



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
“ANÁLISIS Y DISEÑO DE SIFÓN”**

PRESENTADO POR

BACHILLER MOISÉS PALOMINO RAMÍREZ

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERÚ

2017

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
Página de Jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras.....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General.....	13
2.2. Objetivos Específicos.....	13

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico.....	14
3.1.1. Concepto.....	14

3.1.2. Tipos de sifones invertidos.....	15
3.1.3. Partes del sifón invertido.....	17
3.1.4 Hidráulica del sifón invertido.....	20
3.1.4.1 Velocidades.....	22
3.1.4.2 Diámetro mínimo.....	23
3.1.4.3 Numero de tuberías.....	23
3.1.5 Cobertura del conducto.....	23
3.1.6 Perfil del sifón.....	24
3.1.7 Cámaras de inspección.....	25
3.1.8 Protección contra erosión.....	26
3.1.9 Estructura de alivio.....	27
3.1.10 Materiales.....	27
3.1.11 Operación y mantenimiento.....	27
3.1.12 Criterios de diseño.....	28
3.1.13 Procedimiento de diseño.....	29
3.1.14. Perdidas en el sifón invertido.....	29
3.2. Caso práctico.....	33
3.3. Representación de resultados.....	51

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	61
4.2. Recomendaciones.....	62

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS.....	63
APENDICE.....	66
AUTORIZACION PARA PUBLICACIÓN.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Protección contra erosión.....	26
Tabla 2. Valores del coeficiente “K”	30
Tabla 3. Valores del coeficiente “a”	43
Tabla 4. Valores del coeficiente “K _e ”	66
Tabla 5. Valores del coeficiente “C”	66
Tabla 6. Valores del coeficiente “n” para canales revestidos.....	67
Tabla 7. Valores de la velocidad de sedimentación “w”	68
Tabla 8. Valores de “N” en función de h/H.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista en elevación de un sifón invertido.....	14
Figura 2. Sifón con ramas oblicuas.....	15
Figura 3. Sifón con pozo vertical.....	15
Figura 4. Sifón con ramas verticales.....	16
Figura 5. Sifón con cámara de limpieza.....	16
Figura 6. Partes del sifón invertido.....	17
Figura 7. Interpretación de la ecuación de la energía en el sifón invertido.....	20
Figura 8. Ahogamiento en el sifón invertido.....	21
Figura 9. Trazo perfil del sifón invertido.....	33
Figura 10. Vista en planta de la transición.....	36
Figura 11. Vista en perfil del by-pass y rejilla.....	38
Figura 12. Perdida de carga en la rejilla.....	39
Figura 13. By-pass.....	42
Figura 14. Canal trapezoidal.....	51
Figura 15. Transición.....	52
Figura 16. Canal rectangular.....	53
Figura 17. By-pass (1).....	53
Figura 18. By-pass (2).....	54
Figura 19. Desarenador.....	55
Figura 20. Cámara de ingreso.....	56
Figura 21. Cámara de salida.....	57
Figura 22. Rejillas.....	58

Figura 23. Perfil del sifón invertido.....	59
Figura 24. Vista en planta del diseño final.....	60

RESUMEN

El presente trabajo cuenta con teoría previo al análisis y diseño que puede ser empleada según el criterio profesional de cada ingeniero civil, se ha recopilado información de diversas fuentes con el propósito de dar al lector el alcance necesario para que pueda analizar y diseñar un sifón invertido. El trabajo contiene un concepto del sifón invertido, tipos de sifones que se pueden emplear en un proyecto dependiendo de las condiciones del lugar, elementos que conforman el sifón invertido y estructuras previas que pueden ser dispuestas o no dentro del análisis y diseño, factores físicos que influyen en la hidráulica del conducto como también algunas acotaciones acerca del conducto, la cobertura que debe tener el conducto según el lugar donde se desea diseñar el sifón invertido, el perfil del conducto que se debe optar, acotaciones sobre las cámaras de entrada y salida del conducto, estructuras de alivio que según condiciones pueden ser incluidas, materiales a utilizar en el conducto, la operación y mantenimiento del sifón invertido, criterios de diseño por considerar previo al análisis y las formulas a emplear en el análisis y diseño del sifón invertido. Luego de la parte teórica se plantea un caso práctico y se realiza el diseño.

Palabras clave: sifón invertido, velocidad de diseño, ahogamiento de la tubería, diámetro de la tubería, tirante del canal, hidráulica del sifón, perfil del sifón, partes del sifón.

ABSTRACT

This work has theory prior to the analysis and design that can be used according to the professional criteria of each civil engineer, information has been collected from various sources in order to give the reader the necessary scope to analyze and design an inverted siphon . The work contains a concept of the inverted siphon, types of siphons that can be used in a project depending on the conditions of the place, elements that make up the inverted siphon and previous structures that may or may not be available within the analysis and design, physical factors that They influence the hydraulics of the duct as well as some dimensions about the duct, the coverage that the duct must have depending on the place where the inverted siphon is to be designed, the profile of the duct that must be chosen, dimensions on the entrance and exit chambers of the duct. conduit, relief structures that according to conditions may be included, materials to be used in the conduit, the operation and maintenance of the inverted siphon, design criteria to be considered prior to the analysis and the formulas to be used in the analysis and design of the inverted siphon. After the theoretical part, a practical case is presented and the design is carried out.

Keywords: inverted siphon, design velocity, pipeline drowning, pipe diameter, channel shoulder, siphon hydraulics, siphon profile, siphon parts.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El nombre “sifón” proviene del griego antiguo “σίφων” (siphon), el cual hace referencia a conductos curvos que trabajaban a presión. La primera teoría del sifón se origina en siglo III a. C. por el griego Filón de Bizancio, quien estableció los principios sobre el equilibrio de los líquidos contenidos en vasos comunicantes. Luego en el siglo I d. C, se realiza la primera construcción de un sifón invertido hecha por los romanos.

El sifón invertido surge como parte de una solución ante la necesidad de poder eludir depresiones topográficas y dar continuidad al curso del agua. Por lo general, esta estructura se ubica por debajo o sobre el nivel natural del terreno, de manera que nada pueda averiar el conducto y estropear el funcionamiento de la estructura.

El diseñar un sifón invertido resulta ser el medio más conveniente y económico para burlar obstáculos. Siendo otra alternativa el diseño de acueducto, que cumple con el mismo propósito pero puede llegar a ser mucho más costo.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Analizar y diseñar un sifón invertido.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el diámetro de la tubería del sifón invertido.
- Determinar las pérdidas de carga del sifón invertido.
- Comprobar que la carga hidráulica sea mayor a las pérdidas de carga en el sifón invertido.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco Teórico

3.1.1. Concepto

El sifón invertido es una estructura hidráulica con conductos en forma de U que trabajan a presión y transportan agua de un punto a otro a través de depresiones topográficas o cualquier obstáculo natural y artificial, siempre que haya un desnivel entre ambos puntos que compense la pérdida de energía por rozamiento del fluido. En la figura 1 se muestra el esquema de un sifón invertido, donde el fluido recorre el conducto desde la cámara de entrada ubicada a la izquierda, hasta la cámara de salida ubicada a lado derecho.

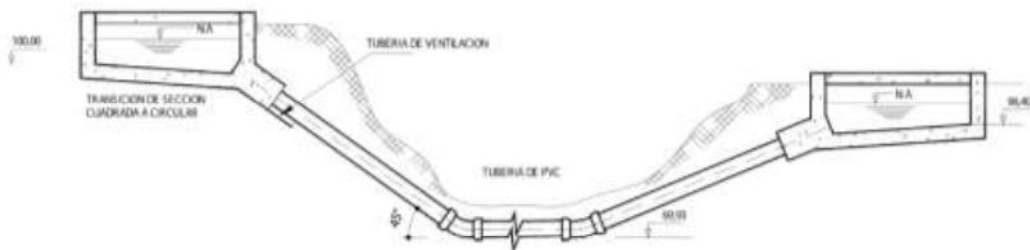


Figura 1. Vista en elevación de un sifón invertido
Fuente: Instituto Boliviano de la Normalización y Calidad, 2007

3.1.2. Tipos de sifones invertidos

- a) Ramas oblicuas: Con el perfil mostrado en la figura 2, es utilizado en sifones grandes y donde el terreno no presente muchas dificultades de ejecución



Figura 2. Sifón con ramas oblicuas
Fuente: Comisión Nacional del Agua de México, 2009

- b) Pozo vertical: Con el perfil mostrado en la figura 3, es utilizado en sifones pequeños, en terrenos con dificultades constructivas y es recomendable debido a su fácil limpieza. El pozo vertical puede ir en cualquier extremo.

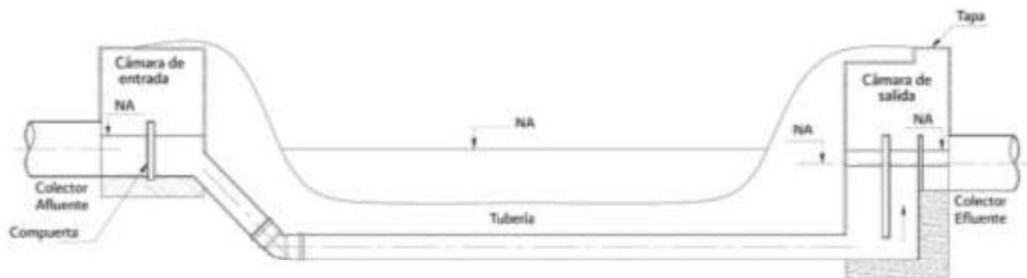


Figura 3. Sifón con pozo vertical
Fuente: Comisión Nacional del Agua de México, 2009

c) Ramas verticales: Con el perfil mostrado en la figura 4, es utilizado en sifones pequeños, en terrenos con dificultades constructivas y es recomendable por su fácil limpieza.

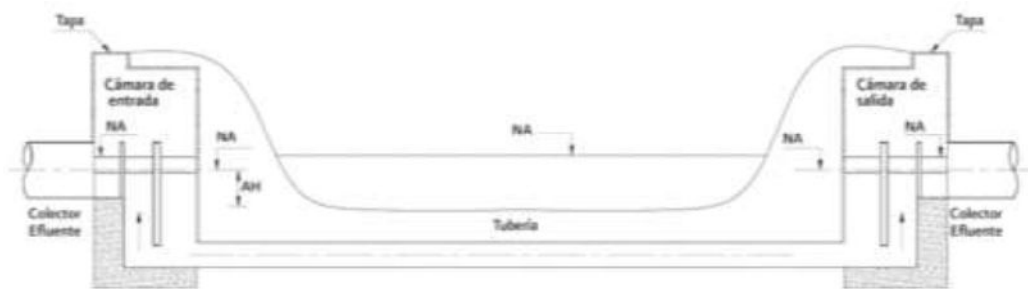


Figura 4. Sifón con ramas verticales
Fuente: Comisión Nacional del Agua de México, 2009

d) Con cámaras de limpieza: Con el perfil mostrado en la figura 5, es utilizado en obras donde el cruce se realiza por vía subterránea.



Figura 5 Sifón con cámara de limpieza
Fuente: Comisión Nacional del Agua de México, 2009

3.1.3. Partes del sifón invertido

Las partes que se mostrarán no siempre son necesarias al momento de diseñar un sifón, pudiendo ser el caso de obviar algunas de ellas. En la figura 6 se muestra la ubicación de las partes mencionadas.

