

LIBRO: PRY. PROYECTO
TEMA: CAR. CARRETERAS
PARTE: 4. PROYECTO DE DRENAJE Y SUBDRENAJE
TÍTULO: 01. Proyectos de Obras Menores de Drenaje
CAPÍTULO: 003. Diseño Estructural de Obras Menores de Drenaje

A. CONTENIDO

Este Manual contiene el procedimiento para el diseño estructural de alcantarillas, una vez seleccionado el tipo, de acuerdo con las Normas N·PRY·CAR·1·01·002, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje* y N·PRY·CAR·1·01·003, *Diseño Estructural de Obras Menores de Drenaje*.

B. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje	N·PRY·CAR·1·01·002
Diseño Estructural de Obras Menores de Drenaje	N·PRY·CAR·1·01·003
Cargas y Acciones	N·PRY·CAR·6·01·003
Sismo	N·PRY·CAR·6·01·005
Combinación de Cargas	N·PRY·CAR·6·01·006
Tubos de Concreto Reforzado	N·CMT·3·02
Cajones Prefabricados de Concreto Hidráulico Reforzado	N·CMT·3·07

C. DEFINICIÓN

Las obras menores de drenaje son estructuras bajo terraplenes que conducen aguas de escurrimiento natural, se construyen transversales al cruce con el eje de las carreteras y vialidades suburbanas, en longitudes suficientes sobre caudales de arroyos, cauces, escurrideros, con el propósito de conducir por gravedad caudales a través del cuerpo de terraplén. Se clasifican en rígidas y flexibles y se construyen con claros máximos horizontal de 6,00 m. en diferentes secciones geométricas definidas por su área hidráulica necesaria, altura de terraplén, sección hidráulica, pendiente de cauce, capacidad de carga del suelo de desplante y aprovechando los materiales encontrados en la zona.

D. DISEÑO

En general se considera el diseño, que es el mínimo para protección y evitar deformaciones en la etapa de construcción, así como el máximo que puede soportar la obra, tomando en cuenta el más desfavorable según la sección de las terracerías.

D.1. ALCANTARILLAS TUBULARES

El tipo de terreno en cuanto a topografía, y el tipo de suelo influyen en el tipo de material que se utilizará para las alcantarillas tubulares

En cuanto a topografía, en terreno plano o de lomerío suave se podrán proyectar alcantarillas de cualquier tipo de material, mientras que, en terreno de lomerío fuerte o terreno montañoso, es más conveniente la utilización de lámina corrugada, debido a su flexibilidad. Éstas, en general, tendrán que ser ancladas al terreno mediante atraques con separaciones adecuadas en función de la pendiente, mismas que son recomendadas por el fabricante de los tubos.

El tipo de suelo de cimentación es también importante para la elección de los materiales de que estén constituidas las tuberías. Cuando el tubo se coloque sobre terreno compresible, se utilizarán materiales flexibles, ya que absorben mejor los asentamientos. También, cuando los terraplenes sean altos, mayores de 15 m, se seleccionará material flexible, y puede ser necesario que la tubería tenga contraflecha.

En general, las tuberías flexibles serán preferibles cuando sobre ellas actúen cargas importantes, ya que presentan cedencia que propicia efectos de arqueo. Su fabricación se hace bajo normas estrictas, por las empresas reconocidas del mercado, mismas que proporcionan diversos diseños y recomendaciones del tipo más conveniente a utilizarse para cada caso particular.

En cambio, se emplearán tubos de concreto hidráulico reforzado cuando se tengan ambientes de alta humedad y corrosión; cuando los terraplenes no sean muy altos, es decir, que sean de menos de 15 m de altura; cuando el terreno de cimentación sea friccionante o cuando no sea compresible; cuando se drenen aguas corrosivas.

En general, salvo sus altos costos de transporte cuando sus diámetros son mayores que 1,5 m, las tuberías de concreto hidráulico son de costos menores que las metálicas.

D.1.1. De concreto

Rígidos

- Durabilidad: se garantizan de 75 a 100 años de servicio.
- Deformación permisible: 2%.
- Densidad relativa: 2,4.
- Flamabilidad; compuesto de materiales inertes al fuego.

Material

- Concreto simple.
- Concreto reforzado.
- Concreto reforzado con recubrimiento de tubo de policloruro de vinil (PVC).

Tipo de juntas

- Junta de mortero: mezcla de mortero.
- Junta hermética: junta de hule O'ring (no necesita mortero).

Coefficiente de rugosidad

- Alcantarilla, recto y libre de escombros. 0,010-0,013.
- Alcantarilla con curvas, conexiones y algunos escombros. 0,011-0,015.
- Termino. 0,011-0,015.
- Alcantarillas pizca agujeros hombre, de entrada, entre otras. 0,013-0,017.
- Forma inconclusa, acero. 0,012-0,014.

- Forma de madera sin acabado, liso. 0,012-0,016.
- Forma de madera sin terminar, áspero. 0,015-0,020.

Cargas

- Activas: Cambian en magnitud y posición.
- Estáticas: Permanecen durante el desempeño de la instalación.

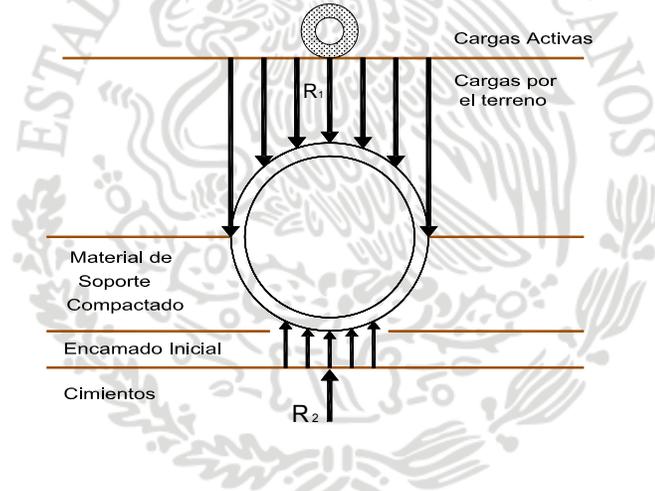


FIGURA 1.- Distribución de cargas

Evaluación y sección del tubo:

Método directo o indirecto:

- Determinación de las cargas.
- Selección del tipo de instalación.
- Determinar factor de encamado.
- Aplicación del factor de seguridad.
- Capacidad del tubo.

$$TEB = \frac{\text{Cargas}}{\text{Factor de encamado}} \cdot FS$$

Tipo de fallas en la instalación

- Colapso, debido a una mal calidad en el material.
- Corrosión.
- Flotación.
- Pérdida de hermeticidad (juntas).
- Abrasión.
- Ataque químico.
- Infiltraciones.
- Exfiltraciones.

Instalación Tubos de concreto

- Los esfuerzos por encima del centro de línea del tubo Springline, no son significativos es por eso que se puede volver a utilizar el material que se extrajo de la zanja.
- Se requieren materiales de 85-95% de compactación en su densidad seca de acuerdo al tipo de instalación.

Factor de encamado

CLASE A $B_f = 2,8$ a $4,8$

CLASE B $B_f = 1,9$

CLASE C $B_f = 1,5$

CLASE D $B_f = 1,1$

- Ancho mínimo de zanja $W = D_o + 2/6 D_o$

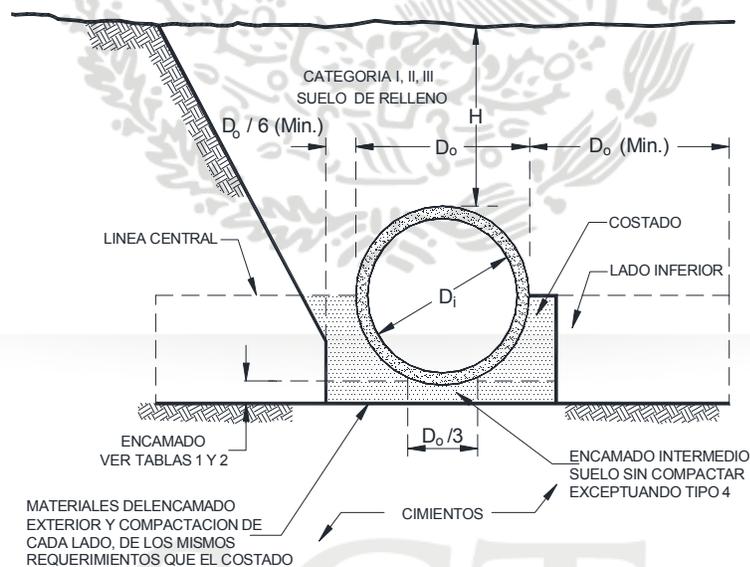


FIGURA 2.- Esfuerzos y cargas

D.1.1.7. Diseño estructural

Tubos de concreto armado.

Datos de la obra:

Carretera Km.

Sección tipo: Tubo de concreto reforzado de 152 cm. de diámetro, colchón 20 m.

Esquema de instalación:

Instalación en zanja; relleno: arenas y gravas.

Relleno compactado 95% proctor estándar.

Concreto.

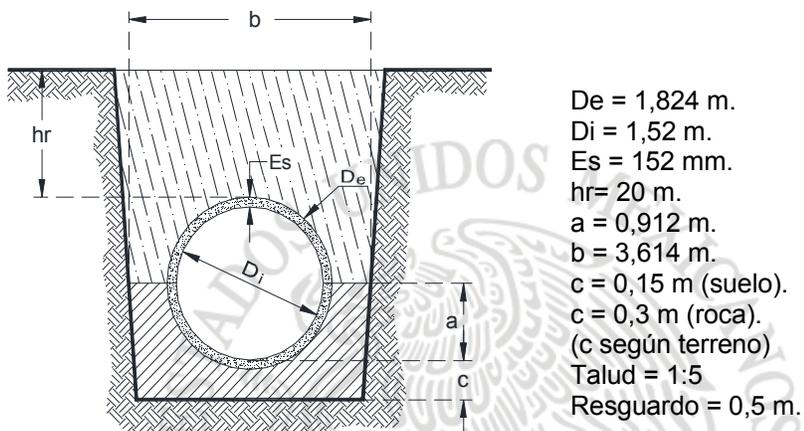


FIGURA 3.- Esquema de instalación

Cálculos:

Carga producida por terreno (q_r):

$$q_r = C_z \gamma_r h_r b; \text{ con } C_z = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu' \frac{h_r}{b}}}{2\lambda\mu' \frac{h_r}{b}}$$

Donde:

- $F_{ap} = 4$
- $\gamma_r = 1,76 \text{ kg/cm}^2$
- $\lambda\mu' = 0,165$
- $q_r = 5,84 \text{ T/m}$
- $Q_{total} = 5,84 \text{ T/m}$

Carga carretera, carro tres ejes (60 t).

Carga puntual de 0t. Situada a 0 m.

Carga uniformemente distribuida en superficie de 0t/m².

Carga debida a compactador.

Carga de fisuración = 9,61 kg/cm².

Carga de cálculo = $\frac{1,5 Q_{total}}{F_{ap} D_i} = 1,441 \text{ T/m}^2$.

Clase mínima ASTM-C76M Clase IV (Válido para $h_r \leq 22,58 \text{ m.}$)

Exigible de la Normativa de la Secretaría, Norma N·CMT·3·02 *Tubos de Concreto Reforzado*, Equivalente a clase 3.

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

D.1.1.2. Plano tipo de alcantarilla de tubo de concreto

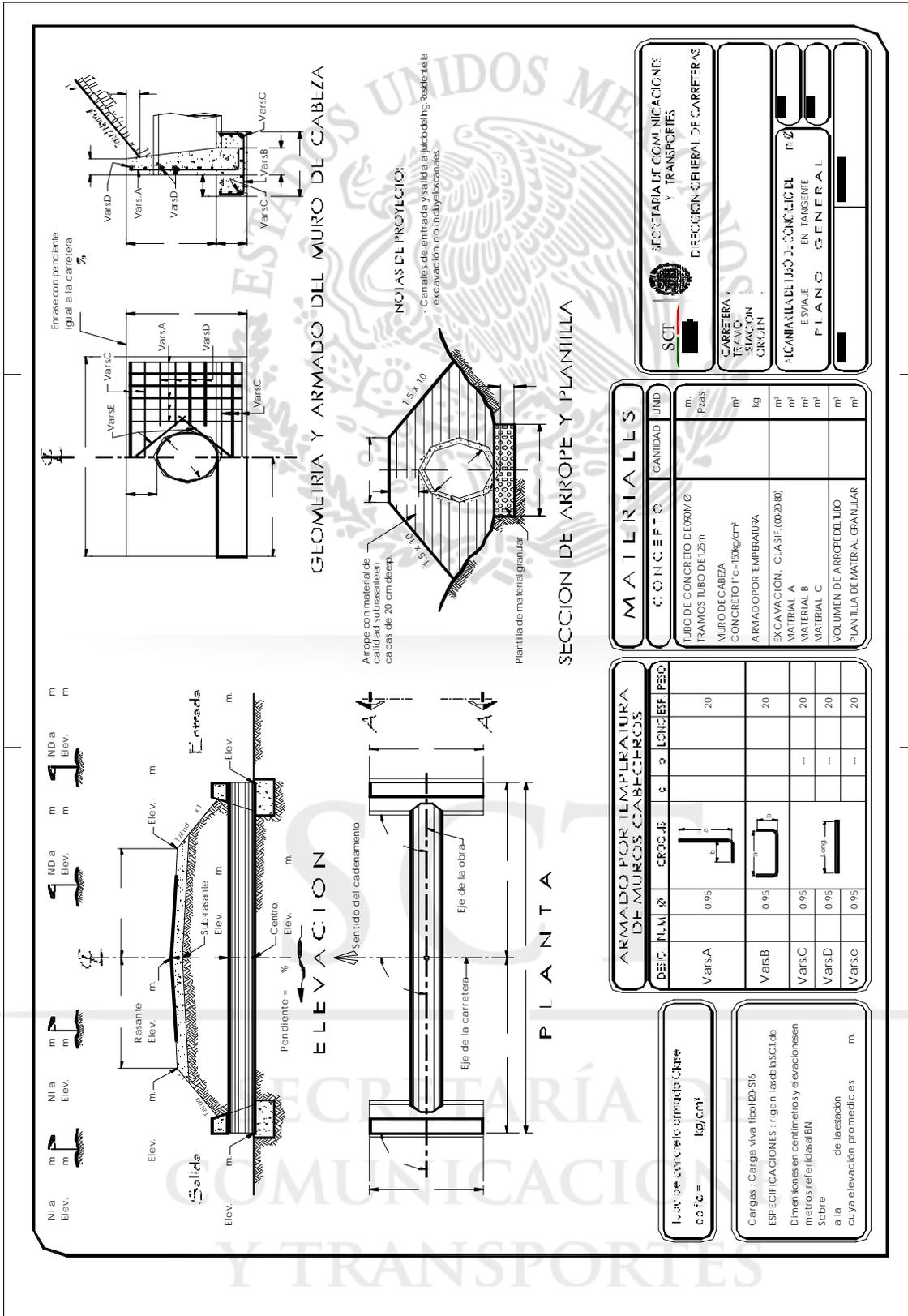


FIGURA 4.1.2.1. Plano tipo de alcantarilla de tubo de concreto

D.1.2. De lámina corrugada

D.1.2.1. Diseño estructural

1. Teoría del anillo 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 es 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 como se indica en la Figura 5.

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 será 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 las Figuras 5, 6 y 7.

A pesar de que ocurre la deflexión en el anillo, ésta no se considera en el diseño estructural teórico del tubo, ya que, si se cumple con las condiciones de campo de utilizar un material de relleno granular y compactarlo al 90% AASHTO estándar, la deflexión en el tubo, producida por la carga total, no influye en el esfuerzo de trabajo del tubo.

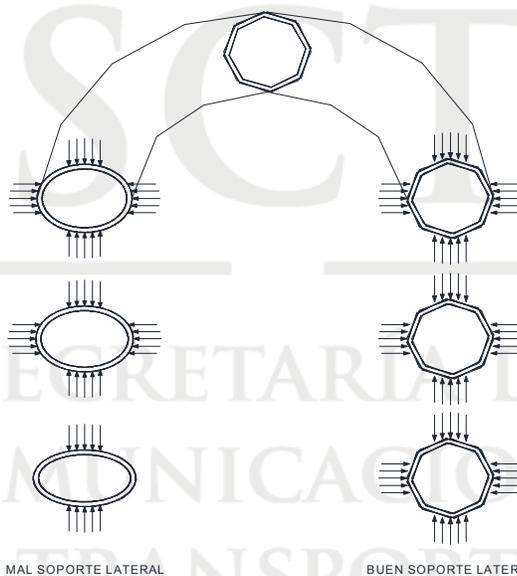


FIGURA 5.- Importancia del soporte lateral en tubos flexibles

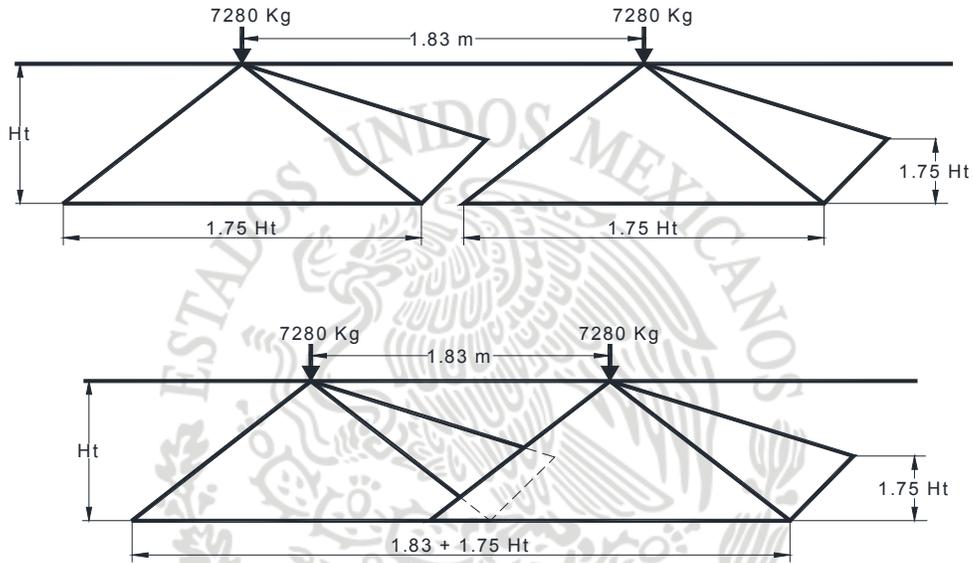


FIGURA 6.- Prismas de distribución de cargas vivas HS-20

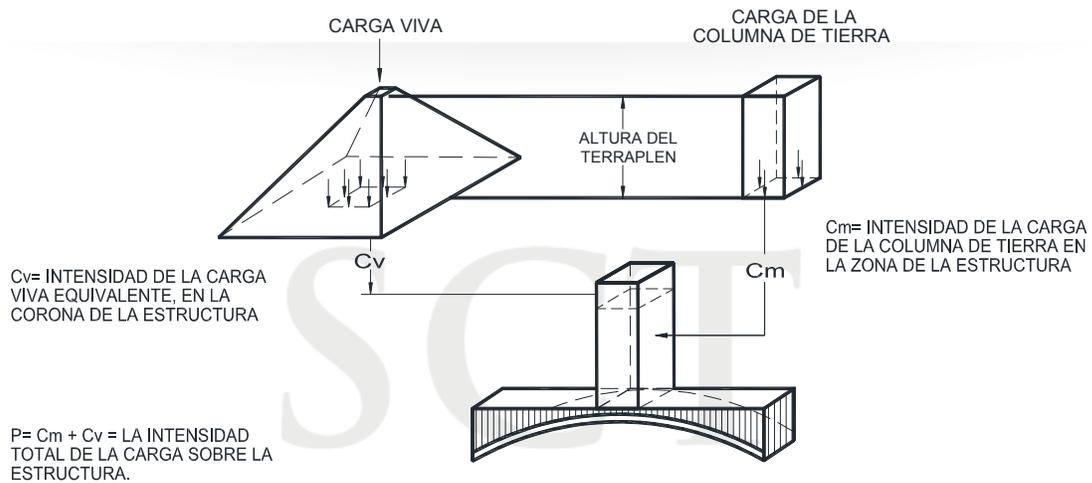


FIGURA 7.- Distribución de cargas viva y muerta

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

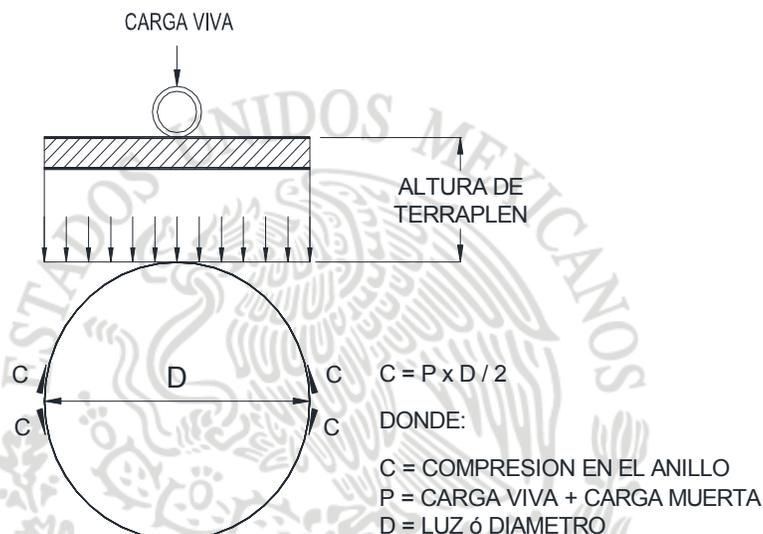


FIGURA 8.- Diagrama de cargas

2. Aspectos generales del diseño estructural de tuberías metálicas de acero corrugado

Las alcantarilla metálicas de acero corrugado se diseñarán de acuerdo a criterios AASHTO capítulo 12, considerando dentro del diseño estructural la interacción suelo compactado – estructura, Donde el material de relleno será preferentemente granular (grava – arena) con diámetro no mayor a 3” (6-8 cm) especialmente de los rellenos laterales y sobre la estructura, (relleno de arroyo) los cuales trabajan como una fuerza pasiva que al recibir la estructura carga de terraplén, la transmiten con igual intensidad en todo su perímetro (anillo a compresión) a los rellenos compactados (90% mínimo) estabilizando la estructura.

En el diseño estructural se revisarán los siguientes aspectos:

1. Cargas
2. Compresión
3. Área de acero corrugado
4. Resistencia al manejo e instalación
5. Resistencia de las juntas

1. Cargas

Principalmente influyen las siguientes cargas:

- a) Carga muerta.-Es la carga que ejerce el material sobre la estructura.
- b) Carga viva.- Es la carga que se ejerce sobre la estructura al paso de los vehículos.

Carga muerta (C_m) (AASHTO 6.2.1 Y 12.1.3)

$$C_m = \gamma H_t \quad \text{Kg/m}^2$$

Donde:

γ = Peso específico del suelo compactado (Kg/m^3)

H_t = Altura del terraplén sobre la estructura (m.)

Carga viva (C_v) para HS-20 (AASHTO 6.4.1 Y 12.1.3)

Para $H_t < 1,05$ m

$$C_v = \frac{7\,280}{(1,75 H_t)^2} \text{ Kg/m}^2$$

Para $1,05 < H_t < 3,66$ m

$$C_v = \frac{14\,560}{1,75 H_t(1,83 + 1,75 H_t)} \text{ Kg/m}^2$$

Para $H_t > 3,66$ m

$$C_v = 0$$

En las fórmulas anteriores, 7 280 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 ruedas de éste es de 1,83 m, ver Figura 6.

La carga viva se puede determinar también por medio de la gráfica de la Figura 5.

2. Compresión "C"

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

$$C = K x (C_v + C_m) x (D/2)$$

Donde:

C = Compresión, (Kg/m)

C_v = Carga Viva, (Kg/m^2)

C_m = Carga Muerta, (Kg/m^2)

D = Diámetro o Luz, (m)

El factor de carga "K" para tubos de acero corrugado con relleno compactado AASHTO estándar se aplica al total del relleno (*ht*), y será < 1 cuando "*ht*" sea mayor al diámetro del tubo "*d*". Conservadoramente *K*= 0,86 para compactaciones del 90% AASHTO estándar.

3. Área de acero corrugado "A"

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

Donde:

A = Área de acero, (cm²/m)

C = Compresión, (Kg/m)

f_c = Esfuerzo de diseño, (Kg/cm²), se obtiene de la Tabla No. 1.

