

MINISTERIO DEL AGUA
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Reglamento técnico de diseño de sifones invertidos en sistemas sanitarios

Tercera revisión
ICS 13.060.30
Aguas residuales

Abril 2007



Ministerio del Agua
Viceministerio de
Servicios Básicos

ÍNDICE

	Página
REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE SIFONES INVERTIDOS EN SISTEMAS SANITARIOS	165
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	165
2 ASPECTOS GENERALES	165
3 TIPOS DE SIFONES.....	165
4 HIDRÁULICA DEL SIFÓN	166
4.1 Pérdida de carga	167
4.2 Velocidades	168
5 DIÁMETRO MÍNIMO	168
6 NÚMERO DE TUBERÍAS	168
7 PERFIL DEL SIFÓN.....	169
8 CÁMARAS DE INSPECCIÓN.....	169
8.1 Cámara de entrada	169
8.2 Cámara de salida	169
9 VENTILACIÓN	170
10 VERTEDERO DE REBOSE - BY PASS	170
11 MATERIALES	170
12 TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN	171
13 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	171
14 EJEMPLO DE CÁLCULO.....	172
14.1 Cálculo de las tuberías del sifón invertido	173
14.2 Cálculo de la curva característica y la forma de operar del sifón	174
14.3 Niveles de agua en las cámaras del sifón	178
14.4 Ventilación del sifón.....	179
OTRAS FIGURAS.....	181

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE SIFONES INVERTIDOS EN SISTEMAS SANITARIOS

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

El presente Reglamento Técnico da vigencia y declara de obligatorio cumplimiento a la norma NB 688 “Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial”, especialmente en el Capítulo 6.

Este Reglamento está destinado a ingenieros proyectistas involucrados en el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales. Contiene los principales aspectos que deben ser considerados con el objetivo de uniformar el diseño de sifones invertidos en sistemas sanitarios.

2 ASPECTOS GENERALES

En el proyecto de obras de sistemas sanitarios, la topografía local puede exigir la ejecución de obras especiales como sifones invertidos, dada la necesidad de superar obstáculos como, quebradas, ríos, canalizaciones de aguas pluviales, aductoras, cruce de túneles subterráneos (metros), etc. Siempre que sea posible se debe evitar el uso de sifones invertidos por los grandes inconvenientes que representa su conservación y mantenimiento, sin embargo muchas veces no es posible resolver de otra manera el problema de paso de depresiones.

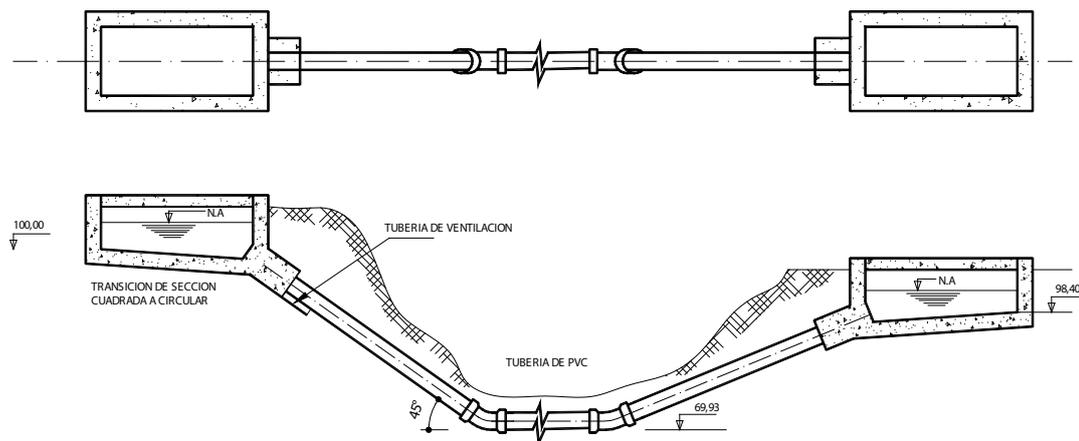


Figura 1 - Sifón invertido

El sifón invertido es una obra de costo relativamente elevado y presenta dificultades de limpieza y desobstrucción, razón por la cual debe ser utilizado solamente después de un estudio comparativo con otras alternativas.

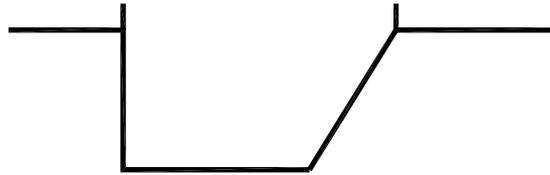
3 TIPOS DE SIFONES

Los principales tipos de sifones invertidos son los que se indican a continuación:

a) Ramas oblicuas



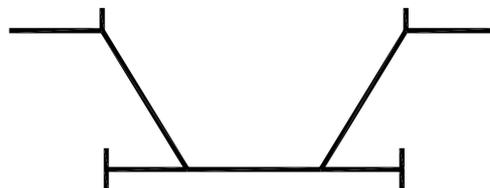
b) Pozo vertical



c) Ramas verticales



d) Con cámaras de limpieza



El sifón invertido tipo a) se emplea para cruces de obstáculos, para lo que se cuenta con suficiente desarrollo y en terrenos que no presenten grandes dificultades de ejecución.

Los sifones invertidos tipos b) y c) con una o dos ramas verticales, son preferidos para emplazamientos de poco desarrollo o en caso de grandes dificultades constructivas. Debido a sus características de fácil limpieza y reducido espacio, son muy aconsejables.

El sifón tipo d) con cámaras de limpieza, tiene su aplicación en obras de cruce de vías subterráneas.

4 HIDRÁULICA DEL SIFON

El sifón invertido, presenta aproximadamente una forma de "U" interconectada con dos cámaras. En su entrada existe una cámara cuya función es orientar el flujo hacia el sifón propiamente dicho y a su salida otra cámara que permite guiar el flujo efluente hacia el colector aguas abajo. Entre estas cámaras, el escurrimiento se produce por gravedad, en conducto forzado (a presión hidráulica o sea a tubo lleno), siendo por lo tanto el nivel de agua en la cámara de entrada superior al de la cámara de salida.

La conexión entre las dos cámaras, sifón propiamente dicho, puede ser a través de dos (2) o más conductos. Los conceptos hidráulicos aplicables, son por tanto, aquellos que corresponden a conductos forzados con pérdida de carga igual a la diferencia de niveles entre la entrada y la salida.

Para los cálculos de pérdidas de carga distribuida, se recomienda el uso de la fórmula universal con el coeficiente de rugosidad uniforme equivalente $K = 2 \text{ mm}$. Si se utiliza la fórmula de Hazen Williams se recomienda utilizar el coeficiente $C = 100$. Para la fórmula de Manning, se recomienda el valor de $n = 0,013$.

4.1 Pérdida de carga

Para el cálculo de pérdidas de carga, localizadas o singulares, se utilizan las siguientes expresiones:

a) En cámara de entrada al Sifón

La pérdida de carga H_e , supuesta, la entrada por un cambio de rasante en solera de borde agudo es:

$$H_e = 1,1 \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

b) Pérdida de altura potencial H_p

Debido al incremento de velocidad al pasar de V_1 en el colector de llegada (que no funciona en carga) a V_2 velocidad del agua en el sifón, es:

$$H_p = 1,1 \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g}$$

c) Pérdida de Carga en el Sifón

- Pérdida debida a los codos (ángulos)

$$H_c = 0,1316 \left(\frac{a^\circ V_2^2}{90^\circ 2 \cdot g} \right)$$

- Pérdida debida al rozamiento con las paredes para una longitud de sifón

$$H_r = h \text{ (m/m)} \cdot L$$

d) En cámara de Salida

La pérdida se debe a la disminución de la velocidad al pasar de la del sifón a la del colector aguas abajo. El incremento de energía correspondiente, expresado en altura es:

$$H_s = \frac{A_3 - 1}{A_2} \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

Valor no computable que queda como factor de seguridad.

donde:

A_3 Area de la sección mojada del colector de salida
 A_2 Area de la sección del sifón

Por tanto la pérdida total será:

$$H = H_e + H_p + H_c + H_r + H_s$$

La experiencia aconseja que la rama descendente del sifón invertido debe tener gran pendiente 1:1 a 1:3, mientras que la ascendente debe tener una inclinación menor 1:2.5 hasta 1:7.

