

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
OBJETIVOS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	X
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Consideraciones del drenajes en carreteras.....	1
1.2. Consideraciones hidráulicas.....	2
1.2.1. Corriente de agua.....	2
1.2.2. Gradiente hidráulico.....	3
1.2.3. Diseño hidráulico.....	3
1.2.3.1. El método racional.....	6
1.2.3.1.1 Parámetros de la fórmula racional..	7
1.2.3.2. El método talbot.....	15
1.2.4. Pendiente crítica.....	17
2. ALCANTARILLA DE METAL PLÁSTICO.....	21
2.1. Definición.....	21
2.2. Descripción.....	21
2.3. Materiales.....	22
2.4. Diferencia entre tubería flexible y tubería rígida.....	25
2.5. Diseño estructural.....	28

2.5.1	Propiedades de la sección de la tubería.....	28
2.5.2.	Propiedades del material.....	29
2.5.3.	Condiciones para la instalación y factores del suelo.....	30
2.5.3.1.	Dimensiones de la envoltura de relleno.....	30
2.5.3.2.	Material y compactación.....	32
2.5.4.	Colocación de relleno.....	35
2.5.4.1.	Encamado.....	37
2.5.4.2.	Acostillado.....	40
2.5.4.3.	Relleno inicial.....	40
2.5.4.4.	Relleno final.....	40
2.5.5.	Cargas.....	41
2.5.5.1.	Carga viva.....	42
2.5.5.2.	Carga muerta.....	44
2.6.	Límites de profundidad.....	46
2.6.1.	Profundidad mínima.....	47
2.6.2.	Profundidad máxima.....	49
2.7.	Diseño hidráulico.....	51
2.7.1.	Criterios de diseño.....	51
2.7.2.	Coeficiente de rugosidad.....	52
2.7.3.	Velocidades recomendadas.....	53
3.	ALCANTARILLA DE METAL CORRUGADA.....	55
3.1.	Definición.....	55
3.2.	Descripción.....	55
3.3.	Materiales.....	56
3.3.1.	Planchas estructurales.....	56
3.3.2.	Pernos de acero galvanizado.....	56
3.3.3.	Recubrimiento para las alcantarillas.....	56

3.4.	Clasificación de las alcantarillas metálicas.....	58
3.5.	Diseño estructural.....	60
3.5.1.	Teoría del anillo de compresión.....	60
3.5.2.	Cargas.....	64
3.5.2.1.	Carga muerta.....	64
3.5.2.2.	Carga viva.....	65
3.5.3.	Compresión.....	65
3.5.4.	Área de acero.....	66
3.5.5.	Resistencia al manejo e instalación.....	66
3.5.6.	Resistencia de juntas.....	67
3.6.	Recomendaciones para la construcción de plantilla y rellenos.....	70
3.6.1.	Preparación de la base de cimentación.....	70
3.6.2.	Relleno.....	73
3.7.	Diseño hidráulico.....	77
3.7.1.	Criterios de diseño.....	77
3.7.2.	Coeficiente de rugosidad.....	78
3.7.3.	Velocidades recomendadas.....	79
4.	COMPARACIÓN ENTRE ALCANTARILLA DE METAL CORRUGADO Y MATERIAL PLÁSTICO.....	81
4.1.	Diseño hidráulico.....	81
4.1.1.	Diseño hidráulico de alcantarilla de metal.....	81
4.1.2.	Diseño hidráulica de alcantarilla plástica.....	82
4.2.	Costos.....	82
4.2.1.	Costos de alcantarillas de metal.....	82
4.2.2.	Costos de alcantarilla plástica.....	83
4.3.	Comparaciones de los resultados obtenidos.....	84

CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	89
APÉNDICE A.....	91
APÉNDICE B.....	97

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Tiempo de concentración ( $t_c$ ) de cuencas pequeñas	14
2.	Tubería flexible y rígida responde a cargas	27
3.	Interacción de la tubería/relleno	27
4.	Colocación del relleno A	36
5.	Colocación del relleno B	37
6.	El encamado	39
7.	Efectos combinados bajo varias profundidades	42
8.	Carga de prisma	46
9.	Determinación de la velocidad	54
10.	Clasificaciones de la alcantarilla metálica	59
11.	Importancia del soporte lateral	62
12.	Diagrama de compresión en toda la estructura	63
13.	Carga sobre los ejes	68
14.	Gráfica para determinar la carga viva	69
15.	Diferentes tipos de terreno	72
16.	Diferentes tipos de relleno	75
17.	Protección a la alcantarilla	76
18.	Gráfica comparativa entre tubería plástica vrs. metal corrugado	86

## TABLAS

I.	Valores del coeficiente de escorrentía	13
II.	Propiedades primarias de los compuestos de HDPE	24
III.	Propiedades de los compuestos PVC	25
IV.	Clase y calidad del relleno	34
V.	Valores constantes del encamado	39
VI.	Cobertura mínima de relleno	48
VII.	Profundidad máxima de relleno	50
VIII.	Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 24"	92
IX.	Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 30"	93
X.	Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 36"	94
XI.	Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 48"	95
XII.	Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 60"	96
XIII.	Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 18"	98
XIV.	Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 21"	99
XV.	Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 24"	100
XVI.	Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 30"	101
XVII.	Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 36"	102
XVIII.	Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 48"	103

## GLOSARIO

<b>Alcantarilla</b>	Es un conducto que lleva agua a través de un terraplén; es un paso bajo nivel para el agua y el tránsito que pasa sobre ella.
<b>Coefficiente de escorrentía (C)</b>	Es la relación entre el porcentaje de agua que se escurre y el porcentaje de agua precipitada.
<b>Drenajes</b>	Es el conducto que sirve para conducir el agua a través de la carretera.
<b>Fluido</b>	Son sustancias capaces de adaptarse a los recipientes que los contiene.
<b>Hidráulica</b>	Es la rama de la mecánica aplicada, que estudia el comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento.
<b>Hidrología</b>	Es la ciencia que estudia el ciclo del agua y la evolución de ella en la superficie de la tierra.
<b>Precipitación</b>	Son todas las aguas meteóricas que caen a la superficie de la tierra.

## RESUMEN

El estudio comparativo entre la alcantarilla de metal corrugado y alcantarilla de plástico que se presenta, tiene la finalidad de realizar un análisis técnico que abarca el diseño hidráulico, colocación, diseño estructural, y un análisis financiero en función de su precio.

Se explica de una manera sencilla todo lo que es necesario tomar en consideración para una correcta elección, una rápida instalación, fácil manejo, un fácil mantenimiento y asegurar una larga vida. En este estudio se consideran las alcantarillas transversales, para las que se utilizó la ecuación de *Manning*, para el cálculo del caudal que se requiere en diferentes diámetros.

Se presentan los conceptos generales y criterios que se deben tomar en cuenta para el diseño y construcción del drenaje menor en proyectos de carreteras, y así evitar el daño a la estructura del pavimento y la terracería.

Como se mencionó anteriormente, este documento pretende facilitar y economizar la elección de una alcantarilla de metal o plástica al diseñador, después de realizar un estudio hidrológico del lugar.

## **OBJETIVOS**

- **General**

Determinar el funcionamiento hidráulico en ambos conductos al obtener el resultado comparativo y determinar cuantitativamente los aspectos financieros que se ven involucrados en la elección del tipo de alcantarilla.

- **Específicos**

1. Conocer factores físicos que caracterizan a los drenajes de alcantarillado de metal corrugado y material plástico.
2. Establecer aspectos de criterio de la relación entre los factores físicos y económicos en el tipo de alcantarilla a utilizar.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de graduación se analizarán los factores físicos y económicos que intervienen en la utilización de drenajes menores, de metal corrugado y material plástico en carreteras, tomando en cuenta las consideraciones generales para un drenaje menor en carreteras, sus requisitos de construcción junto con sus costos de alcantarilla y funcionamiento hidráulico.

Al considerar que para el desarrollo integral de una comunidad son esenciales las vías de comunicación, ya que a través de ellas se integran los centros urbanos con los que pueden intercambiar bienes y servicios. En nuestro país dichos medios están constituidos por carreteras, y en los trabajos de diseño y construcción de carreteras, el sistema de drenaje es de vital importancia para lograr condiciones buenas de servicio al mismo tiempo que se logra una vida útil de una carretera o camino.

La experiencia ha demostrado que un drenaje inadecuado es una de las causas que más daño ha ocasionado al funcionamiento de un camino, estos desperfectos inciden en altos costos de mantenimiento.

Para el empleo de drenajes es importante determinar el tipo de alcantarilla a utilizar, cualquiera que ésta sea, por lo cual es de mucha utilidad contar con la mayor cantidad de datos, costos y datos sobre el funcionamiento hidráulico.

## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios**

Todo poderoso sobre todas las cosas, por haberme dado la oportunidad de culminar mi carrera profesional y darme la sabiduría para diferenciar las cosas buenas de las malas.

### **A mi asesor y padre**

Ingeniero Adolfo Rodas Merlos, por su valiosa ayuda, sin la cual no hubiese sido posible la elaboración del presente trabajo.

### **Al Departamento Técnico de Ingeniería y Coordinadora de Financiamiento Externo de la Dirección General de Caminos**

Por el apoyo que me brindaron en todo momento para el desarrollo del presente trabajo.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron con el desarrollo del presente trabajo.

## **ACTO QUE DEDICO A**

### **MIS PADRES**

Adolfo Rodas Merlos  
Lilian Maritza Ceballos Pérez de Rodas.

Porque gracias a sus esfuerzos, buenos consejos y la educación que me inculcaron, logré alcanzar esta meta.

### **MIS HERMANAS**

Rita Rodas y Melisa Rodas.

Por su apoyo y comprensión; con mucho cariño y aprecio.

### **MI NOVIA**

Gabriela Alejandra González.

Por haber compartido su amor, cariño y comprensión conmigo.

### **MIS FAMILIARES**

Por el apoyo que siempre me brindaron.

Mis amigos y compañeros de trabajo.

A todas las personas, que de alguna manera colaboraron para alcanzar este logro.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Ingeniería.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE  
ALCANTARILLA DE METAL CORRUGADO Y ALCANTARILLA  
DE MATERIAL PLÁSTICO EN DRENAJES MENORES DE  
CARRETERAS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GUSTAVO ADOLFO RODAS CEBALLOS**

ASESORADO POR

ING. ADOLFO RODAS MERLOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2004

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE  
ALCANTARILLA DE METAL CORRUGADO Y ALCANTARILLA  
DE MATERIAL PLÁSTICO EN DRENAJES MENORES DE  
CARRETERAS DE GUATEMALA**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de enero de 2004.

Br. GUSTAVO ADOLFO RODAS CEBALLOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Eduardo Ramírez Saravia
EXAMINADOR	Ing. René Rolando Vargas Olivo
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Melini Salguero
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil**

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE  
ALCANTARILLA DE METAL CORRUGADO Y ALCANTARILLA  
DE MATERIAL PLÁSTICO EN DRENAJES MENORES DE  
CARRETERAS DE GUATEMALA**

**GUSTAVO ADOLFO RODAS CEBALLOS**

**ASESORADO POR**

**ING. ADOLFO RODAS MERLOS**

**GUATEMALA, MARZO DE 2004**

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 Consideraciones del drenaje en carreteras

Los drenajes en carreteras son los que le dan mayor vida a ésta, ya que permiten que el agua de lluvia u otros cursos de agua fluyan sin causarle destrozos.

Los drenajes según su tipo pueden ser: superficiales (cunetas, contracunetas, bombeo y pendiente longitudinal la carretera) y de alcantarillas. El diseño del tamaño y la forma de las alcantarillas se hace siguiendo métodos de aceptación general, los cuales varían mucho de acuerdo a los antecedentes y la práctica de la localidad. Los resultados también son variables.

Una definición de alcantarilla indica que es un conducto que lleva agua a través de un terraplén. Es un “paso bajo nivel” para el agua y el tránsito que pasa sobre ella.

La diferencia entre una alcantarilla y un puente, consiste en que la parte superior de una alcantarilla, generalmente, no forma parte del pavimento de la carretera; por el contrario, un puente, es un “eslabón” en la carretera. Las alcantarillas pueden ser: tubos, arcos y bóvedas.

Este trabajo sólo considerará el estudio de los tubos, especialmente el uso de tuberías metálicas y de plástico y su comparación en costo y funcionamiento hidráulico en este uso.

## **1.2 Consideraciones hidráulicas**

Para determinar si una alcantarilla o drenaje transversal es adecuado, es importante determinar los siguientes factores: el alineamiento, la pendiente y los métodos de instalación. Si una alcantarilla se obstruye, se disloca o se socava, es señal que no tiene la capacidad adecuada, ni presta el servicio que se espera de ella.

Una alcantarilla reduce siempre el caudal de la corriente, ocasionando embalse a la entrada, un aumento de la velocidad por dentro y salida. Se puede necesitar alguna protección contra la socavación y la erosión que siempre existe.

Las alcantarillas no deben diseñarse para que funcionen llenas o con la boca de entrada sumergida más de una vez en cada 25 años. En caminos secundarios y poco transitados, el reboso de las aguas sobre el camino una vez cada varios años pueden que no tenga consideraciones serias, si el terraplén se haya protegido. Cuando se trate de caminos de mucho tránsito, la boca de entrada debe ser tal, que en raras ocasiones quede sumergida, y las aguas nunca deben rebosar por encima de la carretera.

### **1.2.1 Corriente de agua**

Existen dos tipos diferentes de flujo: laminar y turbulento; generalmente es este último el que predomina.

En el caso de flujo turbulento la resistencia del agua se drena de ella a través del conducto y depende de la viscosidad, densidad y velocidad; además de la longitud, rugosidad y sección transversal de la alcantarilla.

La altura de presión necesaria para vencer esta resistencia se conoce como pérdida de carga por fricción. Esta pérdida de carga en canales, que es el caso de las alcantarillas, está dada por la diferencia de elevación de la superficie de agua entre los puntos considerados. En algunos casos es necesario considerar otras pérdidas llamadas menores, entre las cuales están las pérdidas a la entrada y salida de la alcantarilla.

### **1.2.2 Gradiente hidráulico**

Es una línea imaginaria que une los puntos hasta donde llega el agua en una serie de tubos piezométricos acoplados a las tuberías a presión o a los canales. El gradiente hidráulico representa entonces la presión a lo largo del tubo, pues en un punto cualquiera, la distancia vertical medida desde el conducto hasta el gradiente hidráulico, es la columna de presión en ese punto. En canales, es evidente que el gradiente hidráulico coincide con la superficie del agua.

### **1.2.3 Diseño hidráulico**

El diseño hidráulico de una obra, consiste en calcular el área necesaria para dar paso al volumen de agua que se concentra en su entrada, para ello se requiere de un estudio previo que abarca, entre otros, los siguientes aspectos:

- Precipitación pluvial.
- Área, pendiente y formación geológica de la cuenca.
- Uso del terreno aguas arriba de la estructura de drenaje.

Los métodos para un correcto diseño hidráulico requieren de cierta información básica que incluye: el coeficiente de escorrentía para el área local, el área de la cuenca y datos de intensidad de precipitación. Es necesario conocer la cantidad de agua o descarga que correrá en un área determinada. Las estructuras de drenaje menor deberán tener la suficiente capacidad para acomodar esta cantidad de agua.

Al diseñar las estructuras de drenaje se busca saber, entre otras cosas: el tamaño de dichas estructuras, el diámetro de un tubo de alcantarilla y la distancia a que deben quedar las cunetas. Si se conoce el volumen de agua que pasará a través de una estructura se sabrá exactamente como calcular los parámetros anteriormente mencionados. Si una estructura no puede acomodar toda la descarga, entonces el agua se fuerza a ir sobre ella, alrededor de ella, o se acumula, esto da como resultado el asolvamiento, socavación o daño de la misma.

La capacidad total para cualquier estructura deberá determinarse en base a una combinación de factores, además de la descarga calculada. Estos incluyen aumentos posibles en la descarga, debido a cambios en el uso de la tierra de la cuenca, tales como: desarrollo, deforestación o cambios en intensidades y modelos de precipitación. También, debe preverse una capacidad extra para arrastre, particularmente río debajo de las áreas que han sido taladas o destinadas a la agricultura.

Dependiendo del riesgo y costo de la estructura, puede hacerse una previsión para capacidad extra debido a la inexactitud en el proceso de diseño hidrológico.

La descarga puede determinarse por varios métodos hidrológicos:

- **Por medio de fórmulas**

Todas las fórmulas toman en cuenta la cantidad de lluvia que cae, el tamaño de la cuenca, la pendiente y condiciones de vegetación de la misma.

Las fórmulas más conocidas son:

- ✓ Fórmula de Talbot. Proporciona directamente el diámetro de la tubería o el área de descarga.
- ✓ Fórmula Racional. Esta fórmula expresa que el caudal es igual a un porcentaje de la cantidad de lluvia que cae, multiplicado por el área de la cuenca.

