la transición por ser pequeña se desprecia, quedándonos la ecuación de la siguiente forma:

$$d_1 + h_{v1} + \delta = d_2 + h_{v2} + h_e \quad (27)$$

Se procede por tanteos hasta encontrar el tirante de acuerdo, que satisfaga la exigencia de sumergencia, habiendo previamente propuesto un δ (desnivel, si no se tienen limitantes topográficas).

El cálculo anterior debe satisfacer la condición de abatimiento de la S L A (e), por lo que, de la ecuación (27):

$$d_1 + \delta - d_2 = h_{v2} - h_{v1} + h_{te}$$

de la ecuación (7) tenemos que:

$$d_1 + \delta - d_2 = h_{v2} - h_{v1} + k_{te}(h_{v2} - h_{v1})$$

simplificando nos queda

$$d_1 + \delta - d_2 = (h_{v2} - h_{v1})(1 + k_{te})$$

entonces nos queda:

$$d_1 + \delta - d_2 = (1 + k_{te})\Delta h_v \quad (28)$$

por otro lado de la Fig. 16, se tiene que:

$$d_1 + \delta = d_2 + e \quad \therefore e = d_1 + \delta - d_2 \quad (29)$$

igualando con la ecuación (28):

$$e = (1 + k_{te})\Delta h_v \quad (30)$$

Para las pérdidas por rejilla, si se tiene duda respecto a la forma del barrote que se vaya a utilizar durante la construcción de esta, se puede utilizar una aproximación media para k_r con la fórmula de Creager:

$$k_r = 1.45 - 0.45 \left(\frac{A_n}{A_b} \right) - \left(\frac{A_n}{A_b} \right)^2 \quad (31)$$

donde:

k_r = Coeficiente de pérdida de carga en rejilla, adimensional.

A_n = Área neta de paso entre las rejillas, en m².

A_b = Área bruta de la estructura de rejillas, que queda dentro del área hidráulica, en m².

En las pérdidas de entrada al conducto de un sifón, el fenómeno que se presenta es equivalente al de la entrada en un orificio, los valores de " k_e " que se muestran son para orificios con contracción completa, "orificio separado una distancia de tres veces el diámetro (cuando es circular) o tres veces la dimensión menor (cuando es rectangular) de las paredes y el fondo".

Como en el caso de entrada al conducto del sifón esta contracción se encuentra suprimida totalmente en las partes inferiores y laterales, al encausarse los filetes con la transición, los valores de k_e pueden corregirse de acuerdo a lo siguiente:

Para entradas circulares:

$$k'_e = \frac{k_e + 1}{(1 + 0.13f_a)^2} - 1 \quad (32)$$

donde:

k'_e = Coeficiente de pérdida por entrada corregido por contracción suprimida, adimensional.

k_e = Coeficiente de pérdida, que depende de la forma de entrada, adimensional.

f_a = Factor adimensional = Perímetro de la parte donde se suprime la contracción / Perímetro total de la entrada.

Para entradas rectangulares:

$$k'_e = \frac{k_e + 1}{(1 + 0.15f_a)^2} - 1 \quad (33)$$

Si resulta negativo el valor corregido, se considera que la pérdida por entrada es nula.

Se recomienda usar esta corrección especialmente en donde se tienen limitaciones de pérdida de carga, (zonas de riego con topografía muy plana) en caso contrario, el monto corregido se deja como factor de

seguridad ante las deficiencias de cálculo incongruentes con las formas constructivas de cualquier parte de la estructura, no verificándose la corrección correspondiente.

Para encontrar la recuperación que sufre la S L A (e') debido a la presencia de la transición de salida se aplica el teorema de Bernoulli pero en sentido contrario a como se hizo en la transición de entrada, ya que los datos conocidos son los del canal de salida.

Para que el conducto trabaje adecuadamente como anteriormente se dijo, se recomienda exista una sumergencia (s) de la clave a la salida del barril de entre 1.1 y $1.5 h_v$, aunque por necesidades topográficas en la transición de salida para fijar δ' , este ahogamiento puede tomarse como mayor del 10 % de la altura del conducto en la sección (3), ver Fig. 17 b.

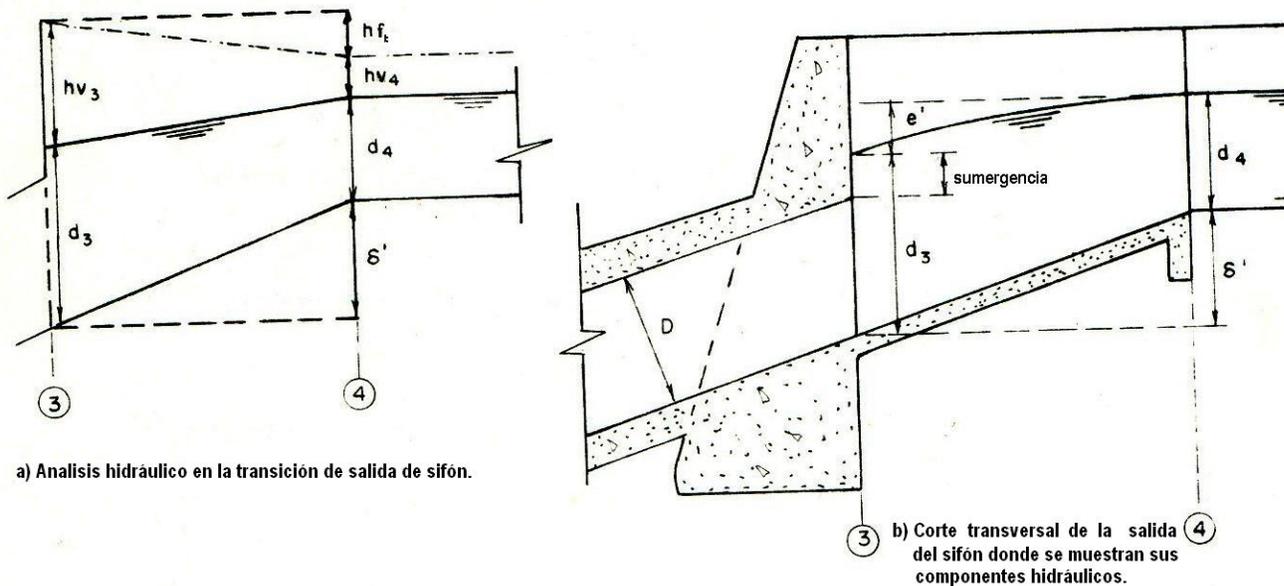


Fig. 17. Transición de salida del sifón.

Aplicando el teorema de Bernoulli entre las secciones (3) y (4) de la transición de salida, de la Fig. 17 (a), se tiene:

$$d_3 + h_{v3} = \delta' + d_4 + h_{v4} + h_{ts} \quad (34)$$

donde:

d_3 = Tirante en la sección 3, en m.

h_{v3} = Carga de velocidad en la sección 3, en m.

δ' = Diferencia de niveles entre las plantillas en la sección 3 y 4, en m.

d_4 = Tirante en el canal de salida, en m.

h_{v4} = Carga de velocidad en el canal de salida, en m.

h_{ft} = Suma de pérdidas de carga habidas en el paso de la sección 3 a la sección 4, en m.

Se procede por tanteos hasta encontrar el tirante de acuerdo que satisfaga el requisito de sumergencia, habiéndose propuesto previamente δ' o determinado por diferencias de niveles de exigencia topográfica.

El cálculo anterior debe satisfacer la condición de recuperación de la S L A (e'), por lo que, de la ecuación (34):

$$\delta' + d_4 - d_3 = h_{v3} - h_{v4} + h_{ts}$$

sustituyendo valores de la ecuación (24) tenemos que

$$\delta' + d_4 - d_3 = h_{v3} - h_{v4} + k_{ts}(h_{v3} - h_{v4})$$

simplificando nos queda

$$\delta' + d_4 - d_3 = (1 - k_{ts})(h_{v3} - h_{v4})$$

entonces

$$\delta' + d_4 - d_3 = (1 - k_{ts})\Delta h_v \quad (35)$$

Por otro lado de la Fig. 17 (b):

$$d_1 + e' = \delta' + d_4 \quad \therefore e' = \delta' + d_4 - d_3 \quad (36)$$

sustituyendo valores de la ecuación (35) en la (36) nos queda:

$$e' = (1 - k_{ts})\Delta h_v \quad (37)$$

IV.- Aplicaciones

4.1 Cruce de un arroyo mediante un sifón cuadrado.

Para dar continuidad a un canal trapecial a través de un arroyo, se propone un sifón de sección cuadrada, para librar dicho obstáculo.

Las características del canal a la entrada y salida del sifón son las siguientes:

$$\begin{array}{lll}
 Q = 2.20 \text{ m}^3/\text{s} & n = 0.017 & s = 0.0005 \\
 b = 1.00 \text{ m} & p = 4.207 \text{ m} & e = 0.316 \text{ m} \\
 d = 1.134 \text{ m} & r = 0.575 \text{ m} & m = 1 \\
 A = 2.42 \text{ m}^2 & v = 0.91 \text{ m/s} & e_r = 6 \text{ cm} \\
 c = 1.75 & &
 \end{array}$$

Longitud del sifón: $L = 50.10 \text{ m}$

No se tienen limitaciones para las pérdidas de carga.

| | |
|---------------|---|
| Transiciones: | Tipo regladas de concreto reforzado: |
| Entrada | De sección trapecial 1:1 de concreto simple |
| Salida | A sección trapecial 1:1 de concreto simple. |

Diseño hidráulico

Determinación de la sección del barril

La velocidad de la agua en el barril debe quedar entre 2 y 3.5 m/s. Tomando una $v = 2.5 \text{ m/s}$ y aplicando la ecuación (2) tenemos que:

$$A_{req} = \frac{2.2}{2.5} = 0.88 \text{ m}^2$$

por lo que requerimos una sección de 0.88 m^2 de área, se propone un barril de sección cuadrada de 0.95 m de lado y carteles en las esquinas de 0.10 x 0.10 m, lo que nos da un área real de:

$$A_{real} = t^2 - \left[4 \times \left(\frac{\text{cartel}^2}{2} \right) \right] \quad (38)$$

donde:

A_{real} = Área real, en m^2 .

t = Ancho de la tubería, en m.

sustituyendo valores

$$A = (0.95 \times 0.95) - 4 \left(\frac{0.10 \times 0.10}{2} \right) = 0.9025 - 0.02 = 0.8825$$

$$A = 0.8825 \text{ m}^2 \doteq A_{req} \text{ se acepta como buena.}$$

se obtiene el perímetro mojado de la sección tomando en cuenta los carteles de esta, que dando

$$p = 0.95 \times 4 - 0.1 \times 8 + 4\sqrt{0.1^2 + 0.1^2} = 3.8 - 0.8 + 0.5657$$

$$p = 3.5657 \text{ m}$$

calculando el radio hidráulico con la ecuación (14) queda:

$$r = \frac{0.8825}{3.566} = 0.2475 \text{ m}$$

como la velocidad es el gasto entre el área tenemos entonces:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2.2}{0.8825} = 2.493 \text{ m/s}$$

las pérdidas por carga de velocidad están dadas por:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (39)$$

así,

h_v = Pérdidas por carga de velocidad, en m.

v = Velocidad en el conducto, en m/s.

g = Aceleración de la gravedad, en m/s².

sustituyendo valores:

$$h_v = \frac{(2.493)^2}{19.62} = 0.3168 \text{ m}$$

se obtiene la longitud de transición con la ecuación (1):

$$L = \frac{T - t}{2} \cot \alpha$$

Por otro lado $T = b + 2md$, y el $\alpha = 22^\circ 30'$, ya que se va a pasar de una sección trapezoidal en el canal a sección cuadrada en el barril, se hace necesaria una transición, la que se propone sea del tipo reglada, por lo tanto la ecuación (1) queda como:

$$L = \frac{b + 2md - t}{0.828} = \frac{1.00 + 2 \times 1 \times 1.34 - 0.95}{0.828} = 2.80$$

se toma: $L = 3.00 \text{ m}$

Funcionamiento hidráulico del sifón

Escogida la sección del conducto y determinada la longitud de la transición; con la topografía detallada del cruce se traza el perfil del terreno y sobre este, se dibuja el perfil longitudinal del sifón.

Se deja un relleno de 1.75 m, de la rasante del arroyo a la parte superior del conducto en la zona del cauce; en las laderas se deja un colchón mínimo de 1.00 m. Las transiciones se localizan fuera de las laderas del arroyo, quedando totalmente enteradas en el terreno natural.