Para arcos:

$$f_c = \frac{fb}{2}$$

4. Resistencia al manejo e instalación

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

$$I = \frac{D^2}{E \times FF} (cm^4/cm)$$

Donde:

I = Momento de inercia de la sección requerido, (cm⁴/cm)

D = Diámetro, (cm)

E = Módulo de elasticidad del acero 2,1 x 106 Kg/cm²

FF = Factor de flexibilidad = 0,112 cm/Kg corrugación 200 mm x 55 mm

NORMA DE DISEÑO;

El diseño estructural cumplirá estrictamente con los valores solicitados por manual AASHTO capítulo 12 en lo referente a:

Factor de seguridad en área de acero: ≥ 2,0

Factor de flexibilidad (pandeo): ≥ 2,0

Factor de seguridad en resistencia de juntas: ≥ 3,0

Las tuberías metálicas, se definen como conductos de acero corrugado galvanizado fabricados con placas en diferentes corrugaciones y capacidades ensambladas entre sí mediante tornillería; en diferentes radios para formar secciones: circular, elíptica, abovedadas, arco medio punto, arco ángulo entrante, superclaros flecha baja, flecha alta, sección pera, elipse (ver tablas de Propiedades Físicas para este caso de ejemplos consideraremos corrugaciones 200 x 55 y 6" x 2");

5. Resistencia de las juntas

$$R_j = C \times FS$$

Donde:

R_j = Resistencia de juntas, (Kg/m)

C = Compresión (Kg/m)

FS Factor de seguridad=3,0

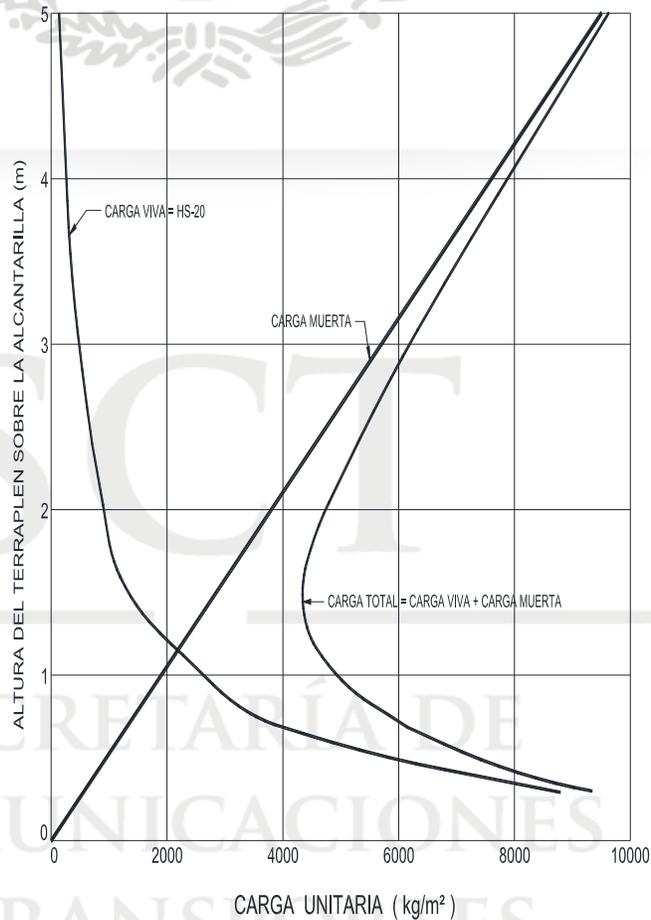


FIGURA 9.- Relación de carga viva y carga muerta

TABLA 1.- Valores del esfuerzo de diseño (fc) de acuerdo con el diámetro o luz de las alcantarillas seccionales

DIÁMETRO O LUZ m	ESFUERZO ULTIMO (fb) Kg/cm ²	ESFUERZO DE DISEÑO (fc) Kg/cm ²
5,18 o menor	2 320	1 160
5,49	2 320	1 160
5,79	2 314	1 157
6,10	2 260	1 130
6,40	2 204	1 102
6,71	2 144	1 072
7,01	2 082	1 041
7,32	2 018	1 009
7,62	1 950	975
7,93	1 880	940
8,23	1 808	904
8,54	1 730	865
8,84	1 652	826
9,15	1 570	785
9,45	1 488	744
9,76	1 400	700



Figura 10.- Corrugación de la placa

TABLA 2.- Propiedades físicas de la placa corrugación 200 x 55 mm

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PLACA SECCIONAL CORRUGACION 200 x 55					
CALIBRE	ESPESOR "T" mm	MODULO SECCION cm ³ [1]	AREA DE LA SECCION cm ² [1]	MOMENTO DE INERCIA cm ⁴ [1]	RADIO DE GIRO cm
12	2,66	0,429	0,296	1,162 3	1,95
10	3,42	0,504 4	0,415	1,586 9	1,96
8	4,18	0,650 7	0,473	1,815 7	1,96
7	4,67	0,722 2	0,542	2,029 2	1,96
5	5,45	0,792 3	0,649	2,495 7	1,96
3	6,23	0,932 4	0,709	2,734 5	1,97
1	7,01	1,034 6	0,828 9	3,207 4	1,97

[1] Por cm de proyección horizontal sobre el eje neutro

TABLA 3.- Propiedades físicas de la placa corrugación 6" x 2"

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PLACA SECCIONAL CORRUGACION 6" x 2"					
CALIBRE	ESPESOR "T" mm	MODULO SECCION cm ³ [1]	AREA DE LA SECCION cm ² [1]	MOMENTO DE INERCIA cm ⁴ [1]	RADIO DE GIRO cm
12	2,66	0,370 3	0,329 4	0,989 8	1,732
10	3,42	0,472 2	0,423 9	1,279 8	1,737
8	4,18	0,572 9	0,518 4	1,574 8	1,742
7	4,67	0,638 1	0,579 9	1,769 8	1,748
5	5,45	0,74	0,677 2	2,081 1	1,753
3	6,23	0,840 6	0,774 2	2,307 4	1,76
1	7,01	0,940 6	0,871 7	2,718 6	1,765

[1] Por cm de proyección horizontal sobre el eje neutro

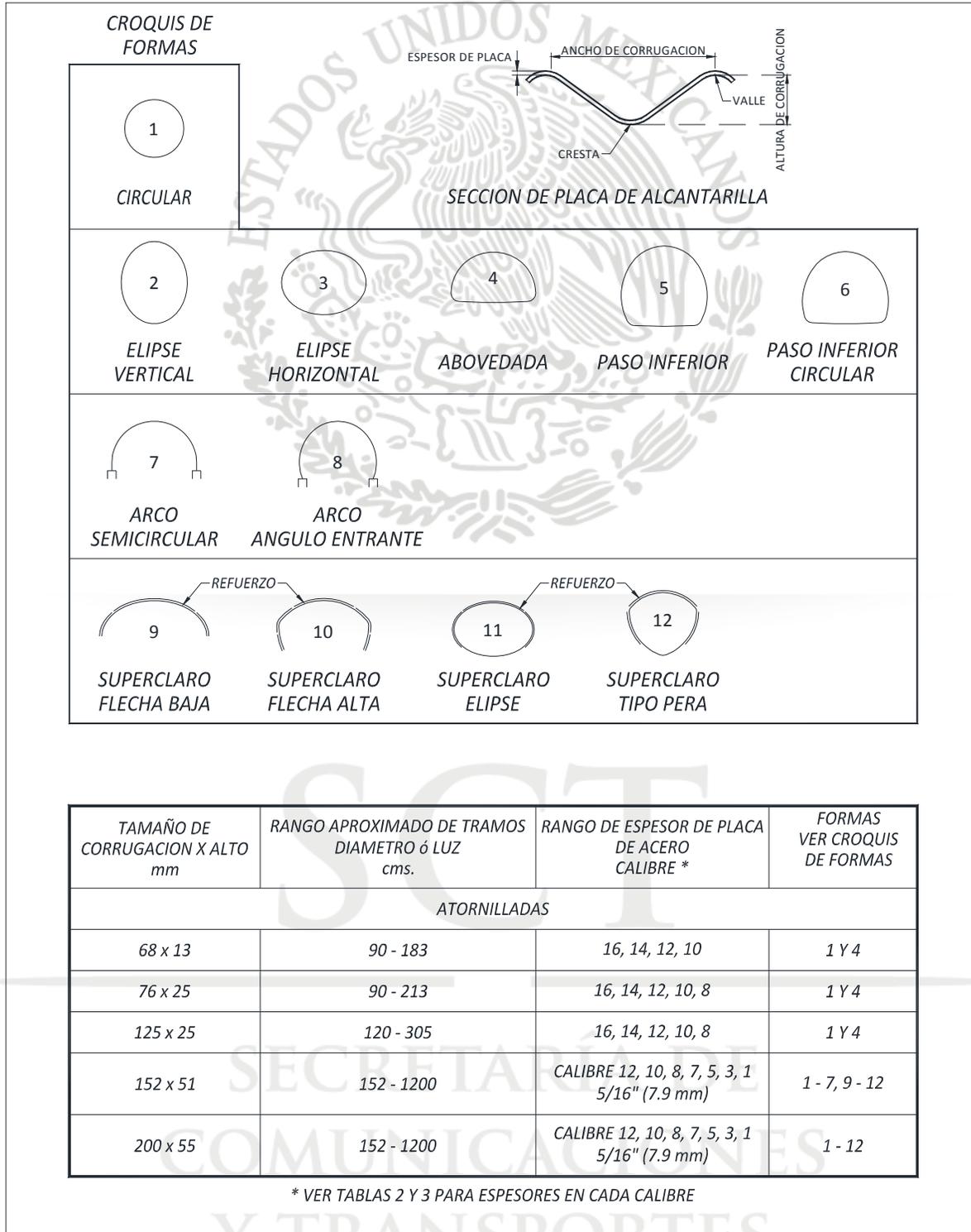


FIGURA 11.- Croquis de formas y corrugaciones

3. Ejemplos de diseño alcantarilla de tubo de lámina.

Ejemplo 1.- tubo de placa seccional de = 2,32 m de luz

1. Antecedentes

La presente memoria de cálculo tratará de la revisión estructural de una alcantarilla de = 2,32 m de luz, de placas seccionales de acero corrugado que servirá como obra de drenaje pluvial en la carretera.

2. Descripción

Para la revisión de esta obra nos basaremos en los datos geométricos de diseño. Como solución se propuso un tubo circular de = 2,32 m de diámetro.

El procedimiento para la revisión estructural, será el siguiente:

Se determinará la carga total sobre la estructura, (que de acuerdo a la altura del relleno H_t será la más crítica para la obra) la carga muerta será calculada de acuerdo al relleno sobre la estructura, la carga viva será HS-20, se determinara la compresión máxima utilizando la fórmula del anillo de compresión, con esta compresión calculamos el área de acero requerida. Checamos inercia, resistencia de juntas, revisión del refuerzo perimetral y concluimos sobre los resultados.

3. Materiales

Los materiales que se emplearán para el diseño de estas obras serán los siguientes:

Placas de acero $F_y = 2\ 320\text{Kg/cm}^2$

Acabado galvanizado por inmersión en caliente

Tornillos de 3/4" de diámetro x 1 1/2", 2", 3 1/2"

De alta resistencia GR. 5

Tuercas hexagonales de 3/4"

Acabado galvanizado

4. Datos

Diámetro " D " o' luz " L " = 2,32 m

Flecha = 2,56 mm

Relleno " H_t " = 29,41 m

Peso vol. del relleno " P_v " = 1 900Kg/m³

Calibre propuesto = 3 datos de Tabla 2

Corrugación en las placas = 200x55 mm

Área de acero "A"	= 70,9 cm ² de Tabla 2
Inercia "I"	= 2,73 cm ⁴ de Tabla 2
Resistencia de juntas "R _j "	= 200 810 Kg/m
Radio de giro "r"	= 1,97 cm
Esfuerzo de cedencia "F _y "	= 2 320 kg/cm ²
Esfuerzo de tensión "F _u "	= 2 950 kg/cm ²
Módulo de elasticidad "E"	= 2 100 000 kg/cm ²
Factor de carga "K"	= 0,86

5. Análisis de cargas

Las 2 cargas consideradas para este análisis son la carga muerta que es el relleno sobre la clave del tubo y la carga viva que es HS-20 para tráfico vehicular.

A.- Carga Muerta "CM" (AASHTO 6.2.1. y 12.1.3.)

$$CM = Ht \times Pv = 1900 \times 29,41 = 55879 \text{ kg/m}^2$$

B.- Carga Viva "CV" (AASHTO 6.4.1. y 12.1.3.)

$$\text{Si } Ht < 1,05 \text{ m.} \quad \Rightarrow \quad CV = 7280 / (1,75 \times Ht)^2$$

$$\text{Si } 1,05 \text{ m} < Ht < 3,66 \text{ m.} \quad \Rightarrow \quad CV = 14560 / ((1,75 \times Ht) \times (1,83 + 1,75 \times Ht))$$

$$\text{Si } Ht > 3,66 \text{ m.} \quad \Rightarrow \quad CV = 0$$

Ya que $Ht = 29,41 \text{ m}$ CV es igual a 0 kg/m^2

En las formulas anteriores 7280 es la carga que se produce al pasar una rueda del eje trasero de un camión de 18,2 ton. métricas (HS-20) y el 1,75 es la proporción en que distribuye la carga concentrada en el suelo compactado (AASHTO 1.3.3.) el 14560 corresponde a la carga total del eje posterior y se considera que la separación entre ruedas de este es de 1,83 m.

6. Compresión "C"

$$C = K \times (CM + CV) \times D/2 =$$

$$C = 0,86 \times (55879 + 0) \times D/2 = 55745 \text{ Kg/m}$$

El factor de carga "K" para tubos de acero corrugado con relleno compactado AASHTO estándar se aplica al total del relleno (Ht), y será < 1 cuando "Ht" sea mayor al diámetro del tubo "D". Conservadoramente K= 0,86 para compactaciones del 90% AASHTO estándar.

7. Esfuerzo de diseño (*FC*)

Si $D/r < 294$ Entonces $FC = Fy / 2$

Si $294 < D/r < 500$ Entonces $Fy = 2815 - 0,0057 \times (D/r)^2$ y $FC = Fy/2$

Si $D/r > 500$ Entonces $Fy = 3,469 \times 108 / (D/r)^2$ y $FC = Fy/2$

Como $D/r = 118 \implies FC = 1160 \text{ Kg/cm}^2$

8. Área de acero corrugado "A"

$Fa = C/A \quad Fa = 55\,744,9 / 70,9 = 786,247 \text{ Kg/cm}^2$

$F.S. = Fy / Fa = F.S. = 2\,320 / 786,24669 = 2,95 > 2$

9. Momento de inercia "I"

$I = D^2 / (E \times FF) \quad I = 53\,824 / (2\,100\,000) \times (0,112) = 0,23 < 2,73$

Para el cálculo del momento de inercia E = módulo de elasticidad del acero en (kg/cm^2) y FF es el factor de flexibilidad en (kg-cm)

10. Factor de seguridad en juntas "RJ"

$F.S. = RJ / C = 200\,810 / 55\,745$

$F.S. = 3,60 > 3$

TABLA 4.- Resistencia en juntas (Kg/m)

Calibre	15 Tornillos por cada m
12	81550
10	106800
8	133200
7	149840
5	175330
3	200810
1	212030

Para la resistencia en juntas (RJ) se consideró en la unión de placas 15 tornillos de 3/4" de diámetro GR 5 por metro lineal de estructura $F.S.$ = factor de seguridad.

11. Conclusiones

Se recomienda el tubo de placa seccional de = 2,32 m de luz

Con corrugación de 200 x 55 mm.

En calibre = 3

Para este proyecto.

Ejemplo 2.- tubo de placa seccional de = 4,21 m de luz

1. Antecedentes

La presente memoria de cálculo tratará de la revisión estructural de una alcantarilla = 4,21 m de luz, de placas seccionales de acero corrugado que servirá como obra de drenaje pluvial en la carretera:

2. Descripción

Para la revisión de esta obra nos basaremos en los datos geométricos de diseño. Como solución se propuso un tubo circular de = 4,21 m de diámetro.

El procedimiento para la revisión estructural, será el siguiente:

Se determinará la carga total sobre la estructura, (que de acuerdo a la altura del relleno H_t será la más crítica para la obra) la carga muerta será calculada de acuerdo al relleno sobre la estructura, la carga viva será HS-20, se determinara la compresión máxima utilizando la fórmula del anillo de compresión, con esta compresión calculamos el área de acero requerida. Checamos inercia, resistencia de juntas, revisión del refuerzo perimetral y concluimos sobre los resultados.

3. Materiales

Los materiales que se emplearán para el diseño de estas obras serán los siguientes:

Placas de acero $F_y = 2320 \text{ Kg/cm}^2$ (AASHTO M-167)

Acabado galvanizado por inmersión en caliente (ASTM A - 123)

Tornillos de 3/4" de diámetro x 1 1/2", 2", 3 1/2" de alta resistencia GR. 5 (AASHTO A-449)

Tuercas hexagonales de 3/4" (AASHTO A-563)

Acabado galvanizado (AASHTO M -232)

4. Datos

Diámetro "D" o luz "L"	= 4,21 m
Flecha	= 4,64 m
Relleno "H"	= 28,33 m
Peso vol. del relleno " P_v "	= 1 900 Kg/m ³
Calibre propuesto	= 516
Corrugación en las placas	= 152 x 51 mm
Área de acero "A"	= 98,7 cm ²
Inercia "I"	= 3,87 cm ⁴
Resistencia de juntas " R_j "	= 303 576 Kg/m.l.
Radio de giro "r"	= 1,78 cm

- Esfuerzo de cedencia " F_y " = 2 320 kg/cm²
- Esfuerzo de tensión " F_u " = 2 950 kg/cm²
- Módulo de elasticidad " E " = 2 100 000 kg/cm²
- Factor de carga " K " = 0,86

TABLA 5.- Propiedades de sección de las placas

(Para corrugación de 152,4 mm x 50,8 mm)

Calibre	Espesor "T" en mm	Módulo de sección cm ³ [1]	Área de sección cm ² [1]	Momento de inercia cm ⁴ [1]	Radio de giro cm
12	2,66	0,370	0,329	0,99	1,732
10	3,42	0,472	0,424	1,28	1,737
8	4,18	0,573	0,518	1,57	1,742
7	4,67	0,638	0,580	1,77	1,753
5	5,45	0,740	0,677	2,08	1,753
3	6,23	0,841	0,774	2,31	1,760
1	7,01	0,941	0,872	2,72	1,765
5/16"	7,93	1,510	0,987	3,87	1,780

[1] Por cm de proyección horizontal sobre eje neutro

5. Análisis de cargas

Las 2 cargas consideradas para este análisis son la carga muerta que es el relleno sobre la clave del tubo y la carga viva que es HS-20 para tráfico vehicular.

A.- Carga Muerta "CM" (AASHTO 6.2.1. y 12.1.3.)

$$CM = H_t \times P_v = 1900 \times 28,33 = 53827 \text{ kg/m}^2$$

B.- Carga Viva "CV" (AASHTO 6.4.1. y 12.1.3.)

Si $H_t < 1,05 \text{ m}$. $CV = 7280 / (1,75 \times H_t)^2$

Si $1,05 \text{ m} < H_t < 3,66 \text{ m}$. $CV = 14560 / ((1,75 \times H_t) \times (1,83 + 1,75 \times H_t))$

Si $H_t > 3,66 \text{ m}$. $CV = 0$

Ya que $H_t = 28,33 \text{ m}$ CV es igual a 0 kg/m^2

En las formulas anteriores 7280 es la carga que se produce al pasar una rueda del eje trasero de un camión de 18,2 ton. métricas (HS-20) y el 1,75 es la proporción en que distribuye la carga concentrada en el suelo compactado (AASHTO 1.3.3.) el 14560 corresponde a la carga total del eje posterior y se considera que la separación entre ruedas de este es de 1,83 m.

6. Compresión "C"

$$C = K \times (CM + CV) \times D/2 =$$

$$C = 0,86 \times (53\ 827 + 0) \times D/2 = 97\ 443 \text{ Kg/m}$$

El factor de carga "K" para tubos de acero corrugado con relleno compactado AASHTO estándar se aplica al total del relleno (H_t), y será < 1 cuando " H_t " sea mayor al diámetro del tubo " D ". conservadoramente $K = 0,86$ para compactaciones del 90% AASHTO estándar.

7. Esfuerzo de diseño (FC)

Si $D/r < 294$ Entonces $FC = Fy / 2$

Si $294 < D/r < 500$ Entonces $Fy = 2815 - 0,0057 \times (D/r)^2$ Y $FC = Fy/2$

Si $D/r > 500$ Entonces $Fy = 3,469 \times 108 / (D/r)^2$ Y $FC = Fy/2$

Como $D/r = 237$ $FC = 1160 \text{ Kg/cm}^2$

8. Área de acero corrugado "A"

$Fa = C/A$ $Fa = 97443 / 98,73 = 986,965 \text{ Kg/cm}^2$

F. S. = $Fy / Fa = F. S. = 2320 / 986,96463 = 2,35 > 2$

9. Momento de inercia "I"

$I = D^2 / (E \times FF)$ $I = 177241 / (2100000) \times (0,112) = 0,75 < 3,87$

Para el cálculo del momento de inercia E = módulo de elasticidad del acero en (kg/cm^2) y FF es el factor de flexibilidad en (kg-cm.)

10. Factor de seguridad en juntas "RJ"

$F.S. = RJ / C = 303576 / 97443$

$F.S. = 3,12 > 3$

TABLA 6.- Resistencia en juntas (Kg/m)

Calibre	4 Tornillos por cada 30,5 cm	6 Tornillos por cada 30,5 cm	8 Tornillos por cada 30,5 cm
12	62 496		
10	92 256		
8	120 528		
7	138 384		
5	166 656		
3	196 416		
1	214 272	268 256	289 120
5/16"	224 986	281 669	303 576

Para la resistencia en juntas (RJ) se consideró en la unión de placas 8 tornillos de 3/4" de diam. GR. 5 por metro lineal de estructura $F.S.$ = factor de seguridad.

11. Conclusiones

Se recomienda elíptica de placa seccional de = 4,21 m de luz con corrugación de 6" x 2" en calibre = 5/16 para este proyecto.

D.1.2.2. Plano tipo de alcantarilla de tubo lámina

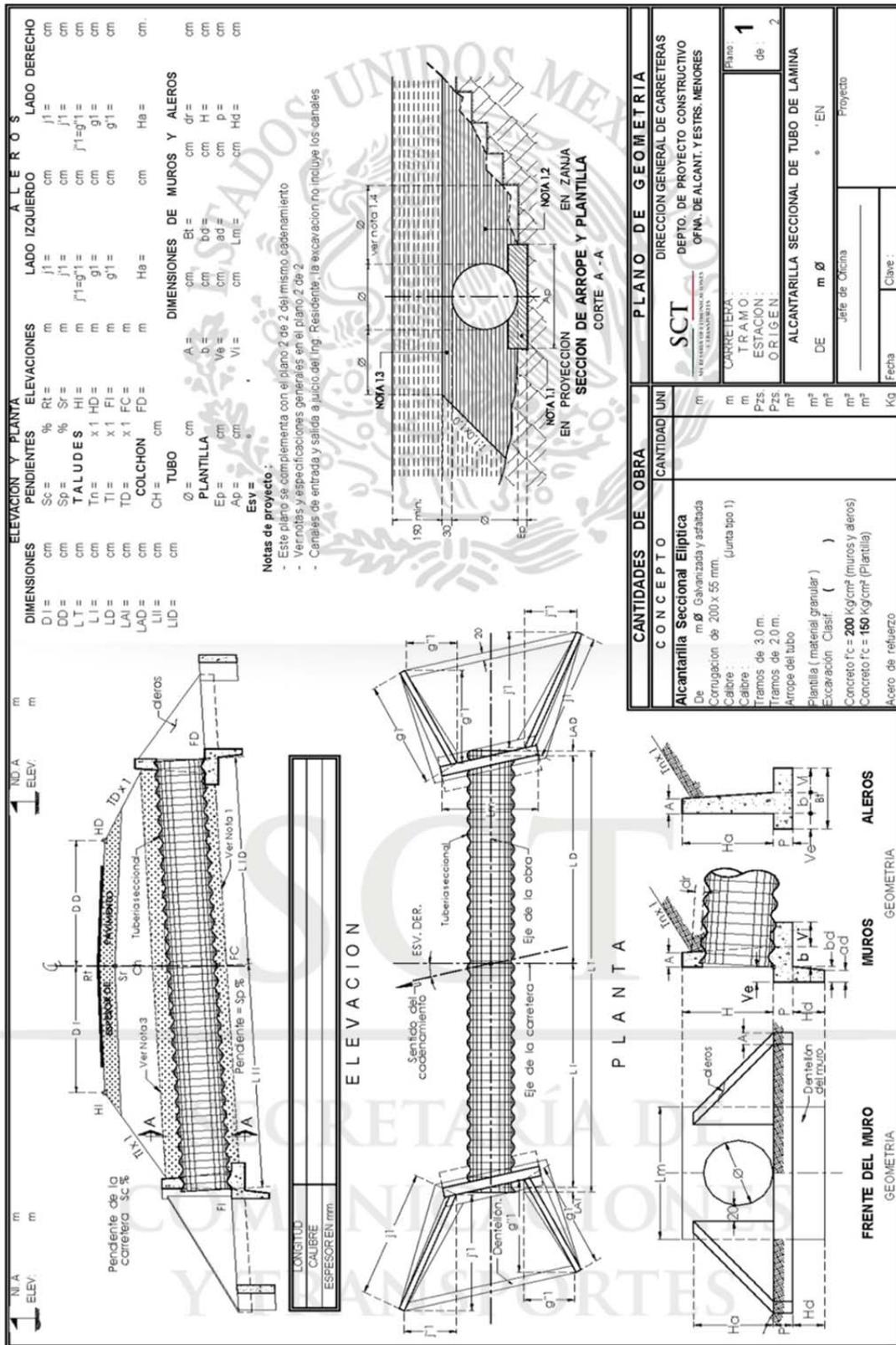


FIGURA 12.- Plano tipo de alcantarilla de tubo de lámina

D.1.3. Tubos de polietileno de alta densidad

D.1.3.1. Diseño estructural

Hay tres parámetros que son esenciales en el diseño o el análisis de cualquier instalación de un conducto flexible:

- Carga del suelo debido a la profundidad del relleno y cargas vivas.
- El módulo de reacción del suelo.
- La rigidez de la tubería.

Estos tres elementos se sintetizan en una ecuación conocida como la ecuación de Iowa modificada, establecida por M. G. Spangler discípulo de Anson Marston, quienes la formularon para dar una aproximación al valor de la deflexión que ocurre en un tubo flexible bajo la carga de tierra, que establece:

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{(D_L W_c + W_L) k}{(0,149 PS + 0,061 E') \times 101,97}$$

Donde:

Δy = Máxima Deflexión Diametral Permisible, en m.

D = Diámetro Nominal de la tubería, en m.

D_L = Factor de deflexión de retraso para compensar la tasa de tiempo de consolidación del suelo, es adimensional y se considera de 1,5

W_c = Carga muerta sobre la tubería, en kg/m.

W_L = Carga viva sobre la tubería, en kg/m.

K = Coeficiente de plantilla, adimensional.

PS = Rigidez de la tubería, en kPa.

E' = Módulo de reacción del suelo, en kPa.

Interpretación de la ecuación de Iowa modificada

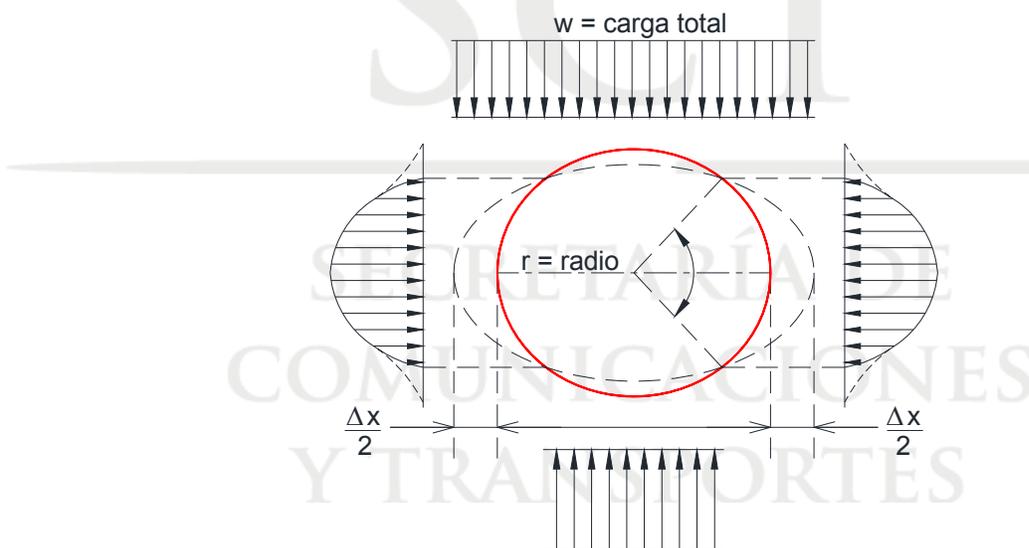


FIGURA 13.- Idealización

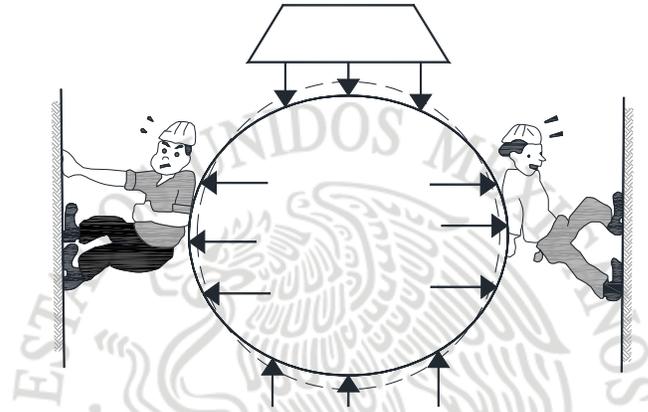


FIGURA 14.- Idealización

Rigidez

Se define a la rigidez del anillo o rigidez de la tubería, a la relación resultante de aplicar una fuerza lineal sobre la deflexión trasversal permitida o máxima, de acuerdo con la ASTM-D-2412 ésta será al 5% del valor del diámetro exterior, su expresión correspondiente resulta:

$$PS = \frac{F}{\Delta y}$$

Donde:

PS = Rigidez de la tubería, en kPa.

F = Carga aplicada a la tubería para producir un determinado porcentaje de la flexión, en N/m.

Δy = Longitud de cambio del diámetro interior en la dirección de aplicación carga, en m.

