

Ficha Técnica

ADS
MEXICANA

Ficha Técnica 2.107

Re: Flotación de la Tubería

Fecha: Mayo 23, 1996 (Revisada Abril 1999; Julio 2001)

Flotabilidad de la Tubería Debido a Fuerzas Hidrostáticas y de Levantamiento por Utilización de Material de Relleno Fluido (CLSM)

INTRODUCCIÓN

Las tuberías flexibles como las de plástico o metal, debido a su construcción relativamente ligera, se considera propensa a la flotación. Son de especial atención para los ingenieros aquellas instalaciones de tubería en donde el suelo nativo sea de baja permeabilidad y/o se encuentren mantos freáticos altos, o donde se utiliza CLSM como material de relleno. De hecho, todos los materiales de tubería y otras estructuras enterradas son propensas a flotación. Cuando el levantamiento en la tubería o estructura excede la fuerza debida al peso de la estructura y la carga que transporta, la tubería (o estructura) se elevará. En cierta ocasión un tanque vacío de sedimentación de una planta de tratamiento en construcción se elevó debido a un nivel alto del manto freático ocasionado por la temporada de lluvias. Este documento proporciona un análisis de las profundidades mínimas requeridas para evitar la flotación de la tubería ADS N-12 HDPE de 12"- 48", y compara esos valores con los que se necesitan para tuberías de concreto y metal. Las fuerzas de flotación debidas al CLSM, también se abordarán.

DISCUSIÓN

1.) Levantamiento Hidrostático debido a Mantos Freáticos Altos.

La flotación se convierte en problema para la tubería enterrada cuando el manto freático rebasa la zona de la tubería. Un manto freático es por definición, el nivel bajo del suelo en donde la masa de tierra está saturada ($S = V_w/V_v = 100\%$); en donde el agua ha reemplazado todo el hueco del aire en la masa de tierra. (Según la terminología de los ingenieros trazadores, éste es el nivel en el que el agua se elevaría si se cavara un agujero). La formación de charcos, o el agua al nivel del suelo no indican por sí mismos la presencia de un manto freático en el suelo.

La fuerza de levantamiento hidrostático vertical, U, debido al manto freático, puede calcularse fácilmente con la siguiente Ecuación 1.

$$U = \frac{\pi}{4} D^2 \delta_w \quad (1)$$

Donde U está en unidades de lb/pies lineales de tubería
D = Diámetro exterior de la tubería en cuestión, pies
 δ_w = Peso unitario del agua = 62.4 lb/pie³

Esta fuerza hidrostática de levantamiento debe ser equilibrada por la sobrecarga de tierra y el peso de la tubería de manera que se asegure que la tubería no flotar. Las cargas debidas al suelo soportadas por una tubería en distintas profundidades de manto freático (W_{tierra}) pueden calcularse con la Ecuación 2. La Figura 1 ilustra cada uno de los tres casos vistos en instalaciones de campo donde la flotación se convierte en problema, y también aclara todos los parámetros contenidos en la Ecuación 2.

$$W_{tierra} = \delta_{seco} H_{seco} D + (\delta_{sat} - \delta_w)(H_{sub} + 0.1073D)D \quad (2)$$

Donde W_{tierra} = Peso de la sobrecarga de tierra, lb/pie lineal de tubería
 δ_{seco} = Peso seco unitario del suelo, lb/pie³.
 H_{seco} = Profundidad de suelo seco, pies
 H_{sub} = Profundidad de suelo sumergido encima de la tubería, pies
 δ_{sat} = Peso unitario saturado del suelo, lb/pie³
 $\delta_{sat} - \delta_w$ = Peso unitario sumergido del suelo, lb/pie³