Como material de construcción se emplea casi generalmente tubería de hierro fundido dúctil, debido a la normalización de las piezas curvas de fundición siendo posible la formación de ángulos de 11,25°; 22,5°; 30°; 45°; ó sus combinaciones.

Para una fácil limpieza es conveniente que la parte que queda debajo del obstáculo que une las ramas ascendente y descendente tenga una ligera pendiente de 1:100 a 1:1 000

4.2 Velocidades

Para obtener una buena auto-limpieza en el sifón invertido, el objetivo fundamental de un proyecto consiste en garantizar una condición de escurrimiento tal que, por lo menos una vez por día propicie la auto-limpieza de las tuberías a lo largo del período de proyecto. Para esto, es necesaria la determinación precisa de los caudales de aguas residuales afluentes al sifón.

Para obtener una buena auto-limpieza en el sifón invertido, la velocidad del líquido en su interior, debe ser como mínima de 0,90 m/s, que además de impedir la sedimentación del material sólido (arena) en la tubería, es capaz de remover y arrastrar la arena depositada.

Si la velocidad igual a 0,90 m/s es capaz de arrastrar la arena sedimentada en la tubería, la ocurrencia de valores de velocidad superiores a 0,90 m/s, por lo menos una vez al día, con mayor razón producirán la auto-limpieza del sifón impidiendo así, la formación de depósitos de material sólido que puede obstruir la tubería.

Por tanto, un criterio racional para el dimensionamiento de sifones invertidos puede ser la imposición de tener en cualquier época una velocidad mayor o igual a 0,90 m/s para el caudal máximo de aguas residuales de un día cualquiera, lo que significa no incluir el coeficiente del día de mayor contribución k_1 en el cálculo de éste caudal máximo.

La imposición de una velocidad mínima de 0,90 m/s recomendada por algunos autores para los caudales mínimos de aguas residuales no es un criterio adecuado de dimensionamiento y conduce a valores excesivos de pérdidas de carga en el sifón para los caudales máximos. En muchos casos esta situación puede obligar a desistir del uso de sifones invertidos.

La velocidad máxima, es función de las características del material del sifón y de la carga disponible, de un modo general, la misma no debe ser mayor a 3,0 ó 4,0 m/s.

5 DIÁMETRO MÍNIMO

Considerando que para tuberías de menor dimensión es mayor la posibilidad de obstrucción, es recomendable que el diámetro mínimo del sifón tenga un valor similar al fijado para los colectores. Por tanto se recomienda un diámetro de 150 mm (6 plg) como diámetro mínimo.

6 NÚMERO DE TUBERIAS

El sifón invertido debe tener, como mínimo dos líneas, a fin de hacer posible el aislamiento de una de ellas sin perjuicio del funcionamiento, cuando sea necesaria la ejecución de reparaciones y/o desobstrucciones.

En el caso de existir grandes variaciones de caudal, el número de líneas debe ser determinado convenientemente para garantizar el mantenimiento de la velocidad adecuada a lo largo del tiempo.

7 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 equipos simples para la limpieza y desobstrucción.

8 CÁMARAS DE INSPECCIÓN

El sifón invertido debe ser proyectado con dos cámaras visitables, cámara de entrada y cámara de salida.

8.1 Cámara de entrada

La cámara de entrada debe ser proyectada de manera que oriente el escurrimiento hacia las tuberías que constituyen el sifón propiamente dicho, debe prever además dispositivos que permitan:

- a) El aislamiento de cualquiera de las líneas para su limpieza
- b) El desvío del caudal afluyente para cualquiera de las líneas, aisladamente o en conjunto con otra
- c) El desvío o by - pass directamente para un curso de agua o galería
- d) La entrada de un operador o equipos para desobstrucción o agotamiento

Los dispositivos para aislamiento de tuberías pueden ser compuertas de madera, que deslizan en ranuras apropiadas, o vertederos adecuadamente dispuestos para permitir la entrada en servicio de la nueva tubería después de alcanzar el límite de capacidad de la anterior.

Generalmente son utilizadas compuertas que tienen la ventaja de poder distribuir mejor los caudales, de modo que mantenga siempre una velocidad mínima de autolimpieza; sin embargo, ésta alternativa tiene la desventaja de requerir la entrada de personas en la cámara para efectuar la operación de las compuertas.

La utilización del vertedero lateral tiene la ventaja de evitar la entrada frecuente de personas en la cámara, sin embargo ocasiona mayor pérdida de carga, pues es considerado un obstáculo sumergido, cuando el escurrimiento pasa sobre él. Cuando es utilizado el vertedero lateral, deben ser tomados los debidos cuidados en relación a las velocidades para atender las condiciones de auto-limpieza.

8.2 Cámara de salida

Debe ser también adecuadamente proyectada de modo de permitir la inspección, el aislamiento y la limpieza de cualquier línea del sifón. Las soleras de los tubos afluentes y de la tubería de salida quedarán rebajadas, en relación a la tubería de llegada en la cámara de entrada, en 1/3 del valor correspondiente a la pérdida de carga a lo largo del sifón, más las pérdidas localizadas.

Las cámaras de entrada y salida deben ser proyectadas con dimensiones adecuadas,

de modo que permitan el acceso y movimiento de personas y equipos, en forma cómoda durante las operaciones que se realicen en las mismas.

9 VENTILACIÓN

Considerables cantidades de aire y gases son arrastradas por el escurrimiento de aguas residuales en los colectores que funcionan en lámina libre. En cambio, éste flujo es interrumpido en la cámara de salida del sifón, ya que el escurrimiento en el sifón se efectúa en conducto forzado.

Debido a esa interrupción, se produce una acumulación de aire y gases que origina una presión positiva en la cámara de entrada, y puede provocar el escape de gases con olor desagradable a través de orificios y aberturas en las tapas de acceso a las cámaras.

Si la cámara de entrada fuese completamente hermética, los gases efectuarían un camino en sentido inverso al escurrimiento hasta conseguir salir por las cámaras de inspección aguas arriba del sifón.

En éste caso, todo el oxígeno extraído de la cámara y los gases (principalmente el sulfhídrico que se desprende del líquido debido al aumento de turbulencia), se concentran pudiendo ocasionar serios problemas de olor. Con la acumulación de sulfatos en la cámara de entrada, el ambiente se torna altamente tóxico, y puede ocasionar la muerte de los operadores que visiten la cámara sin la debida máscara de protección.

Para minimizar este problema, se puede interconectar las cámaras de entrada y salida por medio de una tubería, de modo que los gases sean transferidos para la cámara de salida y arrastrados por el flujo de aguas residuales aguas abajo del sifón.

Dependiendo de la ubicación de la cámara de entrada, los gases pueden ser lanzados en la atmósfera siempre que las condiciones ambientales locales no sean afectadas.

La evacuación de aire y gases se produce a través de una tubería con diámetro que varía desde un décimo hasta la mitad del diámetro del sifón. Cuando se interconectan las cámaras, esta tubería generalmente es ubicada en forma paralela a las tuberías del sifón.

10 VERTEDERO DE REBOSE - BY PASS

Existiendo la posibilidad de ocurrencia de accidentes, roturas, obstrucciones etc., que pueden interrumpir el funcionamiento del sifón invertido, se requiere de dispositivos de descarga. Si el sifón esta destinado a atravesar un curso de agua, se puede prever una tubería de descarga en la cámara de entrada, con una cota suficiente para el lanzamiento de aguas residuales en el río. Esta solución, no puede ser utilizada en los casos en que, el mantenimiento de la calidad del agua en el cuerpo receptor la torna inviable y siempre que las tuberías afluentes puedan ser descargadas en otros sitios.

