

OBRAS HIDRÁULICAS II

QUINTO SEMESTRE

MA. GABRIELA ZÚÑIGA RODRÍGUEZ

OBRAS ESPECIALES EN CANALES

1.1 INTRODUCCIÓN A OBRAS ESPECIALES

1.2 ACUEDUCTOS

1.3 SIFONES

1.4 ALCANTARILLAS

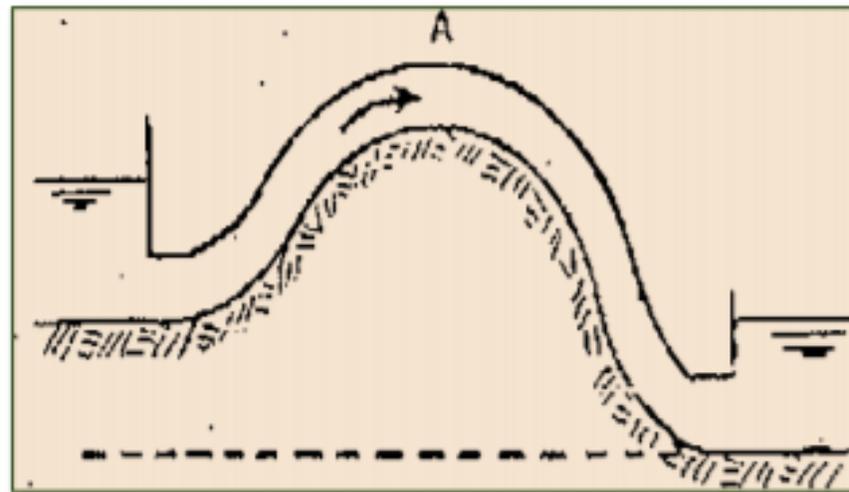
1.5 DESARENADORES

1.6 RESERVORIOS

DEFINICIÓN SIFÓN (NORMAL)

- Llamado simplemente sifón, conduce él agua pasando sobre el **obstáculo** y su funcionamiento se debe a la presión atmosférica que actúa en la superficie del agua a la entrada.

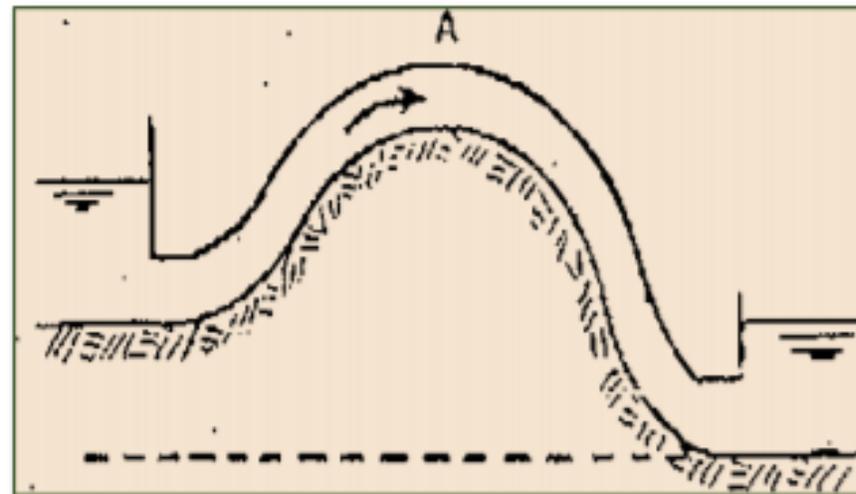
SIFON (NORMAL)



DEFINICIÓN SIFÓN (NORMAL)

- Para iniciar su funcionamiento es necesario producir el vacío en el interior del conducto, entonces la **diferencia de presión** entre la entrada (Presión atmosférica) y en el interior del conducto (Presión cero a próxima a cero) hace que el agua fluya en sentido ascendente al llegar a la cresta A.
- El agua cae por gravedad hacia la rama derecha dejando un vacío en la cresta lo que hace que el flujo sea continuo mientras no se introduzca aire en el conducto, por esta razón la entrada al sifón debe estar siempre ahogada.

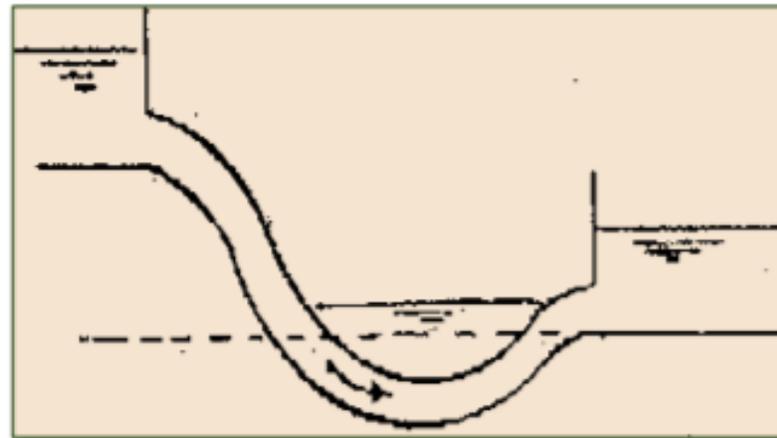
SIFON (NORMAL)



DEFINICIÓN SIFÓN INVERTIDO

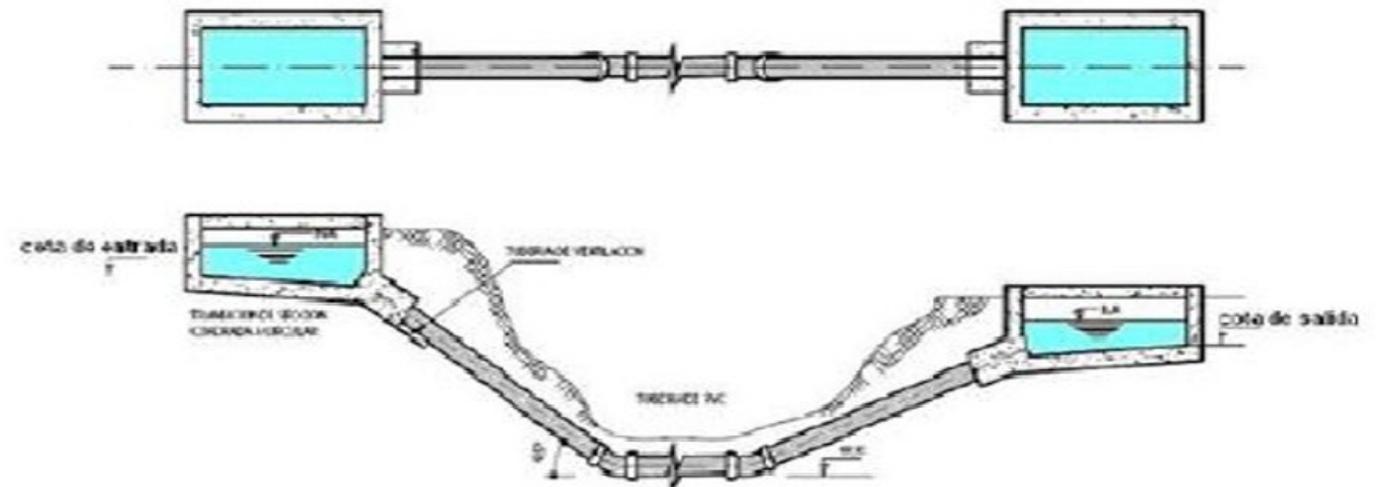
- Los sifones invertidos son conductos cerrados que trabajan a presión y se utilizan para conducir aguas en el cruce de una tubería por una depresión topográfica en la que se ubica un canal, una vía, etc.

