

NOTA TÉCNICA

Flotación de Tuberías

NT 5.05
Diciembre 2010

Introducción

El poco peso que presenta una tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) hace que sea muy atractivo trabajar con ellas debido a la facilidad de manejo e instalación, pero este beneficio produce que las tuberías termoplásticas sean propensas a la flotación. Todas las tuberías, incluyendo las de hormigón y acero corrugado, son propensas a la flotación bajo ciertas condiciones. Cuando la fuerza de empuje producida por un material fluido sobre la tubería es mayor que su propio peso más la sobrecarga, ésta flotará. Cuando hay posibilidades de flotación es vital realizar una instalación adecuada y/o un anclaje correcto de la tubería. En este documento se provee un análisis sobre las alturas de recubrimiento mínimo para prevenir la flotación de las tuberías corrugadas de polietileno de alta densidad entre 100 y 1500 mm de diámetro (4" a 60"). Las fuerzas de empuje ejercidas por rellenos fluidos como Material de Baja Resistencia Controlada (CLSM: Controlled low strength material, en inglés) también será discutido.

Fuerza de Empuje Hidrostática Debido a una Alta Napa Freática

La flotación se convierte en un problema cuando las aguas subterráneas invaden la zona de la tubería. Para proyectos donde se prevé la presencia de napa freática o agua alrededor de la tubería, se deben tomar precauciones para prevenir su flotación. Proporcionar una cantidad mínima de recubrimiento contribuirá a evitar la flotación de la tubería.

La fuerza hidrostática de empuje vertical, U , producto de la napa freática, puede ser fácilmente calculada con la Ecuación (1):

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

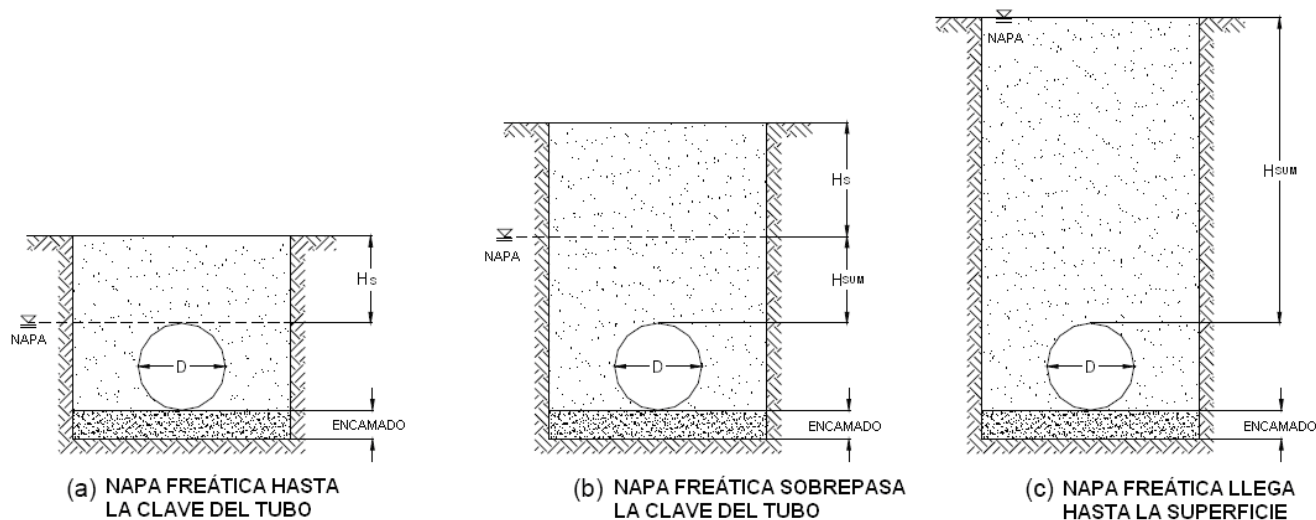
donde U = lb/ ft lineal de tubo
 D = diámetro externo del tubo, en pies (ft)
 δ_w = peso unitario del agua = 62.4 lb/ft³