TABLA 7.- Valores de la rigidez

Diámetro nominal interior	Rigidez al 5% de deflexión			
	mm	kPa	kg/cm ²	Psi
in				
4	100	345	3,52	50,04
6	150	345	3,52	50,04
8	200	345	3,52	50,04
10	250	345	3,52	50,04
12	300	345	3,52	50,04
15	375	290	2,96	42,06
18	450	275	2,80	39,89
24	600	235	2,40	34,08
30	750	195	1,99	28,28
36	900	150	1,53	21,76
42	1050	140	1,43	20,31
48	1200	125	1,27	18,13
60	1500	97	0,99	14,07

International Standar Organitation (ISO) 21138

Rigidez del Anillo

$$S = \frac{EI}{D^3}$$

220 kPa = 31,90 psi

100 kPa = 15,95 psi

AASHTO

Rigidez de la tubería $\frac{F}{\Delta y} = 6,7 = \frac{EI}{r^3}$

TABLA 8.- Valores de rigidez mínima

Diámetro nominal (mm)	Rigidez mínima	
	kpa (psi) **AASHTO	SN KN/m ² **ISO kpa
100 < Dn ≤ 300	345 (50)	4 (220)
375	290 (42)	4 (220)
450	275 (40)	4 (220)
600	235 (34)	2 (110)
750	195 (28)	2 (110)
900	150 (22)	2 (110)
1 050	140 (20)	2 (110)
1 200	125 (18)	2 (110)
1 350	110 (16)	2 (110)
1 500	97 (14)	----

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

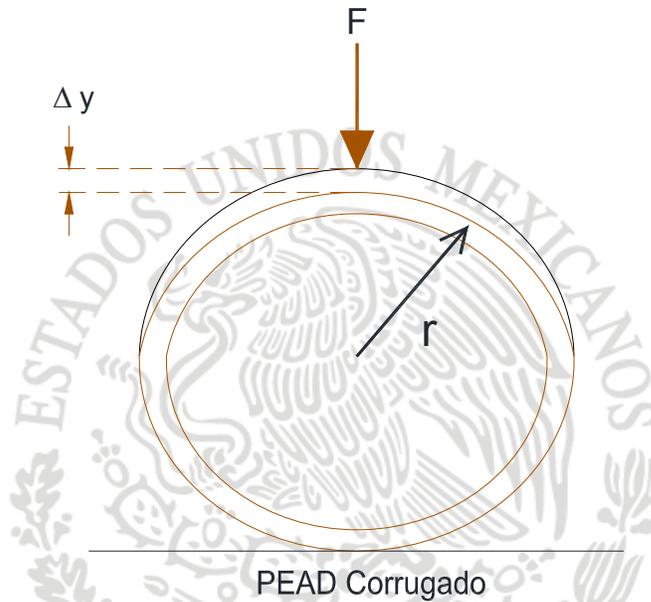


FIGURA 15.- Deflexión

Carga del suelo

La carga del relleno aplicado a lomo de una tubería puede ser calculada mediante la ecuación de Marston, para dar una aproximación al valor de deflexión bajo la carga del suelo establece que:

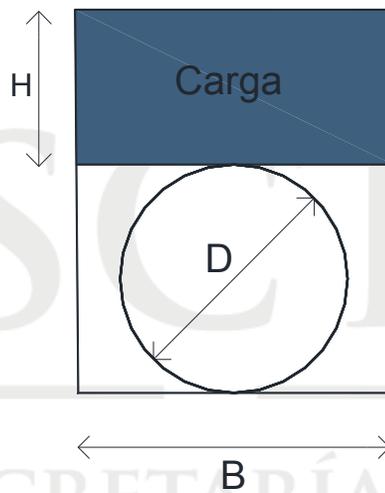


FIGURA 16.- Relación, diámetro y colchón

$$\Delta X = \frac{D_L K W_c}{\frac{E I}{r^3} + 0,061 E}$$

$$W_c = C \gamma B^2$$

Donde:

W_c = Carga de la tubería por unidad de longitud kg/m.

γ = Peso del material de relleno por unidad de volumen kg/m³.

B = Ancho de zanja en el lomo del tubo m.

C = Coeficiente que depende de la profundidad de la zanja, el carácter de la construcción y material de relleno.

$$C = \frac{1 - e^{-2K\mu H/B}}{2K\mu}$$

Donde:

H = Profundidad de relleno sobre la tubería.

B = Ancho de zanja al lomo de la tubería.

K = Relación de la presión lateral activa con respecto a la presión vertical.

μ = Coeficiente de fricción de deslizamiento entre el material relleno y los lados de la zanja.

La carga del relleno aplicado a lomo de una tubería puede ser calculada mediante la ecuación de Marston, que establece:

$$W_c = C\gamma B^2$$

Donde:

W_c = Carga de la tubería por unidad de longitud.

γ = Peso del material de relleno por unidad de volumen.

B = Ancho de zanja en el lomo del tubo.

C = Coeficiente que depende de la profundidad de la zanja, el carácter de la construcción y material de relleno.

TABLA 9.- Peso unitario del material de relleno

Peso unitario del Material de Relleno	Peso Unitario kg/m ³
Arena Seca	1 600
Arena Ordinaria	1 840
Arena Mojada	1920
Arcilla Húmeda	1 920
Arcilla Saturada	2 080
Capa superior del suelo saturada	1 840
Capa superior del suelo de arcilla y arena húmeda	1 600

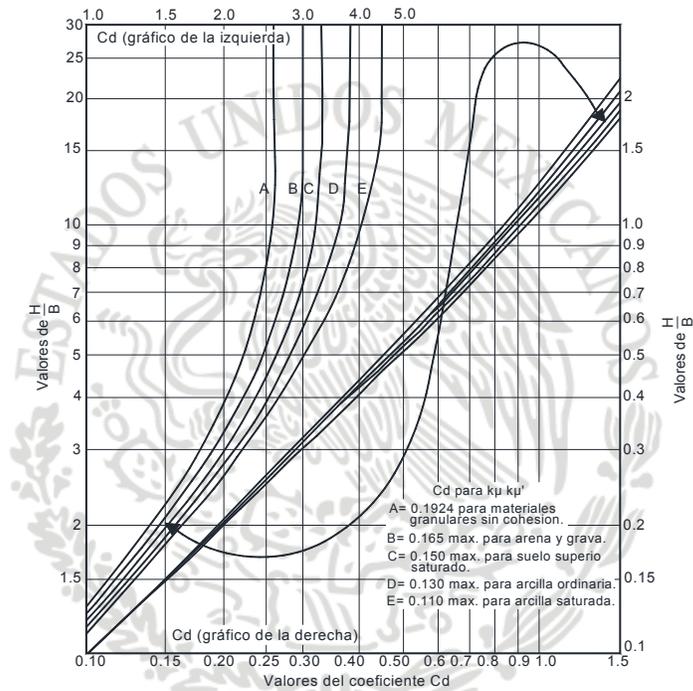


FIGURA 17.- Relación ancho altura

TABLA 10.- Valor de $K\mu$

Valor del producto $K\mu$	
Tipo de suelo	$K\mu'$
Material granular sin cohesión	0,1920
Arena y grava	0,1650
Capa superior del suelo saturada	0,1500
Arcilla	0,1300
Arcilla Saturada	0,1100

Carga Viva

Para el cálculo de cargas vivas sobre la tubería, se utilizará el siguiente procedimiento basado en los requerimientos de la AASTHO.

$$W_L \frac{M_P X P I_f}{(L_1)(L_2)}$$

Donde:

W_L = Carga viva sobre la tubería, en N/m^2 (Pa)

M_P = Factor de presencia múltiple de carga, 1,2 adimensional

P = Magnitud de carga de ruedas 16 000 lb para camiones AASTHO H-S20, 71 300 N 20 000 lb para camiones AASTHO HS-25, 89 000 N

I_f = Factor de impacto

L_1 = Carga en dirección paralela a la dirección del tráfico

L_2 = Carga en dirección perpendicular a la dirección del tráfico

El factor de impacto se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_f = 1 + 0,33 [(2,44 - h)/2,44]$$

Donde:

I_f = Altura de relleno sobre la tubería, en m

La carga en dirección paralela a la dirección del tráfico, se obtiene mediante la expresión siguiente:

$$L_1 = t_1 + LLDF (h)$$

Donde:

t_1 = Longitud de la huella de la llanta, 0,25 m

$LLDF$ = Factor de distribución e carga viva 1,15 para rellenos SC1 y SC2, 1.0 para otro tipo de rellenos

Si $h \leq h_{INT}$ la carga en dirección perpendicular a la dirección del tráfico se estima mediante la expresión:

$$L_2 = t_w + LLDF (h)$$

Donde:

t_w = Ancho de la huella de la llanta, 0,50 m

Si $h > h_{INT}$ se usa la ecuación siguiente:

$$L_2 = [t_w + 1,83 + LLDF (h)]/2$$

Donde:

h_{INT} = Profundidad en la que la carga de las llantas interactúa, en m

$$h_{INT} = (1,83 + t_w) / LLDF (h)$$

Donde:

t_w = Ancho de la huella de la llanta, 0,50 m

TABLA 11.- Categorías de rigidez del suelo, clasificación acorde con American Standard Testing Materials (ASTM) D 2487

CAT.	GRUPOS DE SUELO Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)	GRUPOS DE SUELO (AASHTO)
SC1	Roca triturada: ≤ 15% Arena, Máximo 25% pasando la malla de 3/8" y Máximo 5% pasando la malla No. 200.	A1, A3
SC2	Suelos de grano grueso con poco o nada de finos: SW, SP, GW, GP o cualquier suelo que tenga uno de estos símbolos con 12% o menos pasando la malla No. 200.	
SC3	Suelos de grano grueso con finos: GM, GC, SM, SC o cualquier suelo con estos símbolos con un contenido de más del 12% de finos. Suelos de grano fino arenosos o con grava: CL, ML. (o CL-ML, CL/ML, ML/CL) con más del 30% retenida en la malla del No. 200.	A-2-4, A-2-5-A-2-6 o A-4 o A-6 Suelos con más de 30% retenida en la malla del No. 200
SC4	Suelos de grano fino: CL, ML. (o CL-ML, CL/ML, ML/CL) con 30% o menos retenida en la malla del No. 200.	A-2-7, o A-4 o A-6 Suelos con 30% o menos retenida en la malla del No. 200.
SC5	Suelos altamente plásticos y orgánicos: MH, CH, OL, OH, PT	A5, A7

Factor de plantilla

K = Constante de plantilla, depende del apoyo de la tubería desde el fondo de la zanja

W_c = Carga vertical por unidad de longitud de la tubería, en lb/in (o N/m)

DL = Factor de deflexión 1,5

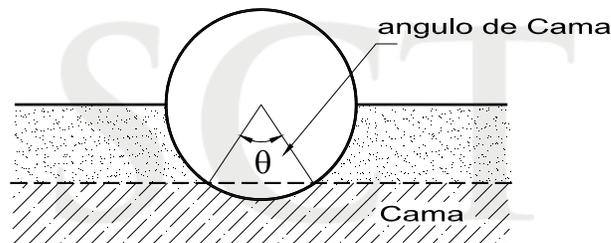


FIGURA 18.- Angulo de cama

TABLA 12.- Valores de Coeficiente e Plantilla K

Ángulo de Plantilla en grados	K
0	0,110
30	0,108
45	0,105
60	1,102
90	0,096
120	1,090
180	0,083

TABLA 13.- Módulo de factor del suelo

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	TIPO DE SUELO	VALOR Densidad Kg/m ³
CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad. Arcillas limosas arenosas	SUELO INORGÁNICO FINOS	1 800
ML	Limos orgánicos y arenas muy finas, arenas finas limosas o arcillosas, limos con baja plasticidad		1 800
SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	SUELO GRUESO CON FINOS	1 840
SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limos		1 760
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas.		2 060
GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limos.		2 060
SP	Arenas mal graduadas, arenas gravosas, pocos o nulos finos.	SUELO GRUESO LIMPIO	1 790
SW	Arenas bien graduadas, arenas gravosas, pocos o nulos finos.		1 935
GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, pocos o nulos finos.		2 030
GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, pocos o nulos finos.		2 060
IA, IB	Gravas, roca suelta.	AGREGADOS MANUFACTURADOS	2 080

En el diseño de una tubería flexible enterrada, la rigidez del suelo ha sido modelada (E') parámetro requerido en la fórmula Iowa

La Tabla 14 muestra los valores del módulo de reacción dependiendo del material de acostillado.

TABLA 14.- Módulo de Reacción del suelo E' en kPa

% COMPACTACIÓN DEL SUELO			
SIN COMPACTAR	< 85% PROCTOR, < 40% DENS. RELATIVA	85-95 PROCTOR, 40-70% DENS. RELATIVA	> 95% PROCTOR, > 70% DENS. RELATIVA
345	1 400	2 800	6 900
690	2 800	6 900	13 800
1 400	6 900	13 800	20 700
6 900	20 700	20 700	20 700

No se recomienda utilizar este material al nivel de compactación elegido para relleno.

D.1.3.2. Ejemplo de diseño de alcantarilla de tubo de polietileno de alta densidad

Tubería de 36 en (900 mm) de diámetro.

Con $H = 8$ m de profundidad.

Material de excavación sobre material limo arcilloso de mediana a alta plasticidad $LL > 50\%$.

Procedimiento

1. Comparar la profundidad de instalación con el manual técnico, proceder.
2. Obtener los datos técnicos de la tubería a emplear, ancho de zanja recomendable, rigidez, revisar las recomendaciones y determinar la normatividad aplicable.
3. El material de excavación es reutilizable.
4. Seleccionar el ancho de zanja.

TABLA 15.- Anchos mínimos de zanja

Dia. Nominal [mm(pulg)]	Dia. Exterior Promedio [mm]	AASHTO Sec 30 [mm]	ASTM D 2321 [mm]
100 (4")	120,14	482,60	533,40
150 (6")	174,00	558,80	584,20
200 (8")	231,40	660,40	635,00
250 (10")	288,00	736,60	685,00
300 (12")	363,22	863,60	787,40
375 (15")	444,50	965,20	863,60
450 (18")	549,40	1 143,00	965,20
600 (24")	695,99	1 346,20	1 117,60
750 (30")	874,98	1 625,60	1 295,40
900 (36")	1 046,48	1 879,60	1 447,80
1 050 (42")	1 204,62	2 108,20	1 600,20
1 200 (48")	1 396,24	2 413,00	1 803,40
1 500 (60")	1 714,68	2 870,20	2 133,60

ASTM D 2321 $B = 1,45$ m

5. Calcular el peso muerto.

$$W = C\gamma B^2$$

TABLA 16.- Peso unitario del Material de Relleno γ

Peso unitario del Material de Relleno γ	Peso Unitario kg/m^3
Arena Seca	1 600
Arena Ordinaria	1 840
Arena Mojada	1 920
Arcilla Húmeda	1 920
Arcilla Saturada	2 080
Capa superior del suelo saturada	1 840
Capa superior del suelo de arcilla y arena húmeda	1 600

$$W=C (2 080) (1,45)^2$$

$$C= \frac{1 - e^{-2K\mu H/B}}{2K\mu'}$$

$$H/B=5,517$$

TABLA 17.- Valor del producto $K\mu'$

Tipo de suelo	$K\mu'$
Material granular sin cohesión	0,1920
Arena y grava	0,1650
Capa superior del suelo saturada	0,1500
Arcilla	0,1300
Arcilla Saturada	0,1100

$$k\mu' = 0,110$$

$$c = 3,1951$$

$$Wc = (3,1915)(2080)(1,45)^2$$

$$Wc = 13973,00357 \text{ kg/m}$$

6. Resolver la carga con la Ec. de Iowa

$$\Delta X = \frac{D_L K Wc}{\frac{E I}{r^3} + 0,061 E} \quad \Delta X = \frac{1,5 \times 0,108 \times 13 973}{\frac{E I}{r^3} + 0,061 E}$$

$$DL \text{ k } Wc = 2 137,87 \text{ kg/m}$$

7. Considerar la rigidez de la tubería.

TABLA 17.- Rigidez al 5% de deflexión

Diámetro nominal interior		Rigidez al 5% de deflexión		
in	mm	kPa	kg/cm ²	psi
36	900	150	1,53	21,76

$$X = \frac{D_L K Wc}{(0,149 \text{ 150}) + 0,061 E}$$

TABLA 18.- Material de acostillado y módulo de reacción.

Módulo de Reacción del suelo E' en kPa			
%COMPACTACIÓN DEL SUELO			
SIN COMPACTAR	< 85%PROCTOR, < 40% DENS. RELATIVA	85-95%PROCTOR, 40-70% DENS. RELATIVA	> 95% PROCTOR , > 70% DENS. RELATIVA
345	1 400	2 800	6 900
690	2 800	6 900	13 800
1 400	6 900	13 800	20 700
6 900	20 700	20 700	20 700

No se recomienda utilizar este material al nivel de compactación elegido para relleno.

$$\Delta X = \frac{D_L K W_c}{(0,149 \times 150) + 0,061 \times (6900)}$$

$0,149 * E' = 443,25 \text{ kPa}$
 $1 \text{ kPa} = 101,9716 \text{ kg/m}$
 $45 198,2025 \text{ kg/m}^2$

$$\Delta X = \frac{D_L K W_c}{(0,149 \times 150) + 0,061 \times (13 800)}$$

$0,149 * PS + 0,061 * E' = 864,15 \text{ kPa}$

$1 \text{ kPa} = 101,9716 \text{ kg/m}$

$88 117,3755 \text{ kg/m}^2$

8. Resolver la deflexión del tubo.

$$\Delta X = \frac{2 137,87 \text{ kg/m}}{(88 117,3755 \text{ kg/m}^2)}$$

$\Delta X = 0,0243 \text{ m}$

Se cumplirá: $\Delta x/D < 5\%$.

% Deflexión = 2,70% Cumple.

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

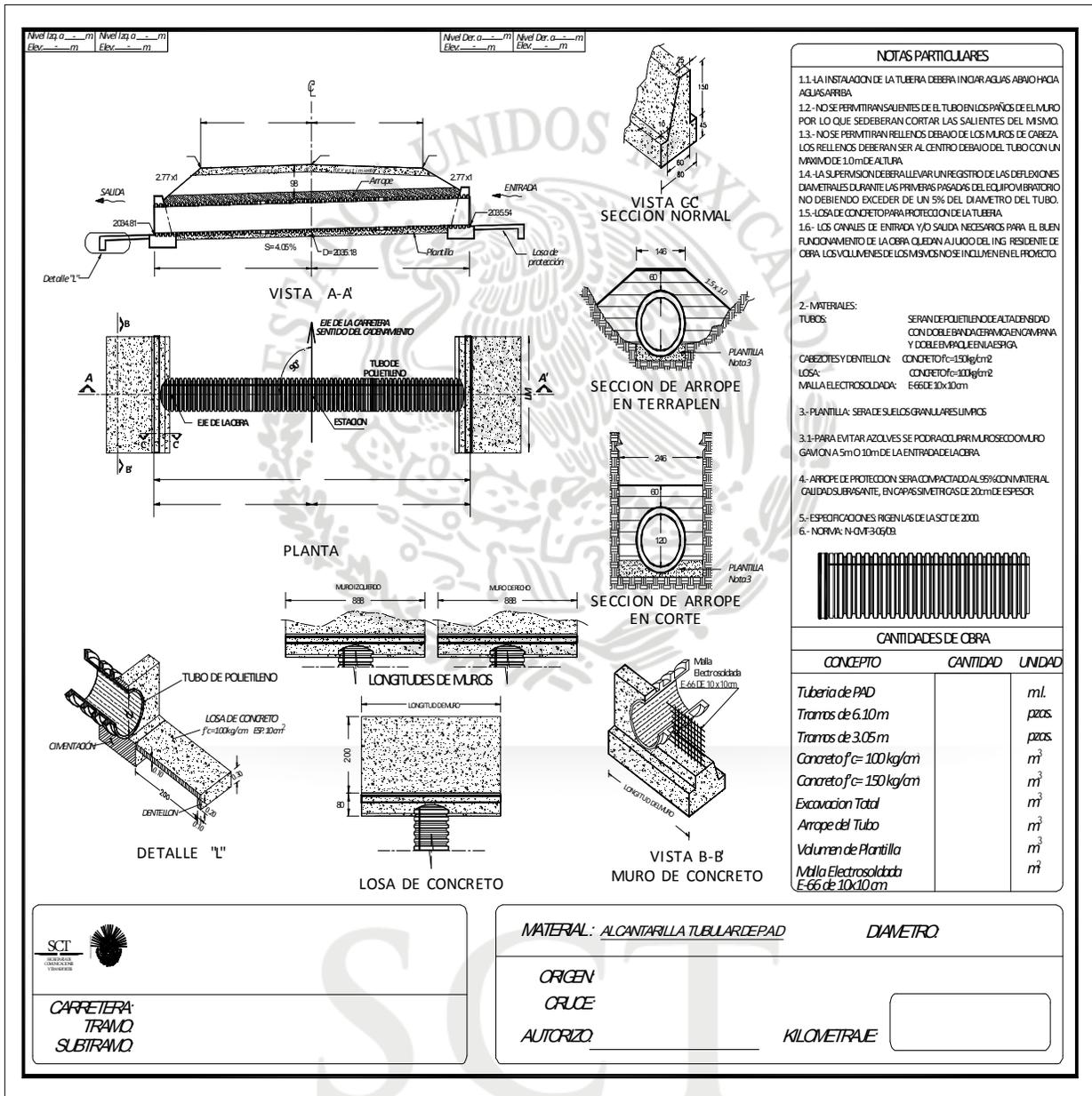


FIGURA 19.- Plano tipo de alcantarilla de tubo de polietileno de alta densidad

D.2. ALCANTARILLAS DE LOSAS DE CONCRETO

Losas de concreto armado apoyado en estribos.

Se elige en carreteras o vialidades suburbanas con ubicación orográfica en terreno plano, pendientes de cauce moderadas, terraplén de bajos a medios, capacidad de carga del desplante medio. El material de diseño de estribos será el que convenga por materiales de la zona o por su acceso al sitio.

D.2.1. Ejemplo de diseño estructural de alcantarilla de losa de concreto

Consideraciones de carga:

- I. Se tomará en cuenta efectos de carga viva, impacto y cargas permanentes debido al peso propio de la losa y colchón.
 - a. Carga viva AASHTO-HS-20.
 - b. Impacto 30% corresponde hasta 1,0 m de colchón.
 - c. Cargas permanentes:

Concreto reforzado 2 400 kg/m³.

Colchón de tierra 1 800 kg/m³.

- II. Esfuerzos permisibles

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2 \quad fy = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$fs = 2\,000 \text{ kg/cm}^2$$

Constantes.

$$fc = 100 \text{ kg/cm}^2 \quad fs = 2\,000 \text{ kg/cm}^2 \quad K = 0,31$$

$$Vc = 6,0 \text{ kg/cm}^2 \quad fu = 17,32 \text{ kg/cm}^2 \quad Kb = 14,52$$

$$j = 0,97$$

$$n = 10$$

Calculo de losa

1. Análisis de carga muerta

Espesor supuesto = 0,38 m con una longitud $L = 5,38\text{m}$.

$$Pp \text{ losa} = 0,38 \times 2\,400 = 912 \text{ kg x m}$$

$$\text{Colchón} = 0,42 \times 1\,800 = 756 \text{ kg x m}$$

$$Wcm = 1\,668 \text{ kg x m.}$$

Momento:

$$Mcm = [1\,668 \times (5,38)^2] / 8 = 6\,035 \text{ kg - m}$$

Cortante:

$$Vcm = (1\,668 \times 5,38) / 2 = 4\,487 \text{ kg x m}$$

2. Análisis de CV

Ancho de distribución por rueda, para claros hasta de 3,66 m.

$$E = 0,175 L + 0,975 = 0,175 \times 5,38 + 0,975 = 1,92 \text{ m.}$$

De acuerdo con la Norma N-PRY-CAR-6-01-003, *Cargas vivas*.

AASHTO 3.24.3.2 caso B.

I = Impacto: 30% (colchón hasta 1,0 m).

a) H20-S16.

Momento por carga viva e impacto= $M_{cv} + i$

$$M_{cv} + i = \frac{1,30 \Sigma P'}{E L} []$$

$$M_{cv} + i = \frac{1,30 \times 7\,256}{1,92 \times 5,38} \left[\frac{5,38 - 0,61}{2} \right] = 5\,196,00 \text{ kg} - \text{m/m}$$

Cortante:

$$V_{cv+i} = \frac{1,30 P'^2}{E L} [(5,38-0,38)+(5,38-2,88)] =$$

$$= \frac{1,30 \times 3628}{1,92 \times 5,8} \times 7,5 = 3\,424,43 \text{ kg}$$

Momento total:

$$M = M_{cm} + M_{cv} = 6\,035 + 5\,196 = 11\,231 \text{ kg-m}$$

Cortante total:

$$V = V_{cm} + V_{cv} = 4\,487 + 3\,424 = 7\,911 \text{ kg}$$

Diseño: Se construirá de concreto $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Cuyas constantes son:

$$f_c = 100 \text{ kg/cm}^2; k = 0,31, j = 0,896 \text{ kb} = 14,75 \text{ kg/cm}^2, n = 10;$$

$$V_c = 0 \text{ kg/cm}^2 \quad f_u = 17,32 \text{ kg/cm}^2$$

a) Flexión: $dm \sqrt{\frac{M}{k_b}} = \sqrt{\frac{11\,231}{14,75}} = 27,6 \text{ cm}$, (rige).

b) Cortante: $dv = \frac{V}{b_j V_c} = \frac{8\,211}{100 \times 0,89 \times 6,0} = 15,38 \text{ m}$.

c) Acero de refuerzo: $d = 38$, $r = 5$ por lo tanto $h = 33 \text{ cm}$.

$$A_s = \frac{M}{F_s j d} = \frac{1\,123\,100}{2\,000 \times 0,89 \times 33} = 19,12 \text{ cm}^2$$

$$\text{Vars. } 1,91 \text{ } \emptyset, A_s = 2,86 \text{ cm}^2$$

$$\text{Espaciadas a: } \frac{2,86 \times 100}{19,12} = 14,96 \text{ cm}$$

Se colocarán @ 12,5 cm.

d) Acero por temperatura:

$$A_{st} = 0,003 bd = 0,003 \times 100 \times 33 = 9,9 \text{ cm}^2$$

Vars. 0,95 Ø a 28 cm Vars D y E

Adherencia

$$\sum 0 = \frac{V}{f_{\mu j d}} = \frac{7911}{17,32 \times 0,9 \times 33}$$

$$\sum 0 = 15,37 \text{ cm}^2 \text{ Vars. N}^\circ 6 = 5,7 \text{ cm}$$

$$\text{Sep} = \frac{570}{15,37} = 37,5$$

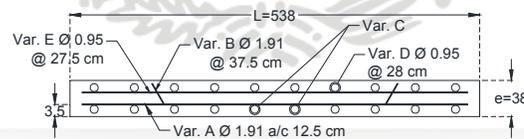
Se colocarán @ 37,5 Vars B

e) Acero de distribución = % A_s

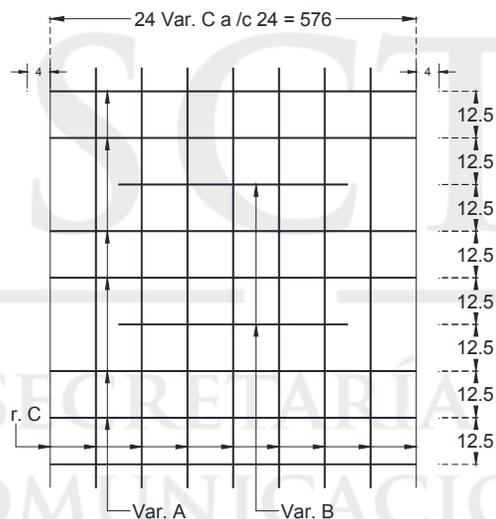
$$P = \frac{0,55}{\sqrt{1}} = \frac{0,55}{\sqrt{5,38}} = 24 \% = 0,24$$

$$A_s' = 0,24 \times A_s = 0,24 \times 19,12 = 4,59 \text{ cm}^2 \text{ Vars C } 1,27 @ 24 \text{ cm}$$

CROQUIS DE ARMADO



Sección
Planta parrilla inferior



Planta parrilla superior

FIGURA 20.- Croquis de armado

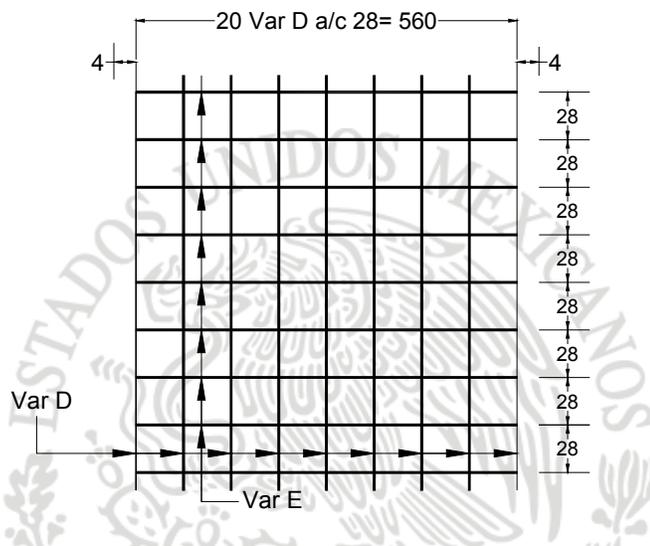


FIGURA 21.- Croquis de armado

Cantidades de obra:

a. Losa

$$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$VL = 57,6 \times 2,24 = 129,14 \text{ m}^3$$

b. Guarniciones

$$VG = 2,66 \text{ m}^3 \quad V_t = 131,80$$

c. Acero de refuerzo

DETALLE DE VARILLAS						
DESIGN.	Num.	Diam.	CROQUIS	Long.	Esp.	PESO
Vars C	25	1.27		5749	24	1433
Vars D	22	0.95	← Long. →	5749	28	716
Vars B	105	1.91		609	38	1446
Vars A	210	1.91		617	13 y 25	2931
Vars A1	252	0.95		L.Max. 642 L.Min. 134	---	2208
Vars E	141	0.95		583	28	465
Vars E1	112	0.95	← Variable →	L.Max. 585 L.Min. 89	---	213
Vars F	2	1.27		1907	---	38
Vars F1	4	1.27		1945	---	176

FIGURA 22.- Detalle de varillas

D.2.2. Cálculo de estribos

Datos para cálculo

Luz	= 6,00 m	Espesor de losa	= 0,37 m
h'	= 2,00 m	Long. De apoyo	= 0,35 m
Pz+P'z	= 1,00 m	Ancho de corona	= 10,50 m
Ht J	= 3,00 m	Espesor de colchón	= 3,00 m
Ft	= 1,60 kg/cm ²		

Análisis de la sección en el desplante.