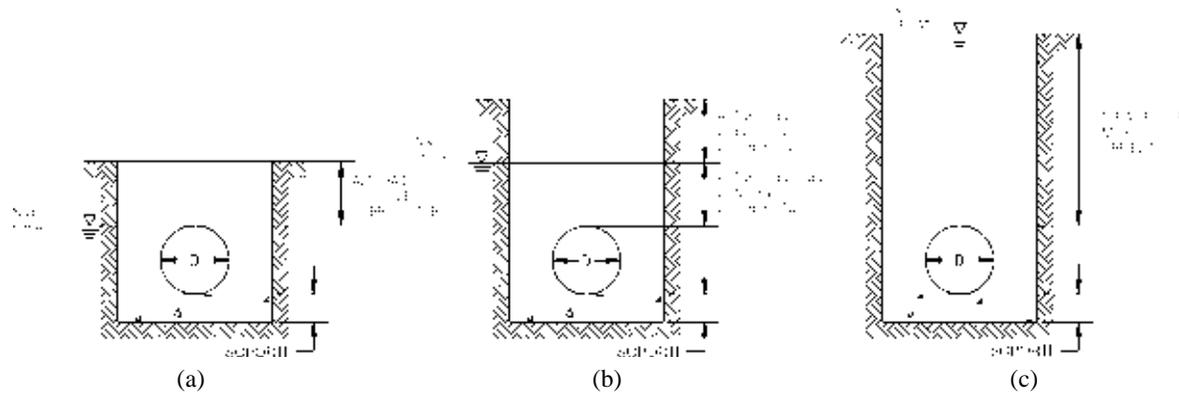


Figura 1: Ilustración de las profundidades mínimas de relleno para tubería flexible con el manto freático ubicado en (a) sobre la tubería, (b) entre la parte superior de la tubería y la superficie, y (c) en la superficie.

Las alturas típicas ($W_{\text{tubería}}$) y Diámetros Exteriores de tubería ADS N-12 para diámetros 12" – 60" se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Alturas Típicas y Diámetros Exteriores de la tubería ADS N-12		
<i>Diámetro Nominal, Pulg.</i>	<i>Pulg. Diám. Ext., Promedio</i>	<i>Peso (lb/pies)</i>
12	14.45 (1.20)	3.19
15	17.57 (1.46)	4.63
18	21.20 (1.77)	6.43
24	27.80 (2.32)	11.02
30	35.10 (3.01)	16.08
36	41.70 (3.54)	21.14
42	47.70 (3.90)	26.43
48	52.70 (4.39)	34.14
60	65.50 (5.46)	56.16

La profundidad mínima necesaria (H) para resistir el levantamiento puede calcularse de las Ecuaciones 3 y 4.

$$U = W_{\text{tierra}} + W_{\text{tubería}} \quad (3)$$

Donde $W_{\text{tubería}}$ = peso de la tubería, lb/pie lineal de tubería

$$H = H_{\text{seco}} + H_{\text{sub}} \quad (4)$$

El diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 2 ilustra gráficamente a la Ecuación 3.

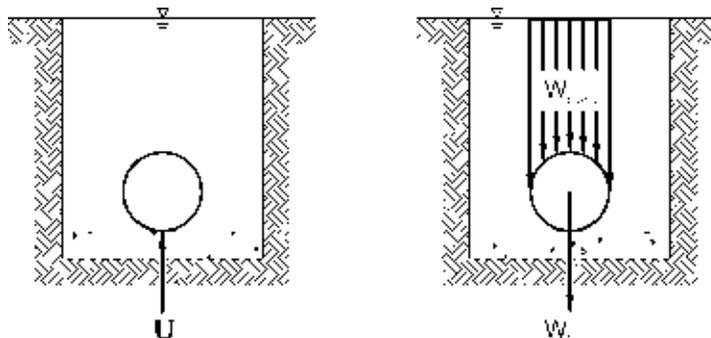


Figura 2: Diagrama de cuerpo libre del levantamiento hidrostático con el manto freático ubicado en la superficie.

Ejemplo 1: Calcular la profundidad mínima necesaria para evitar que flote un tubo de 48" N-12 cuando el manto freático está en la superficie. Los pesos unitarios para el suelo seco y saturado son 110 lb/pié³ y 130 lb/pié³, respectivamente.

Solución: $W_{\text{tubería}} = 32.0 \text{ lb/pié}$ (de la Tabla 2)

$$U = \frac{\pi}{4} (4.39)^2 (62.4) = 944.5 \text{ lb/ft}$$

El manto freático está en la superficie, entonces la Figura 1 (c) aplica. Ya que $H_{\text{seco}} = 0$, el primer término en la Ecuación 2 se elimina:

$$\therefore W_{\text{tierra}} = (130 - 62.4) [H_{\text{sub}} + (0.1073)(4.39)] (4.39) = 296.8 H_{\text{sub}} + 139.8$$

De la Ecuación 3: $944.5 = 296.8 H_{\text{sub}} + 139.8 + 32.0$
 $\therefore H_{\text{sub}} = 2.60 = 31.2''$ (utilice 32)

Finalmente, calcule la profundidad mínima de la Ecuación 4: $H = H_{\text{sub}} = \underline{32}$

Comparando, la CMP y RCP de 48", requieren 29" y 9", respectivamente para neutralizar las fuerzas de levantamiento hidrostático. Esto muestra que las propiedades de flotación de la N-12 son muy cercanas a las de la CMP; y que la RCP puede flotar cuando es sujeta a las condiciones correctas in-situ.