- **Por medio de observación de estructuras próximas**

Puede ser una tubería o alcantarilla de los alrededores, ubicada sobre la misma corriente. En este caso bastará tomar las medidas del área de descarga y de ellas se parte para deducir el diámetro necesario.

- **Por medio de marcas de aguas o creciente máximas**

La descarga puede ser determinada por las marcas que deja el agua al haber una correntada. Cuando una corriente alcanza su máximo nivel, siempre deja señas de todo lo que arrastró a su paso. En este caso pueden tomarse medidas del cauce al cortar la línea central de la carretera. Se debe obtener el perfil transversal de dicho cauce perpendicular a dicha línea; en el perfil deben anotarse los datos de corriente máxima, creciente normal, la cual puede aumentarse en un 10 por ciento para tener un margen de seguridad aceptable y también las corrientes extra-máximas, información que por lo general es proporcionada por los vecinos del lugar.

Otra manera para calcular la descarga es por medio de registros históricos de correntadas, utilizando información tabulada de ríos y riachuelos específicos de la zona. También puede utilizarse información general de la intensidad pluvial de la región, análisis regresivo de una región específica para determinar las corrientes en función de la cuenca y sus características.

### **1.2.3.1 El método racional**

Es un método muy utilizado para medir descargas de pequeños drenajes, consiste en una fórmula para calcular la escorrentía superficial de una cuenca hidrográfica. Se adapta muy bien para la determinación de la escorrentía para drenaje superficial de carreteras y descargas para alcantarillas o tuberías de pequeñas cuencas. Por lo general, se obtienen mejores resultados con este método, para cuencas menores de 120 hectáreas, pero puede utilizarse para estimar cuencas mucho mayores, aunque con menos precisión, siempre y cuando no pueda aplicarse algún otro método por falta de información o datos para llevar a cabo un cálculo exhaustivo.

En el método racional se asume que la intensidad de lluvia sobre el área de drenaje es uniforme para un tiempo considerado.

La fórmula racional es la siguiente:

$$Q = CiA/360$$

Donde:

**Q** = Caudal de escorrentía, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/seg.)

**C** = Coeficiente de escorrentía (adimensional).

**i** = Intensidad promedio en lluvia, en milímetros por hora (mm/hr)

**A** = Área de la cuenca en hectáreas (Ha) .

(1 Ha = 10,000 m<sup>2</sup>)

#### **1.2.3.1.1 Parámetros de la fórmula racional**

- **Coeficiente de escorrentía (C)**

Los valores del coeficiente de escorrentía reflejan las diferentes características de las cuencas, tales como: topografía, tipo de suelo, vegetación y uso de la tierra; las cuales influyen en la escorrentía.

La selección del valor apropiado del coeficiente de escorrentía C depende de varios aspectos, de los cuales el más importante pueda ser la experiencia del diseñador.

En cuencas complejas puede usarse un promedio ponderado de las diferentes áreas y los correspondientes valores de C y determinar un valor representativo del coeficiente de escorrentía. Los valores de C pueden cambiarse para el diseño del periodo de vida de la estructura o si durante el diseño y la construcción de dicha estructura ocurrieran cambios determinantes en la cuenca en estudio. En áreas más desarrolladas, mayor cantidad de carreteras serán construídas en una misma cuenca, y la escorrentía podrá incrementarse; también si un área es deforestada hay mayor exposición de suelo desnudo, entonces la escorrentía aumentará y por lo tanto el valor de C.

- **Intensidad de lluvia (i)**

Es uno de los factores más difíciles de obtener y está expresado como el promedio de intensidad de lluvia en milímetros por hora para una selección de frecuencia de recurrencia y una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. Al inicio de la tormenta, la escorrentía parte desde la distancia más lejana de la cuenca, que no alcanza el punto de descarga, y cuando el agua alcanza el punto de descarga, se encuentra el tiempo de concentración, entonces, puede suceder un paso de corriente permanente. Este periodo inicial es el tiempo de concentración ( $T_c$ ). Para cuencas pequeñas, un tiempo de concentración recomendado es de 5 minutos, para encontrar la intensidad utilizando una determinada descarga de diseño.

El tiempo de concentración para cuencas pequeñas puede determinarse basándose en la longitud de viaje y la altura del punto más lejano de la cuenca (ver figura 1). Para cuencas grandes, el tiempo de concentración puede ser obtenido de los datos de la corriente o de una inspección de campo.

Cuando los datos locales no se pueden obtener, el tiempo de concentración puede ser determinado usando la ecuación empírica desarrollada por Kirpich:

$$T_c = 0.00013 \frac{(3.28 L^{0.77})}{S^{0.385}}$$

Donde:

**T<sub>c</sub>** = Tiempo de concentración, en segundos (s) .

**L** = Distancia máxima de flujo de agua, en metros (m) .

**S** = Pendiente promedio dl cauce (H/L) , donde H es la máxima diferencia de altura en la cuenca.

Cuando se ha obtenido el tiempo de concentración, éste es usado con una curva intensidad-duración-frecuencia de lluvia, es desarrollada para una región particular o área específica, basada en datos hidrológicos frecuentemente obtenibles.

Como la duración (tiempo) de una tormenta decrece, la intensidad se incrementa. Así en cuencas pequeñas y drenajes superficiales de carreteras, donde el tiempo de concentración es muy pequeño, deberá diseñarse para eventos relativamente de alto valor de intensidad.

La frecuencia o periodo de retorno para el diseño, debe ser también tomado en cuenta. Como los periodos de retorno estadísticamente se incrementan, el periodo de retorno normal utilizado para las estructuras de drenaje menor es de 10 a 25 años. Si se usa un periodo de retorno más grande, se tendrá el riesgo de que ocurra un evento grande que el diseño no ha considerado durante la vida útil de la estructura.

- **Área (A)**

Es la que contribuye a la escorrentía del agua de la estructura de drenaje. Los límites van desde la divisoria de aguas a los pies de talud de la alcantarilla, cuando se trata de cuencas. En una carretera el “área de drenaje” es la parte alta del talud de corte y la superficie de rodadura; área que está entre las cunetas.

El área de una cuenca natural se puede determinar utilizando un mapa topográfico de la región y determinar los puntos más altos o límites de la divisoria de aguas.

- **Proceso de calculo de la escorrentía superficial de una cuenca**

El proceso de cálculo se aplica tanto en cuencas hidrográficas como en carreteras, calles y caminos, los pasos son los siguientes.

a) Determinar el coeficiente de escorrentía (ver tabla I).

- b) Determinar el área de la cuenca o carretera. Para una cuenca el área puede considerarse como el área topográfica de la misma. En una carretera el área se obtiene multiplicando el ancho de la típica por la longitud del tramo que contribuye a la esorrentía de la estructura de drenaje más próxima ( $1 \text{ Ha} = 10,000 \text{ m}^2$ ).
  
- c) Determinar el cambio de elevación y la longitud de vía del agua. El cambio de elevación para una cuenca se obtiene de la diferencia entre la mayor y la menor elevación de la misma, para una carretera el cambio de elevación se obtiene considerando la pendiente del tramo en estudio. La longitud de vía del agua es la distancia horizontal total que recorre el agua desde el punto más alto hasta el más bajo de la cuenca o del tramo carretero considerado, respectivamente.
  
- d) Determinar el tiempo de concentración. Con los datos de cambio de elevación y longitud de vía, se obtiene el tiempo de concentración (ver figura 1).
  
- e) Determinar la intensidad de lluvia. La intensidad de lluvia se calcula para el periodo de diseño deseado (2, 5, 10, ó 25 años) y con el tiempo de concentración obtenido anteriormente. Se pueden utilizar las curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvia o las ecuaciones de intensidad de lluvia.

- f) Determinar la descarga. La descarga o caudal de escorrentía se obtiene utilizando la fórmula racional.

Tabla I. **Método racional: valores de coeficiente de escorrentía “C”**

<b>Uso de la Tierra</b>	<b>Valor C</b>
<b>Agricultura</b>	
Suelo desnudo	
Liso	0.30 - 0.60
Áspero	0.20 - 0.50
Suelo cultivado	
Suelo pesado sin cultivos	0.30 - 0.60
Suelo pesado con cultivos	0.20 - 0.50
Suelo arenoso sin cultivos	0.20 - 0.40
Suelo arenoso con cultivos	0.10 - 0.25
<b>Pasto</b>	
Suelo pesado	0.15 - 0.45
Suelo arenoso	0.05 - 0.25
<b>Bosque</b>	
Bosques en áreas de terreno plano y praderas	0.05 - 0.25
Bosques en áreas de mucha pendiente	0.15 - 0.40
Suelo desnudo en áreas inclinadas y rocosas	0.70 - 0.90
<b>Caminos</b>	
Pavimento de asfalto	0.80 - 0.90
Pavimento empedrado o adoquinado	0.75 - 0.85
Pavimento de macadam	0.25 - 0.80
Caminos de acceso	
Con balastro	0.40 - 0.80
Sin balastro	0.20 - 0.80
<b>Áreas desarrolladas</b>	
Zonas comerciales o en el centro de ciudades	0.70 - 0.95
Zonas residenciales	0.30 - 0.70
Parques y campos deportivos	0.10 - 0.30

Fuente: Marco Antonio Dubón X., **Consideraciones Generales de Drenaje Menor**. Página 22

Figura 1. **Tiempo de concentración ( $T_c$ ) de cuencas pequeñas.**

Fuente: Marco A. Dubón X., **Consideraciones Generales para Diseño de Drenaje Menor.**

Página 24

### 1.2.3.1 El método de talbot

Es un método muy utilizado para estimar el área de descarga en estructuras de drenaje. Para hacer una estimación preliminar del tamaño de las estructuras de drenaje menor se usa la fórmula de *Talbot*.

La fórmula de Talbot fue determinada mediante observaciones en zonas de alta precipitación pluvial (hasta 100 mm/Hr) , en los Estados Unidos.

La expresión de la fórmula de Talbot es la siguiente:

$$a = 0.183 C A^{3/4}$$

Donde:

**a** = Área hidráulica necesaria en la obra, en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

**A** = Área de la cuenca en hectáreas (Ha) .

**C** = Coeficiente relacionado con las características del terreno (adimensional) .

- **Proceso de cálculo del área hidráulica usando el método de talbot**

Este método se aplica principalmente a estructuras de drenaje menor, por lo que las áreas consideradas son generalmente carreteras o caminos; también es aplicable en cuencas hidrográficas. El proceso de cálculo es el siguiente:

- a) Definir el área de la cuenca. Delimitando la partición de aguas que llegan a la cuenca hidrográfica. Para definir esta área se deben marcar todos los cursos de fondos o cauces de la cuenca, luego delimitar todas las particiones de aguas o divisorias de aguas (cuenca topográfica), deberá ser circuito cerrado, partiendo desde el punto de interés para el paso por éste, luego siguiendo en dirección de las agujas del reloj, por todas las divisorias hasta completar el circuito. El área hidráulica de la cuenca, se puede obtener por diferentes métodos topográficos, fotografía aérea, planos cartográfico, etc.
- b) Medir el área de la cuenca. En la medición del área de la cuenca pueden utilizarse varios métodos, los cuales varían debido a la exactitud de los mismos, entre ellos están:
- Contar la cuadrícula de mapas.
  - Área por coordenadas.
  - Uso de planímetro.
- c) Determinar el Coeficiente "C". De acuerdo a la clasificación de colores y simbología de vegetación del mapa, se identifica el terreno y sus condiciones: si es cultivado, suelo desnudo, bosque, etc. Con las curvas de nivel se establece la pendiente del terreno y la forma del mismo, pudiendo ser: plano, ondulado o montañoso. Los valores del coeficiente C dependen de las características anteriores. Algunos valores de C son los siguientes:

**C = 1.0** Terrenos montañosos con suelos de roca y con pendientes pronunciadas.

**C = 0.65** Terrenos quebrados con pendientes moderadas.

**C = 0.50** Cuencas irregulares muy largas.

**C = 0.33** Terrenos agrícolas ondulados, en los que el largo de la cuenca es 3 ó 4 veces el ancho.

**C = 0.20** Terrenos llanos, sensiblemente horizontales no afectados por inundaciones fuertes.

En terrenos permeables los valores de C deben disminuirse en un 50 por ciento, por lo que además de la formación geológica de la zona, se debe conocer el tipo de vegetación y prever el uso futuro del terreno.

d) Calcular el área hidráulica. Ésta se obtiene al aplicarse la fórmula de Talbot.

#### **1.2.4 Pendiente crítica**

Es la pendiente capaz de sostener un caudal dado con flujo uniforme y a profundidad crítica. La pendiente crítica puede calcularse usando cualquier fórmula conocida para canales, en el manual para tuberías de concreto, (*Concrete Pipe Handbook*), de la *American Concrete Pipe Association*, se encuentra un gráfico que relaciona descarga y altura crítica y descarga con pendiente crítica.

Estas curvas están construídas con una base unitaria, es decir, que los valores de pendiente y descarga son aplicados directamente a una alcantarilla o canal de 1 pie de diámetro con un coeficiente de rugosidad (N) de 0.01.

Para otro diámetro y otro coeficiente de rugosidad, hay que aplicar las siguientes fórmulas de conversión:

Descarga crítica:

$$Q_c = Q_{c1} D^{5/2}$$

Pendiente crítica:

$$S_c = S_{c1} * 10^4 * \frac{n^2}{D^{1/3}}$$

Donde

**Q<sub>c</sub>** = Descarga crítica para diámetro deseado.

**Q<sub>c1</sub>** = Descarga crítica para un canal de 1 pie de diámetro.

**D** = Diámetro de la tubería.

**S<sub>c</sub>** = Pendiente de un N dado.

**S<sub>c1</sub>** = Pendiente crítica para N=0.01

**n** = Coeficiente de rugosidad que tiene la nueva tubería.

Cuando la pendiente es más plana que la crítica, para una descarga específica, la sección crítica se traslada de la entrada a la salida. Para alcantarillas es satisfactorio asumir que se encuentre 6 metros antes de la salida. Para determinar la altura en la entrada, es necesario calcular los puntos de la curva de remanso entre la sección crítica y la entrada.

Una vez la altura crítica está determinada, se pueden calcular la altura, la velocidad y las pérdidas en la entrada, con esto podemos calcular la altura aguas arriba. La forma de la curva de remanso depende de la rugosidad, longitud y pendiente de la alcantarilla. La pendiente de la alcantarilla a un valor más alto que la pendiente crítica no aumenta la descarga; simplemente hace que el agua corra a mayor velocidad y a menor profundidad que la sección crítica.



## **2. ALCANTARILLAS DE MATERIAL PLÁSTICO**

### **2.1 Definición**

Son los conductos que se construyen por debajo de la sub-rasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas.

### **2.2 Descripción**

Es el suministro, acarreo, almacenaje, manejo y colocación de las alcantarillas de material plástico de pared lisa, corrugada o nervurada, y todos los accesorios necesarios.

Las alcantarillas de material plástico pueden ser: tipo C corrugada de polietileno, tipo S corrugada de polietileno, celular o nervurada de polietileno, celular o nervurada de cloruro de polivinilo (PVC), o de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS). Cuando en los planos se especifique el uso de alcantarilla de material plástico del tipo de pared interior corrugada, se debe usar el tipo C corrugada de polietileno.

Cuando en los planos se especifique el uso de alcantarilla de material plástico de pared interior lisa, a opción del contratista, se debe usar ya sea la tipo S corrugada de polietileno, la nervurada o celular de polietileno, la nervurada o celular de cloruro de polivinilo (PVC) o la de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS). Cuando en los planos no se especifique el tipo de alcantarilla a usar, la alcantarilla plástica puede ser, a opción del contratista, de pared interior lisa o corrugada.

### **2.3 Materiales**

Los materiales para la fabricación de las tuberías de material plástico deben cumplir con lo siguiente:

- Tuberías corrugadas de polietileno tipo C y S. Deben cumplir con los requisitos de AASHTO M 294, excepto si se indica de otra manera en estas especificaciones. Las tuberías deben ser fabricadas de compuestos vírgenes de polietileno de alta densidad (HDPE).
- Tuberías de polietileno nervuradas o celulares. Deben cumplir con los requisitos de ASTM F 894 y deben ser fabricadas utilizando compuestos vírgenes de polietileno de alta densidad (HDPE), excepto que se indique de otra forma en estas especificaciones.
- Tuberías nervuradas o celulares de cloruro de polivinilo. Deben cumplir con los requisitos de la norma AASHTO M 304 y deben ser fabricadas utilizando compuestos vírgenes de cloruro de polivinilo (PVC), excepto que se indique de otra forma en estas especificaciones.