1. Reacción por carga viva. (Rcv.)

a. Número de carriles.

$$N = \frac{\text{Corona} - 0,61}{3,05} = 3,24 \quad N = 3,0 \text{ Carriles}$$

b. Reacción por carril.

$$l = \text{Luz} + \text{Long de apoyo} = 6,70 \text{ m.}$$

Para espesor de colchón de 3,00 m.

De la V= 8 000 kg/carril.

c. Para 3 carriles P = NV = 24 000 kg.

d. Longitud en que se distribuye P.

$$L' = 1,75 H' + C - 0,61 j = 21,04 \text{ m.}$$

$$L'' = C + 0,1 + (3 * \text{colchón}) = 19,60 \text{ m.}$$

Eligiendo el valor menor L= 19,60 m.

e. $R_{cv} = KP/L$ $K = 0,9.$

$$R_{cv} = 1 102,04 \text{ kg/m.}$$

2. Reacción por carga muerta (Rcm)

Peso propio de la losa = 0,5 x es X (luz + 2 apoyos) X peso vol.

$$P_p = 2 974,80 \text{ kg/m.}$$

Colchón = 0,5 X colchón X (Luz + 2 apoyos) X 0,70 X peso vol.

$$P. \text{ Colchón} = 11 256,00 \text{ kg/m.}$$

$$R_{cm} = 14 230,80 \text{ Kg/m.}$$

3. Reacción total

$$RT = R_{cv} + R_{cm} = 15\,332,84 \text{ kg/m.}$$

4. Empuje de tierra (sin carga viva en el respaldo, $h_{cv} = 0$)

De la sección propuesta.

Dimensiones.

Horizontales		Verticales	
B	= 2,50 m	H_t	= 3,00 m
b	= 1,30 m	H_p	= 2,89 m
V_z	= 0,80 m	h	= 2,50 m
A_e	= 0,44 m	P_z	= 0,50 m
a	= 0,30 m	P'_z	= 0,50 m
d	= 0,40 m	h'	= 2,00 m
T_e	= 0,20 m	h''	= 3,37 m
		I	= 6,57
		I'	= 6,37
		h_{cv}	= 0,20 m

$$ED = 229 H (21' - H) = 6\,691,38 \text{ kg.}$$

Brazo del empuje.

$$Y = \frac{H^2 + 3Hh''}{3(H + 2h')} = 1,35$$

Momento horizontal.

$$MH = ED \times Y = 9\,006,57 \text{ kg-m}$$

5. Esfuerzos en el desplante

$$1^{\text{a}} \text{ combinación } H_{cv} = 0 \text{ m. } RT = 15\,332,84 \text{ kg.}$$

Tanteo para $B = 2,5 \text{ m.}$

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

TABLA 19.- Tabla de elementos mecánicos

Elemento	Fuerza (kg)	Brazo (m)	Momento (kg-m)
RT =	15 332,84	1,18	18 016,09
We1=	1 943,46	1,22	2 372,67
We2=	440,00	0,93	410,67
We3=	705,87	1,22	861,75
We4=	440,00	0,53	234,67
We5=	2 750,00	1,25	3 437,50
Wt6=	1 600,00	2,30	3 680,00
Wt7=	2 651,22	2,25	5 976,26

Suma de $FV = 25\ 863,39\ \text{kg}$. $MV = 34\ 989,602\ \text{kg-m}$
 Momento resultante = $MV - MH$ $MR = 25\ 983,032\ \text{kg-m}$
 Revisión de esfuerzos.

- Posición de la resultante

$$d = MR / \text{Sum } FV \quad d = 1,004\ 626\ \text{m.}$$

$$B/3 < d < 2B/3 \quad 0,833\ 333\ 33 < d < 1,666\ 666\ 667$$

- Excentricidad = $(B/2) - d$ $e = 0,245374\ \text{m}$.

- Esfuerzos

$$\text{Esf.} = (\text{Sum } Fv/\text{Area}) (1 \pm (6e/B))$$

$$\text{Esf. } 1 = 1,643\ 771\ \text{kg/cm}^2 \quad \text{Compresión.}$$

$$\text{Esf. } 2 = 0,425\ 300\ \text{kg/cm}^2 \quad \text{Compresión.}$$

$$Cv = \frac{MV}{MH} = 3,8848976 > 1,75$$

$$Cv = \frac{UFv}{E} = 2,1258490 > 1,75$$

6. Esfuerzos en el desplante

2ª combinación: R_{cm} Y c_v en el respaldo.

$$\text{Para } l = 6,37\ \text{m.} \quad h_{cv} = 0,2\ \text{m}$$

$$H1'' = h'' + h_{cv} = 3,57\ \text{m}$$

$$E = 229H (2l - H) = 6\ 966,18\ \text{kg}$$

$$Y = \frac{H^2 + 3Hh1''}{3(H + 2h1'')} = 1,35207\ \text{m}$$

$$MH' = E * Y = 9\ 418,77\ \text{kg-m.}$$

TABLA 20.- Tabla de momentos

Elemento	Fuerza (kg)	Brazo (m)	Momento (kg-m)
SUM Fv	25 863,39		34 989,60
Wt10	157,34	2,25	354,67
Rcv	-1 102,04	1,18	-1 294,90

$$\text{SUM } FV = 24\ 918,69 \text{ kg.} \quad \text{SUM } M'v = 34\ 049,38 \text{ kg-m}$$

$$\text{Momento resultante} = M'v - MH' \quad MR' = 24630,6086 \text{ kg-m}$$

Revisión de esfuerzos

- Posición de la resultante

$$D = (MR') / \text{SUM } F'v \quad d = 0,988\ 439\ 1 \text{ m.}$$

$$B/3 < d < 2B/3 \quad 0,833\ 333\ 3 < d < 1,666\ 666\ 7$$

- Excentricidad = $(B/2) - d = 0,261\ 560\ 9 \text{ m.}$

$$\text{ESF.} = (\text{SUM } FV / \text{AREA}) (1 + /-(6e/B))$$

$$\text{ESF. 1} = 1,62 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Compresión}$$

$$\text{ESF. 2} = 0,37 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Compresión}$$

Rige la 1ª Combinación.

7. Revisión del escalón

$$\text{Datos } Pz + P'z = 1,00 \text{ m.}$$

$$Ft = 1,6 \text{ kg/cm}^2$$

De la gráfica de la Figura "A" proporciona el volado máximo admisible para los datos anteriores.

$$Vz = 0,75 \text{ m}$$

8. Análisis de la sección intermedia

Las tensiones en el cuerpo del estribo no excederán de $0,50 \text{ kg/cm}^2$ se analizara una sección A 2,00 de profundidad, medida a partir de la corona del estribo.

$$\text{Para } l' = 5,37 \text{ m.} \quad hcv = 0,20 \text{ m}$$

$$h2'' = h'' + hcv = 3,57 \text{ m.} \quad l'' = 5,57 \text{ m}$$

$$H = 2,00 \text{ m}$$

$$Ei = 229 H(2l'' - H) = 4\ 186,12 \text{ kg.}$$

$$Y = \frac{H^2 + 3Hh2''}{3(H + 2h2'')} = 0,927\ 06 \text{ m}$$

$$MHi = E \cdot Y = 3\,880,79 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Esfuerzos en la sección intermedia.

$$b_i = 1,30 \text{ m.}$$

TABLA 21.- Tabla de momentos en el desplante

Elemento	Fuerza (kg)	Brazo (m)	Momento (kg-m)
We1	1 943,46	1,08	2 097,289
We2	440,00	0,13	58,667
Wt4	523,76	1,25	656,881
Rcm	14 230,80	1,03	14 704,750

$$\text{Sum. } F_v = 17\,138,02 \text{ kg.}$$

$$\text{Sum } M_v = 17\,517,259 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$\text{Momento Resultante} = M' = 13\,636,8 \text{ kg}\cdot\text{m.}$$

Revisión de esfuerzos.

- Posición de la resultante

$$D = (MR') / \text{SUM } F_v \quad d = 0,796 \text{ m.}$$

- Excentricidad = $(B/2) - d = -0,146 \text{ m.}$

- Esfuerzos

$$\text{ESF.} = (\text{SUM } F_v / \text{AREA})(1 \pm (6e/B))$$

$$\text{ESF. 1.} = 0,43 < 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ESF. 2} = 2,20 = 2,20 < 3,0 \text{ kg/cm}^2$$

Dimensiones definitivas

Horizontales

Verticales

$$B = 2,50 \text{ m}$$

$$H_t = 3,00 \text{ m}$$

$$b = 1,30 \text{ m}$$

$$h' = 2,00 \text{ m}$$

$$V_z = 0,80 \text{ m}$$

$$P_z = 0,50 \text{ m}$$

$$A_e = 0,44 \text{ m}$$

$$P'_z = 0,50 \text{ m}$$

$$d = 0,40 \text{ m}$$

D.2.3. Tablas tipo armado losas

Tabla 22.- LUZ = 1,00 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				∅	sep-01	sep-02	a	Long.	∅	Sep	b	n	n'	a	Long.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Long.
0,25	16	25	0,240	1,27	10,5	0,0	132	166	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	30,5	7	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0
0,75																								
0,75	10	15	0,130	0,95	14,5	0,0	114	140	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,93	33,5	6	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0
1,25																								
1,25	10	15	0,130	0,95	13,5	0,0	114	140	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,95	31,5	6	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0
1,75																								
1,75	11	15	0,143	0,95	13,5	0,0	114	140	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,95	31,0	6	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0
2,25																								
2,25	11	15	0,143	0,95	12,0	0,0	114	140	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,95	28,0	7	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0
2,75																								
2,75	11	15	0,143	0,95	11,5	0,0	114	140	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,95	27,0	7	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0
3,25																								
3,25	12	15	0,156	0,95	11,5	0,0	114	140	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,95	26,5	7	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0
3,75																								
3,75	12	15	0,156	0,95	11,5	0,0	114	140	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,95	25,5	7	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0
4,25																								

Tabla 23.- LUZ = 1,50 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				∅	sep-01	sep-02	a	Long.	∅	Sep	b	n	n'	a	Long.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Long.
0,25	18	25	0,360	1,27	11,5	0,0	182	216	0,00	0,0	0	0	0	0	0	1,27	29,0	9	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
0,75																								
0,75	13	15	0,234	0,95	11,0	0,0	164	190	0,00	0,0	0	0	0	0	0	0,95	25,0	9	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,25																								
1,25	13	15	0,234	0,95	10,5	0,0	164	190	0,00	0,0	0	0	0	0	0	0,95	24,0	9	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,75																								
1,75	14	15	0,252	0,95	10,0	0,0	164	190	0,00	0,0	0	0	0	0	0	0,95	22,5	10	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,25																								
2,25	15	15	0,270	1,27	17,0	0,0	162	196	0,00	0,0	0	0	0	0	0	0,95	20,5	11	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,75																								
2,75	15	15	0,270	1,27	16,0	0,0	162	196	0,00	0,0	0	0	0	0	0	0,95	20,5	11	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
3,25																								
3,25	16	20	0,304	1,27	15,0	0,0	172	206	0,00	0,0	0	0	0	0	1,27	33,5	8	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0	
3,75																								
3,75	16	20	0,304	1,27	14,5	0,0	172	206	0,00	0,0	0	0	0	0	1,27	33,5	8	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0	
4,25																								

Tabla 24.- LUZ = 2,00 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				∅	sep-01	sep-02	a	Long.	∅	Sep	b	n	n'	a	Long.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Long.
0,25	21	30	0,546	1,27	11,0	0,0	242	276	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	24,0	13	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
0,75																								
0,75	16	15	0,368	1,27	14,5	0,0	212	246	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	33,5	9	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,25																								
1,25	17	15	0,391	1,27	14,0	0,0	212	246	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	31,0	9	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,75																								
1,75	17	20	0,408	1,27	13,5	0,0	222	256	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	31,0	10	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,25																								
2,25	18	20	0,432	1,27	13,0	0,0	222	256	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	29,0	10	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,75																								
2,75	19	20	0,456	1,27	12,5	0,0	222	256	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	27,0	11	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
3,25																								
3,25	20	25	0,500	1,27	11,5	0,0	232	266	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	25,5	12	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
3,7521																								
3,75	21	25	0,525	1,27	11,0	0,0	232	266	0,0	0,0	0	0	0	0	0	1,27	24,0	12	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
4,25																								

Tabla 25.- LUZ = 2,50 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				∅	sep-01	sep-02	a	Long.	∅	Sep	b	n	n'	a	Long.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Long.
0,25 0,75	23	160	0,736	1,59	15	0,0	298	341	0,00	0,0	0	0	0	0	0	1,59	33,5	12	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
0,75 1,25	20	145	0,580	1,27	11,5	23,0	272	306	1,27	34,5	170	13	18	0	206	1,27	25,5	15	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,25 1,75	20	145	0,580	1,27	11,5	23,0	272	306	1,27	34,5	170	13	18	0	2307	1,27	25,5	15	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,75 2,25	21	145	0,609	1,27	10,5	21,0	272	306	1,27	31,5	168	14	20	0	207	1,27	24,0	16	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,25 2,75	22	150	0,660	1,27	10,0	0,0	282	316	1,27	30,0	165	15	21	0	208	1,27	22,5	17	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,75 3,25	23	150	0,690	1,59	15	0,0	278	321	0,00	0,0	0	0	0	0	1,59	33,5	11	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0	
3,25 3,7521	24	155	0,744	1,59	14,5	0,0	288	331	0,00	0,0	0	0	0	0	1,59	32	12	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0	
3,75 4,25	25	155	0,775	1,59	14,0	0,0	288	331	0,00	0,0	0	0	0	0	1,59	30,5	12	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0	

Tabla 26.- LUZ = 3,00 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				∅	sep-01	sep-02	a	Long.	∅	Sep	b	n	n'	a	Long.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Long.
0,25 0,75	26	185	0,962	1,59	13	0,0	348	391	0,00	0,00	0	0	0	0	0	1,59	29	15	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
0,75 1,25	23	175	0,805	1,59	15	30,0	328	371	1,59	45,0	204	16	23	0	250	1,59	33,5	14	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,25 1,75	23	175	0,805	1,59	14,5	29,0	328	371	1,59	43,5	205	16	23	0	250	1,59	33,5	14	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,75 2,25	24	175	0,840	1,59	14	28,0	328	371	1,59	42,0	203	17	24	0	251	1,59	32,0	15	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,25 2,75	26	180	0,936	1,59	13,5	27,0	338	381	1,59	40,5	198	19	27	0	251	1,59	29,0	16	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,75 3,25	27	180	0,972	1,59	12,5	25,0	338	381	1,59	37,5	195	20	28	0	252	1,59	28,0	17	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
3,25 3,7521	28	185	1,036	1,59	12	24,0	348	391	1,59	36,0	193	21	30	0	252	1,59	26,5	18	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
3,75 4,25	29	190	1,102	1,59	11,5	23,0	358	401	1,59	34,5	191	22	31	0	253	1,59	25,5	19	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0

Tabla 27.- LUZ = 3.50 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				∅	sep-01	sep-02	a	Long.	∅	Sep	b	n	n'	a	Long.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Núm.	∅	Sep	Long.
0,25 0,75	29	210	1,218	1,59	11,5	23,0	398	441	1,59	34,5	218	22	31	75	431	1,59	25,5	20	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
0,75 1,25	26	200	1,040	1,59	13	26,0	378	421	1,59	39,0	226	19	27	64	409	1,59	29	18	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,25 1,75	27	200	1,080	1,59	12,5	25,0	378	421	1,59	37,5	224	20	28	64	410	1,59	280	18	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,75 2,25	28	205	1,148	1,59	12	24,0	388	431	1,59	36,0	222	21	30	69	420	1,59	26,5	19	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,25 2,75	30	210	1,260	1,59	11,5	23,0	398	441	1,59	34,5	219	23	33	74	432	1,59	24,5	21	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,75 3,25	31	215	1,333	1,59	10,5	21,0	408	451	1,59	31,5	219	24	34	78	443	1,59	23,5	22	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
3,25 3,7521	33	215	1,419	1,59	10,5	21,0	408	451	1,59	31,5	220	26	37	75	445	1,59	22	23	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
3,75 4,25	34	220	1,496	1,59	10,0	20,0	418	461	1,59	30,0	221	27	38	79	455	1,59	35,5	12	0,95	31,0	14	0,95	31,0	433

Tabla 28.- LUZ = 4,00 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				\emptyset	sep-01	sep-02	a	Long.	\emptyset	Sep	b	n	n'	a	Long.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Long.
0,25 0,75	32	240	1,536	1,59	10	20,0	458	501	1,59	30,0	249	25	35	87	494	1,59	23	25	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
0,75 1,25	30	230	1,380	1,59	11,5	23,0	438	481	1,59	34,5	247	23	33	80	472	1,59	24,5	23	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,25 1,75	30	230	1,380	1,59	11	22,0	438	481	1,59	33,0	248	23	33	80	472	1,59	24,5	23	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,75 2,25	32	235	1,504	1,59	10,5	21,0	448	491	1,59	31,5	249	25	35	82	484	1,59	23,0	24	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,25 2,75	33	240	1,584	1,59	10,0	20,0	458	501	1,59	30,0	250	26	37	86	495	1,59	22,0	25	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
2,75 3,25	35	245	1,715	1,91	13,5	27,0	466	517	1,91	40,5	251	28	40	88	506	1,27	23,0	21	0,95	30,0	17	0,95	30,0	483
3,25 3,7521	37	250	1,850	1,91	13	26,0	476	527	1,91	39,0	251	30	42	91	518	1,59	34	15	0,95	28,0	18	0,95	28,0	493
3,75 4,25	39	255	1,989	1,91	12,0	24,0	486	537	1,91	36,0	252	32	45	93	530	1,59	32,5	16	0,95	26,5	19	0,95	26,5	503

Tabla 29.- LUZ = 4,50 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				\emptyset	sep-01	sep-02	a	Long.	\emptyset	Sep	b	n	n'	a	Long.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Long.
0,25 0,75	35	270	1,890	1,91	13,5	27,0	516	567	1,91	40,5	279	28	40	99	556	1,27	24	22	0,95	30,0	18	0,95	30,0	533
0,75 1,25	33	260	1,716	1,59	10	20,0	498	541	1,59	30,0	278	26	37	92	535	1,59	22	27	0,00	0,0	0	0,00	0,0	0
1,25 1,75	34	260	1,706	1,91	14	28,0	496	547	1,91	42,0	279	27	38	90	535	1,27	25,0	21	0,95	31,0	17	0,95	31,0	513
1,75 2,25	35	265	1,855	1,91	13,5	27,0	506	557	1,91	40,5	280	28	40	94	546	1,27	24,0	22	0,95	30,0	18	0,95	30,0	523
2,25 2,75	37	270	1,998	1,91	12,5	25,0	516	567	1,91	37,5	281	30	42	96	558	1,59	35,5	15	0,95	28,0	20	0,95	28,0	533
2,75 3,25	39	275	2,145	1,91	12	24,0	526	577	1,91	36,0	282	32	45	99	570	1,59	33,5	16	0,95	26,5	21	0,95	26,5	543
3,25 3,7521	41	280	2,296	1,91	11,5	23,0	536	587	1,91	24,5	283	34	48	101	581	1,59	32,3	17	0,95	25,0	23	0,95	25,0	553
3,75 4,25	43	285	2,451	1,91	10,5	21,0	546	597	1,91	31,5	284	36	51	104	593	1,59	30,5	79	0,95	24,0	24	0,95	24,0	563

Tabla 30.- LUZ = 5,00 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A					VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E				
				\emptyset	sep-01	sep-02	a	Long.	\emptyset	Sep	b	n	n'	a	Long.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Long.
0,25 0,75	38	295	2,242	1,91	12,5	25,0	566	617	1,91	37,5	309	31	44	106	609	1,27	23,5	25	0,95	27,5	22	0,95	27,5	583
0,75 1,25	37	290	2,146	1,91	13	26,0	556	607	1,91	39,0	309	30	42	102	598	1,27	24	24	0,95	28,0	21	0,95	28,0	573
1,25 1,75	37	290	2,146	1,91	12,5	25,0	556	607	1,91	37,5	309	30	42	102	598	1,27	23,5	25	0,95	283,0	21	0,95	28,0	573
1,75 2,25	39	295	2,301	1,91	12	24,0	566	617	1,91	36,0	310	32	45	104	610	1,59	35,5	17	0,95	26,5	23	0,95	26,5	583
2,25 2,75	41	300	2,460	1,91	11,0	22,0	576	627	1,91	33,0	312	34	48	107	621	1,59	33,5	18	0,95	25,0	24	0,95	25,0	593
2,75 3,25	44	305	2,684	1,91	10,5	21,0	586	637	1,91	31,5	313	37	52	108	634	1,59	32,0	19	0,95	23,0	27	0,95	23,0	603
3,25 3,7521	46	310	2,852	1,91	10	20,0	596	647	1,91	30,0	314	39	55	111	645	1,59	30	21	0,95	22,0	28	0,95	22,0	613
3,75 4,25	49	320	3,136	2,54	17,0	34,0	612	681	2,54	51,0	316	41	58	117	666	1,59	28,5	22	0,95	21,0	31	0,95	21,0	632

Tabla 31.- LUZ = 5,50 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A				VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E					
				\emptyset	sep-01	sep-02	a	Long.	\emptyset	Sep	b	n	n'	a	Long.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Long.
0,25 0,75	41	325	2,665	1,91	11,5	23,0	626	677	1,91	34,5	340	34	48	118	671	1,59	35	19	0,95	25,0	26	0,95	25,0	643
0,75 1,25	40	315	2,520	1,91	11,5	23,0	606	657	1,91	34,5	340	33	47	109	650	1,27	23	27	0,95	26,0	24	0,95	26,0	623
1,25 1,75	41	320	2,624	1,91	11,5	23,0	616	667	1,91	34,5	340	34	48	113	661	1,59	35,5	18	0,95	25,0	26	0,95	25,0	633
1,75 2,25	43	325	2,795	1,91	11	22,0	626	677	1,91	33,0	341	36	51	115	673	1,59	34,0	19	0,95	24,0	27	0,95	24,0	643
2,25 2,75	45	330	2,970	1,91	10,0	20,0	636	687	1,91	30,0	343	38	54	117	684	1,59	31,5	21	0,95	22,5	30	0,95	22,5	653
2,75 3,25	48	335	3,216	2,54	17	34,0	642	711	2,54	51,0	344	40	57	119	695	1,59	30,0	22	0,95	21,5	31	0,95	21,5	662
3,25 3,7521	51	345	3,519	2,54	16,5	33,0	662	731	2,54	49,5	345	43	61	125	718	1,59	28,5	24	0,95	20,0	35	0,95	20,0	682
3,75 4,25	53	350	3,710	2,54	15,5	31,0	672	741	2,54	46,5	346	45	64	128	729	1,59	27	26	1,27	34,0	21	1,27	2,3	692

Tabla 32.- LUZ = 6,00 y $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Colchón	Esp.	a	VOL.	VARILLAS A				VARILLAS B					VARILLAS C			VARILLAS D			VARILLAS E					
				\emptyset	sep-01	sep-02	a	Long.	\emptyset	Sep	b	n	n'	a	Long.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Núm.	\emptyset	Sep	Long.
0,25 0,75	44	350	3,080	1,91	10,5	21,0	676	727	1,91	31,5	370	37	52	124	724	1,59	34,5	20	0,95	23,0	31	0,95	23,0	693
0,75 1,25	44	345	3,036	1,91	10,5	21,0	666	717	1,91	31,5	370	37	52	119	714	1,59	34,5	20	0,95	23,0	30	0,95	23,0	683
1,25 1,75	45	350	3,150	1,91	10,5	21,0	676	727	1,91	31,5	371	38	54	123	724	1,59	34,0	21	0,95	22,5	31	0,95	22,5	693
1,75 2,25	47	355	3,337	2,54	17,5	35,0	682	751	2,54	52,5	372	39	55	126	734	1,59	32,0	22	0,95	22,0	32	0,95	22,0	702
2,25 2,75	50	360	3,600	2,54	16,5	33,0	692	761	2,54	49,5	374	42	59	127	747	1,59	30,5	23	0,95	20,5	35	0,95	20,5	712
2,75 3,25	53	370	3,922	2,54	15,5	31,0	712	781	2,54	46,5	375	45	64	134	769	1,59	28,5	26	1,27	34,0	22	1,27	34,0	732
3,25 3,7521	56	375	4,200	2,54	15	30,0	722	791	2,54	45,0	378	48	68	134	782	1,59	27	28	1,27	32,0	24	1,27	32,0	742
3,75 4,25	58	385	4,466	2,54	14,0	28,0	742	811	2,54	42,0	378	50	71	142	803	1,59	26	29	1,27	31,0	25	1,27	31,0	762

D.3. BÓVEDAS

Son estructuras formadas por un cañón de sección rectangular (muros verticales) y un medio círculo, de concreto ciclópeo o de concreto reforzado.

D.3.1. Ejemplo diseño estructural bóvedas de concreto armado

Datos

$H = 38,00$ m altura de terraplén o colchón

$\sigma_t = 40 \text{ T/m}^2$ capacidad de carga del suelo

$\gamma t = 1,8 \text{ T/m}^3$ peso volumétrico de relleno compactado $\emptyset = 30^\circ$ ángulo de fricción interna; $K_a = 0,33$ coeficiente de empuje activo.

$R = 3,0$ m radio.

$t = 0,80$ m (espesor supuesto).