11 MATERIALES

Pueden ser utilizados tubos de hierro fundido dúctil, hormigón armado, acero o plástico, sin embargo es más frecuente el uso de hierro fundido dúctil por su facilidad de instalación.

En los casos en que el sifón es construido sobre lechos o cursos de agua, se debe verificar su peso o anclar las tuberías, para evitar su flotación, condición que puede ocurrir durante el período de construcción o cuando el sifón es vaciado para reparaciones.

Los tubos livianos generalmente llevan una envoltura de cemento para evitar la flotación y su desplazamiento sirviendo además esta envoltura para su protección.

12 TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN

La técnica de construcción siempre que el obstáculo a salvar esté constituido por un arroyo o río, con un caudal de volumen apreciable, sigue alguno de los siguientes métodos.

- a) Se monta un andamio perpendicular a la dirección de la corriente; el sifón se instala sobre el andamio y luego se produce su descenso en bloque hasta que repose en un canal excavado con anterioridad para éste propósito
- b) El sifón, previamente montado, se suspende mediante grúas flotantes y se sumerge luego hasta reposar en la zanja excavada para tal fin
- c) El sifón se monta en tierra; se obturan ambos extremos; se recubre el exterior del sifón con hormigón proyectado o encofrado, hasta que el peso del sifón compense su flotabilidad en el agua; de ésta forma se consigue una protección suplementaria contra la corrosión; se conduce el sifón haciéndolo flotar mediante boyas, hasta que esté situado sobre el canal excavado previamente, se sueltan las boyas y se sumerge el sifón llenándolo con agua
- d) Se ejecuta el montaje del sifón en una orilla del río que constituye el obstáculo. Desde la orilla opuesta y mediante cables, éste es remolcado hasta su emplazamiento definitivo, por vehículos que circulan sobre una vía dispuesta en la prolongación teórica del eje del sifón

13 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los sifones exigen cuidados especiales sistemáticos con la finalidad de evitar obstrucciones. Una de las principales preocupaciones relacionadas al uso de los sifones se refiere a la necesidad de desobstrucción de los mismos, particularmente cuando ocurre la acumulación de sólidos pesados, como piedras, que resisten el arrastre hidráulico, situación que se traduce en la necesidad de utilización de equipos mecanizados de limpieza.

Un equipo de limpieza de sifones bastante eficiente es la denominada Bucket-Machine. Este equipo está provisto de un motor, que es responsable del accionamiento de una roldana que enrolla y desenrolla un cable de acero, que tiene en el extremo un recipiente que se introduce por el interior de las tuberías, raspando la solera y recolectando el material sedimentado. Existen recipientes de distintos tamaños y su elección depende del diámetro de las tuberías y también de las dimensiones de las cámaras de entrada y salida.

Se recomienda la realización de inspecciones regulares, a través de las cuales puedan ser previstas a tiempo la remoción de obstrucciones incipientes. En promedio, estas inspecciones deben ser realizadas una vez por mes.

La limpieza puede ser efectuada por diversos procedimientos.

- a) Limpieza manual, utilizando raspadores con cables
- b) Lavado con agua proveniente de camiones succión-presión
- c) Retención temporal del agua en el tramo aguas arriba del sifón, seguida de una apertura instantánea de la compuerta en la cámara de entrada
- d) Descarga de fondo en el punto bajo del sifón si las condiciones locales lo permiten

14 EJEMPLO DE CÁLCULO

Elaborar un proyecto de un sifón con los siguientes datos:

a) Caudales de proyecto

A lo largo de los años, los caudales afluentes al sifón serán de acuerdo con los valores mostrados en la figura 1.

En la figura 2, se tienen los caudales para cada etapa del proyecto, los cuales son mostrados en la tabla 1.

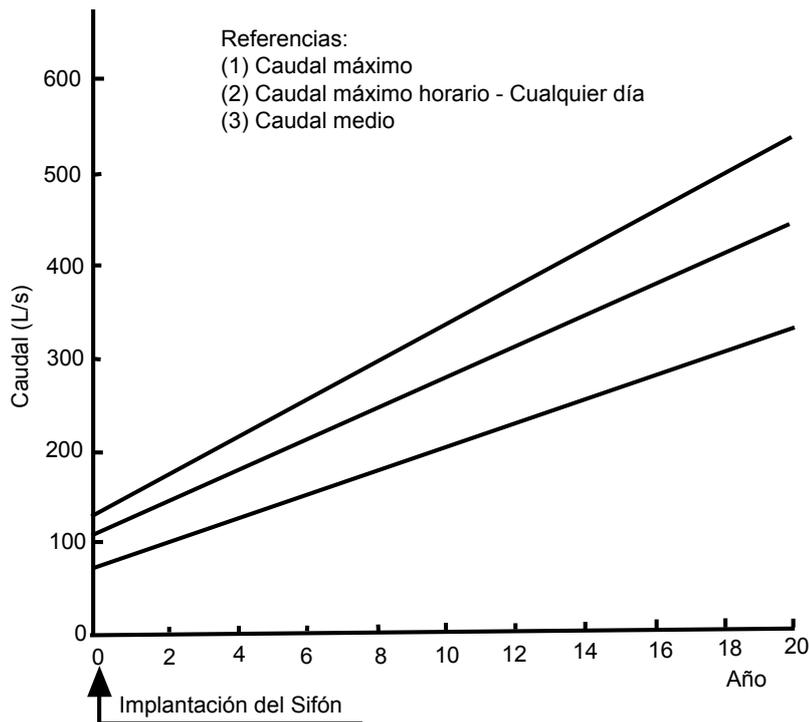


Figura 2 - Caudales afluentes al sifón a lo largo de los años

Tabla 1 - Caudales afluentes en función de las etapas de implantación del sifón

Etapas	Caudales (L/s)		
	Caudal medio, Q (L/s)	Caudal máximo horario - día cualquiera (*) (L/s)	Caudal máximo (L/s)
Año cero - (implantación)	80	111	130
Primera Etapa (10 años)	200	283	336
Segunda Etapa (20 años)	328	446	534

(*) Caudal máximo horario día cualquiera, utilizado para verificación de la autolimpieza, sin k_1 .

b) Longitud del sifón

La longitud del sifón es de 40 m.

c) Características del colector que afluye al sifón

Diámetro	800 mm
Pendiente	0,0036 m/m (0,36 %)
Cota de la solera del colector afluyente	384 m.

Solución:

14.1 Cálculo de las tuberías del sifón invertido

Admitiéndose que el sifón invertido estará constituido de 3 tuberías (1, 2 y 3), de modo que la tubería 1 atenderá la etapa cero, la tubería 2 más la tubería 1 atenderán la primera etapa y la tubería 3 y las demás atenderán la segunda etapa.

A continuación se determinan sus diámetros, considerándose para el caudal medio una velocidad superior a 0,60 m/s (para el caudal máximo horario de un día cualquiera, velocidad igual o superior a 0,9 m/s)

a) Determinación del diámetro de la tubería 1 para atender el inicio de la operación

Para el caudal medio de 80 L/s

$$A = \frac{Q_1}{V} = \frac{0,080}{0,60} = 0,133 \text{ m}^2$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,133}{\pi}} = 0,412 \text{ m}$$

Adoptándose el diámetro comercial más próximo, resulta $D_1 = 400 \text{ mm}$. Alternativamente, para el caudal máximo horario de un día cualquiera de 111 L/s.

$$A_1 = \frac{0,111}{0,90} = 0,123 \text{ m}^2, \text{ que también resulta } D_1 = 400 \text{ mm}$$

b) Determinación del diámetro de la tubería 2 para atender la primera etapa, en primera aproximación

Para $Q_{\text{med}} = 200 \text{ L/s}$

$$Q_2 = 200 - 80 = 120 \text{ L/s}$$

$$A_2 = \frac{Q_1}{Q} = \frac{0,120}{0,60} = 0,200 \text{ m}^2$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,200}{\pi}} = 0,505 \text{ m}$$

Adoptándose el diámetro comercial más próximo, resulta en $D_2 = 500$ mm. Alternativamente, para el caudal máximo horario de un día cualquiera, de 283 L/s.