- Tuberías de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS). Deben cumplir con los requisitos de AASHTO M 264. Los compuestos de ABS utilizados en la fabricación de las alcantarillas deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM D 1788.
- Compuestos de polietileno de alta densidad (HDPE). Los compuestos de HDPE utilizados en la fabricación de las alcantarillas deben estar dentro de los límites de clasificación para las propiedades primarias, según ASTM D 3350, indicadas en la tabla II.
- Compuestos de cloruro de polivinilo. Los compuestos de PVC utilizados en la fabricación de alcantarillas deben estar dentro de los límites de clasificación para las propiedades primarias, según ASTM D 1784, indicadas en la tabla III.

Tabla II. **Propiedades primarias de los compuestos de HDPE**

Propiedad	Límites
Densidad (ASTM D 1505)	0.941 a 0.955 gr./cm <sup>3</sup>
Índice de derretimiento <sup>(1)</sup> (ASTM D 1238)	< 1.00
Módulo de flexión (ASTM D 790)	> 552 MPa
Resistencia a la tensión (ASTM D 638)	> 21 MPa
Resistencia a la aparición de grietas por cambios de temperatura (ASTM D 1693)	20 – 50 %
Base para el diseño hidrostático (ASTM D 2837)	< 11.03 MPa
Estabilizador ultravioleta	(2)

<sup>(1)</sup> El índice de derretimiento para el material con una clasificación de celda de 2 utilizado para la fabricación de la tubería no debe ser mayor de 0.6. Los accesorios para los extremos y las acopladuras moldeadas por rotación pueden ser producidos utilizando compuestos que tengan una clasificación de celda de índice de derretimiento de 1.

<sup>(2)</sup> La resina HDPE debe contener no menos de  $2 \pm 0.5$  por ciento de estabilizador ultravioleta de carbón negro.

Fuente: **Especificaciones Generales para la Construcción de Puentes y Carreteras**, edición septiembre, 2001.

Tabla III. **Propiedades de los compuestos de PVC**

Propiedad	Límites
Resina base	Homopolímero de polivinilo de cloruro
Resistencia al impacto (Izod) (ASTM D 256)	< 800.7 J/m
Resistencia a la tensión (ASTM D 638)	> 41.4 MPa
Módulo de elasticidad (ASTM D 638)	> 2758 MPa
Temperatura de deflexión (ASTM D 648)	> 70 °C
Resistencia química	A, B o C (tabla 2, ASTM D 1784)

El residuo de la ignición de los compuestos HDPE y PVC no debe exceder de 30 por ciento, tal como se indica en ASTM D 2584, excepto que la temperatura del horno debe ser de  $450 \pm 25$  °C.

Fuente: **Especificaciones Generales para la Construcción de Puentes y Carreteras**, edición septiembre, 2001.

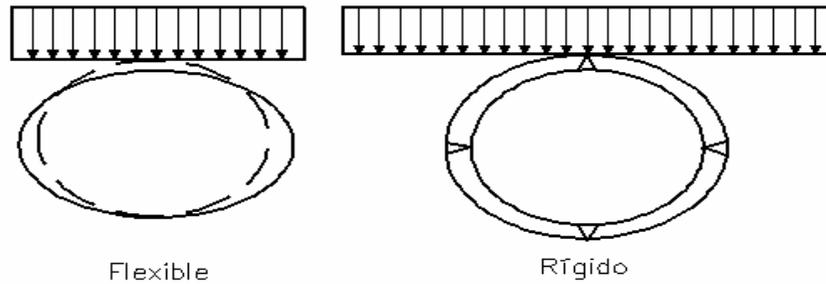
#### 2.4 Diferencia entre la tubería flexible y tubería rígida

Prácticamente todo tipo de tubería puede ser clasificada como flexible o rígida, dependiendo de su funcionamiento luego de ser instalada. La tubería flexible toma ventaja de su habilidad para moverse o flexarse bajo cargas sin sufrir daño estructural. Los tipos comunes de tubería flexible son fabricados de polietileno, cloruro de polivinilo (PVC), acero y aluminio. La tubería rígida es a veces clasificada como tubería que no puede flexarse más que 2 por ciento sin sufrir alteraciones como ser resquebrajamientos.

La tubería de concreto reforzada y metal corrugado y la tubería de arcilla son claros ejemplos (ver figura 2). Ambas, la tubería flexible y la rígida, requieren de un relleno apropiado, a pesar de que la interacción de la tubería/relleno es discordante. Cuando la tubería flexible se flexa contra el relleno, la carga es transferida hacia y transportada por el relleno. Sin embargo, cuando se aplican cargas a la tubería rígida, la carga es transferida a través de la pared de la tubería hacia el encamado. Para ambos tipos de materiales, el relleno apropiado es muy importante para permitir que esta transferencia de carga suceda (ver figura 3).

La tubería flexible ofrece significativos beneficios estructurales al diseñador del proyecto. En varias situaciones, una tubería flexible correctamente instalada puede ser enterrada a mucha mayor profundidad que una tubería rígida, por la interacción entre la tubería y el relleno. La tubería rígida es generalmente más resistente que el material de relleno que la rodea, en consecuencia, debe soportar cargas de tierra bastante más elevadas que la carga de prisma encima de la tubería.

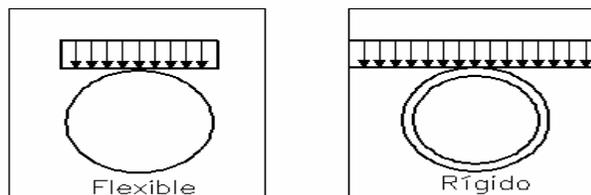
Figura 2. Diferencia en que las tuberías flexible y rígida responden a cargas



REACCIÓN DE LA TUBERÍA  
A LA CARGA

Fuente: Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.

Figura 3. Interacción de la tubería/relleno y el correspondiente traslado de carga



INTERACCIÓN RELLENO/TUBERÍA

Fuente: Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.

## **2.5 Diseño estructural**

### **2.5.1 Propiedades de sección de la tubería**

Al igual que en el diseño de otros componentes estructurales, la geometría de la pared de la tubería influencia la manera en que ésta funcionará en la estructura de tubería/suelos(relleno). Las propiedades de la tubería que causan mayor preocupación son: el momento de inercia del perfil de la pared ( $I$ ), distancia desde el diámetro interior al eje neutral ( $c$ ) y la sección transversal ( $AS$ ).

La rigidez de la tubería ( $PS$ ) es una medición de la flexibilidad de un largo determinado de tubería y es establecido en laboratorio mediante el cálculo de la fuerza requerida para flexar la tubería al 5 por ciento de su diámetro interior. El límite de 5 por ciento es arbitrario y, aunque es sustituido directamente en las ecuaciones del diseño, el  $PS$  es un control de calidad y no debe ser interpretado como un límite de la operación.

Además, la tubería de polietileno puede flexarse varias veces en esta cantidad sin experimentar una curvatura reversa. En realidad, las especificaciones del producto requieren que la tubería se flexe por lo menos 20 por ciento de su diámetro interior sin sufrir esfuerzo estructural.

## 2.5.2 Propiedades del material

El comportamiento de materiales visco-elásticos difiere de materiales elásticos. Como resultado, la mecánica que define las propiedades del material elástico puede ser mal interpretada cuando es aplicada a materiales visco-elásticos. Por ejemplo, cuando el polietileno es sujeto a una fuerza constante, la curva de esfuerzo/tensión resultante da la impresión que el material pierde resistencia con el tiempo

Las pruebas efectuadas muestran que el polietileno no se debilita con el tiempo. La misma curva de esfuerzo/tensión para el material puede ser duplicada en forma repetida con el tiempo. Lo que las pruebas no toman en consideración es la relajación de esfuerzos, la cual es una propiedad única de los visco-elásticos. La relajación de esfuerzos es el proceso mediante el cual el esfuerzo disminuye bajo una tensión constante. En otras palabras, una tubería que es mantenida en una posición de deflexión, inicialmente experimentará niveles de esfuerzo relativamente elevados que luego disminuyen rápidamente.

Una deflexión adicional ocasiona una respuesta similar: los niveles de esfuerzo aumentan y luego rápidamente disminuyen. Este fenómeno ha sido documentado en los laboratorios de la Universidad de Massachussets. Las pruebas efectuadas mostraron que cuando la tubería se mantuvo en una posición de deflexión, el módulo parecía disminuir. Sin embargo, cuando la deflexión se aumentaba, la tubería respondía otra vez con un módulo mucho mayor.

Como resultado de la relajación de esfuerzos, los esfuerzos reales máximos son significativamente menores que los que se calcularían. Por esta razón, el uso del módulo de elasticidad a corto plazo, (E), de 110,000 psi (758 500 kPa) y la resistencia a la tensión de 3,000 psi (20 700 kPa) es apropiada para este procedimiento de diseño.

### **2.5.3 Condiciones para la instalación y factores de suelos**

El funcionamiento estructural de la tubería depende de la interacción entre el encamado, o relleno inicial y la tubería, y es comúnmente referida como la interacción de suelos/tubería. El relleno inicial debe proporcionar características estructurales y de drenaje apropiados para la aplicación. La consideración estructural del relleno incluye las dimensiones del relleno inicial y el tipo de material y el nivel de compactación.

#### **2.5.3.1 Dimensiones de la envoltura de relleno- ancho de zanja**

El ancho de la zanja depende del diámetro de la tubería, material de relleno y el método de compactación. Las anchuras de zanja no deben ser mayores que las que se necesitan para la adecuada instalación de la tubería, debido a que las zanjas demasiado anchas ocasionan costos innecesarios. En forma práctica, los tamaños de cubos de excavadora estándares o las dimensiones del entibado de zanja, pueden también ser factores a considerarse en la decisión.

En aplicaciones actuales la anchura de la zanja puede también ser influenciada por el equipo que el contratista tiene disponible. Por lo tanto, anchuras típicas son dos veces el diámetro nominal, pero no mayores que el diámetro nominal más 2' (0,6m). En forma específica se tiene que las anchuras típicas de zanja para tuberías de 12" (300 mm) ó mayores, son el doble del diámetro nominal pero no mayores al diámetro nominal más 2' (0.6 m). Esta anchura es generalmente suficiente para que el material de relleno fluya en cualquiera de los lados de la tubería y es también lo suficientemente ancho para varios tipos de equipo de compactación, de ser requeridos.

Si esta anchura de zanja no es adecuada para los materiales y métodos propuestos, una zanja de mayor anchura, que permita una instalación apropiada, deberá ser construida. De 6" a 8" (0.2 m) en cualquiera de los lados de la tubería es la anchura mínima de zanja aceptable para esta gama de tamaños cuando no se precise de equipo de compactación.

Un concepto comúnmente errado es que se precisa de zanjas muy anchas para tuberías flexibles. Las zanjas anchas son no solamente caras de excavar y rellenar con material de relleno, sino que puede también disminuir la integridad estructural del sistema de tubería/relleno. Años de consolidación crean un suelo nativo bastante estable. El propósito es destruir al mínimo posible dicha estabilidad al excavar la zanja. Estudios efectuados en Europa han demostrado que paredes estables de zanja, aumentan la integridad estructural del sistema cuando la zanja es relativamente angosta, aunque este beneficio es a menudo relegado durante el diseño.

Zanjas demasiado anchas también requieren de mayor cantidad de relleno y mayor compactación, lo cual podría no formar una estructura tan estable como el material nativo imperturbado, aún si han sido cuidadosamente construidas.

A medida que la anchura de la zanja se aproxima a cinco veces el diámetro de la tubería, no existe influencia buena o mala de las paredes de la zanja. Incluso, se puede precisar de zanjas anchas cuando el material nativo no es capaz de soportar cargas, pero se debe evitar sí el material nativo de una calidad razonable.

### **2.5.3.2 Material y compactación**

La combinación del tipo de material (arena, grava, arcilla o mezclas, etc.) y nivel de compactación (densidad estándar proctor) determina la resistencia global del relleno. Como regla general, partículas de material que son relativamente grandes y angulares requieren de un esfuerzo de compactación menor a fin de producir estructuras con igual resistencia, que las partículas de menor es y más redondeadas.

La resistencia del relleno es a menudo denominado el “módulo de reacción de suelos” o a veces “módulo de suelos”. Se representa en ecuaciones mediante el término  $E'$ . La tabla IV presenta los valores  $E'$  que resultan de diferentes materiales y niveles de compactación. Esta información se basa en datos generados por el *Bureau of Reclamation*.

Se debe considerar para relleno el material disponible localmente, incluyendo suelos del lugar. Si estos cumplen con los criterios de la tabla IV entonces son un material aceptable y deberían ser utilizados para minimizar costos de material y de transporte. El fabricante de la tubería podrá asimismo proporcionar asesoramiento con relación a la conveniencia de ciertos materiales.

La compactación mecánica no es siempre necesaria; algunos materiales de relleno pueden ser amontonados y luego trabajados con pala hacia el lugar, mientras otros pueden cumplir con requerimientos mínimos de compactación simplemente siendo caminados por encima. Por otra parte, la compactación mecánica puede provocar la colocación de algunos materiales de relleno más rápidamente y crear el nivel requerido de soporte para la tubería.

Tabla IV. Clase y calidad del relleno

Material del Encamado					E', psi (kPa) para el grado de compac. del Encamado					
ASTMD2321		ASTMD2487		AASHTO	Dens. Min.	Profundidad	Cargado	Mínimo	Moderado	Máximo
Clase	Descripción	Notación	Descripción	Notación	Proctor %					
IA	"Open-graded"	N/A	Piedra o roca	5	Descargado	18"	1000	3000	3000	3000
	Agregados		angular triturada	56		(0.45m)	-6,900	-20,700	-20,700	-20,700
	Fabricados limpios		Grava triturada							
			"Slag" triturado							
IB	"Dense-graded"	N/A	Piedra							
	Agregados		angular triturada o							
	Procesados		otro material							
	Fabricados limpios		clase IA, y mezclas							
			de piedra y arena							
			con poco o sin finos							
II	Suelos limpios y	GW	Grava	57	85%	12"	N/R	1000	2000	3000
	Granulados		Preseleccionada	6		(0.30m)		-6,900	-13,800	-20,700
			Mezclas de	67						
			grava/arena							
			con poco o sin finos							
		GP	Grava mal							
			Preseleccionada							
			Mezclas de							
			grava/arena							
			con poco o sin finos							
		SW	Arena							
			Preseleccionada							
			Arena gravada							
			con poco o sin finos							
		SP	Arena mal							
			Preseleccionada							
			Arena gravada							
			con poco o sin finos							
III	Suelos finos	GW	Grava silty	Grava y arena	90%	9"	N/R	N/R	1000	2000
			Mezclas de grava/	Con <10% de		(0.20m)			-6,900	-13,800
			arena/silt	Finos						
		GC	Gravas arcillosas							
			Mezclas de grava/							
			arena/silt							
		SM	Arena silty							
			Mezclas de							
			arena/silt							
		SC	Arenas arcillosas							
			Mezclas de							
			Arena y arcilla							
IVA	Suelos finos	ML	Siltos inorgánicos				N/R	N/R	N/R	1000
	Inorgánicos		y arenas muy finas							-6,900
			Rocas harinosas							
			Arenas finas silty							
			o arcillosas							
			siltos con alguna							
			Plasticidad							
		CL	Arcillas inorgánicas							
			de baja o media							
			Plasticidad							
			Arcillas silty o							
			Arenosas							

Fuente: Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.

#### **2.5.4 Colocación del relleno**

Una envoltura de relleno correctamente construida requiere de una apropiada colocación del material. Refiérase a la figura 5 para una descripción pictórica de la terminología del relleno.

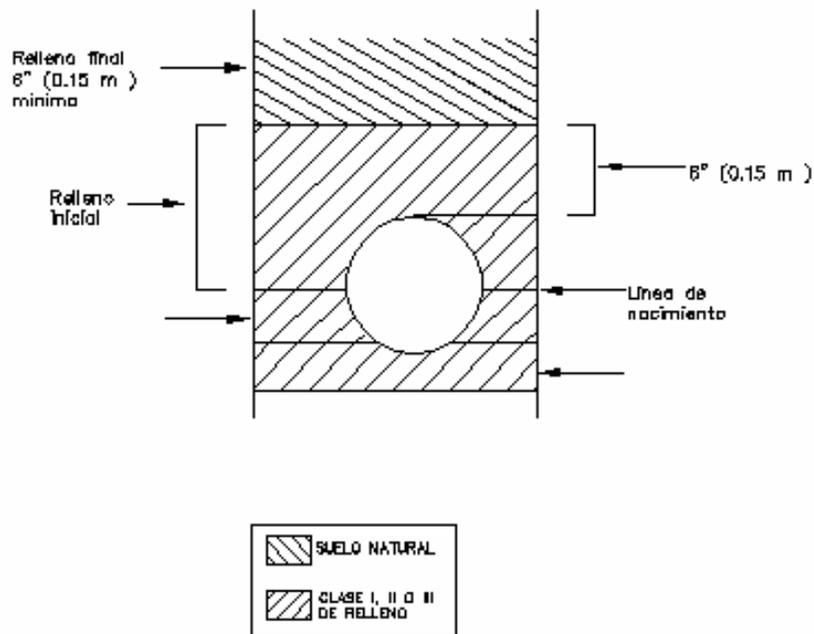
- **Relleno tipo**

Puede considerarse que la envoltura de relleno tiene zonas específicas, como se muestra en la figura 4, cada una de las cuales con un propósito específico.