La fuerza de empuje debe ser balanceada con la carga del relleno y el peso de la tubería para asegurar que ésta no flote. Las cargas de relleno experimentadas por la tubería a distintas alturas de napa freática (W_{suelo}) pueden ser calculadas mediante la Ecuación (2). La Figura 1 ilustra cada uno de los tres casos posibles de observar en terreno en instalaciones donde la flotabilidad se convierte en un asunto a considerar, y aclara también todos los parámetros de la Ecuación (2).

$$W_{\text{suelo}} = \delta_s H_s D + (\delta_{\text{sat}} - \delta_w)(H_{\text{sub}} + 0.1073D)D \quad (2)$$

where W_{suelo} = peso de sobrecarga del suelo, lb/ft lineal de tubo
 δ_s = peso unitario seco del suelo, lb/ft³
 H_s = profundidad del suelo seco, ft.
 H_{sub} = profundidad del suelo sumergido sobre la clave de la tubería, ft.
 δ_{sat} = peso unitario del suelo saturado, lb/ft³
 $\delta_{\text{sat}} - \delta_w$ = peso unitario del suelo sumergido, lb/ft³

Figura 1
Condiciones de instalación con posibilidad de flotación de tuberías Tigre-ADS



Los pesos típicos de tuberías Tigre-ADS N-12 (W_{tubo}) y valores promedio de su diámetro externo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Peso Aproximado y Diámetro Externo Promedio de Tuberías Tigre-ADS

Diámetro Nominal, mm (pulg.)	Diámetro Exterior, mm (pulg.)	Peso Lineal Tubo, lb/ft
100 (4")	120 (4.8")	0.45
150 (6")	176 (6.9")	0.85
200 (8")	232 (9.1")	1.55
250 (10")	290 (11.4")	2.3
300 (12")	367 (14.5")	3.3
375 (15")	445 (17.5")	4.6
450 (18")	545 (21.5")	6.6
600 (24")	717 (28.3")	11.0
750 (30")	900 (35.5")	16.1
900 (36")	1054 (41.5")	17.9
1000 (40")	1148 (45.2")	24.3
1200 (48")	1367 (53.8")	34.2
1500 (60")	1712 (67.4")	45.2

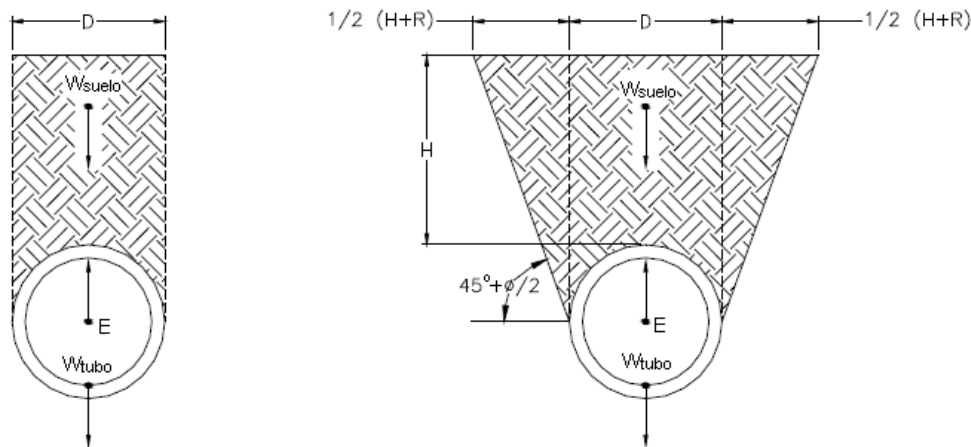
La altura mínima de recubrimiento (H) requerida para resistir la flotación puede ser calculada igualando la suma de las fuerzas verticales másicas actuando sobre la tubería con las fuerzas de flotación. Si bien existen diferentes métodos para considerar la distribución de la carga de suelo sobre la tubería, para un recubrimiento mínimo conservador, la carga del suelo se supone como la columna de suelo directamente sobre el diámetro exterior del tubo, según se ilustra en la Figura 2(a). Así, el recubrimiento mínimo se calcula utilizando las Ecuaciones (3) y (4)

$$U \leq W_{suelo} + W_{tubo} \quad (3)$$

donde W_{tubo} = peso lineal de la tubería, en lb/ft, (ver tabla 1)

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

Figura 2
Fuerzas que Afectan la Flotación



(a) Condición de Columna de Carga del Suelo

(b) Condición de Carga Prismática

La Tabla 2 a continuación provee información sobre los recubrimientos mínimos requeridos para prevenir la flotación de las tuberías corrugadas TIGRE-ADS, N-12 estándar.

