

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

**“Tuberías flexibles de perfil abierto de P.V.C.”**

Raúl Sánchez Herrera

GUATEMALA

2,000



**“Tuberías flexibles de perfil abierto de P.V.C.”**  
de Raúl Sánchez Herrera

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento De Ingeniería Civil


**“Tuberías flexibles de perfil abierto de P.V.C.”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR RAÚL SÁNCHEZ  
HERRERA PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

GUATEMALA

2,000

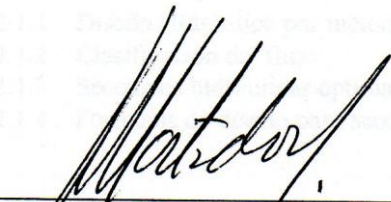
Vo. Bo. :



---

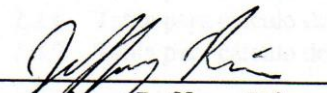
Ingeniero Rafael Giron

Tribunal:




---

Ingeniero Franklin Matzdorf



---

Ingeniero Jeffrey Rivera



---

Ingeniero Rafael Giron

Fecha de aprobación:

14 de septiembre de 2000

# **DEDICO ESTE TRABAJO A**

## **A MIS PADRES:**

Raúl Osberto Sánchez Pellecer  
Amy Herrera Castro de Sánchez

## **A MIS HIJOS:**

Mariana Margarita Sánchez Ippisch  
Raúl Christian Sánchez Ippisch

## **A MIS HERMANOS:**

María Fernanda Sánchez Herrera  
Rodrigo Sánchez Herrera

## **A MIS FAMILIARES Y EN ESPECIAL A:**

Pedro Pablo Godoy Barrios  
Mario Ricardo Sánchez Pellecer

## **A MIS COMPAÑEROS:**

Gustavo Morales  
Eduardo Goyzueta Giordani

## **A MIS AMIGOS:**

A la Facultad C.C. y H.H. de la Universidad del Valle de Guatemala  
Al Departamento de Ingeniería de la Universidad del Valle

# ÍNDICE

ÍNDICE DE DIAGRAMAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>III. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE PERFIL ABIERTO.....</b>	<b>3</b>
A. CARACTERÍSTICAS DE P.V.C.....	3
1. <i>CARACTERÍSTICAS DE FABRICACIÓN</i> .....	3
2. <i>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</i> .....	4
3. <i>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</i> .....	4
4. <i>CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS</i> .....	5
5. <i>CARACTERÍSTICAS RESISTENTES</i> .....	5
<b>IV. PARÁMETROS DE DISEÑO.....</b>	<b>6</b>
A. DISEÑO HIDRÁULICO POR EL MÉTODO DE CANAL ABIERTO.....	6
1. <i>CLASIFICACIÓN DEL FLUJO</i> .....	6
2. <i>SECCIÓN HIDRÁULICA ÓPTIMA</i> .....	6
3. <i>FÓRMULAS DE DISEÑO PARA SECCIONES CIRCULANTES</i> .....	11
B. DISEÑO DE PROFUNDIDAD Y ANCHO DE ZANJA.....	13
1. <i>ESFUERZO DE BOUSSINESQ EN UN MEDIO ELÁSTICO SEMI - INFINITO</i> .....	13
2. <i>CÁLCULO DE CARGAS MUERTAS</i> .....	17

3.	<i>CÁLCULO DE CARGAS VIVAS</i> .....	20
4.	<i>CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN</i> .....	21
5.	<i>DIAGRAMA 5: “CÁLCULO DE RELLENO MÁXIMO”</i> .....	24
6.	<i>TABLA 5: “CÁLCULO DE RELLENO MÁXIMO”</i> .....	25
7.	<i>DIAGRAMA 6: “CALCULO DE ANCHO DE ZANJA”</i> .....	26
C.	MATERIAL DE RELLENO Y MAQUINARIA PARA COMPACTACIÓN.....	26
1.	<i>MATERIAL QUE RODEA AL TUBO</i> .....	26
<b>V.</b>	<b>PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN</b> .....	<b>28</b>
A.	ZANJADO O EXCAVACIÓN.....	28
1.	CIMENTACIONES.....	28
2.	ELIMINACIÓN DE AGUA.....	28
B.	COLOCACIÓN DEL TUBO Y PEGA DE JUNTAS.....	29
C.	SECUENCIA DE RELLENO.....	30
D.	UNIÓN CON TUBOS DE DIFERENTE MATERIAL.....	34
E.	UNIÓN CON ESTRUCTURAS DE CONCRETO O MAMPOSTERÍA.....	34
F.	PROTECCIÓN AL TUBO.....	35
<b>VI.</b>	<b>PROYECTO</b> .....	<b>36</b>
A.	MARCO HISTÓRICO.....	36
B.	MEMORIA DE CÁLCULO.....	36
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>41</b>
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>42</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>43</b>
A.	ANEXO 1.....	43
B.	ANEXO 2.....	44

C. ANEXO 3.....	45
D. ANEXO 4.....	46
E. ANEXO 5 “EJEMPLO DE PRUEBA DE RIGIDEZ ANULAR”.....	47
F. ANEXO 6.....	48
G. ANEXO 7.....	49
H. ANEXO 8 “RESULTADO DE ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR EMITIDO POR LA USAC”.....	50

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1 “Tuberías de drenaje, características hidráulicas, aguas pluviales” .....	10
DIAGRAMA 2 “TM 5-818-1” (Boussinesq) .....	15
DIAGRAMA 3 “TM 5-818-1” (Westergaard) .....	16
DIAGRAMA 4 “Coeficiente de Cd” .....	19
DIAGRAMA 5 “Para cálculo de relleno mínimo” .....	24
DIAGRAMA 6 “Calculo de ancho de zanja” .....	26
DIAGRAMA 7 “Ejemplos de equipo para construcción” .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 “Sección hidráulica óptima para un canal rectangular” .....	8
FIGURA 2 “Sección trapezoidal hidráulica óptima” .....	9
FIGURA 3 “Esfuerzos de Boussineq” .....	13
FIGURA 4 “Un tubo flexible comparte la carga con el material de relleno” .....	17
FIGURA 5 “Carga externa con presión interna y carga externa sin presión interna” .....	21
FIGURA 6 “Formación de la cama” .....	30
FIGURA 7 “Colocación de tubería en el centro de la zanja” .....	30
FIGURA 8 “Compactación manual del material” .....	31
FIGURA 9 “Colocación del material sobre la corona del tubo” .....	31
FIGURA 10 “Compactación con un brincón” .....	32

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1 “Cuadro Comparativo PVC-Concreto-Canal” .....	40
---	----

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 .....	14
TABLA 2 “Cargas vivas” .....	20
TABLA 3 “Valores de K” .....	22
TABLA 4 “Grado de compactación” .....	22
TABLA 5 “Cálculo de relleno máximo .....	25
TABLA 6 “Equipo de compactación” .....	27
TABLA 7 “Datos del proyecto” .....	38

## RESUMEN

Debido al constante avance de la ciencia, cada día se desarrollan nuevos productos de alta tecnología, los cuales son diseñados para obtener un ahorro en costo y tiempo, así como mayor vida útil. Este es el caso de las tuberías flexibles, elaboradas de perfil abierto de P.V.C..

El objetivo principal de esta tesis es ofrecer al usuario, propietario o gobierno, un material moderno con el cual pueda maximizar sus instalaciones, al obtener una mayor vida útil, así como ahorro financiero en el corto y largo plazo.

Podemos concluir que las tuberías de perfil abierto de P.V.C., en comparación con las de concreto, tienen un costo más elevado, pero los ahorros que se tienen en cuanto a excavación, material de relleno, maquinaria para manipulación de los tubos de concreto, menor tiempo en uso de maquinaria para excavar y compactar, y menor cantidad de mano de obra, hacen que al final del proyecto no se tenga una diferencia de precio entre usar un concreto o P.V.C.. Pero la ventaja es el tiempo de ejecución de obra, el cual baja al 50% del tiempo normal para colocar tuberías de concreto.

Estamos en un mundo que día a día mejora e innova materiales para el uso y beneficio nuestro. Debemos tomar todas estas innovaciones como alternativas para el desarrollo de nuestro país y de nosotros como personas, ya que el avance de nuestro mundo se basa en el sistema de la globalización, se busca cada día producir con menor estructura de precio, sin descuidar la calidad, y de esta forma ser cada día más competitivos.

# I. INTRODUCCIÓN

Debido al constante avance de la ciencia, cada día se desarrollan nuevos productos de alta tecnología, los cuales son diseñados para obtener un ahorro en costo y tiempo, así como mayor vida útil. Este es el caso de las tuberías flexibles, elaboradas de perfil abierto de P.V.C..

En Europa, alrededor de 1970, surgieron grandes problemas con los sistemas de drenajes, los que, por su antigüedad, han terminado su vida útil y han llegado al extremo de que en muchas instalaciones la pared inferior del tubo está completamente erosionada. En su mayoría esas tuberías estaban fabricadas de concreto con y sin refuerzo.

Ante esta situación, se realizan estudios de factibilidad para evaluar el costo y procedimientos a seguir para el cambio de los muchos drenajes pluviales o sanitarios que se encontraban dañados. El costo de cambio era elevado, y con muchas dificultades para el cierre temporal de avenidas y calles principales, debido al intenso tránsito en estas ciudades.

Con esta inquietud, un grupo de ingenieros de España desarrolla las Tuberías Flexibles de P.V.C., con el propósito inicial de sustituir las tuberías antiguas. Lo anterior es posible, ya que por tener un coeficiente de fricción interna menor a las tuberías metálicas y de concreto, se puede utilizar un tubo de menor diámetro en P.V.C.. Esto combinado con su sistema de fabricación permitía la eficiente reentubación bajo un sistema eficiente y de menor costo por el método de canal abierto o conducción por gravedad.

## **II. OBJETIVOS**

Esta tesis tiene como principal objetivo que se utilicen las tuberías de P.V.C de diámetros grandes como una alternativa más para la conducción de flujos por gravedad.

Que la misma se utilice como una guía para el cálculo y diseño de conducciones de flujos por gravedad, al utilizar dichas tuberías de perfil abierto de P.V.C., basados en un análisis estructural y características propias. Debido a lo anterior se desarrollan las diferentes características y ventajas de dichas tuberías, así como el procedimiento de diseño y su método de instalación.

Que las generaciones de ingenieros civiles conozcan una alternativa más para el diseño y la instalación de tuberías para conducción de fluidos por gravedad, y de esta forma enriquezcan y modernicen sus conocimientos.

Ofrecer al usuario o dueño de algún proyecto, un material moderno con el cual pueda maximizar sus instalaciones, al obtener una mayor vida útil, así como ahorro financiero en el corto y largo plazo.

## **III. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE PERFIL ABIERTO**

### **A. CARACTERÍSTICAS DE P.V.C.**

El tubo de perfil abierto de P.V.C. presenta aspectos revolucionarios en cuanto a su concepción y su proceso de fabricación.

Se trata de un tubo de P.V.C. de pared exterior nervada y pared interior lisa, fabricado a base de P.V.C. no plastificado como materia. Se entiende como P.V.C. no plastificada a la resina de cloruro de polivinilo, técnicamente pura (menos del 1% de impurezas), y en una proporción del 96% exento de plastificantes. Podrá contener otros componentes tales como estabilizadores, lubricantes y modificadores de las propiedades finales.

Con este producto, de excelentes características, se fabrica una banda nervada cuyos perfiles garantizan al tubo una alta rigidez y resistencia. Los bordes de esta banda nervada están conformados para ser engatillados o machihembrados.

La banda se enrolla helicoidalmente formando el tubo del diámetro que se desee, mediante una máquina especial que, además de fijar el diámetro, efectúa el encaje de los bordes de la banda y aplica sobre éstos un polimerizador que actúa como soldadura química. En su configuración final, la tubería es nervada exteriormente y de pared interior lisa, asegurando un alto momento de inercia a la pared del tubo, y un bajo coeficiente de rugosidad.

La instalación de la máquina que fabrica el tubo a pie de obra, permite fabricar por primera vez tubería de P.V.C., en la misma obra, pudiéndose adaptar, en cada momento, los diámetros y longitudes de los tubos fabricados a las necesidades concretas de cada tajo.

**1. CARACTERÍSTICAS DE FABRICACIÓN.** El sistema de fabricación del tubo flexible de perfil abierto de P.V.C., lleva consigo una serie de características propias que diferencian substancialmente a esta tubería del resto de las de P.V.C. y que además ofrecen unas importantes ventajas de utilización. Entre éstas están las siguientes:

- La fabricación del tubo a pie de obra.
- El tubo se puede fabricar con la longitud que se deseé.
- El tubo se puede fabricar del diámetro en milímetros, estrictamente necesario. Los diámetros mínimo y máximo son: 9.5 pulg. (0.237 mts.) y 80 pulg. (2.0 mts.) Pudiéndose fabricar todos los diámetros intermedios milímetro a milímetro.
- La hermeticidad del tubo es total debido a los dos cierres existentes. De una parte el cierre mecánico consistente en un sólido y hermético machihembrado, y por otra parte el cierre químico consistente en una soldadura, mediante polimerizador, del cierre mecánico.

■ La barra de P.V.C. puede perforarse a la salida de la máquina extrusora, antes de conformarse helicoidalmente y así obtener un tubo de drenaje.

La gran área de perforaciones que se consigue uniformemente, está repartida en todo su contorno; así también la posibilidad de tener las ventajas antes reseñadas para los tubos, en cuanto a poder fabricar el diámetro exacto y la longitud de tubo que se desee, hacen que TFPA de P.V.C. resulte idóneo para ser utilizado en todo tipo de drenaje, tanto como conducto de captación como en transporte.

**2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.** En el Anexo 1 se detalla una serie de características físicas, entre las que destacaremos dos.

