

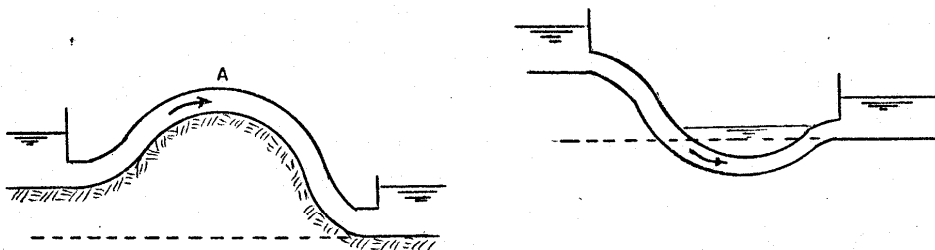
CAPITULO III

SIFONES

a).- Descripción y Funcionamiento

Los sifones son estructuras hidráulicas que se utilizan en canales para conducir el agua através de obstáculos tales como un río, una depresión del terreno u otro canal.

Podemos diferenciar dos tipos de sifones en cuanto al principio de su funcionamiento: Sifón (normal) y Sifón invertido.



a) SIFON (NORMAL)

b) SIFON INVERTIDO

FIG. III-1

El sifón normal llamado simplemente sifón por la mayoría de los autores conduce el agua pasando sobre el obstáculo como se ilustra en la fig. III-1 (a) y su funcionamiento se debe a la presión atmosférica que actúa en la superficie del agua a la entrada; 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 o 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. Un ejemplo muy común de éste tipo de sifones es el empleado por los agricultores para aplicar el agua a los surcos através del bordo del canal.

EL SIFON INVERTIDO.- Llamado así por su posición respecto al sifón normal conduce el agua pasando bajo el obstáculo. El principio de su funcionamiento es diferente, en este tipo el agua fluye exclusivamente por la acción de la gravedad, por el principio de los vasos comunicantes, el agua trata de alcanzar el mismo nivel en las dos ramas. Se ve que en este tipo de sifón no es necesario producir el vacío dentro del conducto. El sifón invertido es el más usado en canales principalmente para cruzar cauces naturales. En la fig. III-1 (b) se muestra esquemáticamente un sifón de éste tipo.

Un sifón invertido completo consta de las siguientes partes:

- 1.- Depósito de azolves.
- 2.- Limitador de gasto.
- 3.- Transición de entrada.
- 4.- Compuerta de entrada.
- 5.- Conducto.
- 6.- Válvula de purga
- 7.- Transición de salida.

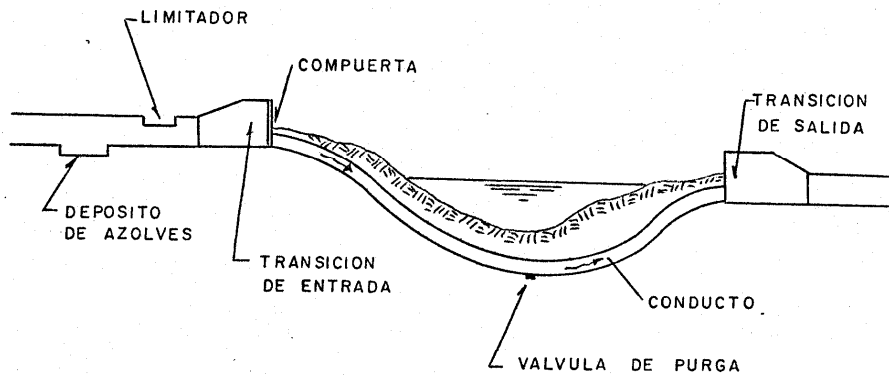


FIG. III-2

b).- CALCULO HIDRAULICO

Los cálculos necesarios para proyectar un sifón son los siguientes:

- 1.- Cálculo de las pérdidas de carga para determinar el desnivel necesario entre la entrada y la salida.
- 2.- Cálculo de las transiciones.
- 3.- Verificación del ahogamiento en la entrada
- 4.- Elección del diámetro de la tubería comprobando que la velocidad en el interior del conducto esté dentro de límites aceptables.

Para hacer estos cálculos es necesario conocer las características hidráulicas del escurrimiento en distintas secciones, esto se obtiene aplicando sucesivamente la ecuación de Bernoulli entre par de puntos.

