

Comportamiento estructural

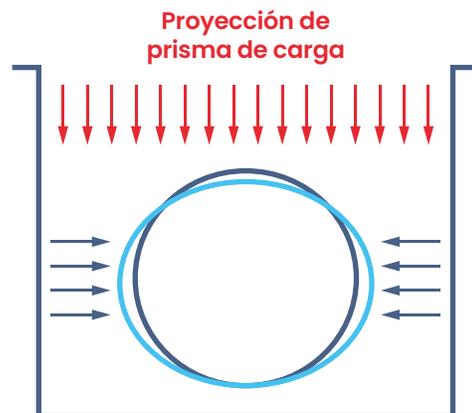


BLUDREN

■ Comportamiento estructural

Actualmente en el mercado mundial existen tipoda de tuberías perfiladas hechas de cloruro de polivinilo. todas ellas tienen una cualidad común: el diseño de la pared estructural, es decir, tienen la facultad de aumentar la rigidez anular sin gran aumento en el peso por unidad de longitud. Esta condición hace que las tuberías perfiladas sean livianas que las de pared sólida.

El principio de funcionamiento se basa en diseñar una pared que posea un valor elevado en el momento de inercia de sus elementos, tal y como se hace diseñar una viga, para ganar resistencia con un poco aumento de peso, por lo tanto, una tubería perfilada de PVC deriva su resistencia a las cargas, de su naturaleza a permitir deformaciones.



Al deflectarse ante la carga, esto permite que se desarrollen empujes pasivos de suelos en ambos lados del tubo, hacia la línea del centro horizontal. Al mismo tiempo la deformación del mismo lo libera de soportar la mayor porción de la carga vertical, la cual es soportada por el suelo de los lados, a través de la llamada efecto arco.

Mediante esta teoría es posible evaluar matemáticamente la deformación esperada de una tubería perfilada de PVC sujeta a ciertas características físicas del ducto y de las condiciones que regirán en su instalación como el ancho de zanja, altura de relleno sobre la corona, características de las cargas vivas, y sobre todo, el módulo de reacción del suelo, tanto de la pared de la excavación así como del material compuesto para el acostadillo, sin olvidar las condiciones del nivel freático si estos están presentes.

De acuerdo al plano recibido se observan excavaciones no mayores a 4 m, sin embargo, se realizará un análisis estructural para un relleno sobre la corona de 5 m considerando el diámetro mayor valor solicitado siendo el de 2600mm.

Para el cálculo de los factores de seguridad con los que estará trabajando la tubería en base al relleno máximo indicado anteriormente, se considera un relleno con material granular tipo arena bien densificado cubierto hasta 30 cm arriba de la corona de la tubería.

LÍMITES DE COMPORTAMIENTO PARA DISEÑO:

La tubería Rib Loc es analizada por 3 límites de comportamiento:

- Deflexión,
- Abollamiento o pandeo
- por rotura de pared

Para la evaluación y desglose de todo el procedimiento de revisión de la tubería Rib Loc se considerará un relleno de 5.0 m sobre la corona del ducto.

A) Deflexión de la tubería:

Existen tres factores que son esenciales en el análisis de la instalación de la tubería Rib Loc que interviene en el primer límite de comportamiento :

- Cargas sobre la tubería.
- Rigidez del suelo alrededor del tubo.
- Rigidez de la tubería.

Mediante la siguiente ecuación se incluyen estos tres conceptos para calcular el porcentaje de deflexión con respecto al diámetro interno:

$$\Delta = \frac{(y \cdot H_R + W_v) / 1000}{SRT * 0.00152 + 0.061 * E2 * zeta}$$

donde:

Δ = porcentaje de deflexión con respecto al diámetro interno.

y = peso volumétrico total del sueldo relleno (kg/m^3): $1800 \text{ kg}/\text{m}^3$

H_R = altura de relleno sobre la corona del tubo (m): 5.0 (Hr máx de proyecto).

w_v = carga viva (kg/m^2).