Para $Q_2 = 283 - 111 = 172$ L/s

$$A_2 = \frac{0,172}{0,90} = 0,191 \text{ m}^2, \text{ que también resulta } D_2 = 500 \text{ mm}$$

c) Determinación del diámetro de la tubería 3 para atender la segunda etapa, en primera aproximación

Para $Q_{\text{med}} = 328$ L/s

$$A_3 = \frac{Q_3}{V} = \frac{0,128}{0,60} = 0,213 \text{ m}^2$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 A_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,213}{\pi}} = 0,521 \text{ m}$$

Adoptándose el diámetro comercial más próximo, resulta $D_3 = 500$ mm

Alternativamente, para el caudal máximo horario de un día cualquiera, de 283 L/s.

Para $Q_3 = 446 - 283 = 163$ L/s

$$A_3 = \frac{0,163}{0,90} = 0,181 \text{ m}^2, \text{ que también resulta en } D_3 = 500 \text{ mm}$$

14.2 Cálculo de la curva característica y la forma de operar del sifón

Para determinar la curva característica del sifón, son calculadas las pérdidas de carga, que se compone de pérdidas de carga localizadas y pérdidas de carga distribuida.

a) Pérdida de carga localizada

Tabla 2 - Coeficiente de pérdida de carga localizada, en función de las piezas del sifón

Pieza	K_s
Entrada	0,50
2 curvas 45°	0,40
Salida	1,00
$\Sigma K_S = 1,90$	

Por tanto, la pérdida de carga localizada es: $1,90 \frac{V^2}{2g}$

b) Pérdida de carga distribuida

Las tuberías del sifón serán de hierro fundido dúctil clase k-7. Las pérdidas de carga serán calculadas por la fórmula Universal, con coeficiente de rugosidad uniforme equivalente (K) igual a 2,0 mm. Considerando que la longitud del sifón es de 40 m, las pérdidas de carga totales serán determinadas a través de las tablas 3 y 4.

Tabla 3 - Pérdida de carga total, en función del caudal para el sifón con tubería de 400 mm

Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m)		
		Localizada	Distribuida	Total
30	0,24	0,01	0,01	0,02
60	0,48	0,02	0,04	0,06
90	0,71	0,05	0,08	0,13
120	0,95	0,09	0,14	0,23
150	1,19	0,14	0,22	0,36
189	1,48	0,20	0,32	0,52
210	1,67	0,27	0,44	0,71

En la figura 3, fueron trazadas las curvas características del sifón, determinándose las pérdidas de carga para las tuberías de 400 mm y de 500 mm, y sus respectivas velocidades.

El trazado de las curvas de pérdida de carga para las tuberías, fue hecho gráficamente, considerándose para una determinada pérdida de carga la suma de caudales de cada tubería. Para la distribución de los caudales a lo largo del período de proyecto y considerándose las velocidades de autolimpieza en las diferentes tuberías del sifón, se puede admitir una pérdida de carga máxima de 0,35 m.

Tabla 4 - Pérdida de carga total, en función del caudal para el sifón con tubería de 500 mm

Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m)		
		Localizada	Distribuida	Total
30	0,15	0,01	0,01	0,02
60	0,31	0,01	0,01	0,02
90	0,46	0,02	0,03	0,05
120	0,61	0,04	0,05	0,09
150	0,76	0,06	0,07	0,13
189	0,92	0,08	0,10	0,18
210	1,07	0,10	0,14	0,24
240	1,22	0,14	0,18	0,32
270	1,37	0,18	0,22	0,40
300	1,52	0,22	0,27	0,49
330	1,68	0,27	0,33	0,60

La forma de operar el sifón, de modo que mantengan velocidades adecuadas, es presentada en la figura 3 y en la tabla 5.

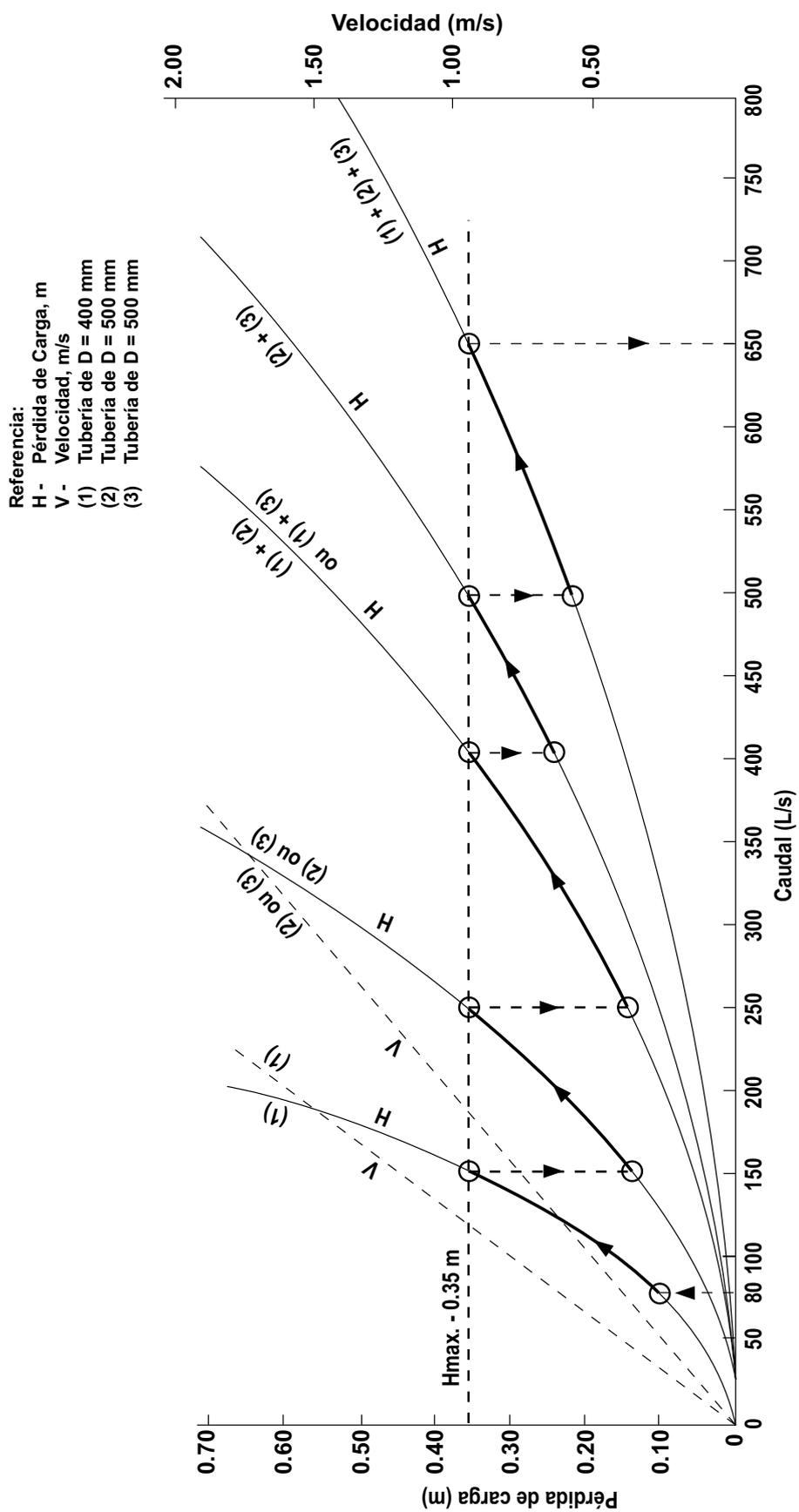


Figura 3 - Curva característica del sifón invertido y sus condiciones de operación

Tabla 5 - Variación de las velocidades y de las pérdidas de carga en las tuberías del sifón, en función del intervalo de caudales

Intervalo de caudales (L/s)	Tuberías en operación	Variación de velocidades (m)	Variación de las pérdidas de carga (m)
80 - 150	(1)	0,64 - 1,19	0,10 - 0,35
150 - 250	(2) o (3)	0,76 - 1,27	0,13 - 0,35
250 - 400	(1)+(2) o (1)+(3)	0,74 - 1,19 en la tubería 1 0,80 - 1,27 en la tubería 2 o 3 1,02 - 1,27	0,14 - 0,35
400 - 500	(2)+(3)	0,90 - 11,19 en la tubería 1	0,23 - 0,35
500 - 650	(1)+(2)+(3)	0,99 - 1,27 en las tuberías 2 y 3	0,21 - 0,35

Por lo que se observa en la tabla 5, la condición crítica de operación del sifón se sitúa en la fase inicial, donde la velocidad para el caudal medio es de 0,64 m/s, para el caudal máximo horario de un día cualquiera de 111 L/s, en el inicio de la operación la velocidad será de 0,88 m/s. Por lo expuesto en el numeral 4.2 del presente Reglamento, para esa velocidad se puede admitir que habrá autolimpieza en las tuberías del sifón.