SIFON INVERTIDO



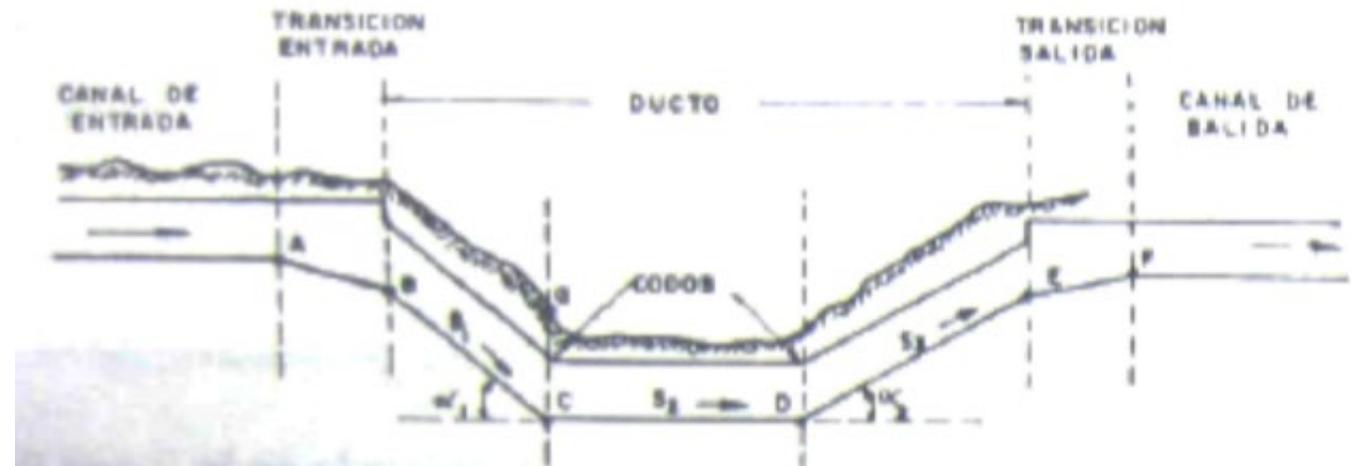
DEFINICIÓN

- Los ***Sifones Invertidos*** son conductos cerrados que trabajan a ***presión***, se utilizan para conducir el agua de un canal a través de una ***depresión topográfica o quebrada***.
- Pueden también pasar por debajo de un camino, una vía de ferrocarril, un dren o incluso otro canal.
- A diferencia de los acueductos, los sifones se apoyan directamente en las laderas de la depresión, siguen el perfil del terreno y solo aprovechan la carga de agua para el movimiento del flujo.

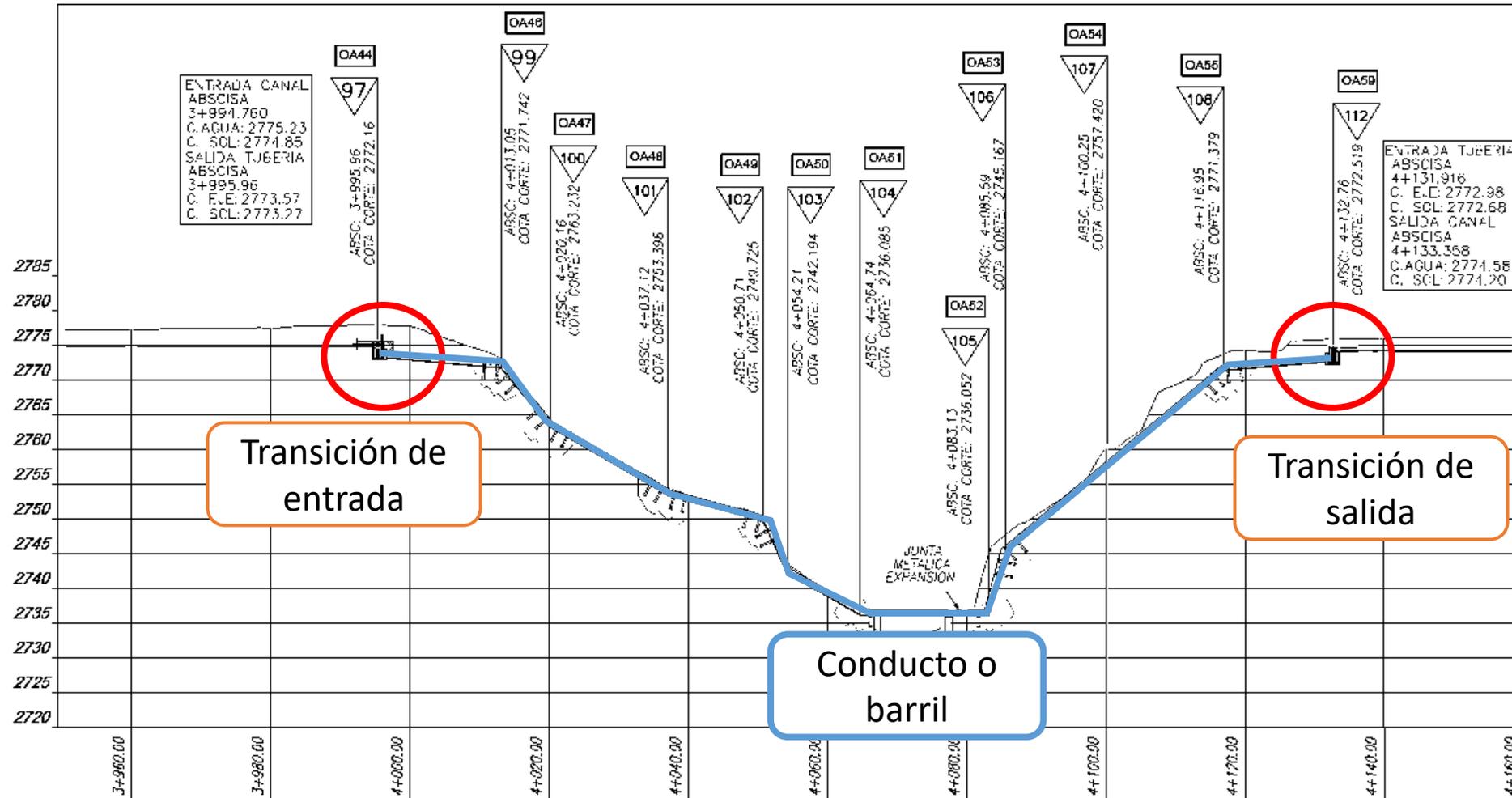


ELEMENTOS

- Los Sifones Invertidos, constan de las siguientes elementos fundamentales:
 - ✓ Transición de entrada.
 - ✓ Conducto o barril.
 - ✓ Transición de salida.
- Aunque pueden ser complementados con otros elementos como:
 - ✓ Desarenador.
 - ✓ Desagüe de excedencias.
 - ✓ Rejilla de entrada.
 - ✓ Compuerta de emergencia.
 - ✓ Registro para limpieza.
 - ✓ Válvulas de purga.