Por una parte la resistencia a la abrasión del P.V.C. de las tuberías flexibles de perfil abierto, que se debe a que la fortaleza de los enlaces químicos de la molécula de P.V.C. es el doble, por ejemplo, que la resistencia a la abrasión del concreto. Esto significa unos costos de mantenimiento, en el caso de redes de alcantarillado, muy inferiores a los exigidos por el concreto o metálico. Conviene en este punto aclarar, ya que se han mencionado las redes de alcantarillado, que el tubo no tiene en ningún momento la acción de los roedores. La pureza del P.V.C. de las tuberías flexibles de perfil abierto determina una resistencia en la pared del tubo que, según las pruebas específicamente realizadas y la experiencia de las obras ejecutadas, nos demuestran como en ningún caso los roedores no han iniciado su tarea destructiva.

La característica física más importante y de la que se pueden sacar mayores beneficios y aplicaciones, es la ligereza del tubo. Para cada diámetro, la longitud del tubo es tal, que el peso es relativamente muy bajo, lo cual permite prescindir totalmente de medios mecánicos de elevación y transporte para su colocación, además que se puede manejar en todos los movimientos, por dos personas. En el Anexo 2 se detallan los pesos de determinadas longitudes de tubo para una serie de diámetros de tuberías de P.V.C y concreto.

**3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.** La resistencia de la tubería a la acción de los diferentes productos químicos queda señalada en el Anexo 3. Puede afirmarse que se trata de un producto químicamente inalterable y de gran durabilidad.

Las tuberías flexibles de perfil abierto de P.V.C., son inmunes a todos los tipos de corrosión experimentados en sistemas de tuberías enterradas, donde por naturaleza se producen corrosiones químicas o electroquímicas. Tampoco sufre daño alguno, conocido por ataques de suelos normales o corrosivos especialmente aquellos suelos en donde su pH es igual o mayor que 2 (dos); en consecuencia no se precisan protecciones catódicas o cualquier otro tipo de revestimiento.

El alto grado de resistencia a los productos químicos, que tiene la tubería, la adecua de forma especial para la conducción de aguas fecales e industriales; además no se ve

afectada por las concentraciones existentes de ácido sulfúrico en esas aguas. También la generación de sulfhídrico no produce algún problema de corrosión en la tubería.

**4. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS.** Por su bajo coeficiente de rugosidad las tuberías flexibles de perfil abierto de P.V.C. necesitan igualdad de caudal desaguados, 12% menos de diámetro que una tubería de concreto. Esto se debe básicamente a la diferencia de coeficiente de rugosidad interno ( $n$ ), el cual ampliaremos más adelante. Si a esto le unimos la posibilidad real de fabricar el tubo a la medida exacta en milímetros que se haya determinado en el cálculo, obtendremos un ahorro efectivo en la excavación de la zanja, pues con otros materiales necesitaríamos mayor diámetro y además tomar el inmediato diámetro superior que se fabrique.

En la fórmula de Manning, el coeficiente de rugosidad aplicable para las tuberías de perfil abierto de P.V.C. es de 0.009, mientras que en tuberías de concreto utilizaríamos 0.013.

En el Anexo 4; se muestran los diámetros de concreto, que para una determinada pendiente desaguarían el mismo caudal, que una de serie de diámetros menores de tubería de perfil abierto de P.V.C..

**5. CARACTERÍSTICAS RESISTENTES.** Las tuberías flexibles de perfil abierto de P.V.C. presentan un funcionamiento resistente, bajo la acción de las cargas exteriores, de acuerdo con las normas aplicables ASTM y DIN; así como de las normas técnicas elaboradas por Empagua.

En el Anexo 5 se adjunta un ejemplo para determinar la rigidez anular del tubo y la deformación del diámetro vertical del mismo, además de otros realizados sobre abrasión, envejecimiento, rugosidad, reventamiento de juntas y uniformidad del espesor de las paredes.

Estos ensayos demuestran el cumplimiento de la normativa citada anteriormente y determinan las condiciones en que debe ser instalado el tubo para obtener los valores allí reseñados.

## IV. PARÁMETROS DE DISEÑO

### A. DISEÑO HIDRÁULICO POR EL MÉTODO DE CANAL ABIERTO

**1. CLASIFICACIÓN DEL FLUJO.** El agua fluye por canales abiertos a través de una gran variedad de formas, desde el agua que corre por la superficie de un campo arado en un día de fuerte lluvia, hasta aquella que corre por un canal prismático a profundidad constante. El flujo puede clasificarse en permanente y no permanente o variable, uniforme y no uniforme. El flujo permanente y uniforme se presenta en canales inclinados, muy largos, de sección recta constante, en aquellas regiones donde la “velocidad final” se ha alcanzado, es decir, donde la pérdida de energía debida al flujo turbulento es exactamente proporcionada por la reducción de la energía potencial debida a la disminución uniforme de altura de la base del canal. La profundidad del flujo permanente y uniforme se llama profundidad normal. En flujo permanente y uniforme, el caudal y la profundidad son constantes en todas partes y a lo largo de la longitud del canal.

**2. SECCIÓN HIDRÁULICA ÓPTIMA.** Para un caudal, una pendiente y un coeficiente de rugosidad dados, algunas formas de secciones son mejores que otras. Se llama sección hidráulica óptima la que tiene el menor perímetro mojado, o su equivalente, la menor área. La fórmula de Manning es:

$$Q = \frac{0.823}{n} * AR^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Fórmula 1}$$

Siendo Q el caudal ( $m^3 / \text{seg}$ ), A la sección del flujo ( $m^2$ ), R (área dividida por el perímetro mojado P) el radio hidráulico (m), S la pendiente de la línea de alturas totales y n el coeficiente de rugosidad de Manning. Con Q, n y S conocidos, la (Fórmula 1) puede escribirse:

$$A = cP^{\frac{2}{5}}$$

En la cual c es conocido. Esta ecuación demuestra que P es un mínimo cuando A es un mínimo. Para encontrar la sección hidráulica óptima para un canal rectangular (Figura 1)

$$P = b + 2y$$

$$A = by$$

Por lo tanto,

$$A = (P - 2y)y = cP^{\frac{2}{5}}$$

de y: al eliminar b. El valor de y que hace P mínimo se encuentra al derivar respecto

$$\left(\frac{dP}{dy} - 2\right)y + P - 2y = \frac{2cP^{\frac{3}{5}}}{5} * \frac{dP}{dy}$$

al hacer  $\frac{dP}{dy} = 0$ ,  $P = 4y$ , y como  $P = b + 2y$ ,

$$b = 2y \quad \text{(Fórmula 2)}$$

Es decir, la profundidad es la mitad de la anchura de la base, con independencia de la sección rectangular.

Para encontrar la sección trapezoidal hidráulica óptima (Figura 2)  $A = by + my^2$ ,  $P = b + 2y(1 + m^2)^{\frac{1}{2}}$ . Al eliminar b y A entre estas ecuaciones y la (-2),

$$A = by + my^2 = P - \left(2y(1 + m^2)^{\frac{1}{2}}\right)y + my^2 = cP^{\frac{2}{5}}$$

Al hacer m constante y derivar respecto de y, e igualar  $dP/dy$  a cero, resulta:

$$P = 4y(1 + m^2)^{\frac{1}{2}} - 2my$$

Al hacer ahora y constante, derivar con respecto a m, e igualar  $dP/dm$  a cero, se obtiene:

$$\frac{2m}{(1 + m^2)^{\frac{1}{2}}} = 1$$

Al despejar m:

$$m = \frac{3^{\frac{1}{3}}}{3}$$

y sustituir m:

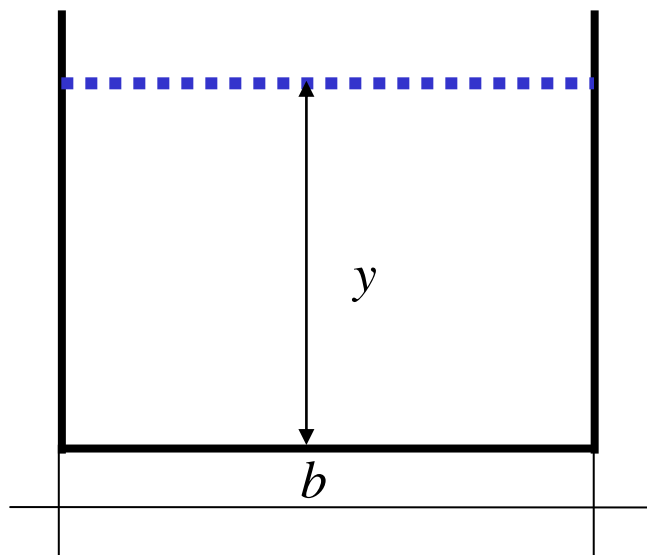
$$P = 2 * 3^{\frac{1}{2}} * y \quad b = \frac{2 * 3^{\frac{1}{2}} * y}{3}$$

$$A = 3^{\frac{1}{2}} y^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Fórmula 3)}$$

Lo cual demuestra que  $b = \frac{P}{3}$  y, por consiguiente, que los lados inclinados tienen la misma longitud que la base. Como  $\text{tg}^{-1} m = 30^\circ$ , la sección óptima es la semihexagonal. Para secciones trapecoides con un cierto  $m$  (máxima pendiente para la cual la tierra húmeda no se desmorona) la (Fórmula 3) debe utilizarse para encontrar la relación entre el ancho de la base y la profundidad.<sup>1</sup>

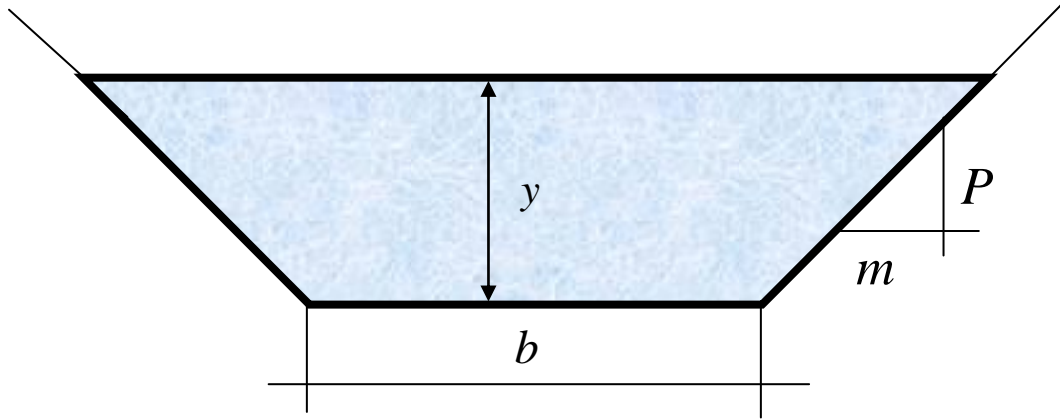
La sección hidráulica óptima de todas las posibles secciones rectas de canales abiertos es el semicírculo.

**FIGURA 1**  
**SECCIÓN HIDRÁULICA ÓPTIMA PARA UN CANAL RECTANGULAR**



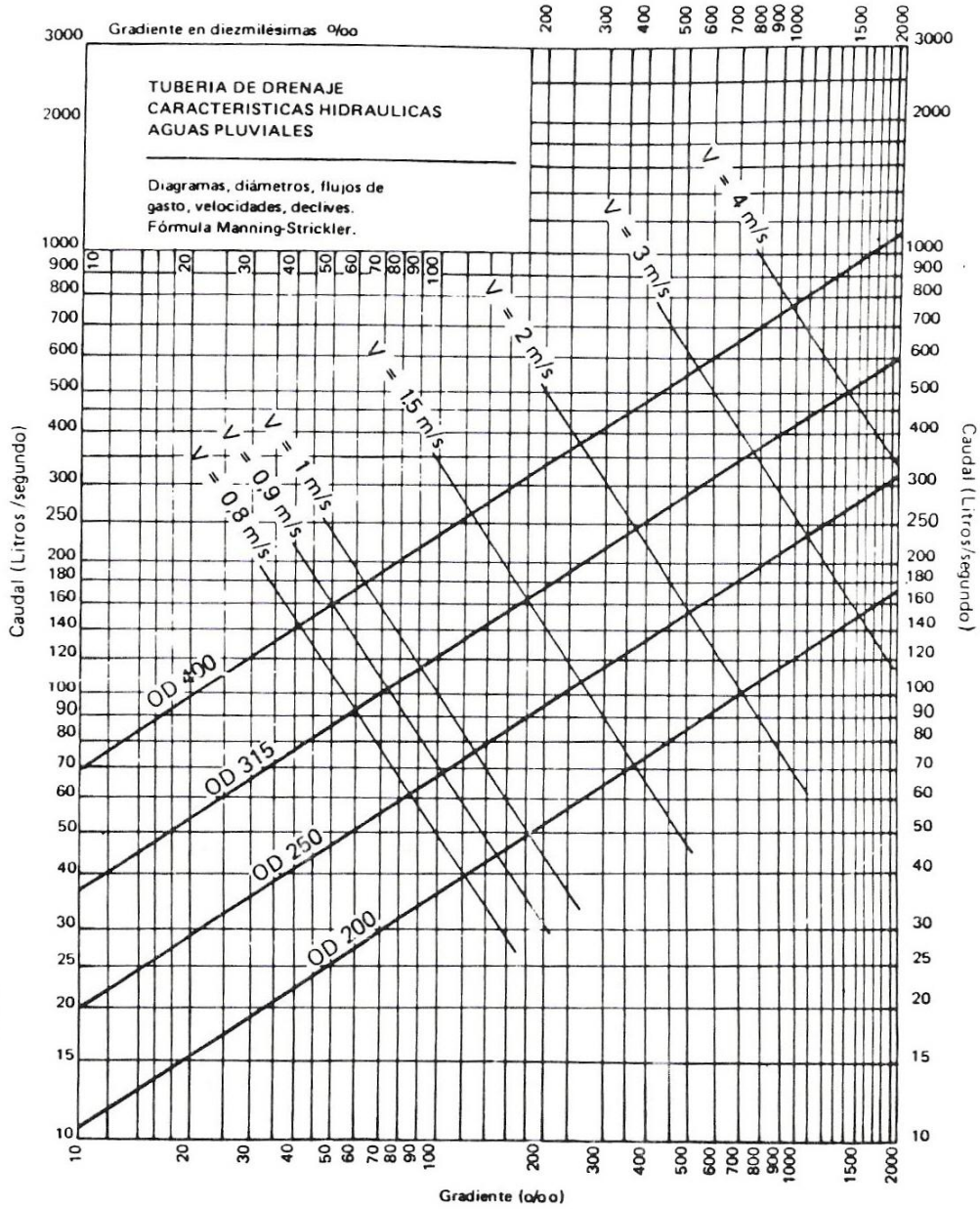
**FIGURA 2**  
**SECCIÓN TRAPEZOIDAL HIDRÁULICA ÓPTIMA**

<sup>1</sup> W. M. Owen, *Laminar to Turbulent Flow in a Wide Open Channel*, Proc, ASCE, vol. 79, núm. 188, abril, 1953.