El desnivel entre los gradientes de energía en la entrada y salida de la estructura, tiene que ser igual a la suma de todas las pérdidas de carga que se presenten en el sifón, que al tenerse las mismas secciones en los canales se manifiesta como diferencia de niveles entre las plantillas. Trazando el sifón y ubicados los lugares donde puede haber pérdidas de carga, procede a calcularlas:

Pérdidas por transición de entrada

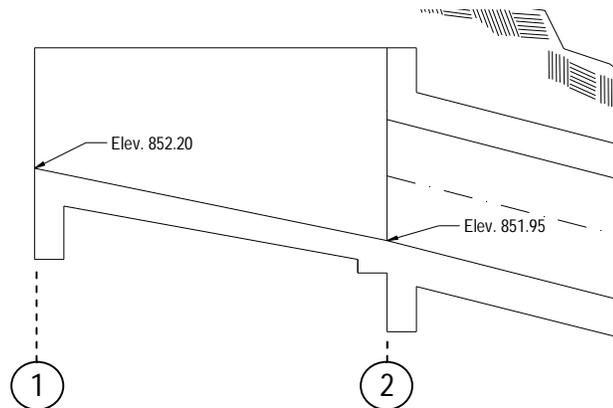


Fig. 18.-Corte transversal donde se muestran los puntos (1) y (2) de la transición de entrada.

Al ser una transición del tipo reglada, sus pérdidas se calculan según la fórmula (7):

$$h_{te} = k_{te}(h_{v2} - h_{v1}) = 0.2(h_{v2} - h_{v1})$$

si se establece el teorema de Bernoulli entre 1 y 2 (ver Fig. 18) y se considera que el abatimiento de la SLA en la sección 1 es despreciable, entonces aplicaremos la ecuación (27):

$$d_1 + h_{v1} + \delta = d_2 + h_{v2} + h_{te}$$

para el canal:

$$d_1 = 1.134 \text{ m}$$

$$h_{v1} = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{0.91^2}{19.62} = 0.0422 \text{ m}$$

$\delta = 0.35$ (Nota: Desnivel propuesto, con la sumergencia requerida, si la topografía del sifón no representa objeción alguna).

$$d_1 + h_{v1} + \delta = 1.134 + 0.0422 + 0.35 = 1.5262 \text{ m}$$

suponiendo d_2 se tiene:

$$d_2 = 1.35 \text{ m}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{2.2}{0.95 \times 1.35} = 1.715 \text{ m/s}$$

$$h_{v2} = \frac{v^2}{2g} = \frac{(1.715)^2}{19.6} = 0.15 \text{ m}$$

de la ecuación (7) por ser una transición reglada, se tiene:

$$h_{te} = 0.2(0.15 - 0.0422) = 0.0216$$

por lo que

$$d_2 + h_{v2} + h_{te} = 1.35 + 0.15 + 0.0216 = 1.5216$$

entonces $1.5262 \text{ m} \neq 1.5216 \text{ m}$

aumentando d_2 :

$$d_2 = 1.355 \text{ m}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{2.2}{0.95 \times 1.355} = 1.709 \text{ m/s}$$

$$h_{v2} = \frac{v^2}{2g} = \frac{(1.709)^2}{19.6} = 0.149 \text{ m}$$

por lo que

$$h_{te} = 0.2(h_{v2} - h_{v1}) = 0.2(0.149 - 0.0422) = 0.0214$$

$$d_2 + h_{v2} + h_{te} = 1.355 + 0.149 + 0.0214 = 1.5254$$

al ser prácticamente igual $d_1 + h_{v1} + \delta$ se tomara como bueno el de d_2

aplicando la ecuación (30) para el abatimiento:

$$e = (1 + k_{te})(h_{v2} - h_{v1}) = (1 + 0.2)(0.149 - 0.0422) = 1.2 \times 0.1068 = 0.1282 \text{ m}$$

y,

$$d_1 + \delta - d_2 = 1.134 + 0.35 - 1.355 = 0.129$$

$$\therefore 0.129 \doteq e$$

por lo que está bien el cálculo.

Verificando la sumergencia (ver Fig. 15)

$$s = d_2 - \frac{D}{\cos \theta} \quad (40)$$

donde:

d_2 = Tirante en la sección 2, en m.

D = Diámetro de la tubería, en m.

θ = Angulo de inclinación de la tubería, en grados.

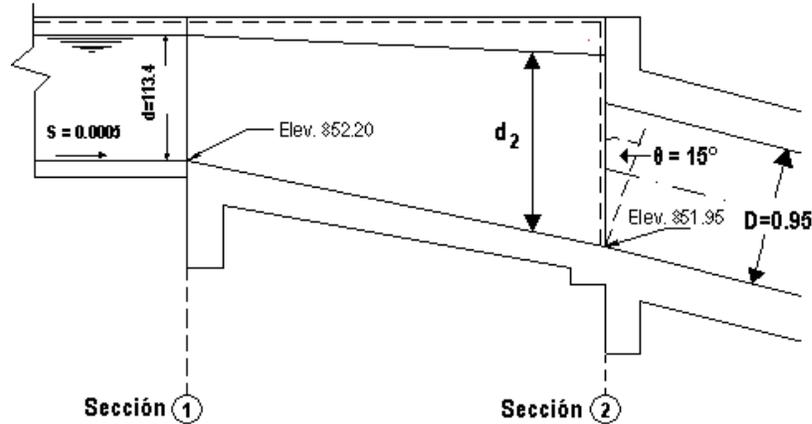


Fig. 19.-Corte transversal de la entrada del sifón con las variables que intervienen en el cálculo de la sumergencia.

$$S = 1.355 - \frac{0.95}{\cos 15^\circ} = 1.355 - 0.9835 = 0.371 \text{ m}$$

$$1.1 h_{v2} = 0.164 \text{ m} \quad 1.5 h_{v2} = 0.224 \text{ m}$$

como la sumergencia $S > 1.5 h_{v2}$ se disminuye δ

entonces $\delta = 0.25 \text{ m}$

$$d_1 + h_{v1} + \delta = 1.134 + 0.0422 + 0.25 = 1.4262 \text{ m}$$

suponiendo d_2 :

$$d_2 = 1.20 \text{ m} \quad v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{2.2}{0.95 \times 1.20} = 1.93 \text{ m/s} \quad h_{v2} = \frac{v^2}{2g} = \frac{(1.93)^2}{19.6} = 0.1898 \text{ m}$$

aplicando la ecuación (7):

$$h_{te} = 0.2(0.1898 - 0.0422) = 0.0295 \text{ m}$$

donde,

$$d_2 + h_{v2} + h_{te} = 1.20 + 0.1898 + 0.0295 = 1.4193$$

aumentando d_2 :

$$d_2 = 1.21 \text{ m} \quad v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{2.2}{0.95 \times 1.21} = 1.914 \text{ m/s} \quad h_{v2} = \frac{v^2}{2g} = \frac{(1.914)^2}{19.6} = 0.1867 \text{ m}$$

$$h_{te} = 0.2(h_{v2} - h_{v1}) = 0.2(0.1867 - 0.0422) = 0.0289 \text{ m}$$

$$d_2 + h_{v2} + h_{te} = 1.21 + 0.1867 + 0.0289 = 1.4256$$

como prácticamente es igual a $d_1 + h_{v1} + \delta$ se tomara como correcto d_2 :

$$e = (1 + k_{te})(h_{v2} - h_{v1}) = (1 + 0.2)(0.1867 - 0.0422) = 1.2 \times 0.1445 = 0.1734 \text{ m}$$

$$d_1 + \delta - d_2 = 1.134 + 0.25 - 1.21 = 0.174 \doteq e$$

por lo que está bien el cálculo.

Verificando la sumergencia

$$s = d_2 - \frac{D}{\cos \theta} = 1.21 - \frac{0.95}{\cos 15^\circ} = 1.21 - 0.9835 = 0.227 \text{ m}$$

$$1.1 h_{v2} = 0.205 \text{ m} \quad 1.5 h_{v2} = 0.28 \text{ m}$$

al quedar la sumergencia entre $1.1 h_{v2}$ y $1.5 h_{v2}$ se acepta como bueno el cálculo para la transición con el desnivel $\delta = 0.25 \text{ m}$.

Pérdida por rejilla

Se recomienda usar una rejilla formada con barrotes de solera de 0.64 cm x 1.27 cm ($\frac{1}{4}$ x $\frac{1}{2}$ pulgada) a cada 9.5 cm de centro a centro, apoyados en un marco de solera de 5.08 cm x 0.64 cm (2 x $\frac{1}{4}$ pulgada) al centro, por lo que:

$$\text{Número de espacios} = \frac{0.95}{0.095} = 10$$

$$\text{Numero de barrotes} = 10 - 1 = 9$$

$$\text{Ancho neto} = 0.95 - 9 \times 0.0064 = 0.8924 \text{ m}$$

$$A_n = 0.95 \times 0.8924 - 10(0.0886)0.0064 = 0.8478 - 0.0058 = 0.842 \text{ m}^2$$

$$v_n = \frac{Q}{A_n} = \frac{2.2}{0.842} = 2.613 \text{ m/s}$$

$$k = 2.42 \text{ (depende de la forma del barrote, ver tabla I)}$$

$$t = 0.64 \text{ cm}$$

$$d = 9.5 \text{ cm}$$

sustituyendo valores en las fórmulas (9) y (8):

$$k_r = 2.42 \left(\frac{0.64}{9.5} \right)^{4/3} = 0.0663$$

$$h_r = 0.0663 \frac{(2.613)^2}{19.62} = 0.023 \text{ m}$$

Pérdida por entrada al conducto

Como en este caso no se tiene limitante en la pérdida de carga y con el objeto de dar un margen de seguridad en los cálculos no se hace la corrección por contracción suprimida.

Se considera una la entrada rectangular por lo que:

$$k_e = 0.5$$

$$h_v = 0.3168 \text{ m (la carga de velocidad en el barril se obtiene de la ecuación 39)}$$

sustituyendo valores en la ecuación (10):

$$h_e = 0.5 \times 0.3168 = 0.1584 \text{ m}$$

Pérdidas por fricción en el conducto

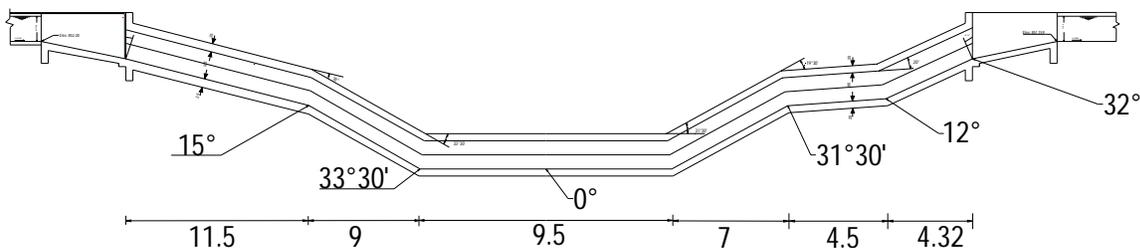


Fig. 20.-Ángulos y distancias para el cálculo de la longitud del barril.

Calculamos la longitud del sifón acuerdo a los ángulos presentados en la Fig. 20.

$$L = \frac{11.50}{\cos 15^\circ} + \frac{9.0}{\cos 33^\circ 30'} + 9.50 + \frac{7.0}{\cos 31^\circ 30'} + \frac{4.5}{\cos 12^\circ} + \frac{4.32}{\cos 32^\circ}$$

$$L = 11.905 + 10.793 + 9.50 + 8.21 + 4.601 + 5.094 = 50.103 \text{ m}$$

luego:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2.2}{0.8825} = 2.493 \text{ m/s}$$

$$r = \frac{0.8825}{3.566} = 0.2475 \text{ m}$$

$$n = 0.017 \text{ (Valor de rugosidad propuesto para concreto)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (13) tenemos:

$$h_f = \left(\frac{2.493 \times 0.017}{0.2475^{2/3}} \right)^2 \times 50.103 = 0.5796$$

$$h_f = 0.58 \text{ m}$$

Pérdida por cambio de dirección:

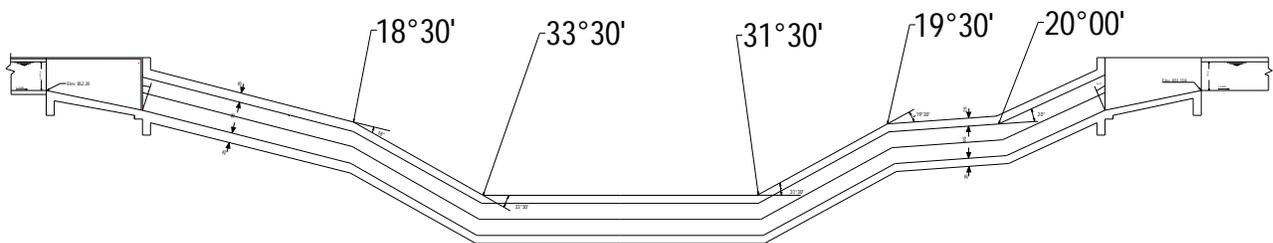


Fig. 21.-Cambios de dirección que presenta el conducto del sifón.