- ✓ El encamado proporciona una base uniforme para asegurar que el grado se mantiene y que cargas pueden ser distribuidas en la fundación.
- ✓ El acostillado se extiende desde el encamado a la línea de resorte o punto medio.
- ✓ El relleno inicial, situado por encima de la línea de resorte hasta un punto al menos 6" (0.15 m) encima de la corona, soporta cargas en cualquier lado de la tubería.
- ✓ El relleno final ayuda a distribuir cargas aplicadas a la superficie. La altura de las áreas iniciales y finales de relleno deben estar al menos 1' (0.3 m) encima de la corona de la tubería en instalaciones que incluyen cargas máximas de AASHTO H-20 o HS-25.

- ✓ El encamado, acostillado y relleno inicial proporcionan resistencia al sistema. Estos consisten en un material apropiado de relleno y compacto, si el caso lo requiere. Los rellenos finales no proporcionan soporte directo a la tubería; generalmente puede consistir de material de zanja excavado u otro material apropiado para las cargas esperadas

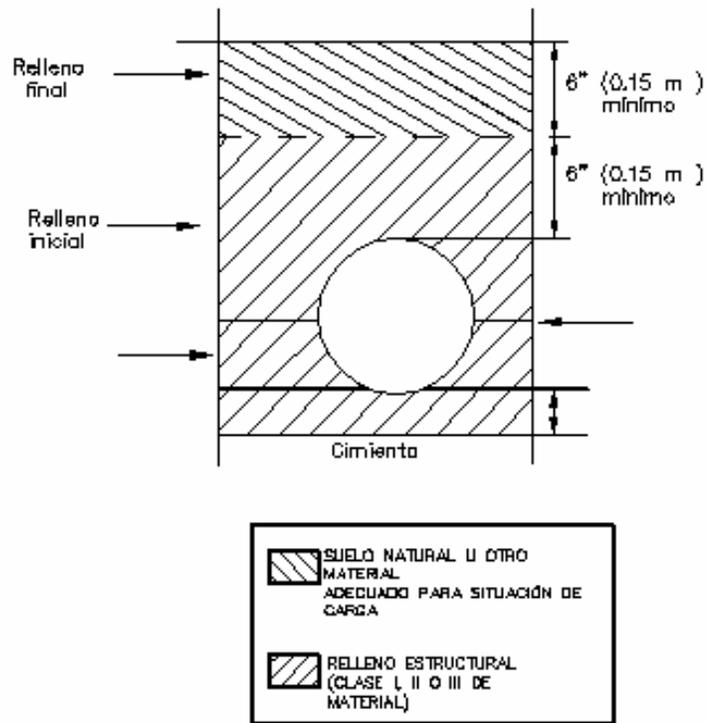
Figura 4. Colocación del relleno A



ESTRUCTURA TÍPICA DE RELLENO

Fuente: Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.

Figura 5. Colocación del relleno B



Fuente: **Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.**

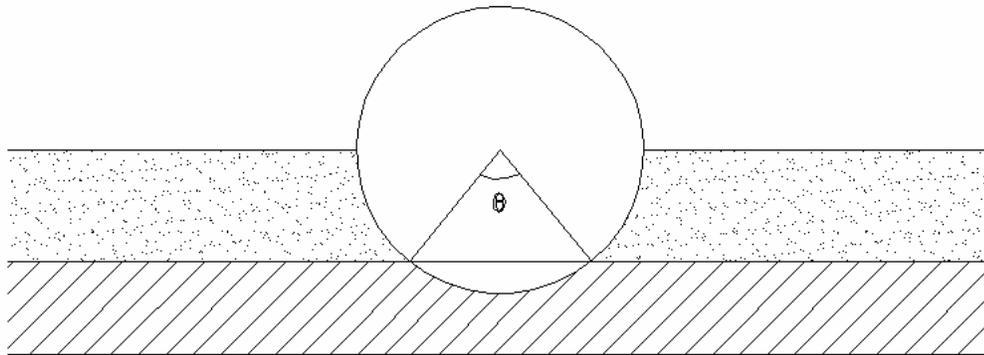
#### 2.5.4.1 Encamado

Una capa de encamado se deben colocar y compactar en el cimiento a fin de igualar las distribuciones de carga a lo largo del invertido de la tubería. La tubería puede ser colocada en el encamado y luego rellena bajo los acostillados. Aunque no es común, un encamado que se ajuste al exterior de la tubería puede también ser usado.

La constante del encamado ( $K$ ), es un coeficiente que considera el soporte del encamado proporcionado a la tubería. Además, es una función del ángulo del encamado, muy comúnmente, un valor de 0.1 es utilizado. La figura 6 y tabla V proporcionan detalles adicionales sobre los valores apropiados para constantes de encamado alternativas.

La profundidad de la zanja es dictada por la geografía del lugar y la inclinación de tubería requerida. Sin embargo, si no se dispone de un cimiento adecuado para la tubería a la profundidad deseada, se podría requerir trabajos de excavación adicionales. Salientes de rocas, sólidos demasiado blandos como ser estiércol húmedo y otros materiales similares no proporcionan el soporte adecuado. Éstos deben ser retirados y reemplazados con un material granular adecuado.

Figura 6. **El encamado**



Fuente: **Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.**

Tabla V. **Valores constantes del encamado**

<b>Ángulo del encamado (grados)</b>	<b>Valores constantes del encamado</b>
0	0.11
30	0.11
45	0.11
60	0.10
90	0.10
120	0.09
180	0.08

Fuente: **Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.**

#### **2.5.4.2 Acostillado**

El área siguiente del relleno, el acostillado, es de gran importancia debido a que proporciona el soporte primario para cargas de suelos y de tráfico. El acostillado debe ser colocado en niveles o capas, de manera uniforme en ambos lados de la tubería para una construcción óptima. Apisone para obtener la compactación especificada o utilice una pala en el área, eliminando vacíos, si el material no requiere de compactación. La construcción de cada nivel debe repetirse hasta la línea de resorte.

#### **2.5.4.3 Relleno inicial**

El relleno inicial se extiende desde la línea de resorte hasta un mínimo de 6" (0,15m) por encima de la corona de la tubería. Esta área del relleno sujeta la tubería y asegura que las cargas estén distribuidas en la forma más pareja posible en el acostillado. Cuando se utiliza un material que requiere de compactación, es importante evitar el uso del equipo directamente sobre la tubería misma.

#### **2.5.4.4 Relleno final**

El relleno final se extiende desde la capa de relleno inicial un mínimo de 6" (0.15m) hacia la superficie del suelo. No soporta la tubería en forma directa, pero juega un papel importante al permitir que la carga se distribuya sobre la tubería. Una compactación adecuada en esa área no es tan crítica para la tubería como en otras áreas del relleno. Sin embargo, si caminos o rutas cruzarán por encima de la tubería, un nivel relativamente alto de compactación se requerirá para evitar la sedimentación del pavimento.

En la mayoría de las instalaciones, los materiales excavados serán de una calidad adecuada para relleno final.

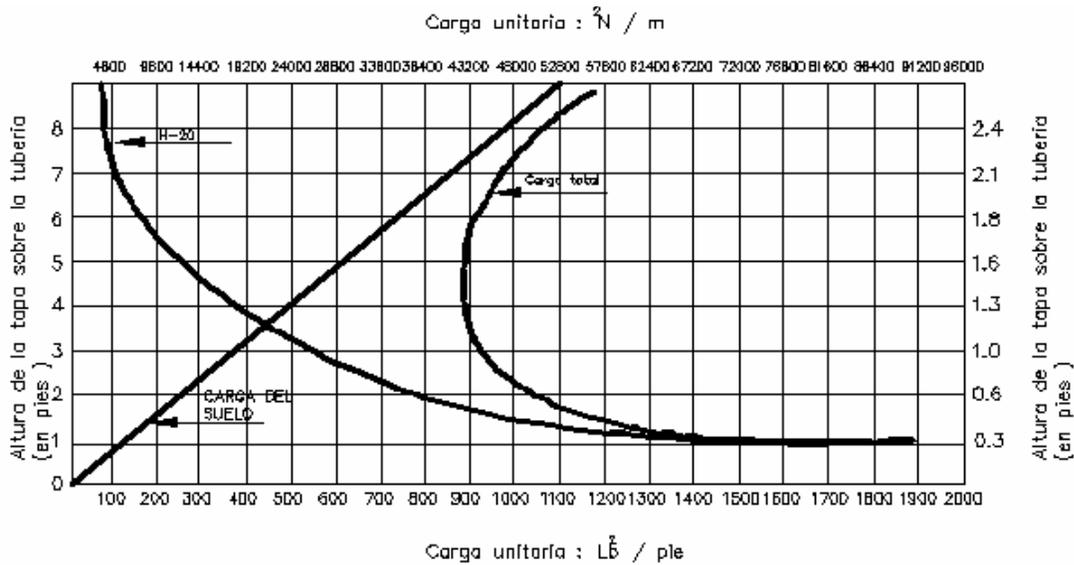
### **2.5.5 Cargas**

La carga se clasifican en carga viva (en movimiento) o carga muerta (estática). Las cargas vivas cambian en posición de magnitud, mientras las cargas muertas se mantienen relativamente constantes a lo largo de la vida de diseño del sistema de drenaje. Las cargas vivas más comúnmente utilizadas en aplicaciones de tubería son cargas vehiculares, generalmente de camiones o aeroplanos. La carga de suelos es a menudo la única carga muerta a considerarse, sin embargo, las cargas de cimiento y las condiciones de aguas subterráneas deberán considerarse en el diseño, si es apropiado.

En instalaciones bajo tierra poco profundas, el efecto del movimiento de rodamiento del vehículo debe ser considerado. Puede ser necesario aumentar la fuerza estática del vehículo por un “factor de impacto” en profundidades menores a 3’ (1 m). Las cargas vehiculares y otras cargas puestas en la superficie disminuyen en intensidad con aumento de profundidad. La típica carga vehicular ASHTO H-20 o HS-20 puede no observarse en aplicaciones donde la profundidad a la corona de la tubería es de 8’ (2.4 m) o mayor.

El efecto combinado de la carga del prisma y del tráfico vehicular es típico. La figura 7 muestra cada componente de la carga y los efectos combinados bajo una variedad de profundidades.

Figura 7. Efectos combinados bajo varias profundidades



CARGA RESULTANTE BAJO ALTURAS DE TAPA

Fuente: **Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.**

### 2.5.5.1 Cargas vivas (WL)

Las cargas vehiculares son típicamente basadas en la configuración AASHTO H-20, las cuales representan un camión de 20 toneladas (18,2 toneladas métricas) con una carga de eje de 32,000 lb (14 500 kg). En forma similar en aplicaciones ferroviarias, la carga se representa por la configuración Copper E-80 a 80 000 lb/pie (119 300 kg/m) de vía.

En aplicaciones donde la tubería está enterrada a nivel relativamente poco profundo, puede experimentar una fuerza adicional de la moción rotatoria del vehículo. A fin de considerar esta fuerza adicional, la carga estacionaria vehicular es multiplicada por un “factor de impacto”.

Las cargas de aeroplanos varían ampliamente en magnitud y distribución. Se deberá contactar al fabricante de la aeronave para obtener especificaciones más detalladas.

Algunos vehículos de construcción podrían afectar en forma temporal aunque severa, la consideración de carga viva. La magnitud y distribución de la carga entonces deberá ser evaluada. El amontonamiento y compactación de una capa por encima de la tubería cuando sea necesario, y luego su nivelación siguiendo la construcción podría ser justificable en situaciones donde la tubería tiene baja profundidad bajo tierra.

En general, para equipo entre 30 a 60 toneladas (27.3 y 44.5 toneladas métricas) con distribuciones de peso similares a la configuración H-20, un mínimo de 2' (0.6 m) de profundidad es necesaria. Las cargas más elevadas requerirán un mínimo de 3' (1 m) de profundidad.

### 2.5.5.2 Cargas muertas

- **Carga de suelos (WC)**

La carga de suelos es calculada en este procedimiento de diseño utilizando la carga de prisma, la cual es denominada carga de columna, siendo definida como el peso del prisma del suelo directamente encima el diámetro exterior de la tubería, como se muestra en la figura 8. En realidad, la carga de columna es parcialmente suspendida encima de la tubería por fricción y cohesión con las columnas de suelos adyacentes.

Este método es bastante conservador para el cálculo de cargas de suelos en tuberías corrugadas de polietileno instaladas en zanja o terraplén, ya que se ha mostrado como la carga máxima de suelos que la tubería podría experimentar, cuando en realidad la carga actual es significativamente menor que la carga de prisma debido a la fricción y cohesión entre partículas de suelos

La carga de prisma se calcula utilizando la ecuación 1-1 ó 1-1(a), de la siguiente manera:

- **Ecuación 1-1**

$$WC = \frac{H \cdot g \cdot OD}{144}$$

Donde:

**WC** = carga de prisma, (lb/pulgada)

**H** = profundidad de enterramiento hasta la parte superior de la tubería, (pies)

**gS** = densidad del suelo, pcf

**OD** = diámetro externo de la tubería, (pulgadas), o en unidades métricas

- **Ecuación 1-1 (a)**

$$\mathbf{WC} = (9.81 \times 10^{-6})\mathbf{H} \mathbf{gS} \mathbf{OD}$$

Donde:

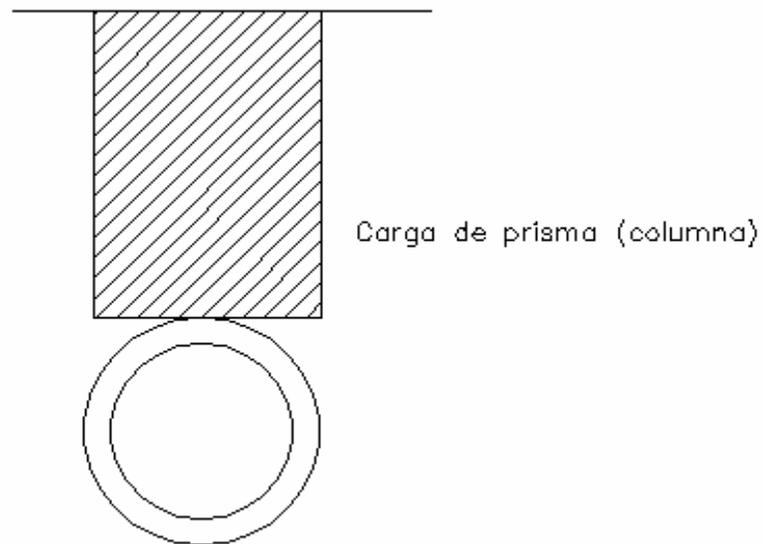
**WC** = carga de prisma, N/mm linear de tubería

**H** = profundidad de enterramiento hasta la parte superior de la tubería, (m)

**gS** = densidad del suelo, (kg/m<sup>3</sup>)

**OD** = diámetro externo de la tubería, (mm)

Figura 8. **Carga de prisma**



Fuente: **Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.**

## **2.6 Límites de profundidad**

La información en esta sección está diseñada para proporcionar de forma mucho más rápida respuestas a las preguntas relativas a profundidad más comunes. Las dos preocupaciones típicas son profundidad mínima en áreas de tráfico y profundidades máximas de enterramiento. Ambas pueden considerarse situaciones “graves” desde el punto de vista de la carga.

### **2.6.1 Profundidad mínima**

Las tuberías en áreas de tráfico (cargas AASHTO H-20) deben tener un mínimo de 1' (0.3m) de profundidad por encima de la corona de la tubería. En teoría, la tubería puede ser enterrada con una profundidad un poco menor, pero las variables de la aplicación son tales que 1' (0.3 m) es el límite conservador.

La envoltura del relleno debe proporcionar un valor E mínimo de 1 000psi (6900 kPa). En la tabla VI, esta condición se representa por un material clase III compactado a una densidad estándar proctor de 90 por ciento, aunque otro material puede proporcionar una resistencia similar a niveles de compactación levemente menores.

El material de relleno estructural debe extenderse 6" (0.15 m) por encima de la corona de la tubería; el restante 6" (0.15 m de) de profundidad bajo tierra debe ser el apropiado para la instalación. En el caso que la sedimentación fuese un problema, podría ser apropiado el extender el relleno estructural. En el caso de pavimentación, se puede utilizar material sub-base.