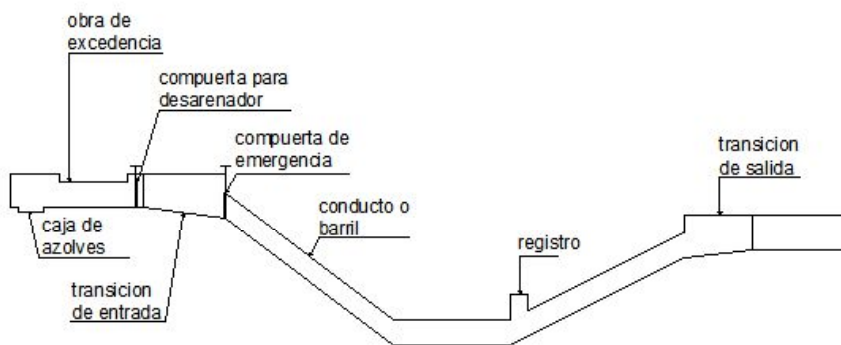


Figura 6. Partes de un Sifón Invertido
Fuente: Villón, 2003

a) Desarenador

Esta estructura es utilizada para retener el material sólido (arena) que pueda contener el agua que ingresa al sifón invertido, haciendo que se reduzca la velocidad y turbulencias, permitiendo que el material en suspensión se deposite en la parte baja del desarenador para luego ser retirada y o pueda ocasionar problemas en el funcionamiento del sifón o conllevar a mantenimientos en periodos cortos.

b) Limitador

Esta estructura ayuda a que la elevación del agua no sea mayor a lo tolerado por el canal que ingresa al sifón invertido, retirando parte del agua que no pueda ser tolerado por el canal y así evitar desbordes incontrolados. Consta de un vertedor lateral construido en la pared del canal.

c) Compuerta, rejilla de entrada y salida

Las compuertas se colocan al ingreso del conducto, estas pueden ser utilizadas cuando se necesite aislar el conducto para realizar un mantenimiento o en casos de emergencia.

La rejilla evita el ingreso de objetos a la tubería que interrumpen su funcionamiento, también protege a las personas que por algún descuido puedan caer y ser arrastradas por la corriente hacia el conducto.

d) Transición de entrada y salida

Esta estructura sirve para pasar gradualmente de una sección a otra con normalidad y sin provocar pérdidas excesivas de energía, turbulencias u ondas cruzadas.

Va requerir de una transición de entrada de concreto o un tipo de estructura de control en la entrada y una transición de salida de concreto en los siguientes sifones:

- a) Sifones que cruzan carreteras y vías férreas.
- b) Sifones que crucen caminos con una tubería de diámetro mayor o igual a 36 pulgadas.

c) Sifones en canales no revestidos con una velocidad en la tubería mayor a 3,5 pies/s.

e) Conducto o barril

Esta estructura es la más importante del sistema con la función de transportar agua de un punto a otro bajo presión. Se recomienda que el conducto este anclado para evitar que se desplacen frente a peligros de erosión y también que el conducto se encuentre fijo en cada cambio de dirección, a fin de evitar daños debido a la fuerza que ejerce el agua sobre esta zona. También se recomienda que los tubos livianos lleven una envoltura de cemento para su protección a fin de evitar la flotación y desplazamiento.

Para poder optar por una tubería, se puede tomar como referencia la clasificación de tuberías “PMA” (Presión Máxima Admisible).

Cabe resaltar que el considerar un cambio en la dimensión del conducto puede significar un gran cambio en el costo de la estructura, por lo tanto es recomendable que se disponga de diámetros mínimos que en parte pueden soportar mayores presiones. En los casos que el sifón es construido sobre lechos o cursos de agua, se debe verificar su peso y anclar las tuberías para evitar su flotación, hecho que puede ocurrir durante el período de construcción o cuando el sifón sea vaciado para iniciar reparaciones.

Para que un conducto se considere largo o grande, su longitud debe ser 500 veces mayor al diámetro. La sección transversal puede ser cuadrada, circular o rectangular con una relación $H/B=1,5$, siendo B la base y H la altura del conducto.

f) Registro para limpieza y válvula de purga

Este mecanismo normalmente se ubica en la parte más baja del conducto, permitiendo vaciar el agua que permanezca almacenada cuando se deje de operar por motivos de limpieza o reparación.

Estas válvulas pueden protegerse por medio de una obra de tabiquería o concreto que llegue hasta la parte superior del terreno y debe abrirse gradualmente cuando haya aumentos de velocidad en la tubería.

3.1.4. Hidráulica del sifón invertido

El sifón invertido tiene un conducto en forma de “U” que conecta a una cámara de entrada con una cámara de salida. Entre las dos cámaras se produce un escurrimiento por gravedad y presión hidráulica, el cual solamente ocurre cuando el nivel de agua en la cámara de entrada viene a ser mayor al de la cámara de salida. Para que esto ocurra debe cumplir con la condición que la diferencia de altura entre el punto 1 y 2 sea mayor a la sumatoria de todas las pérdidas originadas en el sifón. Como se muestra en la figura 7:

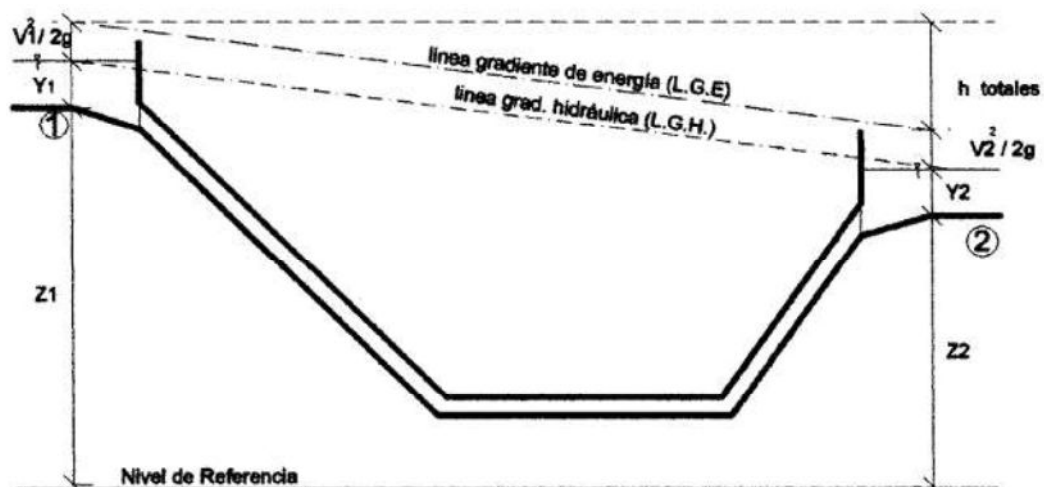


Figura 7. Interpretación de la ecuación de la energía en el sifón invertido

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2010

$$\Delta H = E_1 - E_2 = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

Se debe considerar un aumento del 10 % como factor de seguridad a las pérdidas originadas por el sifón.

Para que el conducto trabaje a presión (tubo lleno), necesita tener una altura mínima de ahogamiento al ingreso y salida del conducto, para lo cual podremos deducir la fórmula con ayuda de la figura 8:

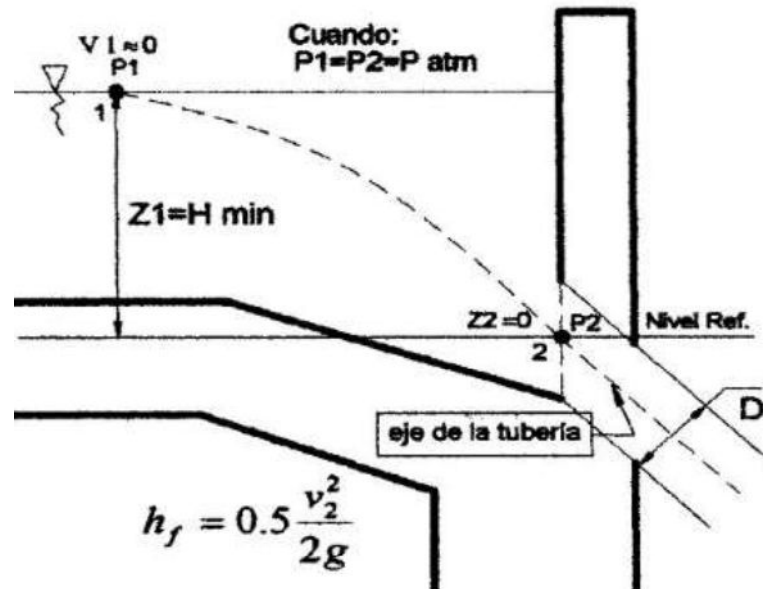


Figura 8. Ahogamiento en el sifón invertido
Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2010

Por la ecuación de la energía entre 1 y 2 tenemos:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Reemplazando Z_1 y h_f tenemos:

$$H_{\min} + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + 0.5 \frac{V_2^2}{2g}$$

Siendo $P_1 = P_2$ y $Z_2 = 0$, la ecuación en función al $H_{mín}$ será:

$$H_{mín} = \frac{3}{2} * \frac{V_t^2}{2g} \quad \text{Ecuación 1}$$

También podemos usar otras fórmulas como:

$$H_{mín} = 0.3 * V_t * \sqrt{D} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$H_{mín} = 0.5 * D * \left(\frac{V_t}{\sqrt{D}}\right)^{0,55} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde: “ $H_{mín}$ ” es la altura mínima de ahogamiento, “ V_t ” es la velocidad media de la tubería en metros por segundo, “ D ” es el diámetro de la tubería en metros.

3.1.4.1. Velocidades

Para que el sifón tenga una buena auto-limpieza, deberá estar diseñada con una velocidad que pueda garantizar la limpieza de la tubería por lo menos una vez al día a lo largo de la etapa del proyecto.

La velocidad mínima para que una partícula pueda ser arrastrada dentro de la tubería deberá ser de 0,90 m/s, entonces para que ocurra el efecto de auto-limpieza, esta velocidad deberá ser mayor por lo menos una vez al día, de manera que impida la acumulación de sedimentos (arena) que puedan tapar la tubería.

Por lo general, las velocidades del sifón deben oscilar entre 1 y 3 m/s, dependiendo de la carga disponible y de las condiciones del proyecto.

Podemos utilizar las siguientes velocidades según sea el caso:

- a) Velocidades de 1 m/s o menos, para conductos relativamente cortos y con transiciones de tierra a la entrada y salida.

- b) Velocidades de 1,5 m/s o menos, para conductos relativamente cortos, con transiciones de concreto o con una estructura de control a la entrada y con una transición de concreto a la salida.
- c) Velocidades de 3 m/s o menos, para conductos relativamente largos, con transición de concreto a la entrada y salida.

3.1.4.2. Diámetro mínimo

La posibilidad de obstrucción en tuberías de menor diámetro es mayor, por lo cual es recomendable fijar un diámetro mínimo de 6 pulgadas.

3.1.4.3. Numero de tuberías

El sifón debe tener como mínimo dos conductos, con la posibilidad de aislar una de ellas cuando se necesite realizar reparaciones y/o desobstrucciones.