1.- Cálculo de Pérdidas de Carga.-En un sifón se presentan varios tipos de pérdidas de carga.

- a).- Pérdida de carga por transición de entrada.
- b).- Pérdida de carga por entrada al conducto.
- c).- Pérdida de carga por fricción dentro del conducto
- d).- Pérdida de carga por transición de salida

a).-La pérdida de carga por transición de entrada se ha obtenido experimentalmente que es aproximadamente la décima parte del incremento de carga de velocidad entre los extremos de la transición.

$$h_{TE} = 0.1 \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Donde:

h_{TE} = Pérdida de carga por transición de entrada.

v_1 = Vel. en el inicio de la transición

v_2 = Vel. al final de la transición.

Este tipo de pérdida de carga no amerita un análisis más --
exacto puesto que su valor representa un porcentaje muy --
bajo respecto a la pérdida total de carga.

b).- Pérdida de carga por entrada al conducto

Esta pérdida se debe al cambio de dirección del movi --
miento del líquido para entrar al conducto. depende de --
las condiciones geométricas de la entrada y de la velo-
cidad del agua en el conducto.
Está dada por la siguiente expresión:

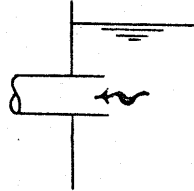
$$h_e = K_e \frac{v^2}{2g} \quad , \quad \text{Siendo:}$$

h_e : Pérdida de carga por entrada al conducto.

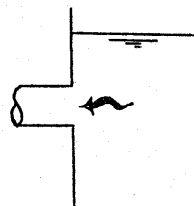
K_e : Coeficiente que depende del tipo de entrada.

v : Velocidad en la entrada al conducto

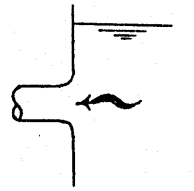
Valores del coeficiente K_e para pérdidas de carga por entrada.



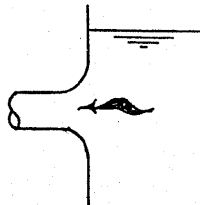
Tubo entrante $K_e = 0.78$



Entrada con aristas a 90° $K_e = 0.50$



Entrada con aristas ligeramente redondeadas $K_e = 0.23$



Entrada abocinada $K_e = 0.04$

c).-Pérdida de carga por fricción.

Es la componente más considerables de las pérdidas de carga, su valor puede representar hasta el 70% de la pérdida total. Es ocasionada por el rozamiento entre las partículas del líquido y las paredes del conducto por lo tanto depende de la mayor o menor rugosidad de la superficie interior del conducto.

La fórmula de D'arcy es una de las más usadas para determinar esta pérdida de carga.

$$h_f = f \frac{Lv^2}{2gd}$$

h_f : pérdida de carga por fricción

f : Coeficiente de fricción, depende del material y condiciones del conducto.

L : Longitud de tubería

v : Velocidad del agua en el conducto.

d : Diámetro interior de la tubería

TABLA III-1 COEFICIENTES DE FRICCIÓN (f)

Diámetro (pulg)	Tubería de hierro								Tubería de Concreto			
	Nueva				Vieja							
	Velocidad en m/seg.											
	0.50	1.50	3.00	6.00	0.50	1.50	3.00	6.00	0.50	1.50	5.00	6.00
1	.040	.035	.034	.030	.071	.071	.071	.071	.055	.047	.043	.039
3	.030	.027	.025	.023	.054	.054	.054	.054	.042	.035	.033	.030
6	.025	.023	.021	.019	.045	.045	.045	.045	.035	.030	.027	.025
10	.022	.020	.019	.017	.040	.040	.040	.040	.031	.026	.024	.022
15	.020	.018	.017	.015	.036	.036	.036	.036	.027	.024	.022	.020
24	.018	.016	.015	.013	.032	.032	.032	.032	.024	.021	.019	.018
36	.016	.014	.014	.012	.029	.029	.029	.029	.022	.019	.017	.016
48	.015	.013	.013	.011	.026	.026	.026	.026	.020	.018	.016	.015
72	.013	.012	.011	.010	.024	.024	.024	.024	.019	.016	.015	.013

El agua es un fluido
 para el cual se
 aplica la fórmula
 de D'arcy
 para la pérdida de
 carga por fricción

d).- Pérdidas de carga por transición de salida.