### DIAGRAMA 1: "TUBERÍAS DE DRENAJE, CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS, AGUAS PLUVIALES"

- Q = 120 AR<sup>2/3</sup> S<sup>1/2</sup> (m<sup>3</sup>/s)
- A = m<sup>2</sup>
- R = m
- S = tanto por uno



### 3. FÓRMULAS DE DISEÑO PARA SECCIONES CIRCULANTES

#### FÓRMULA 4

$$D = \left( Q * \left( \frac{n / s^{\frac{1}{2}}}{0.33523} \right) \right)^{0.375} \quad (\text{Fórmula 4})$$

#### FÓRMULA 5

$$V = \frac{1(RH)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (\text{Fórmula 5})$$

#### FÓRMULA 6

$$Q = \frac{1(AM)(RH)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (\text{Fórmula 6})$$

#### DONDE:

**D** = Diámetro interno (mts)

**Q** = Caudal máximo (metro cúbico por segundo mcs)

**n** = Coeficiente de rugosidad "n" de Manning

**s** = Pendiente de la conducción (m/m)

**V** = Velocidad del agua en el tubo (m/seg)

**AM** = Área Máxima húmeda = .7652 \* D<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>)

**RH** = Radio Hidráulico = AM / ( D \* 2.6384) (mts)

### CONDICIONES DE FLUJO

Los diferentes problemas de flujo en tuberías a canal abierto se pueden resumir en:

■ Conocido el caudal de diseño, la pendiente y el factor de rugosidad, calcular el diámetro. **Fórmula 4**

■ Conocidos el diámetro, la pendiente y el factor de rugosidad, calcular la velocidad. **Fórmula 5**

■ Conocidos el diámetro, la pendiente y el factor de rugosidad, calcular el Caudal Máximo. **Fórmula 6**

**El valor de n depende de muchos factores, entre los más importantes, la rugosidad de las paredes y el radio hidráulico. Para diseño en tuberías de P.V.C. por gravedad, que cumplen las normas ASTM 3034, se recomienda un valor de 0.009.**

Los coeficientes recomendados para Tuberías Flexibles de Perfil Abierto, según el Estándar Australiano AS2200-1978 “Design Charts for Water Supply and Sewerage” son:

**TABLA 1**

Manning: $n$ 0.008-0.009
Hazen - Williams $C=140$
Colebrook - White: $k$ 0.003 - 0.0015 mm

## B. DISEÑO DE PROFUNDIDAD Y ANCHO DE ZANJA:

**1. ESFUERZOS DE BOUSSINESQ EN UN MEDIO ELÁSTICO SEMI-INFINITO.** Boussinesq (1885) aplicó conceptos matemáticos complicados a algunas de las ecuaciones de elasticidad dadas anteriormente, junto con las siguientes condiciones de frontera (refiérase a la figura 3):

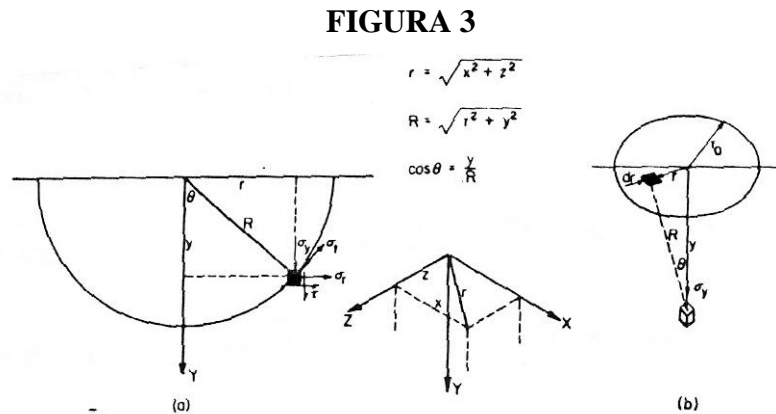


Figura 3: a) carga puntual en la superficie de un medio semi-infinito, elástico para las ecuaciones de Boussinesq, b) Aplicación de la ecuación de Boussinesq al revés para obtener esfuerzos en el subsuelo debidos a la aplicación de una carga en un área.

- Los esfuerzos se desvanecen a  $r \rightarrow \infty$
- Las deformaciones se desvanecen a  $r \rightarrow \infty$
- Los esfuerzos cortantes son cero en  $Y = 0$  (superficie).
- Los esfuerzos normales son cero por  $Y = 0$ , excepto en el punto de aplicación de la carga.
- $F y = 0$ .

Para la carga puntual en la superficie de un espacio semi-infinito, elástico y usando los símbolos de la figura 3, Boussinesq obtuvo las siguientes ecuaciones.

$$Dif y = \frac{P}{4} \pi i R \frac{1}{G} (2(1-u) + \cos 2\theta) \quad (\text{asentamiento del punto})$$

donde  $G$  = módulo elástico al esfuerzo cortante

$$\text{Esfuerzo } y = \left( \frac{-3P}{2} \pi R^2 \right) \cos^3 \theta \quad (\text{esfuerzo vertical})$$

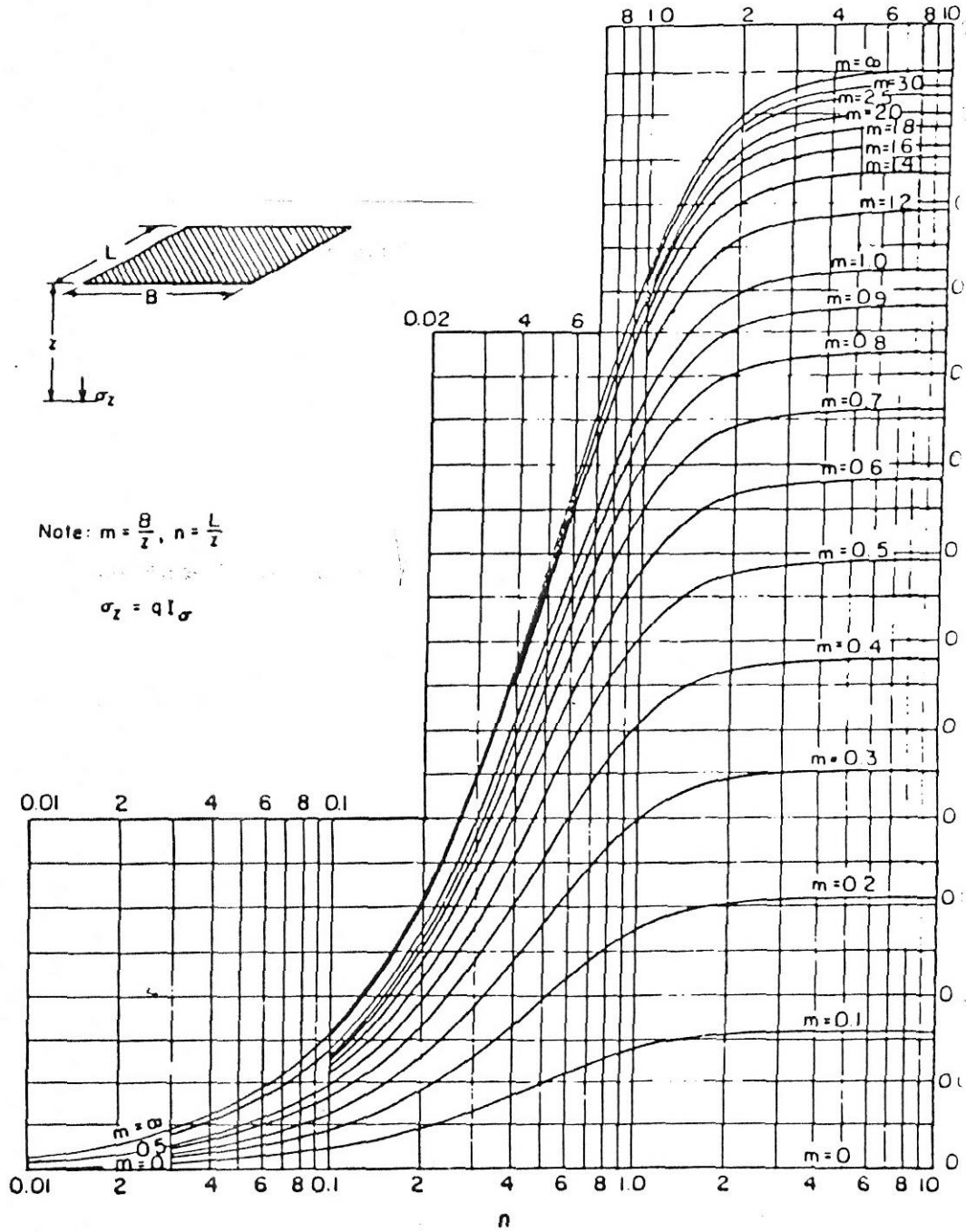
$$\text{Esfuerzo } r = \left( \frac{P}{2} \pi R^2 \right) \left( -3 \cos \theta \sin^2 \theta + \left( \frac{1-2u}{1+\cos \theta} \right) \right) \quad (\text{esfuerzo radial})$$

$$\text{Esfuerzo } t = \left( P / 2 \pi R^2 \right) (1-2u) (\cos \theta - (1/1+\cos \theta))$$

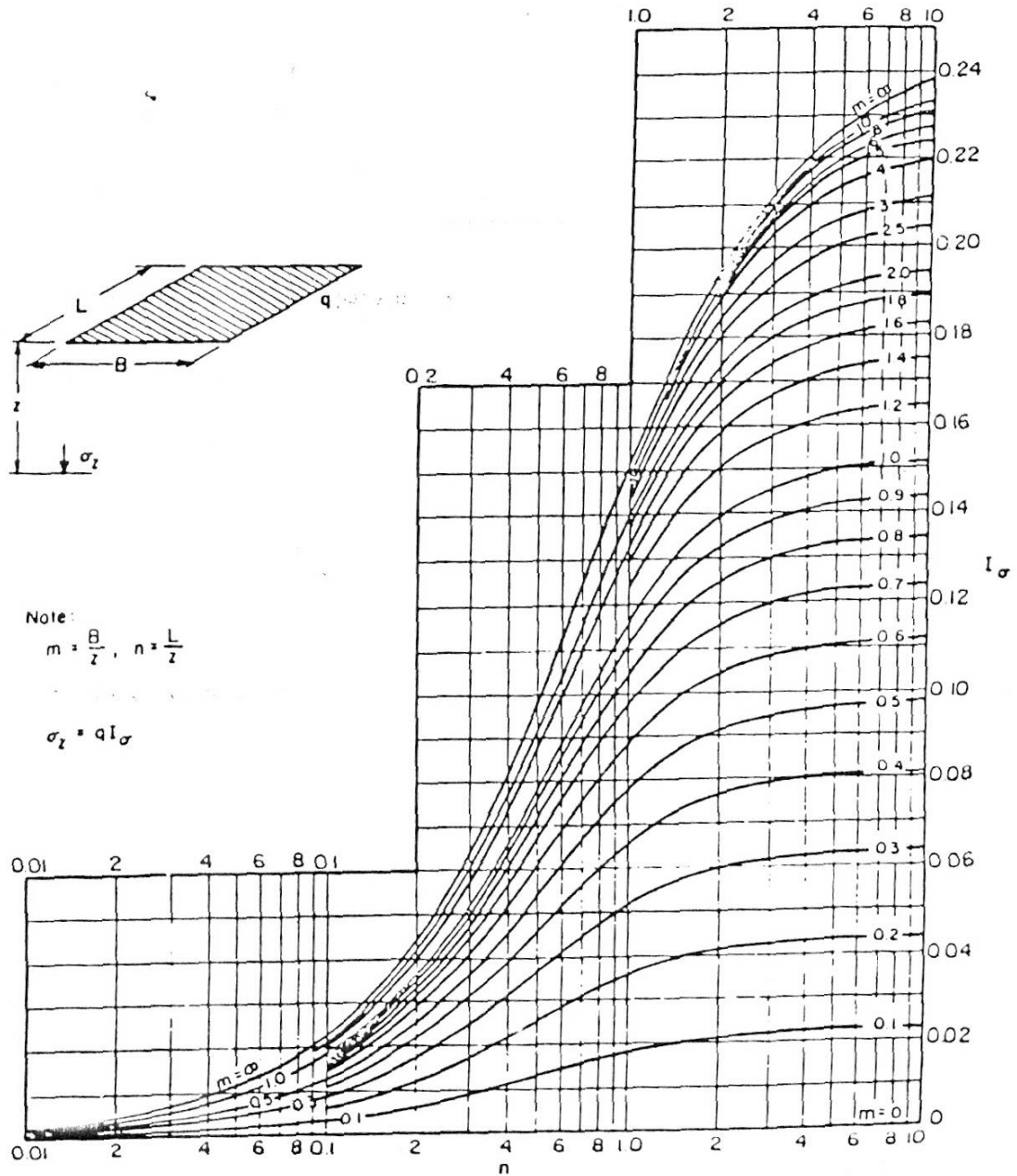
$$t = \left( 3P / 2 \pi R^2 \right) (\cos^2 \theta) (\sin \theta) \quad (\text{esfuerzo cortante})$$

Las ecuaciones de Boussinesq se han usado ampliamente para obtener los esfuerzos en un estrato, debidos a una carga en la superficie. Se han hecho numerosas modificaciones para aplicarlas a estratos de profundidad finita, a depósitos estratificados y a cargas aplicadas a una profundidad por debajo de la superficie de la masa de suelo. Las soluciones de Boussinesq se han presentado en forma de tablas (Newmarks, 1942), curvas (Fadum, 1948) y bulbos de presión (Bowles).