La capa de pavimento puede a veces ser incluida como parte de la profundidad mínima. En estas situaciones, el equipo de la carga de pavimentación y la cantidad de cubierta sobre la tubería deberá ser considerado a fin de determinar si la carga resultante puede ser soportada por el sistema de la tubería/relleno. Sobre la base de relleno clase III compactado a densidad estándar proctor de 90 por ciento y carga AASHTO H-20.

Nota.- Las profundidades mínimas aquí presentadas han sido calculadas en base a un material de relleno estructural mínimo de 6" (0,15 m) por encima de la corona de la tubería con una capa adicional de suelos del lugar compactados para una profundidad total, como se muestra. En instalaciones de tráfico poco profundas, especialmente en la presencia de pavimento, sería más adecuado el uso de un material compactado de buena calidad, a fin de evitar la sedimentación de la superficie.

Tabla VI. **Cobertura mínima de relleno para tubería corrugada de polietileno de alta densidad**

<b>Diámetro interior pulg. (mm) ID</b>	<b>Cubierta mínima pies (m) H</b>	<b>Diámetro interior pulg. (mm) ID</b>	<b>Cubierta mínima pies (m) H</b>
4 (100)	1 (0.3)	21 (525)	1 (0.3)
6 (150)	1 (0.3)	24 (600)	1 (0.3)
8 (200)	1 (0.3)	30 (750)	1 (0.3)
10 (250)	1 (0.3)	36 (900)	1 (0.3)
12 (300)	1 (0.3)	42 (1050)	1 (0.3)
15 (375)	1 (0.3)	48 (1200)	1 (0.3)
18 (450)	1 (0.3)	60 (1500)	1 (0.3)

Fuente: **Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.**

### **2.6.1 Profundidad máxima**

La carga de prisma fue considerada en el procedimiento de diseño, lo que resulta en límites máximos de profundidad bastante conservadores. Las cargas de carreteras tienen un efecto casi imperceptible en enterramientos profundos. Los límites máximos de profundidad para tubería corrugada de polietileno se muestran en la tabla VII, para una variedad de condiciones de relleno.

Tabla VII. **Profundidad máxima de relleno para tubería corrugada de polietileno, pies (m)**

	Condición del relleno		
	E' 1000psi (6,900 kPa)	E' 2000psi (13,800 kPa)	E' 3000psi (20,700 kPa)
	Clase III	Clase II	
Diámetro	(SM) 90%	(GW) 90%	
Interior	Densidad	Densidad	Clase I
pulg. (mm)	Proctor standard	Proctor standard	
4 (100)	28 (8.5)	66 (20.1)	118 (36.0)
6 (150)	26 (7.9)	60 (18.3)	108 (32.9)
8 (200)	20 (6.1)	47 (14.3)	83 (25.3)
10 (250)	25 (7.6)	58 (17.7)	105 (32.0)
12 (300)	29 (8.8)	68 (20.7)	116 (35.4)
15 (375)	25 (7.6)	58 (17.7)	101 (30.8)
18 (450)	29 (8.8)	69 (21.0)	120 (36.6)
21 (525)	24 (7.3)	56 (17.1)	97.8 (29.8)
24 (600)	29 (8.8)	67 (20.4)	116 (35.4)
30 (750)	28 (8.5)	65 (19.8)	116 (35.4)
36 (900)	25 (7.6)	59 (18.0)	108 (32.9)
42 (1050)	25 (7.6)	58 (17.7)	105 (32.0)
48 (1200)	28 (8.5)	65 (19.8)	120 (36.6)
60 (1500)	29 (8.8)	67 (20.4)	120 (36.6)

Fuente: **Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.**

## 2.7 Diseño hidráulico

### 2.7.1 Criterios de diseño

El análisis y la investigación de las características del flujo hidráulico, han permitido que los sistemas de alcantarillado, construidos con tuberías plásticas, pueden ser diseñados conservadoramente utilizando la ecuación de *Manning*.

La relativamente pequeña concentración de sólidos (600 ppm) usualmente presente en las aguas negras y de tormenta, no es suficiente para hacer que el comportamiento hidráulico difiera al agua limpia, siempre que se mantengan velocidades mínimas de auto limpieza.

En general, para simplificar el diseño de sistemas de alcantarillado, es aceptable asumir condiciones constantes de flujo; aunque la mayoría de los sistemas de drenaje o alcantarillado funcionan con caudales sumamente variables. Cuando se diseña permitiendo que la altura del flujo en el conducto varié, se considera como flujo a superficie libre; si esa condición no se cumple se dice que la tubería trabaja bajo carga o presión interna.

La ecuación de *Manning* para flujos a superficie libre es la siguiente:

$$Q = \frac{A r^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

Donde:

**Q** = caudal, (m<sup>3</sup>/s)

**A** = área hidráulica de la tubería, (m<sup>2</sup>)

- r** = radio hidráulico,  $r = D / 4$  para conductos circulares a sección llena y a media sección, (m)
- n** = coeficiente de *Manning*
- s** = pendiente hidráulica, (m/m)

La pendiente hidráulico, **s** , se obtiene dividiendo la diferencia de altura entre dos puntos respecto a al distancia horizontal o separación entre ellos.

Es decir:

$$s = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Donde:

- H<sub>1</sub>** = elevación aguas arriba, (m)
- H<sub>2</sub>** = elevación aguas abajo, (m)
- L** = longitud horizontal entre puntos, (m)

### 2.7.2 Coeficiente de rugosidad

El valor de **n** ha sido determinado experimentalmente para los materiales más comunes usados en sistemas de alcantarillado. Su valor puede ser tan bajo como 0.007 en pruebas de laboratorio para tuberías plásticas utilizando agua limpia, o tan alto como 0.009 bajo condiciones menos favorables.

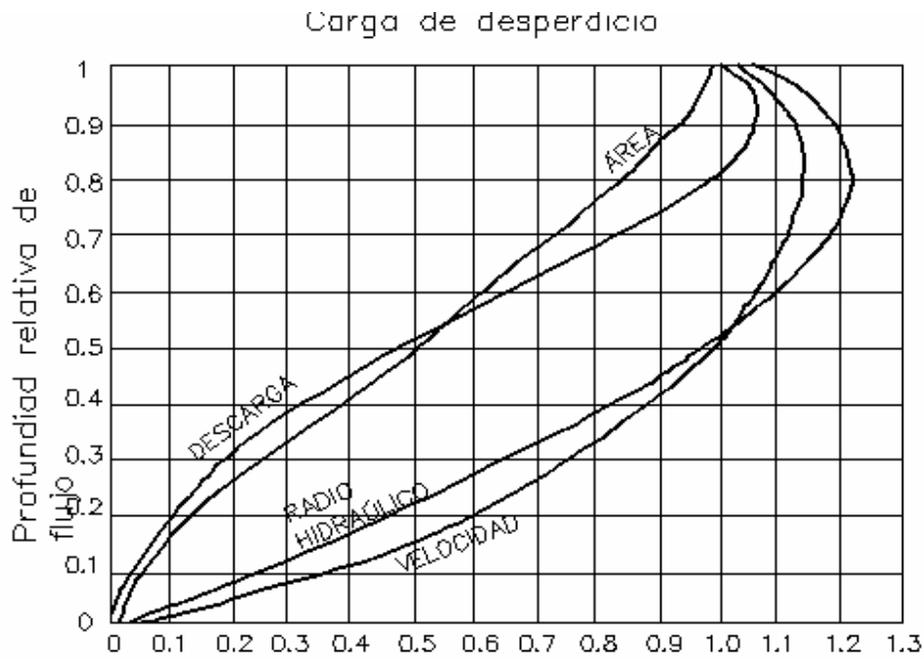
### **2.7.3 Velocidades recomendables**

Es recomendable que la velocidad del flujo en líneas de alcantarillas no sea menor de 0.60 m/s para proporcionar un acción de auto-limpieza, es decir, capacidad de arrastre de partículas en suspensión. En casos especiales podrán emplearse velocidades de 0.40 m/s en tramos iniciales y con bajo caudal.

La velocidad máxima recomendada es de 5.0 m/s. Para velocidades mayores se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones especiales para la disipación de energía, evitando la erosión de los pozos de visita o de cualquier estructura de concreto.

La determinación de la velocidad efluente se puede simplificar en gran manera mediante el uso de una tabla, figura 9, para flujos en tuberías parcialmente llenas.

Figura 9. **Determinación de la velocidad**



Fuente: **Manual de Especificaciones, Advanced Drainage Systems, Inc.**

### **3. ALCANTARILLAS DE METAL CORRUGADO**

#### **3.1 Definición**

Son los conductos que se construyen por debajo de la sub-rasante de una carretera u otras obras viales con el objeto de evacuar las aguas superficiales.

Las alcantarillas, por su forma, pueden ser tubos circulares o elípticos, tubos de arco (con fondo metálicas) o arcos (con cimentación de concreto) todos fabricados con planchas estructurales.

#### **3.2 Descripción**

Este trabajo consiste en la fabricación, suministro, acarreo y colocación de las alcantarillas metálicas de los diámetros, medidas y clases requeridas; debiendo colocarse sobre una cama adecuadamente preparada, de acuerdo con su diseño y localizadas de conformidad con cada línea de alcantarilla. La tubería de metal puede ser de aluminio o de acero corrugado, según se indique en los planos o en las disposiciones especiales.

### 3.3 Materiales

#### 3.3.1 Planchas estructurales de metal corrugado

Las planchas para estos elementos deben ser de las clases siguientes:

- **Planchas estructurales de acero galvanizado.** Deben cumplir con los requisitos de AASHTO M 167M.
- **Planchas estructurales de aleación de aluminio.** Deben cumplir con los requisitos de AASHTO M 219M.

#### 3.3.2 Pernos de acero para planchas estructurales

Los pernos de acero para planchas estructurales de acero o de aleación de aluminio deben cumplir con lo estipulado en AASHTO M 164M (ASTM A 325).

#### 3.3.3 Recubrimientos para las alcantarillas de metal corrugado

Según se especifique en los planos o en las disposiciones especiales, el recubrimiento de la tubería o tubería de arco, debe cumplir con uno de los siguientes:

- **Recubrimiento bituminoso.** La alcantarilla debe tener una capa asfáltica en toda la superficie exterior y en la interior con un espesor mínimo de 1.27 mm, que cumpla con lo indicado en AASHTO M 190M, tipo A.

- **Recubrimiento bituminoso con invert pavimentado.** Adicional al recubrimiento indicado en el inciso (a) anterior, la alcantarilla debe tener un recubrimiento asfáltico del 25 por ciento inferior de los tubos y, en el caso de tuberías de arco, en el 40 por ciento inferior. Este recubrimiento asfáltico puede ser aplicado en el sitio del proyecto y debe cubrir 3.2 mm sobre las crestas de las corrugaciones, formando en esa forma una superficie lisa en el fondo, cumpliendo con lo establecido en AASHTO M 190M, tipo C.
- **Invert cubierto con concreto hidráulico.** El invert puede ser cubierto con concreto simple o reforzado después de instalar la tubería, de conformidad con lo establecido en ASTM A 849.
- **Recubrimiento con mastique asfáltico o con polímero.** Cuando no se requiera un invert pavimentado con material asfáltico, el recubrimiento a que se hace referencia en el inciso (a) puede ser substituido por un recubrimiento de mastique asfáltico o un recubrimiento con polímero.

Él mastique asfáltico o el polímero debe ser colocado en la superficie exterior de la tubería y no se necesita recubrir los interiores a menos que se establezca en las disposiciones especiales. Él mastique asfáltico debe estar de acuerdo con AASHTO M 243 y debe tener un espesor mínimo de 1.27 mm.

La capa de polímero debe cumplir con lo indicado en AASHTO M 246 y se debe aplicar a la plancha galvanizada antes de la corrugación y el espesor no debe ser menor de 0.25 milímetros.

### **3.4 Clasificación de las alcantarillas metálicas**

De acuerdo a su diseño, pueden ser:

#### **a) Alcantarillas anidables**

Se forman con dos secciones de lámina corrugada y rolada en las cuales uno de sus bordes longitudinales está provisto de rezagues perfectamente definidos.

La unión se lleva a cabo anidando o encajando entre sí dichas secciones y para mantener ésta, se utilizan ganchos especiales. (ver figura 10).

#### **b) Alcantarillas atornillables**

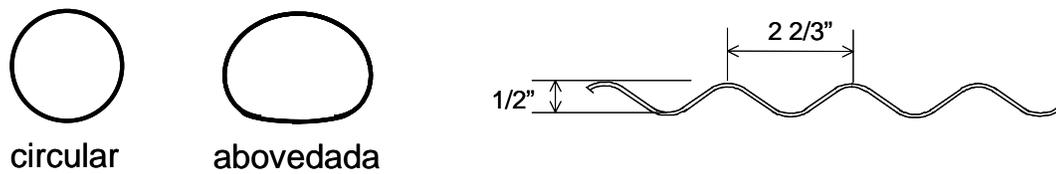
Se forman con dos secciones de lámina corrugada, perforada y rolada, las cuales se sujetan entre sí, longitudinalmente, con tornillos de alta resistencia (ver figura 10).

#### **c) Alcantarillas seccionales**

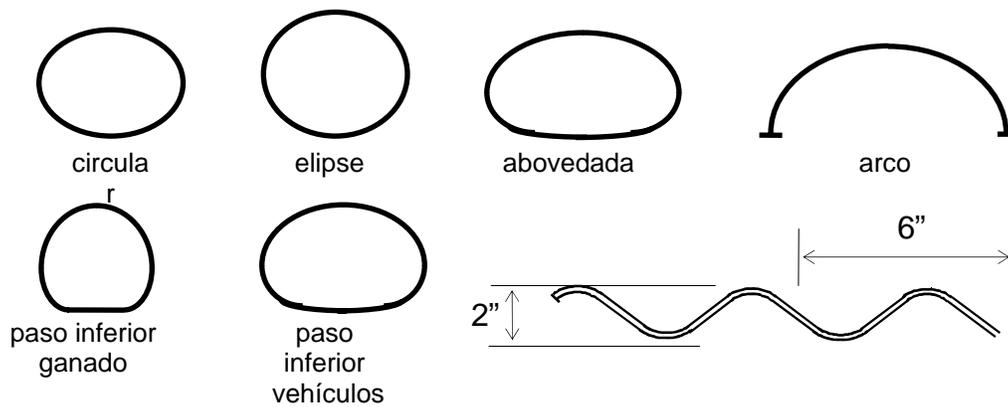
Como su nombre lo indica se forman a base de placas corrugadas, perforadas y roladas, atornilladas entre sí, con tornillos de alta resistencia, en juntas transversales y longitudinales (ver figura 10).

Figura 10. Clasificaciones de la alcantarillas metálicas

**A. Alcantarillas anidables y atornillables**



**B. Alcantarillas seccionales**



Fuente: **Forjas Metálicas, S.A.** , Manual de Alcantarillas

### **3.5 Diseño estructural**

Las alcantarillas de acero corrugado se deben diseñar tanto estructural como hidráulicamente, considerando dentro del diseño estructural un estudio del suelo, especialmente del relleno lateral y la subrasante.

El análisis del suelo debe incluir tres verificaciones importantes, que son:

- Clasificación y evaluación del tipo de material del lugar o banco, según el caso.
- Determinación de las propiedades del material de relleno, incluyendo porcentaje de compactación, módulo de deformación y coeficiente de reacción.
- Determinación de las propiedades la subrasante.