Experimentalmente se ha obtenido que es aproximadamente dos decimas del cambio de carga de velocidad entre los extremos de la transición de salida.

$$h_{TS} = 0.2 \left(\frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_4^2}{2g} \right)$$

Donde:

h_{TS} : Pérdida de carga por transición de salida.

v_3 : Velocidad en el inicio de la transición.

v_4 : Velocidad al final de la transición

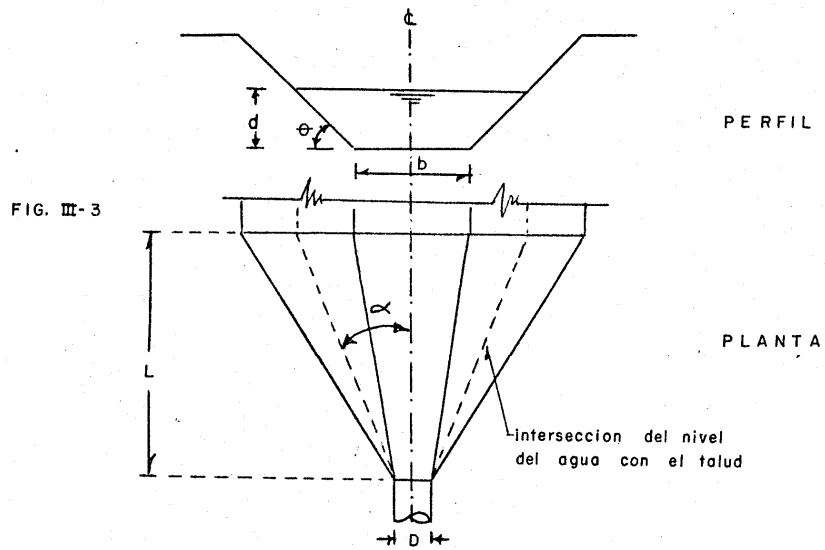
2.- Cálculo de las transiciones

La función de las transiciones es cambiar gradualmente de la sección del canal a la sección del conducto.

Según especificaciones de la Secretaría de Recursos ---
Hidráulicos el ángulo α formado por el eje de la - --
transición y la intersección del nivel del agua con el -
talud debe estar dentro de los siguientes límites:- - -
12° - 30' a 22° - 30'

α máximo _____ 22° - 30'

α mínimo _____ 12° - 30'



$$\operatorname{Tg} \alpha = \frac{\frac{b}{2} + d \operatorname{ctg} \phi - \frac{D}{2}}{L}$$

$$\operatorname{Tg} 22^{\circ} - 30' = 0.415$$

$$\operatorname{Tg} 12^{\circ} - 30' = 0.222$$

$$L \text{ max.} = \frac{\frac{b}{2} + d \operatorname{ctg} \phi - \frac{D}{2}}{0.222}$$

$$L \text{ min.} = \frac{\frac{b}{2} + d \operatorname{ctg} \phi - \frac{D}{2}}{0.415}$$

3.- Verificación del ahogamiento.

En sifones tipo normal el ahogamiento tanto a la entrada como a la salida del conducto es indispensable ya -- que el funcionamiento se basa en producir dentro del -- conducto una presión inferior a la atmosférica.

En sifones invertidos no es necesario el ahogamiento -- desde el punto de vista de su funcionamiento hidráulico, sin embargo es recomendable que trabaje ahogado sobre to do en la entrada para evitar que entren al conducto sólidos flotantes que pueden obstruirlo.

El ahogamiento mínimo recomendable es de un décimo del tirante.

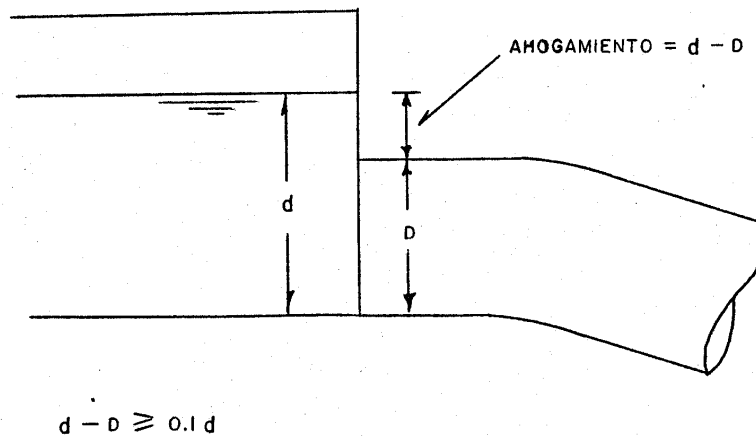


FIG. III-4

4.- Elección del diámetro de la tubería.