**DIAGRAMA 2: "TM 5-818-1" (BOUSSINESQ)**  
**Factor de influencia Iv para el incremento vertical de estrés para una carga uniformemente distribuida en un área rectangular.**



**DIAGRAMA 3: "TM 5-818-1" (WESTERGAARD)**  
**Factor de influencia  $I_v$  para el incremento vertical de estrés para una carga uniformemente distribuida en un área rectangular.**



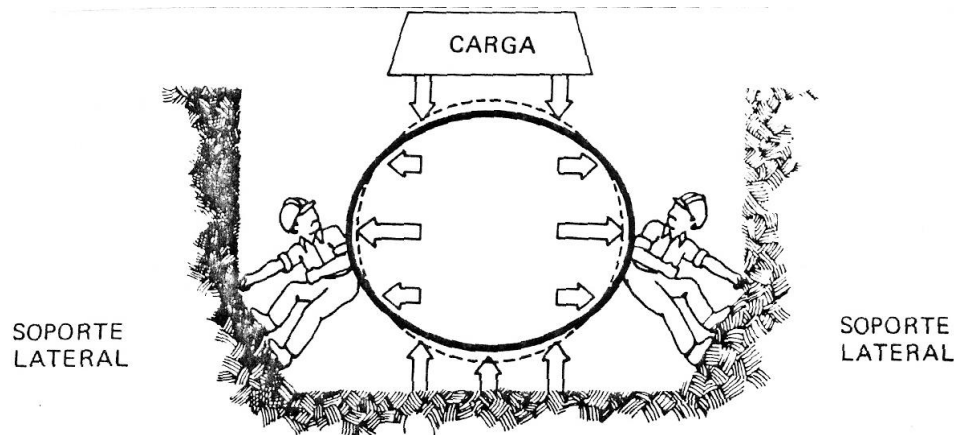
**CARGAS EXTERNAS Y CÁLCULO DE DEFLEXIONES:** Las cargas externas que actúan sobre un tubo enterrado consisten en:

- Cargas muertas, provenientes del relleno de la zanja en los alrededores del tubo y sobre el mismo.
- Cargas vivas, provenientes del tránsito, que son transmitidas a través del material de relleno sobre el tubo.

La teoría conocida y mejor desarrollada a la fecha para el cálculo de cargas externas y deflexiones en tuberías flexibles, es la desarrollada por el Dr. Anson Marston y el Dr. M.G. Sangler, ambos de la Universidad Estatal de Iowa, en Estados Unidos. El trabajo original del Dr. Marston fue sobre tuberías rígidas o sea aquellas que no permiten deformaciones mayores del 1% de su diámetro. Spangler sugirió las modificaciones correspondientes para el cálculo de cargas y deflexiones de tuberías flexibles como las de P.V.C. que permiten deflexiones hasta de un 30% sin llegar a fracturarse. Esta teoría es ampliamente utilizada hoy día y es la recomendada por las instituciones normativas como ASTM y AWWA.

**2. CÁLCULO DE CARGAS MUERTAS.** Cuando el tubo es rígido y el relleno susceptible a compactación, el mismo soporta prácticamente toda la carga aplicada por el material de relleno. En contraste, un tubo flexible compartirá la carga con el material de relleno ubicado en los lados del tubo, como se muestra en la figura 4.

**FIGURA 4**  
**UN TUBO FLEXIBLE COMPARTE LA CARGA CON EL MATERIAL DE RELLENO UBICADO EN LOS LADOS DEL TUBO**



En la teoría anteriormente descrita, la carga muerta se calcula por la fórmula:

$$W_m = C_d * W * B_c * B_d \quad \text{Fórmula 7}$$

**DONDE:**

**Wm** = Carga muerta producida por el relleno en Kg/m

**Cd** = Coeficiente de carga que depende de las condiciones de encamado y del material de relleno.

**W** = Peso volumétrico del material de relleno, kg/m<sup>3</sup>.

**Bd** = Ancho de la zanja en la parte superior del tubo, m.

**Bc** = Diámetro exterior del tubo, m.

El coeficiente de carga Cd, toma en consideración la geometría de la zanja, particularmente su profundidad respecto del ancho, así como las fuerzas cortantes que soportan parcialmente el material de relleno. Este coeficiente está dado por la extensión:  $\frac{-2KuH}{Bd}$

$$Cd = \frac{1-e}{2K^u} \quad \text{Fórmula 8}$$

**DONDE:**

**H** = Profundidad de la zanja, medida en metros desde la superficie.

**K** = Relación de Rankine, de presión lateral a presión vertical.

**U** = Coeficiente de fricción entre material de relleno y las paredes de la zanja.

**e** = Base de los logaritmos naturales.

El valor de la razón de Rankine se calcula por la ecuación:

$$K = \frac{(u^2 + 1)^{\frac{1}{2}} - u}{(u^2 + 1)^{\frac{1}{2}} + u} = \frac{1 - \text{sen}\theta}{1 + \text{sen}\theta} \quad \text{Fórmula 9}$$

**DONDE:**

**u** = tg  $\theta$  = coeficiente de fricción interna del material de relleno.

Por cuanto estas fórmulas no son fáciles de manejar, en las Fórmulas 8 y 9 se presentan los valores de Cd en función de H/B para cinco materiales de relleno diferentes,

- 1) granulados sin cohesión
- 2) arena y grava
- 3) capa saturada superior del suelo
- 4) arcilla
- 5) arcilla saturada

De la observación de la Fórmula 7, se deduce la importancia de construir el ancho de las zanjas con una dimensión mínima, ya que la carga sobre el tubo se incrementa proporcionalmente con el ancho de la zanja.

**DIAGRAMA 4: "COEFICIENTE DE CD"**

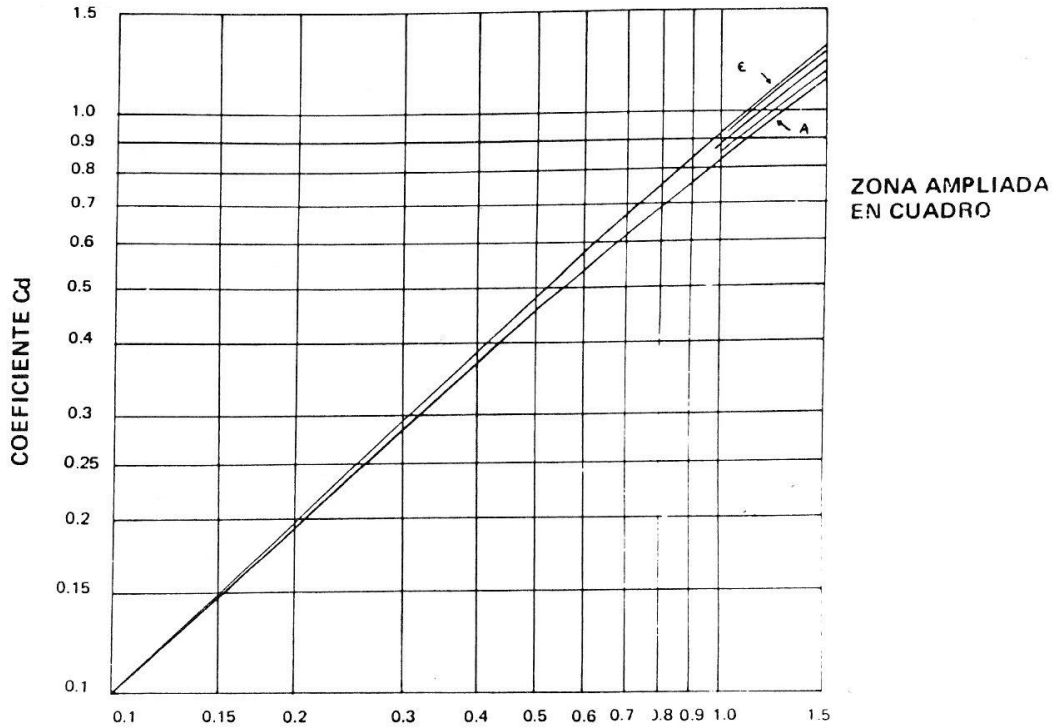
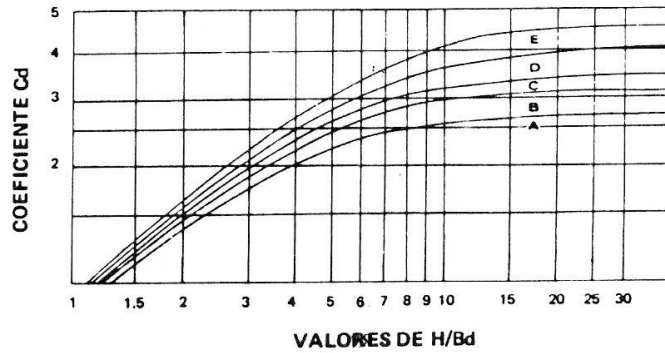


DIAGRAMA DE CALCULO PARA CARGAS DE TIERRA EN TUBERIAS EN ZANJAS.

- A =  $C_d$  por  $K/\mu$  y  $K/\mu' = 0.1924$  para materiales granulados sin cohesión.
- B =  $C_d$  para  $K/\mu$  y  $K/\mu' = 0.165$  máximo para arena y grava.

- C =  $C_d$  para  $K/\mu$  y  $K/\mu' = 0.150$  máximo para la capa superior de suelo saturada.
- D =  $C_d$  para  $K/\mu$  y  $K/\mu' = 0.130$  ordinario máximo para arcilla.
- E =  $C_d$  para  $K/\mu$  y  $K/\mu' = 0.110$  máximo para arcilla saturada.



### DIAGRAMA DE CÁLCULO PARA CARGAS DE TIERRA EN TUBERÍAS EN ZANJAS.

- A = Cd para K u y Ku' = 0.1924 para materiales granulados sin cohesión.  
 B = Cd para K u y Ku' = 0.165 máximo para arena y grava.  
 C = Cd para K u y Ku' = 0.150 máximo para la capa superior de suelo saturado.  
 D = Cd para K u y Ku' = 0.130 ordinario máximo para arcilla.  
 E = Cd para K u y Ku' = 0.110 máximo para arcilla saturada.

**3. CÁLCULO DE CARGAS VIVAS.** AWWA recomienda (AWWA C-101-67) que la carga viva se calcule al utilizar la carga AASHO H-20 que se presenta en el diagrama 5. Este diagrama está basado en dos camiones con ruedas adyacentes separadas 0.90 m, con una carga por rueda de 4090 Kg. con un factor de impacto del 50%, aplicada en calles con pavimentos flexibles o en calles sin pavimentar. Esta tabla se ha calculado al utilizar la fórmula siguiente:

$$W_v = CRPF$$

**DONDE:**

**W<sub>v</sub>** = Factor de carga superficial para calles sin pavimentar o con pavimentos flexibles. (Tabla 1-12, AWWA C-101-67)

**R** = Factor de reducción de carga (Tabla 1-13 AWWA C-101-67)

**P** = Carga por rueda, = 4090 Kg.

**F** = Factor de impacto, función de la profundidad.

**TABLA 2: "Cargas Vivas"**

Diámetro MM	PROFUNDIDAD (H) m							
	CARGAS VIVAS EN KGR / M LINEAL							
	0.76	1.06	1.52	2.44	3.66	4.88	6.10	7.32
75	242	121	81	60	40	21	13	10
100	443	242	121	81	60	40	27	21
150	845	483	282	140	101	60	39	30
200	1167	725	443	221	140	81	54	42
250	1449	926	564	282	161	101	67	52
300	1731	1127	684	362	182	121	79	61
350	1814	1203	805	403	201	140	92	72
400	1949	1311	880	483	242	182	121	92

Esta tabla ha sido calculada bajo las siguientes condiciones: Bd = (D -- 0,60) m, w = 1930 Kg/m<sup>3</sup>, Ku = 0,1924, Ku' = 0,13.

**4. CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN.** La deflexión vertical se calcula mediante la fórmula de Spangler para tubos flexibles:

$$Y_v = \frac{De * K * W_m + K * W_v}{\frac{2E}{3(R-1)^3} + 0.061E'}$$

**DONDE:**

**Y<sub>v</sub>** = Deflexión del diámetro en centímetros.

**De** = Factor de deformación a largo plazo, igual a 1.5 para tubos plásticos.

**K** = Constante de encamado.

**W<sub>m</sub>** = Carga muerta, Kg. / m lineal.

**W<sub>v</sub>** = Carga viva, Kg. / m lineal

**E** = Módulo de elasticidad del material del tubo, Kg. / cm<sup>2</sup>.

**R** = Razón de dimensiones

**E'** = módulo de reacción del suelo, Kg. / cm<sup>2</sup>.

Este valor de Y<sub>v</sub> corresponde a la máxima deformación transversal que puede darse en el tubo cuando el mismo está vacío, o condición crítica, ya que cuando hay presión interna ésta actúa en sentido contrario a la de las cargas muertas y vivas.