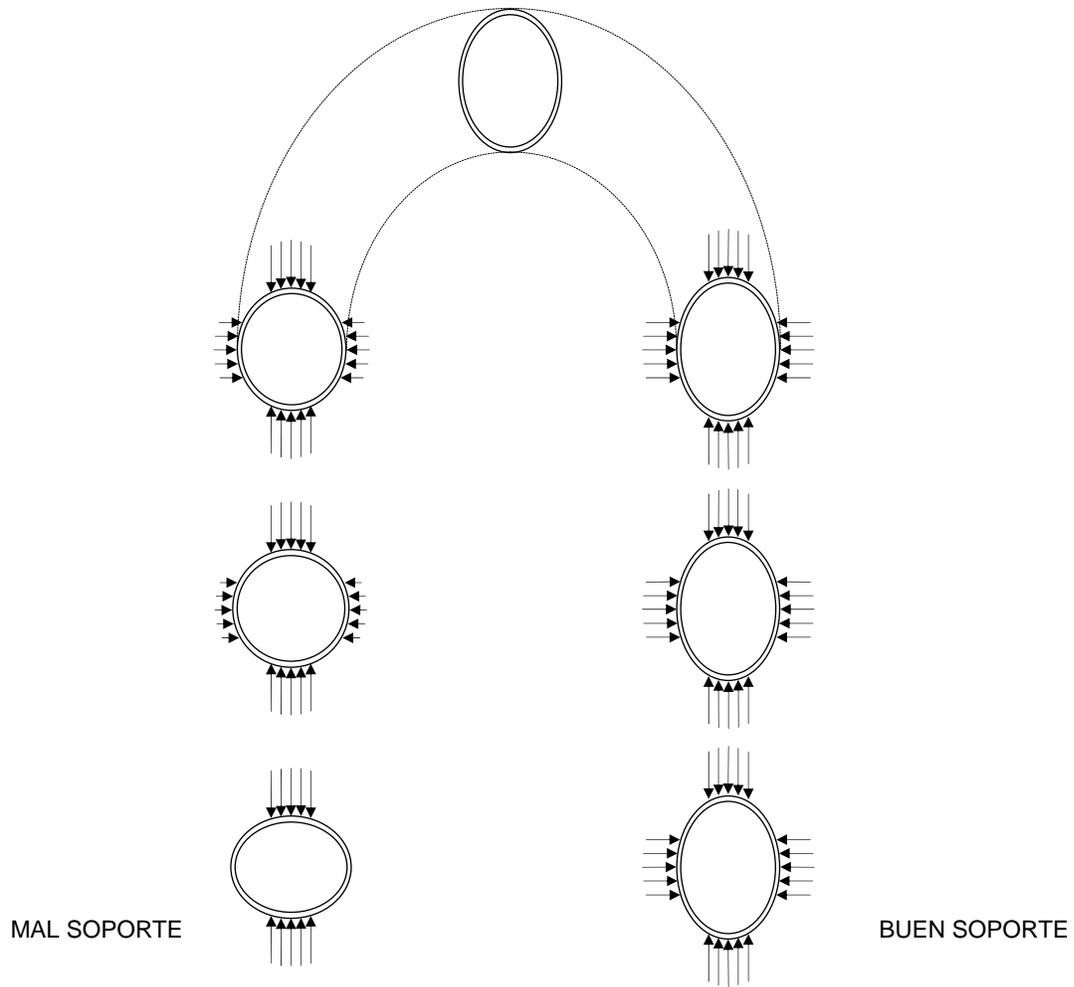
#### **3.5.1 Teoría del anillos de compresión**

La teoría del anillo de compresión de White y Layer es un método para determinar el espesor de la pared de la alcantarilla, se basa en que, una vez que la estructura está rellena, tanto en las zonas laterales como en la parte superior, y este relleno sea bien compactado, y por tanto capaz de absorber las presiones de reacción. Su resistencia puede ser determinada como la de un anillo delgado sometido a compresión, es decir, que la estructura, bajo la aplicación de fuerzas concentradas, conserva su forma circular solamente si se aplican fuerzas radiales de igual intensidad en todo el contorno de su perímetro (ver figura 11).

Los estudios efectuados indican que una presión en la corona de la estructura, con un valor igual al producto de la altura del relleno por el peso específico del mismo (de acuerdo al grado de compactación), puede adoptarse como más conveniente para la presión de trabajo. Al valor de esta carga muerta se agrega la presión distribuida producida por las cargas vivas.

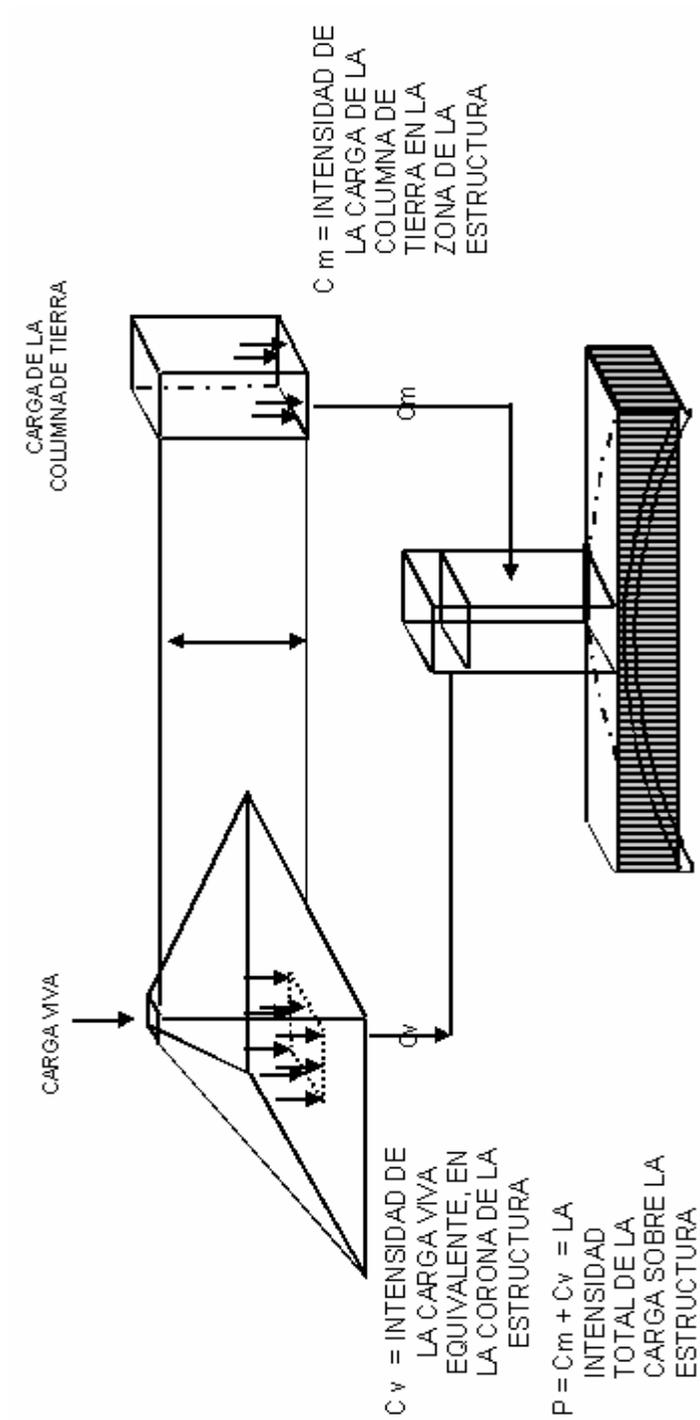
El valor de las cargas vivas debe ser el existente en el plano transversal en la corona de la alcantarilla. Como esta compresión existe en toda la estructura, puede suponerse que se corta de la misma una porción pequeña de acero y se considera como un cuerpo libre sometido a la parte correspondiente de la carga y a los sectores de compresión que actúan sobre sus extremos. Estos efectos se observan en la figura 12.

Figura 11. **Importancia del soporte lateral en tubos flexibles**



Fuente: **Forjas Metálicas, S.A.** , Manual de Alcantarillas

Figura 12. Diagrama de la compresión en toda la estructura



Fuente: **Forjas Metálicas, S.A.** , Manual de Alcantarillas

Este diseño comprende los siguientes pasos básicos, basados en el criterio AASHTO:

Cargas

Compresión

Área de acero corrugado

Resistencia al manejo e instalación

Resistencia de las juntas

### **3.5.2 Cargas**

Principalmente influyen las siguientes cargas:

#### **3.5.2.1 Carga muerta**

Es la carga que ejerce el material sobre la estructura.

$$C_m = g H_t \quad [\text{Kg/m}]$$

Donde:

**g** = Peso específico del suelo compactado (Kg/m<sup>3</sup>).

**Ht** = Altura del terraplén sobre la estructura (m).

### 3.5.2.2 Carga viva

Es la carga que se ejerce sobre la estructura al paso de los vehículos.

$$C_v = \frac{7280}{(1.75 H_t)^2} \quad \text{Kg/m}^2 \quad \text{Para } H_t < 1.05 \text{ m}$$

$$C_v = \frac{14560}{1.75H_t (1.83+1.75H_t)} \quad \text{Kg/m}^2 \quad \text{Para } 1.05 < H_t < 3.66 \text{ m}$$

$$C_v = 0 \quad \text{Para } H_t > 3.66 \text{ m}$$

En las fórmulas anteriores, **7280** es la carga que se produce al pasar una rueda del eje trasero de un camión **HS-20** y el **1.75** es la proporción en que se distribuye la carga concentrada en el suelo compactado. El **14560** corresponde a la carga total del eje posterior y se considera que la separación entre las ruedas de éste es de 1.83 m (ver figura 13).

La carga viva se puede determinar también por medio de la gráfica de la figura 14.

### 3.5.3 Compresión "C"

Compresión es la presión total (Kg/m) y se calcula de la manera siguiente:

$$C = (C_v + C_m)$$

Donde:

**C** = Compresión (Kg/m)

**Cv** = Carga viva (Kg/m<sup>2</sup>)

**Cm** = Carga muerta (Kg/m<sup>2</sup>)

### 3.5.4 Área de acero "A"

$$A = \frac{C}{f_c}$$

para arcos:

$$f_c = \frac{fb}{4}$$

Donde:

**A** = Área de acero (cm<sup>2</sup>/m)

**C** = Compresión (Kg/m)

**f<sub>c</sub>** = Esfuerzo de diseño (Kg/cm<sup>2</sup>)

### 3.5.5 Resistencia al manejo e instalación

El factor de flexibilidad "FF" que se utiliza, es para asegurar suficiente rigidez en la estructura y resistir el riesgo durante el embarque, instalación y relleno de la alcantarilla.

$$I = \frac{D^2}{EFF} \quad (\text{cm}^4/\text{cm})$$

Donde:

- I** = Momento de inercia de la sección requerido (cm<sup>4</sup>/cm)
- D** = Diámetro (cm)
- E** = Módulo de elasticidad del acero 2.1 x 10<sup>6</sup> Kg/cm<sup>2</sup>
- FF** = Factor de flexibilidad = 0.112 cm/Kg corrugación 6" x 2"

### **3.5.6 Resistencia de juntas "Rj"**

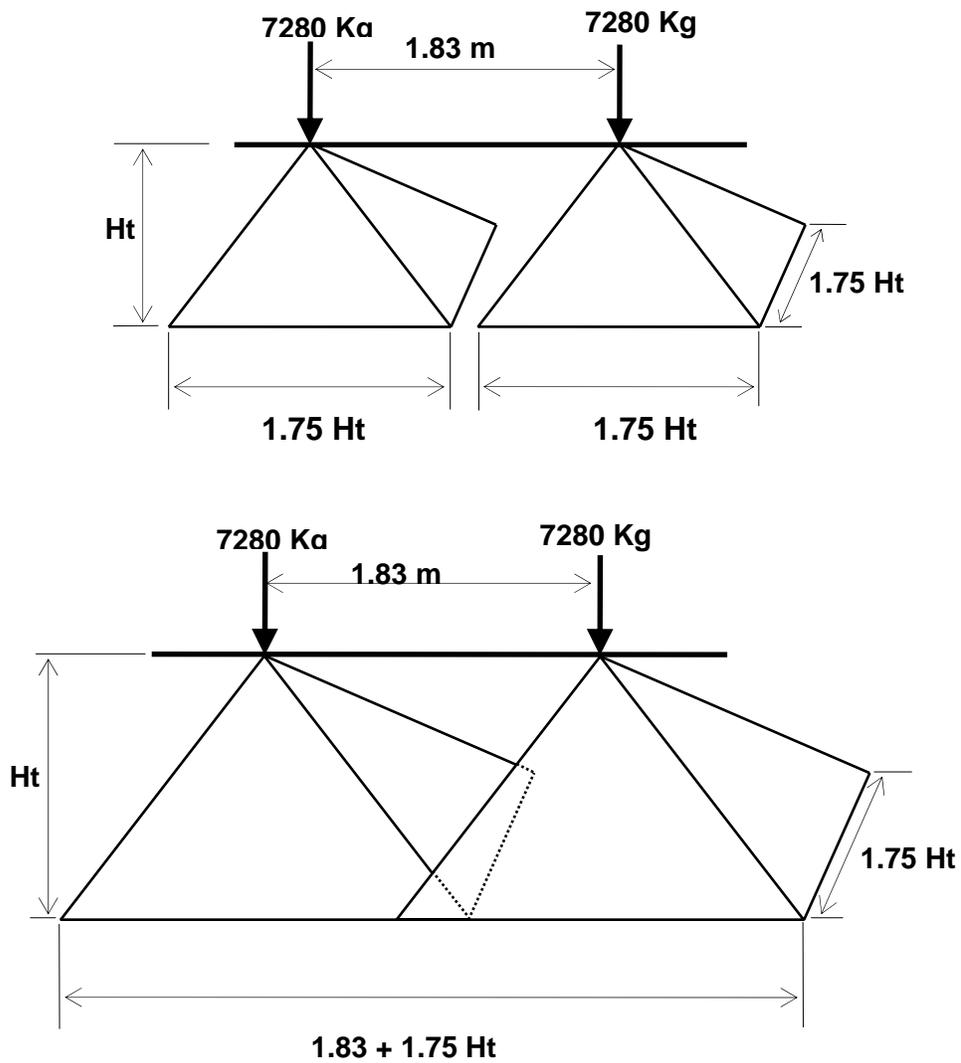
La resistencia de las juntas debe ser un valor último, el factor de seguridad considerado es 3.0.

$$R_j = C FS$$

Donde:

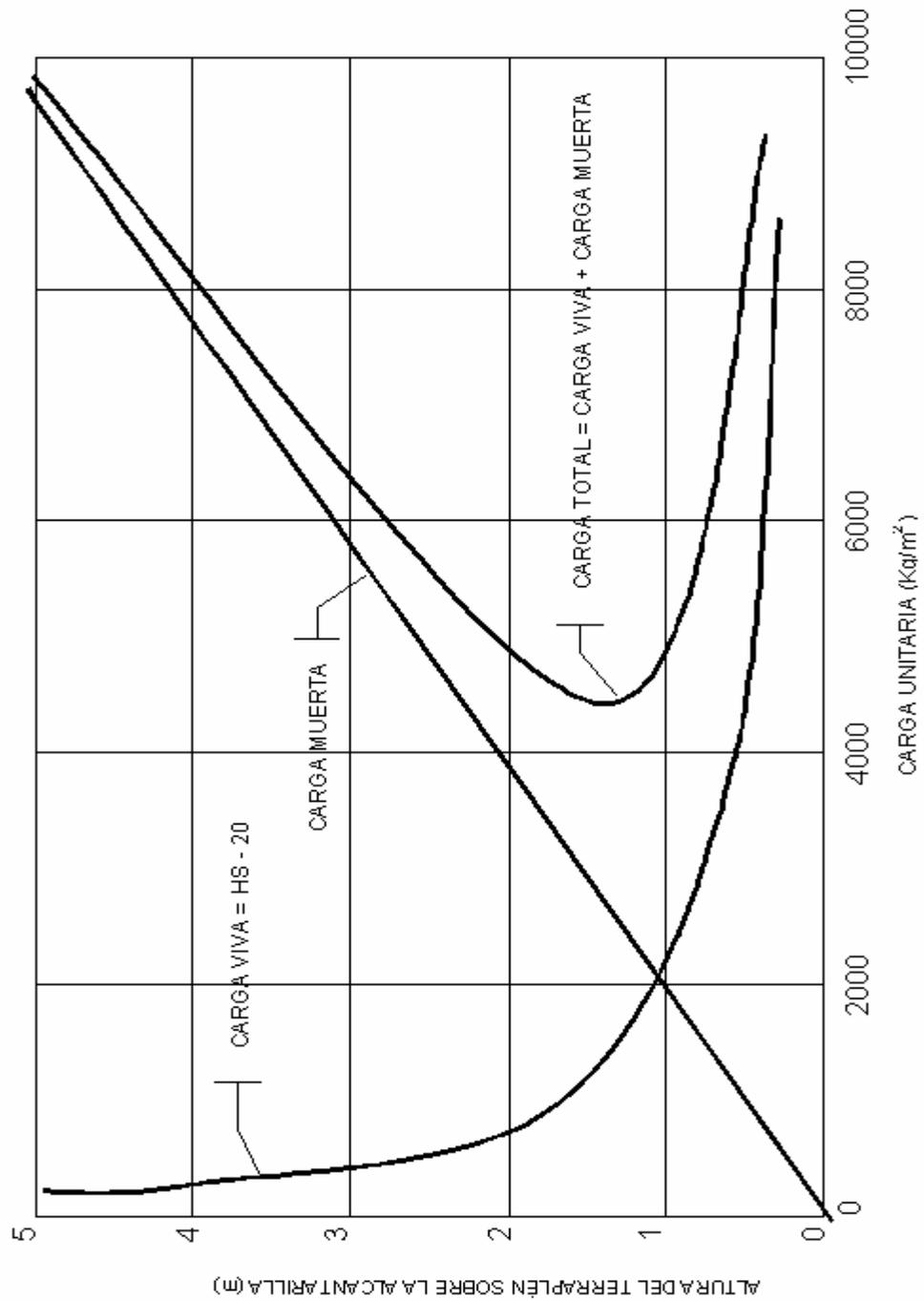
- Rj** = Resistencia de juntas (Kg/m)
- C** = Compresión (Kg/m)
- FS** = Factor de seguridad = 3.0

Figura 13. La carga sobre los ejes



Fuente: **Forjas Metálicas, S.A.**, Manual de Alcantarillas

Figura 14. Gráfica para determinar la carga viva



Fuente: **Forjas Metálicas, S.A.**, Manual de Alcantarillas

## **3.6 Recomendaciones para la construcción de plantilla y rellenos**

### **3.6.1 Preparación de la base de cimentación**

Para obtener una mayor eficiencia y duración de las alcantarillas, es necesario que se coloquen sobre una base firme que distribuya uniformemente las cargas. Esto se logra colocando una capa de material con el espesor necesario, de acuerdo al tipo de suelo del sitio de la construcción, la cual deberá compactarse adecuadamente. Al terminar el proceso de cimentación, se procede a darle una curvatura similar al diseño de la alcantarilla, de tal forma que, al colocar ésta, su parte inferior quede perfectamente apoyada.