SRT = rigidez anular del tubo (KN/m^2).

E2 = módulo de rigidez de material alrededor del tubo: $140 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

E3 = módulo de rigidez de material en la pared de la excavación: $140 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

$zeta$ = factor de corrección entre la rigidez del material alrededor del tubo (E2) y la rigidez del muro de excavación. Resulta igual a la unidad.

El valor de E2 se obtiene de la siguiente tabla:

Descripción			Grado de compactación Próctor Standard		
Clase de Suelo	Suelo según ASTM D 2487	Suelto	Compac. ligera <85%	Compac. moderada 85-95%	Muy compacto >95%
VI	Suelos orgánicos del tipo OL, OH, y suelos que contienen desechos y otros materiales extraños		No se acepta en ningún caso éste material como material de encamado o relleno		
V	Suelos finos LL>50 suelos con media a alta plasticidad CH, MH, CH-MH		No existe información, consulte con un mecánico de suelos o utilice E2=0		
Va	Suelos finos, LL<50 plasticidad media a plasticidad, CL, ML, ML-CL con menos de 25% de partículas gruesas	3.5	14	28	70
Vb	Idem anterior pero con más de 25% de partículas gruesas	7	28	70	140
III	Suelos gruesos con más de 12% de finos GM, GC, SM, SC	7	28	70	140
II	Suelos gruesos con menos de 12% de finos GW, GP, SW, SP	14	70	140	210
I	Piedra quebrada	70	210	210	210

Cálculo de la carga viva:

Considerando una presión en las llantas de 8.5 kg/ cm² se puede calcular la superficie de apoyo (B x L) en cada extremo del eje mediante las siguientes relaciones experimentales:

$$B = \sqrt{\frac{P}{Pt}} \quad L = \frac{B}{\sqrt{2}}$$

donde:

P = peso por eje= 14,500 kg/eje

Pt = presión de inflado de las llantas = 8.5 kg/ cm²

B = ancho de la superficie de apoyo de las llantas (cm)

L = largo de la superficie de apoyo de las llantas

sustituyendo los valores iniciales del problema obtenemos:

$$B = 41.30 \text{ cm}$$

$$L = 29.21 \text{ cm}$$

Partiendo de esta superficie de apoyo y para obtener distribución de presiones a la profundidad de enterramiento máxima que tendrá este proyecto se utilizará la siguiente ecuación basada en el método de tronco de pirámide el cual produce resultados más conservadores que la solución de Boussinesq, ya que no considera elasticidad alguna del medio:

$$Po = \frac{P/2}{(B + 1.2 HR)(L + 1.2 HR)}$$

Donde Po es la presión en kg/cm² que actúa sobre la superficie que se encuentra a la profundidad **HR** (cm). Si consideramos que el relleno máximo que habrá sobre la tubería es de 500 cm, la presión actuante será de sólo **$Po = 0.018 \text{ kg/cm}^2$** por lo tanto se considerará despreciable.

Cálculo de la rigidez teórica del tubo a largo plazo por lo tanto no se considera el aporte del acero (SRT):

$$SRT = \frac{E * I}{0.149 R^3}$$

donde:

E= módulo de elasticidad del PVC= 2,758,000 KPa

I = momento de inercia de la pared del tubo= 714.828 x 10⁹ m⁴/m.

R= radio a la fibra neutra de la pared del tubo = 1.309 m

$$SRT = 5.9 \text{ KN/m}^2$$

[considerando el acero, la rigidez real será igual a 35.4 KN/m²]

Cálculo de la deflexión:

Sustituyendo en la ecuación de la deflexión los valores obtenidos

$$\Delta = \frac{(y \cdot H_R + W_V) / 1000}{SRT * 0.00152 + 0.061 * E2 * zeta} \quad \Delta = \frac{(1,800 \cdot 5.0 + 0) / 1000}{5.9 * 0.00152 + 0.061 * 140 * 1.0}$$

$$\Delta = 11.05 \% \ll 7.50 \%$$

B) Abollamiento o pandeo local:

En los tubos deformables, cuando están sometidos a una determinada carga crítica, puede producirse un aplastamiento de su generatriz superior. Por esto es preciso evaluar el factor de seguridad con el que estamos trabajando, teniendo en cuenta el factor de seguridad mínimo que relaciona la carga que resiste el tubo Rib Steel con la carga existente es igual a 1.50.