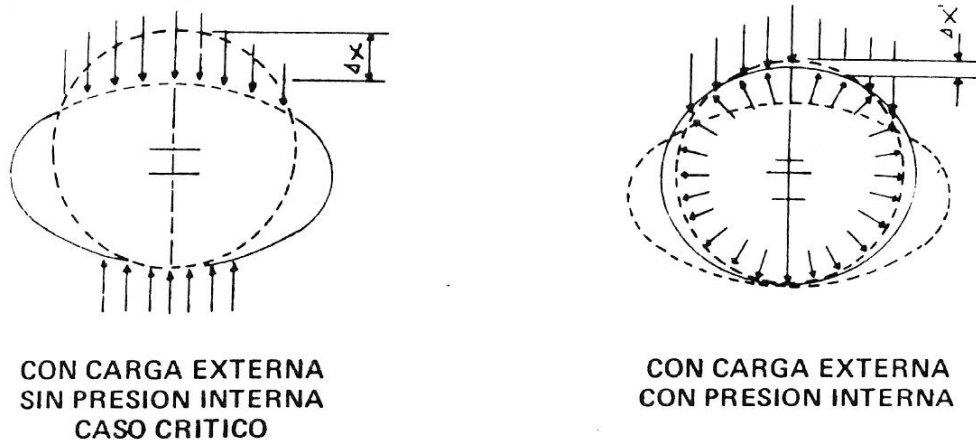
La deformación máxima permisible (AWWA C-101-67) es del 5%, o sea que:

$$Y_v / D_i \quad x \quad 100 < 5$$

**DONDE:**

**D<sub>i</sub>** = Diámetro interior del tubo en centímetros.

**FIGURA 5**



Se recomiendan los siguientes valores en cálculo de la deflexión vertical:

A. **De** = 1.5, lo que implica que la deformación final a largo plazo ocasionada por la carga muerta podría llegar a ser vez y media la deformación inicial.

B. **K**, coeficiente de encamado, depende del ángulo de contacto del tubo con el lecho de la zanja.

MATERIAL DE ENCAMADO: En la siguiente tabla se dan los valores de K en función del ángulo.

**TABLA 3: “Valores de K”**

( $\alpha$ )	K
0	0.110
15	0.108
22.5	0.105
30	0.102
45	0.096
60	0.090
90	0.083

Por cuanto el ángulo varía de un punto a otro en la zanja, se recomienda como valor de diseño el uso de un valor igual a 0.10.

C. **E'**, módulo de reacción del suelo. Este valor depende básicamente de las propiedades del material de relleno. Se han encontrado valores que varían desde 16 Kg. / cm<sup>2</sup> hasta 540 Kg. / cm<sup>2</sup> en materiales de relleno compuestos por piedra quebrada compactada al 100% de densidad Proctor.

Si este valor depende fundamentalmente del grado de compactación, se recomiendan los siguientes valores:

**TABLA 4 : “Grado de Compactación”**

Grado de compactación	E', kg / cm <sup>2</sup>
Muy bueno	50
Mediano	35
Malo	20
Sin compactación	15

**Ejemplo 1:** Calcular las deformaciones que se producen en un tubo de alcantarillado sanitario de 200 mm de diámetro, SDR-35, colocado en una zanja de 0.60 m de ancho sobre el tubo, y a una profundidad de 1.00 m de la corona del tubo a la superficie del terreno.

$$W = 1765 \text{ kg/m}^3$$

**Solución:**

A. Carga muerta

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Bc} &= 0.200 \text{ mm} \\
 \mathbf{Bd} &= 0.600 \text{ mts.} \\
 \mathbf{H/Bd} &= 1/0.6 = 1.66 \\
 \mathbf{Cd} \text{ (Diagrama 6)} &= 1.35 \\
 \mathbf{Wm} &= \mathbf{Cd} * \mathbf{W} * \mathbf{Bc} * \mathbf{Bd} \\
 \mathbf{Wm} &= 1.35 * 1765 * 0.2 * 0.6 \\
 \mathbf{Wm} &= 351,59 \text{ Kg. / m} = 3.52 \text{ Kg./ cm}
 \end{aligned}$$

B. Carga viva  
 $\mathbf{H} = 1.0 \text{ m}$   
 $\mathbf{Wv}$  (de diagrama 5) = 725 Kg. / m = 7.25 Kg. / cm

C. Cálculo de la deflexión

$$Y_v = \frac{De * K * Wm + K * Wv}{\frac{2E}{3(R-1)^3} + 0.061E'}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{De} &= 1.5 \\
 \mathbf{Wv} &= 7.25 \\
 \mathbf{K} &= 0.10 \\
 \mathbf{E} &= 2.81 * 10.4 \text{ Kg. / cm}^2 \\
 \mathbf{Wm} &= 3.52 \text{ Kg. / cm} \\
 \mathbf{R} &= 8.40 / 0.24 = 35 \text{ (grado de compactación)}
 \end{aligned}$$

Sustituyendo datos

$$Y_v \text{ _____} = \frac{1,253}{0.4766 + 0.061 E'}$$

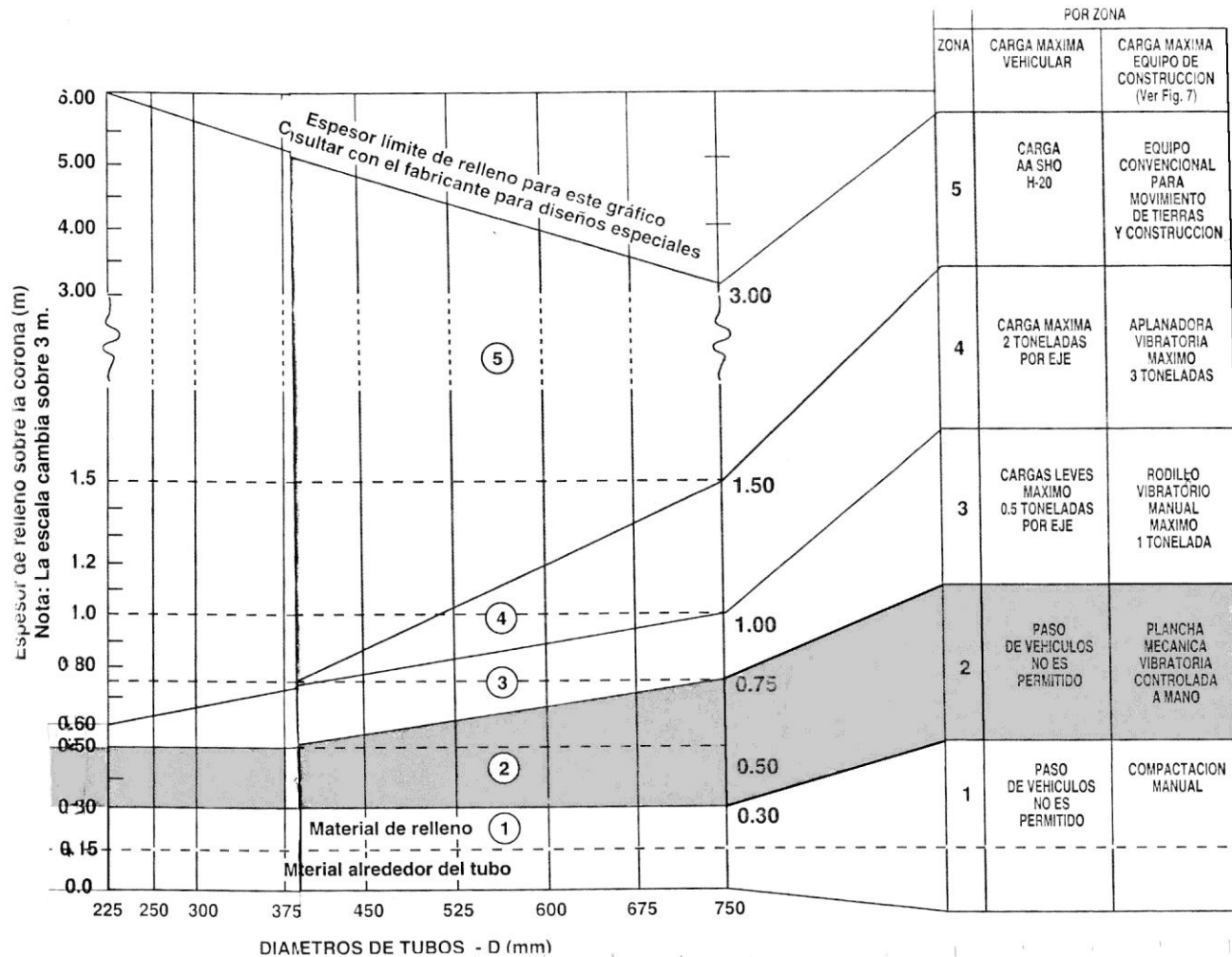
Resultados:

$\mathbf{E'}$ (Kg. / cm <sup>2</sup> )	$\mathbf{Yv}$ (cm)	% def.
50	0.36	1.77
28	0.57	2.85
10	1.15	5.73

No es recomendable colocar esta tubería en suelos sin compactar.

- A menor valor de  $E'$  mayor deflexión para  $E' = 50$ ; muy buena compactación no hay deflexión (1.77%) pero si no se compacta el terreno,  $E' = 10\%$  def. = 5.73%.

5. **DIAGRAMA 5: “ PARA CÁLCULO DE RELLENO MÍNIMO ”**

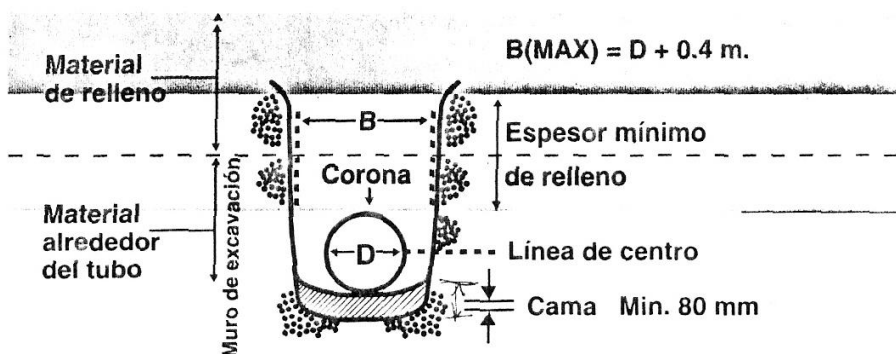


## 6. TABLA 5: “CÁLCULO DE RELLENO MÁXIMO”

Módulo de Rigidez kg/cm <sup>2</sup>	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
1	1.75	----	----	----	----	----	1.05	0.92	----	----	----	----	----	----	----
2	2.19	1.72	1.45	1.29	1.19	1.12	1.48	1.36	1.27	1.20	1.15	1.11	1.07	----	----
3	2.61	2.14	1.87	1.71	1.61	1.54	1.90	1.78	1.69	1.62	1.57	1.53	1.50	1.47	1.45
4	3.02	2.55	2.28	2.12	2.02	1.96	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.94	1.91	1.89	1.87
5	3.41	2.94	2.68	2.52	2.42	2.36	2.71	2.59	2.50	2.43	2.38	2.34	2.31	2.29	2.27
6	3.79	3.33	3.07	2.91	2.81	2.75	3.09	2.97	2.89	2.82	2.77	2.73	2.71	2.68	2.66
7	4.17	3.71	3.45	3.29	3.19	3.13	3.47	3.35	3.26	3.20	3.15	3.11	3.08	3.06	3.04
8	4.53	4.07	3.81	3.66	3.56	3.50	3.84	3.72	3.63	3.57	3.52	3.48	3.45	3.43	3.41
9	4.89	4.43	4.17	4.02	3.92	3.86	4.19	4.07	3.99	3.93	3.88	3.84	3.81	3.79	3.77
10	5.23	4.78	4.52	4.37	4.27	4.21	4.54	4.42	4.34	4.27	4.23	4.19	4.16	4.14	4.12
11	5.57	5.11	4.86	4.71	4.61	4.55	4.88	4.76	4.68	4.61	4.57	4.53	4.50	4.48	4.46
12	5.90	5.44	5.19	5.04	4.94	4.88	5.21	5.09	5.01	4.95	4.90	4.86	4.83	4.81	4.80
13	6.22	5.77	5.51	5.36	5.26	5.20	5.53	5.41	5.33	5.27	5.22	5.19	4.90	4.81	4.80
15	6.84	6.39	6.13	5.98	5.89	5.82	6.15	6.04	5.95	5.89	5.84	5.81	5.78	5.76	5.74
20	8.27	8.82	7.56	7.41	7.31	7.25	7.58	7.46	7.38	7.32	7.27	7.24	7.21	7.19	7.17
25	9.55	9.09	8.83	8.68	8.58	8.52	8.85	8.74	8.65	8.59	8.54	8.51	8.48	8.46	8.44
30	10.70	10.23	9.98	9.82	9.72	9.66	10.00	9.88	9.79	9.73	9.68	9.64	9.61	9.59	9.57

**Para módulos mayores a 30 kg / cm<sup>2</sup>, consultar con el fabricante.**

## 7. DIAGRAMA 6: “CÁLCULO DE ANCHO DE ZANJA”



- A. Para pared de zanja con modulo de rigidez mayor a  $30 \text{ Kg. / cm}^2$ .  $B = D + 0.40 \text{ mts}$
- B. Para pared de zanja con modulo de rigidez menor a  $30 \text{ Kg. / cm}^2$ .  $B = 2D$

## C. MATERIAL DE RELLENO Y MAQUINARIA PARA COMPACTACIÓN

**1. MATERIAL QUE RODEA AL TUBO.** Este consiste en el encamado de al menos 8 cm. hasta un espesor de 15 cm. por encima de la corona.

Este recubrimiento debe ser hecho de materiales sin plasticidad, libres de materia orgánica tales como el lastre gris ( tipo SM, clasificación ASTM 2487), las arenas de río limpias, o bien algún agregado tal como polvo de piedra limpio o quintilla, cuartilla, material de chorro, etc.