El espesor de la base de cimentación en el centro de la obra no deberá ser menor de 20 cm.

- **En terreno firme**

Cuando la alcantarilla se va a colocar sobre un terreno firme, la base de cimentación constará de una capa de material con características de subrasante, compactado al 90 por ciento AASHTO estándar (ver parte a de figura 15).

- **En terreno irregular**

Cuando la cota de colocación de la alcantarilla quede sobre un suelo irregular (con zonas blandas y zonas rocosas), la base de la cimentación deberá ser construida lo más uniforme posible.

Un método para corregir esta deficiencia consiste en excavar a todo lo largo de la estructura con un ancho y espesor suficiente y proceder a rellenar utilizando material con características de subrasante, compactado al 90 por ciento AASHTO estándar (ver parte b de figura 15).

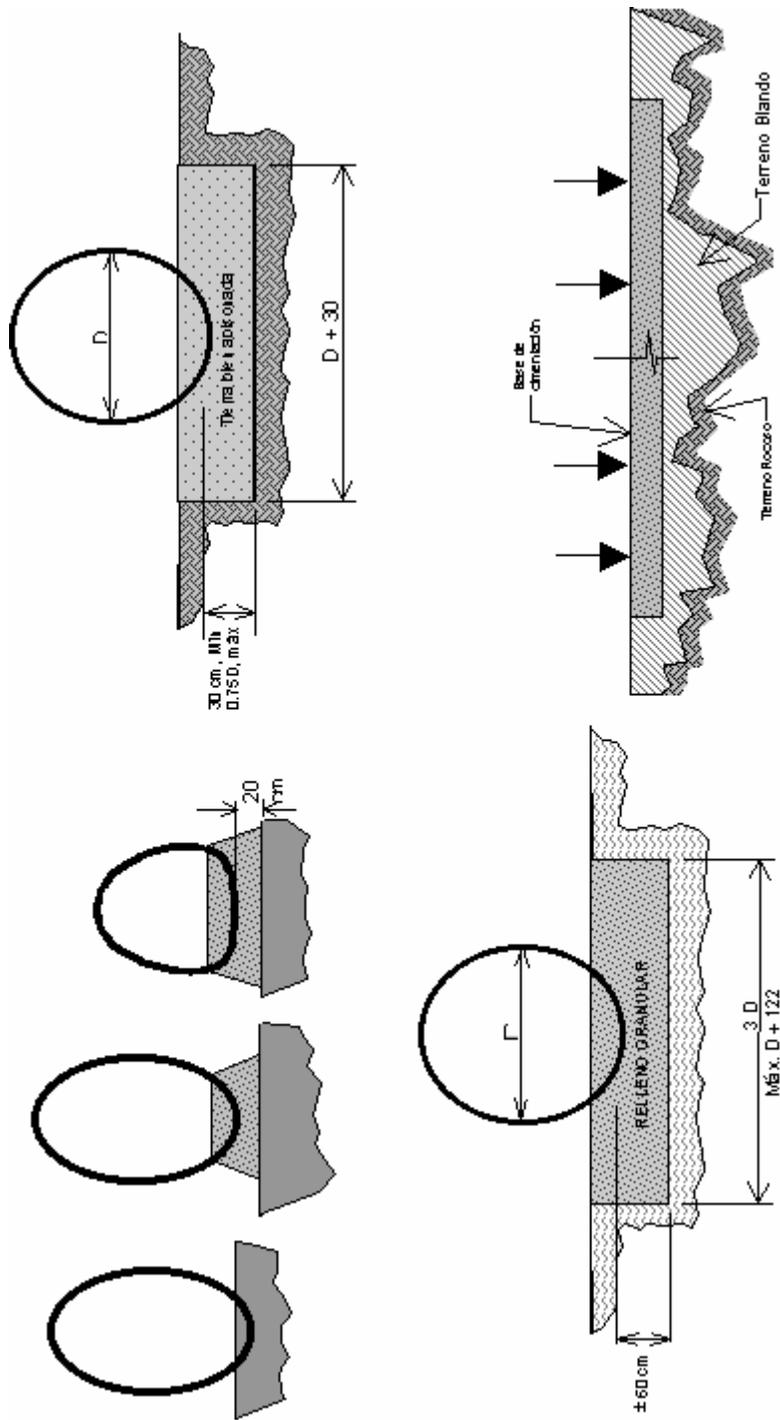
- **En terreno blando**

Cuando se encuentra material blando e inestable en la cota de colocación de la alcantarilla, deberá hacerse una excavación a todo lo largo de la estructura con un ancho de  $3D$  y un espesor de  $\pm 60$  cm, se rellenará con grava-arena, piedra triturada o con algún otro material adecuado con un tamaño máximo de agregado de 7 cm. El material se apisona hasta obtener el 90 por ciento AASHTO estándar (ver parte c de figura 15).

- **En roca**

Cuando se encuentra roca en la cota de desplante, deberá hacerse una excavación a todo lo largo de la estructura con un ancho  $D+30$  cm y un espesor de 30 cm, mínimo, y de  $0.75D$ , máximo. Se rellena con material de calidad subrasante, apisonando hasta alcanzar el 90 por ciento AASHTO estándar (ver parte d de figura 15).

Figura 15. Diferentes tipos de terrenos



Fuente: Forjas Metálicas, S.A., Manual de Alcantarillas

### **3.6.2 Relleno**

Para alcantarillas abovedadas, el material que servirá de apoyo a las placas esquineras o “riñones” de la alcantarilla, deberá ser de buena calidad, tal como grava, arena de río, roca triturada o suelo-cemento; procediéndose a compactar hasta lograr un 95 por ciento AASHTO estándar. Esto es de suma importancia, ya que es precisamente en estos puntos donde se presentan los máximos esfuerzos de la estructura; por lo que, si el material no se encuentra lo suficientemente compactado, pudieran originarse fallas en la alcantarilla, ocasionando, el colapso de la misma (ver parte a de figura 16).

#### **a) Relleno lateral**

El relleno lateral se debe llevar a cabo utilizando material con características de subrasante, colocándose en capas horizontales de 15 a 20 cm, alternadas a cada lado de la estructura, de tal forma que en todo momento la altura sea la misma en ambos lados de la alcantarilla. A cada capa se le apisona hasta lograr una compactación del 90 por ciento AASHTO estándar, para lo que se recomienda el uso de equipo manual o mecánico liviano.

NOTA: Para lograr la compactación especificada en los casos anteriores es necesario que el material tenga su humedad óptima, la cual es determinada por pruebas de laboratorio.

#### **b) Relleno de alcantarillas en proyección**

Para la colocación del material de relleno se sigue el proceso anteriormente mencionado, debiéndose considerar un ancho de 3D en la cota de la corona de la alcantarilla (ver parte b de figura 16).

### **c) Relleno de alcantarillas en zanjas**

El ancho de la zanja para alojar la alcantarilla debe ser de 30 a 60 cm. más grande que el diámetro de la misma. Esto es para efectuar un correcto apisonamiento del material de relleno (ver parte c de figura 16).

### **d) Relleno sobre la corona de la alcantarilla**

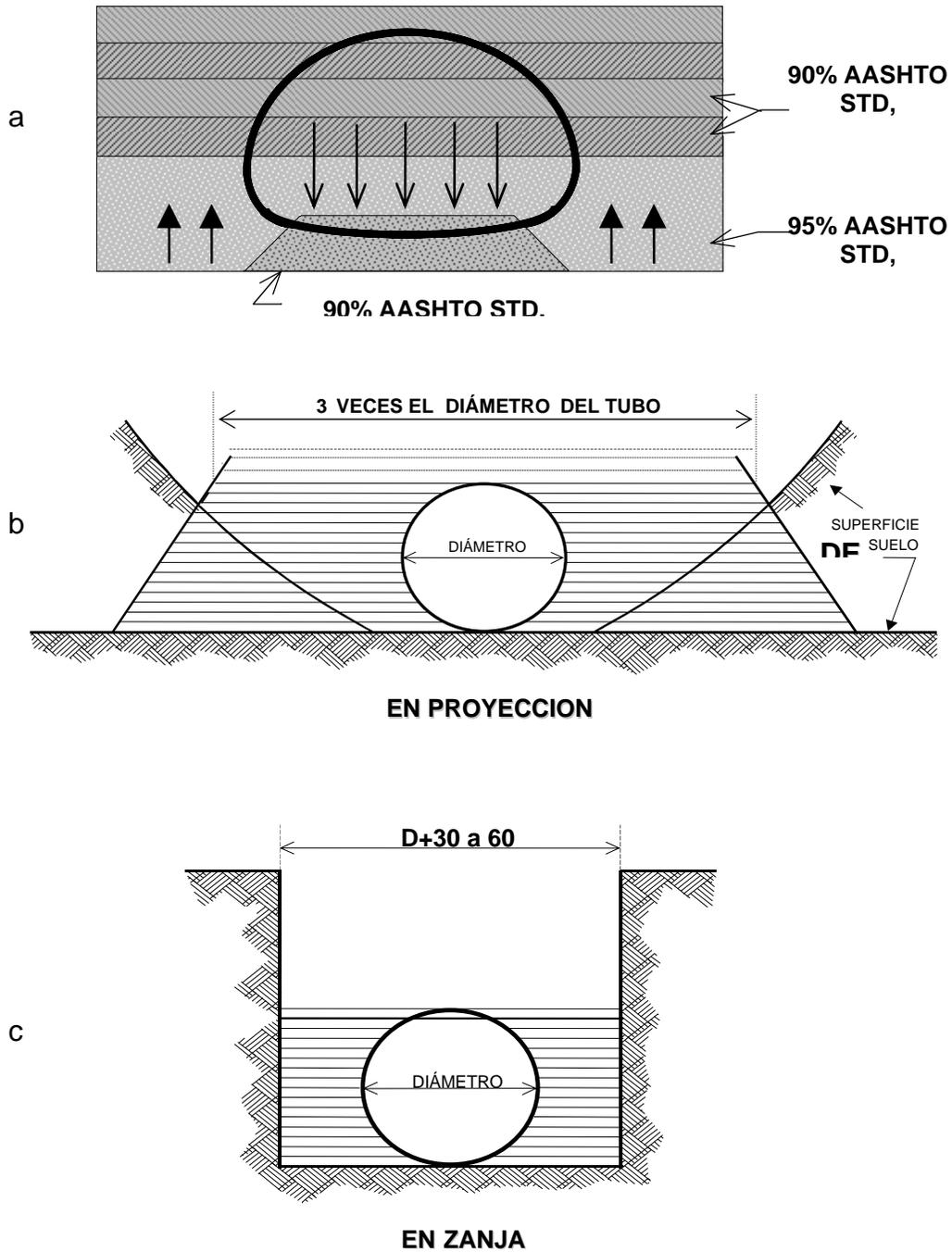
El relleno sobre la corona se realiza de la misma forma que los rellenos laterales, hasta una altura mínima especificada; a partir de este nivel se podrá utilizar equipo de compactación convencional.

### **e) Protección durante la construcción**

Es frecuente que durante la etapa de construcción, las alcantarillas sean sometidas a cargas mucho más elevadas que las especificadas, por esta razón será necesario protegerlas durante este período de tiempo, mediante la construcción de un terraplén más alto que el normal y el cual se eliminará una vez desaparecidas las cargas.

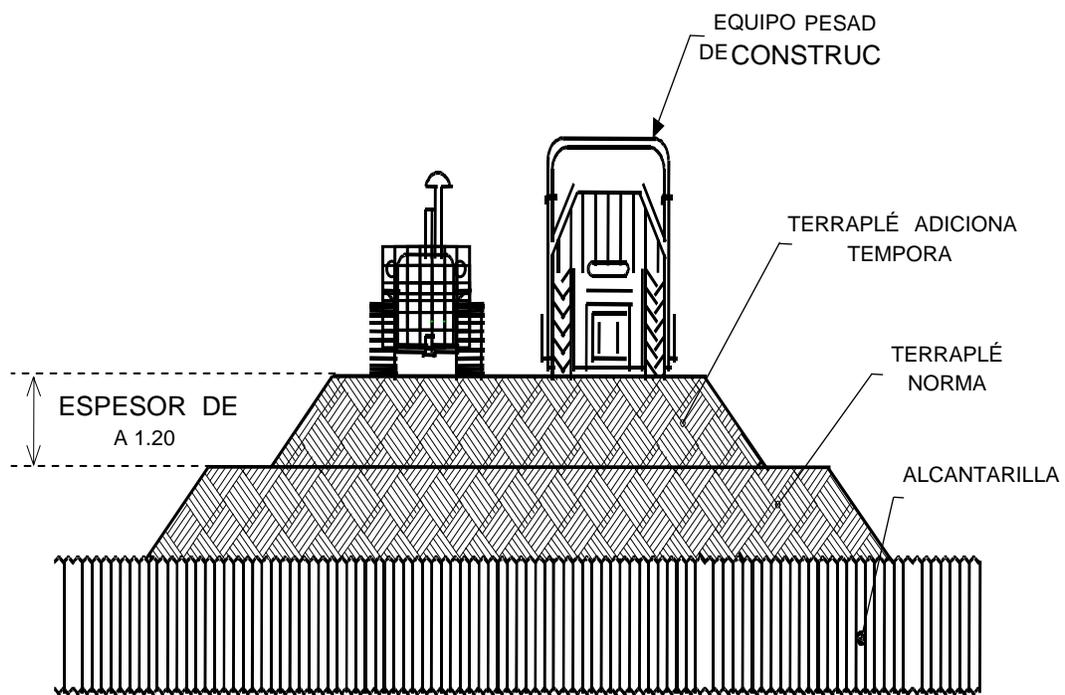
El espesor adicional de terraplén protector, dependerá directamente de la carga transmitida por la rueda del equipo empleado, así como de su frecuencia (ver figura 17).

Figura 16. Diferentes tipos de rellenos



Fuente: **Forjas Metálicas, S.A.**, Manual de Alcantarillas

Figura 17. **Protección a la alcantarilla**



Fuente: **Forjas Metálicas, S.A.**, Manual de Alcantarillas

## 3.7 Diseño hidráulico

### 3.7.1 Criterios de diseño

El análisis y la investigación de las características del flujo hidráulico, han permitido que los sistemas de alcantarillado, construidos con tuberías de metal corrugado, pueden ser diseñados conservadoramente utilizando la ecuación de *Manning*, como cualquier otra tubería.

La cantidad considerable de concentración de sólidos, mayor que la tubería plástica, usualmente presente en las aguas negras y de tormenta, no es suficiente para hacer que el comportamiento hidráulico difiera al agua limpia, siempre que se mantengan velocidades mínimas de auto limpieza.

En general, para simplificar el diseño de sistemas de alcantarillado, es aceptable asumir condiciones constantes de flujo; aunque la mayoría de los sistemas de drenaje o alcantarillado funcionan con caudales sumamente variables. Cuando se diseña permitiendo que la altura del flujo en el conducto varié, se considera como flujo a superficie libre; si esa condición no se cumple se dice que la tubería trabaja bajo carga o presión interna.

La ecuación de Manning para flujos a superficie libre es la siguiente:

$$Q = \frac{A r^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

Donde:

**Q** = caudal, (m<sup>3</sup>/s)

**A** = área hidráulica de la tubería, (m<sup>2</sup>)

- r** = radio hidráulico,  $r = D / 4$  para conductos circulares a sección llena y a media sección, (m)
- n** = coeficiente de *Manning*
- s** = pendiente hidráulica, (m/m)

La pendiente hidráulico, **s**, se obtiene dividiendo la diferencia de altura entre dos puntos respecto a la distancia horizontal o separación entre ellos.