La ecuación para calcular la presión crítica de aplastamiento sin considerar nuevamente el aporte del acero como un factor de seguridad es la siguiente:

$$P_{cr} = \frac{3.558 * 10^{-4} * e^{(-0.08\Delta)} * E_{pvc} * I}{r^3}$$

donde:

P_{cr} = presión crítica de aplastamiento (kg/m^2)

Δ = deformación en porcentaje 1.05%

E_{pvc} = módulo de elasticidad del PVC = 2,758 Mpa

r = radio a la fibra neutra (m) = 1.309 m

I = momento de inercia de la pared del tubo = 714.828 mm^4/mm .

Sustituyendo estos valores en la ecuación obtenemos:

$$P_{CR} = 287.54 \text{ Kg}/\text{m}^2$$

Al calcular la presión de abollamiento para tuberías flexibles cuando estas se encuentran rodeadas de un material que provea alguna resistencia a las deformaciones del tubo se requiere involucrar en la fórmula el módulo de reacción del suelo, por lo tanto, se aplicara la siguiente ecuación:

$$P_b = 11.61 \sqrt{P_{cr}(E2/0.0102)zeta}$$

$$P_b = 23,065 \text{ Kg}/\text{m}^2$$

El factor de seguridad contra el aplastamiento será:

$$F.S. = \frac{Pb}{q_v}$$

donde:

q_v = carga existente

sustituyendo valores:

$$F.S. = \frac{23,065}{1,800 * 5.00}$$

$$F.S. = 2.56 > 1.5$$

C) Ruptura de la pared (compresión de pared).

Bajo este concepto se escribe la condición en la cual el esfuerzo en el material de la pared del tubo pasa su límite de proporcionalidad hasta llegar a la fluencia, provocando la falla.

El esfuerzo de compresión anular es el principal contribuyente en este límite de comportamiento, el cual se define con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{(y * HR + W_v) * D}{1.8A}$$

donde:

σ : esfuerzo de compresión de la pared del tubo (kg/m²/m)

A : área de sección de la pared del perfil por unidad de longitud = 0.00792 m²/m

y : peso volumétrico del suelo = 1,800 kg/m³

D : diámetro externo= 2.655 m

Este esfuerzo no debe sobrepasar el esfuerzo máximo del PVC en compresión que es de 3'250,000 kg/m²= 31,862 kPa, por lo tanto, la ecuación del factor de seguridad queda como siguiente:

$$F.S. = \frac{1.8 * A * \sigma \text{ max}}{(y * HR + W_v) * D}$$

$$F.S. = \frac{1.8 * 0.00792 * 3'250,000}{(1,800 * 5.0) * 2.655}$$

$$F.S.C = 1.94 > 1.5$$

Mediante una hoja de cálculo se obtienen los factores de seguridad con los que trabajarían los diámetros de 1650 mm y 2000 mm para un relleno sobre la corona igualmente de 5 m. La siguiente tabla muestra el resumen incluyendo los resultados para el diámetro de 2600 mm antes calculado.

Diámetro	Deflexión (%)	F.S. Abollamiento	F.S. Compresión
1650 mm	1.1%	4.16 > 1.5	2.44 > 1.5
1800 mm	1.1%	3.66 > 1.5	2.24 > 1.5
2000 mm	1.1%	3.77 > 1.5	2.50 > 1.5
2600 mm	1.1%	2.56 > 1.5	1.94 > 1.5