El lastre gris y las arenas deben ser sometidos a golpes con compactadoras manuales, mientras que los agregados no requieren de esta energía.

En cualquier caso, no se recomienda la sobrecompactación del encamado.

Para compactar las primeras capas después de la cama, se recomienda hacerlo manualmente, mediante un pizón, en capas de 30 cm, hasta lograr un grado de 90% de compactación Proctor.

Después de 30 cm arriba de la corona del tubo, utilizar maquinaria de compactación de acuerdo a la siguiente tabla:

**TABLA 6: “Equipo de Compactación”****Equipo De Compactación y Aplicaciones De La Compactación Del Suelo**

Grupo Del Suelo	Tipo De Suelo	Grado De Compactación	Rellenos Superficiales y Rellenos Posteriores						Fundaciones Profundas		
			Equipo Típico De Compactación	No. De Pasadas o Cubrimientos	Espesor Capa Por Compactar	w de Colocación %	Seco m <sup>2</sup>	Control De Terreno	Método De Compactación	Control De Terreno	
Permeable o De Fácil Drenaje	GW GP SW SP	Compactado	95 a 105 por ciento del ensayo de compactación estándar o 75 a 85 por ciento de Dr	Rodillo de ruedas de acero o compactador vibratorio	Según se requiera	Según se requiera	Saturada por inundación	17 - 21	Ensayos de densidad en terreno en ubicaciones al azar.	Ninguno disponible excepto cerca de la superficie como es indicado a la izquierda	Muestras no perturbadas de sondeos o excavaciones a cielo abierto; SPT antes y después de la compactación.
			Rodillo neumático	2 - 5	300 mm						
	Tractor de orugas	2 - 5	200								
	Semi-Compactado	90 a 95 por ciento del ensayo de compactación estándar o 60 a 70 por ciento de Dr	Pisones manuales (masa > 45 Kg.)	Según se requiera	< 150						
		Rodillo neumático	2 - 5	350	Saturada por inundación	16 - 20	Ensayos de densidad en terreno en ubicaciones al azar.	Vibroflotación, pilotes de compactación, pilotes de arena, explosivos y métodos de superficie			
	Tractor de orugas	1 - 5	250								
	Pisones manuales	1 - 5	< 250								
	Semi-Compactado	95 a 105 por ciento del ensayo de compactación estándar.	Tráfico controlado del equipo de construcción	Según se requiera							
			Tráfico controlado del equipo de construcción	Según se requiera							
Semipermeable a Impermeable	GM GC SM	Compactado	95 a 105 por ciento del ensayo de compactación estándar.	Rodillo neumático	2 - 5	200	COH basado en ensayo de compactación de laboratorio	16 - 20	Ensayos de densidad en terreno en ubicaciones al azar para determinar CR.	Rellenos de precarga. Descenso del nivel freático. Se aplica la teoría general de la consolidación.	
			Rodillo pata de cabra	4 - 8	150						
			Pisones manuales	Según se requiera	< 100						
	SC ML CL OL MH CH OH	Semi-Compactado	90 a 95 por ciento del ensayo de compactación estándar.	Rodillo neumático	2 - 4	250		14 - 19			
	Rodillo pata de cabra		4 - 8	200							
	Tractor de orugas	2 - 4	150								
	Pisones manuales	Según se requiera	< 150								
	Tráfico controlado del equipo de construcción	Según se requiera	< 200								

Notas: 1. Rodillos neumáticos con presiones en los neumáticos de 550 a 700 kPa.

2. Rodillos pata de cabra con presiones en la pata de 1,700 a 3,500 kPa.

3. Tractores oruga que pesan más de 85 kN y presiones en la oruga mayores a 45 kPa.

4. La pasada es realizada con el rodillo pata de cabra; el cubrimiento es realizado con rodillos neumáticos, rodillos de rueda de acero y tractores oruga. El cubrimiento incluye 100 por ciento de la superficie, mientras que puede ser obtenida una compactación suficiente con 3 a 5 pasadas que comprenden sólo 45 a 50 por ciento del área superficial.

## V. PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN

### A. ZANJADO O EXCAVACIÓN.

Se efectúa normalmente manual, con maquinaria (retroexcavador), o un tractor con equipo especial. El fondo de la zanja así formado, generalmente no es uniforme, y es necesario la mano de obra para alcanzar la pendiente final y para preparar el asiento del tubo. La tierra excavada debe mantenerse cuando menos 2 pies atrás de la orilla de la zanja, donde el suelo sea inestable. Debe colocarse un tablestacado, aun si la zanja tiene sólo 4 pies de profundidad. En zanjas más profundas es necesario proporcionar un tablestacado completo, que consiste de planchas verticales a intervalos de 3 ó 4 pies con refuerzos transversales. Se deben tomar todas las precauciones necesarias para asegurar la salud de los obreros, y éstas deben ser parte del contrato y de las especificaciones.

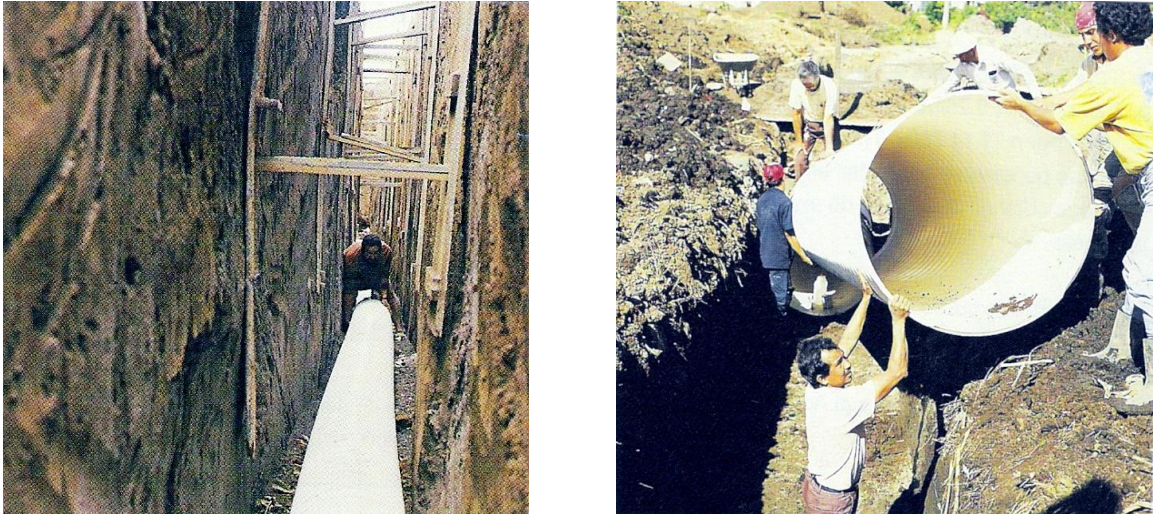
**1. CIMENTACIONES.** Es necesaria una cimentación apropiada para el tubo de la alcantarilla, ya que éste debe tenderse con una pendiente precisa y debe mantenerla. En tierra firme, el fondo de la zanja puede ser modelado para recibir al tubo. Si existe roca, ésta debe removerse a una profundidad de 4 a 6 pulg. abajo del fondo del tubo, y debe colocarse un relleno de tierra buena, arena o grava fina. Cuando el suelo es muy suave, puede estabilizarse con un lecho compactado de grava o piedra quebrada, o una cuña de concreto. Sea cual fuera el método utilizado, la cimentación debe proporcionar un apoyo firme que sostendrá indefinidamente a la alcantarilla con la pendiente apropiada.

**2. ELIMINACIÓN DEL AGUA.** Frecuentemente las zanjas se inundan. Al tenderse la alcantarilla hacia arriba partiendo de la parte más baja de la línea, se permite que el agua fluya a través de la porción terminada de la línea. Se pueden utilizar bombas centrífugas movidas por motores de gasolina para desecar la zanja, en cuyo caso la práctica usual es excavar un pequeño pozo de recogida y concentrar el agua para un bombeo más efectivo. Si el material con el que se va a trabajar es muy fangoso, es más efectiva una bomba de diafragma. Para juntas muy mojadas, se utilizan puntal coladoras o puntas de pozos, o se construye abajo de la alcantarilla un drenaje con juntas abiertas y acolchonado en grava para eliminar el agua. Este drenaje puede descargar una salida libre; si esto no es posible, la descarga debe ser hacia un pozo de recogida para eliminar el agua mediante bombeo.

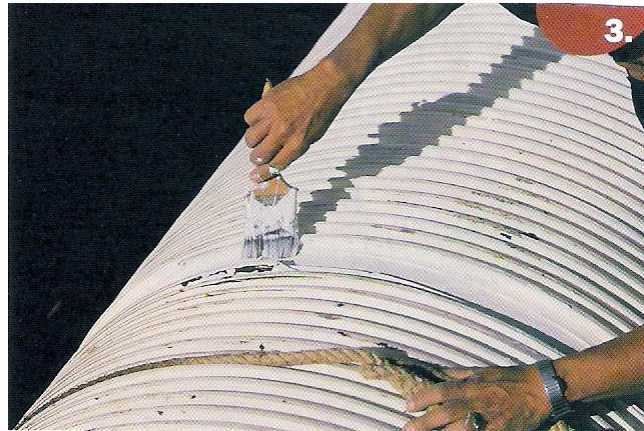
## B. COLOCACIÓN DEL TUBO Y PEGA DE JUNTAS

El tubo debe colocarse sobre la loma o piso de zanja según sea el caso; no se le deben poner cuñas laterales.

### LA PEGA O ENSAMBLADO DE JUNTA RÁPIDA:



Untan de pegamento especial el macho del tubo, luego introducirlo, rellenar con pegamento y esperar 30 minutos para iniciar la introducción del material de relleno. O bien colocar el empaque adecuadamente si el sistema fuese el de junta rápida.

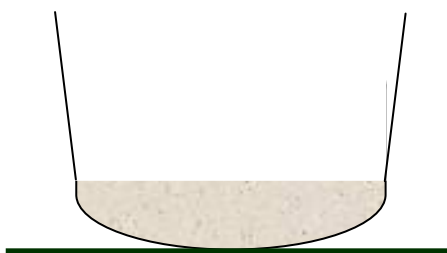


## C. SECUENCIA DE RELLENO

**1.** El *material alrededor del tubo*, como se describió antes, debe estar limpio y con la humedad adecuada.

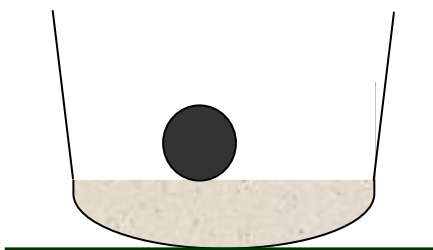
**2.** Se forma la “cama” con un espesor mínimo de 80 mm., y luego se coloca más material, de este nivel hasta  $\frac{1}{4}$  del diámetro. Con el compactador manual se le da la forma debida (Figura 7).

**FIGURA 6**



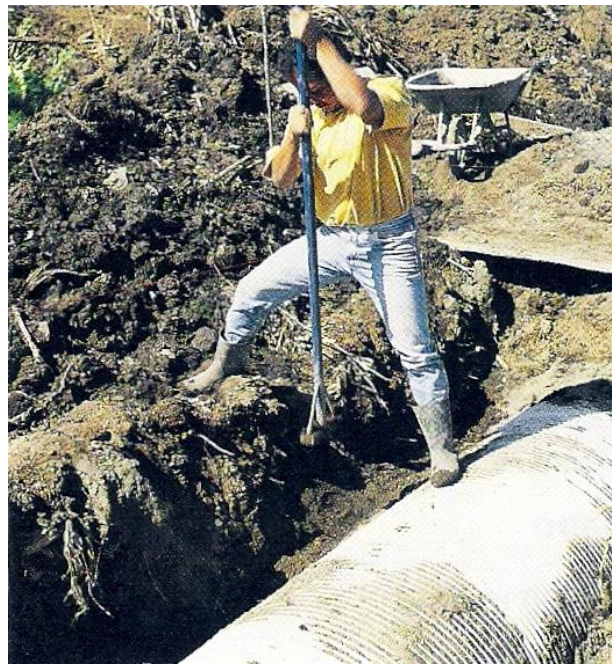
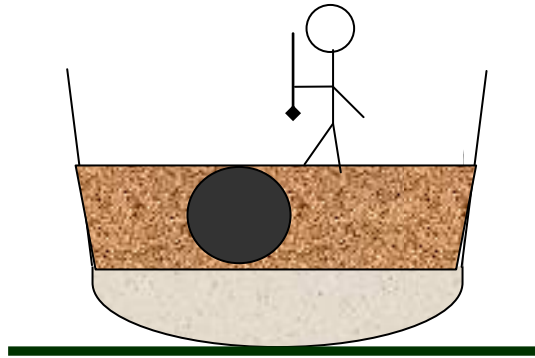
**3.** Colóquese la tubería en el centro de la zanja, comenzando aguas abajo (Figura 8).

**FIGURA 7**



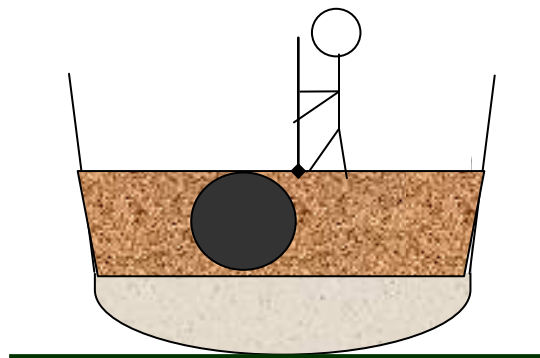
**4.** Si se usa material sólido, colóquense capas no mayores a 15 cm. y compáctense con el compactador manual (Figura 9). Si se usa arena de mar o de río, viértase ésta hasta la corona del tubo y desde aquí se compacta manualmente. Con el lastre gris (tipo SM) llévase a una lectura del penetrómetro de 100 a 200 psi.