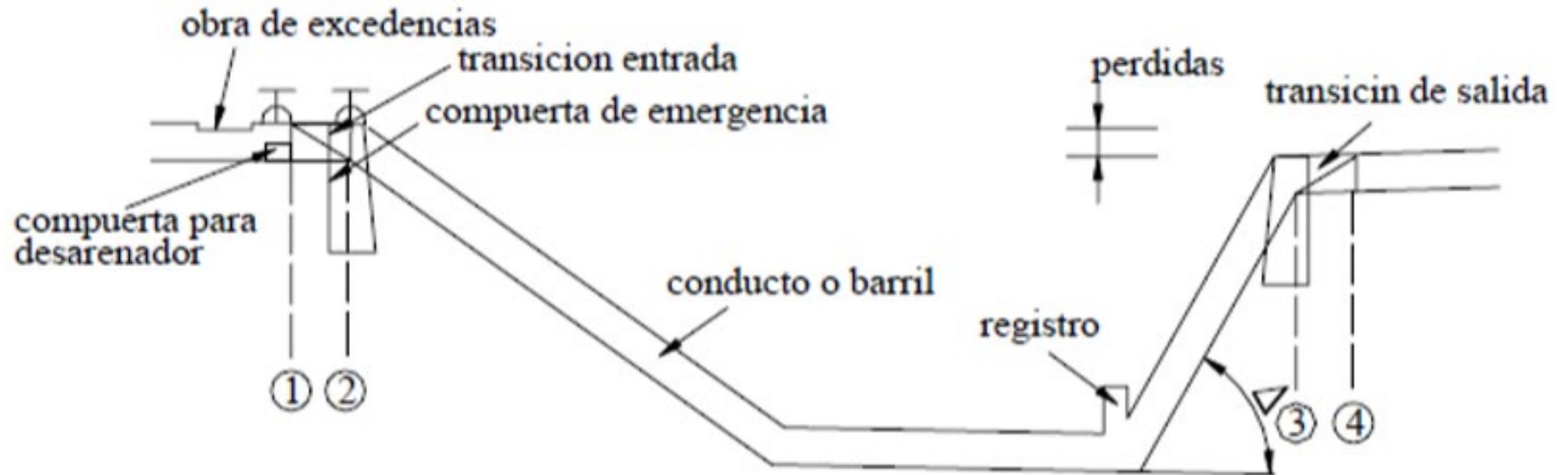


ELEMENTOS SIFÓN



ELEMENTOS

- Los Sifones Invertidos, constan de las siguientes elementos fundamentales:



TIPOS DE SIFONES INVERTIDOS

- **Ramas oblicuas.-** se emplea para cruces de obstáculos, para lo que se cuenta con suficiente desarrollo y en terrenos que no presenten grandes dificultades de ejecución.



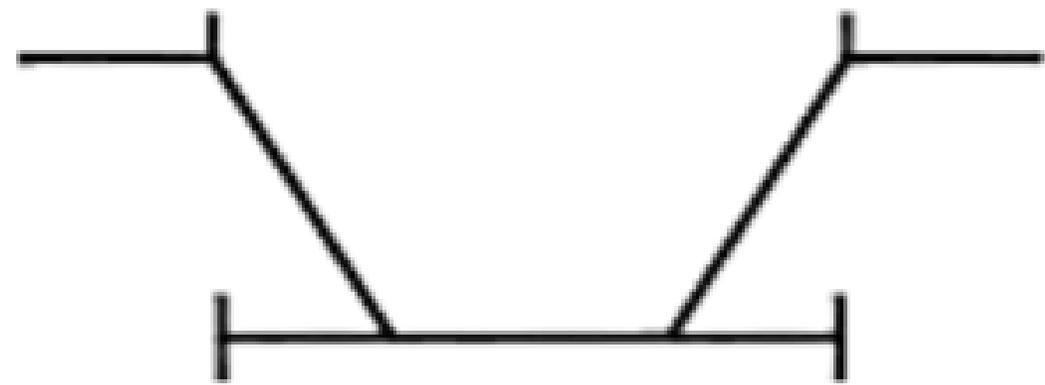
TIPOS DE SIFONES INVERTIDOS

- **Pozo vertical.-** con una o dos ramas verticales, son preferidos para emplazamientos de poco desarrollo en caso de grandes dificultades constructivas. Debido a sus características de fácil y reducido espacio, son muy aconsejables.



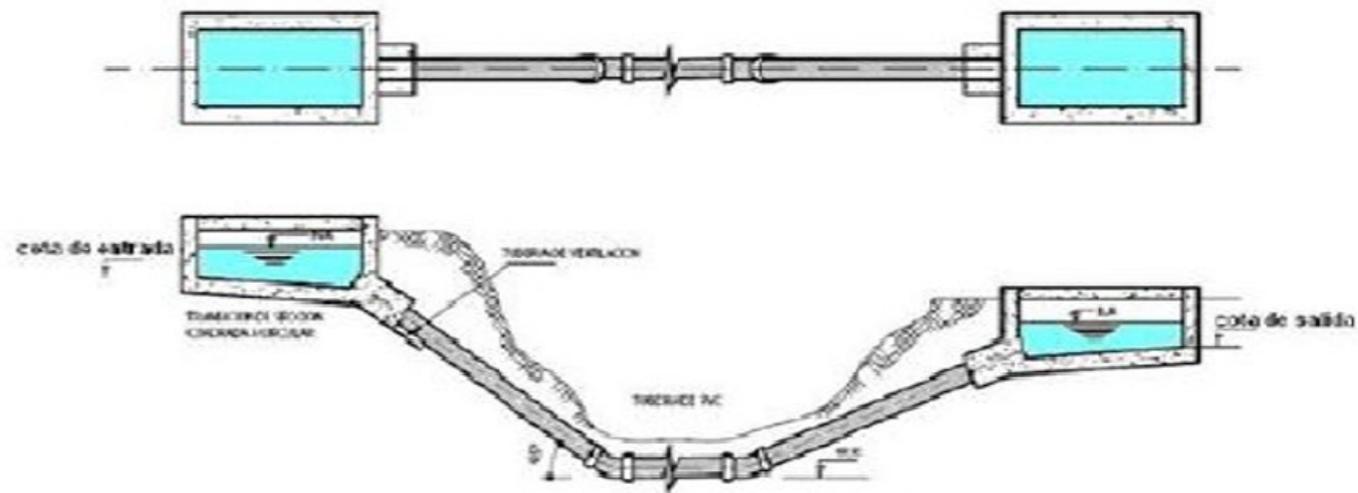
TIPOS DE SIFONES INVERTIDOS

- **Con cámaras de limpieza.**-tiene su aplicación en obras de cruce de vías subterráneas.



VENTAJAS Y DESVENTAJAS

- Los sifones invertidos son económicos, fáciles de diseñar y de construir y han demostrado tener una confiable capacidad de conducción.
- Los costos de diseño, construcción y mantenimiento son factores que pueden hacer a un sifón invertido más factible que otra estructura.
- Sin embargo la pérdida de carga producida en un sifón invertido es mayor que en los otros sistemas de cruce (acueductos, etc).



PERFIL DEL SIFÓN

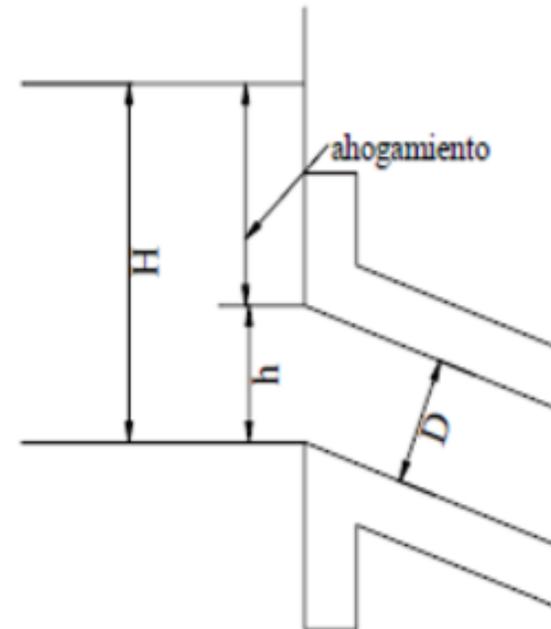
- La facilidad de limpieza y las pérdidas de carga son dos aspectos que deben ser considerados para la definición del perfil del sifón.
- El perfil de mayor uso es el que se asemeja a un trapecio con la base menor para abajo y sin la base mayor.
- Así la elección del perfil sea función de las condiciones locales y del espacio para su implantación, es de importancia fundamental que se procure proyectar el sifón con ángulos suaves que permitan la utilización de equipo simples para la limpieza y desobstrucción.