3.1.5. Cobertura del conducto

a) Cruce de carreteras

Por lo general se deberá proveer una cobertura de 0,90 metros, en caminos parcelarios 0,60 metros y si existiera cunetas en la carretera que se extiendan sobre el tubo, deberá proveer de una cobertura de 0,60 metros desde la corona del tubo hasta la rasante de la cuneta.

En carreteras de alto tránsito y pesado se deberá proveer una cobertura de 1,50 metros y deberá de extenderse por un metro a cada lado de la carretera.

b) Cruce de vías férreas

El espesor mínimo de relleno sobre sifón debe ser como mínimo 0,90 metros y sobrepasar el ancho de la línea más el drenaje.

c) Cruce con canal o dren

Deberá proveer una cobertura 0,60 metros en canales de tierra y 0,15 metros en canales revestidos, será medido desde la corona del conducto hasta la rasante del canal con una longitud igual al ancho del canal más bermas y bordes.

d) Cruce de ríos y arroyos

Deberá proveer una cobertura mayor a la profundidad de socavación en el cauce del río y en laderas no deberá ser menor a 1 metro.

3.1.6. Perfil del sifón

Es conveniente que el conducto del sifón sea trazado preliminarmente a partir de un perfil topográfico, de tal forma que el trazo pueda dar facilidad de limpieza, evitar pérdidas de carga y longitudes excesivas de tubería, evitar excesivo movimiento de tierra y asegurar el adecuado relleno sobre el conducto. Es importante que el sifón se pueda trazar con ángulos suaves que permitan el empleo de equipos simples para la limpieza o desobstrucción.

3.1.7. Cámaras de inspección

3.1.7.1. Cámaras de entrada

Esta cámara debe ser proyectada de forma que oriente el flujo hacia el conducto, podrán contener dispositivos que posibiliten:

- a) El aislamiento de cualquier conducto para su limpieza.
- b) El desvío del caudal para cualquier conducto.
- c) By-pass para desalojar el caudal en exceso.
- d) El acceso de personas y equipos para realizar mantenimientos o desobstrucción.

El dispositivo de aislamiento pueden ser compuertas o vertederos que pongan en servicio el nuevo conducto después de alcanzar la capacidad del conducto anterior.

Por lo general se utilizan compuertas que puedan distribuir los caudales de forma que mantenga la velocidad mínima de auto-limpieza, pero tiene la desventaja de requerir personal para la regulación. Para evitar que ingresen personas a la cámara, se puede optar el uso de un vertedero, pero debe tomarse en cuenta que ocasiona mayor pérdida de carga por ser un obstáculo sumergido al pasar el flujo sobre él.

3.1.7.2. Cámaras de salida

Esta cámara deberá permitir la inspección, el aislamiento y la limpieza de cualquier conducto. La solera deberá quedar en relación a la solera de la cámara de entrada, a 1/3 de la pérdida de carga a lo largo del sifón más las pérdidas localizadas.

3.1.8. Protección contra erosión

En el caso que el canal de llegada sea de tierra, es necesario usar algún tipo de protección de rip-rap y grava en el canal de salida:

Tipo 1: 15 centímetros de grava gruesa.

Tipo 2: 30 centímetros de grava gruesa.

Tipo 3: 30 centímetros de rip-rap sobre una cama de 15 centímetros de arena y grava.

Tipo 4: 45 centímetros de rip-rap sobre una cama de 15 centímetros de arena y grava.

En un sifón invertido puede usarse la siguiente protección según la tabla 1:

Tabla 1
Protección contra erosión

TIRANTE DE AGUA “y” (m)	TIPO DE PROTECCIÓN		LONGITUD (m)	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
0 a 0,60	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
0,61 a 1,05	Ninguna	Tipo 1	Ninguna	2,5y (1,50 mín.)
1,06 a 2,1	Tipo 1	Tipo 2	y (0,90 mín.)	2,5y (1,50 mín.)

Fuente: Chereque, 1993

La longitud de protección en el canal de salida debe ser 2,5 veces el tirante o 1,50 metros como mínimo, pero cuando existe la probabilidad de turbulencia del agua, la longitud de protección debe ser 4 veces el tirante.

En caso que la velocidad exceda de 1,50 m/s, deberá utilizarse como mínimo la protección tipo 3 sin importar el tirante de agua.

3.1.9. Estructura de alivio

Estas estructuras son ubicadas en los puntos bajos de sifones largos para permitir el desfogue del agua y poder realizar su mantenimiento e inspección. Se requerirá de un buzón para el aliviadero con un diámetro de 36 pulgadas o mayor, por lo general se le realiza una prolongación de la tubería perpendicular al eje del conducto y se le coloca una válvula de metal para su funcionamiento. En sifones cortos, por lo general son vaciados por medio de bombas ubicada a ambos extremos del conducto. En caso de no requerir un drenaje común y solo de emergencia, alcanzara con realizar perforaciones en el conducto cuando éste tenga un diámetro menor a 24 pulgadas de diámetro.

3.1.10. Materiales

Pueden utilizarse tubos de hierro fundido dúctil, concreto, acero o plástico, pero es más usual el hierro fundido dúctil debido a su fácil instalación. Para cargas de hasta 45 metros se puede usar tubos de concreto reforzado.

3.1.11. Operación y mantenimiento

Los sifones deben tener cuidados especiales y sistemáticos a fin de evitar obstrucciones. Uno de los problemas es la necesidad de desobstrucción que ocurre cuando se acumulan solidos pesados en el fondo del conducto que resisten al arrastre hidráulico, por lo que se da la necesidad de utilizar equipos mecánicos de limpieza.

Se recomienda realizar inspecciones una vez al mes a fin que puedan ser previstas a tiempo la remoción de obstrucciones nuevas en el conducto. Se pueden efectuar diversos procedimientos de limpieza, como:

- a) Limpieza manual empleando cables.
- b) Lavando el conducto con agua por succión-presión.
- c) Reteniendo el agua en la cámara de entrada para luego realizar una apertura instantánea de la compuerta.
- d) Descargando por medio de una estructura de alivio.

3.1.12. Criterios de diseño

Se aconseja incrementar un 50 % y como mínimo 0,30 metros al borde libre del canal aguas arriba, a una distancia mínima de 15 metros para prevenir derrames debido a tormentas superiores a las previstas u operaciones inadecuadas.

Se recomienda que el tramo descendente del conducto tenga una pendiente de 1:1 a 1:3 y de 1:2.5 hasta 1:7 para el tramo ascendente, como también una pendiente de 1:100 a 1:1000 no menor a 0,5 % en el tramo inferior.

Se recomienda plantear una transición de concreto a la entrada y salida del sifón cuando cruce caminos principales, con conductos de diámetro mayor o igual a 36 pulgadas y velocidades mayores a 1 m/s.

Con el fin de evitar la cavitación en el conducto, se aconseja colocar ventanas de aireación en zonas donde el aire podría acumularse e incorporar una tubería de aeración seguido de la transición de ingreso.

Se recomienda que la diferencia de cargas totales sea igual o menor a 0,30 metros.

Se debe estudiar la necesidad de incluir válvulas rompe presión.

3.1.13. Procedimiento de diseño

- a) Establece las estructuras a diseñar en el sifón invertido, también el tipo y tamaño aproximado del conducto.
- b) Realice un trazo preliminar del sifón en el perfil topográfico del terreno, este trazo deberá proporcionar los requerimientos de relleno sobre el conducto como pendientes mínimas y máximas, también deberá proporcionar el ahogamiento de la tubería en las cámaras de entrada y salida.
- c) Calcule las pérdidas en el sistema y si no cumple los requisitos de la energía, deberá hacer un reajuste en el diámetro o trazo del sifón.
- d) Determine el material, la clase de tubería y la presión interna del conducto.

3.1.14. Pérdidas en el sifón invertido

a. Pérdidas por transición de entrada “ h_{te} ” y por transición de salida “ h_{ts} ”

$$h_{te} = K_{te} \frac{V_t^2 - V_{ce}^2}{2g} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$h_{ts} = K_{ts} \frac{V_t^2 - V_{cs}^2}{2g} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

V_t = Velocidad en el conducto.

V_{cs} = Velocidad en el canal de salida.

K_{te} = Coeficiente de pérdida para transición de entrada.

K_{ts} = Coeficiente de pérdida para transición de salida.

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

Tabla 2
Valores del coeficiente “K”

TIPO DE TRANSICION	K _{te}	K _{ts}
Curvado	0,10	0,20
Cuadrante cilíndrico	0,15	0,25
Simplificado en línea recta	0,20	0,30
Línea recta	0,30	0,50
Extremos cuadrados	0,30	0,75

Fuente: Villón, 2003

b. Pérdidas por rejillas “h_r”

$$h_r = K_r \frac{v_n^2}{2g} \quad \text{Ecuación 6}$$

Hallando el valor de K_r con la ecuación:

$$K_r = 1,45 - 0,45 \frac{A_n}{A_g} - \left(\frac{A_n}{A_g} \right)^2 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

K_r= Coeficiente de pérdidas en la rejilla.

A_n= Área neta de paso entre rejillas.

A_g= Área bruta de la rejilla.

V_n= Velocidad a través del área neta de la rejilla.

c. Pérdidas por entrada al conducto “h_{ef}”

$$h_{ef} = K_e \frac{v_t^2}{2g} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

V_t= Velocidad del agua en el conducto.

K_e= Coeficiente que depende de la forma de entrada (ver tabla 1 del Apéndice A).

d. Pérdidas por fricción en el conducto “ hf ”

Para calcular la pérdida por fricción en la tubería podemos usar las ecuaciones:

1) Hazen Williams:

$$hf = \left(\frac{V_t}{0,8508 * C * R^{0,63}} \right)^{1,8518} * L \quad \text{Ecuación 9}$$

2) Darcy Weisbach:

$$hf = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V_t^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 10}$$

3) Manning:

$$hf = \left(\frac{V_t * n}{R^{2/3}} \right)^2 * L \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

V_t = Velocidad de la tubería en m/s.

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams (Ver tabla 2 del Apéndice A).

R = Radio de la tubería en metros.

L = Longitud de la tubería o tramo en metros.

D = Diámetro de la tubería en metros.

f = Factor de rugosidad de Darcy Weisbach.

g = Valor de la gravedad = 9,81 m/s².

e. Pérdidas por cambio de dirección o codos “ h_c ”

$$h_c = K_c \sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}} \frac{V_t^2}{2g} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

Δ = Ángulo de deflexión.

K_c = Coeficiente para codos comunes = 0,25.

f. Pérdidas por válvulas de limpieza

Estas pérdidas se deben considerar como pérdidas por bifurcación de tuberías.

Esta pérdida existe aun cuando la válvula está cerrada ya que se forman turbulencias dentro de la tubería, pero como se considera muy pequeña no se analiza.

g. Pérdidas por ampliación (perdidas por salida)

A veces no es posible colocar una transición de salida, por lo que se hará la descarga en una caja. Esta pérdida de carga será por ampliación brusca en la sección y se pueden aplicar las siguientes formulas:

Según Borda:

$$h_s = \frac{(V_t - V_c)^2}{2g} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

h_s = Pérdida de carga por ampliación brusca.

V_t = Velocidad en el conducto.

V_c = Velocidad aproximada en la caja.

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

Según Archer:

$$h_s = 0,997 \frac{(V_t - V_c)^{1,919}}{2g} \quad \text{Ecuación 14}$$

Forma práctica:

$$h_s = 2h_e$$

Donde:

h_e = Pérdida por entrada.

h_s = Pérdida por salida.