Es decir:

$$s = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Donde:

- H<sub>1</sub>** = elevación aguas arriba, (m)
- H<sub>2</sub>** = elevación aguas abajo, (m)
- L** = longitud horizontal entre puntos, (m)

### 3.7.2 Coeficiente de rugosidad

El valor de **n** ha sido determinado experimentalmente para los materiales más comunes usados en sistemas de alcantarillado. Su valor puede ser tan bajo como 0.018 en pruebas de laboratorio para tuberías de metal corrugado utilizando agua limpia, o tan alto como 0.020 bajo condiciones menos favorables.

### **3.7.3 Velocidades recomendables**

Es recomendable que la velocidad del flujo en líneas de alcantarillas no sea menor de 0.60 m/s para proporcionar un acción de auto-limpieza, es decir, capacidad de arrastre de partículas en suspensión. En casos especiales podrán emplearse velocidades de 0.40 m/s en tramos iniciales y con bajo caudal.

La velocidad máxima recomendada es de 5.0 m/s. Para velocidades mayores se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones especiales para la disipación de energía, evitando la erosión de los pozos de visita o de cualquier estructura de concreto.



## 4. COMPARACIÓN ENTRE ALCANTARILLA DE METAL CORRUGADO Y MATERIAL PLÁSTICO

### 4.1 Diseño hidráulico

#### 4.1.1 Diseño hidráulico de alcantarillas de metal

Para la determinación del diseño hidráulico de dicha alcantarilla, se utilizará la ecuación de *Manning*, descrita en el capítulo 3.

<b>Diámetro (plg.)</b>	<b>Caudal (l/seg)</b>
24	588.83
30	1,067.62
36	1,736.06
48	3,738.83
60	6,778.95

Nota: se calculó con una pendiente del 2 por ciento, el coeficiente de *Manning* 0.020.

#### 4.1.2 Diseño hidráulico de alcantarilla plástica

Para la determinación del diseño hidráulico de dicha alcantarilla, se utilizará la ecuación de *Manning*, descrita en el capítulo 2.

Diámetro (plg.)	Caudal (l/seg)
24	1,308.51
30	2,372.48
36	3,857.92
48	8,308.51
60	15,064.34

Nota: se calculó con una pendiente del 2 por ciento, el coeficiente de *Manning* 0.009.

#### 4.2 Costos

Los costos varían en las distintas zonas del país, dependiendo del suelo, condiciones atmosféricas, eficiencia de la mano de obra, escala de salarios, disponibilidad de material en el lugar, facilidad de transportación y topografía.

##### 4.2.1 Costos de alcantarilla de metal

Por lo dicho anteriormente, para efectuar la integración de precios se usarán tuberías de 24, 30, 36, 48 y 60 plg., comparados con cálculos realizados en la División de Planificación y Estudio de la Dirección General de Caminos (ver apéndice A).

<b>Diámetro (pulg)</b>	<b>Q./m</b>
24	723.70
30	842.50
36	1,156.25
48	1,581.25
60	2,068.75

#### **4.2.2 Costos de alcantarilla plástica**

Por lo dicho anteriormente, para efectuar la integración de precios se usarán tuberías de 18, 21, 24, 30, 36 y 48 plg., comparados con cálculos realizados en la División de Planificación y Estudio de la Dirección General de Caminos (ver apéndice B).

<b>Diámetro (pulg)</b>	<b>Q./m</b>
18	433.48
21	534.85
24	762.30
30	925.26
36	1,466.25
48	2,036.25

### 4.3 Comparación de los resultados obtenidos

La comparación hidráulica entre dichas tuberías consiste que la tubería de metal tiene el problema de ofrecer una menor eficiencia; debido a las corrugaciones, la rugosidad es mayor que las de plástico por lo que para tuberías de igual diámetro, el caudal en las de metal es menor.

$$Q = \frac{Ar^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

Donde:

$$Q_p = Q_m$$

entonces:

$$\frac{Ar^{2/3} s^{1/2}}{n_p} = \frac{Ar^{2/3} S^{1/2}}{n_m} \quad r = D/4; \quad A = \pi(D/2)^2$$

$$\frac{\cancel{\pi}(D_p/2)^2 (D_p/4)^{2/3} \cancel{s}^{1/2}}{n_p} = \frac{\cancel{\pi}(D_m/2)^2 (D_m/4)^{2/3} \cancel{S}^{1/2}}{n_m}$$

$$(D_p^2 D_p^{2/3}) n_m = (D_m^2 D_m^{2/3}) n_p$$

$$D_p = D_m \left[ \frac{n_p}{n_m} \right]^{3/8}$$

donde:

$$n_p = 0.009$$

$$n_m = 0.020$$

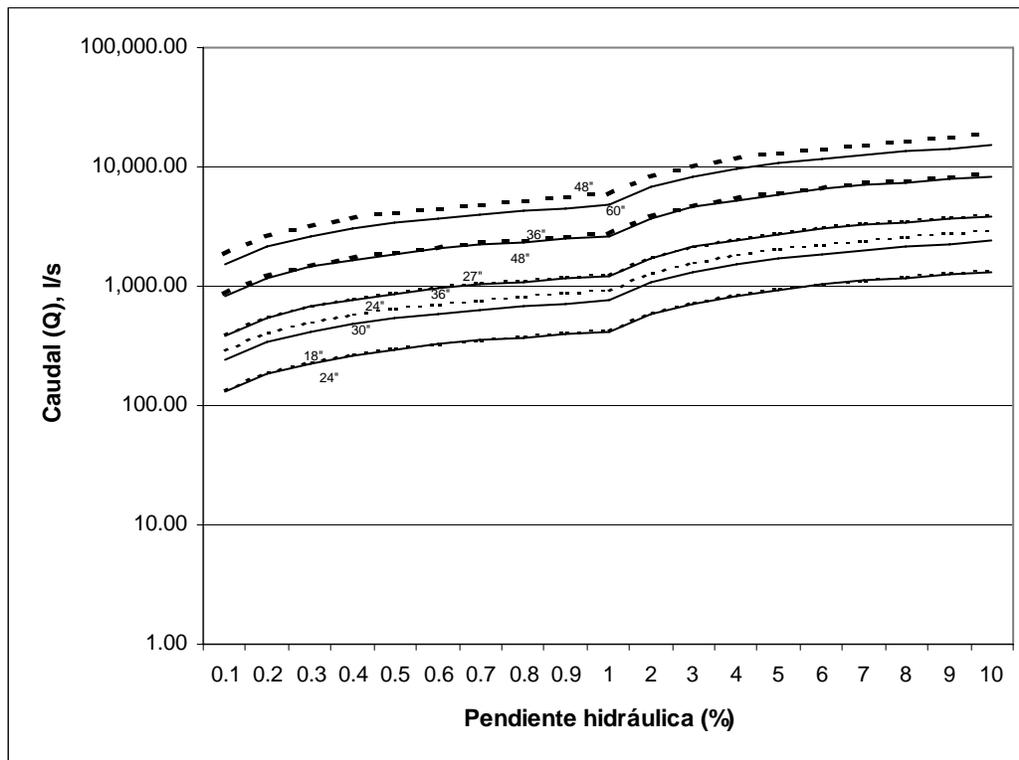
entonces:

$$D_p = 0.74D_m$$

<b>D<sub>m</sub></b> <b>(pulg)</b>	<b>D<sub>p</sub></b> <b>(pulg)</b>
24	18
30	24
36	27
48	36
60	48

En lo que respecta al comportamiento hidráulico, la tubería de plástico presenta ventaja sobre la de metal, por su mayor eficiencia, ya que su baja rugosidad y la poca sedimentación permite desalojar igual cantidad de agua, con diámetros menores, que los que se necesita en las de metal corrugado (ver la figura 18)

Figura 18. Gráfica comparativa entre tubería plástica Vrs. metal corrugado



----- Tubería de plástico  
———— Tubería de metal corrugado

## CONCLUSIONES

1. Las tuberías de plástico presenta en términos generales, mayores ventajas que las de metal, sobre todo en lo relacionado con la instalación y transporte.
2. La eficiencia en las tuberías de plástico es mayor que en las de metal corrugado debido a la rugosidad, al igual que su resistencia a la corrosión y sedimentación.
3. Cuando se diseñan alcantarillas se pretende lograr un equilibrio en la pendiente con que se trabaja, para que no ocasione sedimentación ni velocidades excesivas y a su vez evitar erosión.
4. La correcta selección del tipo de estructura de drenaje a utilizar, así como su diseño, materiales y método constructivo se reflejan directamente en el avance de la obra, pero principalmente en el costos de ejecución y mantenimiento de la misma.
5. Es necesario efectuar, todos los estudios necesarios, para lograr un diseño óptimo y evitar costos innecesarios.

## RECOMENDACIONES

1. El drenaje constituye un reglón fuerte, económicamente en los proyectos de carreteras; por lo tanto deben buscarse soluciones óptimas, en cuanto a la eficiencia y economía se refiere.
2. Usar recubrimiento bituminoso para la tubería de metal corrugado, para evitar su sedimentación y resistencia a la corrosión.
3. Hacer un estudio completo para elegir la tubería adecuada, ya sea de metal corrugado o plástico.
4. El diámetro del drenaje transversal no tiene que ser menor a 24" para que se puedan limpiar.
5. Velar por el mantenimiento periódico de las estructuras de drenaje, ya que de ello depende su correcto funcionamiento y conservación de las mismas.

## BIBLIOGRAFÍA

**Especificaciones para la construcción de puentes y carreteras.** Dirección General de Caminos. Edición septiembre, 2001.

King, Williams. **Manual de Hidráulica.** México: Editorial Hispano Americana, 1992.

**Proyectos tipo de obras de drenaje para carretera.** Dirección General de Proyectos y Laboratorios. México: 1965.

**Manual de tubería plástica.** Advanced Drainage Systems Inc. Columbus, Ohio: 1999.

**Manual de Alcantarillas.** Forjas Metálicas, S.A. México: julio 1999.

Dubón, Marco. Consideraciones generales para diseño de drenaje menor. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998.



# APÉNDICE A

( Alcantarilla de metal corrugado)

Tabla VIII. Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 24”

**ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS**

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 603.03(a) **Alcantarillas de metal corrugado de 24”**

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
1	Camión volteo	h	4.00	120.00	480.00
1	Compactador manual	h	5.00	70.00	350.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-total de actividad				<b>3,060.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
4	Obreros especiales	d	2.00	85.00	680.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>1,060.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 24", calibre 16	m	24.00	310.80	7,459.20
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>7,459.20</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>11,579.20</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>482.47</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>723.70</b>

Tabla IX. Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 30"

**ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS**

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 603.03(a) **Alcantarillas de metal corrugado de 30"**

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a)Equipo</b>					
1	Camión volteo	h	4.00	120.00	480.00
1	Compactador manual	h	5.00	70.00	350.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-total de actividad				<b>3,060.00</b>
<b>b)Mano de obra</b>					
4	Obreros especiales	d	2.00	85.00	680.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>1,060.00</b>
<b>c)Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 30", calibre 16	m	24.00	390.00	9,360.00
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>9,360.00</b>
<b>e)Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>13,480.00</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>561.67</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>842.50</b>

Tabla X. Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 36"

<b>ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS</b>
--

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 603.03(a) (36 **Alcantarillas de metal corrugado de f 36"**)

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
4	Camión volteo	h	4.00	120.00	1,920.00
2	Compactador manual	h	5.00	70.00	700.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-total de actividad				<b>6,640.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
4	Obreros especiales	d	2.00	85.00	680.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>1,060.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 36", calibre 16	m	24.00	450.00	10,800.00
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>10,800.00</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>18,500.00</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>770.83</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>1,156.25</b>

Tabla XI. Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 48''

**ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS**

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 603.03(a) (48 **Alcantarillas de metal corrugado de f 48"**)

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
2	Camión volteo	h	4.00	120.00	960.00
1	Camión grua	h	4.00	160.00	640.00
1	Compactador manual	h	5.00	70.00	350.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-total de actividad				<b>5,300.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
6	Obreros especiales	d	2.00	85.00	1,020.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>1,400.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 48", calibre 16	m	24.00	775.00	18,600.00
1					0.00
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>18,600.00</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>25,300.00</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>1,054.17</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>1,581.25</b>

Tabla XII. Integración de precios de alcantarilla de metal corrugado de 60”

<b>ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS</b>
--

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 603.03(a) (60 **Alcantarillas de metal corrugado de f 60”**)

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
2	Camión volteo	h	4.00	120.00	960.00
1	Camión grua	h	4.00	160.00	640.00
1	Compactador manual	h	5.00	70.00	350.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-total de actividad				<b>5,300.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
6	Obreros especiales	d	2.00	85.00	1,020.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>1,400.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 60", calibre 16	m	24.00	1,100.00	26,400.00
1					0.00
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>26,400.00</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>33,100.00</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>1,379.17</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>2,068.75</b>

# APÉNDICE B

( Alcantarilla de material plástico)

**Tabla XIII. Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 18"**

<b>ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS</b>
--

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 604.03(f) **Alcantarillas de plástico de 18"**

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
1	Camión Estaca	h	4.00	100.00	400.00
	Sub-total de actividad				<b>800.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
6	Peon	d	2.00	60.00	720.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>1,100.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 18"	m	24.00	209.82	5,035.68
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>5,035.68</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>6,935.68</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>288.99</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>433.48</b>

Tabla XIV. Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 21”

**ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS**

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 604.03(f) **Alcantarillas de plástico de 21”**

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
1	Camión volteo	h	4.00	120.00	480.00
1	Compactador manual	h	4.00	70.00	280.00
	Sub-total de actividad				<b>1,520.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
6	Peon	d	2.00	60.00	720.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>1,100.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 21"	m	24.00	247.40	5,937.60
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>5,937.60</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>8,557.60</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>356.57</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>534.85</b>

Tabla XV. Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 24”

<b>ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS</b>
--

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 604.03(f) **Alcantarillas de plástico de 24"**

Unidad del renglón de trabajo: **M**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a)Equipo</b>					
1	Camión volteo	h	4.00	120.00	480.00
1	Compactador manual	h	4.00	70.00	280.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-total de actividad				<b>2,920.00</b>
<b>b)Mano de obra</b>					
2	Peon	d	2.00	60.00	240.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>620.00</b>
<b>c)Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 24"	m	24.00	360.70	8,656.80
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>8,656.80</b>
<b>e)Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>12,196.80</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>508.20</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>762.30</b>

**Tabla XVI. Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 30''**

<b>ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS</b>
--

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 604.03(f) **Alcantarillas de plástico de 30''**

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
1	Camión volteo	h	4.00	120.00	480.00
1	Compactador manual	h	4.00	70.00	280.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-total de actividad				<b>2,920.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
3	Peon	d	2.00	60.00	360.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>740.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 30"	m	24.00	464.34	11,144.16
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>11,144.16</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>14,804.16</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>616.84</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>925.26</b>

Tabla XVII. Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 36"

**ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS**

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 604.03(f) **Alcantarillas de plástico de 36"**

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
1	Camión volteo	h	4.00	120.00	480.00
1	Compactador manual	h	4.00	70.00	280.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-total de actividad				<b>2,920.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
4	Peon	d	2.00	60.00	480.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>860.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 36"	m	24.00	820.00	19,680.00
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>19,680.00</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>23,460.00</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>977.50</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>1,466.25</b>

Tabla XVIII. Integración de precios de alcantarilla de material plástico de 48"

**ANALISIS DETALLADO DE PRECIOS UNITARIOS**

Proyecto: **Trabajo de graduación**

Renglón de trabajo: 604.03(f) **Alcantarillas de plástico de 48"**

Unidad del renglón de trabajo: **m**

Cantidad total estimada: **24.00**

Producción en sitio: **12.00**

Tiempo analizado: **2.00 días**

Total del tiempo: **2.00 días**

No. c/unidad	Elemento de costo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>a) Equipo</b>					
1	Camión volteo	h	4.00	120.00	480.00
1	Compactador manual	h	4.00	70.00	280.00
1	Retroexcavadora	h	4.00	175.00	700.00
	Sub-Total de actividad				<b>2,920.00</b>
<b>b) Mano de obra</b>					
4	Peon	d	2.00	60.00	480.00
1	Encargado	d	2.00	190.00	380.00
					0.00
					0.00
	Sub-total de actividad				<b>860.00</b>
<b>c) Materiales y otros</b>					
1	Tubería de 48"	m	24.00	1,200.00	28,800.00
1					0.00
1					0.00
1					0.00
	Sub-total de actividad				<b>28,800.00</b>
<b>e) Resumen</b>					
	Costo directo del renglón				<b>32,580.00</b>
	Costo unitario directo del renglón				<b>1,357.50</b>
	Factor (impuestos+indirectos+utilidad)				<b>1.50</b>
	Precio unitario del renglón				<b>2,036.25</b>