FUNCIONAMIENTO

- El sifón siempre funciona a presión, por lo tanto, debe estar ahogado a la entrada y a la salida.
- Debe tener un **Ahogamiento** mayor al 10% y *se recomienda* un ahogamiento de hasta el 50%.

$$\text{Ahogamiento} = \frac{H - h}{h} \cdot 100$$



CRITERIOS DE DISEÑO

- 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.



CRITERIOS DE DISEÑO

- Las dimensiones del tubo se determinan satisfaciendo los requerimientos de cobertura, pendiente en el suelo, ángulos de doblados de la entrada y salida.
- En sifones relativamente largos, se proyectan estructuras de alivio para permitir un drenaje del tubo para su inspección y mantenimiento.



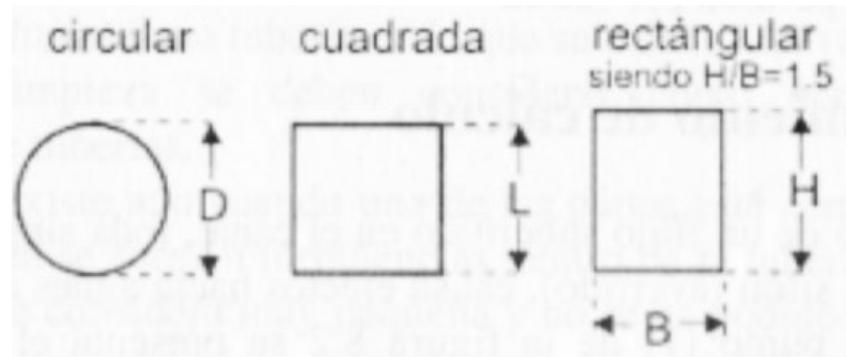
CRITERIOS DE DISEÑO

- Con la finalidad de evitar la **cavitación** a veces se ubica ventanas de aireación en lugares donde el aire podría acumularse.
- Cuando el sifón cruza debajo de una quebrada, es necesario conocer el gasto máximo de la creciente.



CRITERIOS DE DISEÑO

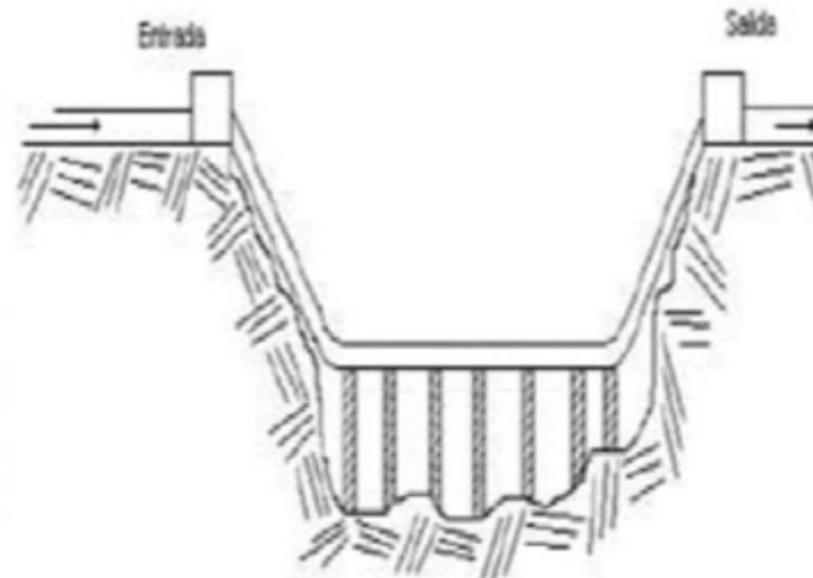
- Generalmente hay cambio de sección con respecto a los canales, por lo cual es necesario proyectar transiciones aguas arriba y abajo.
- Tanto en el ingreso y a la salida se pueden instalar rejas para evitar el ingreso de troncos, malezas y otros.
- Las secciones más recomendadas son:
 - ✓ **Sección Rectangular**, con una relación $H/B = 1.5$ y con una sección mínima de $H=1.0$.
 - ✓ **Sección Circular**, con un diámetro que dependa del diseño o necesidad.



CRITERIOS DE DISEÑO

Se recomienda que:

- La pendiente de la sección inclinada de los tubos no debe ser mayor a 2:1
- La pendiente mínima del tubo horizontal debe ser 0.005.
- ***La velocidad de diseño de los Sifones debe estar entre 1 – 3 [m/s].***
- Se **recomienda** que las pérdidas totales sean menores a 0.30 [m].



CRITERIOS DE DISEÑO

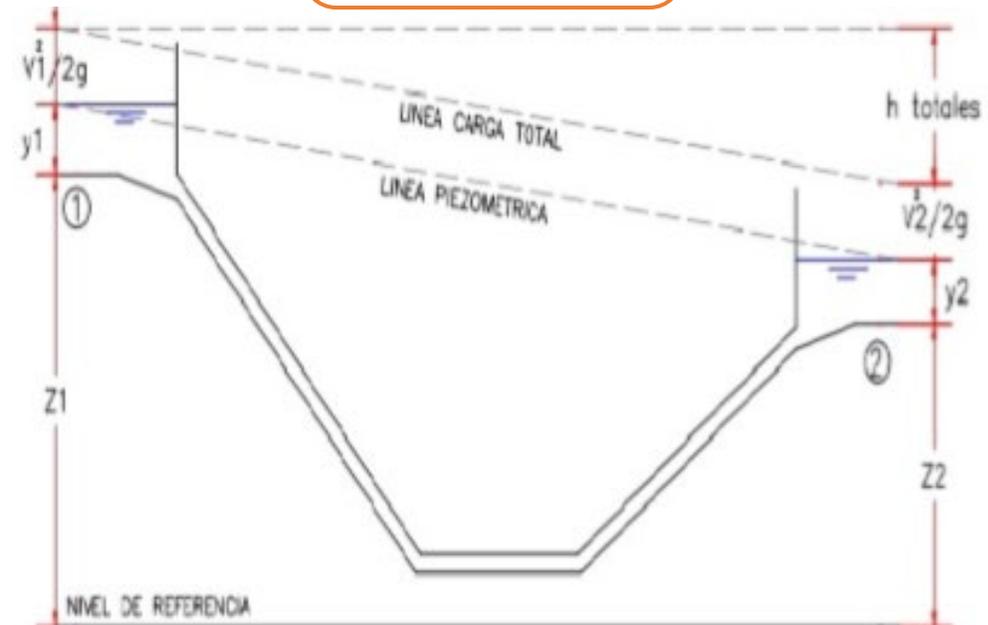
- Un sifón invertido funciona por diferencia de cargas (energía), esta diferencia de cargas debe absorber todas las pérdidas en el sifón.
- La diferencia de cargas (ΔZ) debe ser mayor o igual que las pérdidas totales (h_{total}).