Considerando la forma de operar el sifón y los caudales afluentes, se puede prever, conforme presentado en la figura 4, el período de operación de las diferentes tuberías del sifón (véase tabla 6).

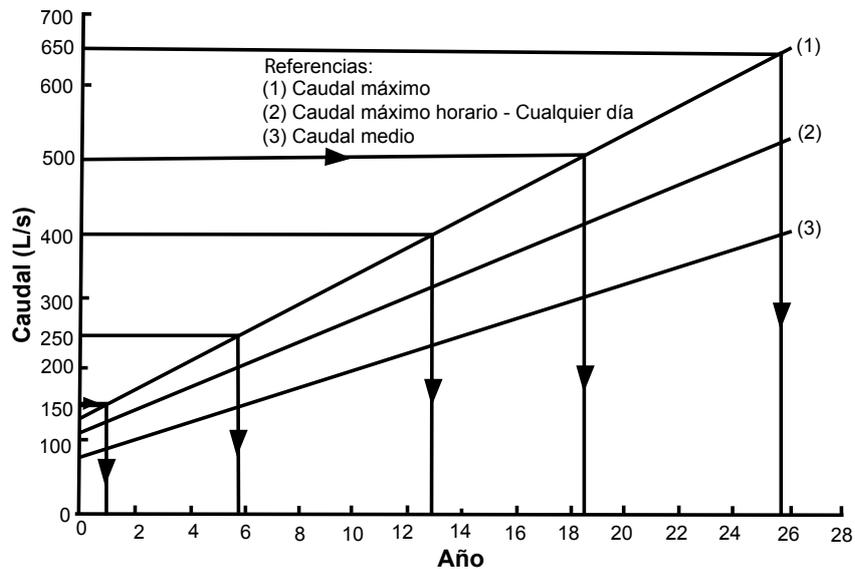


Figura 4 - Determinación del período de operación del sifón, en función del caudal

Tabla 6 - Período de operación de las tuberías del sifón

Tubería del sifón	Período de operación (años)
(1)	0 a 1
(2) o (3)	1 a 5
(1)+(2) o (1)+(3)	5 a 13
(2)+(3)	13 a 18
(1)+(2)+(3)	25

14.3 Niveles de agua en las cámaras del sifón

a) Cámara de entrada

Para la determinación de los niveles de agua en las cámaras del sifón, fueron considerados los caudales que ocasionan las pérdidas de cargas máximas ($\Delta H = 0,35$ m), conforme se observa en la figura 5. En la tabla 7 están determinadas las cotas de los niveles de agua en la cámara de aguas arriba para esos caudales.

Tabla 7 - Niveles de agua en la cámara aguas arriba

Q (L/s)	y/D	Cota de NA en la cámara aguas arriba
150	0,30	384,24
250	0,39	384,31
400	0,50	384,40
500	0,57	384,46
650	0,69	384,55

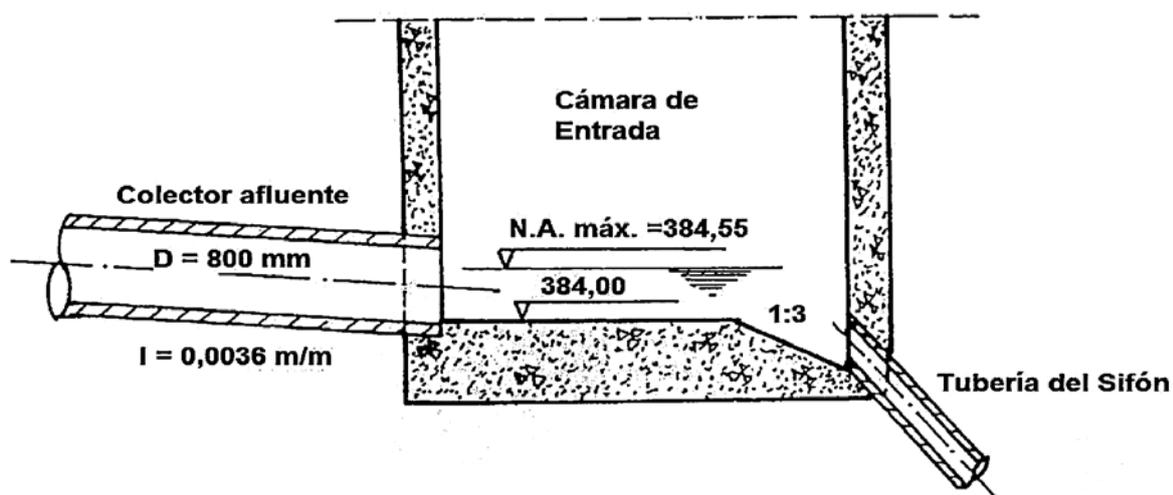


Figura 5 - Detalle de las cámaras de entrada

b) Cámara de salida

El nivel de agua a la salida del sifón es resultante del nivel de agua aguas arriba, menos la pérdida de carga. Considerando los caudales transportados por el sifón que ocasionan las pérdidas de carga máxima, se tienen los niveles de agua en la cámara aguas abajo, conforme se presenta en la tabla 8.

Tabla 8 - Niveles de agua en la cámara aguas abajo

Q (L/s)	Cota de NA en la cámara aguas arriba	Pérdida de carga (m)	Cota del NA en la cámara aguas abajo (m)
150	384,24	0,35	383,89
250	384,31	0,35	383,96
400	384,40	0,35	384,05
500	384,46	0,35	384,11
650	384,55	0,35	384,20

La cota del fondo de la cámara aguas abajo será definida de modo que no ahogue el colector efluente del sifón. Como el diámetro y la pendiente del colector efluente son iguales a los del colector afluente de la cámara aguas arriba, las alturas de las láminas de agua serán iguales. Así, la cota del fondo de la cámara aguas abajo debe ser:

$$\text{Cota de fondo} = 384,00 - 0,35 = 383,65 \text{ m.}$$

En la figura 6 son presentados los detalles de las cámaras aguas abajo, inclusive el nivel máximo de agua.

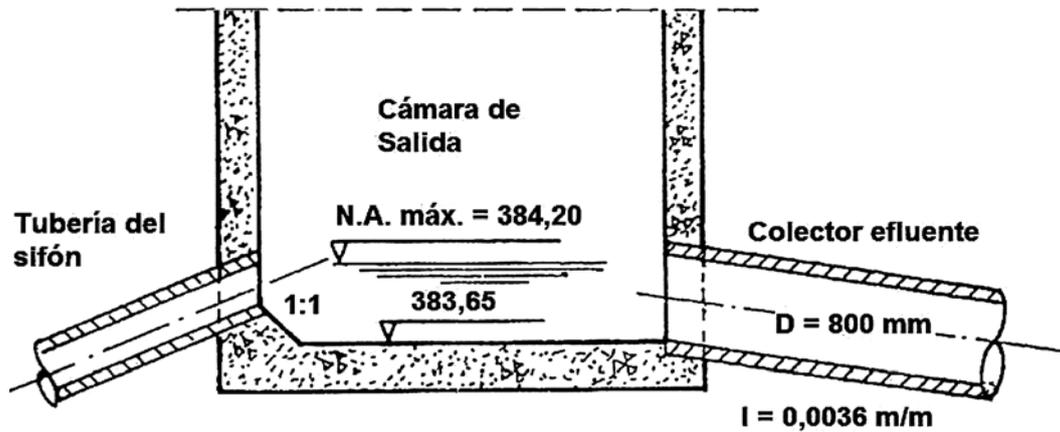


Figura 6 - Detalle de las cámaras de salida

14.4 Ventilación del sifón

Será proyectada una tubería para la ventilación del sifón a ser localizada en la cámara aguas arriba, pues esta se admite para que los gases expelidos no afecten a las condiciones ambientales del lugar. Su diámetro será equivalente a un décimo de las tuberías del sifón.