El número de codos que se tiene son 5 (ver Fig.21).

| N° de codo | Deflexión (Δ) del codo: | Valor de $\sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}}$ |
|------------|----------------------------------|---|
| 1 | 18° 30' | 0.4534 |
| 2 | 33° 30' | 0.6101 |
| 3 | 31° 30' | 0.5916 |
| 4 | 19° 30' | 0.4655 |
| 5 | 20° 00' | 0.4714 |

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}} = 2.5920$$

entonces:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(2.493)^2}{19.62} = 0.3168 \text{ m}$$

$$c = 0.25$$

sustituyendo valores en la ecuación (20):

$$h_c = 0.0792 \times 2.592 = 0.2053 \text{ m}$$

Pérdidas por transición de salida

Como se tiene una transición reglada su pérdida es:

$$h_{ts} = k_{ts}(h_{v3} - h_{v4}) = 0.3 (h_{v3} - h_{v4})$$

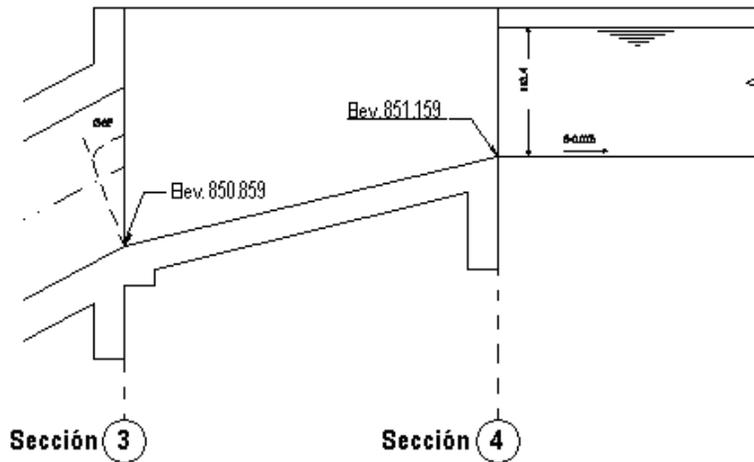


Fig. 22.-Corte transversal donde se muestran los puntos (1) y (2) de la transición de salida.

Se aplica el teorema de Bernoulli entre (3) y (4) (ver Fig. 22), con el agua de regreso al igual que cuando se encontró la pérdida por transición de entrada, con el objeto de determinar la pérdida de carga y el porcentaje de ahogamiento del tubo. De la ecuación (34) se deriva que:

$$d_3 + h_{v3} - h_{ts} = \delta' + d_4 + h_{v4}$$

$$\delta' = 0.30 \text{ m}$$

$$\delta' + d_4 + h_{v4} = 0.30 + 1.134 + 0.0422 = 1.4762 \text{ m}$$

suponiendo d_3 :

$$d_3 = 1.30 \text{ m} \quad v_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{2.2}{0.95 \times 1.30} = 1.781 \text{ m/s} \quad h_{v3} = \frac{v_3^2}{2g} = \frac{(1.781)^2}{19.62} = 0.1617 \text{ m}$$

$$h_{ts} = 0.3(h_{v3} - h_{v4}) = 0.3(0.1617 - 0.0422) = 0.0358 \text{ m}$$

$$d_3 + h_{v3} - h_{ts} = 1.30 + 0.1617 - 0.0358 = 1.4259 \neq \delta' + d_4 + h_{v4}$$

aumentando d_3 :

$$d_3 = 1.36 \text{ m} \quad v_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{2.2}{0.95 \times 1.36} = 1.703 \text{ m/s} \quad h_{v3} = \frac{v_3^2}{2g} = \frac{(1.703)^2}{19.62} = 0.1478 \text{ m}$$

calculando h_{ts} con la ecuación (24) tenemos:

$$h_{ts} = 0.3(h_{v3} - h_{v4}) = 0.3(0.1478 - 0.0422) = 0.0317 \text{ m}$$

$$d_3 + h_{v3} - h_{ts} = 1.36 + 0.1478 - 0.0317 = 1.4761 \doteq \delta' + d_4 + h_{v4}$$

se acepta el d_3 propuesto.

Con fines de comprobación:

$$\delta' + d_4 - d_3 = 0.30 + 1.134 - 1.36 = 0.074 \text{ m}$$

aplicando la ecuación (37)

$$e = (1 - k_{ts})(h_{v3} - h_{v4}) = (1 - 0.3)(0.1478 - 0.0422) = 0.7 \times 0.1056 = 0.074 \text{ m}$$

$$\delta' + d_4 - d_3 = 0.074 \text{ m}$$

por lo que está bien el cálculo.

Verificando la sumergencia (ver Fig. 17b)

$$s = d_3 - \frac{D}{\cos \theta} = 1.36 - \frac{0.95}{\cos 32^\circ} = 1.36 - 1.12 = 0.24 \text{ m}$$

$$1.1 h_{v3} = 0.163 \text{ m} \quad 1.5 h_{v3} = 0.222 \text{ m}$$

como prácticamente es igual a $1.5 h_{v3}$ se acepta el calculo de la transición con el desnivel $\delta' = 0.30 \text{ m}$

Resumen de pérdidas

$$\Sigma h_x = h_{te} + h_r + h_e + h_f + h_c + h_{ts}$$

$$\Sigma h_x = 0.029 + 0.023 + 0.158 + 0.58 + 0.205 + 0.32 = 1.027 \text{ m}$$

La sumatoria de pérdidas (Σh_x) debe ser menor o igual a la diferencia de niveles entre las plantillas del canal en la sección (1) y (4), al ser de las mismas características estos canales (ver Fig. 23).

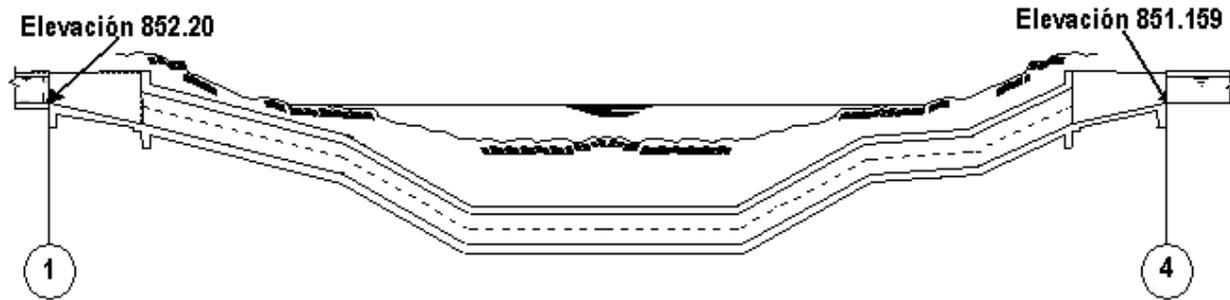


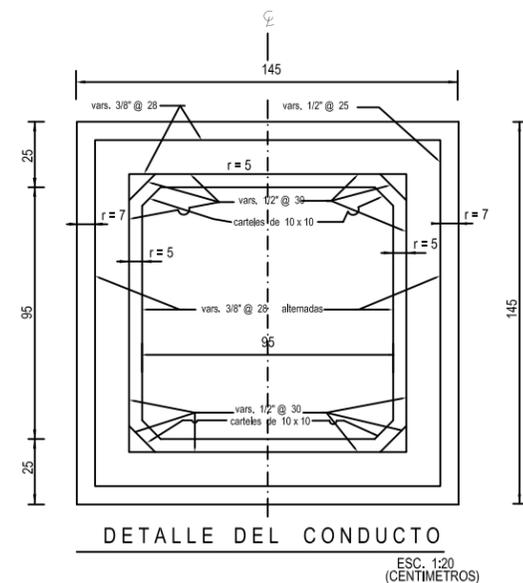
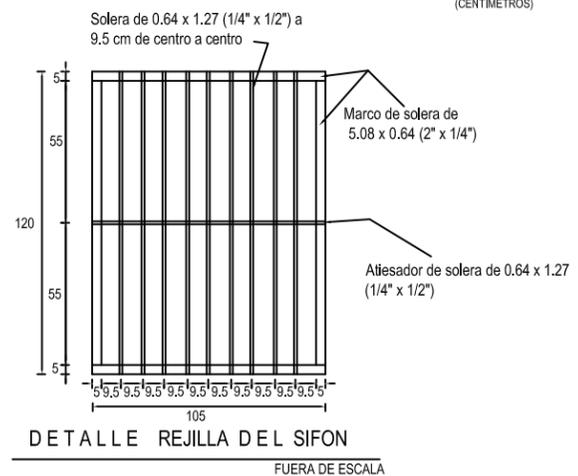
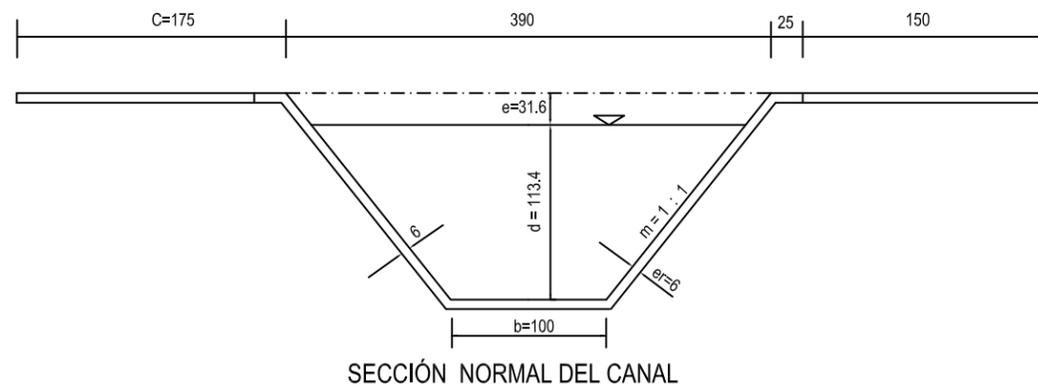
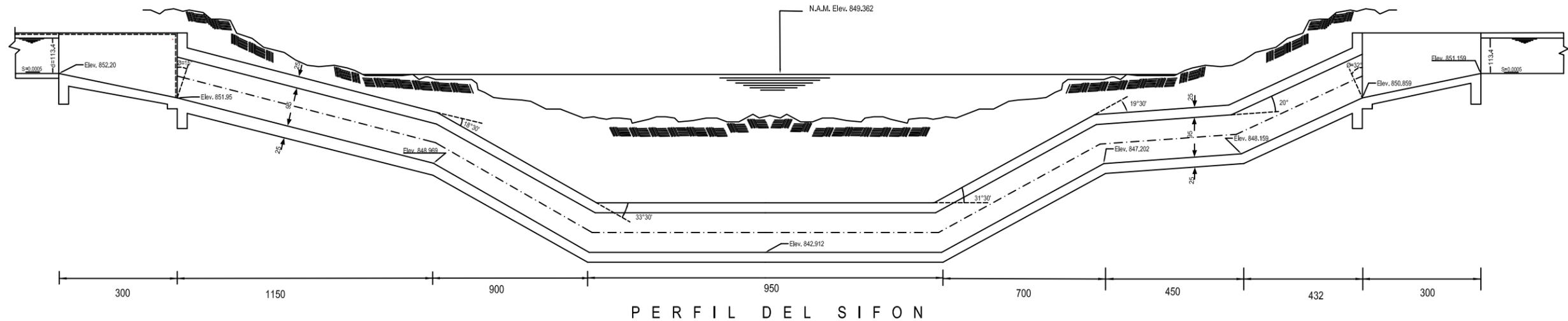
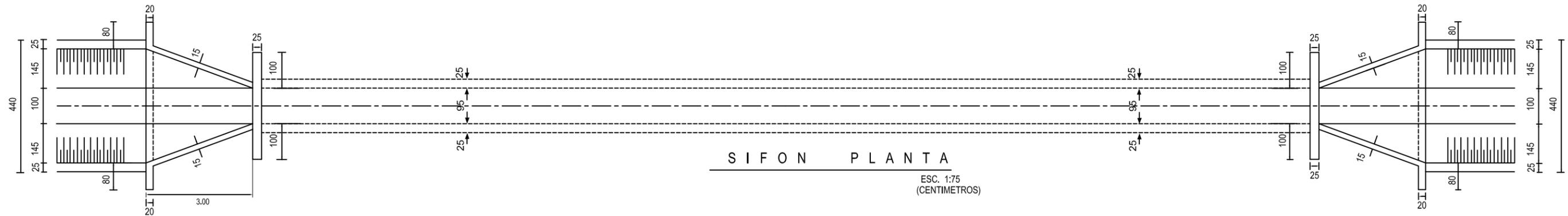
Fig. 23.-Perfil transversal del sifón donde se observan los puntos de referencia 1 y 4, así como sus respectivas elevaciones.

$$\text{Elevación sección (1)} - \text{Elevación sección (4)} \geq \Sigma h_x$$

$$\text{Elevación } 852.20 - \text{Elevación } 851.159 = 1.041 \text{ m}$$

$$1.041 \text{ m} \geq 1.027 \text{ m}$$

Como la diferencia de elevaciones es mayor que Σh_x se tiene como bueno todo el cálculo hidráulico. Si resultara menor, se tendría un remanso a la entrada del sifón, de una magnitud igual a la diferencia anterior, por lo que se presentaría una invasión del Libre Bordo, esto es tolerable hasta un 25% del mismo.