- De la Ec. de Bernoulli sabemos que la Energía en un punto es:

$$E = z + y + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

- Donde:
 - z : Energía por posición
 - y : carga de presión
 - $\frac{v^2}{2 \cdot g}$: carga de velocidad

$$\Delta Z = z_1 - z_2$$
$$\Delta Z \geq h_{\text{total}}$$



CRITERIOS DE DISEÑO

- **PÉRDIDAS EN EL SIFÓN.**

- Las principales pérdidas que se presentan son
 1. Pérdidas por transición de entrada (h_{TE}) y salida (h_{TS})
 2. Pérdidas de entrada (h_e)
 3. Pérdidas por fricción en el conducto o barril (h_f)
 4. Pérdidas por cambio de dirección o codos (h_c)
 5. Pérdidas por salida (ampliación) (h_s)
- Si existen otros elementos, se deben considerar también entonces:
 6. Pérdidas en la rejilla (h_r)
 7. Pérdidas por válvulas de limpieza (h_l)

$$\Delta Z \geq h_{total}$$

$$\Delta Z \geq h_{TE} + h_r + h_e + h_f + h_c + h_l + h_s + h_{TS}$$

CRITERIOS DE DISEÑO

- **PÉRDIDAS EN EL SIFÓN.**

1. Pérdidas por transición de entrada y salida.

Para encontrar las pérdidas en la entrada se aplica la Ec. de Bernoulli entre la Sección Inicial y la Final de la Transición de Entrada. Lo mismo se repite en las secciones inicial y la final de la Transición de Salida.

$$h_{TE} = 0.1 \frac{(v_{ITE}^2 - v_{FTE}^2)}{2 \cdot g} \qquad h_{TS} = 0.2 \frac{(v_{ITS}^2 - v_{FTS}^2)}{2 \cdot g}$$

CRITERIOS DE DISEÑO

- **PÉRDIDAS EN EL SIFÓN.**

2. Pérdidas de carga por entrada al conducto.

$$h_e = K_e \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

- Donde:
 - v: Velocidad en el barril
 - K_e : Coeficiente que depende de la forma de entrada

FORMA DE ENTRADA	K_e
Compuerta en pared delgada	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	0.10
Para entrada abocinada circular	0.004

CRITERIOS DE DISEÑO

- **PÉRDIDAS EN EL SIFÓN.**

3. Pérdidas por fricción en el conducto.

- Estas se determinan a partir de la Ec. de Manning:

$$v = \frac{1 \cdot Rh^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$
$$h_f = S \cdot L = \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \cdot L$$

- Cuando se trata de un conducto circular de diámetro (D):

$$Rh = \frac{D}{4}$$

CRITERIOS DE DISEÑO

- **PÉRDIDAS EN EL SIFÓN.**

4. Pérdidas por cambio de dirección o codos.

- Se suele emplear la fórmula:

$$h_c = k_c \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{\Delta_i}{90^\circ}}$$

- Donde:
 - k_c : coeficiente de pérdida para codos comunes = 0.25
 - Δ : ángulo de deflexión de la transición
 - m : número de transiciones

- **PÉRDIDAS EN EL SIFÓN.**

5. Pérdidas por ampliación (Pérdidas por salida).

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

$$h_s = 0.997 \frac{(v - v_c)^{1.919}}{2 \cdot g}$$

- Donde:
 - v_c : velocidad en la caja de salida

CRITERIOS DE DISEÑO

- **PÉRDIDAS EN EL SIFÓN.**

6. Pérdidas por rejillas.

- Cuando existen rejillas para el paso del agua, las pérdidas se calculan con la ecuación:

$$h_r = K \frac{v_n}{2 \cdot g}$$

- Donde:

$$K = 1.45 - 0.45 \left(\frac{A_n}{A_g} \right) - \left(\frac{A_n}{A_g} \right)^2$$

- A_n : Área neta de paso entre rejillas
- A_g : Área bruta de la estructura y su soporte, que quede dentro del área hidráulica
- v_n : Velocidad a través del área neta de la rejilla dentro del área hidráulica

- **PÉRDIDAS EN EL SIFÓN.**

7. Pérdidas por válvulas 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 limpieza.
- Esta pérdida existe aun cuando una de las partes esté cerrada por la válvula, ya que se forman turbulencias dentro de la tubería, pero **en vista de que se considera muy pequeña y no se suele evaluar y se desprecia.**

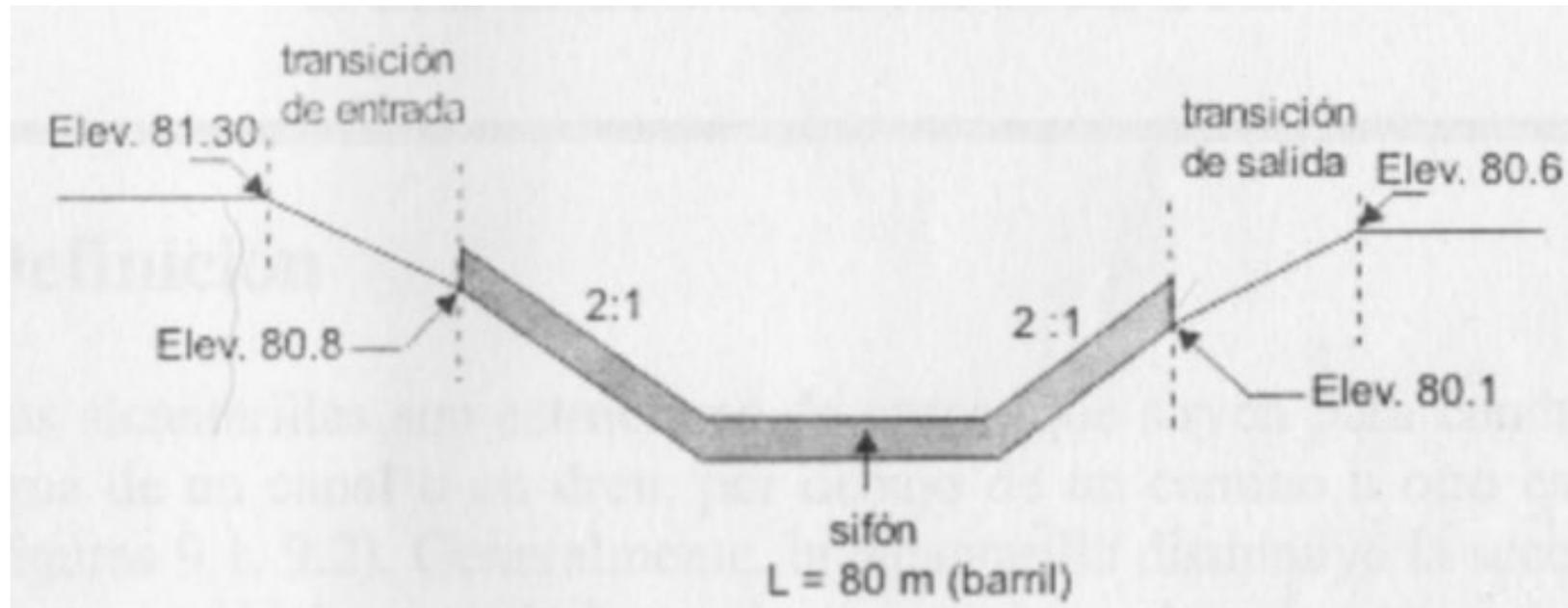
LECTURA No.1

Reglamento técnico de diseño de sifones invertidos en sistemas sanitarios.