El diámetro de la tubería se determina mediante la ecuación de continuidad para un gasto determinado de modo -- que la velocidad del agua en el conducto este dentro de los límites recomendables para que no se produzca ni sedimentación ni erosión dentro del conducto..

Velocidad máxima _____ 3.0 m/seg.

Velocidad mínima _____ 1.5 m/seg.

Cuando el gasto que deberá conducir el sifón varía dentro de un rango muy amplio no es posible escoger una sola tubería que satisfaga las condiciones de velocidad -- citadas para los diferentes valores del gasto. En estos casos se diseña un sifón con varias tuberías independientes para varios valores del gasto y a la entrada una cámara de repartición que conduce el agua hacia el conducto adecuado según el gasto.

En la fig. III se muestra un dispositivo de éste tipo.

CAMARA DE REPARTICION PARA
SIFONES DE VARIOS CONDUCTOS

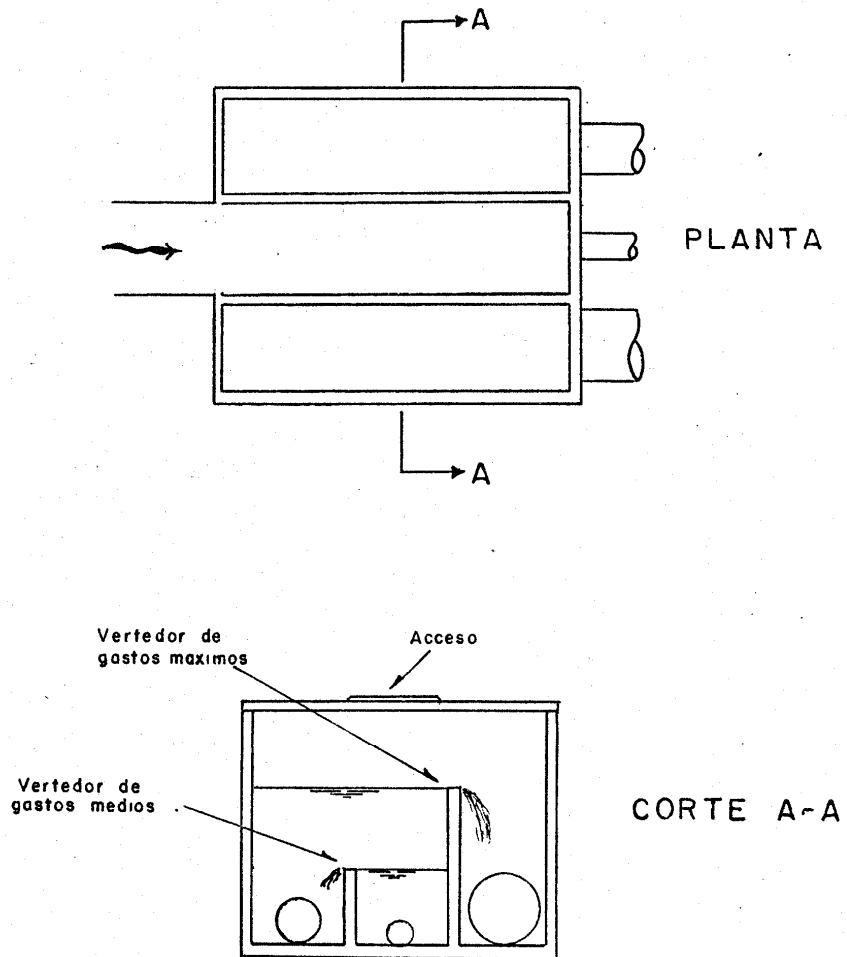


FIG. III - 5

C).- PROYECTO DE UN SIFON PARA CRUZAR EL RIO MAGDALENA
EN EL MUNICIPIO DE SANTA ANA, SONORA

Antecedentes.- En el Ejido "El Claro" localizado en la márgen izquierda del río Magdalena aproximadamente 12 km. al SW de Santa Ana Sonora se proyecta una obra de Pequeña Irrigación para beneficiar 890 Ha.