3.2. Caso Práctico

Se desea diseñar un sifón invertido para conducir el agua del canal de Pasto Grande a través de una quebrada, para lo cual se realiza un levantamiento topográfico en la zona y se traza el perfil del sifón como se aprecia en la figura 9.

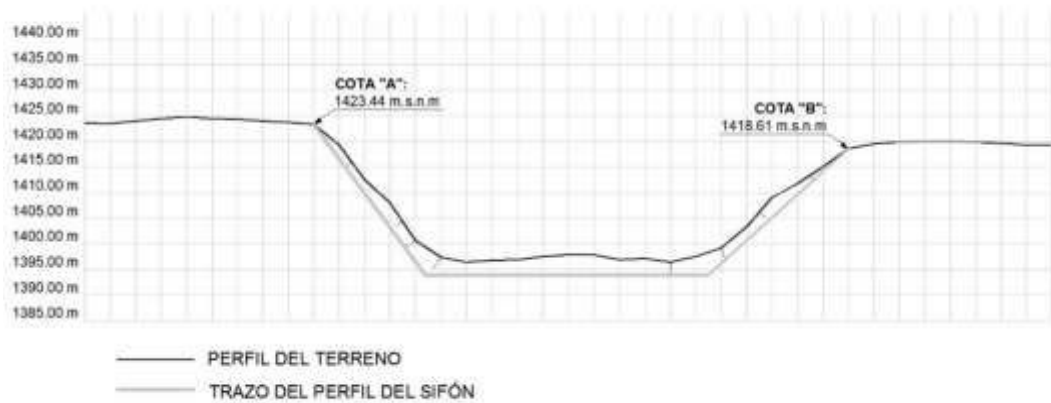


Figura 9. Trazo del sifón invertido
Fuente: Elaboración propia

El canal de Pasto Grande tiene una sección trapezoidal, con ancho de solera “ b ” igual a 1,5 metros, talud “ z ” igual a 1, un revestido de concreto ($n = 0,013$), está trazado con una pendiente “ S ” de 0,05 % y conduce un caudal “ Q ” de 3 m³/s.

a. Cálculo de las dimensiones del canal

Diseñando el canal trapezoidal por Máxima Eficiencia Hidráulica:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\frac{Q*n}{S^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Sabiendo que para un canal trapezoidal, los valores de Área hidráulica y Perímetro mojado son:

$$A = b * y + z * y^2 \quad \text{Ecuación 17}$$

$$P = b + 2 * y * \sqrt{1 + z^2} \quad \text{Ecuación 18}$$

Reemplazamos “A” y “P” en la ecuación 16:

$$\frac{Q*n}{S^{1/2}} = \frac{(b*y+z*y^2)^{5/3}}{(b+2*y*\sqrt{1+z^2})^{2/3}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Reemplazando valores conocidos en la ecuación 19 y despejando la variable “y” tenemos:

$$\frac{3 * 0,013}{0,0005^{1/2}} = \frac{(1,5 * y + 1 * y^2)^{5/3}}{(1,5 + 2 * y * \sqrt{1 + 1^2})^{2/3}}$$

$$y = 1,00 \text{ m}$$

Conociendo el valor de “y” podemos calcular el borde libre “BL” del canal trapezoidal:

$$BL = \frac{1}{5}y \quad \text{Ecuación 20}$$

$$BL = 0,20 \text{ m}$$

Aumentando el 50 % del borde libre para el canal de llegada a 15 metros aguas arriba de la transición:

$$BL = 0,20 * 1,50 = 0,30 \text{ m}$$

Con la ecuación 17 y 18 calculamos el Área Hidráulica y Perímetro mojado del canal:

$$A = 1,5 * 1,00 + 1 * 1,00^2 = 2,50 \text{ m}^2$$

$$P = 1,5 + 2 * 1,00 * \sqrt{1 + 1^2} = 4,33 \text{ m}$$

Calculamos su radio hidráulico:

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$R = \frac{2,50}{4,33} = 0,98 \text{ m}$$

Calculamos la longitud del espejo de agua “T”:

$$T = b + 2 * Z * y \quad \text{Ecuación 22}$$

$$T = 1,5 + 2 * 1 * 1 = 3,5 \text{ m}$$

Con los valores anteriormente obtenidos, calculamos la velocidad con la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$V = \frac{1}{0,013} * 0,58^{\frac{2}{3}} * 0,0005^{\frac{1}{2}} = 1,20 \text{ m/s}$$

Para verificar que el flujo en el canal no ocasiona turbulencias, calculamos el índice de Froude “IF”:

$$IF = \frac{V}{\sqrt{g \frac{T}{A}}} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$IF = \frac{1,2}{\sqrt{9,81 * \frac{3,5}{2,5}}} = 0,32$$

La velocidad hallada no produce sedimentación ni erosión del revestimiento de concreto.

El flujo del canal se encuentra en un régimen sub-crítico.

b. Cálculo de la transición

Para pasar de una sección trapezoidal a una rectangular, será necesario construir una transición cuya longitud se calculará con la siguiente fórmula:

$$L_T = \frac{T-t}{2\beta} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

L_T = longitud transición.

T = espejo de agua del canal trapezoidal.

t = espejo de agua del canal rectangular.

β = ángulo que forma el eje del canal y una de las paredes de la transición.

En la figura 10 podemos ver la ubicación de las variables “ T ”, “ t ” y “ β ” de la ecuación 25:

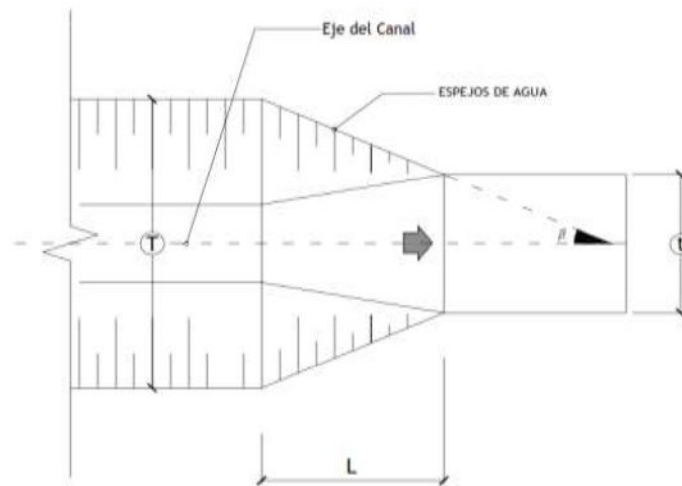


Figura 10. Vista en planta de la transición

Fuente: Departamento académico de hidráulica e hidrología (UNI), 2006

Según experiencias, para valores de “ β ” igual o menor a $12,5^\circ$ las pérdidas de carga son muy pequeñas por lo que se pueden obviar; y se debe

considerar como un valor máximo de “ β ” igual a $22,5^\circ$. Tomando estas dos consideraciones, la longitud de la transición “ L_T ” con la ecuación 25 será:

$$L_T = \frac{3,5 - 2,5}{2 * \tan 12,5^\circ} = 2,26 \text{ m} \approx 2,30 \text{ m}$$

c. Calculo del canal rectangular después de la transición

Asumiendo una pendiente “ S ” de 0,0005 y una base “ b ” de 2,5 metros después de la transición, calculamos el canal rectangular.

Por la ecuación de Bernoulli en los canales antes y después de la transición, hallamos el tirante “ y ” del canal rectangular:

$$Y_{\text{TRAPEZOIDAL}} + \alpha \frac{V_{\text{TRAPEZOIDAL}}^2}{2g} = Y_{\text{RECTANGULAR}} + \alpha \frac{V_{\text{RECTANGULAR}}^2}{2g}$$

$$1 + 1,05 \frac{1,2^2}{2 * 9,81} = Y_{\text{RECTANGULAR}} + 1,05 \frac{\left(\frac{2,5 * Y_{\text{RECTANGULAR}}}{2}\right)^2}{2 * 9,81}$$

$$Y_{\text{RECTANGULAR}} = 0,99999999993 = 1 \text{ m}$$

Calculamos los valores del Área hidráulica y Velocidad en el canal rectangular:

$$A = B * Y \quad \text{Ecuación 26}$$

$$A = 2,5 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$V = 1,2 \text{ m/s}$$

Con la ecuación 24 calculamos el índice de Froude “ IF ”:

$$IF = \frac{V}{\sqrt{g \frac{T}{A}}} = \frac{1,2}{\sqrt{9,81 * 1}} = 0,38$$

El flujo permanece estable.

d. Longitud mínima para estabilizar el flujo

Esta longitud evita que se genere el efecto de vórtice o cualquier inestabilidad en el trayecto del flujo hacia el conducto. Se utilizará una longitud de 2 metros por seguridad en el tramo del canal rectangular, entre el cambio de sección hasta el tramo de by-pass como se muestra en la figura 11.

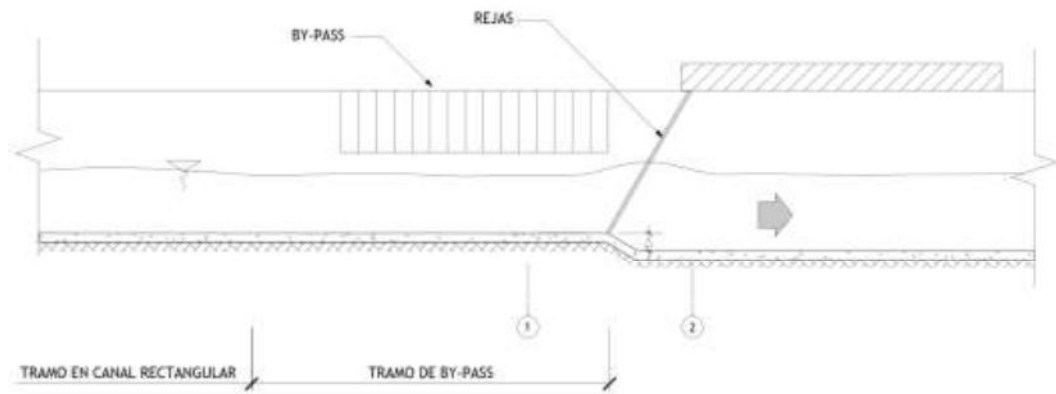


Figura 11. Vista del by-pass y rejilla

Fuente: Departamento académico de hidráulica e hidrología (UNI), 2006

e. Pérdida de carga a través de rejillas

Se dispondrá de rejillas al ingreso de la cámara de entrada, por lo cual calcularemos la pérdida en la rejilla 1, " h_{r1} ", con la ecuación 6 y hallando el valor de " K_r " por la ecuación de Kirschmer, siendo " K_r " igual a " K_{r1} ":

$$K_{r1} = \beta * \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \delta \quad \text{Ecuación 28}$$

Siendo los valores de " β ", " δ ", " b " y " s " los que se muestran en la figura 12:

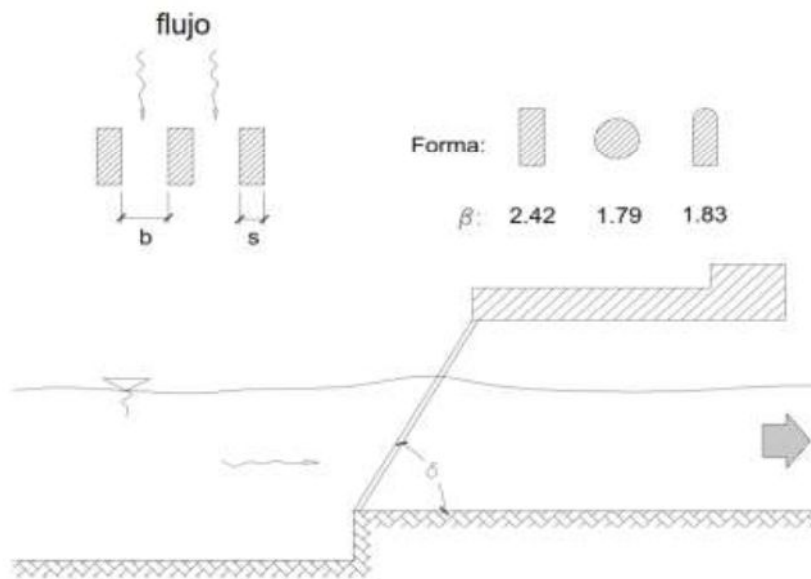


Figura 12. Pérdida de carga en la rejilla
Fuente: Departamento académico de hidráulica e hidrología (UNI), 2006

Reemplazando los valores de la figura 12 en la ecuación 28:

$$K_{r1} = 1,79 * \left(\frac{1,27}{5}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin 60 = 0,249$$

Empleando la ecuación 6, donde “ $h_r = h_{r1}$ ”:

$$h_{r1} = K_{r1} \frac{V_n^2}{2g} = 0,249 * \frac{1,2^2}{2 * 9,81} = 0,018 m$$

f. Tirante después de la rejilla

Seguirá manteniendo un ancho de 2,5 metros. Aplicando la ecuación de la energía antes y después de la rejilla obtenemos el tirante después de la rejilla “ Y_2 ”:

$$Y_1 + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = Y_2 + \alpha \frac{v_2^2}{2g} - \Delta + h_{r1}$$

$$1 + 1,05 \frac{1,2^2}{2 * 9,81} = Y_2 + 1,05 \frac{\left(\frac{3}{2,5 * Y_2}\right)^2}{2 * 9,81} + 0,018$$

$$Y_2 = 0,98m$$

Por la ecuación 26 y 27 tenemos:

$$A = B * Y = 2,45 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = 1,22 \text{ m/s}$$

Por la ecuación 24 tenemos:

$$IF = \frac{V}{\sqrt{g \frac{T}{A}}} = \frac{1,22}{\sqrt{9,81 * \frac{2,5}{2,45}}} = 0,39$$

El flujo permanece estable.

g. Diseño del by-pass

Considerando las condiciones en el canal del By-pass:

$$Q_{By-pass} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 0,0005$$

$$n = 0,013 \text{ (revestimiento de concreto)}$$

$$b = 1,5 \text{ metros}$$

Siendo el perímetro mojado “P” para el canal rectangular:

$$P = b + 2 * y \quad \text{Ecuación 29}$$

Reemplazamos la ecuación 29 y 26 en la ecuación 16 para despejar el valor del

tirante “y” del by-pass:

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{(b * y)^{5/3}}{(b + 2 * y)^{2/3}}$$

$$\frac{1 * 0,013}{0,0005^{\frac{1}{2}}} = \frac{(1,5 * y)^{5/3}}{(1,5 + 2 * y)^{2/3}}$$

$$y_{By-pass} = 0,75 \text{ m}$$

Por las ecuaciones 27 y 28:

$$A = b * y_{By-pass} = 0,75 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = 1,33 \text{ m/s}$$

Por la ecuación 24, hallamos el índice de Froude:

$$IF = \frac{V}{\sqrt{g \frac{T}{A}}} = \frac{1,33}{\sqrt{9,81 * \frac{1,5}{0,75}}} = 0,30$$

El flujo permanece estable.

- Vertedero de cresta sumergida

Se empleará la relación propuesta por Herschel, que resuelve el problema a partir de una alteración de la fórmula de Francis. Herschel afirma que:

$$Q = 1,84 * L * (N * H)^{3/2} \quad \text{Ecuación 30}$$

Dónde:

Q = Caudal sobre el vertedero

L = Ancho del vertedero

H = Diferencia de nivel entre la superficie libre del canal aguas arriba y la cresta del vertedero

N = Coeficiente que depende de la sumergencia “ h/H ”

H = Diferencia de nivel entre la superficie libre de aguas abajo del canal y la cresta del vertedero.

En la figura 13 se muestra la ubicación de cada una de las variables.

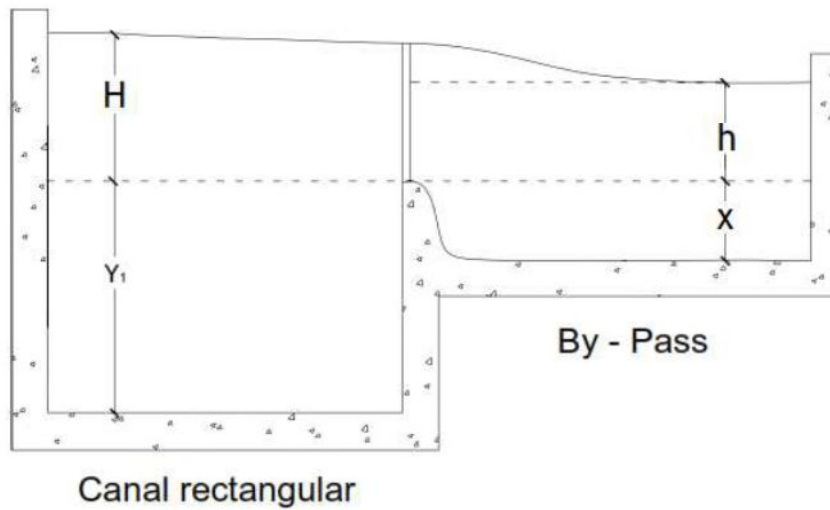


Figura 13. By-pass

Fuente: Departamento académico de hidráulica e hidrología (UNI), 2006

Para el cálculo, optaremos por un vertedero de 50 centímetros de altura.

Con ayuda de la tabla 5 del Apéndice A, asumiendo una relación de $H/L = 0,356$ y realizando un proceso iterativo; calculamos el ancho de la ventana:

$$h + 0,50 = y_{by-pass}$$

$$h = 0,25$$

Asumiendo que:

$$\frac{h}{H} = \frac{0,25}{H} = 0,89$$

$$H = 0,28 \text{ m}$$

$$N = 0,590$$

Con una relación $H/L = 0,356$, donde $H = 0,356 * L$. Reemplazando los en la ecuación 30, el valor de “L” es igual:

$$1 = 1,84 * L * (0,590 * 0,356 * L)^{3/2}$$

$$L = 1,998 \approx 2 \text{ m}$$

h. Diseño del desarenador

Para el diseño, el caudal es de 3,0 m³/s y las partículas según estudio tienen un diámetro de 0,5 milímetros.

- Velocidad de flujo en el tanque

Por la fórmula de Camp:

$$V = a\sqrt{D} \quad \text{Ecuación 31}$$

Dónde:

a = Constante en función del diámetro (Ver tabla 3).

D = Diámetro de los sedimentos.

Tabla 3

Valores del coeficiente "a"

a	D (mm)
51	< 0,1
44	0,1 – 1
36	> 1

Fuente: Villón, 2003

$$V = 44 * \sqrt{0,5} = 31,11 \text{ cm/s}$$

- Velocidad de caída de la partícula

De los estudios realizados por Arkhangelski (ver tabla 4 del Apéndice A) en función al diámetro de las partículas se tiene:

$$W = 5,4 \text{ cm/s}$$

Asumimos una profundidad de caída de 2,50 metros considerando que para velocidades entre 0,20 y 0,60 m/s, se puede asumir valores de 1,50 y 4,00 metros.

- **Ancho del desarenador**

$$b = \frac{Q}{(h \cdot V)} \quad \text{Ecuación 32}$$

$$b = \frac{3}{2,50 \cdot 0,31} = 4,00 \text{ m}$$

- **Longitud del desarenador**

$$L = \frac{h \cdot V}{w} \quad \text{Ecuación 33}$$

$$L = \frac{2,50 \cdot 0,31}{0,054} = 14 \text{ m}$$

- **Tiempo de sedimentación**

$$t = \frac{h}{w} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$t = \frac{2,50}{0,054} = 46,30 \text{ s}$$

- **Volumen del agua conducido en ese tiempo**

$$V_{\text{agua}} = Q \cdot t \quad \text{Ecuación 35}$$

$$V_{\text{agua}} = 3 \cdot 46 = 138,90 \text{ m}^3$$

- **Verificación de la capacidad del tanque**

$$V_{\text{tanque}} = b \cdot h \cdot L \quad \text{Ecuación 36}$$

$$V_{tanque} = 4 * 2,5 * 14 = 140,00 m^3$$

Para facilidad de lavado, se le dará una pendiente “S” de 3 % al finalizar la transición de ingreso.

- **Calculo de la caída del fondo**

$$\Delta Z = L * S \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\Delta Z = 14 * 0,03 = 0,42 m$$

- **Transiciones en la entrada y salida del desarenador**

Por la ecuación 25 tenemos:

$$L_T = \frac{4 - 2,5}{2 * \tan 12,5^\circ} = 3,38 m \approx 4,40 m$$

- **Compuerta de purga**

Para diseñar el área de la compuerta, empleamos la ecuación 36:

$$Q = C_d * A_o * \sqrt{2 * g * H} \quad \text{Ecuación 38}$$

Asumiendo que el borde inferior del orificio está en el fondo, optaremos por un C_d mayor a 0,65 o menor a 0,70.

La compuerta será de 1 metro de altura, por lo cual, la carga “H” medido desde la superficie libre hasta el centro del orificio, contando la caída del fondo será 2,4 metros. Optamos por desalojar un caudal de 3 m³/s.

$$3 = 0,68 * A_o * \sqrt{2 * 9,81 * 2,4}$$

$$A_o = 0,64 m^2$$

- **Transición del desarenador a las cámaras de ingreso**

Como se desea utilizar dos tuberías, asumimos dos canales con una separación de 0,20 centímetros, esto se detalla en la figura 24. Empleado la ecuación 25, tenemos:

$$L_T = \frac{5,20 - 2,50}{2 * \tan 12,5^\circ} = 6,09 \text{ m} \approx 6,00 \text{ m}$$

- **Transición del ingreso al conducto**

Empleado la ecuación 25, tenemos:

$$L_T = \frac{2,50 - 1,2192}{2 * \tan 12,5^\circ} = 2,89 \text{ m} \approx 2,90 \text{ m}$$

i. Diseño hidráulico del sifón

Con las cotas de los puntos A y B del sifón se procede a diseñar el conducto, se ha considerado en el trazo que el conducto irá a una profundidad de socavación de 1,50 metros más 1 metro en la parte más baja de la quebrada y 1 metro en los taludes.

- **Proceso de diseño**

Asumiendo una velocidad en el sifón de 3 m/s, por lo que el área del conducto será de:

$$Q = V * A \quad \text{Ecuación 39}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{3}{3} = 1 \text{ m}^2$$

El diámetro de la tubería circular será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad \text{Ecuación 40}$$

$$D = 1,13 \text{ m} \approx 44,49 \text{ pulg}$$

$$D = 44 \text{ pulg}$$

Recalculando la velocidad en la tubería a partir de la ecuación 37, tenemos:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3}{\frac{\pi \cdot (44 \cdot 0,0254)^2}{4}} = 3,06 \text{ m/s}$$

La velocidad calculada es mayor a 0,90 m/s, por lo que proporcionara un efecto de auto-limpieza y no dejará depósitos de azolves en el conducto.