**FIGURA 8**



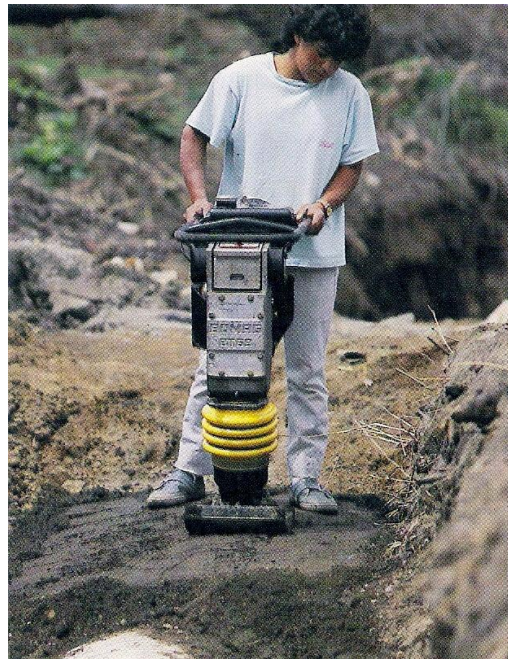
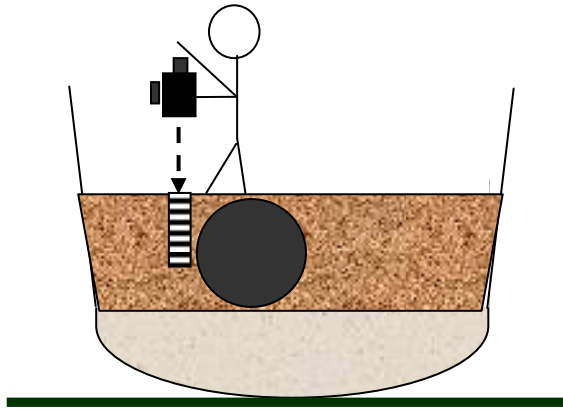
5. Continúese la colocación del material hasta unos 10 a 15 cm., sobre la corona del tubo, con compactación manual (Figura 10).

**FIGURA 9**



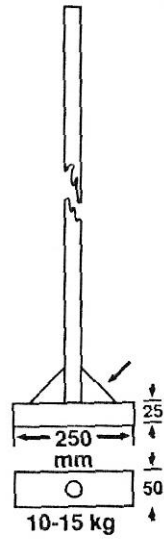
6. Colóquese una capa de 10 cm., del material de excavación limpio y compáctese con un brincón (Figura 11) a lo largo de la instalación y a los lados de la tubería. Esto permitirá una deformación positiva que será de 3%, preferiblemente. Las lecturas del penetrómetro en materiales cohesivos deberán ser de 75 a 100 psi. La deformación máxima negativa sugerida al finalizar la instalación será del 5% de diámetro interno.

**FIGURA 10**



**DIAGRAMA 7: “EJEMPLOS DE EQUIPO PARA CONSTRUCCIÓN”**

**Compactador  
Metálico Manual  
tubo de HG 1"**



**EJEMPLOS DE EQUIPO  
PARA CONSTRUCCION**



Plancha vibratoria  
manual e.g. Ingersoll  
Rand VX6



Rodillo vibratorio  
manual e.g. Ingersoll  
Rand  
SX-17 (.85 toneladas).



Aplanadora vibratoria  
de 3 toneladas e.g.  
Vibrol 28W o Vibrol  
32R.



Bulldozer  
convencional,  
Mototralla, "Pata de  
cabro", etc.



## **D. UNIÓN CON TUBOS DE DIFERENTE MATERIAL**

Toda unión del tubo con otro tipo de tubería debe realizarse mediante una caja de ladrillo con tapadera para posteriores inspecciones.



## **E. UNIÓN CON ESTRUCTURAS DE CONCRETO O MAMPOSTERÍA**

La unión con el pozo de visita se hace de la misma forma que con tubo de concreto; ya que el enervado le permite anclar con dicha estructura.



## F. PROTECCIONES AL TUBO

Si hay posibilidades de que dicho drenaje mueva piedras de más de 0.20 cm., debe colocarse una reja protectora al inicio del drenaje.



## VI. PROYECTO

**NOMBRE:** “Alcantarillado Tecpán”

**CONSTRUCTOR:** Constructora Garavito

**INGENIERO:** Francisco Garavito

**FECHA:** Marzo de 1993

**TRAMO EN ANÁLISIS:** Eje No. 2, calle principal de la ciudad de Tecpán

**DISTANCIA:** 1.2 kilómetros

### A. MARCO HISTÓRICO

Este proyecto fue desarrollado por Caminos. El proyecto consiste en la construcción de la carretera desde las ruinas de Iximché, hasta la carretera principal. Aprovechando el paso por la ciudad de Tecpán y por beneficio de los habitantes se decidió ampliar la calle principal y colocarles drenajes pluviales.

Este proyecto fue de mucho beneficio para los habitantes de Tecpán, ya que al entubar las aguas pluviales y construir la carretera, esta ciudad ya no tiene problemas relacionados con lodazales en las calles y aguas estancadas, y le dio una afluencia mayor de turismo.

### B. MEMORIA DE CÁLCULO

**TRAMO:** Puntos de referencia

**DISTANCIA:** Longitud entre puntos de referencia

**ÁREA:** Metros cuadrados de la superficie de pavimento

**TIEMPO CONCENTRACIÓN:** Duración promedio de precipitación en un área.

**COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO:** Propiedad del material del suelo o pavimento.

**PRECIPITACIÓN:** Cantidad de lluvia medida verticalmente en una hora de tiempo.

**CAUDAL:** Determinado por la Fórmula  $Q = \text{área} \times \text{precipitación} \times \text{coeficiente de escurrimiento}$

**VELOCIDAD:** Velocidad del flujo dentro de la tubería

**PENDIENTE:** Diferencia de alturas entre una estación u otra.

**n:** Coeficiente de Manning

**DIÁMETRO:** Diámetro calculado con la Fórmula 4

**DIÁMETRO COMERCIAL:** Diámetro en que se fabrican las tuberías localmente.

**ZANJA:** Profundidad y ancho de excavación

**MAQUINARIA:** Horas extras de maquinaria para la movilización de la tubería en la obra.

**MATERIAL DE RELLENO:** Material selecto, necesario debido a que el material de excavación no es conveniente para utilizarlo como material de relleno.

**MANO DE OBRA:** Avance por día de instalación de tubería en metros. PVC = 100 metros al día y Concreto = 40 metros al día

**TABLA 7: “Datos Del Proyecto”**

**NOMBRE:** PROYECTO HIDROELÉCTRICO SAN JOAQUÍN

**LUGAR:** SAN CRISTÓBAL, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

**ANÁLISIS:** COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE CANAL DE CONCRETO, TUBERÍA DE P.V.C Y CONCRETO

<b><u>TUBERÍA PVC:</u></b>												
Tramo EST.	EST.	Distancia mts.	Caudal mts <sup>3</sup>	Velocidad mts/seg.	Pendiente m/m	PVC n 0.009	Formula 4 Diámetro mts.	Diámetro pulg.	Diámetro Comercial Pulg.	Zanja		
										Ancho mts.	Profundidad mts.	
1	2	67	0.386	1.156	0.001	0.009	0.66	26	26	1.26	1.0	
<b><u>TUBERÍA DE CONCRETO:</u></b>												
Tramo EST.	EST.	Distancia mts.	Caudal mts <sup>3</sup>	Velocidad mts/seg.	Pendiente m/m	Concreto n 0.013	Formula 4 Diámetro mts.	Diámetro pulg.	Diámetro Comercial Pulg.	Zanja		
										Ancho mts.	Profundidad mts.	
1	2	67	0.386	1.146	0.002	0.013	0.66	26.53	30	1.75	1.3	
<b><u>CANAL DE CONCRETO:</u></b>												
Tramo EST.	EST.	Distancia mts.	Caudal mts <sup>3</sup>	Velocidad mts/seg.	Pendiente m/m	Concreto n 0.013	Formula Canal		Área mts <sup>2</sup>	Zanja		
							Ancho mts.	Altura mts.		Ancho mts.	Profundidad mts.	
1	2	67	0.386	0.86	0.001	0.012	1.00	0.4	0.4	1.6	0.8	

**TABLA 7: “Datos Del Proyecto” (continuación)**

NOMBRE: PROYECTO HIDROELÉCTRICO SAN JOAQUÍN

LUGAR: SAN CRISTÓBAL, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

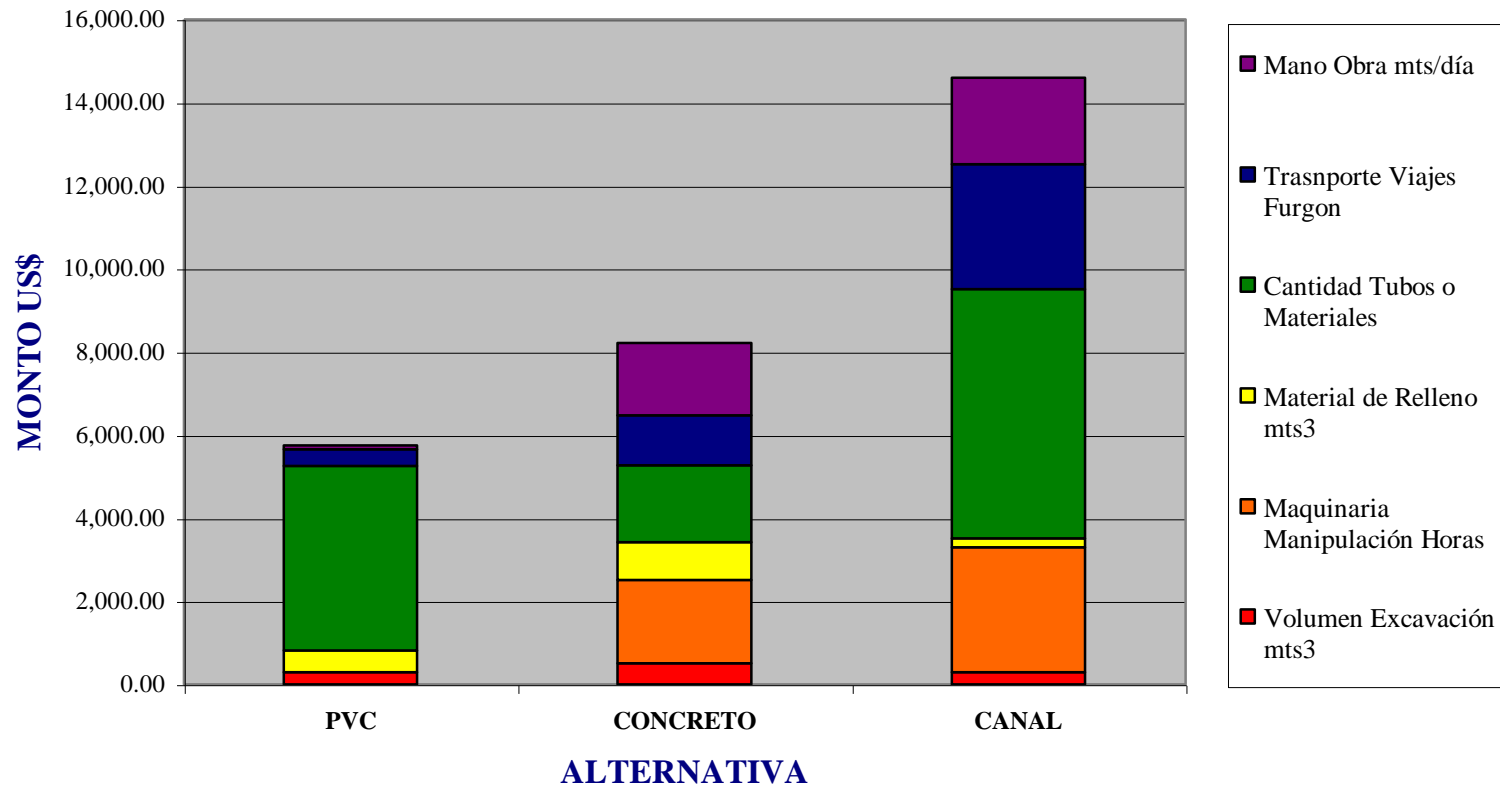
ANÁLISIS: COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE CANAL DE CONCRETO, TUBERÍA DE P.V.C Y CONCRETO

	Volumen Excavación mts <sup>3</sup>	Maquinaria Manipulación Horas	Material de Relleno mts <sup>3</sup>	Cantidad Tubos o Materiales	Transporte Viajes Furgón	Mano Obra mts/día	Total Costo US \$
<b>PVC</b>	84.46	0.00	105.58	11.17	2.00	0.67	
<b>COSTO</b>	3.50	200.00	5.00	396.50	200.00	156.00	
<b>TOTAL</b>	295.61	0.00	527.90	4,428.91	400.00	104.52	5,756.94
<b>CONCRETO</b>	146.56	10.00	183.20	67.00	6.00	11.17	
<b>COSTO</b>	3.50	200.00	5.00	27.56	200.00	156.00	
<b>TOTAL</b>	512.96	2,000.00	916.00	1,846.52	1,200.00	1,742.52	8,218.00
<b>CANAL</b>	85.76	15.00	42.88	1.00	15.00	13.40	
<b>COSTO</b>	3.50	200.00	5.00	6,000.00	200.00	156.00	
<b>TOTAL</b>	300.16	3,000.00	214.40	6,000.00	3,000.00	2,090.40	14,604.96

	<b>COSTO</b>	<b>DIF. %</b>
<b>PVC</b>	5,756.94	
<b>CONCRETO</b>	8,218.00	30%
<b>CANAL</b>	14,604.96	61%

**GRAFICA 1: “CUADRO COMPARATIVO PVC-CONCRETO-CANAL”**

**CUADRO COMPARATIVO PVC-CONCRETO-CANAL**



## **VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De acuerdo con el ejemplo del proyecto San Joaquín, podemos concluir que las tuberías de perfil abierto de P.V.C., en comparación con las de concreto, tienen un costo más alto, pero los ahorros que tienen en cuanto a excavación, material de relleno, maquinaria para manipulación de los tubos de concreto, menor tiempo en uso de maquinaria para excavar y compactar, y menor cantidad de mano de obra, hacen que al final del proyecto no se tenga una diferencia de precio entre usar un material u otro. Pero la ventaja es el tiempo de ejecución de obra, la cual baja al 50% del tiempo normal para colocar tuberías de concreto. Esto en términos financieros es un gran factor.