La captación consiste en un tajo o galería abierta que recibe los escurrimientos subalveos localizada en la márgen derecha, al final del tajo es necesario cruzar el Río Magdalena para iniciarse en la márgen izquierda el canal de conducción.

Este cruce se hará mediante un sifón invertido de 260 m. de longitud que deberá conducir un gasto de 1000 lts/seg.

Mediante estudios hidrológicos efectuados en el campo se elaboró un plano con niveles piezométricos en la zona de captación y conforme a estos datos se proyectó la rasante del tajo, por la cual tenemos fija la cota de entrada al sifón.

CARACTERISTICAS DEL TAJO A LA ENTRADA DEL SIFON

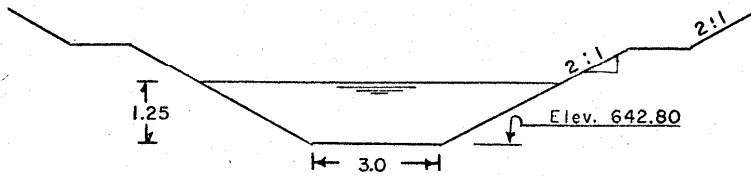


FIG. III-6

$b = 3.00$ mts. $s = 0.0002$
 $d = 1.25$ m. $n = 0.030$
 taludes 2:1 $v = 0.19$ m/seg.
 $A = 5.31$ m² = ~~6.88~~ m² $Q = 1.0$ m³/seg.
 $Q = 6.53$ m.

CARACTERISTICAS DEL CANAL A LA SALIDA DEL SIFON

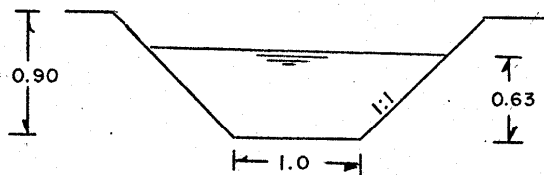


FIG. III-7

$b = 1.00$ m. $s = 0.001$
 $d = 0.63$ m. $n = 0.017$
 taludes 1:1 $v = 0.966$ m/seg.
 $A = 1.03$ m² $Q = 1.00$ m³/seg.
 $P = 2.78$ m.

Elección de la tubería para el conducto.

Se utilizará tubería de asbesto-cemento.

suponiendo un diámetro de 30 pulg. (0.762 m.)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785 (0.762)^2 = 0.456 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1.00}{0.456} = 2.19 \text{ m/seg.}$$

es una velocidad aceptable, por lo tanto usaremos tubería --

A-C de 30 pulg. (0.762 m) de diámetro.

Cálculo de la longitud de la transición de entrada

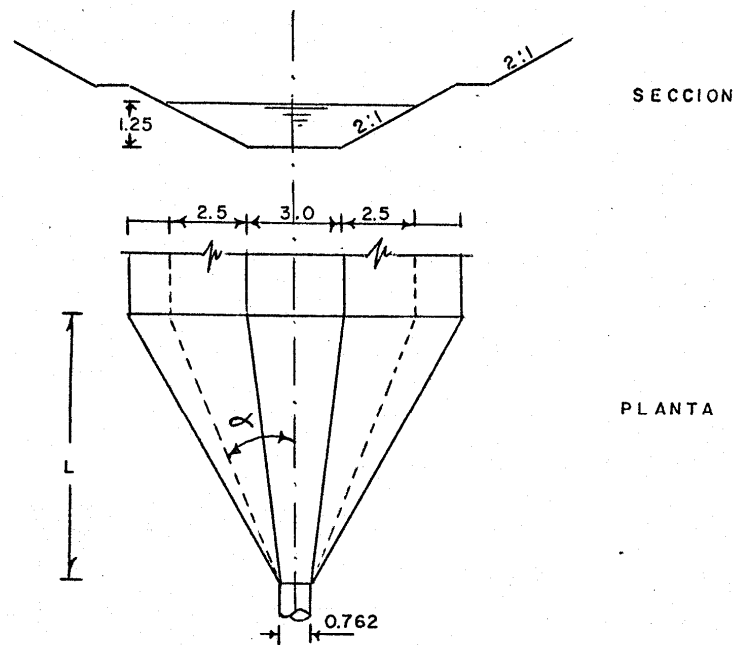


FIG. III- 8

Según especificaciones de la S.R.H.