NOTAS:
Estaciones en kilómetros.
Elevaciones en metros.
Acotaciones en centímetros excepto las indicadas en otra unidad.

| DATOS HIDRAULICOS | | | |
|---------------------------------|----------------|---------------------------------|---------------|
| DEL CANAL | | DEL CONDUCTO | |
| Q = 2.2000 m ³ /seg. | r = 0.5750 m | Q = 2.2000 m ³ /seg. | r = 0.2470 m |
| A = 2.4200 m ² | n = 0.0170 | A = 0.8825 m ² | hv = 0.3170 m |
| V = 0.9100 m/seg | S = 0.0005 | V = 2.4930 m/seg | |
| b = 1.0000 m | m = 1.0000 | B = 0.9500 m | |
| d = 1.1340 m | er = 6.0000 cm | D = 0.9500 m | |
| p = 4.2070 m | | p = 3.5660 m | |

| PERDIDAS HIDRAULICAS | | |
|-----------------------|--------|---|
| Transición de entrada | 0.0290 | m |
| Rejilla | 0.0230 | m |
| Entrada al conducto | 0.1580 | m |
| Ficción en conducto | 0.5800 | m |
| Cambios de dirección | 0.2050 | m |
| Transición de salida | 0.0320 | m |
| TOTAL | 1.0270 | m |
| Carga disponible | 1.0410 | m |

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MÉXICO**

TESIS PROFESIONAL:
"DISEÑO HIDRÁULICO DE SIFONES"

APLICACIÓN 4.1:
CRUCE DE UN ARROYO
MEDIANTE UN SIFÓN CUADRADO

DIBUJO Y CALCULO: LUIS GABRIEL TAPIA GONZÁLEZ ASESOR: M. EN I. PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ

NUMERO DE PLANOS: 1 DE 1 PLANO NUMERO: UNO FECHA: MARZO DE 2013

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN**

4.2 Cruce de un camino mediante un sifón cuadrado.

Para trasladar el agua al otro lado de un camino se propone un sifón de sección cuadrada, donde los canales de entrada y salida tienen los siguientes datos de proyecto:

$$\begin{array}{lll}
 Q = 1.0 \text{ m}^3/\text{s} & n = 0.015 & s = 0.00065 \\
 b = 1.00 \text{ m} & p = 2.887 \text{ m} & m = 1 \\
 y = 0.667 \text{ m} & r = 0.3852 \text{ m} & T = 2.334 \text{ m} \\
 A = 1.112 \text{ m}^2 & v = 0.8998 \text{ m/s} & t = 0.636 \text{ m}
 \end{array}$$

no se tienen limitaciones para las pérdidas de carga.

| | |
|---------------|---|
| Transiciones: | Tipo regladas de concreto reforzado: |
| Entrada | De sección trapecial 1:1 de concreto simple |
| Salida | A sección trapecial 1:1 de concreto simple. |

Diseño hidráulico

Determinación de la sección del conducto.

Aplicando la ecuación (2) y proponiendo una $v = 2.6 \text{ m/s}$ tenemos:

$$A_{req} = \frac{1.0}{2.6} = 0.3846 \text{ m}^2$$

Necesitamos una sección de 0.3846 m^2 de área, entonces proponemos un conducto de sección cuadrada de 0.636 m de lado y carteles en las esquinas de $0.10 \times 0.10 \text{ m}$; sustituyendo valores en la ecuación (38) nos da un área:

$$A = 0.636 \times 0.636 - 4 \left(\frac{0.10 \times 0.10}{2} \right) = 0.404496 - 0.02 = 0.3845$$

$$A = 0.3845 \text{ m}^2 \doteq A_{req} \text{ se acepta}$$

calculando el perímetro mojado tenemos:

$$p = 0.636 \times 4 - 0.1 \times 8 + 4\sqrt{0.1^2 + 0.1^2} = 2.544 - 0.8 + 0.5657$$

$$p = 2.3097 \text{ m}$$

ocupando la ecuación (14) para encontrar el radio hidráulico nos queda:

$$r = \frac{0.3845}{2.3097} = 0.1665 \text{ m}$$

y la velocidad para el conducto que requerimos es:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1.0}{0.3845} = 2.6008 \text{ m/s}$$

entonces, si aplicamos la ecuación (39) tenemos que:

$$h_v = \frac{(2.6008)^2}{19.62} = 0.3448 \text{ m}$$

calculando la longitud de transición con la ecuación (1):

$$L = \frac{2.334 - 0.636}{2} (\cot 22^\circ 30') = (0.849) \times (2.4142) = 2.050 \text{ m}$$

pero también se puede realizar el cálculo tomando en cuenta que $T = b + 2md$, y el $\alpha = 22^\circ 30'$, ya que se va a pasar de una sección trapecial en el canal a sección cuadrada en el conducto, se hace necesaria una transición, la que se propone sea del tipo reglada, por lo tanto la ecuación (1) queda como:

$$L = \frac{b + 2md - t}{0.828}$$

$$L = \frac{1.0 + 2 \times 1 \times 0.667 - 0.636}{0.828} = 2.050$$

se toma: $L = 2.00 \text{ m}$

Pérdidas por transición de entrada

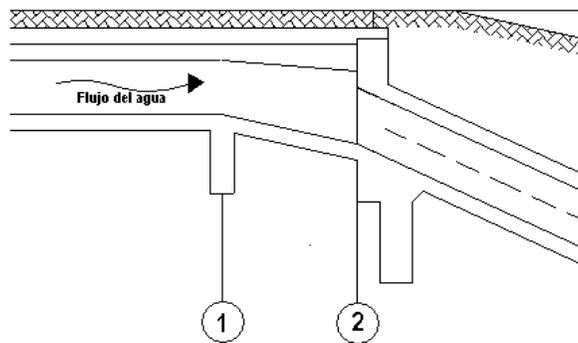


Fig. 24.-Corte transversal del sifón donde se observan los puntos de referencia 1 y 2 de la transición de entrada.

Aplicando el teorema de Bernoulli entre los puntos 1 y 2 (ver Fig. 24), considerando que el abatimiento de la SLA es despreciable en el punto 1, ocuparemos la ecuación (27):

$$d_1 + h_{v1} + \delta = d_2 + h_{v2} + h_{te}$$

Para el canal:

$$d_1 = 0.667 \text{ m} \quad h_{v1} = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{0.8998^2}{19.62} = 0.0413 \text{ m} \quad \delta = 0.37 \text{ (valor propuesto)}$$

$$d_1 + h_{v1} + \delta = 0.667 + 0.0413 + 0.37 = 1.078 \text{ m}$$

suponiendo d_2 se tiene:

$$d_2 = 0.9 \text{ m} \quad v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{1.0}{0.636 \times 0.9} = 1.747 \text{ m/s} \quad h_{v2} = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{(1.747)^2}{19.6} = 0.155 \text{ m}$$

al ser una transición reglada utilizamos un $k_e = 0.2$, aplicando la ecuación (7) tenemos:

$$h_{te} = 0.2(0.1555 - 0.0413) = 0.0228$$

por lo que,

$$d_2 + h_{v2} + h_{te} = 0.9 + 0.1555 + 0.0228 = 1.078$$

entonces $1.078 \text{ m} = 1.078 \text{ m}$

aplicando la ecuación (30):

$$e = (1 + k_{te})(h_{v2} - h_{v1}) = (1 + 0.2)(0.1555 - 0.0413) = 1.2 \times 0.1142 = 0.137 \text{ m}$$

y,

$$d_1 + \delta - d_2 = 0.667 + 0.37 - 0.9 = 0.137$$

$$\therefore 0.137 = e$$

por lo que está bien el cálculo.

Verificando la sumergencia con la ecuación (40):

$$s = 0.9 - \frac{0.636}{\cos 25^\circ} = 0.9 - 0.702 = 0.198 \text{ m}$$

$$1.1 h_{v2} = 0.1711 \text{ m} \quad 1.5 h_{v2} = 0.2333 \text{ m}$$

Al quedar la sumergencia entre $1.1 h_{v2}$ y $1.5 h_{v2}$ se acepta como bueno el calculo para la transición con el desnivel $\delta = 0.37 \text{ m}$.

Pérdida por rejilla

Según la fórmula

$$h_r = k_r \frac{v_n^2}{2g}$$

donde:
$$k_r = k \left(\frac{t}{d} \right)^{4/3}$$

Se propone usar una rejilla formada con barrotes de solera de 0.64 cm x 1.27 cm (¼ x ½ pulgada) a cada 10 cm de centro a centro, apoyados en un marco de solera de 5.08 cm x 0.64 cm (2 x ¼ pulgada) al centro, por lo que:

$$\text{Número de espacios} = \frac{0.6360}{0.10} = 6.35 \cong 6$$

$$\text{Numero de barrotes} = 6 - 1 = 5$$

$$\text{Ancho neto} = 0.6360 - 5 \times 0.0064 = 0.604 \text{ m}$$

$$A_n = 0.6360 \times 0.604 = 0.384 \text{ m}^2$$

$$v_n = \frac{Q}{A_n} = \frac{1.0}{0.384} = 2.604 \text{ m/s}$$

$$k = 2.42$$

$$t = 0.64 \text{ cm}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

sustituyendo valores en las ecuaciones (9) y (8), respectivamente tenemos:

$$k_r = 2.42 \left(\frac{0.64}{10} \right)^{4/3} = 0.061952$$

$$h_r = 0.061952 \frac{(2.604)^2}{19.62} = 0.0214 \text{ m}$$

Pérdida por entrada al conducto

Se considera una entrada con arista ligeramente redondeada

$$k_e = 0.23$$

$$h_v = 0.3448 \text{ m}$$

Sustituyendo valor en la ecuación (10):

$$h_e = 0.23 \times 0.3448 = 0.0793 \text{ m}$$

Pérdidas por fricción en el conducto

De acuerdo a la Fig.25;

$$L = 5.77 + 5.34 + 2.89 + 2.28 + 2.34 = 18.62 \text{ m}$$

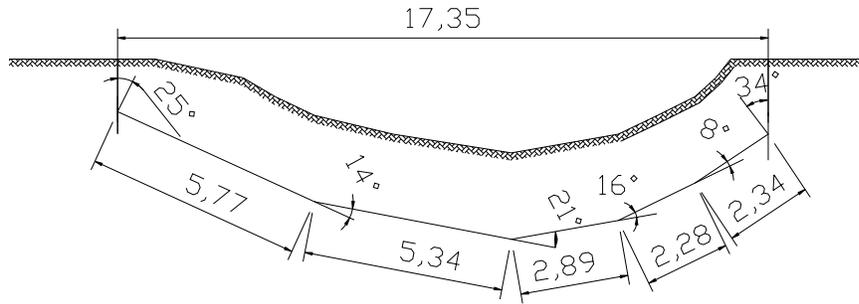


Fig. 25.-Corte transversal del sifón donde se observan los cambios de dirección y la longitud del conducto. donde se considera un $n=0.011$ para concreto.

Luego sustituyendo valores en la ecuación (13):

$$h_f = \left(\frac{2.6 \times 0.011}{0.1665^{2/3}} \right)^2 \times 18.62 = 0.1662$$

$$h_f = 0.1662 \text{ m}$$

Pérdida por cambio de dirección:

Se tienen 4 codos (ver Fig. 25).

| Deflexión del codo: | Valor de $\sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}}$ |
|---------------------|---|
| 14° | 0.3944 |
| 21° | 0.4830 |
| 16° | 0.4216 |
| 8° | 0.2981 |

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}} = 1.5971$$

sustituyendo en la ecuación (20):

$$h_c = (0.25)(0.3448) \times 1.5971 = 0.1376 \text{ m}$$

Pérdidas por transición de salida

Como se tiene una transición reglada su pérdida es :

$$h_{ts} = k_{ts}(h_{v3} - h_{v4}) = 0.3 (h_{v3} - h_{v4})$$

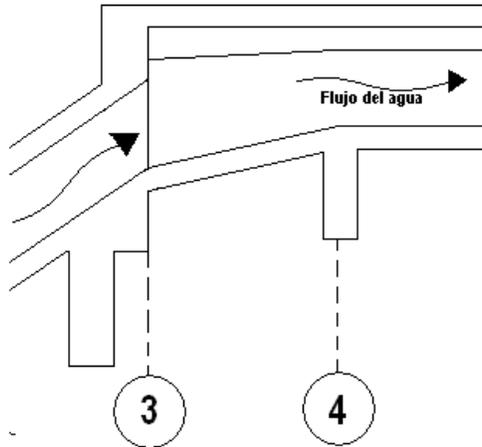


Fig. 26.-Corte transversal del sifón donde se observan los puntos 3 y 4.