Los cálculos anteriores son conservadores. El ángulo de fricción interna de la tierra, ϕ , y el coeficiente de esfuerzo lateral del suelo, K_0 , no se toman en cuenta en las ecuaciones anteriores. Es mejor dejar esos parámetros al ingeniero geotécnico. Si se agregaran dichos parámetros a las ecuaciones anteriores, la profundidad requerida se reduciría.

La Figura 3 ilustra las profundidades mínimas requeridas para evitar el levantamiento hidrostático de la tubería N-12, para diferentes profundidades del manto freático. Para obtener esta grafica, δ_{seco} fue tomado como 110lb/pié³, δ_{sat} fue 130 lb/pié³ y el factor de seguridad (FS) fue 1.

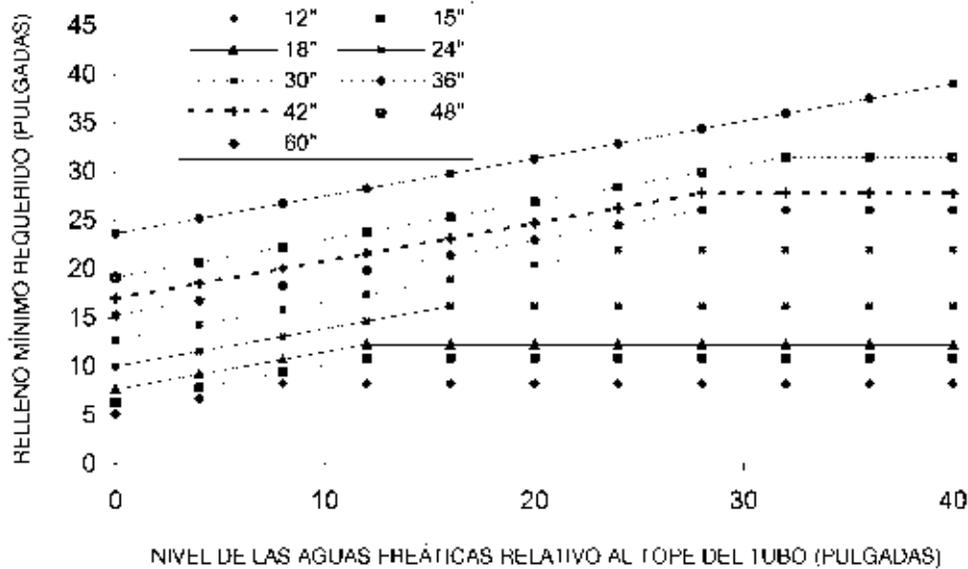


Figura 3: Cubierta mínima de tierra requerida para evitar la flotación de la tubería a diferentes profundidades del manto freático.

Si no puede obtenerse un relleno con la altura adecuada para evitar la flotación de la tubería, debe elegirse un método alternativo para estabilizar la tubería. En la Figura 4 se muestran algunos ejemplos.

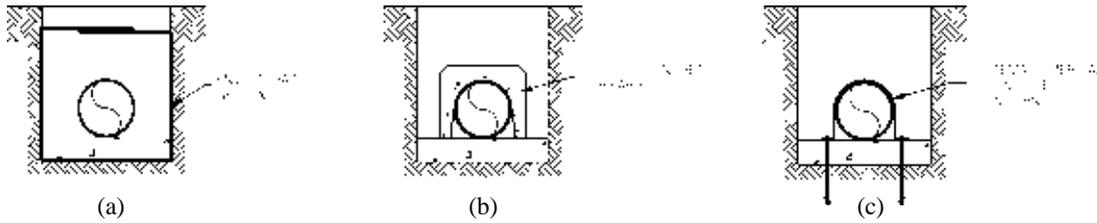


Figura 4: Alternativas para la estabilización de tubería utilizando (a) una envoltura geotextil, (b) pesos de concreto, y (c) anclas de tornillo.

II.) Levantamiento debido a relleno CLSM

El material controlado de baja resistencia (CLSM) es un relleno fluido que generalmente está compuesto de Cemento Pórtland, arena, agua y ceniza volante. El levantamiento debido al relleno CLSM puede calcularse con la Ecuación 5.

$$U = \frac{A_{\text{disp}} \delta_{\text{CLSM}}}{144} \tag{5}$$

donde A_{disp} = área de la tubería desplazada por CLSM, pulg.²
 δ_{CLSM} = 150lb/pié³
 U está en lb/pulg.