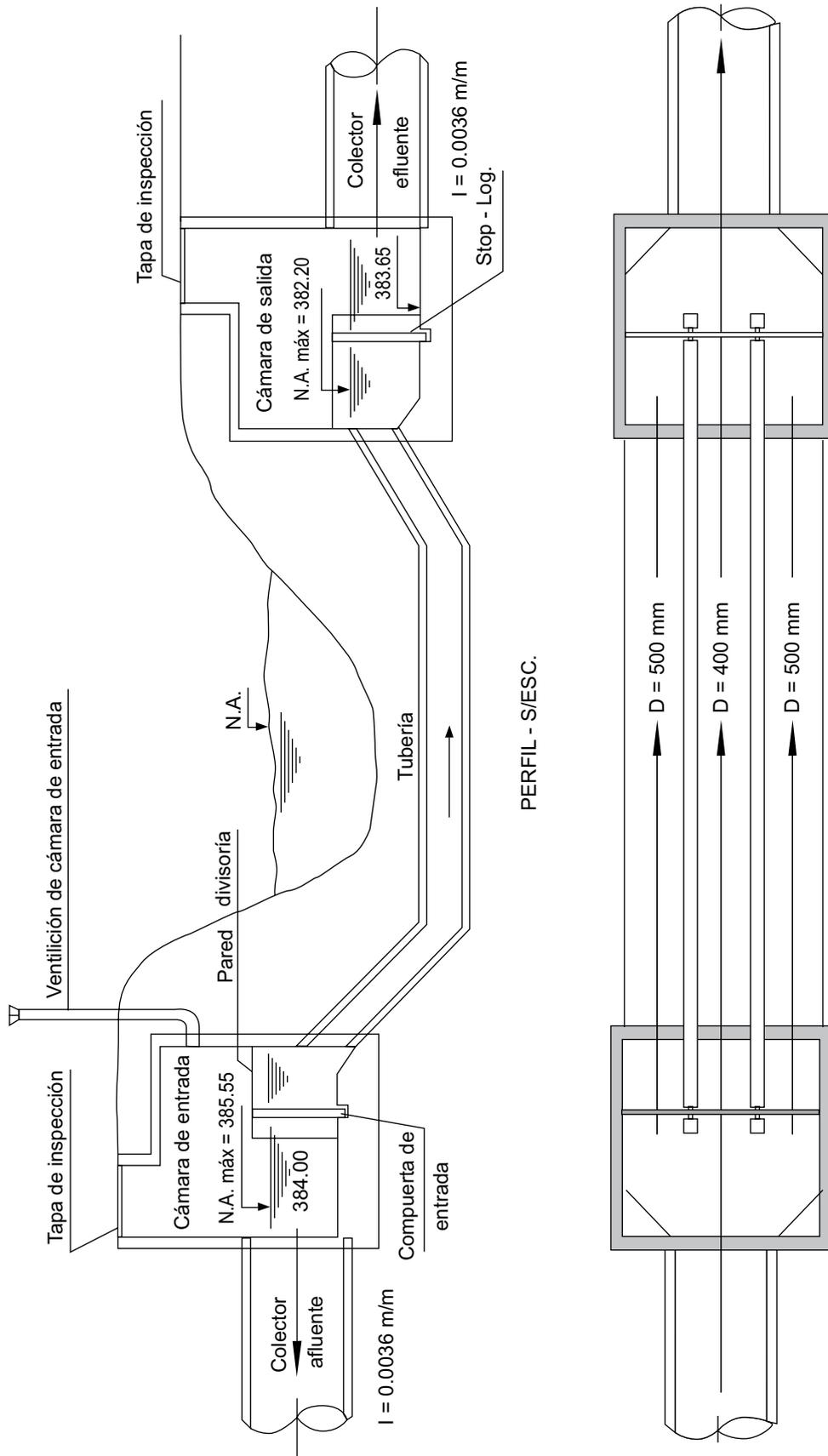
a) Áreas de las tuberías del sifón

$$1 \phi 400 \text{ mm} \longrightarrow A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,40)^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$1 \phi 500 \text{ mm} \longrightarrow A_2 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (0,50)^2}{4} = 0,393 \text{ m}^2$$

El área equivalente de las tuberías del sifón será de $0,519 \text{ m}^2$. Por tanto el área de la tubería de ventilación del sifón será de $0,0519 \text{ m}^2$ y su diámetro será de 250 mm .

Para la determinación de los niveles de agua en las cámaras del sifón, fueron considerados los caudales que ocasionan las pérdidas de carga máximas.