Nota:

Para el análisis de carga sobre la bóveda, se utilizará el criterio que se propone en el libro de mecánica de suelos (Tomo III) de Juárez Badillo y Rico Rodríguez, "Consideraciones Geotécnicas para el Diseño de alcantarillas Rígidas en Terraplén" (Capítulo VI)

Debido a que la altura de relleno es muy grande, y para garantizar la seguridad de la estructura, pero a la vez para buscar la economía de la obra, en el proceso constructivo del terraplén se inducirá el arqueo en la estructura del relleno, criterio que nos producirá un asentamiento negativo.

La relación de asentamiento (Γa) = - 0,5 a - 0,8 (tubo rígido sobre suelo común)

$$W_m = C_c \gamma_m D^2.$$

W_m = carga muerta en ton.

C_c = coeficiente de carga.

D^2 = diámetro en m.

p = presión en ton/m².

W_v = carga vertical en ton.

$$p = (H/h) / D = (H/7,10) / 7,60 = 0,019 H$$

$$C_c = \frac{e^{\pm 2KTg\phi \frac{He}{D}} - 1}{\pm 2KTg\phi} + \left(\frac{H}{D} - \frac{He}{D} \right) e^{\pm 2KTg\phi \frac{He}{D}} \text{ para } He > 7,6$$

Donde:

$$W_m = 1,8 \times 7,60^2 C_c = 103,97 C_c$$

$$\text{Si } \gamma_t = 1,80 \text{ t/m}^3, \phi = 30^\circ; K_a = 0,33$$

$$K_a \text{tg}\phi = 0,33 \text{ tg } 30^\circ = 0,191$$

$$C_c = \frac{e^{\pm 2,0 \times 0,191 He / 7,6} - 1}{\pm 2,0 \times 0,191} + \left(\frac{H}{7,6} - \frac{He}{7,6} \right) e^{\pm 2,0 \times 0,191 / 7,6} \text{ para } He > 7,6$$

$$C_c = \frac{e^{\pm 0,050 He} - 1}{\pm 0,382} + 0,132 (H - He) e^{\pm 0,050 He}$$

Nota: Considerando " Γa " negativa e igual a - 0,8 tenemos:

$$He = - 0,8 \times 0,019 H^2 / 7,6 = - 0,0020 H^2$$

$$C_c = \frac{e^{+0,050(0,0020H)^2} - 1}{\pm 2,0 \times 0,191} + 0,132 (H - 0,002H)^2 e^{+0,050(-0,0020H)^2}$$

(Por lo tanto)

$$C_c = \frac{e^{-0,0001H^2} - 1}{-0,382} + 0,132 (H - 0,002H)^2 e^{-0,0001H^2} e^{-0,0001H^2}$$

TABLA 33.- Disipación de carga por efecto de arqueo

H (m)	Cc	W m (TON)	P = W / D (T/m ²)	He (m)	OBSERVACIONES
5	0,658	68,41	9,50	5,00	H > He
10	1,307	135,86	17,88	9,93	H > He
15	1,936	201,29	26,49	14,72	H > He
20	2,435	253,17	33,31	18,51	H > He
25	3,104	322,68	42,46	23,59	H > He
30	3,627	377,13	49,62	27,57	H > He
35	4,103	426,59	56,13	31,18	H > He
38	4,364	453,72	59,70	33,17	H > He
					(12,7 %)

Nota:

En esta tabla, podemos observar que la disipación de la carga por efecto del arqueo del suelo fue muy poca 12,7%, debido a que la dimensión de la bóveda ($D = 7,60$ m) ya es grande ($H/D = 5,0$)

Importante:

La falla parcial ó total de las alcantarillas con terraplenes altos, tanto circulares como abovedados, ha sido principalmente debida a la deficiente ó inadecuada compactación en los aproches, a la deformación de la estructura durante la construcción del terraplén, a la compactación (espesor de capas) del terraplén y finalmente al diferente peso volumétrico (mayor) del terraplén con respecto al considerado en el diseño, en pocas palabras, al procedimiento constructivo en general y a las especificaciones que no se respetan.

Por lo anterior con la finalidad de garantizar la seguridad estructural de la bóveda y protegerla contra cualquiera de las posibles causas antes citadas, consideraremos para el diseño el total de la carga.

Por lo tanto en este caso, $H = He = 38,0$ m

Carga vertical: $W_v = 1,8 \times 38,00 = 68,40$ t/m²

Carga lateral: $p_{ai} = K(w + \gamma_i H_i)$.

$$P_{a1} = 0,33 \times 6840 = 22,57 \text{ t/m}^2$$

$$P_{a2} = 0,33(68,40 + 1,8 \times 7,10) = 26,79 \text{ t/m}^2$$

- Peso propio: $W_{pp} = 2,4 \times 0,8 = 1,92$ t/m² (↓)-Arco.

$$W_{pp} = 2,4 \times 1,0 = 2,40 \text{ t/m}^2 \text{ (↓)-Cimentación.}$$

- Peso de la cuña: $W_{v1} = 1,8 \times 3,8 = 6,84$ t/m² (↓)

- Reacción de la cimentación

$$1 \quad W_{\text{terraplén}} = 68,40 \times 7,6 = 519,84 \text{ ton}$$

$$2 \quad W_{\text{cuña}} = 2 (3,8^2 - 0,785 \times 3,8^2) 1,8 = 11,18 \text{ ton}$$

$$3 \quad W_{\text{wpp}} = 2,4 [(7,0 \times 3,3 - 2,3 \times 6,0) + 3,14/2,0(3,8^2 - 3,0^2)] = 42,82 \text{ ton}$$

$$4 \quad W_{\text{total}} = 519,84 + 11,18 + 42,82 = 573,84 \text{ ton}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 573,84/7,60 = 75,50 \text{ t/m}^2 > \sigma_t = 40 \text{ t/m}^2 \text{ No.}$$

Nota:

Se requiere mejorar el terreno de desplante, ya que la capacidad de carga del terreno es mucho menor que el esfuerzo máximo a la compresión actuante $40,0 \ll 75,50 \text{ t/m}^2$.

Análisis, cargas y secciones.

Sección transversal.

Análisis estructural

Para el análisis estructural de la bóveda, utilizaremos el criterio de "Beggs deformeter stress analysis", mediante coeficientes para el cálculo de momentos, carga axial y cortantes, para diferentes condiciones de carga (vertical, lateral, peso propio y cuña.)

1.- Carga del terraplén ($W_{v=68,40 \text{ t/m}^2}$)

$$(W_v=68,40 \text{ t/m}^2).$$

$$m_i=68,40 \times 3,0^2 C_m=615,60 C_m.$$

$$T_i=68,40 \times 3,0 C_t=205,20 C_t.$$

$$V_i=68,40 \times 3,0 C_v=205,20 C_v.$$

TABLA 34.- Carga del terraplén

SECCIÓN	MOMENTO (T-m)		CARGA AXIAL (TON)		CORTANTE (TON)	
	C_m	m	C_t	T	C_v	V
1	+ 0,308	+ 189,61	+ 0,059	+ 12,11	0	0
4	+ 0,004	+ 2,46	+ 0,693	+ 142,21	+ 0,609	+ 124,97
7	- 0,273	- 168,06	+ 1,302	+ 267,17	- 0,059	- 12,11
10	- 0,197	- 121,27	+ 1,302	+ 267,17	- 0,059	- 12,11
11	+ 0,016	+ 9,85	- 0,059	- 12,11	- 1,00	- 205,20
14	+ 0,446	+ 274,56	0	- 0	0	0

2.- Carga por empuje lateral constante ($W_{a1}=22,57 \text{ t/m}^2$)

$$m_i=22,57 \times 3,0^2 C_m=203,13 C_m$$

$$T_i=22,57 \times 3,0 C_t=67,71 C_t$$

$$V_i=22,57 \times 3,0 C_v=67,71 C_v$$

TABLA 35.- Carga por empuje lateral

SECCIÓN	MOMENTO (T-m)		CARGA AXIAL (TON)		CORTANTE (TON)	
	C_m	m	C_t	T	C_v	V
1	- 0,370	- 75,16	+ 1,383	+ 93,64	0	0
4	- 0,017	- 3,45	+ 0,709	+ 48,01	- 0,709	- 48,01
7	+ 0,346	+ 70,28	0	0	- 0,081	- 5,49
10	- 0,044	- 8,94	0	0	+ 0,919	+ 62,23
11	- 0,183	- 37,17	+ 1,221	+ 82,68	0	0
14	- 0,183	- 37,17	+ 1,221	+ 82,68	0	0

3.- Carga triangular por empuje lateral ($W_{a2}=4,22 \text{ t/m}^2$)

$$m_i=4,22 \times 3,0^2 C_m=37,98 C_m.$$

$$T_i=4,22 \times 3,0 C_t=12,66 C_t.$$

$$V_i=4,22 \times 3,0 C_v=12,66 C_v.$$

TABLA 36.- Carga triangular por empuje lateral

SECCIÓN	MOMENTO (T-m)		CARGA AXIAL (TON)		CORTANTE (TON)	
	C_m	m	C_t	T	C_v	V
0						
1	-0,141	-5,36	+0,432	+5,47	0	0
4	-0,028	-1,06	+0,286	+3,62	-0,286	-3,62
7	+0,189	+7,18	0	0	-0,107	-1,35
10	-0,019	-0,72	0	0	+0,586	+7,42
11	-0,106	-4,03	+0,870	+11,01	0	0
14	-0,106	-4,03	+0,870	+11,01	0	0

4.- Carga por peso propio $W_{pp}=1,92 \text{ t/m}^2$.

$$W_{pp}=24 \text{ t/m}^2.$$

$$m_i=1,92 \times 3,0^3 C_m=51,84 C_m, m_i=2,4 \times 3,0^3 C_m=64,80 C_m(*)$$

$$T_i=1,92 \times 3,0^2 C_t=17,28 C_t, T_i=2,4 \times 3,0^2 C_t=21,60 C_t(*)$$

$$V_i=1,92 \times 3,0^2 C_v=17,28 C_v, V_i=2,4 \times 3,0^2 C_v=21,60 C_v(*)$$

TABLA 37.- Carga por peso propio

SECCIÓN	MOMENTO (T-m)		CARGA AXIAL (TON)		CORTANTE (TON)	
	C_m	M	C_t	T	C_v	V
1	+0,100	+5,18	+0,012	+0,21	0	0
4	-0,002	-0,10	+0,203	+3,51	+0,186	+3,21
7	-0,115	-5,96	+0,550	+9,50	-0,012	-0,21
10	+0,008	+0,41	+0,834	+14,41	-0,321	-5,55
11	+0,032	+1,66	+0,152	+2,63	-0,449	-7,76
14	+0,120	+6,22	-0,012	-0,21	0	0

5.- Carga por cuña ($wv1 = 6,84 \text{ t/m}^2$)

$$m_i = 6,84 \times 3,03 C_m = 184,68 C_m.$$

$$T_i = 6,84 \times 3,02 C_t = 61,56 C_t.$$

$$V_i = 6,84 \times 3,02 C_v = 61,56 C_v.$$

TABLA 38.- Carga por cuña

SECCIÓN	MOMENTO (T-m)		CARGA AXIAL (TON)		CORTANTE (TON)	
	C_m	m	C_t	T	C_v	V
1	+0,028	+5,17	-0,008	-0,49	0	0
4	+0,013	+2,40	+0,072	+4,43	+0,021	+1,29
7	-0,032	-5,91	+0,365	+22,47	+0,008	+0,49
10	-0,040	-7,39	+0,365	+22,47	+0,008	+0,49
11	-0,010	-1,85	+0,008	+0,49	-0,215	-13,24
14	+0,062	+11,45	+0,008	+0,49	0	0

TABLA 39.- Resumen de los elementos mecánicos

SECCIÓN	MOMENTO (T-m)	CARGA AXIAL (TON)	CORTANTE (TON)
	m	T	V
1	+ 119,44	+ 110,94	0
4	+ 0,25	+ 201,78	+ 77,84
7	- 102,47	+ 299,14	- 18,67
10	- 137,91	+ 364,75	+ 57,82
11	- 31,54	+ 84,70	- 226,20
14	+ 251,03	+ 93,97	0

Diseño

Como estas obras son construidas en las profundidades de las barrancas, son estructuras enterradas y sujetas a una serie de condiciones desfavorables, se empleará el método de diseño elástico.

Datos:

$f_c=200 \text{ kg/cm}^2$ -Concreto

$f_y = 4 200 \text{ kg/cm}^2$ -Acero de refuerzo

$E_c = 4 270 \sqrt{200} (2,4)^{1.5}=224,522 \text{ kg/cm}^2$

$E_s=2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$f_c=90 \text{ kg/cm}^2$

$f_s=2 100 \text{ kg/cm}^2$

$j = 0,90 ; K= 0,29; K_b = 11,75 \text{ kg/cm}^2$

$d = 9,23 \sqrt{m}; m$ en t-m

$A_s = 55,56 \text{ m/d}; m$ en t-m y d en centímetros

$V_c = 0,5 \sqrt{200} = 7,07 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$ Si existe carga axial $V_c = 0,46 \sqrt{f_c}(1+0,057 \text{ N/Ag})$

Definición de peraltes:

$$m_1 = + 119,44 \text{ t-m} \Rightarrow d = 101 \text{ cm.}$$

$$V_4 = 77,84 \text{ ton} \Rightarrow V_c = 0,46 \sqrt{200} \left(1 + 0,057 \times \frac{201780}{100 \times 101} \times 110 \right) = 13,3 \text{ kg/cm}^2 \text{ (por lo tanto) } d = 84 \text{ cm.}$$

$$m_7 = 102,47 \text{ t-m} \Rightarrow d = 94 \text{ cm.}$$

$$m_{10} = 137,91 \text{ t-m} \Rightarrow d = 108 \text{ cm.}$$

$$V_{11} = 226,20 \text{ ton} \Rightarrow d = 320 \text{ cm.} \leftarrow T = 84,70 \text{ ton} \Rightarrow V_c = 7,48 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow d = 303 \text{ cm.}$$

$$m_{14} = + 251,03 \text{ t-m} \Rightarrow d = 146 \text{ cm.}$$

Carteles – losa de cimentación.

Refuerzo del arco

$$m_1 = + 119,44 \text{ t-m} \Rightarrow h = 101 \text{ cm.}$$

$$A_s = 64,43 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow 2 \text{ Vars. } 1" \varnothing @ 15 \text{ cm.}$$

$$A_{s_{\min}} = 36,05 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow \text{Vars. } 1" \varnothing @ 14 \text{ cm.}$$

$$A_{s_{\text{temp}}} = 11,0 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow \text{Vars. } 1/2" \varnothing @ 12 \text{ cm} \text{ ó Vars. } 5/8 \varnothing @ 18 \text{ cm.}$$

Refuerzo Sección 7

$$M_7 = + 102,47 \text{ t-m} \Rightarrow h = 94 \text{ cm}$$

$$A_s = 55,28 \text{ cm}^2 \Rightarrow 2 \text{ Vars. } 1" \varnothing @ 18 \text{ cm}$$

$$A_{s_{\min}} = 36,05 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow \text{Vars. } 1" \varnothing @ 14 \text{ cm}$$

$$A_{s_{\text{temp}}} = 11,0 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Vars. } 5/8" \varnothing 18 \text{ cm}$$

Refuerzo sección 10

$$M_{10} = - 137,91 \text{ t-m} \Rightarrow h = 108 \text{ cm}$$

$$A_s = 74 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow 2 \text{ Vars. } 1" \varnothing @ 14 \text{ cm}$$

$$A_{s_{\min}} = 36,05 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow \text{Vars. } 1" \varnothing @ 14 \text{ cm}$$

$$A_{s_{\min}} = 11,0 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow \text{Vars. } 5/8" \varnothing 18 \text{ cm}$$

Refuerzo sección 14

$$m_{14} = - 251,03 \text{ t-m} \Rightarrow h = 146 \text{ cm}$$

$$A_s = 97,53 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow 3 \text{ Vars. } 1" \varnothing @ 15 \text{ cm}$$

$$A_{s_{\min}} = 50,05 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow 2 \text{ Vars. } 1" \varnothing @ 20 \text{ cm}$$

$$A_{s_{\text{temp}}} = 15,0 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow \text{Vars. } 5/8" \varnothing 13 \text{ cm}$$

Refuerzo de bóveda sección transversal

Nota: La ampliación de la cimentación mediante las alas en los extremos es con el fin de uniformizar los esfuerzos en el desplante.

La capacidad de carga del terreno es de 40 t/m^2 y el esfuerzo máximo en la cimentación es de $75,50 \text{ t/m}^2$; por lo que se mejorará el desplante para lograr disminuir este esfuerzo.

Notas y observaciones

1. La capacidad de carga del suelo es de 40 t/m^2 y el esfuerzo máximo en la bóveda es mucho mayor ($75,50 \text{ t/m}^2$), por lo que se mejorará el desplante.
2. El peso volumétrico considerado para el terraplén fue de $1,8 \text{ t/m}^3$.
3. El concreto será $f'c = 200 \text{ Kg / cm}^2$.
4. El acero de refuerzo será $f_y = 4 200 \text{ Kg/cm}^2$.
5. El concreto en la plantilla de desplante será $f'c = 100 \text{ Kg / cm}^2$ y su espesor será de 10 cm.
6. Para la colocación del terraplén, se realizará el criterio de la "trinchera imperfecta" para garantizar el arqueado del suelo.

D.3.2. Ejemplo diseño estructural de bóvedas de concreto ciclópeo y mampostería.

Uso de las tablas

Ejemplo 1.

Proyectar una bóveda de concreto ciclópeo para los siguientes:

Datos.

A_h = Área hidráulica necesaria = 5,00 m².

$2r$ = Luz de la obra = 2,00 m ($R = 1,00$ m).

L = Altura comprendida entre el lecho superior del cimientó y la rasante = 9,30 m.

σ = Esfuerzo unitario permisible de compresión en el terreno = 2,00 kg/cm².

C.V. = Carga viva = H20-S16.

Solución.

1. $H = \frac{A_h - A_z}{2R} = \frac{5,00 - 0,96}{2 \times 1} = 2,00$ m

Donde.

$A_z = 0,96$ m².

2. C = Colchón sobre la clave suponiendo un valor de $e = 0,30$ m

$C = L - (H + R + e) = 9,30 - (2,00 + 1,00 + 0,30) = 6,00$ m.

3. $h_{c.v.}$ = carga viva de camión traducida a espesor de terraplén para $C = 6,00$ m

$H_{c.v.} = 0,08$ m.

Art. 3,3 especific. $H_{c.v.} = 0$ (rige).

$= C + h_{c.v.} = 6,00 + 0,00 = 6,00$ m.

4. Entrando a las tablas de bóvedas con los argumentos

$R = 1,00$ m $H = 2,00$ m y $d = 6,00$ m

Se obtiene las dimensiones de la obra, para un esfuerzo de $1,99 = 2,00$ kg/cm²; se verificará el valor de e , haciendo el ajuste necesario, si procede.

5. Resultados

$e = 30$ cm, $R_e = 1,81$ m, $A = 94$ cm, $F = 51$ cm.

$D = 272$ cm, $B_i = 122$, $V_i = 45$ cm, $V_d = 18$ cm.

$B_T = 185$ cm, $P_z = 50$ cm, $\sigma = 1,99$ kg/cm².

$V = 7,35$ m³/m.

TABLA 40.- Para dimensionar bóvedas de concreto, ciclópeo y mampostería

d	e	Re	A	F	E	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	Bi	P'z	Pz	F	Volumen	X	Bn	F ₁	F ₂	Volumen
R = 50																					
H = 100																					
200	25	105	49	31	45	12	16	147	75	25	30	130	50	0	0.59	3.151	15	90	0.60	1.50	5.676
300	25	104	50	31	44	13	17	145	75	25	20	120	50	0	0.87	3.048	15	90	0.70	1.80	2.673
400	25	103	51	30	44	14	17	144	75	25	20	120	50	0	1.14	3.038	15	90	0.80	2.16	2.663
500	25	102	52	30	43	14	18	143	75	25	15	115	50	0	1.38	3.001	15	90	0.90	2.45	2.676
600	25	100	52	29	43	15	18	142	75	25	15	115	50	0	1.60	2.992	15	90	1.02	2.76	2.667
700	25	99	53	29	42	16	19	140	75	25	15	115	50	0	1.80	2.991	15	90	1.20	3.00	2.666
800	25	98	55	28	42	17	19	139	75	25	15	115	50	0	1.97	2.981	15	90	1.40	3.27	2.656
R = 50																					
H = 150																					
200	25	105	49	31	60	12	16	197	90	0	50	140	50	20	0.62	4.171	15	105	0.00	2.20	3.646
300	25	104	50	31	59	13	17	195	90	0	50	140	50	25	0.85	4.196	15	105	0.00	2.65	3.646
400	25	103	51	30	59	14	17	194	90	0	40	130	50	20	1.07	4.039	15	105	0.00	3.10	3.634
500	25	102	52	30	58	14	18	193	90	0	35	125	50	20	1.28	3.996	15	105	0.00	3.52	3.651
600	25	100	53	29	58	15	18	192	90	0	35	125	50	20	1.48	3.985	15	105	0.00	4.00	3.640
700	25	99	54	29	57	16	19	190	90	0	35	125	50	25	1.67	4.003	15	105	0.00	4.38	3.641
800	25	98	55	28	57	17	19	189	90	0	30	120	50	20	1.84	3.915	15	105	0.00	4.90	3.630
R = 75																					
H = 100																					
200	25	128	66	39	55	18	23	159	85	50	15	150	50	0	0.82	3.829	17	102	1.00	1.55	3.264
300	25	127	67	39	54	19	24	157	85	50	10	145	50	0	1.07	3.774	17	102	1.20	1.74	3.259
400	25	126	68	38	54	20	24	156	85	50	10	145	50	0	1.33	3.762	17	102	1.50	1.93	3.247
500	25	125	69	38	53	21	25	154	85	50	10	145	50	0	1.58	3.758	17	102	1.90	2.00	3.243
600	25	124	70	37	53	22	25	153	85	50	10	145	50	0	1.83	3.746	17	102	1.96	2.22	3.231
700	25	123	71	37	52	23	26	151	85	50	5	140	50	0	2.09	3.693	17	102	2.60	2.05	3.228
800	25	122	72	36	52	24	26	150	85	50	5	135	50	0	2.35	3.632	17	102	3.04	2.22	3.217

TABLA 41.- Para dimensionar bóvedas de concreto, ciclópeo y mampostería

d	e	Re	A	F	28E	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	Bt	P'z	Pz	F	Volumen	X	Bn	F ₁	F ₂	Volumen	
R = 75																						
H = 150																						
200	25	128	66	39	70	18	23	209	100	5	25	130	50	0	0,86	4,517						
300	25	127	67	39	69	19	24	207	100	20	20	140	50	0	1,13	4,615						
400	25	126	68	38	69	20	24	206	120	30	20	150	50	0	1,37	4,701	17	117	1,58	2,70	4,286	4,286
500	25	125	69	38	68	21	25	204	100	35	20	155	50	0	1,61	4,749	17	117	1,25	2,85	4,284	4,284
600	25	124	70	37	68	22	25	203	100	40	15	155	50	0	1,82	4,736	17	117	1,28	3,06	4,271	4,271
700	25	123	71	37	67	23	26	201	100	40	15	155	50	0	2,02	4,735	17	117	1,60	3,10	4,270	4,270
800	25	122	72	36	67	24		200	100	40	15	155	50	0	2,21	4,722	17	117	1,97	3,33	4,257	4,257
R = 75																						
H = 200																						
200	25	128	66	39	85	18	23	259	115	0	75	190	50	65	0,42	6,643						
300	25	127	67	39	84	19	24	257	115	0	60	175	50	50	0,83	6,305						
400	25	126	68	38	84	20	24	256	115	0	45	160	50	35	1,20	5,997	16	131	0,65	3,50	5,470	5,470
500	25	125	69	38	83	21	25	254	115	0	35	150	50	25	1,52	5,828	16	131	0,60	3,70	5,470	5,470
600	25	124	70	37	83	22	25	253	115	0	30	145	50	20	1,78	5,735	16	131	0,58	3,90	5,455	5,455
700	25	123	71	37	82	23	26	251	115	0	30	145	50	20	2,01	5,736	16	131	0,70	4,15	5,456	5,456
800	25	122	72	36	82	24	26	250	115	0	25	140	50	15	2,21	5,650	16	131	0,89	4,44	5,442	5,442
R = 100																						
H = 100																						
200	30	194	88	55	52	21	28	181	95	50	20	165	50	0	0,97	5,026	14	109	1,40	1,60	4,396	4,396
300	30	194	89	54	52	22	28	180	95	50	15	160	50	0	1,24	4,958	14	109	1,70	1,68	4,378	4,378
400	30	189	91	53	51	23	29	178	95	50	10	155	50	0	1,52	4,911	14	109	2,20	1,70	4,381	4,381
500	30	184	93	52	50	25	30	175	95	50	5	155	60	0	1,82	5,201	17	112	2,60	1,70	4,583	4,583
600	30	181	94	51	50	26	31	173	95	50	0	150	70	0	2,13	5,417	20	115	3,05	1,70	4,787	4,787
700	30	179	95	50	50	27	31	172	95	50	0	155	80	0	2,40	5,782	23	118	3,50	1,50	5,006	5,006
800	30	177	97	50	48	28	33	168	95	50	0	165	85	0	2,60	6,099	24	119	4,04	1,60	5,113	5,113

300	30	213	104	76	82	27	TABLA	428	data	dimensões	na	45	has	30	con	45	co	50	pe	65	ma	10	153	1,13	2,35	8,271
600	30	106	106	75	81	26	47	282	182	137	45	18	200	55	H = 0,50	1,41	9,074	16	153	1,56	1,94	1,90	2,54	8,245		
500	30	207	109	74	79	31	48	100,78	137	137	45	18	200	55	H = 0,50	1,94	8,850	16	153	1,94	1,90	2,54	8,245			
600	30	184	108	55	65	31	28	274	189	137	27	25	160	60	0	2,08	5,368	18	122	2,08	2,38	2,60	8,549			
700	30	184	108	54	68	32	29	274	189	137	27	25	160	60	0	2,30	5,367	18	122	2,30	2,38	2,60	8,549			
800	30	189	115	53	64	33	29	278	189	137	27	25	165	60	0	1,54	6,003	14	122	1,54	1,58	2,72	8,555			
500	30	184	93	52	63	25	30	225	108	108	45	12	165	55	H = 2,50	1,80	6,148	15	123	1,80	2,00	2,25	5,604			
600	30	181	94	51	63	26	31	223	108	108	52	10	170	60	0	2,06	6,348	17	125	2,06	2,45	2,28	5,706			
700	30	179	95	50	63	27	31	222	108	108	55	7	170	65	0	2,36	6,501	18	126	2,36	2,90	2,22	5,812			
800	30	177	97	50	61	29	33	218	108	108	57	5	170	65	0	2,56	6,497	18	126	2,56	3,39	2,30	5,808			
500	30	207	109	74	92	31	46	328	150	150	20	35	205	65	H = 2,00	1,92	10,787									
600	30	194	88	55	79	21	28	281	122	122	0	33	155	50	0	1,18	7,098	14	136	1,18	0,10	2,04	6,805			
700	30	194	89	54	79	22	28	280	122	122	0	33	155	50	0	2,21	10,964									
800	30	189	91	53	79	23	30	324	150	150	20	28	160	50	0	1,96	7,168	14	136	1,96	0,55	2,70	6,784			
500	30	184	93	52	63	25	30	275	122	122	35	23	180	50	0	2,49	11,028									
600	30	181	94	51	63	26	31	273	122	122	45	18	185	50	0	1,56	7,202	14	136	1,56	0,95	2,75	6,792			
700	30	179	95	50	63	27	31	272	122	122	48	15	185	50	0	2,76	10,932									
800	30	177	97	50	61	29	33	268	122	122	45	13	180	50	0	1,77	7,283	14	136	1,77	1,40	2,90	6,773			
200	30	194	88	55	92	21	282	331	135	135	0	55	190	50	50	1,03	8,945									
300	30	194	89	54	92	22	29	330	135	135	0	50	185	50	40	1,30	8,798									
400	30	189	91	53	91	23	30	328	135	135	0	40	175	50	30	1,56	8,628									
500	30	184	93	52	90	254	31	325	135	135	0	35	170	50	35	1,83	8,563									
600	30	181	94	51	90	26	31	323	135	135	0	30	165	50	25	2,10	8,435									
700	30	179	95	50	90	27	31	322	135	135	0	20	155	50	50	2,35	8,210									
800	30	177	97	50	88	29	33	318	135	135	0	20	155	50	15	2,63	8,276									