Se aplica el teorema de Bernoulli entre (3) y (4) (ver Fig. 26), con el agua de regreso al igual que cuando se encontró la pérdida por transición de entrada, con el objeto de determinar la pérdida de carga y el porcentaje de ahogamiento del tubo. Según la figura se tiene:

$$d_3 + h_{v3} = \delta' + d_4 + h_{v4} + h_{ts}$$

$$d_3 + h_{v3} - h_{ts} = \delta' + d_4 + h_{v4}$$

$$\delta' = 0.37 \text{ m}$$

$$\delta' + d_4 + h_{v4} = 0.37 + 0.667 + 0.0413 = 1.078 \text{ m}$$

suponiendo d_3

$$d_3 = 0.97 \text{ m} \quad v_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{1.0}{0.636 \times 0.97} = 1.620 \text{ m/s} \quad h_{v3} = \frac{v_3^2}{2g} = \frac{(1.620)^2}{19.62} = 0.1337 \text{ m}$$

$$h_{ts} = 0.3(h_{v3} - h_{v4}) = 0.3(0.1337 - 0.0413) = 0.0277 \text{ m}$$

$$d_3 + h_{v3} - h_{ts} = 0.97 + 0.1337 - 0.0277 = 1.076 \cong \delta' + d_4 + h_{v4}$$

se acepta el d_3 propuesto

Con fines de comprobación

$$\delta' + d_4 - d_3 = 0.37 + 0.667 - 0.97 = 0.067 \text{ m}$$

Por otro lado

$$e' = (1 - k_{ts})(h_{v3} - h_{v4}) = (1 - 0.3)(0.136 - 0.0413) = 0.7 \times 0.0947 = 0.066 \text{ m} \cong 0.067$$

por lo que se acepta el cálculo;

verificando la sumergencia:

$$s = d_3 - \frac{D}{\cos \theta} = 0.97 - \frac{0.636}{\cos 34^\circ} = 0.97 - 0.767 = 0.203 \text{ m}$$

$$1.1 h_{v3} = 0.149 \text{ m} \quad 1.5 h_{v3} = 0.204 \text{ m}$$

se acepta el cálculo de la transición con el desnivel $\delta' = 0.37 \text{ m}$

Resumen de pérdidas

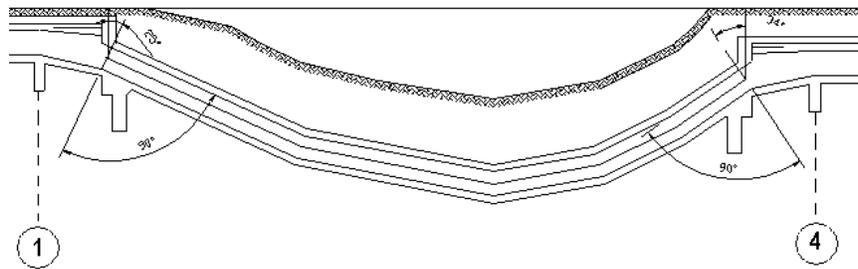


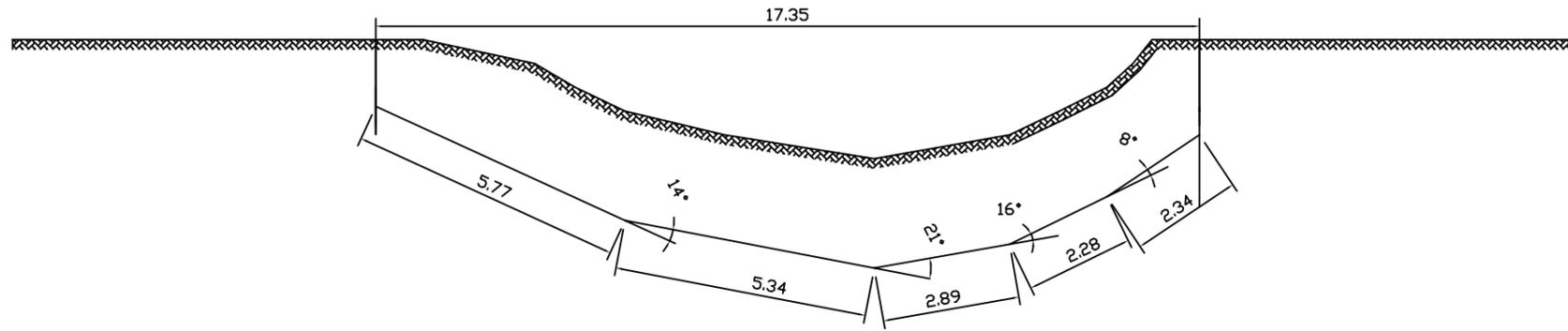
Fig. 27.-Perfil transversal del sifón donde se observan los puntos de referencia 1 y 4.

$$\Sigma h_x = h_{te} + h_r + h_e + h_f + h_c + h_{ts}$$

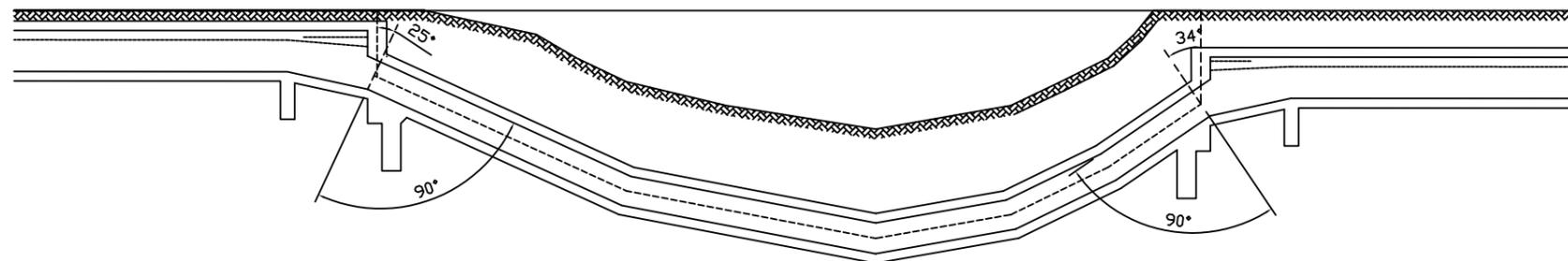
$$\Sigma h_x = 0.0228 + 0.0214 + 0.0793 + 0.1662 + 0.1376 + 0.0277 = 0.455 \text{ m}$$

Como la elevación entre el punto 1 y 4 (ver Fig. 27) es de 0.50 m. y Σh_x es menor se toma como bueno todo el cálculo hidráulico.

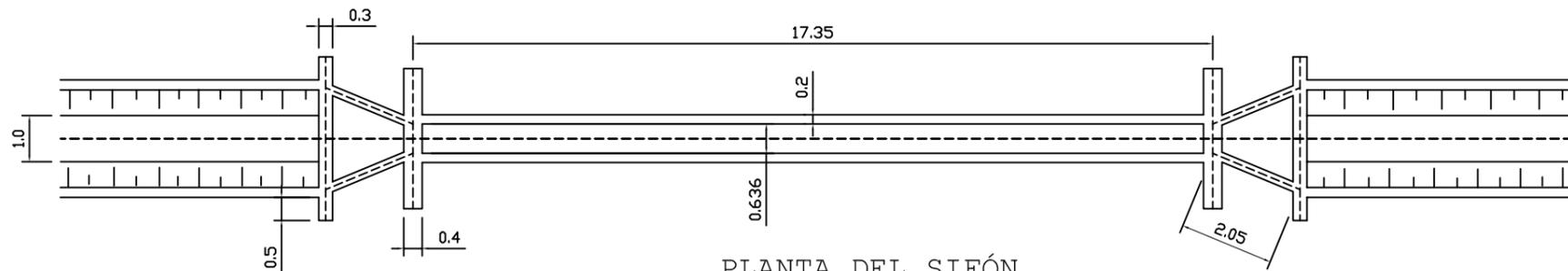
De no ser así se tendría que revisar los cálculos para determinar si se cambia la sección del conducto, se modifican los ángulos en los cambios de dirección o el material de la tubería propuesta.



CAMBIOS DE DIRECCIÓN Y LONGITUD DEL SIFÓN



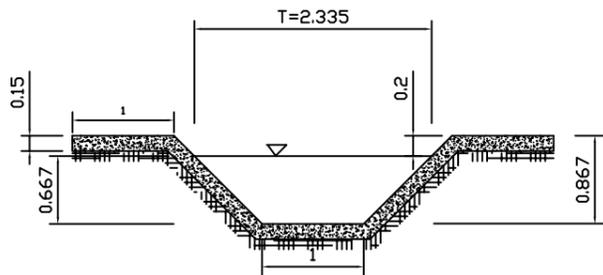
PERFIL DEL SIFÓN



PLANTA DEL SIFÓN

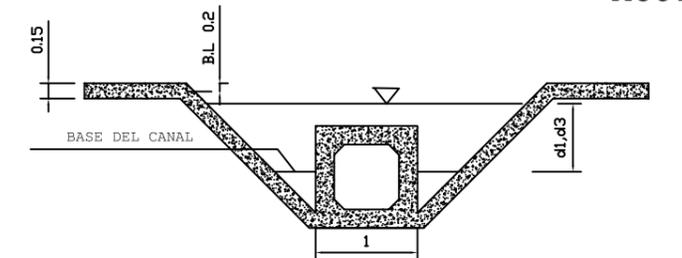
ACOTACION. METROS

ESCALA 1:100



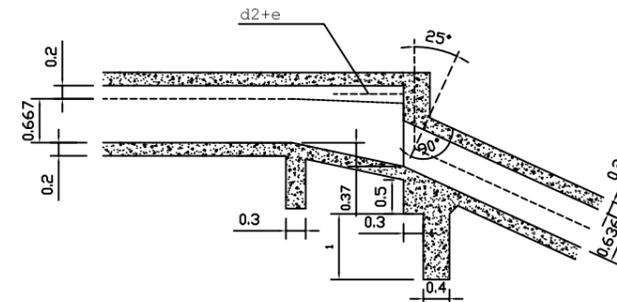
CANAL DE ENTRADA Y DE SALIDA

ESC.1:50 ACOT. METROS



TRANSICION DE ENTRADA Y DE SALIDA

ESC.1:50 ACOT. METROS



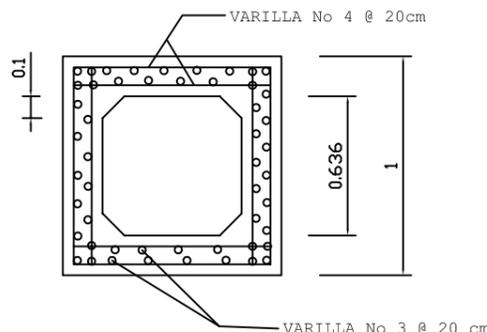
DETALLE 1 PERFIL DEL SIFÓN

ESC. 1:50 ACOT. METROS



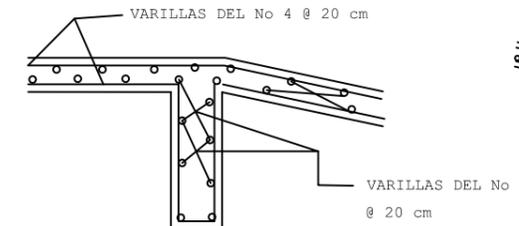
ARMADO DEL CANAL DE ENTRADA Y DE SALIDA

ESC.1:50 ACOT. METROS



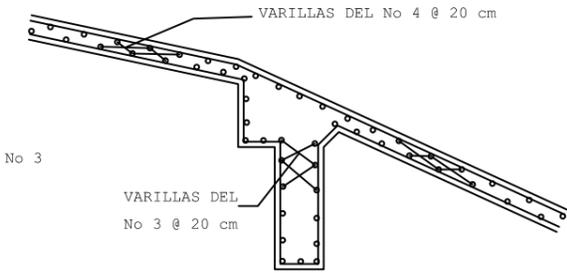
ARMADO DE LA ENTRADA DEL CONDUCTO

ESC.1:25 ACOT. METROS



DETALLE 3 ARMADO

ESC. 1:50 ACOT. METROS



DETALLE 2 ARMADO

ESC. 1:50 ACOT. METROS

| CARACTERISTICAS HIDRAULICAS | | |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| CANAL ANTES DEL SIFÓN | EN EL CONDUCTO | CANAL DESPUES DEL SIFÓN |
| Q = 1.0000 m ³ /seg | Q = 1.00000 m ³ /seg | Q = 1.0000 m ³ /seg |
| b = 1.0000 m | A = 0.38400 m ² | b = 1.0000 m |
| y = 0.6670 m | P = 2.30970 m | y = 0.6670 m |
| A = 1.1120 m ² | r = 0.16650 m | A = 1.1120 m ² |
| P = 2.8870 m | V = 2.60000 m/seg | P = 2.8870 m |
| r = 0.3852 m | n = 0.011 | r = 0.3852 m |
| v = 0.8998 m/seg | T' = 0.63600 m | v = 0.8998 m/seg |
| n = 0.015 | | n = 0.015 |
| m = 1:1 | | m = 1:1 |
| s = 0.00065 | | s = 0.00065 |
| Bl = 0.2000 m | | Bl = 0.2000 m |