- Leer el documento, traer dudas e inquietudes se responderán en la siguiente clase.

EJEMPLO DE DISEÑO

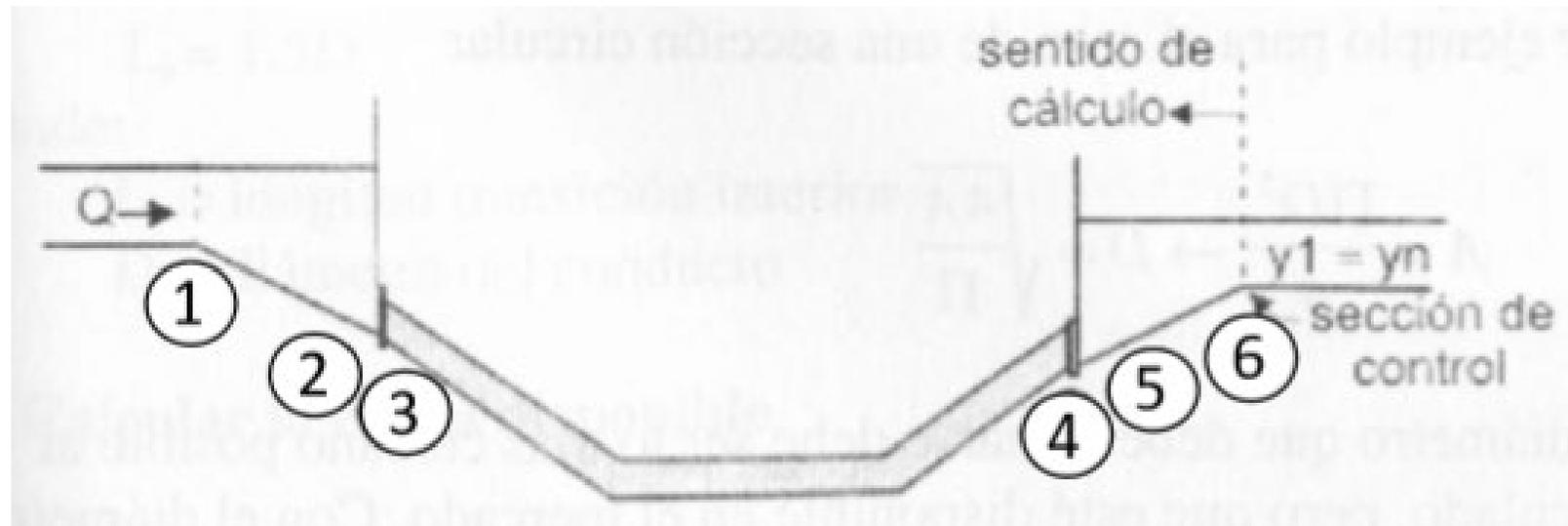
- Un canal trapezoidal de ancho de solera $b = 1.00$ [m], talud $z = 1$, en tierra ($n = 0.030$), está trazado con una pendiente 0.005 conduciendo un caudal $Q = 1.10$ [m³/s].
- En cierto tramo, se tiene que construir un sifón invertido como muestra la figura.
- Realizar el diseño hidráulico del sifón invertido.



EJEMPLO DE DISEÑO

NOTA

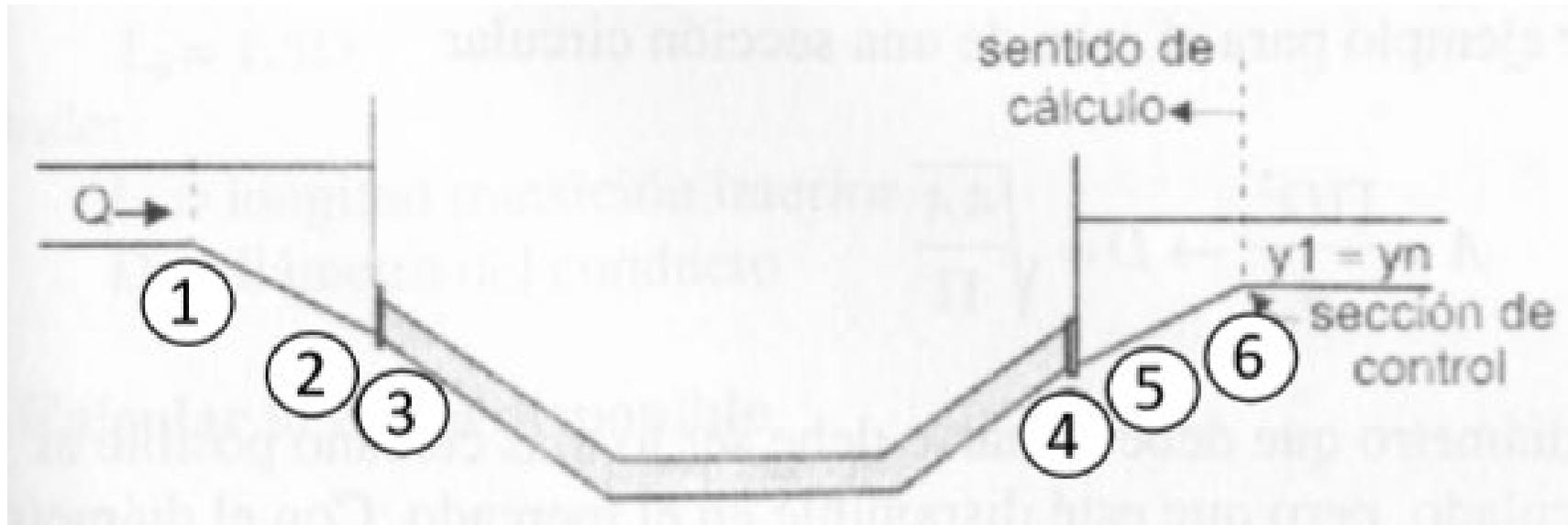
- El diseño del Sifón se hace desde aguas arriba hacia aguas abajo, mediante balances de energía, por ello se tomará la nomenclatura según la imagen.



EJEMPLO DE DISEÑO

0. CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL CANAL

- La información conocida del canal será la que permite calcular el tirante en el canal, antes del sifón (y_1) y después del mismo (y_6), este cálculo puede hacerse igual que en el caso del Acueducto.



EJEMPLO DE DISEÑO

1. DIMENSIONAMIENTO DEL ACUEDUCTO

1.1. Siendo conocido el caudal podemos suponer una velocidad dentro del rango aceptable (1 a 3 [m/s]).

- Esta puede ser 2 [m/s] para determinar un área aproximada del conducto

1.2. Definimos el tipo de sección transversal, generalmente circular.

1.3. Calculamos las dimensiones, por ejemplo, en el caso de una sección circular buscamos el diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_s}{\pi}}$$

EJEMPLO DE DISEÑO

1. DIMENSIONAMIENTO DEL ACUEDUCTO

1.4. Tomamos un diámetro nominal adecuado, mayor al calculado.

1.5. Recalculamos el área usando el diámetro nominal.

$$A_s = \frac{\pi \cdot D_N^2}{4}$$

1.6. Calculamos la velocidad real en el Acueducto.

$$V_s = \frac{Q}{A_s}$$

Tuberías		
Diámetro (pulg)	Diámetro (cm)	Área (m ²)
12	30,48	0,073
15	38,10	0,114
18	45,72	0,164
21	53,34	0,223
24	60,96	0,292
27	68,58	0,369
30	76,20	0,456
33	83,82	0,552
36	91,44	0,656
39	99,06	0,771
42	106,58	0,894
45	114,30	1,026
48	121,92	1,167
51	129,54	1,318
54	137,16	1,478
57	144,78	1,646
60	152,40	1,824
63	160,02	2,011
66	167,64	2,207
69	175,26	2,142
72	182,88	2,626