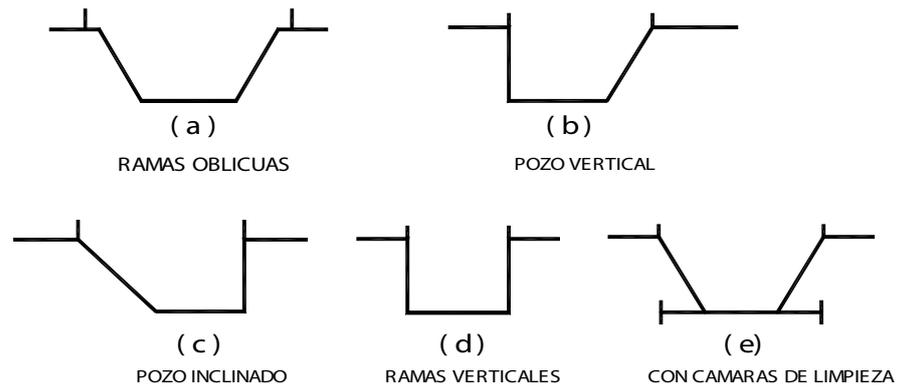


PLANTA - S/ESC
 Figura 7 - Proyecto del sifón invertido

OTRAS FIGURAS

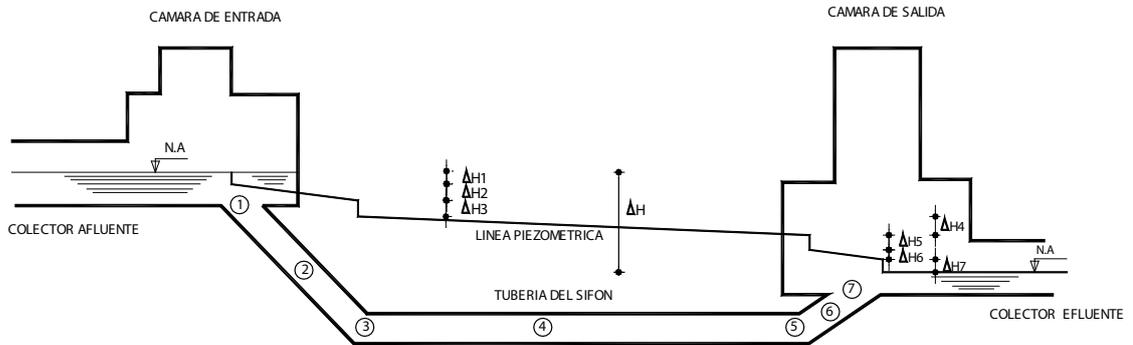
TIPOS DE PERFILES DE SIFONES INVERTIDOS

SIN ESCALA



PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SIFÓN INVERTIDO

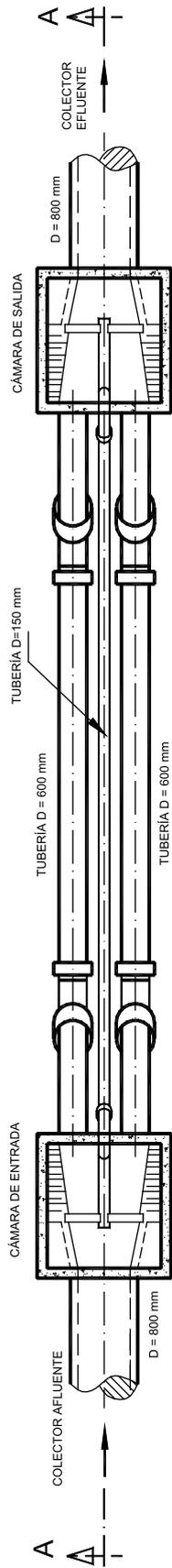
SIN ESCALA



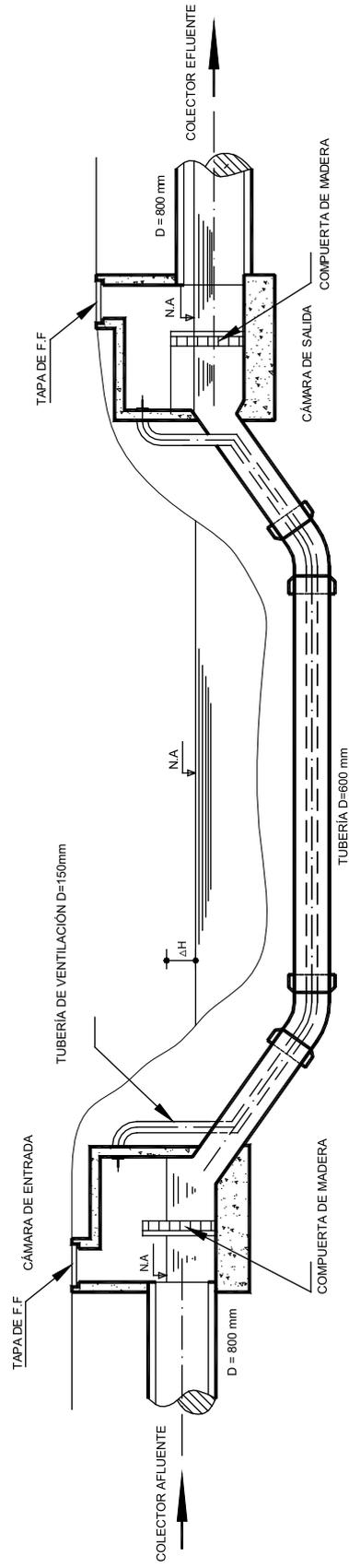
- ΔH_1 = PERDIDAS EN LA ENTRADA
- ΔH_2 = PERDIDAS EN 2
- ΔH_3 = PERDIDAS EN 3
- ΔH_4 = PERDIDAS EN 4
- ΔH_5 = PERDIDAS EN 5
- ΔH_6 = PERDIDAS EN 6
- ΔH_7 = PERDIDAS EN LA SALIDA