| GENERADORES | | |
|--------------------------------------|----------------|----------|
| CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD |
| EXCAVACIÓN | m ³ | 252.35 |
| RELLENO | m ³ | 225.62 |
| CONCRETO Fc=250kg/cm ² | m ³ | 17.145 |
| VARILLAS No3 y No4 | ton | 0.500 |
| CIMBRA | m ² | 78.00 |

| RESUMEN DE PERDIDAS | |
|--|------------|
| Pérdidas de carga por transición de entrada | = 0.0228 m |
| Pérdidas de carga por rejilla | = 0.0214 m |
| Pérdidas de carga por entrada al conducto | = 0.0793 m |
| Pérdidas de carga de fricción en el conducto | = 0.1662 m |
| Pérdidas de carga por cambio de dirección | = 0.1376 m |
| Pérdidas de carga por transición de salida | = 0.0277 m |
| TOTAL | = 0.4550 m |
| Desnivel del sifón disponible | = 0.5000 m |

NOTAS:
Acotaciones en metros excepto las indicadas en otra unidad.
Utilícese aditivo impermeabilizante en el barril.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MÉXICO**

TESIS PROFESIONAL:
"DISEÑO HIDRÁULICO DE SIFONES"

APLICACIÓN 4.2:
CRUCE DE UN CAMINO
MEDIANTE UN SIFÓN CUADRADO

| | |
|--|---|
| DIBUJO Y CALCULO: LUIS GABRIEL TAPIA GONZÁLEZ | ASESOR: M. EN I. PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ |
|--|---|

| | | |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------|
| NUMERO DE PLANOS: 1 DE 1 | PLANO NUMERO: UNO | FECHA: MARZO DE 2013 |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------|

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN**



4.3 Diseño de un sifón de sección circular



Fig. 28.-Foto de sifón funcionando en la carretera Lázaro Cárdenas, similar a nuestro caso.



Fig. 29.-Salida del sifón donde el cruce del camino evita la continuidad del canal.

En nuestro ejemplo de estudio la topografía del terreno presenta dificultades para unir el canal de entrada y de salida con el barril, por lo que se proyecta una caja al inicio y al final del conducto, esto se ocupa por lo general cuando tenemos complicaciones para realizar una transición de entrada y salida, la tubería que se propuso fue circular de asbesto cemento por su facilidad de colocación y manejabilidad, los datos que tenemos en el canales de entrada y salida son los siguientes:

$$\begin{array}{lll}
 Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{s} & n = 0.017 & s = 0.0005 \\
 b = 0.50 \text{ m} & p = 1.999 \text{ m} & t = 1 : 1 \\
 d = 0.53 \text{ m} & R = 0.2730 \text{ m} & \\
 A = 0.5459 \text{ m}^2 & v = 0.534 \text{ m/s} &
 \end{array}$$

Diseño hidráulico

Determinación de la sección del barril

Se propone una tubería con un diámetro de 14 ", donde las características hidráulicas son las siguientes:

$$A_{del\ tubo} = \frac{\pi \times 0.3556^2}{4} = 0.10\ m^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.30}{0.10} = 3\ m/s$$

$$r = \frac{D}{4} = \frac{0.3556}{4} = 0.889\ m$$

$$h_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{(3)^2}{19.62} = 0.4587\ m$$

para este caso se tienen dos cajas, una a la entrada y otra a la salida del sifón por lo que no se consideran las pérdidas por transición de entrada y salida, así como también las pérdidas por rejilla por ser muy pequeñas.

Se revisa primero el ahogamiento (ecuación general de un orificio de pared delgada);

$$Q = CdA\sqrt{2gH} \tag{41}$$

donde:

Q = Gasto, en m^3/s .

Cd = Coeficiente de gasto, en la practica su valor es igual a la unidad, adimensional.

A = Área de la sección, en m^2 .

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

H = Desnivel entre la superficie libre y el centro de gravedad del orificio, en m.

despejando H de la ecuación (41):

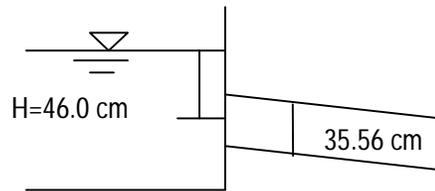
$$H = \frac{\left(\frac{Q}{CdA}\right)^2}{2g} \tag{42}$$

entonces:

$$H = \frac{\left(\frac{0.30}{1 \times 0.10}\right)^2}{2(9.81)} = 0.46\ m$$

en donde

$$H > \frac{\phi}{2}; \quad 0.46 > \frac{35.56}{2}; \quad 46\ cm > 17.78\ cm$$



por lo que tenemos un ahogamiento de 28.22 cm. que no permite la entrada de aire al tubo.

Pérdida por entrada al conducto

Como la entrada es con arista completamente redondeada:

$$k_e = 0.10$$

ocupando la ecuación (39) tenemos:

$$h_v = 0.4587 \text{ m}$$

sustituyendo valores en la ecuación (10):

$$h_e = 0.10 \times 0.4587 = 0.04587 \text{ m}$$

Pérdidas por fricción en el conducto

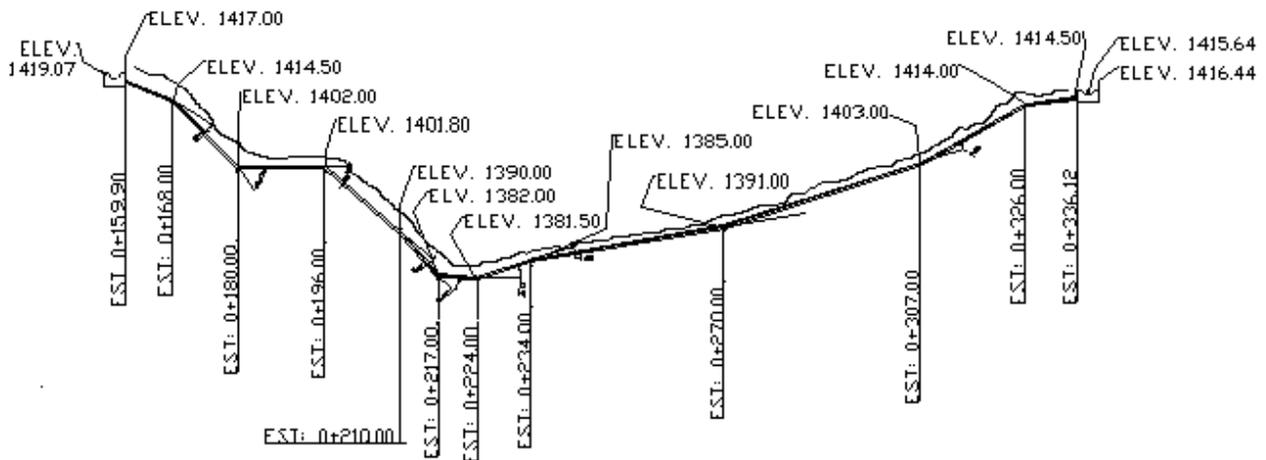


Fig. 30.-Perfil del sifón con sus elevaciones y estaciones.

Calculando la longitud (L) con la diferencia de elevaciones (H) y la diferencia de las estaciones (E) (ver Fig. 30) tenemos:

$$H_1 = 1417.00 - 1414.50 = 2.50 \text{ m}$$

$$E_1 = 168.00 - 159.90 = 8.10 \text{ m}$$

$$H_2 = 1414.50 - 1402.00 = 12.50 \text{ m}$$

$$E_2 = 180.00 - 168.00 = 12.00 \text{ m}$$

$$H_3 = 1402.00 - 1401.80 = 0.20 \text{ m}$$

$$E_3 = 196.00 - 180.00 = 16.00 \text{ m}$$

$$H_4 = 1401.80 - 1390.00 = 11.80 \text{ m}$$

$$E_4 = 210.00 - 196.00 = 14.00 \text{ m}$$

$$H_5 = 1390.00 - 1382.00 = 8.00 \text{ m}$$

$$E_5 = 217.00 - 210.00 = 7.00 \text{ m}$$

$$H_6 = 1382.00 - 1381.50 = 0.50 \text{ m}$$

$$E_6 = 224.00 - 217.00 = 7.00 \text{ m}$$

$$H_7 = 1385.00 - 1381.50 = 3.50 \text{ m}$$

$$E_7 = 234.00 - 224.00 = 10.00 \text{ m}$$

$$H_8 = 1391.00 - 1385.00 = 6.00 \text{ m}$$

$$E_8 = 270.00 - 234.00 = 36.00 \text{ m}$$

$$H_9 = 1403.00 - 1391.00 = 12.00 \text{ m}$$

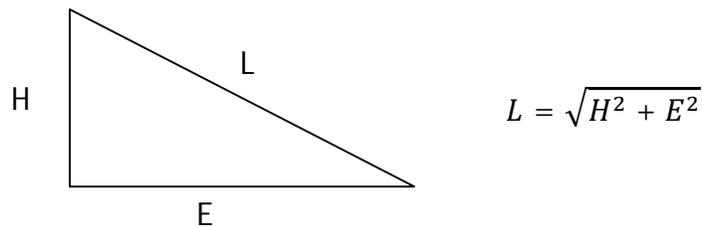
$$E_9 = 307.00 - 270.00 = 37.00 \text{ m}$$

$$H_{10} = 1414.00 - 1403.00 = 11.00 \text{ m}$$

$$E_{10} = 326.00 - 307.00 = 19.00 \text{ m}$$

$$H_{11} = 1414.50 - 1414.00 = 0.50 \text{ m}$$

$$E_{11} = 336.12 - 326.00 = 10.12 \text{ m}$$



donde:

$$L_1 = \sqrt{2.5^2 + 8.1^2} = 8.4770 \text{ m}$$

$$L_2 = \sqrt{12.5^2 + 12^2} = 17.328 \text{ m}$$

$$L_3 = \sqrt{0.2^2 + 16^2} = 16.001 \text{ m}$$

$$L_4 = \sqrt{11.8^2 + 14^2} = 18.310 \text{ m}$$

$$L_5 = \sqrt{8^2 + 7^2} = 10.630 \text{ m}$$

$$L_6 = \sqrt{0.5^2 + 7^2} = 7.018 \text{ m}$$

$$L_7 = \sqrt{3.5^2 + 10^2} = 10.595 \text{ m}$$

$$L_8 = \sqrt{6^2 + 36^2} = 36.497 \text{ m}$$

$$L_9 = \sqrt{12^2 + 37^2} = 38.897 \text{ m}$$

$$L_{10} = \sqrt{11^2 + 19^2} = 21.954 \text{ m}$$

$$L_{11} = \sqrt{0.5^2 + 10.12^2} = 10.132 \text{ m}$$

$$\sum L = 195.839 \text{ m}$$

sustituyendo valores en la ecuación (13):

$$h_f = S_f L = \left(\frac{v n}{r^{2/3}} \right)^2 L$$

y tomando un coeficiente de rugosidad $n=0.010$, nos queda:

$$h_f = \left(\frac{3.0 \times 0.010}{0.0889^{2/3}} \right)^2 \times 195.839 = 4.442$$

$$h_f = 4.442 \text{ m}$$

Pérdida por cambio de dirección

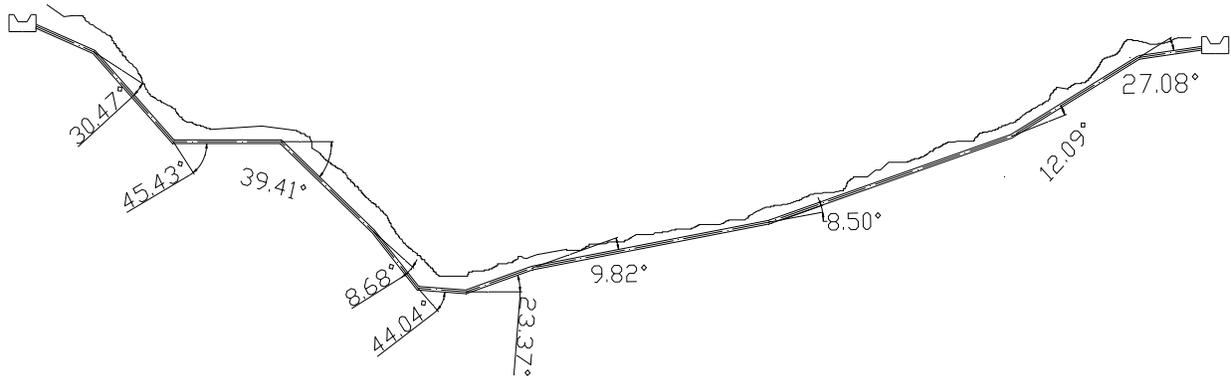


Fig. 31.-Perfil del sifón con sus cambios de dirección.