H = 250

R = 100

TABLA 43.- Para dimensionar bóvedas de concreto, ciclópeo y mampostería

d	e	Re	A	F	E	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	Bt	P'z	Pz	F	Volumen		F ₁	F ₂	Volumen	
																X	Bn				
H = 300																					
R = 125																					
200	30	215	101	77	112	25	41	389	165	0	70	235	756	60	1,28	13,614					
300	30	213	104	76	110	27	43	385	165	0	65	230	75	55	1,46	13,482					
600	30	210	106	75	109	29	44	382	165	0	60	225	75	50	1,66	13,323					
500	30	207	109	74	107	31	46	378	165	0	50	215	75	40	1,90	13,084					
600	30	204	111	74	105	33	48	374	165	0	40	205	75	30	2,19	12,855					
700	30	204	113	71	106	34	47	374	165	0	35	200	75	15	2,48	12,676					
800	30	205	115	69	106	35	47	373	165	0	25	190	75	0	2,76	12,461					
H = 200																					
R = 150																					
200	30	235	120	97	81	33	58	289	148	92	55	295	60	35	1,16	11,504	17	165	1,55	1,90	9,650
300	30	233	121	96	81	34	58	288	148	80	37	265	60	15	1,46	10,983	17	165	1,70	2,00	9,625
600	30	232	123	94	81	35	59	286	148	65	22	235	60	0	1,76	10,538	17	165	2,00	2,15	9,596
500	30	228	126	92	80	38	61	281	148	50	12	210	60	0	2,11	10,166	17	165	2,40	2,27	9,524
600	32	231	130	88	80	40	60	282	148	62	10	220	80	0	2,44	11,259	23	171	2,90	2,37	1,291
700	33	240	134	83	81	41	56	286	148	70	7	225	95	0	2,74	12,107	27	175	3,45	2,44	1,900
800	38	259	141	73	84	42	47	299	148	72	0	220	95	0	2,99	9,340	27	175	4,06	2,46	8,2288
H = 250																					
R = 150																					
200	30	235	12	97	96	33	58	339	163	47	76	285	65	60	1,10	13,510	18	181	0,50	2,45	11,591
300	30	233	121	96	96	34	58	338	163	37	50	250	65	30	1,48	12,729	18	181	0,85	3,00	11,565
600	30	232	123	94	96	35	59	336	163	32	30	225	65	15	1,83	12,267	19	182	1,35	3,12	11,539
500	30	228	126	92	95	38	61	331	163	25	22	210	65	0	2,15	11,952	19	182	1,80	3,15	11,465
600	32	231	130	88	95	40	60	332	163	55	20	238	80	0	2,42	13,125	23	136	2,33	3,15	12,109
700	33	240	134	83	96	41	56	336	163	67	20	250	85	0	2,67	13,661	24	187	2,82	3,16	12,386
800	38	259	141	73	99	42	47	349	163	70	12	215	85	0	2,89	13,908	24	187	3,33	3,18	12,183

TABLA 45.- Para dimensionar bóvedas de concreto, ciclópeo y mampostería

d	e	Re	A	F	E	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	Bt	P'z	Pz	F	Volumen	X	Bn	F _i	F ₂	Volumen
H = 300																					
R = 150																					
200	30	234	120	97	110	33	58	389	177	0	93	270	75	90	1,04	15,937	21	198	-00,50	4,00	13,863
300	30	233	121	96	110	34	58	388	177	0	63	240	75	55	1,49	14,969	21	198	0,00	4,00	13,835
600	30	232	123	94	110	35	59	386	177	0	43	220	75	30	1,90	14,416	21	198	0,70	4,10	13,800
500	30	228	126	92	109	38	61	381	177	0	33	210	75	10	2,19	14,094	21	198	1,20	4,00	13,723
600	32	231	130	88	109	40	60	382	177	48	30	255	75	0	2,40	14,832	21	198	1,75	3,80	13,820
700	33	240	134	83	110	41	56	386	177	68	30	275	75	10	2,59	15,256	21	198	2,20	3,80	13,913
800	38	259	141	73	113	42	47	399	177	73	25	275	75	0	2,78	15,562	21	198	2,60	3,90	14,249
H = 350																					
R = 150																					
200	30	235	120	97	125	33	58	439	192	0	108	300	90	110	1,20	19,517					
300	30	233	121	96	125	34	528	438	192	0	88	280	90	95	1,52	18,775					
600	30	232	123	94	125	35	59	436	192	0	73	265	90	75	1,82	18,179					
500	30	228	126	92	124	38	61	431	192	0	63	255	90	55	2,08	17,719					
600	32	231	130	88	124	40	60	432	192	25	53	270	90	45	2,33	17,979					
700	33	240	134	83	125	41	56	436	192	33	50	275	90	40	2,54	18,125					
800	38	259	141	73	128	42	47	449	192	35	48	275	90	40	2,75	18,457					
H = 200																					
R = 175																					
200	30	259	136	115	84	39	71	295	160	90	50	300	65	30	1,24	12,923	19	179	1,28	2,15	11,077
300	30	257	138	113	894	40	72	293	160	80	35	275	70	0	1,56	12,692	20	180	1,65	2,28	11,222
600	30	255	140	112	83	42	74	289	160	72	23	255	75	0	1,88	12,609	22	182	2,10	2,40	11,349
500	30	253	143	111	81	44	76	285	160	70	15	245	80	0	2,21	12,702	23	183	2,60	2,50	11,526
600	35	267	150	102	83	46	69	295	160	80	10	250	100	0	2,54	14,139	28	188	3,15	2,60	12,619
700	40	284	157	91	87	47	60	308	160	88	7	255	115	0	2,85	15,354	31	192	3,65	2,65	13,537
800	45	298	164	81	90	45	53	318	160	90	7	257	125	0	3,13	16,041	35	195	4,22	2,65	14,229

TABLA 46.- Para dimensionar bóvedas de concreto, ciclópeo y mampostería

d	e	Re	A	F	E	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	Bt	P'z	Pz	F	Volumen	X	Bn	F ₁	F ₂	Volumen
R = 175																					
H = 250																					
200	30	259	136	115	99	39	71	345	175	45	60	280	75	35	1,33	14,981	22	197	0,59	3,00	13,361
300	30	257	138	113	99	40	72	343	175	40	45	260	80	15	1,64	14,764	23	198	1,03	3,10	13,520
600	30	255	140	112	98	42	74	339	175	57	33	265	85	10	1,94	15,000 16	25	200	1,55	3,15	13,665
500	30	253	143	111	96	44	7+6	335	175	55	25	255	85	0	2,22	14,814	25	200	2,07	3,15	13,667
600	35	267	150	102	98	46	69	345	175	75	20	270	95	0	2,52	15,91	27	202	2,65	3,15	14,423
700	40	284	157	91	102	47	60	358	175	80	15	270	105	0	2,81	16,861	30	205	3,18	3,10	15,181
800	45	298	164	81	105	49	53	368	175	80	10	265	110	0	3,08	17,323	31	206	3,75	3,08	15,684
R = 175																					
H = 300																					
200	30	259	136	115	112	39	71	395	188	0	72	260	90	45	1,42	17,343	26	214	-0,10	3,85	15,957
300	30	257	138	113	112	40	72	393	188	0	57	245	90	30	1,71	16,883	26	214	0,40	3,90	15,920
400	30	255	140	112	111	42	74	389	188	040	42	270	90	15	1,99	17,166 29 6	29	214	1,00	3,90	15,861
500	30	253	143	111	109	44	76	385	188	47	35	270	90	0	2,23	17,110	26	214	1,55	3,82	15,868
600	35	267	150	102	111	46	69	395	188	72	30	290	90	0	2,49	17,835	26	214	2,15	3,70	16,233
700	40	284	157	91	115	47	60	408	188	77	25	290	90	0	2,76	18,182	26	214	2,70	3,55	16,580
800	45	298	164	81	118	49	53	418	188	75	17	280	90	0	3,02	18,302	26	214	3,28	3,55	16,880
R = 175																					
H = 350																					
200	30	259	136	115	127	39	71	445	203	0	102	305	95	85	1,38	20,989					
300	30	257	138	113	127	40	72	443	203	0	82	285	95	80	1,79	20,358					
400	30	255	140	112	126	42	74	439	203	022	65	290	95	55	1,98	20,094					
500	30	253	143	111	124	44	76	435	203	25	57	285	95	40	2,23	19,880					
600	35	267	150	102	126	46	69	445	203	35	52	290	110	25	2,48	21,117					
700	40	284	157	91	130	47	60	458	203	40	42	285	110	20	2,74	21,308					
800	45	298	164	81	133	49	53	468	203	47	50	290	110	20	2,97	21,500					

TABLA 47.- Para dimensionar bóvedas de concreto, ciclópeo y mampostería

d	e	Re	A	F	E	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	B _t	P'z	Pz	F	Volumen	X	Bn	F ₁	F ₂	Volumen
R = 200																					
H = 200																					
200	30	279	152	135	86	45	88	297	173	87	45	305	65	20	1,31	14,098	19	192	1,00	2,35	12,415
300	30	280	155	132	86	47	88	295	173	85	32	290	75	0	1,66	14,347	22	1954	1,58	2,55	12,757
400	31	281	158	129	86	49	88	294	173	82	25	280	85	0	2,00	14,777	25	198	2,20	2,70	13,170
500	32	282	162	127	84	51	89	292	173	87	15	275	100	0	2,30	15,613	29	202	2,80	2,75	13,170
600	40	300	172	115	86	54	80	306	173	97	10	280	115	0	2,63	17,199	200	205	3,35	2,78	15,106
700	45	318	179	102	92	55	69	321	173	102	5	280	135	0	2,95	18,681	300	212	3,83	2,84	16,319
800	52	337	188	88	97	57	59	336	173	112	0	285	150	0	3,26	20,151	400	216	4,38	2,80	17,436
R = 200																					
H = 250																					
200	30	279	152	135	101	45	88	347	188	47	45	280	85	10	1,55	16,668	600	213	0,65	3,07	15,272
300	30	280	155	132	101	47	88	346	188	42	40	270	90	0	1,80	16,674	700	214	1,19	3,12	15,432
400	31	281	158	129	101	49	88	344	188	77	35	300	95	0	2,04	17,533	800	216	1,76	3,20	15,671
500	32	282	162	127	99	51	89	342	188	90	27	305	100	0	2,29	18,036	29	217	2,35	3,20	15,986
600	40	300	172	115	101	54	80	356	188	95	22	305	110	0	2,60	19,303	31	219	2,94	3,17	17,070
700	45	318	179	102	107	55	69	371	188	95	12	295	115	0	2,94	19,733	33	221	3,51	3,14	17,651
800	52	337	188	88	112	57	59	386	188	97	5	290	125	0	3,26	20,675	36	224	4,17	3,00	18,575
R = 200																					
H = 300																					
200	30	279	152	135	1123	45	88	397	200	0	45	245	100	0	1,80	18,614	29	229	0,30	3,70	18,004
300	30	280	155	132	113	47	88	395	200	0	45	245	100	0	1,92	18,563	29	229	0,80	3,70	17,953
400	31	281	158	129	113	49	88	394	200	075	45	320	100	10	2,08	20,125	29	229	1,32	3,68	17,970
500	32	282	162	127	111	51	89	392	200	95	40	335	100	0	2,27	20,492	29	229	1,90	3,65	18,082
600	40	300	172	115	113	54	80	406	200	98	32	330	100	0	2,57	21,055	29	229	2,54	3,55	18,745
700	42	318	179	102	119	55	69	421	200	92	18	310	100	0	2,93	20,998	29	229	3,20	3,42	19,088
800	52	337	188	88	124	57	59	436	200	80	10	290	100	0	3,25	21,068	29	229	3,96	3,18	19,558

TABLA 48.- Para dimensionar bóvedas de concreto, ciclópeo y mampostería

d	e	Re	A	F	E	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	Bt	P'z	Pz	F	Volumen	X	Bn	F1	F2	Volumen
R = 200																					
H = 350																					
200	30	279	152	135	128	45	88	447	215	0	95	310	100	90	1,56	22,875	29	244	0,30	4,30	20,410
300	30	280	155	132	128	47	88	445	215	0	70	285	100	55	1,85	21,851	29	244	0,40	4,30	20,356
400	31	281	158	129	128	49	88	444	215	40	55	310	100	30	2,13	22,146	29	244	0,90	4,44	20,371
500	32	282	162	127	126	51	89	442	215	47	48	310	100	25	2,37	22,220	29	244	1,45	4,46	20,490
600	40	300	172	115	128	54	80	456	215	48	42	305	125	0	2,64	24,199	35	250	1,97	4,47	22,386
700	45	318	179	102	134	55	69	471	215	50	35	300	125	0	2,92	24,409	36	251	2,35	4,50	22,734
800	52	337	188	88	139	57	59	486	215	65	30	310	125	0	3,18	25,127	36	251	2,83	4,50	23,202
R = 400																					
H = 400																					
200	30	279	152	135	143	45	88	497	230	0	140	370	100	140	1,32	27,435	29	259	0,90	4,90	22,965
300	30	280	155	132	143	47	88	495	230	0	95	325	100	95	1,80	25,421	29	259	0,60	4,90	22,908
400	31	281	158	129	143	49	88	494	230	0	65	295	100	75	2,17	24,420	29	259	0,60	5,00	22,922
500	32	282	162	127	141	51	89	492	230	0	55	285	100	55	2,47	24,160	29	259	1,00	5,20	23,048
600	40	300	172	115	143	54	80	506	230	0	50	280	150	0	2,71	27,243	42	272	1,30	5,40	26,373
700	45	318	179	102	149	55	69	521	230	5	50	285	150	0	2,92	27,721	43	273	1,50	5,60	26,716
800	52	337	188	88	154	57	59	536	230	52	53	335	150	0	3,12	29,686	43	273	1,70	5,85	27,181

TABLA 49.- Para dimensionar bóvedas de concreto, ciclópeo y mampostería

d	e	Re	A	F	E	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	Bt	P'z	Pz	F	Volumen	X	Bn	Fi	F ₂	1015
R = 50																					
H = 100																					
200	25	105	49	31	45	12	16	147	75	25	30	1300	50	0	0,59	3,151	15	90	0,60	1,50	2,676
300	25	104	50	31	44	13	17	145	75	25	20	120	50	0	0,87	3,048	15	90	0,70	1,80	2,673
400	25	103	51	30	44	14	17	144	75	25	20	120	50	0	1,14	1,038	15	90	0,80	2,16	2,663
500	25	102	52	30	43	14	18	143	75	25	15	115	50	0	1,38	3,001	155	90	0,90	2,45	2,676
600	25	100	53	29	43	15	18	142	75	25	15	115	50	0	1,60	2,992	15	90	1,02	2,76	2,667
700	25	99	54	29	42	16	19	140	75	25	15	115	50	0	1,80	2,991	15	90	1,20	3,00	2,666
800	25	98	55	28	42	17	19	139 3939	75	25	15	115	50	0	1,97	2,981	15	90	1,40	3,27	2,656
R = 50																					
H = 150																					
200	25	105	49	31	60	12	16	197	90	0	50	140	50	20	0,62	4,171	15	105	0,00	2,20	3,646
300	25	104	50	31	59	13	17	195	90	0	50	140	50	25	0,85	4,196	15	105	0,00	2,65	3,646
400	25	103	51	30	59	14	17	194	90	0	40	130	50	20	1,07	4,039	15	105	0,00	3,10	3,634
500	25	102	52	30	58	14	18	193	90	0	35	125	50	20	1,28	3,996	15	105	0,00	3,52	3,651
600	25	100	53	29	58	15	18	192	90	0	35	125	50	20	1,48	3,985	15	105	0,00	4,00	3,640
700	25	99	54	29	57	16	19	190	90	0	35	125	50	25	1,67	4,003	15	105	0,00	4,38	3,641
800	25	98	55	28	57	17	19	189	90	0	30	120	50	20	1,84	3,915	15	105	0,00	4,90	3,630
R = 75																					
H = 100																					
200	25	128	66	39	55	18	23	159	85	50	15	150	50	0	0,82	3,829	17	102	1,00	1,55	3,264
300	25	127	67	39	54	19	24	157	85	50	10	145	50	0	1,07	3,774	171	102	1,20	1,74	3,259
400	25	126	68	38	54	20	24	156	85	50	10	145	50	0	1,33	3,762	17	102	1,50	1,93	3,247
500	25	125	69	38	53	21	25	154	85	50	10	145	50	0	1,58	3,758	17	102	1,90	2,00	3,243
600	25	124	70	37	53	22	25	153	85	50	10	145	50	0	1,83	3,746	17	102	1,96	2,22	3,231
700	25	123	71	37	52	23	26	151	85	50	5	140	50	0	2,09	3,693	17	102	2,60	2,05	3,228
800	25	123	72	36	52	24	26	150	85	45	5	135	50	0	2,35	3,632	17	102	3,04	2,22	3,217

D.3.3. Proyectos tipo

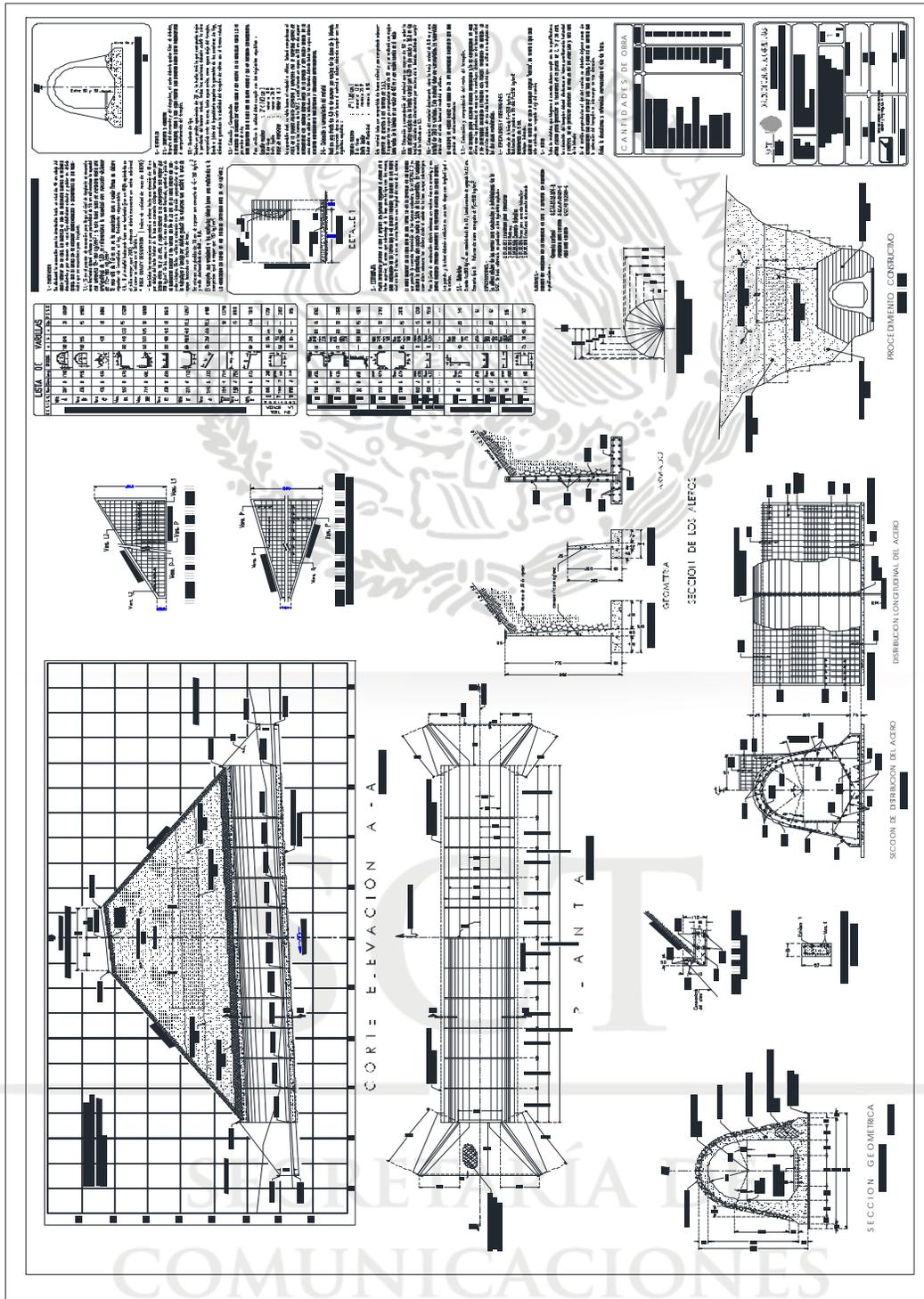


FIGURA 24.- Plano tipo de alcantarilla de bóveda de concreto armado

D.4. CAJONES

D.4.1. Ejemplo diseño Estructural de alcantarilla de cajón

Análisis y Diseño.

Para el análisis y diseño de la estructura se consideraron las especificaciones de los siguientes manuales y reglamentos.

Normas de diseño: AASHTO 2002.

Normas para puentes de la Secretaría.

Términos de Referencia para proyectos de puentes SCT, DGC.

Hipótesis de Calculo.

Factor de importancia: 1,5

Suelo: tipo II (terreno compresible)

Factor de comportamiento sísmico de acuerdo a los Términos de Referencia de la SCT Secretaría.

Factor de impacto de acuerdo a especificaciones de AASHTO.

El análisis se efectuó considerando al cajón como una estructura cerrada con las acciones de empuje de tierras más la sobrecarga viva (si aplica).

CM + CV + ET

CM + ET + S

Materiales:

- Concreto en losas, muros y aleros. $f' c = 250 \text{ kg/cm}^2$
- Dentellón $f' c = 150 \text{ kg/cm}^2$
- Plantilla $f' c = 100 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo: $f y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

Cargas Muertas:

- Concreto Armado 2,40 ton/m³
- Concreto simple 2,20 ton/m³
- Carpeta asfáltica 2,20 ton/m³
- Acero estructural 7,85 ton/m³
- Terraplén 1,80 ton/m³

Cargas Vivas:

Las reglamentadas por la SCT para el análisis y diseño de esta estructura es el que rija de las siguientes, cargada en todos sus carriles de tránsito:

- HS-20
- T3-S3
- T3-S2-R4

Acciones Accidentales

Sismo:

Factores de ductilidad de Acuerdo a los Términos de Referencia de la SCT.

Para el análisis sísmico se observarán los siguientes criterios:

Se aplica una fuerza estática horizontal equivalente S , actuante en el centro de gravedad de la estructura.

La distribución de esta fuerza se considerará tomando en cuenta el área tributaria de cada elemento estructural.

El valor de S se obtendrá mediante:

$$S = a_0 W$$

Donde:

S = Fuerza estática horizontal equivalente, aplicada en el centro de gravedad de la estructura

W = Peso total tributario de la estructura

a_0 = Aceleración del terreno correspondiente al tipo de suelo en el sitio de ubicación de la estructura

Combinación de Cargas:

Los elementos estructurales se diseñaron para resistir en condiciones de seguridad todos los grupos de carga que sean aplicables al tipo de estructura y condiciones particulares del sitio

$$U = 1,3 (CM + \beta ET + 1.67((CV+I))$$

$$U = 1.3 (CM + \beta ET \pm S)$$

Cada grupo de carga se integra por la combinación de cargas permanentes, variables y eventuales.

CM = Efectos de la carga muerta

CV = Efectos de la carga viva

ET = Efectos del empuje de tierras

S = Efectos del sismo

U = Efectos últimos de diseño

β = 1.0

Para elementos sujetos a flexo-compresión se verificará la mínima fuerza axial y máximo momento mediante:

$$U = 1,3 (CM + \beta ET \pm S)$$

Diseño de Elementos Estructurales:

Se realizó un modelo en el programa SAP-2000, analizando un metro de ancho en sus condiciones de carga y en las combinaciones correspondientes.

- Losas. De acuerdo con las especificaciones del AASHTO para momento positivo y negativo.
- Losa y muros. Con los elementos mecánicos obtenidos del análisis se diseñan para cortante y flexión; se diseñaron de acuerdo a lo especificado por el AASHTO.
- Aleros. Se analiza considerando un muro en voladizo con las acciones de empuje de tierras y sobrecarga viva (si aplica; las zapatas igualmente se diseñan con la sección crítica de las combinaciones.)