Como se pudo observar en este trabajo de Graduación, estamos en un mundo que día a día mejora e innova materiales para el uso y beneficio nuestro. Debemos tomar todas estas innovaciones como alternativas para el desarrollo de nuestro país y de nosotros como personas, ya que el avance de nuestro mundo se basa en el sistema de la globalización, se busca cada día producir con menor estructura de precio, sin descuidar la calidad, y de esta forma ser cada día más competitivos.

Sin embargo, hay que recomendar que no todos los materiales nuevos son de buena calidad y, por lo tanto nosotros tenemos que estar actualizándonos. En el momento en el que se nos presente la oportunidad de utilizar un producto de estos, debemos analizar e investigar a fondo, y sobre todo usar nuestro criterio y experiencia para aplicar el mejor método.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Bowles, Joseph E. *Propiedades Geofísicas De Los Suelos*. México: Editorial McGraw-Hill.

Cedes (1993). *Ministerio de Obra Públicas, Transportes y Medio Ambiente*. 13-593-5-005  
Madrid, España.

Empresa Durman Esquivel (1979). *Manual Técnico del P.V.C.* (1ª Edición).

Hardenbergh, W.A. y Rodie, E.B. (1966) *Ingeniería Sanitaria*. México: Compañía Editorial Continental de México.

Streeter, Víctor L. (1963). *Mecánica De Fluidos*. México: Editorial McGraw-Hill Company. 1963.

Tschebotarioff, Gregory P. (1951) *Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures*. McGraw-Hill Book Company.

## IX. ANEXOS

### A. ANEXO 1

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	VALOR	
	P.V.C.	CONCRETO
Peso específico	1.41 gr/cm <sup>3</sup>	
Módulo de elasticidad	30.000 kg/cm <sup>2</sup>	
Coefficiente de dilatación inicial	$8 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
Resistencia a la tracción	500-560 kg/cm <sup>2</sup>	
Alargamiento a la rotura	100-160 por 100	
Resistencia a la flexión	$> 800 \text{ kg/cm}^2$	
Punto de reblandecimiento VICAT	$> 83 \text{ } ^\circ\text{C}$	
Tensión de trabajo	$100 \text{ kg/cm}^2$	
Absorción de agua	$< 1 \text{ mg/cm}^2$	
Resistencia al choque CHARPY (con probeta entallada)	6 - 7 Kg. - cm/cm <sup>2</sup>	
Resistencia de aislamiento a 20 ° C	$> 10^{16} \text{ ohm} \cdot \text{cm}$	
Rigidez dieléctrica sobre placa de 2 mm	25 KV/mm	
Coefficiente de conductibilidad térmica a 20 ° C	$3.65-10^{-4} \text{ Cal / seg} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$	
Dureza Shore D	80 -90	

**B. ANEXO 2**

<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>PESO (Kg.)</b>
300	24	63
400	12	56
500	12	73
600	6.50	50
700	5.50	50
800	6	70
900	5.50	75
1,000	4	78
1,100	3.80	78
1,200	3.50	78
1,300	3	78
1,500	2	75

### C. ANEXO 3

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS			
PRODUCTO	CONCENTRACIÓN	20 °C	60 °C
Aceite De Linaza		**	**
Aceites Minerales (sin aromáticos)		**	**
Aceites Minerales (vehículos)		**	**
Acetato De Butilo	100	----	----
Acetato De Etilo	100	----	----
Alcohol Isopropílico	100	**	0
Aguarrás		**	0
Alcohol Metílico	100	**	*
Asfalto		**	**
Bicarbonato Sódico		**	**
Carbonato Sódico		**	**
Cloroformo	100	----	----
Cloruro De Etilo	100	----	----
Ciclohexano	100	**	*
Detergente Líquido		**	0
Éter Dietílico	100	----	----
2 Etil-hexanol	100	**	0
Gasoil		**	**
Heptano	100	**	**
Hexano	100	**	**
Hidróxido Sódico		**	0
Hiposulfito Sódico		**	**
Ioduro Potásico		**	**
Isooctano	100	**	**
Lanolina		**	**
Lejía		**	(*)
Perborato Sódico		**	**
Sulfato Sódico		**	**
Sulfito Sódico		**	**
Sulfuro Sódico		----	----
Tetracloroetano	100	----	----
Tetracloroetileno	100	----	----
Tetrahidrofurano	100	----	----
Tiosulfato Sódico		**	**

NOTA: \*\* Resistente      \* Bastante Resistente      (\*) Medianamente Resistente  
 ---- No Resistente      0 No Hay Ensayos.

## D. ANEXO 4

Condiciones: Pendientes 0.5%		Calado: 100%	
DIÁMETRO TFPA	CAUDAL DESAGUADO (l / s)	DIÁMETRO CONCRETO (mm)	DIÁMETRO COMERCIAL CONCRETO (mm)
300	97.7	342	400
400	210.5	457	550
500	381.8	571	600
600	620.8	685	750
700	936.5	810	900

## E. ANEXO 5 “EJEMPLO DE PRUEBA DE RIGIDEZ ANULAR”

### Valores nominales

Diámetro exterior = 0.3 m

Espesor = 1.1 mm

Altura Perfil = 7 mm

### Diámetro interiores medidos

Tubo 1: 0.287 m

Tubo 2: 0.287 m

Tubo 3: 0.285 m

Nº DE TUBO	CARGA kN	TIEMPO	LECTURAS $\Delta d_{iv}$ (mm)			VALOR MEDIO $\Delta d_{iv}$	$\Delta d_{iv} / d_{iv}$	$\xi$	$S_R$ (kN / m <sup>2</sup> )
			PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3				
1	0	0						0.1552	7.616
	0.45	10 min.	8.06	7.58	7.67	7.77			
	0.45	24 h	9.54	8.94	9.04	9.17	3.19		
	0	10 min.	1.68	1.43	1.62	1.58			

Nº DE TUBO	CARGA kN	TIEMPO	LECTURAS $\Delta d_{iv}$ (mm)			VALOR MEDIO $\Delta d_{iv}$	$\Delta d_{iv} / d_{iv}$	$\xi$	$S_R$ (kN / m <sup>2</sup> )
			PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3				
2	0	0						0.1549	8.012
	0.45	10 min.	7.20	7.00	7.28	7.16			
	0.45	24 h	8.07	9.21	8.82	8.70	3.03		
	0	10 min.	1.13	1.31	1.18	1.21			

Nº DE TUBO	CARGA kN	TIEMPO	LECTURAS $\Delta d_{iv}$ (mm)			VALOR MEDIO $\Delta d_{iv}$	$\Delta d_{iv} / d_{iv}$	$\xi$	$S_R$ (kN / m <sup>2</sup> )
			PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3				
3	0	0						0.1552	7.683
	0.45	10 min.	7.96	7.39	8.12	7.82			
	0.45	24 h	9.18	8.68	9.42	9.09	3.19		
	0	10 min.	1.42	1.14	1.47	1.34			

**VALOR MEDIO DE  $S_R = 7,770 \text{ Kn/m}^2$**

## **F. ANEXO 6.**

### **1. NORMAS ASTM**

- D 1784 Especificación para compuestos del PVC y el CPVC
- D 2152 Método para la comprobación de la calidad de la extrusión de los perfiles bajo la prueba por inmersión de acetona.
- F 794 (7.4) Prueba del Impacto
- D 2321 Métodos para la Instalación en Campo de Tuberías Flexibles para Flujo por Gravedad.
- D 2487 Clasificación de Suelos para propósitos de Ingeniería
- D 2564 Especificación para la Fabricación de Cementos Solventes del PVC
- D 3034 (Appendix X2) Límites de Deflexión a los 30 días
- D 4495 Requerimientos del Impacto para Perfiles de PVC

### **2. NORMAS DIN**

- DIN 16961 Parte I
- DIN 16961 Parte II

## **G. ANEXO 7**

### **CAPITULO VIII**

#### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LAS TUBERÍAS FLEXIBLES DE PERFIL ABIERTO DE PVC**

##### **(T.F.P.A.PVC)**

#### **800 INTRODUCCIÓN**

Estas especificaciones pretenden enmarcar las características más sobresalientes de estas tuberías, a fin de ofrecer la confiabilidad debida en su uso.

#### **801 NORMAS**

Esta tubería cumple con las normas ASTM D-1784 que establece los requerimientos mínimos para la formulación de los compuestos empleados en la fabricación del tubo; ASTM D-2152, que establece los procedimientos que determinan la calidad del grado de fusión del P.V.C. a través de la prueba de Acetona Anhidra; ASTM f-794 (7.4) para localizar los requerimientos mínimos del impacto y la DIN (Deutsches Institut fur Normung) 16961, parte I y II, que regula las dimensiones y condiciones técnicas de entrega de este tipo de tubería.

#### **802 APLICACIONES**

La Aplicación típica de las Tuberías T.F.P.A.PVC comprende:

- 1) Conducciones de agua en lámina libre como en evacuación de aguas pluviales, drenajes sub-superficiales, saneamientos, encauzamiento de cursos naturales de agua, etc.
- 2) Redes de distribución de sistemas de riego por gravedad, conducción a lamina libre para minicentrales hidroeléctricas, etc.

#### **803 REQUISITOS DE INSTALACIÓN**

A fin de obtener los mejores resultados derivados de las ventajas mecánicas obtenidas con un Tubo Flexible de Perfil Abierto PVC, de acuerdo a los ensayos realizados en el Laboratorio de Materiales de la USAC y la experiencia en otros países, según las normas ya enumeradas, es preciso establecer unas condiciones de instalación del tubo en zanja. Debe recordarse antes de proceder, que toda zanja excavada mayor de 2 mts. de profundidad, debe llevar "entibiamiento" para el bienestar de todos (ver Norma 703, Sección 703-a).

## H. ANEXO 8. “RESULTADO DE ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR EMITIDO POR LA USAC”

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Tels. directos: 763992/3 Planta: 760790/4 Ext. 372 Fax: 005022-76993  
Guatemala C.A.



FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
GUATEMALA

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PUBLICAS

MUNICIPALIDAD DE

O.T. No. 002288

### INFORME TÉCNICO No. 08-92.

INTERESADO: DURMAN ESQUIVEL, Guatemala

ASUNTO: Ensayos de tubos PVC para drenaje, para determinar la rigidez anular, de acuerdo a la Norma DIN 16961.

FECHA: 30 de marzo de 1992.

#### 1.- GENERALIDADES:

1.1.-El interesado ha enviado para su ensayo tres muestras de tubería para drenaje de gran diámetro a base de nervurado transversal de PVC, fabricado a partir de una banda del citado material, y conformado de manera helicoidal hasta obtenerse el tubo, sistema RLB-LOC.

#### 2.- ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR, DIN 16961

##### 2.1.-Descripción de especímenes

Denominación	Diámetro Nominal	Diámetro real promedio	Longitud real	Color	Tipo de Perfil
RL-450	450	454	971.3	Blanco	0811-3560
RL-400	400	400	987.8		
RL-350	350	347	1035.0		

Las dimensiones están indicadas en mm.

##### 2.2.-Procedimiento de ensayo

Se coloca el espécimen en posición horizontal en una superficie lisa. Se colocan tres deflectómetros, uno cerca de cada extremo y uno al centro, sobre un soporte metálico horizontal, con el fin de determinar la deflexión promedio.

La magnitud de la carga se determina de acuerdo a la Norma DIN 16961, 4, 2, 1, considerando que los tubos son serie 1 y para una deflexión anular no mayor del 3%.

## CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, Zona 12

Tels. directos: 763992/3 Planta: 760790/4 Ext. 372 Fax: 005022-76993  
Guatemala C.A.



FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
GUATEMALA

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS

MUNICIPALIDAD DE

Hoja No. 2  
Informe Técnico No. 08-92

Se midió la deflexión antes de la aplicación de carga, se aplicó la carga en forma gradual y uniforme y se midió la deflexión 10 minutos después, se midió a 24 horas de aplicación y se descargó. Se midió la deflexión remanente 10 minutos después de la descarga.

### 2.3.-Resultados:

Denominación	Carga Aplicada	Deflexiones Promedio			$\xi$	Sr 24
		10 min.	24 h.	Descarga 10 min.		
RL-450	0.1666	3.21	3.59	0.43	0.1504	7.19
RL-400	0.1492	1.79	2.07	0.37	0.1498	10.96
RL-350	0.1357	2.42	2.73	0.38	0.1504	7.22

La carga aplicada está en KN.  
Las deflexiones promedio están en mm.  
El valor de Sr 24 está en KN/m<sup>2</sup>.

Todos los especímenes clasifican en serie 1, DIN – 16961, tabla 1.

### 3.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- 3.1.-El ensayo de rigidez anular es muy sensible a la vibración que puedan sufrir los deflectómetros, es un procedimiento sencillo y básico.
- 3.2.-La rigidez resultante es mayor a la mínima indicada en la tabla 1 de la Norma DIN 16961, por lo cual todas las muestras pasan la prueba.

Atentamente,

Ing. Juan Miguel Rubio R.  
Jefe Sección de Estructuras.

Vo. Bo.

Ing. Aníbal Rodas Mazariegos  
Director del C.I.I.