α máximo admisible = $22^{\circ} - 30'$; $\text{tg } \alpha = 0.415$

α mínimo recomendable = $12^{\circ} - 30'$; $\text{tg } \alpha = 0.222$

$$\text{tg } \alpha = \frac{(2.5 + 1.5) - \frac{0.762}{2}}{L} = \frac{3.62}{L}$$

$$0.415 = \frac{3.62}{L} ; L \text{ min.} = 8.74$$

$$0.222 = \frac{3.62}{L} ; L \text{ max.} = 16.4$$

Tomaremos $L = 10.0 \text{ m.}$

Cálculo de la longitud de la transición de salida.

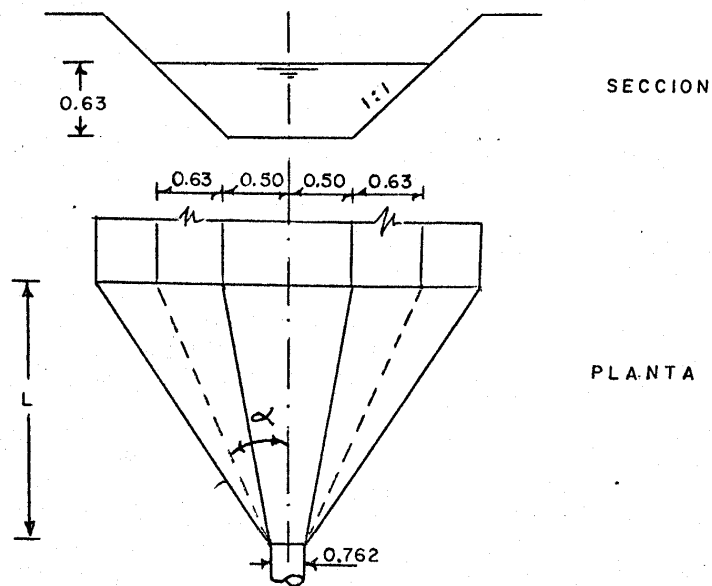


FIG. III - 9

$$\operatorname{Tg} \alpha = \frac{(0.63 - 0.762/2)}{L} = \frac{0.75}{L}$$

$$\frac{0.75}{L} = 0.415 \quad ; \quad \text{min.} = 1.80$$

$$\frac{0.75}{L} = 0.222 \quad ; \quad \text{max.} = 3.40$$

Tomaremos $L = 1.00 \text{ m.}$

Suponiendo la geometría que se muestra en la fig. revisaremos el funcionamiento hidráulico del sifón.

Planteando la ec. de Bernoulli entre las secciones 4 y 3 :

Sección 4

Sección 3

$$d_4 = 0.63 \text{ m.}$$

$$d_3 = ?$$

$$v_4 = 0.97 \text{ m/seg.}$$

$$v_3 = \frac{Q}{A} = \frac{1.00}{0.762 d_3} = \frac{1.32}{d_3}$$

$$\frac{v_4^2}{2g} = 0.048 \text{ m.}$$

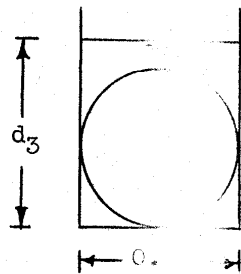
$$\frac{v_3^2}{2g} = \frac{0.089}{d_3^2}$$

$$\Delta_2 + d_4 + \frac{v_4^2}{2g} = d_3 + \frac{v_3^2}{2g} + 0.2(v_4^2/2g - v_3^2/2g)$$

$$0.30 + 0.63 + 0.048 = d_3 + \frac{0.106}{d_3^2} + \frac{(0.2)(0.089)}{d_3^2} - 0.2(0.048)$$