Puede verse fácilmente que la fuerza de levantamiento debida a CLSM es de una magnitud de más del doble que la del levantamiento hidrostático debido al manto freático, debido a la gran diferencia entre sus pesos unitarios. Cuando se rellene con CLSM, la ausencia de sobrecarga de tierra ocasionará que la tubería flote ya que el peso de la tubería no equilibra a la fuerza de levantamiento debida a CLSM. Por lo tanto, la tubería debe anclarse para conservarla en su posición original. Esto se realiza comúnmente ya sea anclando barras siguiendo un patrón cruzado por encima de la tubería y dentro de las paredes de la zanja, o utilizando material nativo o material CLSM seco como anclajes. La Figura 5 ilustra el escenario mas crítico, aquel que produce la más grande deflexión vertical entre los soportes. La Ecuación 6 calcula la deflexión máxima experimentada por la tubería a una distancia de 0.479L desde el punto A o B.

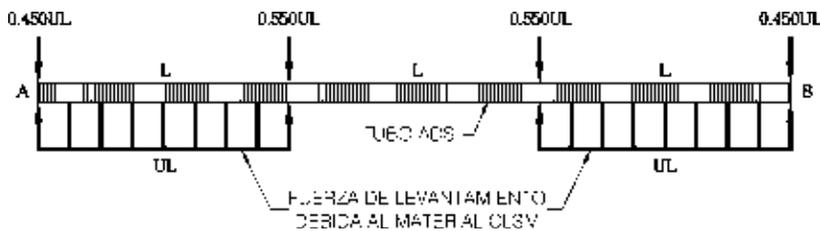


Figura 5: Diagrama de cuerpo libre del caso crítico de levantamiento CLSM en un tramo de tubería ADS.

$$\Delta_{\text{max}} = 0.01 \frac{UL^4}{EI} \tag{6}$$

Donde L = longitud de la tubería entre anclas, pulg.
 E = Módulo de Elasticidad de la Tubería HDPE (Polietileno de alta densidad) = 1.1×10^5 lb/pulg.²
 I = Momento de Inercia de la tubería, pulg.⁴
 0.450UL & 0.550UL = Fuerzas de fijación debidas a las anclas.

Para este análisis, hemos seleccionado una deflexión vertical máxima (Δ_{\max}) de 1/8" para todos los diámetros de tubería. Por lo tanto, al despejar L, se obtiene:

$$L = \left(\frac{\Delta_{\max} EI}{0.01U} \right)^{1/4} \quad (7)$$

La Figura 6 muestra el espaciamiento entre anclas contra la altura del relleno CLSM para tuberías N-12 tamaños 12" –60". El espaciamiento máximo entre los soportes de tubería para todos los diámetros de tubería N-12, no debe exceder los 10', aunque en la tubería de N-12 HC, debido a sus perfiles estables y valores "I" elevados, pueden colocarse los soportes con separaciones mayores sin exceder la deflexión vertical de 1/8". De esta manera, la tubería puede sujetarse en cada junta y en el punto medio de cada tramo de tubería para asegurar una estabilización adecuada.

Después de determinar el espacio entre anclas de tubería, debe elegirse el tipo de ancla basándose en las fuerzas de fijación requeridas, las cuales se dan de las reacciones en el diagrama de la Figura 5. La fuerza de fijación mínima requerida ($0.550UL$) graficada contra el diámetro de la tubería se ilustra en la Figura 7.