LAS PERDIDAS DE CARGA ΔH_1 , ΔH_3 , ΔH_5 y ΔH_7 SON PERDIDAS LOCALIZADAS,
 LAS DEMAS PERDIDAS DE CARGA SON DISTRIBUIDAS

**SIFÓN INVERTIDO DE DOS TUBERÍAS
RAMAS OBLICUAS
SIN ESCALA**

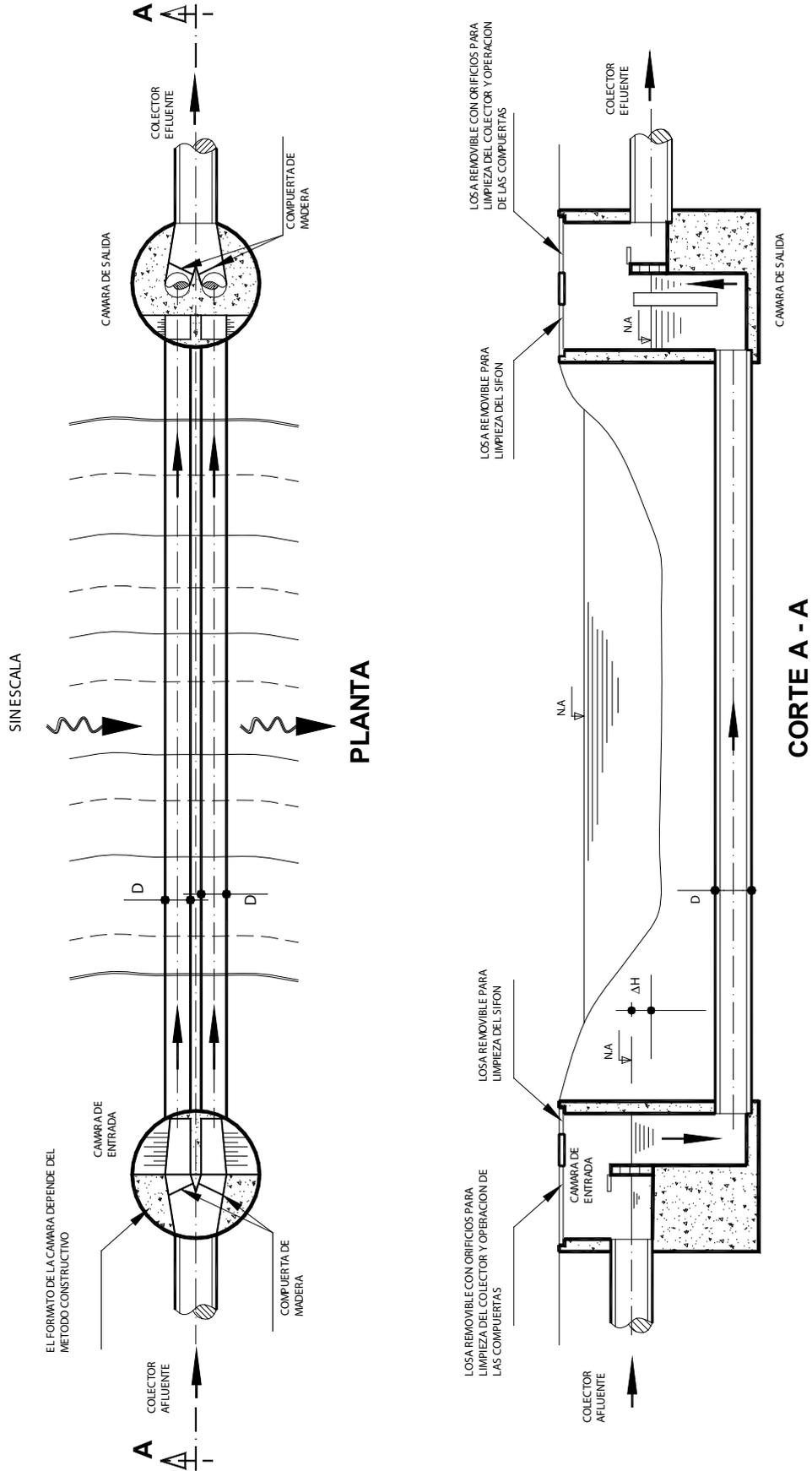


PLANTA



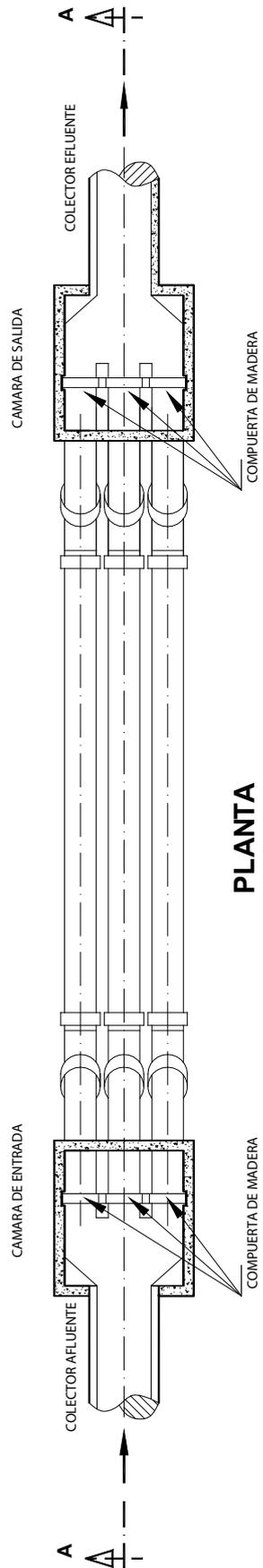
CORTE A - A

**SIFÓN INVERTIDO DE DOS TUBERÍAS
RAMAS VERTICALES**

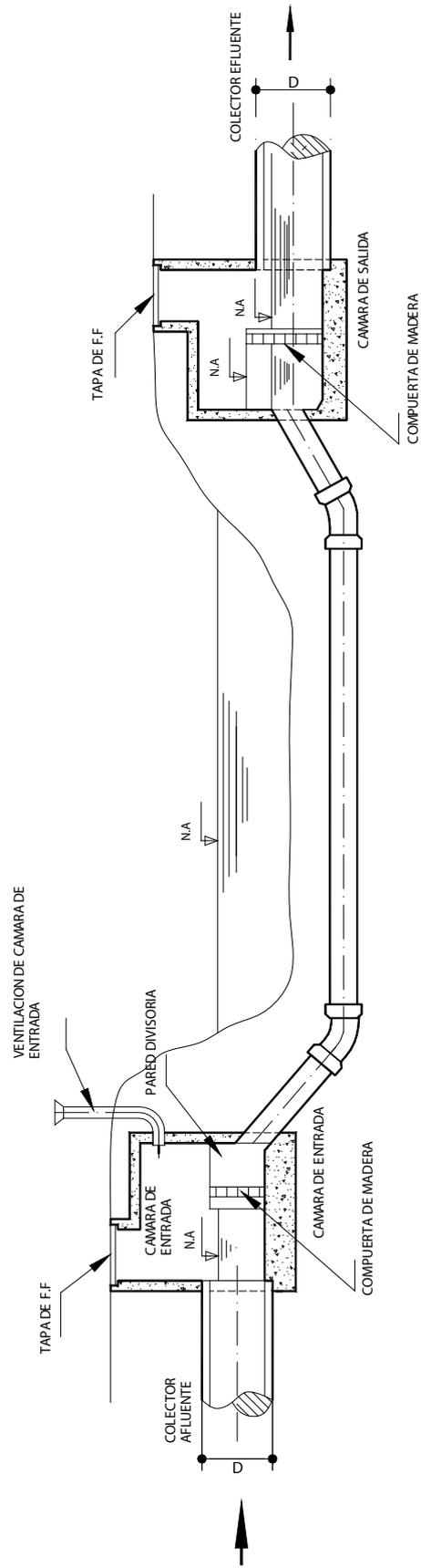


**SIFÓN INVERTIDO DE TRES TUBERÍAS
RAMAS OBLICUAS**

SIN ESCALA

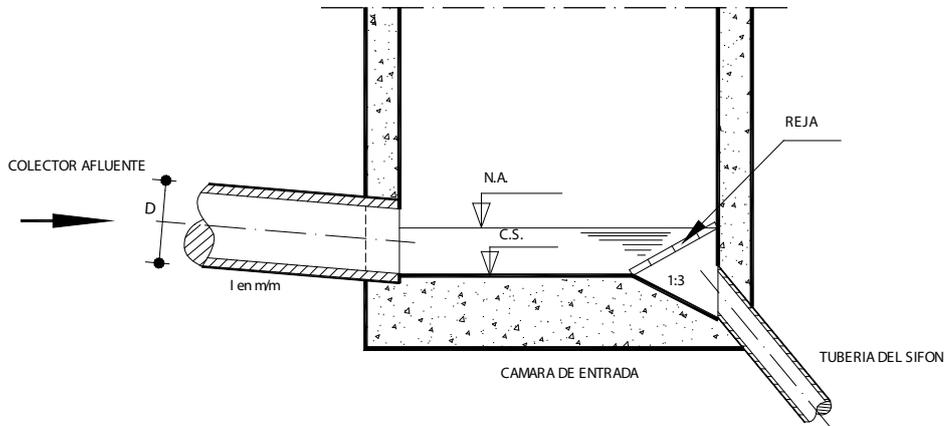


PLANTA

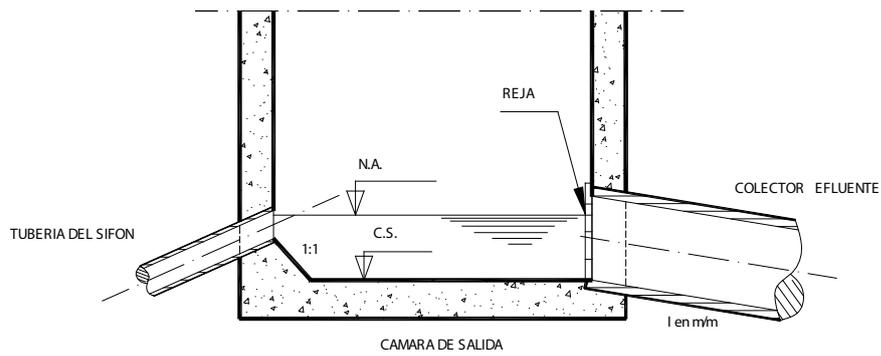


CORTE A - A

DETALLE DE CÁMARA DE ENTRADA
SIN ESCALA

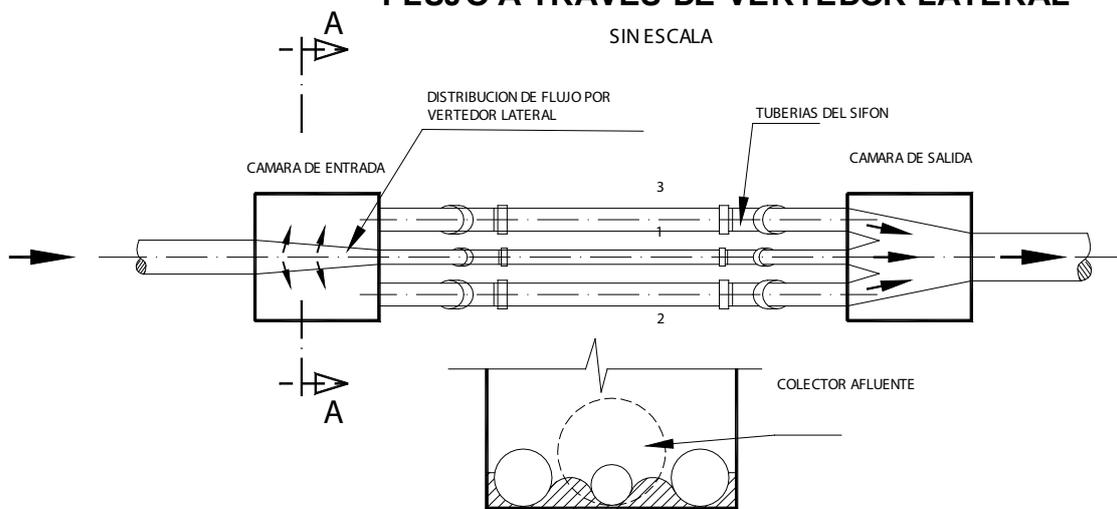


DETALLE DE CÁMARA DE SALIDA
SIN ESCALA



SIFÓN INVERTIDO CON DISTRIBUCIÓN DE FLUJO A TRAVÉS DE VERTEDOR LATERAL

SIN ESCALA



CORTE A-A