- Sumergencia

Para garantizar que el conducto trabaje ahogado, empleamos las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$H_{min} = \frac{3}{2} * \frac{V_t^2}{2g} = \frac{3}{2} * \frac{3,06^2}{29,81} = 0,715 \text{ m}$$

$$H_{min} = 0,3 * V_t * \sqrt{D} = 0,3 * 3,06 * \sqrt{1,1176} = 0,970 \text{ m}$$

$$H_{min} = 0,5 * D * \left(\frac{V_t}{\sqrt{D}}\right)^{0,55} = 0,5 * 1,1176 * \left(\frac{3,06}{\sqrt{1,1176}}\right)^{0,55} = 1,002 \text{ m}$$

Calculando el valor de "P" en la entrada:

$$P_{entrada} = \frac{3}{4} * D \quad \text{Ecuación 41}$$

$$P_{entrada} = \frac{3}{4} * 1,1176 = 0,838 \text{ m}$$

Calculando el valor de “P” en la salida:

$$P_{salida} = \frac{1}{2} * D \quad \text{Ecuación 42}$$

$$P_{salida} = \frac{1}{2} * 1,1176 = 0,559 \text{ m}$$

Considerando que en la cámara de ingreso se tiene las mismas propiedades que en la cámara de salida y que el valor mínimo de “P” es 0,572 metros, que a esto debemos sumarle la altura del tirante en el canal, podemos concluir que el conducto trabajará sumergido o ahogado.

- **Carga disponible**

$$\Delta Z = (Cota A - P_{entrada}) - (Cota B - P_{salida})$$

$$\Delta Z = (1423,44 - 0,914) - (1418,61 - 0,610) = 3,306 \text{ m}$$

j. Pérdidas

- **Transición de entrada y salida**

Empleando la ecuación 5, tenemos:

$$h_{te} = 0,1 \frac{V_t^2 - V_{ce}^2}{2g} = 0,1 * \left(\frac{3,06^2 - 1,2^2}{2 * 9,81} \right) = 0,040 \text{ m}$$

Empleando la ecuación 6, tenemos:

$$h_{ts} = 0,2 \frac{V_t^2 - V_{cs}^2}{2g} = 0,2 * \left(\frac{3,06^2 - 1,2^2}{2 * 9,81} \right) = 0,081 \text{ m}$$

- **Rejillas**

Optando por 19 varillas de 1/2", separadas a cada 5 centímetros. Calculamos el área neta por metro cuadrado:

$$A_n = 1 * 1 - 19 * (1 * 0,0127) = 0,7587 \text{ m}^2$$

El área hidráulica (área bruta) de la tubería es:

$$A_g = \frac{\pi * (44 * 0,0254)^2}{4} = 0,9810 \text{ m}^2$$

Entonces el área neta hidráulica de la tubería será:

$$A_n = 0,7587 * 0,9810 = 0,7443 \text{ m}^2$$

Hallamos el valor de K_r con la ecuación 7:

$$K_r = 1,45 - 0,45 \frac{A_n}{A_g} - \left(\frac{A_n}{A_g} \right)^2$$
$$K_r = 1,45 - 0,45 * \frac{0,7443}{0,9810} - \left(\frac{0,7443}{0,9810} \right)^2$$
$$K_r = 0,533$$

Reemplazamos el valor de K_r en la ecuación 7:

$$h_r = K_r \frac{V_n^2}{2g} = 0,533 * \frac{\left(\frac{3}{0,7443} \right)^2}{2 * 9,81} = 0,441 \text{ m}$$

- **Entrada al sifón:**

Con un coeficiente $K_e = 0,50$ extraída de la tabla 1 del Apéndice y empleando la ecuación 9, tenemos

$$h_{ef} = K_e \frac{V_t^2}{2g} = 0,50 * \frac{3,06^2}{2 * 9,81} = 0,238 \text{ m}$$

- **Fricción en tubería:**

Usando la ecuación 12, con un coeficiente $n = 0,013$ (Hierro Fundido), tenemos:

$$hf = \left(\frac{V_t * n}{R^{2/3}} \right)^2 * L = \left(\frac{3,06 * 0,013}{\left(\frac{1,143}{4} \right)^{2/3}} \right)^2 * 127,34 = 1,102 \text{ m}$$

- **Cambio de dirección:**

Empleando la ecuación 13:

$$h_{c1} = 0,25 \sqrt{\frac{53}{90^\circ} \frac{3,06^2}{2 * 9,81}} = 0,091 \text{ m}$$

$$h_{c2} = 0,25 \sqrt{\frac{42}{90^\circ} \frac{3,06^2}{2 * 9,81}} = 0,081 \text{ m}$$

$$h_c = h_{c1} + h_{c2} = 0,091 + 0,081 = 0,172 \text{ m}$$

- **Pérdida de carga total:**

$$\Delta H = 1,1 * (0,040 + 0,081 + 0,441 * 2 + 0,238 + 1,102 + 0,172)$$

$$\Delta H = 2,767 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 3,306 \text{ m}$$

k. Verificación de las pérdidas

$$\text{Carga en el sifón} = \Delta Z - \Delta H = 3,306 - 2,767 = 0,539 \text{ m}$$

3.3. Representación de resultados

a. Canal de ingreso

Esta estructura será de concreto, con una pendiente “S” de 0,05 %. Sus dimensiones se detallan en la figura 14.

Canal trapezoidal

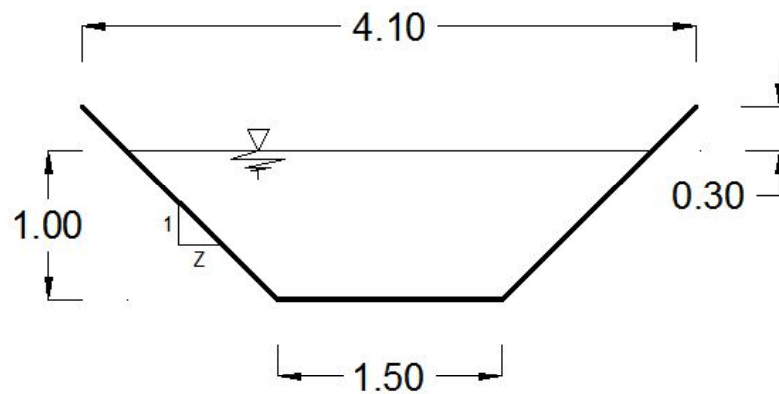


Figura 14. Canal trapezoidal
Fuente: Elaboración propia

b. Transición

Esta estructura será de concreto y no ocasionará pérdida de energía durante el cambio de sección. Sus dimensiones se detallan en la figura 15.

Transición

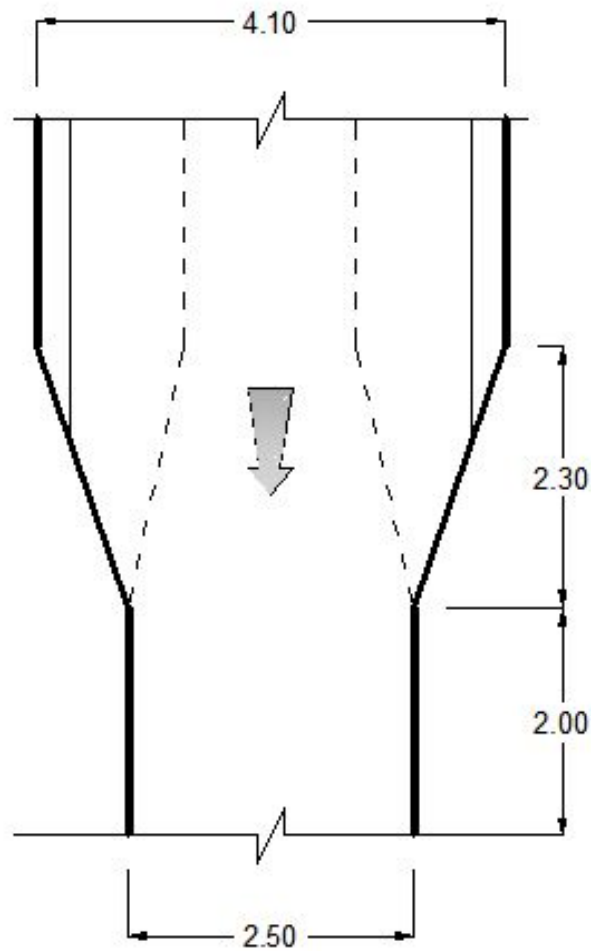


Figura 15. Transición
Fuente: Elaboración propia

c. Canal rectangular

Esta estructura será de concreto, con una pendiente “S” de 0,05 %. Sus dimensiones se detallan en la figura 16.

Canal rectangular

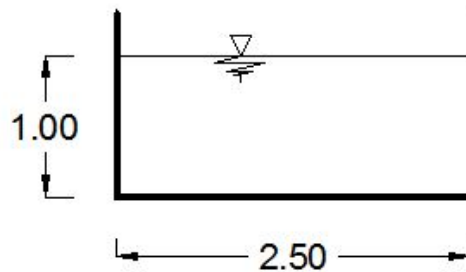


Figura 16. Rectangular
Fuente: Elaboración propia

d. By-pass

Esta estructura estará ubicada a 2 metros finalizada la transición. Sus dimensiones se detallan en las figuras 17 y 18.

By-pass

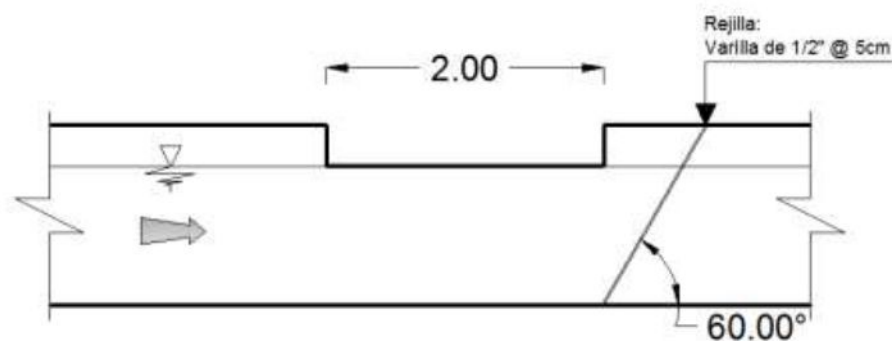


Figura 17. By-pass (1)
Fuente: Elaboración propia

By-pass

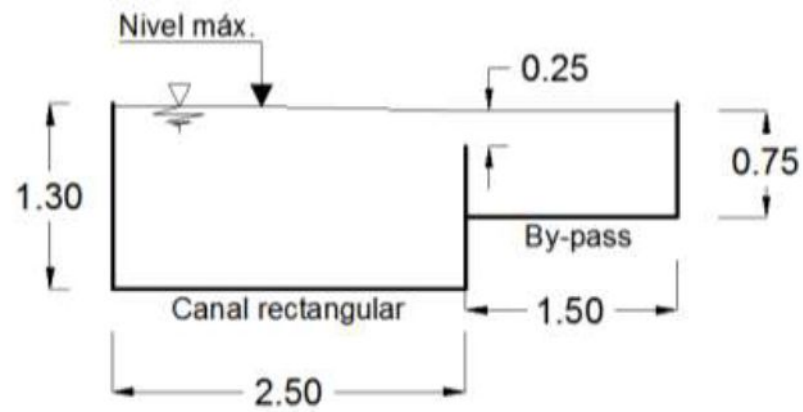


Figura 18. By-pass (2)
Fuente: Elaboración propia

e. Desarenador

Esta estructura fue diseñada con el fin de disminuir en gran proporción el ingreso de sedimentos a la tubería. Sus dimensiones se detallan en la figura 19.