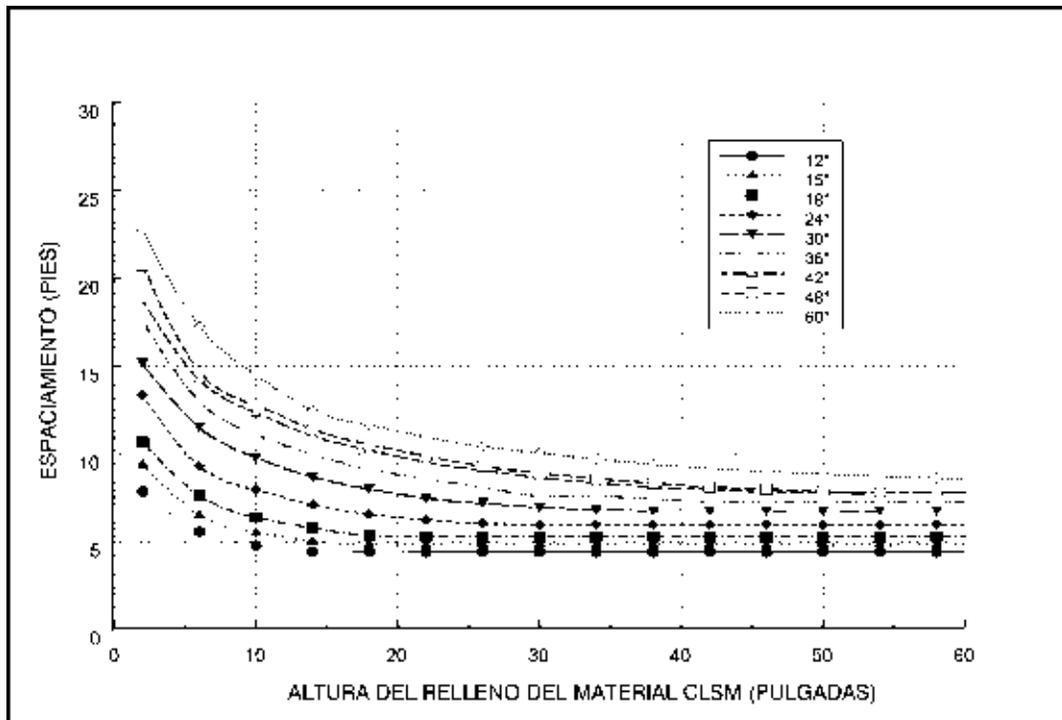


Figura 6: Espaciamiento entre anclas contra altura del relleno CLSM.

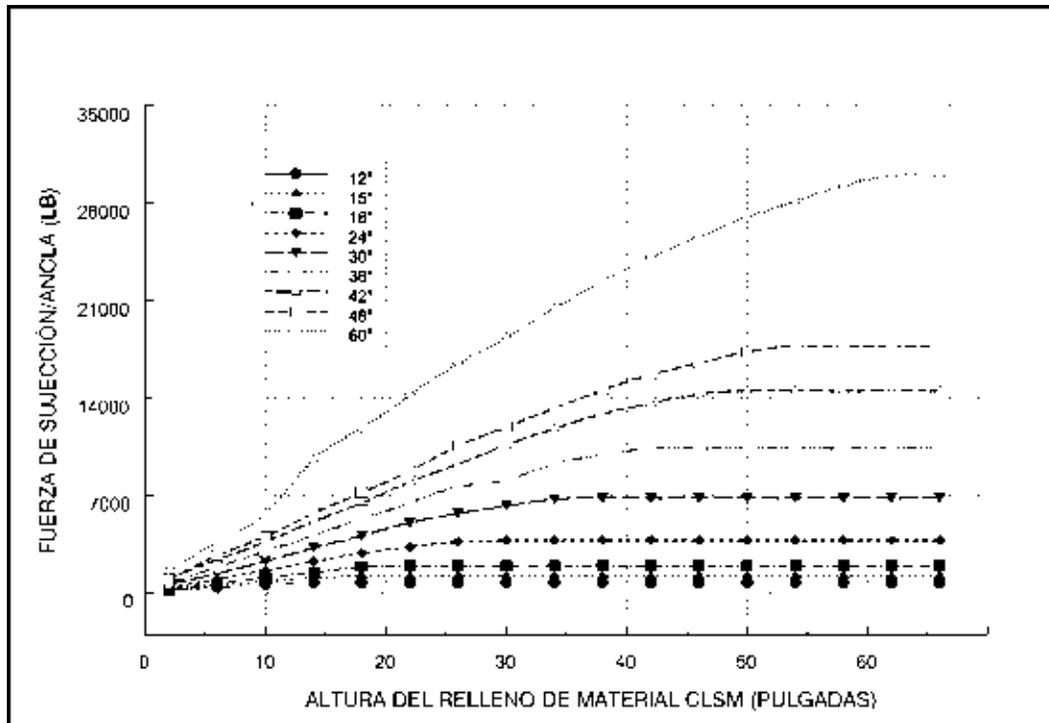


Figura 7: Fuerza de fijación por ancla para aplicaciones donde se utilice relleno CLSM

CONCLUSIÓN

De la discusión anterior puede notarse que en muchos ejemplos la flotación de la tubería puede manejarse simplemente con una altura de relleno adecuada, y en aquellas situaciones donde no pueda lograrse lo anterior, se dispone de métodos alternativos para fijar la tubería. Incluso bajo las condiciones de las grandes fuerzas de levantamiento producidas por CLSM, el nivel de la plantilla de la tubería y su alineación pueden mantenerse utilizando anclas.