Según la Fig. 31 tenemos:

| N° de codo | Deflexión (Δ) | Valor de $\sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}}$ |
|------------|------------------------|---|
| 1 | 30.47° | 0.582 |
| 2 | 45.43° | 0.711 |
| 3 | 39.41° | 0.662 |
| 4 | 8.68° | 0.311 |
| 5 | 44.04° | 0.700 |
| 6 | 23.37° | 0.510 |
| 7 | 9.82° | 0.330 |
| 8 | 8.50° | 0.307 |
| 9 | 12.09° | 0.367 |
| 10 | 27.08° | 0.549 |

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}} = 5.029$$

sustituyendo valores en la ecuación (20):

$$h_c = (0.25)(0.4587) \times 5.029 = 0.577 \text{ m}$$

Pérdidas por ampliación o pérdidas por salida

De la ecuación (23):

$$h_s = \frac{(v - v_c)^2}{2g}$$

donde podemos decir que:

$$h_s = 2h_e \quad (43)$$

entonces:

h_s = pérdidas por salida, en m.

h_e = pérdidas por entrada, en m.

siendo $h_e = 0.046$ m, sustituyendo valores en la ecuación (43) tenemos:

$$h_s = 2(0.046) = 0.092 \text{ m}$$

Resumen de pérdidas

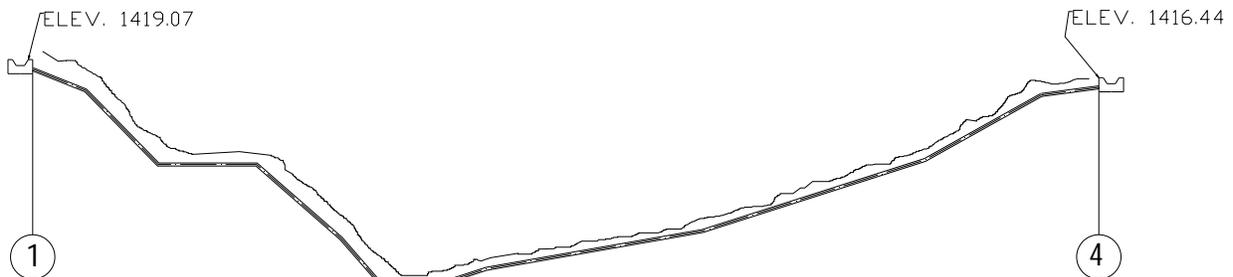


Fig. 32.-Perfil del sifón donde se observan los puntos de referencia 1 y 4, así como sus respectivas elevaciones.

Realizando la sumatoria de pérdidas en el conducto tenemos:

$$\Sigma h_x = h_{te} + h_r + h_e + h_f + h_c + h_s + h_{ts}$$

$$\Sigma h_x = 0.00 + 0.00 + 0.046 + 4.442 + 0.577 + 0.092 + 0.00 = 5.157 \text{ m}$$

donde la sumatoria de pérdidas (Σh_x) debe ser menor o igual a la diferencia de niveles entre los puntos (1) y (4) (ver Fig. 32).

$$\text{Elevación en el punto (1)} - \text{Elevación en el punto (4)} \geq \Sigma h_x$$

$$\text{Elevación } 1419.07 - \text{Elevación } 1416.44 = 2.63 \text{ m}$$

$$2.63 \text{ m} \leq 5.157 \text{ m}$$

Como la elevación disponible es de 2.63 m. y Σh_x es mayor, el diámetro de 14" no es el correcto por lo que buscamos otro diámetro.

Propondremos entonces un diámetro de 16"

$$A_{del\ tubo} = \frac{\pi \times 0.4064^2}{4} = 0.13\ m^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.30}{0.13} = 2.31\ m/s$$

$$r = \frac{D}{4} = \frac{0.4064}{4} = 0.1016\ m$$

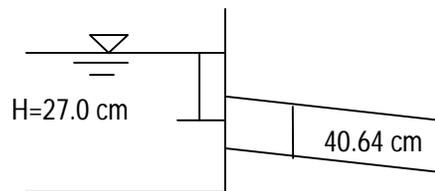
$$h_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{(2.31)^2}{19.62} = 0.2719\ m$$

aplicando la ecuación (32) tenemos:

$$H = \frac{\left(\frac{0.30}{1 \times 0.13}\right)^2}{2(9.81)} = 0.27\ m$$

en donde

$$H > \frac{\emptyset}{2}; \quad 0.27 > \frac{40.64}{2}; \quad 27\ cm > 20.32\ cm$$



por lo que tenemos un ahogamiento de 6.68 cm. que no permite la entrada de aire al tubo.

Pérdida por entrada al conducto

Como la entrada es con arista completamente redondeada:

$$k_e = 0.10$$

y,

$$h_v = 0.2719\ m$$

al sustituir valores en la ecuación (10) nos queda:

$$h_e = 0.10 \times 0.2719 = 0.027\ m$$

Pérdidas por fricción en el conducto

Según la ecuación (13):

$$h_f = S_f L = \left(\frac{v n}{r^{2/3}} \right)^2 L$$

si la longitud anteriormente calculada es de:

$$L = 195.839 \text{ m}$$

y tomando un coeficiente de rugosidad $n=0.010$, nos queda:

$$h_f = \left(\frac{2.31 \times 0.010}{0.1016^{2/3}} \right)^2 \times 195.839 = 2.204$$

$$h_f = 2.204 \text{ m}$$

Pérdida por cambio de dirección

Tenemos que:

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}} = 5.029$$

y,

$$h_v = 0.2719 \text{ m}$$

sustituyendo valores en la ecuación (20):

$$h_c = (0.25)(0.2719) \times 5.029 = 0.342 \text{ m}$$

Pérdidas por ampliación o pérdidas por salida

Para h_e tenemos un valor de:

$$h_e = 0.027 \text{ m}$$

aplicando la ecuación (43) nos queda:

$$h_s = 2(0.027) = 0.054 \text{ m}$$

Resumen de pérdidas

Realizando la sumatoria de pérdidas en el conducto tenemos:

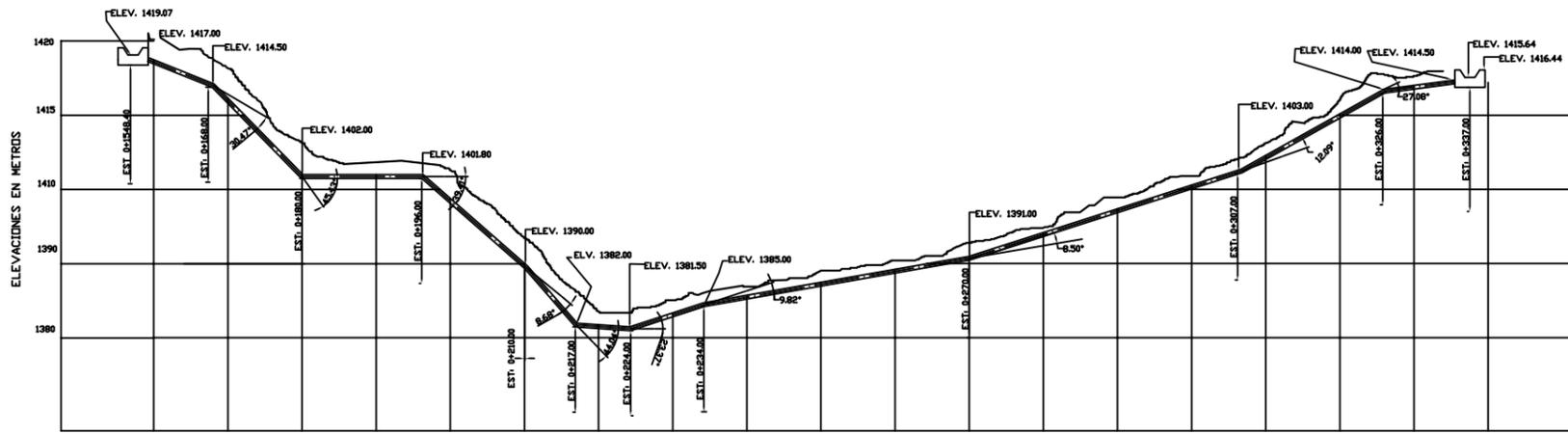
$$\Sigma h_x = h_{te} + h_r + h_e + h_f + h_c + h_s + h_{ts}$$

$$\Sigma h_x = 0.00 + 0.00 + 0.027 + 2.204 + 0.342 + 0.054 + 0.00 = 2.627 \text{ m}$$

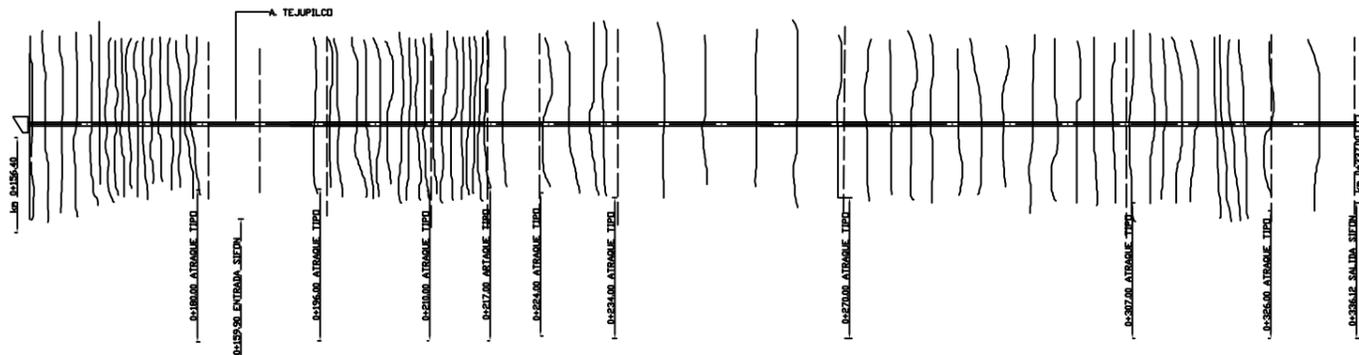
donde:

$$2.63 \text{ m} \geq 2.627 \text{ m}.$$

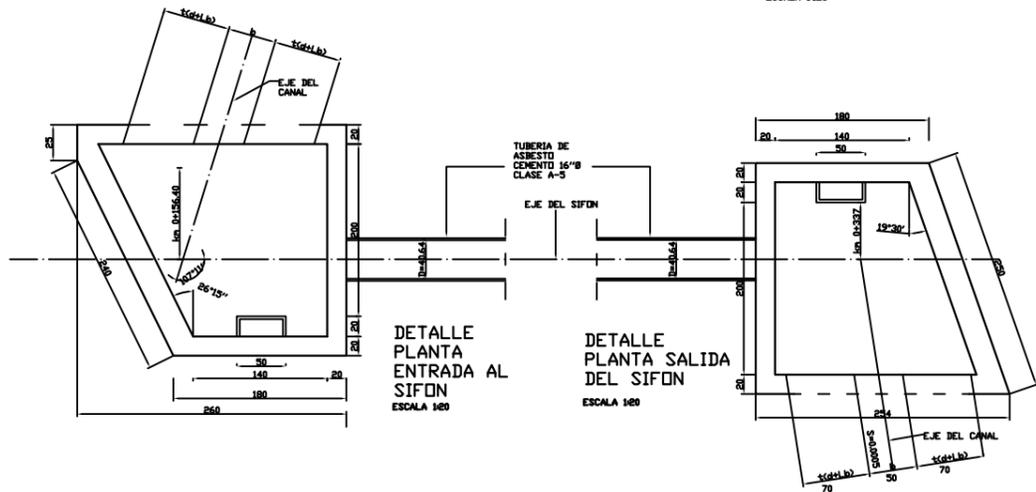
Como la elevación disponible es de 2.63 m. y Σh_x es menor, el calculo es correcto, por lo tanto el diámetro de 16" cubre las expectativas deseadas, si esto no ocurriera así se tendría que repetir el procedimiento hasta encontrar el diámetro que nos sea funcional o cambiar la sección del sifón por otra que no sea circular.