Estudios Geotécnicos:

Se consideraron los datos recomendados por el estudio de Mecánica de Suelos

D.4.2. Tablas y Proyectos Tipo

TABLA DE DIMENSIONES Y VARILLAS PARA CAJONES DE CONCRETO ARMADO

LUZ	ALTIMA	COLCHON	ESP.	CHAFLAN		ACERO	CONC.	VARILLAS A		VARILLAS B		VARILLAS C		VARILLAS D		VARILLAS E		VARILLAS F		VARILLAS G		VARILLAS H		VARILLAS I		ACERO	REC.		
				cm	kg/cm ²			Diám.	Núm.	Diám.	Núm.	Diám.	Núm.	Diám.	Núm.	Diám.	Núm.	Diám.	Núm.	Diám.	Núm.	Diám.	Núm.	Diám.	Núm.			Diám.	Núm.
1,00	1,00	0,30	16	10	0,61	0,76	1,59	17,0	12,0	0,95	28,5	18,1	0,95	85,5	110	0,95	22,0	6	0,95	36,5	16	0,95	36,5	8	0,95	38,0	4	73,4	5
1,50	1,00	0,30	18	10	0,66	1,05	1,27	15,5	17,0	0,95	15,5	21,0	0,95	46,5	139	0,95	20,0	9	0,95	36,5	16	0,95	40,0	10	0,95	41,5	5	70,4	5
1,50	1,50	0,30	18	10	0,72	1,23	1,59	19,5	17,0	0,95	19,0	26,0	0,95	57,0	139	0,95	20,0	9	0,95	40,0	20	0,95	40,0	10	0,95	41,5	5	67,7	5
2,00	1,00	0,30	19	10	0,58	1,30	1,27	10,5	22,0	0,95	10,0	12,0	0,95	30,0	166	0,95	23,0	10	0,95	36,5	16	0,95	42,0	12	0,95	44,0	6	88,6	5
2,00	1,50	0,30	19	10	0,64	1,49	1,27	10,5	22,0	0,95	9,5	22,0	0,95	11,5	237	0,95	34,5	11	0,95	40,0	20	0,95	42,0	12	0,95	44,0	6	82,6	5
2,50	1,00	0,30	20	10	0,58	1,58	1,27	11,0	27,0	1,27	10,5	27,0	1,27	12,0	267	1,27	36,0	20,0	0,95	42,0	20	0,95	42,0	12	0,95	44,0	6	72,9	5
2,50	1,50	0,30	21	10	0,65	1,88	1,59	14,5	27,0	1,27	13,5	27,0	1,27	14,0	319	1,27	42,0	20,0	0,95	40,0	20	0,95	37,0	16	0,95	45,0	7	93,0	5
2,50	2,00	0,30	22	10	0,70	2,19	1,59	15,5	27,0	1,27	14,0	27,0	1,27	16,0	371	1,27	48,0	21,0	0,95	35,0	28	0,95	32,5	18	0,95	54,0	6	81,9	5
2,50	2,50	0,30	23	10	0,76	2,53	1,59	16,5	27,0	1,27	14,0	27,0	1,27	16,0	423	1,27	48,0	21,0	0,95	32,5	36	0,95	32,5	18	0,95	54,0	6	76,8	5
3,00	1,00	0,30	22	10	0,54	1,97	1,59	15,5	32,0	1,59	13,0	29,8	1,59	13,0	298	1,59	39,0	24,0	0,95	36,5	16	0,95	34,0	20	0,95	53,5	7	113,2	5
3,00	1,50	0,30	23	10	0,61	2,30	1,59	16,0	32,0	1,59	14,5	32,0	1,59	15,0	450	1,59	45,0	24,0	0,95	32,0	24	0,95	31,0	22	0,95	54,0	7	101,4	5
3,00	2,00	0,30	24	10	0,66	2,65	1,27	11,0	32,0	1,27	10,5	32,0	1,27	11,0	400	1,27	33,0	23,0	1,27	34,0	10	0,95	29,5	32	0,95	51,0	7	88,3	5
3,00	2,50	0,30	25	10	0,72	3,02	1,59	17,0	32,0	1,27	15,0	32,0	1,27	11,5	452	1,27	34,5	24,0	1,27	34,0	10	0,95	28,5	40	0,95	54,0	7	84,6	5
3,00	3,00	0,30	26	10	0,77	3,41	1,59	16,5	32,0	1,27	14,5	32,0	1,27	11,0	504	1,27	33,0	24,0	1,27	34,0	10	0,95	26,0	48	0,95	65,0	6	84,1	5
3,50	1,50	0,30	25	10	0,57	2,77	1,59	15,0	37,0	1,59	13,5	37,0	1,59	13,5	370	1,59	32,5	27,0	1,59	32,5	27,0	1,59	27,5	28	0,95	62,5	7	105,5	5
3,50	2,00	0,30	26	10	0,63	3,15	1,59	15,5	37,0	1,59	13,5	37,0	1,59	14,0	481	1,59	42,0	28,0	1,59	32,5	27,0	1,59	26,0	36	0,95	62,5	7	95,6	5
3,50	2,50	0,30	27	10	0,69	3,55	1,59	15,0	37,0	1,27	13,5	37,0	1,27	10,0	481	1,27	30,0	27,0	1,27	32,5	12	0,95	26,0	44	0,95	53,5	8	87,8	5
3,50	3,00	0,30	28	10	0,74	3,97	1,59	14,5	37,0	1,27	13,5	37,0	1,27	10,0	533	1,27	30,0	27,0	1,27	32,5	12	0,95	23,5	56	0,95	53,5	8	86,0	5
3,50	3,50	0,30	29	10	0,80	4,42	1,59	14,0	37,0	1,59	12,5	37,0	1,59	13,5	587	1,59	40,5	28,0	1,59	31,0	8	0,95	24,0	64	0,95	53,5	8	92,3	5
4,00	2,00	0,30	27	10	0,60	3,55	1,59	14,0	42,0	1,59	14,0	42,0	1,59	11,0	458	1,59	33,0	30,8	1,59	31,0	9	0,95	26,0	36	0,95	53,5	9	106,8	5
4,00	2,50	0,30	29	10	0,67	4,13	1,59	13,5	42,0	1,59	13,5	42,0	1,59	12,5	512	1,59	37,5	31,2	1,59	31,0	9	0,95	23,5	48	0,95	47,5	10	95,0	5
4,00	3,00	0,30	30	10	0,72	4,58	1,59	13,5	42,0	1,59	12,5	42,0	1,59	13,0	564	1,59	39,0	31,4	1,59	31,0	9	0,95	22,0	60	0,95	47,5	10	91,5	5
4,00	3,50	0,30	31	10	0,78	5,05	1,59	13,0	42,0	1,59	12,0	42,0	1,59	13,0	616	1,59	39,0	31,6	1,59	31,0	9	0,95	21,0	72	0,95	47,5	10	90,6	5
4,00	4,00	0,30	33	10	0,85	5,74	1,59	12,5	42,0	1,59	11,0	42,0	1,59	11,5	670	1,59	34,5	32,0	1,59	31,0	9	0,95	19,5	98	0,95	43,0	11	94,3	5
4,50	2,00	0,30	29	10	0,62	4,13	1,59	13,0	47,0	1,59	10,5	42,0	1,59	10,0	487	1,59	30,0	33,7	1,59	31,0	10	0,95	23,0	40	0,95	47,5	11	106,4	5
4,50	2,50	0,30	30	10	0,68	4,58	1,59	12,5	47,0	1,59	13,0	47,0	1,59	11,0	539	1,59	33,0	33,9	1,59	31,0	10	0,95	21,5	52	0,95	48,0	11	100,3	5
4,50	3,00	0,30	31	10	0,75	5,05	1,59	12,0	47,0	1,59	11,5	47,0	1,59	11,0	591	1,59	33,0	34,1	1,59	31,0	10	0,95	20,5	64	0,95	43,5	12	100,7	5
4,50	3,50	0,30	33	10	0,80	5,74	1,59	12,0	47,0	1,59	11,0	47,0	1,59	11,0	645	1,59	33,0	34,5	1,59	31,0	10	0,95	18,5	76	0,95	43,5	12	95,9	5
4,50	4,00	0,30	34	10	0,85	6,26	1,59	11,5	47,0	1,59	10,5	47,0	1,59	10,0	697	1,59	30,0	34,7	1,59	31,0	10	0,95	16,5	92	0,95	40,0	13	100,9	5
5,00	2,00	0,30	31	10	0,61	4,74	1,91	17,5	52,0	1,91	18,5	52,0	1,91	13,0	519	1,91	39,0	37,8	1,91	37,8	8	0,95	21,0	50	0,95	44,0	13	108,5	5
5,00	2,50	0,30	32	10	0,66	5,23	1,91	17,0	52,0	1,91	17,5	52,0	1,91	13,5	571	1,91	40,5	38,0	1,91	37,8	8	0,95	19,5	56	0,95	44,0	13	105,5	5
5,00	3,00	0,30	33	10	0,73	5,74	1,91	16,0	52,0	1,91	16,0	52,0	1,91	13,5	623	1,91	40,5	38,2	1,91	37,8	9	0,95	18,0	68	0,95	41,0	14	106,0	5
5,00	3,50	0,30	34	10	0,79	6,26	1,59	10,5	52,0	1,59	10,5	52,0	1,59	10,0	672	1,59	30,0	37,2	1,59	46,0	12	0,95	18,5	80	0,95	41,0	14	100,7	0
5,00	4,00	0,30	36	10	0,84	7,02	1,59	10,5	52,0	1,59	10,0	52,0	1,59	10,0	726	1,59	30,0	37,6	1,59	42,5	13	0,95	17,5	96	0,95	38,0	15	97,1	5
5,50	2,00	0,30	33	10	0,66	5,41	1,59	11,5	57,0	1,91	12,5	57,0	1,91	11,5	548	1,91	34,5	40,7	1,59	50,5	12	0,95	19,0	48	0,95	41,5	15	110,5	5
5,50	2,50	0,30	34	10	0,71	5,92	1,91	16,0	57,0	1,91	17,0	57,0	1,91	12,0	600	1,91	36,0	40,9	1,91	70,0	9	0,95	18,5	60	0,95	41,5	15	107,0	5
5,50	3,00	0,30	35	10	0,77	6,46	1,91	15,5	57,0	1,91	15,5	57,0	1,91	13,0	652	1,91	39,0	41,1	1,91	70,0	9	0,95	18,0	72	0,95	39,0	16	105,2	5
5,50	3,50	0,30	36	10	0,84	7,02	1,91	14,5	57,0	1,91	14,5	57,0	1,91	12,5	704	1,91	37,5	41,3	1,91	62,0	10	0,95	17,0	88	0,95	34,5	18	105,4	5
6,00	2,00	0,30	34	10	0,65	5,92	1,59	10,5	62,0	1,91	11,50	62,0	1,91	10,0	575	1,91	30,0	43,4	1,59	46,5	14	0,95	19,0	68	0,95	39,5	17	99,4	5
6,00	2,50	0,30	35	10	0,70	6,46	1,91	14,5	62,0	1,91	15,50	62,0	1,91	10,5	627	1,91	31,5	43,6	1,91	67,5	10	0,95	17,0	64	0,95	39,5	17	118,94	5
6,00	3,00	0,30	36	10	0,76	7,02	1,91	14,0	62,0	1,91	14,5	62,0	1,91	11,0	679	1,91	33,0	43,8	1,91	67,5	10	0,95	17,0	76	0,95	37,0	18	116,0	5
6,00	3,50	0,30	37	10	0,82	7,60	1,91	13,5	62,0	1,91	13,5	62,0	1,91	11,0	731	1,91	33,0	44,0	1,91	61,0	11	0,95	17,0	88	0,95	37,5	18	112,51	5
6,00	4,00	0,30	39	10	0,88	8,43	1,91	13,5	62,0	1,91	13,0	62,0	1,91	11,0	785	1,91	33,0	44,4	1,91	61,0	11	0,95	15,5	108	0,95	35,5	20	108,81	5

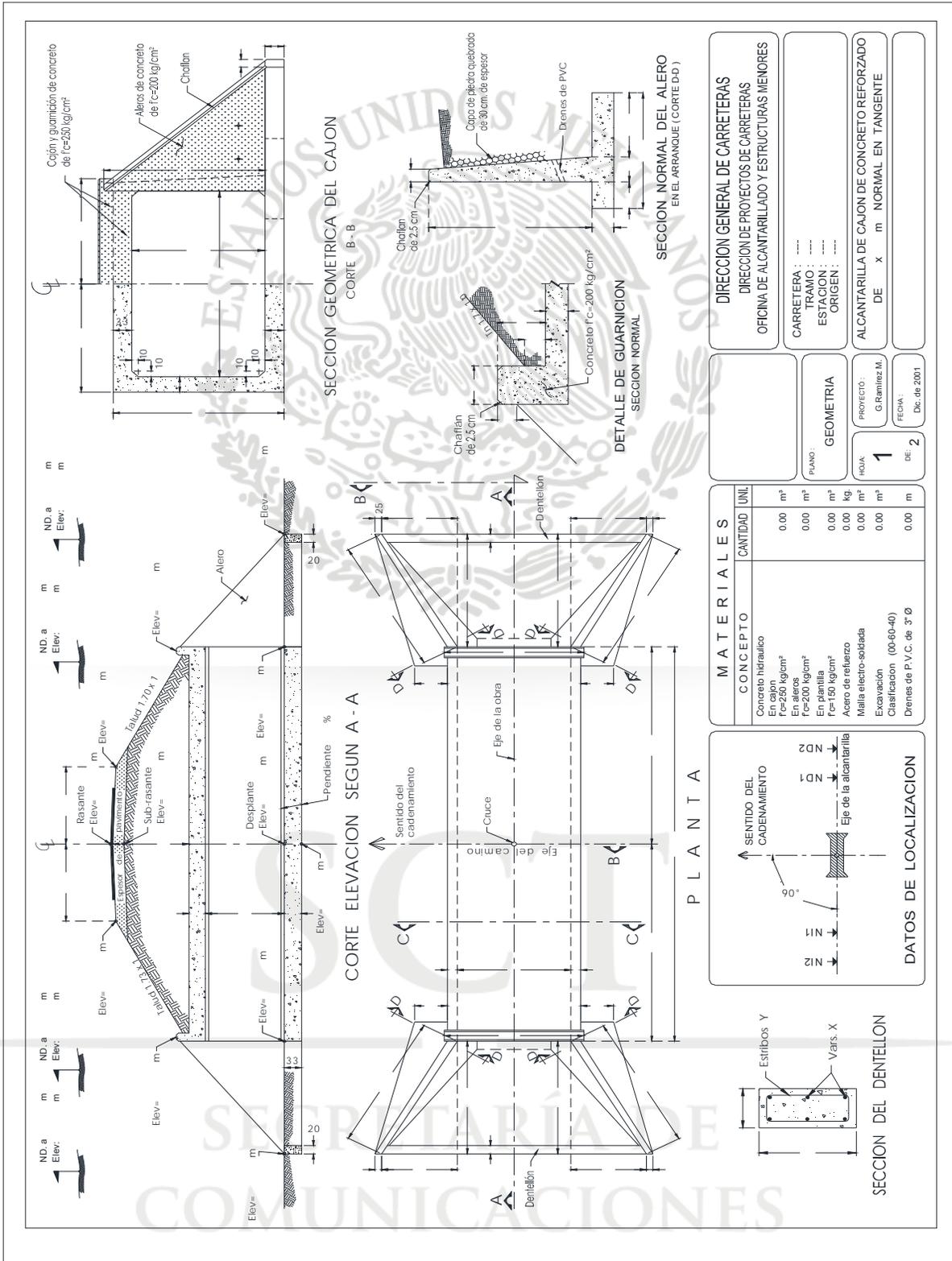


FIGURA 25.- Plano tipo de alcantarilla de cajón de concreto armado

D.4.4. Descripción alcantarillas de cajones prefabricados

Este proyecto de norma mexicana NMX-C-499-ONNCCE-2014, *Diseños especiales*, establece las especificaciones métodos de ensayo prefabricadas para alcantarillado y drenaje pluvial, con junta de montero o junta preformada.

D.4.5. Campo de aplicación

Este proyecto de norma aplica a los cajones de concreto reforzado prefabricado de una sola celda, colados monolíticamente para ser usados en la construcción de alcantarillas, drenaje pluvial, sistemas de retención de agua pluvial, pasos peatonales, pasos inferiores vehiculares y pasos de fauna.

NOTA 1. Esta norma es primordialmente para fabricantes. Aun así, las especificaciones para diseño y desempeño están incluidas en el Apéndice Normativo 1. El desempeño exitoso de este producto depende de las condiciones de carga, de plantilla, de relleno y los cuidados que la instalación requiere de acuerdo a las especificaciones. El comprador tiene la obligación de informar al fabricante las condiciones de soporte del terreno Donde se instalará el cajón prefabricado.

D.4.6. Referencias

Para la correcta aplicación de este proyecto de norma mexicana es necesario consultar las siguientes normas mexicanas o las actualizadas

NMX-B-072-CANACERO-2013 “Varilla corrugada de acero grado 60, laminada en frio para refuerzo de concreto Especificaciones y métodos de prueba”

NMX-B-253-CANACERO-2013 “Alambre de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto - Especificaciones y métodos de pruebas”

NMX-B-290-CANACERO-2013 “Malla electrosoldada de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-C-083-ONNCCE-2014 “Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes – Método de ensayo”

NMX-C-111-ONNCCE-2014 “Industria de la construcción – Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y método de ensayo”

NMX-C-169-ONNCCE-2009 “Industria de la construcción – Concreto – Extracción de espécimen cilindros o prismáticos de concreto hidráulico endurecido.

NMX-C-414-ONNCCE-2014 “Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Especificaciones y métodos de ensayo”.

D.4.7. Definiciones

Para efecto de este proyecto de norma se establecen las siguientes definiciones:

D.4.7.1. Acero de refuerzo

Es un elemento de acero que se adiciona al concreto hidráulico para mejorar las características físicas y mecánicas de un elemento estructural en particular. Los cuales pueden ser, alambres, varillas, mallas, torones y cables de presfuerzo.

D.4.7.2. Alambre

Se denomina alambre de acero corrugado a todo tipo de hilo delgado (con un diámetro mínimo de 4,49 mm en mallas electrosoldadas) que se obtiene por estiramiento de los diferentes metales de acuerdo con la propiedad de ductilidad que poseen los mismos.

D.4.7.3. Alcantarillado pluvial

Red de conductos, que sirven para evacuar en forma eficiente y segura las aguas pluviales.

D.4.7.4. Anormalidades

Elementos situaciones y/o condiciones que no cumplen con los lineamientos de análisis, diseño fabricación y/o colocación y que requieren una evaluación puntual que definan las condiciones estructurales de los elemento.

D.4.7.5. Caja

Es el extremo del cajón Donde se disminuye el espesor de pared por la parte interior para permitir la entrada o ensamble de la espiga del cajón siguiente.

D.4.7.6. Cajón de concreto reforzado prefabricado

Es una sección cuadrada o rectangular que tiene como objeto primordial la conducción de aguas pluviales en el alcantarillado carretero, siendo este uso enunciativo y no limitativo.

D.4.7.7. Chaflán

Bisel en un ángulo de 45 grados, localizado en las esquinas interiores, superiores e inferiores del cajón y que se mantiene en toda la longitud de éste, el cual ayuda a mantener una rigidez estructural del cajón.

D.4.7.8. Colchón de relleno

Material de relleno que se deposita encima del cajón con características físico-mecánicas definidas, considerada como carga muerta.

D.4.7.9. Curado

Es el tratamiento a que se someten los cajones, inmediatamente después de haber sido fabricados, para mantener la humedad necesaria del concreto durante el proceso de fraguado inicial, que impida la aparición de fisuras.

D.4.7.10. Espiga

Es el extremo del cajón que se aloja en la caja y sirve para facilitar el ensamble con el cajón siguiente.

D.4.7.11. Estribos

Son aquellos marcos o arillos de acero que se utilizan para reforzar por esfuerzo cortante el cajón de concreto cuando son requeridos.

D.4.7.12. Fisura

Abertura o conjunto de aberturas, menores a 0,30 mm que se presentan sobre la superficie del cuerpo del cajón, sin afectar la resistencia estructural del elemento.

D.4.7.13. Fractura

Ruptura que atraviesa el cuerpo del cajón, el cual afecta la resistencia estructural del elemento.

D.4.7.14. Grieta

Abertura mayor o igual a 0,30 mm que se extiende sobre la superficie del cajón sin afectar la resistencia estructural del elemento.

D.4.7.15. Junta de mortero

Tipo de junta que se prepara para unir dos piezas de cajón usando pasta de mortero conformada por cemento, agregados finos y agua.

D.4.7.16. Junta preformada

Elemento elastomérico extruido de sección rectangular, que se utiliza para sellar la unión machihembrada de los cajones.

D.4.7.17. Longitud de superficies opuestas

Es aquella dimensión media en diagonal en las paredes interiores o exteriores del cajón de concreto prefabricado.

D.4.7.18. Longitud útil

Es la distancia interna entre los extremos del cajón más el espaciamiento definido por el fabricante.

D.4.7.19. Malla electrosoldada

Malla de alambres de acero estirado en frío con o sin galvanizado colocados longitudinal y transversalmente formando ángulos rectos entre sí y soldados por resistencia eléctrica en todos los puntos de intersección.

D.4.7.20. Oquedad

Huecos en el concreto de dimensiones variables (no mayor 25 mm de ancho y una profundidad 15 mm), que pueden ser regulares o irregulares, expuestas en el cuerpo del cajón.

D.4.7.21. Pared

Es el espesor del cuerpo del cajón.

D.4.7.22. Refuerzo longitudinal

Es el refuerzo que va en el sentido del flujo del escurrimiento en el elemento del cajón prefabricado y sirve principalmente para resistir los esfuerzos por temperatura y darle estructura al refuerzo transversal.

D.4.7.23. Refuerzo transversal

Es aquel que se coloca como refuerzo en uno o dos lechos en la pared en todo el perímetro del cajón prefabricado y tiene por objeto resistir los esfuerzos de tensión a que va a estar sometido por las cargas de trabajo: carga muerta y carga viva.

D.4.7.24. Varilla

Acero laminado diseñado especialmente para construir elementos estructurales de concreto reforzados.

D.4.8. Clasificación

Los cajones de concreto reforzado prefabricado, se clasifican de acuerdo a la Tabla 1 y estarán diseñados de acuerdo al claro y peralte interior, colchón de relleno y carga vehicular AASTHO-HS-20-1997, para cargas distintas a estas véase apéndices normativos II y III correspondientes a otros requerimientos.

D.4.9. Criterios de aceptación

La aceptación de los cajones prefabricados de acuerdo al Inciso D.4.11 (“Diseño”) está determinada por las especificaciones establecidas en el inciso D.4.10 (“Especificaciones”), así como los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto descrito en el Inciso D.4.12 (Colocación del refuerzo) la verificación de la cuantía de refuerzo al producto terminado mediante un equipo electrónico de medición y, por la inspección de los cajones terminados.

Es obligación del fabricante, proporcionar al cliente una memoria de cálculo del cajón a suministrar y su correspondiente plano de fabricación con sus respectivas especificaciones.

D.4.10. Especificaciones de los materiales

D.4.10.1 Concreto reforzado

Es la mezcla de materiales cementantes, agregados minerales y agua, en la que el acero de refuerzo se incorpora de tal manera que ambos actúan en conjunto, debiendo cumplir con las especificaciones descritas en las Normas Mexicanas NMX·C·155·ONNCCE y NMX·C403·ONNCCE (véase D.4.6 Referencias).

D.4.10.2 Materiales cementicios

Cemento: El cemento cumplirá las especificaciones descritas en la Norma NMX·C·414·ONNCCE (véase D.4.6 Referencias).

D.4.10.3 Agregados

Los agregados cumplirán con los requerimientos descritos en la Norma NMX·C·111·ONNCCE (véase D.4.6 Referencias).

D.4.10.4 Acero de refuerzo

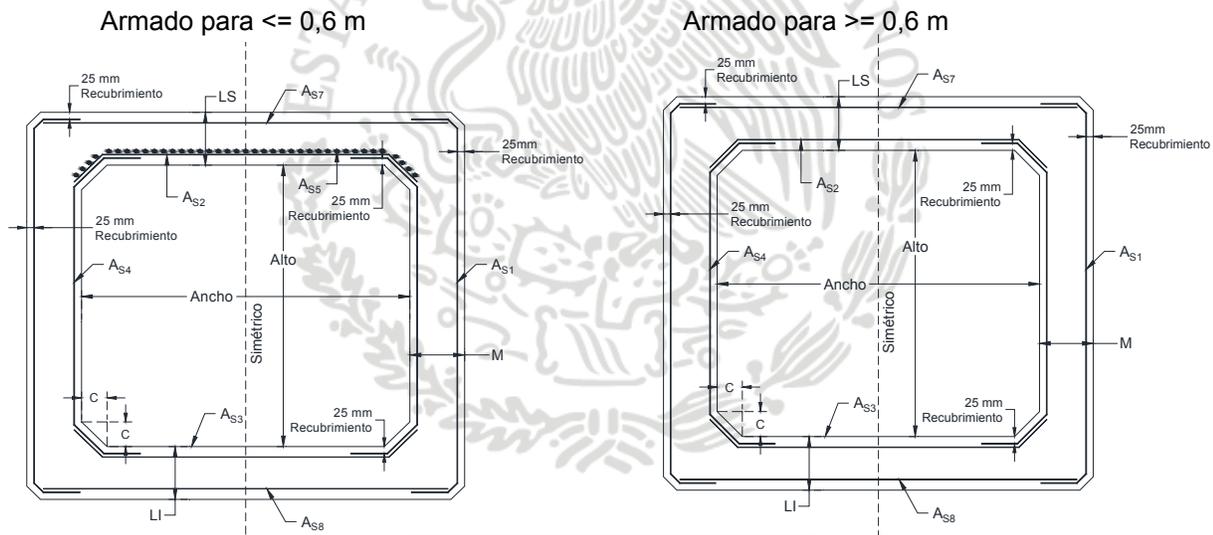
El refuerzo cumplirá con los requerimientos descritos en las Normas NMX·B·253, NMX·B·072 y NMX·B·290 (véase D.4.6 Referencias).

D.4.10.5 Fibras sintéticas

El fabricante puede hacer uso de fibras sintéticas en cajones de concreto prefabricado para alcantarillas como un material de manufactura o estructural.

D.4.10.6 Aditivos

Los aditivos como fluidificantes, inclusores de aire, acelerantes de fraguado entre otros, podrán utilizarse solamente con la aprobación de la dependencia.



- LS = Espesor de Losa Superior
- LI = Espesor de Losa Inferior
- M = Espesor de Pared
- C = Dimensiones del Chaflán
- As₁ = Acero Exterior en Pared
- As₂ = Acero Interior en Losa Superior
- As₃ = Acero Interior en Losa Inferior
- As₄ = Acero Interior en Pared
- As₅ = Acero Longitudinal
- As₇ = Acero Exterior en Losa Superior
- As₈ = Acero Exterior en Losa Inferior

FIGURA 27.- Sección típica de cajón

Ejemplo de diseño de alcantarilla de cajón prefabricada

Las dimensiones del cajón, el colchón de relleno, las áreas de acero perimetral, así como su colocación como se indican en la Tabla I y en las Figuras 34 a la 36 respectivamente, cumpliendo con las tolerancias permitidas en el punto 12 (Tolerancias) del presente proyecto.

La Tabla I fue diseñada en combinación de cargas muertas debido a los materiales de relleno en la instalación y con las condiciones de cargas vivas vehiculares tipo AASHTO HS-27.