Desarenador

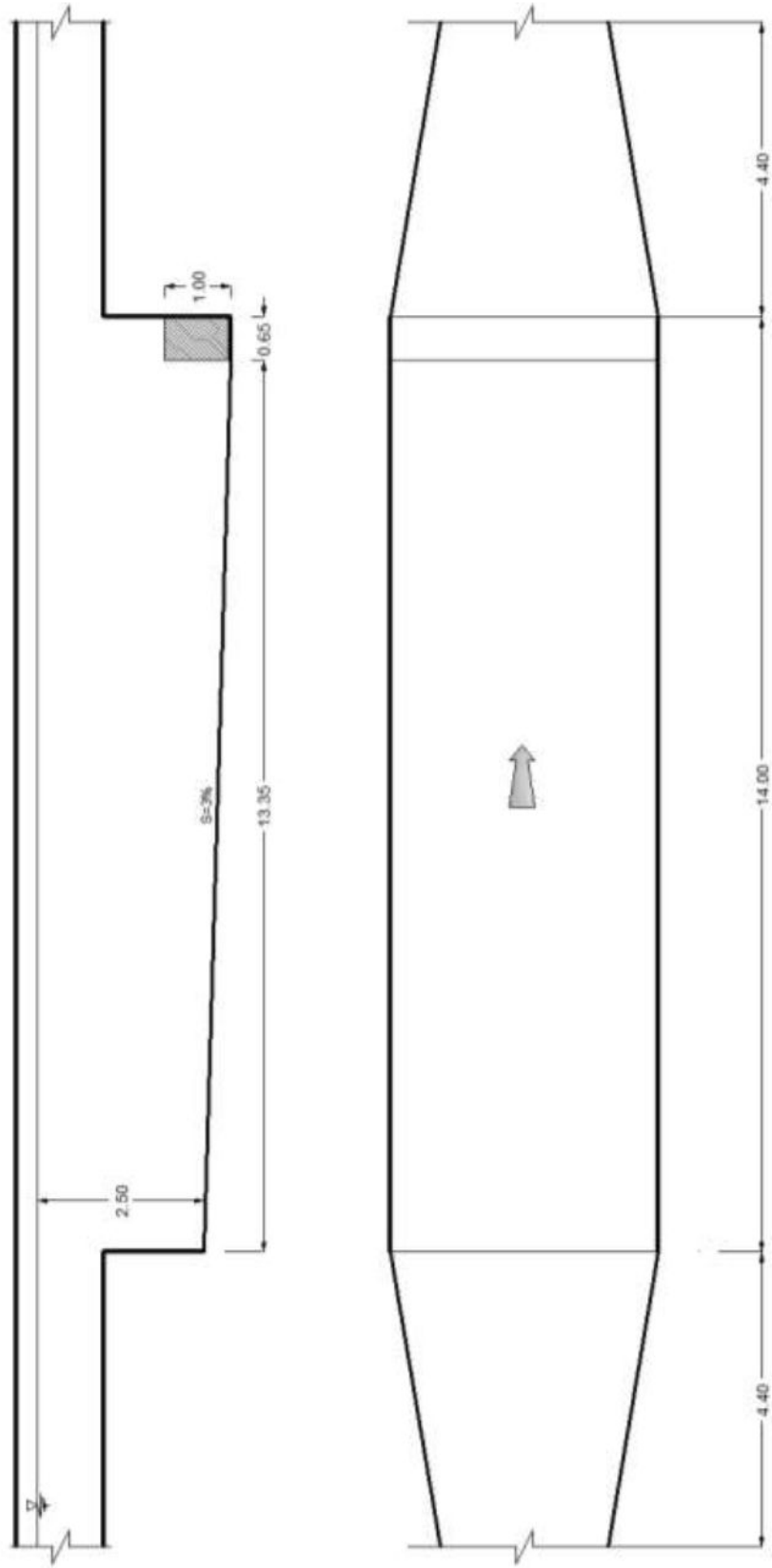


Figura 19 Desarenador
Fuente: Elaboración propia

f. Cámara de ingreso y salida

Estas estructuras fueron diseñadas con el fin de proteger el ingreso al conducto y proporcionar el espacio suficiente para que el personal especializado pueda realizar el mantenimiento. Sus dimensiones y elementos se detallan en las figuras 20 y 21.

Camara de ingreso

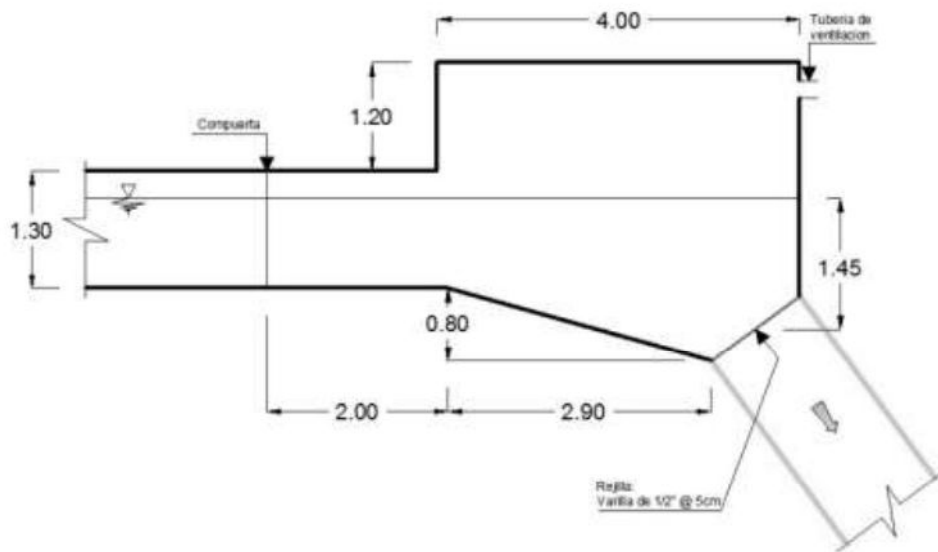


Figura 20. Cámara de ingreso
Fuente: Elaboración propia

Camara de salida

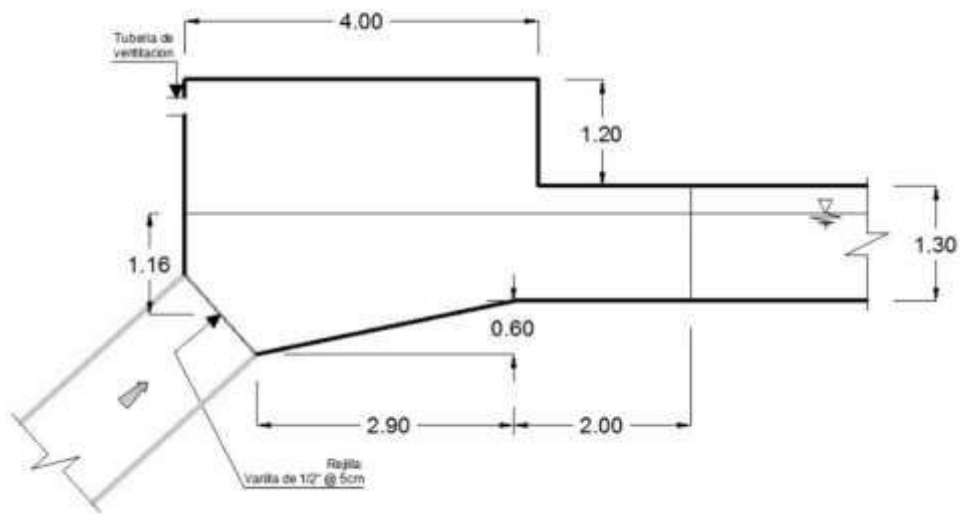
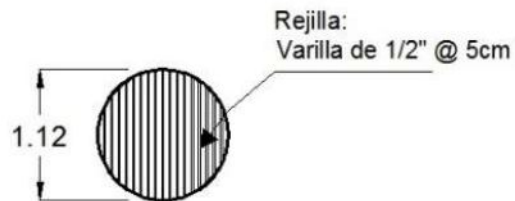


Figura 21. Cámara de salida
Fuente: Elaboración propia

g. Rejillas:

Tendremos dos tipos de rejillas, uno rectangular entre el by-pass con el desarenador y el segundo circular que estará al ingreso y salida al conducto. Sus dimensiones se detallan en la figura 22.

Rejilla de ingreso al sifón



Rejilla de paso al desarenador

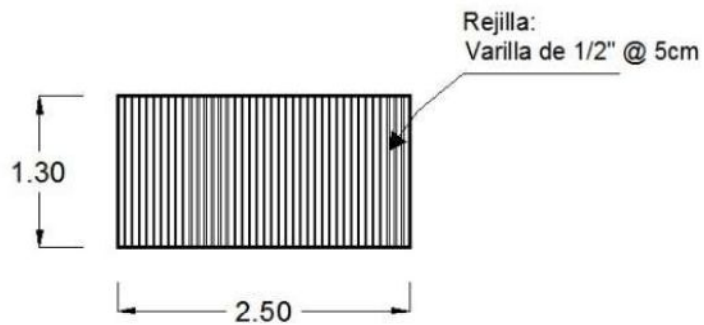


Figura 22. Rejillas
Fuente: Elaboración propia

h. Conducto

El conducto será de Hierro Fundido, estará enterrado a una profundidad de 2,5 metros en la parte más baja, a 1 metro en taludes y será colocado sobre una superficie compacta. No contara con una estructura de alivio, puesto que el conducto se encontrara enterrado. Sus dimensiones se detallan en la figura 23.