CORTE LONGITUDINAL POR EL EJE DEL SIFON
ESCALA HORIZONTAL Y VERTICAL 1:250

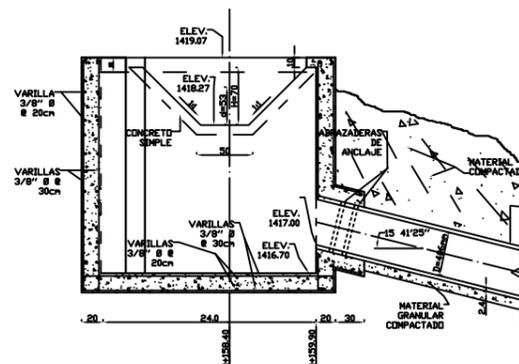


PLANTA GENERAL
ESCALA 1:25

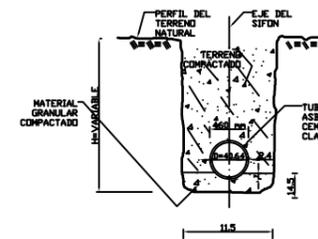


DETALLE PLANTA ENTRADA AL SIFON
ESCALA 1:20

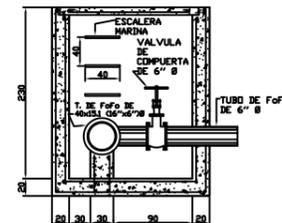
DETALLE PLANTA SALIDA DEL SIFON
ESCALA 1:20



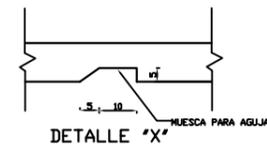
DETALLE PERFIL ENTRADA DEL SIFON
ESCALA 1:20



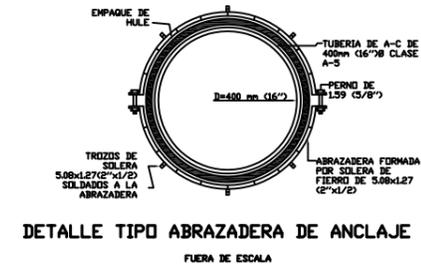
DIMENSIONES DE LA ZANJA
FUERA DE ESCALA



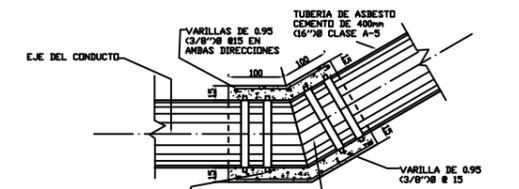
DESFOQUE DEL SIFON CANAL PRINCIPAL km 0+158.40 CORTE A-A



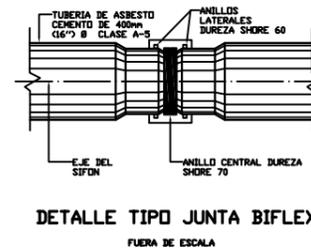
DETALLE "X"



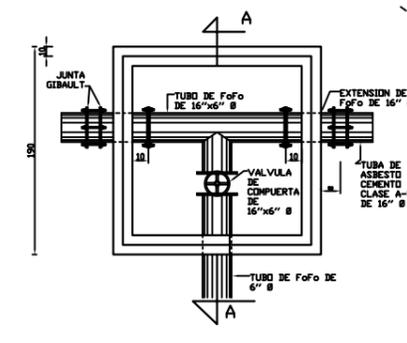
DETALLE TIPO ABRAZADERA DE ANCLAJE
FUERA DE ESCALA



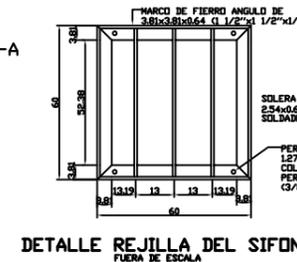
DETALLE TIPO DE ATRAGUES
FUERA DE ESCALA



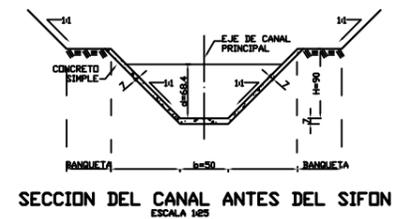
DETALLE TIPO JUNTA BIFLEX
FUERA DE ESCALA



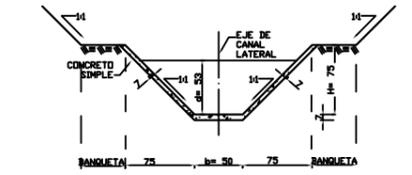
DESFOQUE DEL SIFON CANAL FINAL PRINCIPAL km 0+158.40



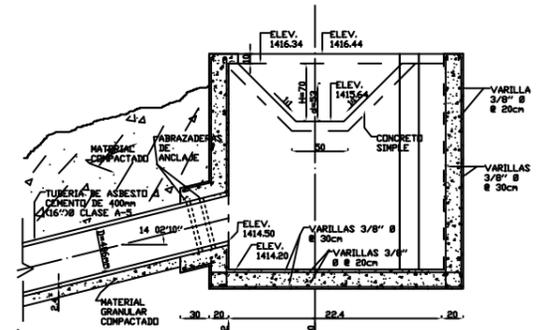
DETALLE REJILLA DEL SIFON
FUERA DE ESCALA



SECCION DEL CANAL ANTES DEL SIFON
ESCALA 1:25



SECCION DEL CANAL DESPUES DEL SIFON
ESCALA 1:25



DETALLE PERFIL SALIDA DEL SIFON
ESCALA 1:20

NOTAS:
-ASESOR EN CENTIMETROS, EXCEPTO LAS DIMENSIONES EN OTRA UNIDAD
-ELEVACIONES EN METROS Y ESTACIONES EN KILOMETROS
-INSTALARE UNA REJILLA DE PROTECCION A LA ENTRADA DEL SIFON

| DATOS DEL PROYECTO | |
|----------------------------------|-----------------|
| FUENTE DE CAPTACION | P.A. "EL ANCON" |
| ESTACION DE ENTRADA DEL SIFON | KM 0 + 156.40 |
| ESTACION DE SALIDA DEL SIFON | KM 0 + 337.0 |
| PÉRDIDAS POR CAMBIO DE DIRECCION | 1416.22 M |
| PÉRDIDAS POR SALIDA | 1415.59 M |

| CARACTERISTICAS HIDRAULICAS | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| EN EL CANAL ANTES DEL SIFON | EN EL CONDUCTO | EN EL CANAL DESPUES DEL SIFON |
| Q = 0.30000 m ³ /seg | Q = 0.30000 m ³ /seg | Q = 0.30000 m ³ /seg. |
| A = 0.54590 m ² | Ø = 16.0000 pulgadas | A = 0.54590 m ² |
| V = 0.53411 m/seg | n = 0.01000 m/seg | V = 0.53411 m/seg |
| b = 0.50000 m | A = 0.12971 m ² | b = 0.50000 m |
| d = 0.53000 m | p = 1.12767 m | d = 0.53000 m |
| p = 1.99905 m | r = 0.10160 m | p = 1.99905 m |
| n = 0.01700 | | n = 0.01700 |
| t = 1:1 | | t = 1:1 |
| r = 0.27307 m | | r = 0.27307 m |

| PERDIDAS HIDRAULICAS | |
|------------------------------------|---------|
| PÉRDIDAS POR TRANSICION DE ENTRADA | 0.000 m |
| PÉRDIDAS POR ENTRADA | 0.027 m |
| PÉRDIDAS POR FRICCIÓN | 2.204 m |
| PÉRDIDAS POR CAMBIO DE DIRECCION | 0.342 m |
| PÉRDIDAS POR SALIDA | 0.054 m |
| | 0.000 m |
| TOTAL | 2.627 m |
| CARGA DISPONIBLE | 2.630 m |



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

TESIS PROFESIONAL:
"DISEÑO HIDRÁULICO DE SIFONES"

APLICACIÓN 4.3:
DISEÑO DE UN SIFON DE SECCION CIRCULAR

DIBUJO Y CALCULO:
LUIS GABRIEL TAPIA GONZALEZ

ASESOR:
M. EN L. PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ

NUMERO DE PLANOS: 1 DE 1

PLANO NUMERO: UNO

FECHA: MARZO DE 2013

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON

V.- Conclusiones

El sifón invertido es de gran utilidad, para comunicar dos canales abiertos, cuando las condiciones del terreno son muy accidentadas, y el nivel de la S.L.A. es mayor que la rasante del obstáculo, así por su forma de U nos ayuda cuando se nos presenta una depresión en el terreno

Una de las ventajas que se tiene con esta estructura es su funcionamiento que por medio de un conducto cerrado transporta el agua de un extremo a otro del obstáculo por salvar, ya que este trabaja a presiones mayores que la atmosférica, dando como resultado un sistema de vasos comunicantes que trabajan por acción de la gravedad, siendo esto muy útil para no tener que utilizar bombas que nos generan un mayor costo en la cotización de un proyecto.

Para su diseño se debe de tomar en cuenta el gasto conducido por el canal y la carga a la que van a estar sujeto temporal o definitivamente, teniendo estos datos propondremos las partes principales (Transición de entrada y salida, así como el barril) del sifón. Si es necesario también decidiremos que partes secundarias (desagüe de excedencias, caja de azolves, compuerta de emergencia, etc.) apoyaran al buen funcionamiento de esta estructura.

El tipo de forma y material de la tubería para la proyectar del barril dependerá del gasto, las presiones, facilidad de construcción y montaje, así como su costo.

Las fórmulas que se presentan en este trabajo son las más accesibles para el cálculo hidráulico, por ejemplo se utiliza el teorema de Bernoulli para el cálculo total de las pérdidas de cargas por transición de entrada y salida, la fórmula de Kirschme para el cálculo de pérdidas de carga por rejilla, en las pérdidas de carga por fricción se emplea la fórmula de Manning, por mencionar algunas.

Los dos ejemplos del diseño hidráulico que se desarrollan pretenden ilustrar de una manera clara los respectivos cálculos a utilizar para el sifón.

Espero este trabajo desarrollado sirva de apoyo para el profesionista en el sentido de un mejor entendimiento y comprensión para el diseño y cálculo hidráulico de los sifones.

BIBLIOGRAFIA

Referencias Bibliográficas

Brambilia Michel Jorge, "Estructuras en zonas de riego", Secretaria General de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural, México, 1983

Arteaga Tovar Eduardo, "Pequeñas zonas de riego estudios y proyecto, tercera parte", Universidad Autónoma Chapingo, México, 1984.

Cesar Valdez Enrique, "Abastecimiento de agua potable", Cuarta edición, UNAM, Facultad de ingeniería, México, 1994.

Sotelo Ávila Gilberto, "Hidráulica General", Volumen 1, Decima octava reimpresión, Limusa, México, 1997.

Sotelo Ávila Gilberto, "Apuntes de hidráulica II", UNAM, Facultad de ingeniería, México, 1989.

Villa Señor Jesús; "Proyectos de Obras Hidráulicas", Primera edición, Universidad Autónoma Chapingo, México, 1978

Asociation Concreto Institute ACI, "Diseño de Obras Hidráulicas", 1ra. Edición, Perú, 1994.

El ingeniero Civil N° 116, Mayo – Junio 2000

L. Mott Robert, "Mecánica de fluidos aplicada", Cuarta edición, Prentice Hall hispanoamericana, Sexta edición, México, 2006.

Referencias electrónicas

Fig. 1. Alfredobi, "Puente canal para cruzar un dren natural con protección contra la erosión por medio de un dique filtrante", c.a., imagen tomada del sitio:

http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Puente_canal_para_cruzar_una_quebrada_seca_y_dique_filtrante.jpg,

fecha de actualización marzo 2006.

Fig. 2. "Túnel de desvió del rio Santiago", c.a, imagen tomada del sitio:

<http://www.flickr.com/photos/cfemexico/3340692848/in/photostream/>, fecha de actualización 8 de marzo

2009.

Fig. 3 "Alcantarilla", c.a., imagen tomada del sitio:

<http://locosporlahidraulica.blogspot.mx/2011/09/alcantarillas-consideraciones-de-diseno.html>, fecha de

actualización 4 de marzo 2009

Fig. 5 Soleisy 13017may.jc"sifón .jpg", c.a, imagen tomada del sitio:

<http://www.ecured.cu/index.php/Sif%C3%B3n>, fecha de actualización 29 de marzo 2011.