$$0.978 = d_3 + \frac{0.106}{d_3^2} + \frac{0.0096}{d_3^2}$$

$$0.9876 = d_3 + \frac{0.106}{d_3^2}$$



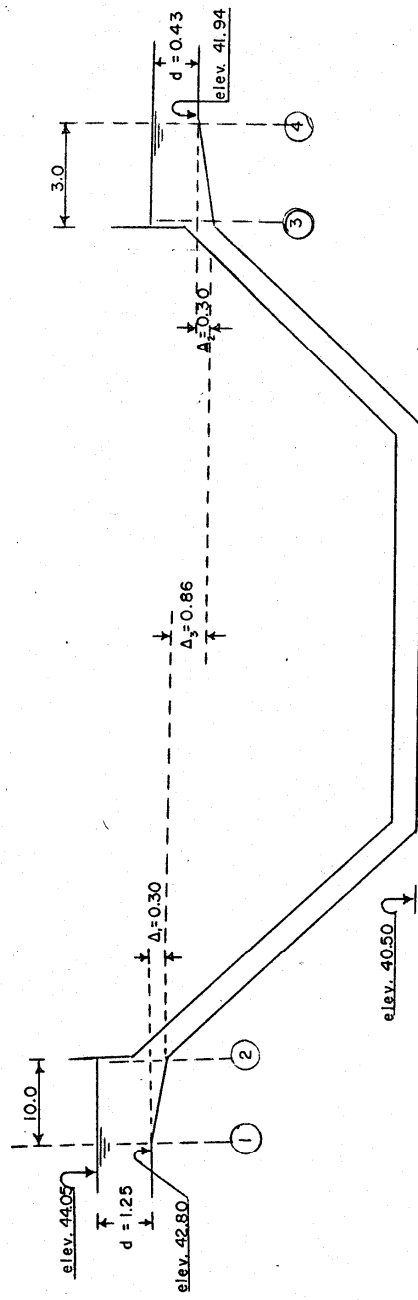


FIG. III-10 -- Geometria supuesta.

Resolviendo por tanteos :

$$d_3 = 0.83 \text{ m.}$$

Aplicando Bernoulli entre las secciones 3 y 2 :

<u>Sección 3</u>	<u>Sección 2</u>
$d_3 = 0.83$	$d_2 = ?$
$v_3 = 1.59 \text{ m/seg.}$	$v_2 = \frac{1.32}{d_2}$
$\frac{v_3^2}{2g} = 0.129 \text{ m.}$	$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{0.089}{d_2^2}$

$$d_2 + \Delta_3 + \frac{v_2^2}{2g} = d_3 + \frac{v_3^2}{2g} + H_t$$

$$H_t = h_e + h_f$$

$$h_e = K_e \frac{v_2^2}{2g} ; \text{ para entrada ligeramente redondeada } K_e = 0.23$$

$$h_e = 0.23 \left(\frac{0.089}{d_2^2} \right) = \frac{0.0205}{d_2^2}$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v_2^2}{2g}$$

$$V_c = \text{Velocidad dentro del conducto} = 2.19 \text{ m/seg.}$$

Para asbesto cemento $f = 0.020$ aproximadamente

$$h_f = 0.020 \frac{220}{0.762} \frac{(2.19)^2}{19.6} = 1.43 \text{ m.}$$

$$d_2 + 0.86 + \frac{0.089}{d_2^2} = 0.83 + 0.129 + \frac{0.0205}{d_2^2} + 1.43$$

$$d_2 + \frac{0.0685}{d_2^2} = 1.529$$

Por tanteos se obtiene $d_2 = 1.49$ m.

$$1.49 - 0.762 = 0.728 > 0.1 d_2$$

Se verifica la condicion de ahogamiento.

Planteando Bernoulli entre las secciones 1 y 2 :

Seccion 1	Seccion 2
$d_1 = ?$	$d_2 = 1.49$
$v_1 = \frac{1}{3d_1 + 2d_1^2}$	$v_2 = 0.886$
$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{1}{19.6(3d_1 + 2d_1^2)^2}$	$\frac{v_2^2}{2g} = 0.04$

$$\Delta_1 + d_1 + \frac{v_1^2}{2g} = d_2 + \frac{v_2^2}{2g} + 0.1 \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right)$$
$$0.30 + d_1 + \frac{1}{19.6(3d_1 + 2d_1^2)^2} = 1.49 + 0.04 + 0.1 \left(0.04 - \frac{1}{19.6(3d_1 + 2d_1^2)^2} \right)$$
$$d_1 + \frac{1.1}{19.6(3d_1 + 2d_1^2)^2} = 1.234$$

$d = 1.23$ m. < Tirante a la entrada (1.25), por lo tanto el sifon funciona correctamente.

Desnivel entre las plantillas de entrada y salida = 0.86

Desnivel de la superficie libre del agua = 1.48

En el plano No. 2 que se anexa se muestra el dise\u00f1o del sifon basado en estos calculos y la topograf\u00eda del sitio.