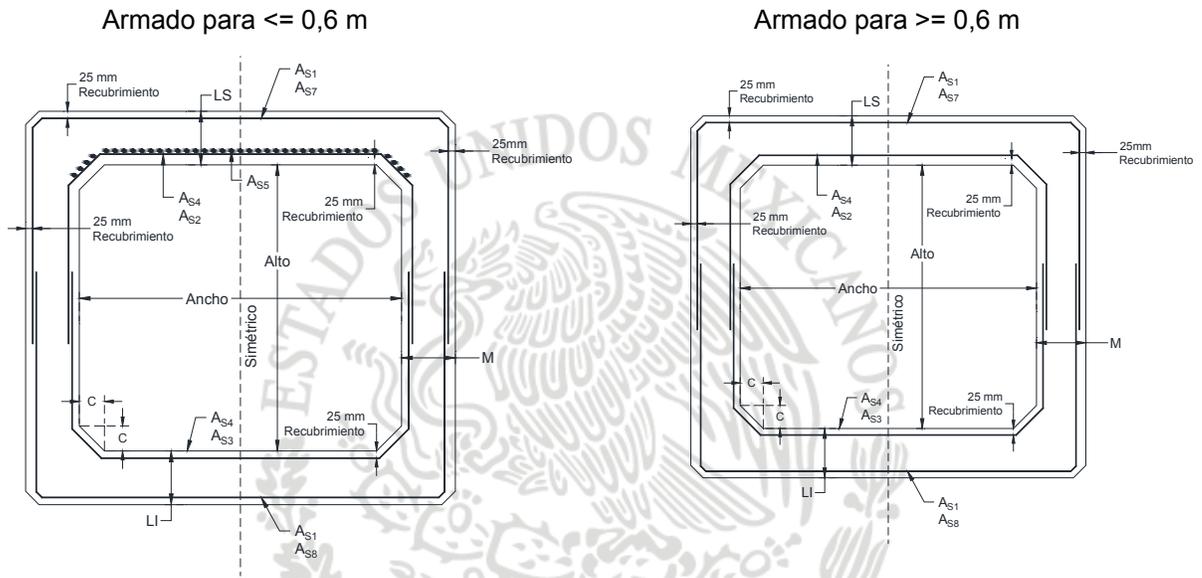


FIGURA 28.- Refuerzo de junta de losas superior e inferior (sección A-A)

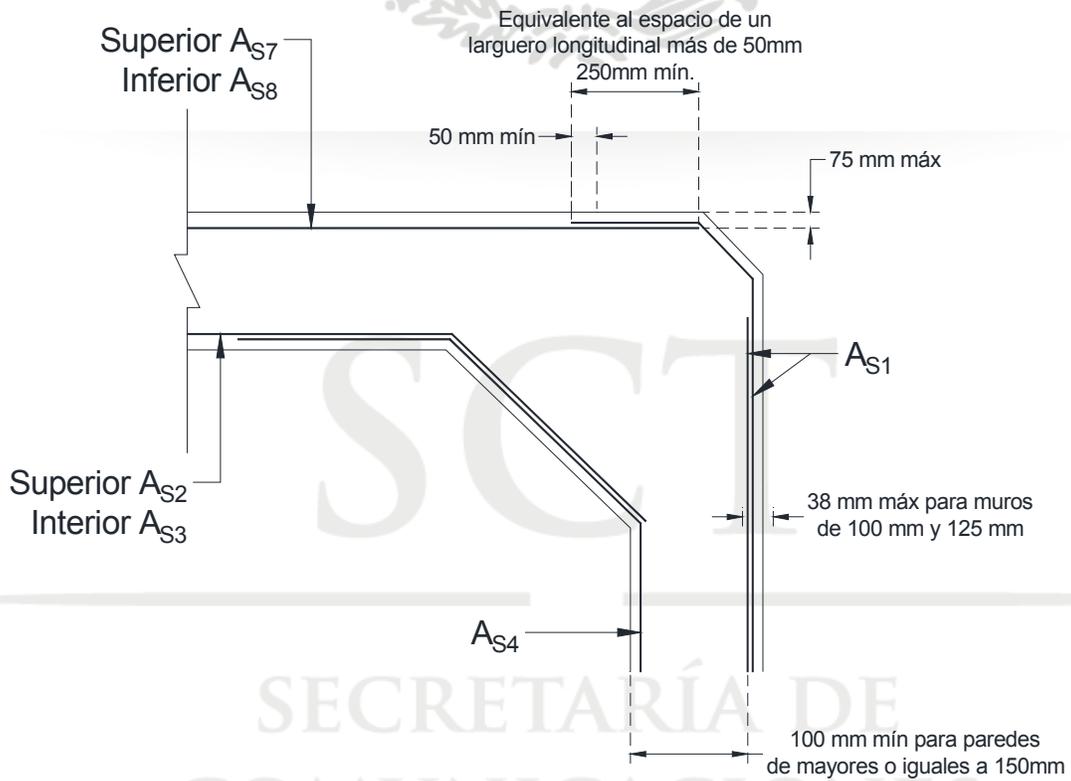


Figura 29.-Detalle inferior de refuerzo

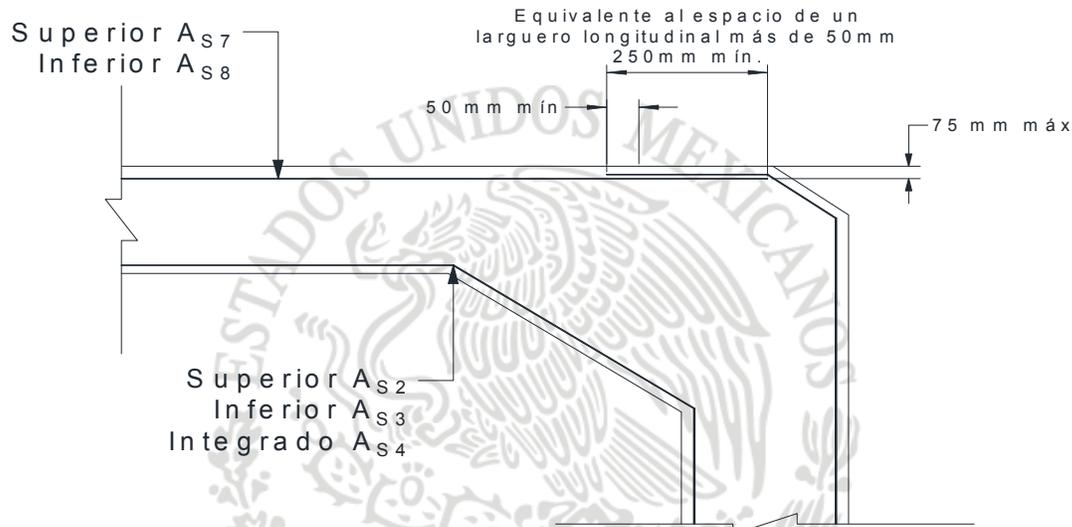


FIGURA 30.- Detalle de armado

NOTA 2.- Los requisitos de diseño como se indica en la Figura 29 fueron desarrollados según los criterios establecidos en la norma AASTHO-HS-20 (1997).

NOTA 3.- Se podrá emplear un esfuerzo de fluencia mayor al especificado, realizando la conversión con la siguiente ecuación:

$$AL = Am \frac{(4\ 200)}{fy}$$

Donde:

AL = nueva área de acero en mm^2

Am = área de acero con límite de fluencia 42 MPa (4 200 kg/cm^2), como se indica en la Figura 29

fy = límite de fluencia del acero por utilizar en la fabricación en MPa, (kg/cm^2)

D.4.11. Diseños especiales y modificados para estructuras monolíticas

El fabricante solicitará la aprobación al cliente para modificar los diseños originales o efectuar diseños especiales con dimensiones y cargas vehiculares diferentes a las mostradas en la Tabla 1. Cuando los anchos del cajón requieran exceder de los descritos en la Tabla 1, el diseño se basará en los criterios del apéndice normativo 1.

Además, el ancho tendrá una rigidez adecuada para limitar la deflexión como se indica en la Sección 8.9. de la Norma AASTHO-HS-20.

NOTA 4.- En los procedimientos de instalación se indicará que se haga la verificación de que las cargas no excedan a las especificadas en el diseño de fabricación del cajón.

D.4.12. Colocación del refuerzo

- El recubrimiento mínimo de concreto sobre el refuerzo longitudinal será de 25 mm, cumpliendo las variaciones permitidas descritas en el Inciso D.4.13.
- El refuerzo longitudinal interior se extenderá hasta la espiga a una distancia no menor de 12,7 mm ni mayor de 50 mm medida a partir del final de la sección del cajón.
- El refuerzo longitudinal exterior se extenderá hasta la caja a una distancia no menor de 12,7 mm ni mayor de 50 mm medida a partir del final de la sección del cajón.
- El refuerzo de acero se armará utilizando cualquier combinación de una o varias capas de mallaelectrosoldada de alambre de acero, la separación entre capas no será mayor que el diámetro del alambre de acero longitudinal más 6,35 mm. Las capas se unirán para formar un sólo armazón y los requisitos de traslape, soldadura y colocación, serán los mismos, considerando en esta Norma.
- Se permite por continuidad dejar la mayor área de acero por lecho.
- Los requisitos en el dobléz y traslape se indican en las Figura 31 y 32.
- La malla electrosoldada de alambre de acero estará compuesta de alambres de acero longitudinales transversal cumpliendo con los requisitos de separación indicados en esta Norma y tendrá la suficiente cantidad de alambres de acero transversal para mantener la forma y posición correcta del acero de refuerzo dentro del molde.
- Las terminaciones o puntas de los alambres de acero transversal no tendrán una longitud mayor de 50 mm medida a partir del final de la sección del cajón. (Espiga y caja).
- La exposición de acero transversal, ligas de amarre entre refuerzos interior y exterior (Estribos) y separadores usados para posicionar el acero no será causa de rechazo.

D.4.13. Traslapes, soldaduras y separaciones

- Las uniones en el acero de refuerzo se realizarán mediante traslape. En mallas electrosoldadas de alambre de acero, el traslape no será menor de un módulo más 50 mm, en ningún caso la distancia de traslape será menor 250 mm.
- Cuando el acero de refuerzo As1 se extienda hasta la mitad de las losas superior e inferior se podrá realizar la unión mediante soldadura.
- El acero de refuerzo As7 y As8 será traslapado con el acero de refuerzo As1 como se indican en las Figuras 31, 32, 36 y 37 de esta Norma.

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

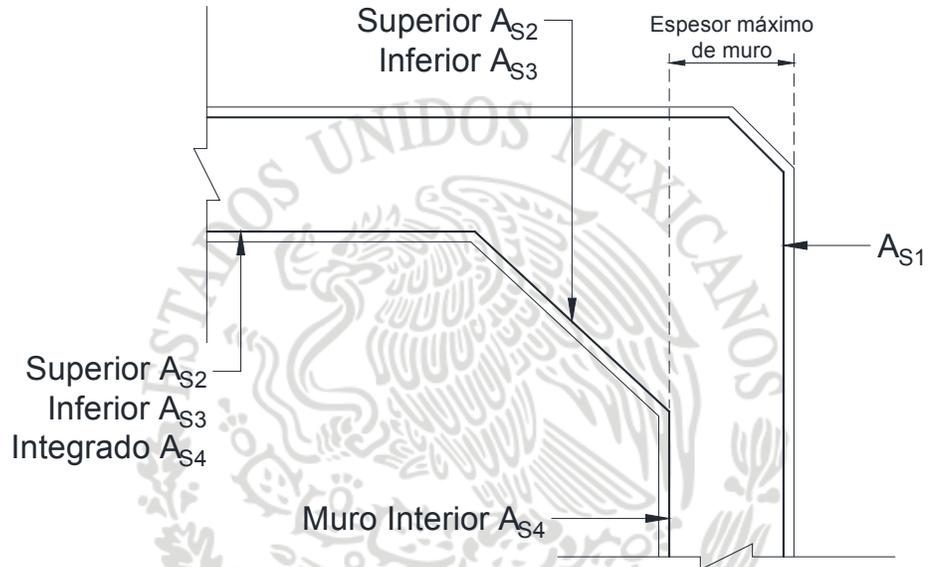


FIGURA 31.- Detalle de refuerzo

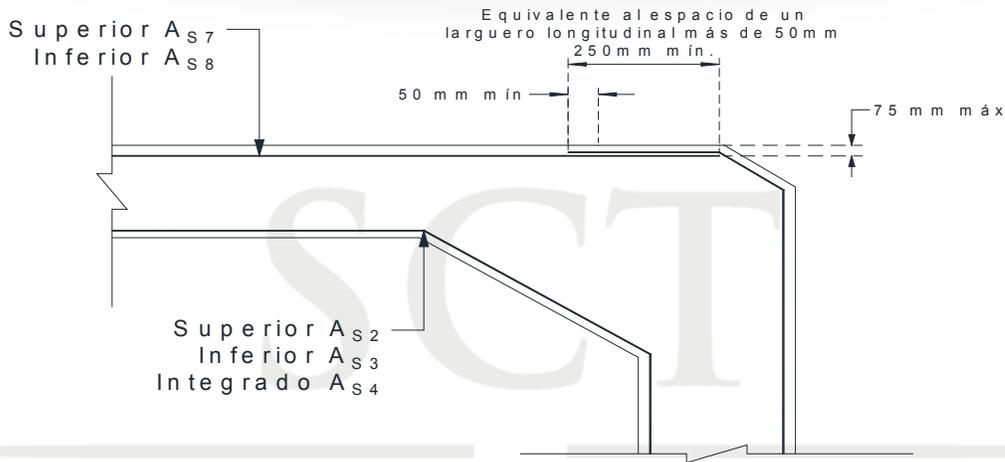


FIGURA 32.- Detalle

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

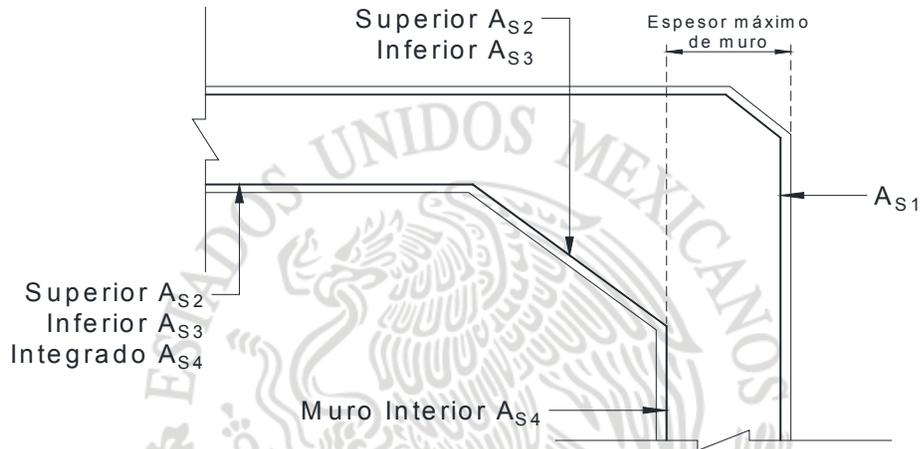


FIGURA 33.- Detalle adicional

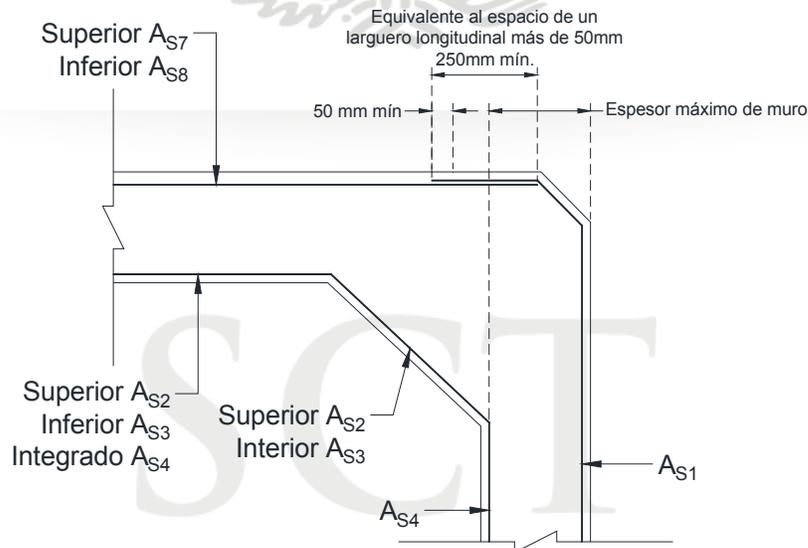


FIGURA 34.- Detalle opcional

Si el acero longitudinal es soldado para traslaparse, se seleccionará el acero longitudinal con una separación no menor a 450 mm a lo largo de la longitud del cajón. Cuando los separadores son soldados a los alambres longitudinales, se soldarán sólo en dichos elementos seleccionados, excepto si es permitido para As4 a ser traslapado y soldado en cualquier parte o conectado soldando las esquinas a As2 y As3. No se permite soldar en el acero longitudinal As2 y As3 en la tercera parte media del ancho del cajón como se indica en la Figura 35.

Cuando la distribución del refuerzo es soldado para conformarse, se soldarán sólo los alambres transversales y cerca de los extremos del cajón.

El espacio de centro a centro entre alambres longitudinales no será menor a 50 mm y no mayor a 100 mm.

El espacio de centro a centro entre alambres transversales no será mayor a 200 mm.

- Si el acero longitudinal es soldado para traslaparse, se seleccionará el acero longitudinal con una separación no menos de 450 mm a lo largo de la longitud del cajón. Ver Figura 35.
- En caso de que se empleen separadores soldados a alambre longitudinal, estos se soldarán únicamente al alambre longitudinal.
- El acero de refuerzo As4 podrá traslaparse y soldarse en cualquier lugar.
- El acero de refuerzo As4 podrá unirse a los aceros de refuerzo As2 y As3 en las esquinas mediante soldadura o con su correspondiente longitud de traslape. Como si indica en la Figura 35.
- No se realizarán uniones mediante soldadura en los aceros de refuerzo As2 y As3 en el tercio medio del claro del cajón, como se indica en la Figura 35 de esta Norma.
- La distancia de separación centro a centro de los alambres longitudinal será no menor de 50 mm ni mayor de 100 mm.
- La distancia de separación centro a centro de los alambres transversales será de hasta 203,2 mm.

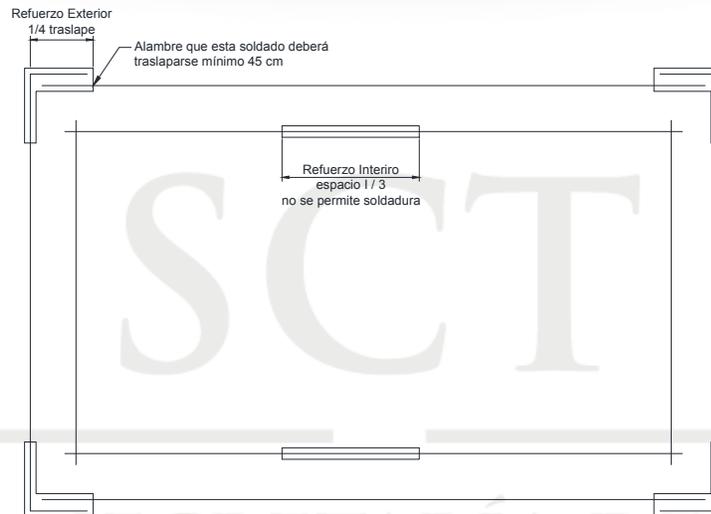


FIGURA 35.- Zonas críticas de altura de tensión Donde se resringe la soldadura

E. BÓVEDAS PREFABRICADAS DE CONCRETO REFORZADO

Las bóvedas prefabricadas son estructuras formadas por segmentos de arcos de concreto reforzado prefabricado para uso en obras de drenaje carretero

Estas estructuras a su vez están desplantadas en una cimentación superficial, pudiendo ser: zapatas o losas ambas pudiendo tener muros sirviendo como sustento para las propias dovelas prefabricadas. Las dovelas se unen entre sí para formar un solo elemento. El concreto que forma las dovelas es concreto estructural.

En los extremos o portales de la estructura es necesario contar con elementos de contención de tierras para los materiales de conformación de terraplén.

E.1. ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS

- Picos de flauta: Estructura formada por dovelas de geometría escalonada que se adaptan al talud de rellenos en los portales de entrada y salida de la bóveda con el fin de evitar que los rellenos obstruyan el funcionamiento hidráulico de la estructura y un posible deslave de material de terraplén.
- Aleros: Estructuras de concreto reforzado formadas por un muro y zapata para contener los rellenos del terraplén y encauzar el escurrimiento.
- Típanos: Muros de concreto reforzado colocada en el perímetro de la bóveda prefabricada con el fin de contener rellenos sobre la estructura, este elemento funciona como un Muro Mecánicamente Estabilizado por lo que se evita fijar el elemento a la propia bóveda, así como el uso de cimentación.

SECCIÓN TRANSVERSAL

Donde:

L = Luz

F = Flecha

H = Altura de relleno sobre bóveda HT = Altura de tierras

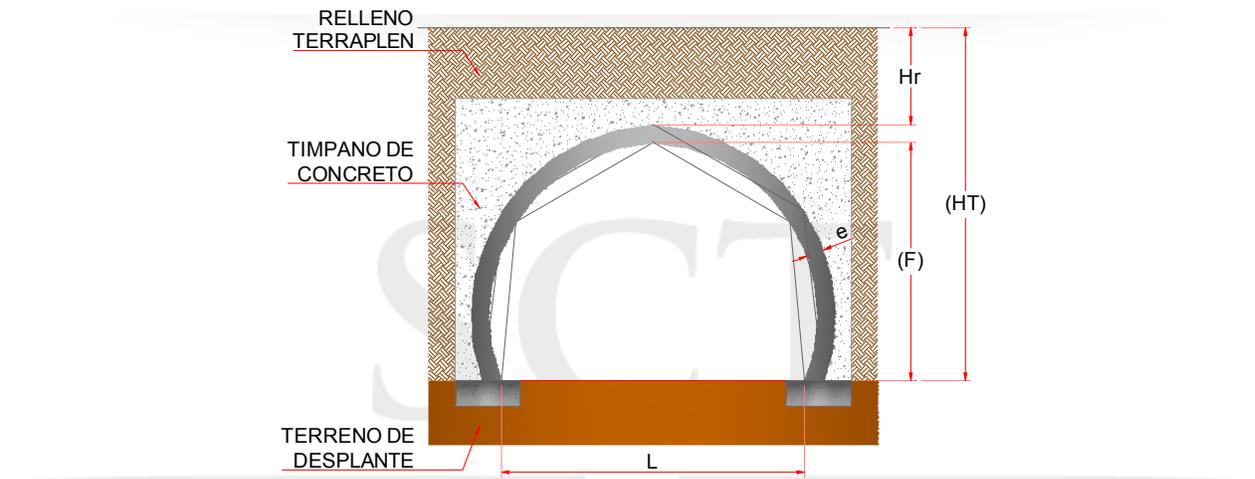


FIGURA 36.- Sección bóveda

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

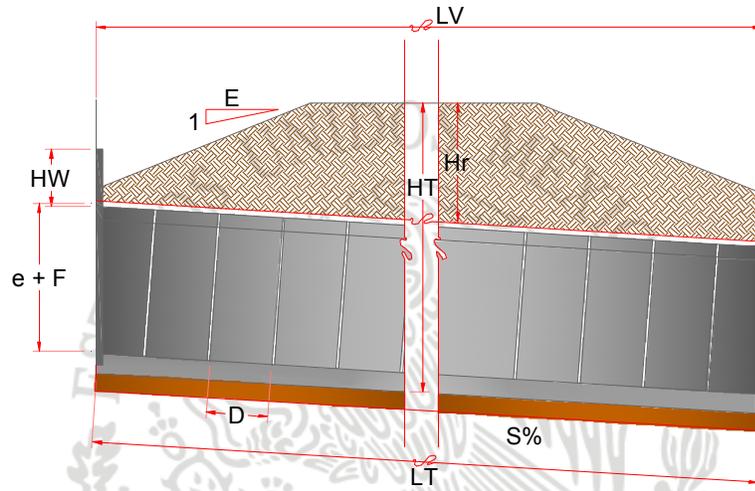


FIGURA 37.- Corte longitudinal

Donde:

- LT = Longitud total
- Lv = Longitud en planta
- S = Pendiente longitudinal (%)
- D = Ancho de dovela
- e+F = Altura de bóveda
- Hw = Altura de tímpano
- Hr = Altura de relleno sobre bóveda
- HT = Altura de tierras

E.2. REFERENCIAS

Son referencias a este Manual las siguientes normas

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Cargas y Acciones	N-PRY-CAR-6-01-003
Sismo	N-PRY-CAR-6-01-005
Combinaciones de Cargas	N-PRY-CAR-6-01-006

E.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES

a. Materiales

Las dovelas prefabricadas serán de concreto estructural al menos de una resistencia a la compresión mínima de $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$ dependiendo de las solicitaciones de proyecto y acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

b. Alineamiento

El trazo de la alcantarilla puede ser en tangente, en curva simple o compuesta, utilizando geometrías de dovelas especiales para estos últimos dos casos.

c. Sección transversal

La geometría de la bóveda está determinada por las cargas de diseño, además que la luz y flecha están condicionadas a las características del flujo y/o escurrimiento.

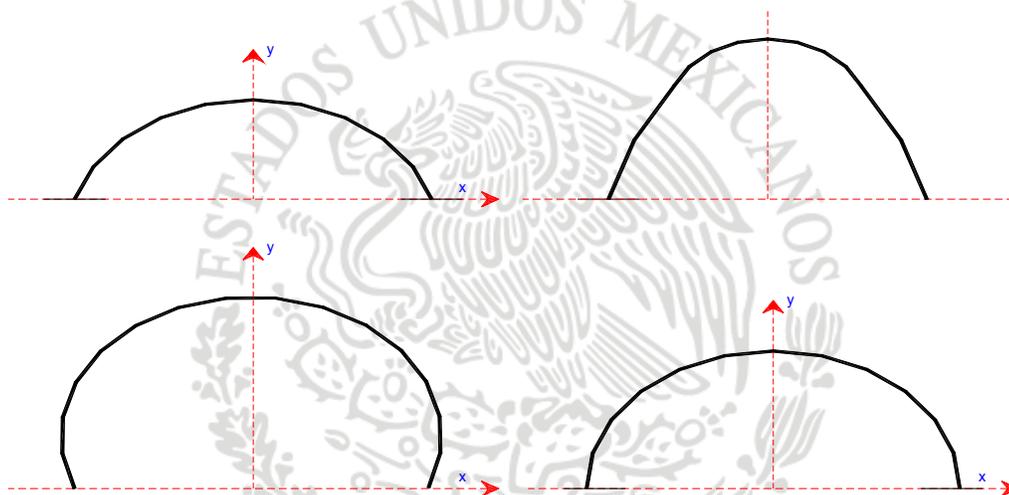


FIGURA 38.- Forma circular, y su posición con respecto al nivel de cimentación de acuerdo a las dimensiones L y F

d. Sección longitudinal

Es necesario revisar la estabilidad longitudinal de las dovelas prefabricadas sobretodo en proyectos con pendientes importantes en específico mayores a 10% de pendiente y secciones de bóveda de grandes flechas

En el caso de que la sección de dovela sea inestable es necesario fijar a los elementos adyacentes.

E.4. DEFINICIÓN DE CARGAS Y ACCIONES

E.4.1. Permanentes

E.4.1.1. Cargas verticales

Considerar las cargas de relleno sobre la estructura, es necesario tener en cuenta los efectos de las cargas sobre la estructura instalada en terraplén sumado a la rigidez de la propia estructura. Esto debido a los esfuerzos de corte originados por el asentamiento diferencial del terraplén sobre la estructura y el adyacente.

Contemplar un relleno mínimo de 1 m.

Para determinar la carga vertical sin factorizar se utiliza la ecuación 12.11.2.2.1-1; 12.11.2.2.1-2 del AASHTO.

$$W_E = g * F_e * \gamma_s * B_c * H * 10^{-9}$$

$$F_e = 1 + 0,20 \frac{H}{B_c}$$

Donde:

W_E = Carga vertical sin factorizar

G = Fuerza de gravedad (m/seg²)

F_e = Factor de interacción suelo estructura para instalación en terraplén

γ_s = Densidad del relleno (kg/m³)

B_c = Luz + Espesor de bóveda "L+2e" (mm)

H = Altura de rellenos sobre bóveda (mm)

E.4.1.2. Cargas horizontales

Mediante un análisis de elemento finito considerar los diferentes empujes horizontales que tendrá la estructura ya que varían en todo el desarrollo de la estructura

- Empujes hidrostáticos

El efecto de empujes hidrostáticos se podrá despreciar debido a que en la instalación se coloca una capa de material filtrante

E.4.1.3. Carga viva

La aplicación de carga viva sobre la estructura es debida a peso de cargas móviles correspondientes a vehículos sobre la estructura, la cual se considerará conforme a lo indicado en la norma N PRY CAR 6 01 003, *Cargas y Acciones* en alturas de relleno mayores a la Luz de la propia bóveda se podrá despreciar dicha carga.

E.4.1.4. Etapas de fabricación

Contemplar las etapas de desmolde, estiba, transporte y montaje de los elementos ya que en estas etapas la dovela se comportará de acuerdo a la ubicación de sus puntos de apoyo y/o izaje en los cuales se tendrán cargas concentradas.

E.4.1.5. Etapas de relleno

Se recomienda considerar una variación máxima de relleno entre un lado y otro de la estructura de 1 m. con el fin de no someter a los elementos a deformaciones excesivas o deformaciones que no se puedan recuperar, así mismo considerar las vibraciones originadas por equipos de compactación cercanos a la estructura.

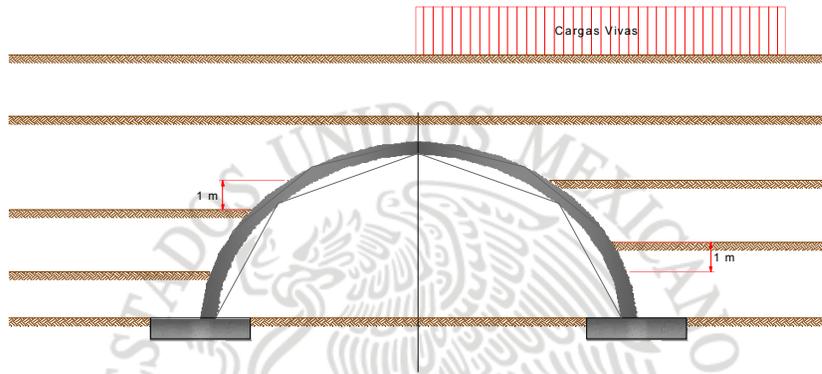


FIGURA 39.- Etapas de relleno

E.4.1.6. Subpresión

Es necesario considerar este efecto al momento de diseñar la cimentación, en su defecto se colocará una capa rompedora de capilaridad.

SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS
AV. COYOACÁN 1895
COL. ACACIAS
CIUDAD DE MÉXICO, 03240
WWW.GOB.MX/SCT