PERFIL DEL SIFÓN

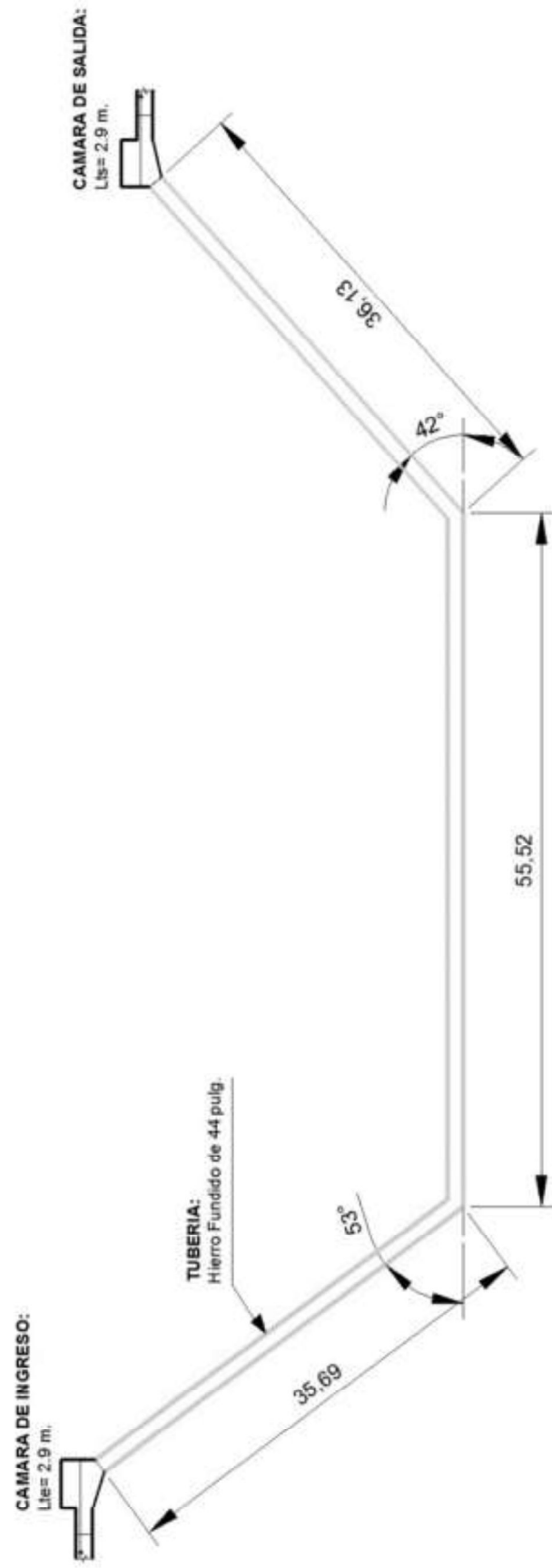


Figura 23. Perfil del sifón invertido
Fuente: Elaboración propia

Esquema final del diseño

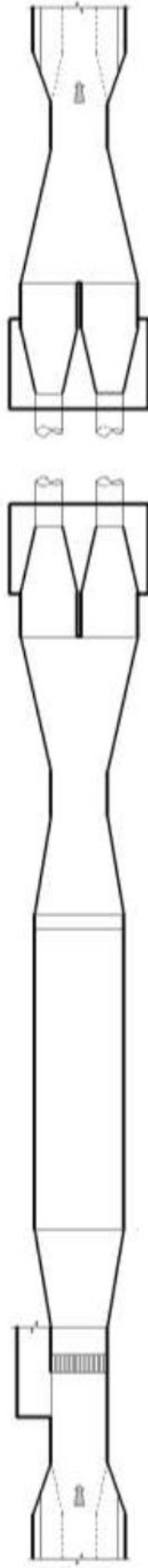


Figura 24 Vista en planta del diseño final
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Primera. El sifón invertido cuenta con dos tuberías de 44 pulgadas que trabajan de forma independiente, cumplen con las condiciones de velocidad mínima de auto limpieza, fácil ensamblado y resistencia a la presión.

Segunda. El sifón cuenta con una pérdida de carga de 2,767 metros que es debido al rozamiento del fluido dentro de la tubería. Se concluye que la mayor pérdida se concentra en la tubería debido al menor diámetro optado durante el diseño y la segunda significativa está en las rejillas debido a la separación optada durante el diseño.

Tercera. El sifón cuenta con una carga de energía adicional de 0,539 metros, que no es un valor exagerado con relación a 0,30 metros que recomienda la teoría.

Cuarta. La estructura es funcional porque trabajara ahogado y cumple con todos los requisitos hidráulicos porque tenemos una carga energía adicional en la estructura.

4.2. Recomendaciones

Primera. Se recomienda que durante el diseño elijamos el menor diámetro posible, debido que estas tuberías pueden soportar mayores presiones. Se debe tener en cuenta que el material del conducto se encuentre disponible en el mercado y sea de fácil ensamblado.

Segunda. Se recomienda evitar cambios bruscos de dirección al realizar el trazado del conducto, debido a que estos cambios generan más pérdidas de carga y puede debilitar el conducto. Se debe tomar en cuenta que los diámetros mínimos generan mayor gasto de energía como también la separación entre las varillas de la rejilla, siempre y cuando estas se encuentren al ingreso del conducto.

Tercera. Se recomienda trazar el perfil del sifón por lugares que no tengan demasiada pendiente, ni mucha diferencia de altura entre el punto inicial y final, de forma que la carga hidráulica al finalizar el sifón no sea excesiva y así evitar el desbordamiento en el canal de salida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonzo A. (2013). *Medición de Flujo en Compuertas y Orificios (Trabajo de Titulación)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3590_C.pdf

Álvarez I. (2004). *¿Ya no se Construyen Acueductos?* Recuperado de <http://rincondelaciencia.educa.madrid.org/Curiosid/rc-69/rc-69.html>

Autoridad Nacional del Agua (2010). *Manual de Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales de Afianzamiento Hídrico*. Lima, Perú.

Chereque W. (1993). *Estructuras Hidráulicas en Canales*. Lima Perú. Recuperado de http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/41245/mecanica_fluidos_cap07.pdf?sequence=22

Cruz B. (2005). *Diseño Hidráulico del Sifón Acueducto Ccochanccay - Proyecto de Irrigación Yaurihuri*. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Lima, Perú. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Basic/cruz_lb/contenido.htm

Comisión Nacional del Agua. (2009). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Coyoacán, México, D.F. Recuperado de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPD_S-29.pdf

Barboza A. (2014). *Diseño de Sifón Invertido*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/heberalexanderbarbozafustamante/diseo-de-sifn-invertido>

García M. (2015). *Diseño de Desarenadores*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/diseo-de-desarenadores>

Ministerio del Agua Viceministerio de Servicios Básicos (2007). *Reglamento técnico de diseño de sifones invertidos en sistemas sanitarios*. Recuperado de <https://docgo.org/reglamento-sifones>.

Nicoll Perú S. A. (2006). *Sistema de Presión NTP - ISO 4422 Tubos y Accesorios de PVC - U*. Lima, Perú.

Peláez E. (2006). *Diseño de obras hidráulicas*. Universidad Nacional De Ingeniería. Lima, Perú.

Pérez L., & Pérez S. (2007). *Criterios de Diseño, Cálculo y Selección de Tuberías en Base al Criterio de las Prestaciones Equivalentes*. Buenos Aires. Argentina. Recuperado de <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/CursoTuberias.pdf>

Ramiro, M (2005). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Hidráulica*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/31/3353962.2005.Parte%206.pdf>

Rival (2003). *Manual de Flujo de Tuberías a Presión*. Cuenca, Ecuador. Recuperado de http://plasticosrival.com/wp-content/uploads/2013/10/Flujo_TuberiasPresion.pdf

Universidad José Carlos Mariátegui (2015). *Manual de Elaboración de Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional y Artículo Científico*. Moquegua, Perú.

Universidad Nacional del Santa (2008). *Estructuras Hidráulicas*. Chimbote, Perú. Recuperado de

http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/dise%F1o_y_aspectos_constructivos_en_obras_de_arte.pdf

Vilchis, M. (2015). *Orificios, Compuertas y Vertedores*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/marcoantoniovilchis/orificos-compuertas-y-vertedores-hidraulica-basica>

Villón M. (2003). *Diseño de Estructuras Hidráulicas*. Lima, Perú: Editorial Villón.

Wikipedia la Enciclopedia Libre. (2017). *Vasos Comunicantes*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Vasos_comunicantes

Wikipedia la Enciclopedia Libre. (2017). *Sifón*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Sif%C3%B3n>

APÉNDICE

TABLAS

Tabla 4

Valores del coeficiente “K_e”

CONDICION DE ENTRADA	K_e
Compuerta en pared delgada – contracción suprimida en los lados y en el fondo.	1,00
Para entrada con arista en ángulo recto.	0,50
Para entrada con arista ligeramente redondeada.	0,23
Para entrada con arista completamente redondeada R/D=0,15	0,10
Para entrada abocinada circular	0,004

Fuente: Villón, 2003

Tabla 5

Valores del coeficiente “C”

MATERIAL	C
Asbesto-cemento (nuevo)	135
Cobre y Latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, 10 años de edad	107 – 113
Hierro fundido, 20 años de edad	89 – 100
Hierro fundido, 30 años de edad	75 – 90
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
Acero remachado nuevo	110
Acero remachado usado	85
PVC	140
PE	150
Plomo	130 – 140
Aluminio	130

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6*Valores del coeficiente “n” para canales revestidos*

DESCRIPCION DEL CANAL	Valor de “n”			
	TIPO	MINIMO	NORMAL	MÁXIMO
Cemento:				
Superficie lisa		0,010	0,011	0,013
En mortero		0,011	0,013	0,015
Concreto:				
Acabado con llana metálica		0,011	0,013	0,015
Acabado con llana de madera		0,013	0,015	0,016
Acabado con grava en el fondo		0,015	0,017	0,020
Sin acabado		0,014	0,017	0,020
Fondo de concreto acabado con llana, bordos de:				
Piedra acomodada sobre mortero		0,015	0,017	0,020
Mampostería de piedra mal acomodada sobre mortero		0,017	0,020	0,024
Mampostería de piedra pequeña, cementada y revocada		0,016	0,020	0,024
Mampostería de piedra pequeña cementada		0,020	0,025	0,030
Mampostería seca de piedra pequeña		0,020	0,030	0,035
Fondo de grava con taludes de:				
Concreto colado en moldes		0,017	0,020	0,025
Piedra mal acomodada en mortero		0,020	0,025	0,030
Mampostería seca de piedra pequeña		0,023	0,033	0,036
Mampostería de piedra				
Pequeña, cementada		0,017	0,025	0,030
Pequeña, seca		0,023	0,032	0,035
Suelo – cemento		0,015	0,016	0,017

Fuente: Chow, 1994

Tabla 7*Valores de la velocidad de sedimentación “w”*

DIAMETRO (mm)	w (cm/s)
0,05	0,178
0,10	0,692
0,15	1,560
0,20	2,160
0,25	2,700
0,30	3,240
0,35	3,780
0,40	4,320
0,45	4,860
0,50	5,400
0,55	5,940
0,60	6,480
0,70	7,320
0,80	8,070
1,00	9,440
2,00	15,290
3,00	19,250
5,00	24,900

Fuente: Arkhangelski, 1935

Tabla 8*Valores de "N" en función de h/H*

h/H	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	1,000	1,004	1,006	1,006	1,007	1,007	1,007	1,006	1,006	1,005
0,1	1,005	1,003	1,002	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,989	0,987
0,2	0,985	0,982	0,980	0,977	0,975	0,972	0,970	0,967	0,964	0,961
0,3	0,959	0,956	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,935	0,932
0,4	0,929	0,923	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,900	0,896
0,5	0,892	0,888	0,884	0,880	0,875	0,871	0,866	0,861	0,856	0,851
0,6	0,846	0,841	0,836	0,830	0,824	0,818	0,813	0,806	0,800	0,794
0,7	0,787	0,780	0,773	0,776	0,758	0,750	0,742	0,732	0,723	0,714
0,8	0,703	0,692	0,681	0,669	0,656	0,644	0,631	0,618	0,604	0,590
0,9	0,574	0,557	0,539	0,520	0,498	0,471	0,441	0,402	0,352	0,275

Fuente: Rocha, 2007