Tuberías		
Diámetro (pulg)	Diámetro (cm)	Área (m ²)
12	30,48	0,073
15	38,10	0,114
18	45,72	0,164
21	53,34	0,223
24	60,96	0,292
27	68,58	0,369
30	76,20	0,456
33	83,82	0,552
36	91,44	0,656
39	99,06	0,771
42	106,58	0,894
45	114,30	1,026
48	121,92	1,167
51	129,54	1,318
54	137,16	1,478
57	144,78	1,646
60	152,40	1,824
63	160,02	2,011
66	167,64	2,207
69	175,26	2,142
72	182,88	2,626

EJEMPLO DE DISEÑO

2. LONGITUD DE TRANSICIÓN

- En este caso, habrá dos transiciones:
 - La primera de la sección trapezoidal a la sección rectangular
 - La segunda de la sección rectangular a la sección circular
- La Longitud Total será la suma de las dos
- 2.1. Transición exterior (L_E), de trapezoidal a rectangular

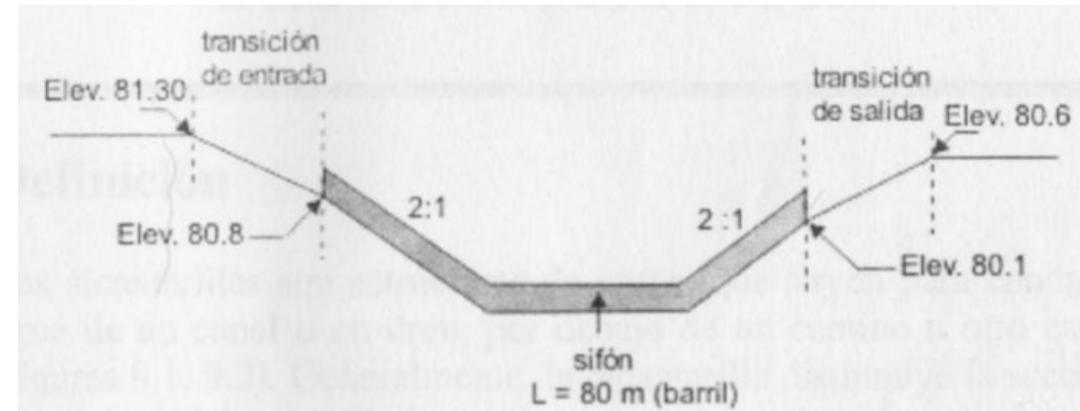
$$L_E = \frac{T_c - D_N}{2 \cdot \text{tg}(22.5)}$$

- Donde:
 - L: Ancho del espejo en el canal
 - D: Diámetro Nominal del conducto
- 2.2. Transición interior (L_i), de rectangular a circular

$$L_i = 1.5 \cdot D_N$$

- 2.3. Longitud Total (L_T)

$$L_T = L_E + L_i$$

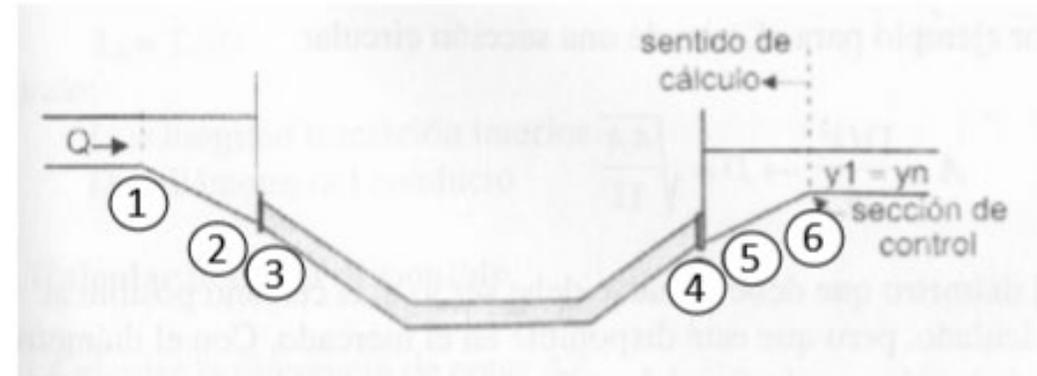


EJEMPLO DE DISEÑO

3. CARGA DISPONIBLE

3.1. Diferencia de cargas ΔZ

$$\Delta Z = Z_1 - Z_6$$



3.2. Pérdidas Totales Aproximadas

$$\Delta Z \geq h_{TE} + h_r + h_e + h_f + h_c + h_l + h_S + h_{TS}$$

$$\Delta Z \geq h_{total}$$

$$h_{total} \approx 1.25 \cdot h_f$$

$$h_f = S \cdot L = \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \cdot L$$

Si $h_{total} < \Delta Z$ & $h_{total} < 30$ [cm] podemos continuar, caso contrario debemos modificar la sección del conducto (aumentamos el diámetro).

EJEMPLO DE DISEÑO

4. PÉRDIDAS

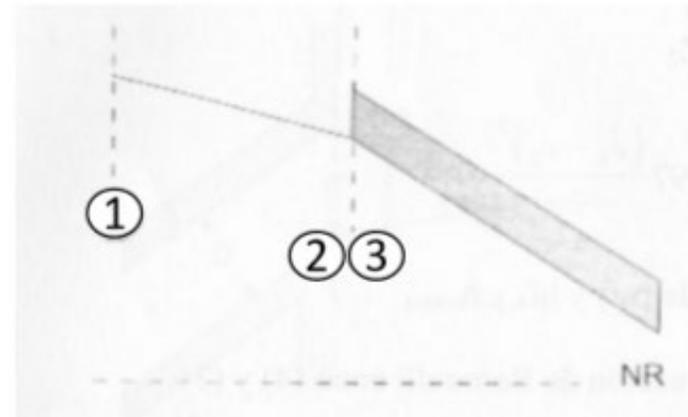
4.1. Pérdidas en la Transición de Entrada (h_{TE})

$$Z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{TE}$$

$$Z_1 + y_c + \frac{v_c^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{TE}$$

$$E_1 = E_2 + h_{TE}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{y_2 \cdot D_N} \quad h_{TE} = \left| 0.1 \frac{(v_c^2 - v_2^2)}{2 \cdot g} \right|$$



- Resolvemos utilizando Solver de Excel
- Verificamos si se cumple el ahogamiento

$$\text{Ahogamiento} = \frac{y_2 - D_N}{D_N} [\%]$$

- Debe ser mayor al 10%

EJEMPLO DE DISEÑO

4. PÉRDIDAS

4.2. Pérdidas de Entrada (h_e)

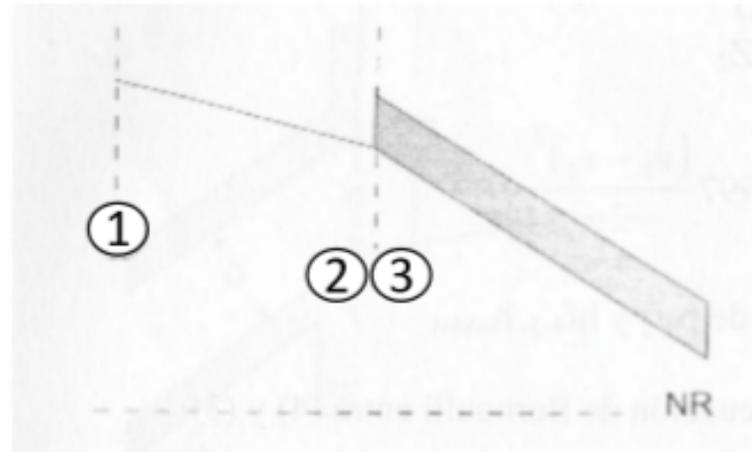
$$Z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} = Z_3 + y_3 + \frac{v_3^2}{2g} + h_e$$

$$E_2 = Z_3 + y_3 + \frac{v_s^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = K_e \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$y_3 = E_2 - Z_3 - \frac{v_s^2}{2g} - h_e$$

$$E_3 = Z_3 + y_3 + \frac{v_3^2}{2g}$$



FORMA DE ENTRADA	K_e
Compuerta en pared delgada	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	0.10
Para entrada abocinada circular	0.004

EJEMPLO DE DISEÑO

4. PÉRDIDAS

4.3. Pérdidas por fricción y codos en el conducto.

$$Z_3 + y_3 + \frac{v_3^2}{2g} = Z_4 + y_4 + \frac{v_4^2}{2g} + h_f + h_c$$

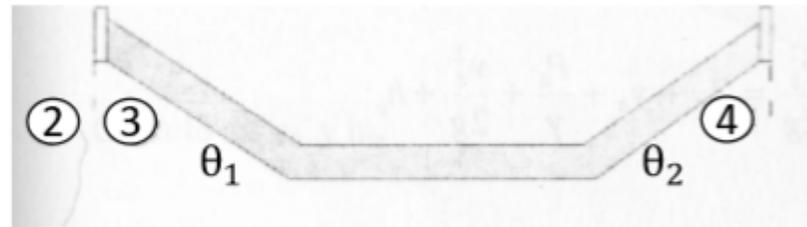
$$E_3 = Z_4 + y_4 + \frac{v_s^2}{2g} + h_f + h_c$$

$$h_f = \left(\frac{v_s \cdot n_s}{(0.3969)^{2/3}} \right)^2 \cdot L_s$$

$$h_c = 0.25 \cdot \frac{v_s^2}{2g} \cdot \left(\sqrt{\frac{\theta_1}{90}} + \sqrt{\frac{\theta_2}{90}} \right)$$

$$y_4 = E_3 - Z_4 - \frac{v_s^2}{2g} - h_f - h_c$$

$$E_4 = Z_4 + y_4 + \frac{v_4^2}{2g}$$



EJEMPLO DE DISEÑO

4. PÉRDIDAS

4.4. Pérdidas por salida del conducto.

$$Z_4 + y_4 + \frac{v_4^2}{2g} = Z_5 + y_5 + \frac{v_5^2}{2g} + h_s$$

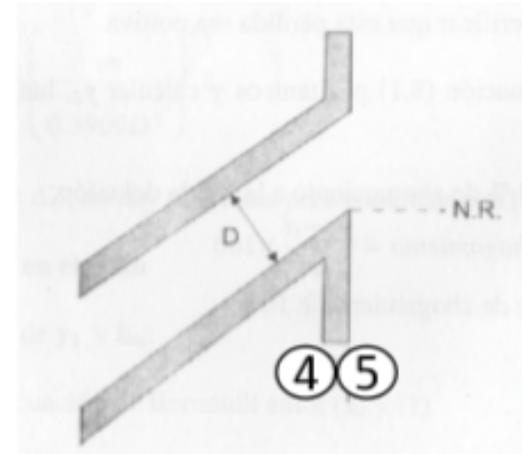
$$E_4 = Z_5 + y_5 + \frac{v_5^2}{2g} + h_s$$

$$v_5 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{y_5 \cdot D_N} \quad h_s = 0.997 \frac{(v_s - v_5)^{1.919}}{2 \cdot g}$$

- Resolvemos utilizando Solver de Excel
- Verificamos si se cumple el ahogamiento

$$\text{Ahogamiento} = \frac{y_5 - D_N}{D_N} [\%]$$

- Debe ser mayor al 10%



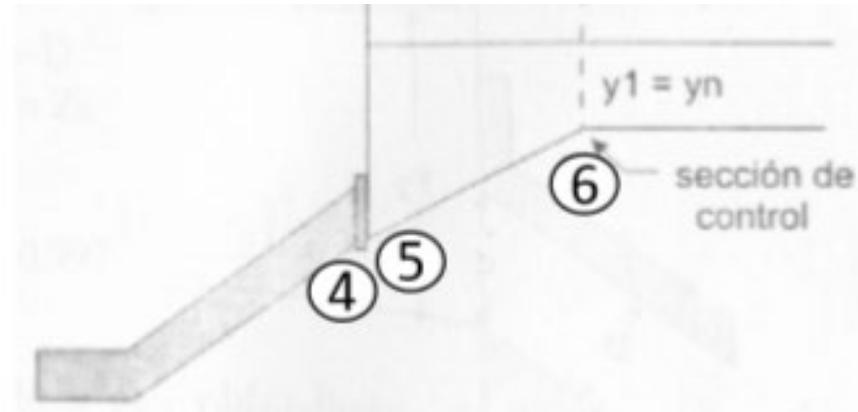
EJEMPLO DE DISEÑO

4. PÉRDIDAS

4.5. Pérdida por transición de salida

$$h_{TS} = \left| 0.2 \frac{(v_5^2 - v_6^2)}{2 \cdot g} \right|$$

$$h_{TS} = \left| 0.2 \frac{(v_5^2 - v_c^2)}{2 \cdot g} \right|$$



4.6. Pérdidas Totales

$$h_{total} = h_{TE} + h_e + h_f + h_c + h_s + h_{TS}$$

Si

$$h_{total} \leq \Delta Z$$

$$h_{total} \leq 30[\text{cm}]$$

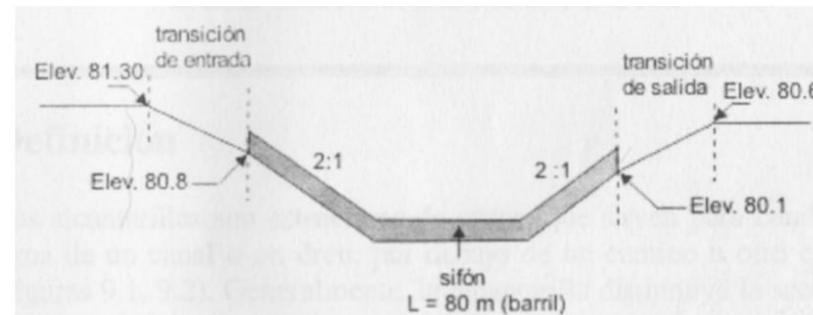
El diseño es satisfactorio

Tarea No.3

- Realizar la programación del ejercicio en una hoja de cálculo de Excel.

EJEMPLO DE DISEÑO

- Un canal trapezoidal de ancho de solera $b = 1.00$ [m], talud $z = 1$, en tierra ($n = 0.030$), está trazado con una pendiente 0.005 conduciendo un caudal $Q = 1.10$ [m³/s].
- En cierto tramo, se tiene que construir un sifón invertido como muestra la figura.
- Realizar el diseño hidráulico del sifón invertido.



31



BIBLIOGRAFÍA

- Villón M. (2003). DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- Materón H. (1997). OBRAS HIDRÁULICAS RURALES. Universidad del Valle. Perú.