Tabla 2
Recubrimiento Mínimo Recomendado* para Prevenir la Flotación de Tubos Tigre-ADS**

Diámetro Nominal, mm(pulg.)	Recubrimiento Mínimo (pulg.)	Recubrimiento Mínimo (mm)	Diámetro Nominal, mm(pulg.)	Recubrimiento Mínimo (pulg.)	Recubrimiento Mínimo (mm)
100 (4")	2,9	75	600 (24")	17,4	442
150 (6")	4,2	108	750 (30")	21,8	554
200 (8")	5,6	142	900 (36")	25,5	648
250 (10")	7,0	178	1000 (40")	27,8	705
300 (12")	8,9	226	1200 (48")	33,1	840
375 (15")	10,8	273	1500 (60")	41,4	1052
450 (18")	13,2	336			

*) Para fines estructurales, se requiere un recubrimiento mínimo de 30 cm para las tuberías de hasta 1200 mm de diámetro, y 60 cm mínimo para tuberías de 1500 mm.

**) Las recomendaciones de recubrimiento mínimo asumen tubería Tigre-ADS N-12 estándar, y una configuración de carga del suelo según se muestra en la Figura 2a.

Para calcular los recubrimientos mínimos que aparecen en la Tabla 2, se utilizaron los siguientes supuestos.

1. Se asume que la tubería está vacía. Esto no solamente simplifica los cálculos, sino que es conservador porque la tubería vacía es más propensa a flotación. Esta condición es poco probable encontrarla en una instalación real.
2. El diámetro exterior de la tubería corrugada fue usado para determinar la carga de suelo y el agua desplazada.
3. La densidad del suelo saturado usada fue 130 lb/ft³, el cual es un valor típico para una variedad de mezclas de suelos saturadas. Suelos con mayor densidad reducirán la probabilidad de flotación.
4. Se asume una condición de napa freática hasta la superficie del suelo, tal como se muestra en la Figura 1(c), simulando un suelo totalmente saturado. Con este supuesto se crea el caso más desfavorable, por lo para generar resultados más conservadores.

Para aplicaciones donde las condiciones de instalación son diferentes a las expuestas, la posibilidad de flotación debe ser revisada en base a las condiciones específicas de cada proyecto.

Ejemplo: Calcular el recubrimiento mínimo requerido para prevenir la flotación de una tubería TIGRE-ADS N-12 de 48" de diámetro, cuando la napa freática llega hasta la superficie. El peso unitario del suelo seco y saturado son 110 lb/ft³ y 130 lb/ft³, respectivamente.

Solución:

$$U \leq W_{suelo} + W_{tubo}$$

$$W_{tubo} = 34.2 \text{ lb/ft (de Table 1)}$$

$$U = \frac{\pi}{4} (4.5)^2 (62.4) = 992.4 \text{ lb/ft}$$

Considerando que la napa freática llega hasta la superficie, por lo tanto aplica la Figura 1(c). Tenemos que $H_s = 0$, por lo tanto el primer término de la Ecuación (2) es cero:

Así,

$$W_{\text{suelo}} = (130 - 62.4)[H_{\text{sub}} + (0.1073)(4.5)](4.5) + 34.2 = 304.2 H_{\text{sub}} + 146.9 + 34.2$$

La Ecuación 3 queda: $992.4 = 304.2 H_{\text{sub}} + 181.1$

Por lo tanto: $H_{\text{sub}} = 2.67' = 32.1''$ (usar 33'')

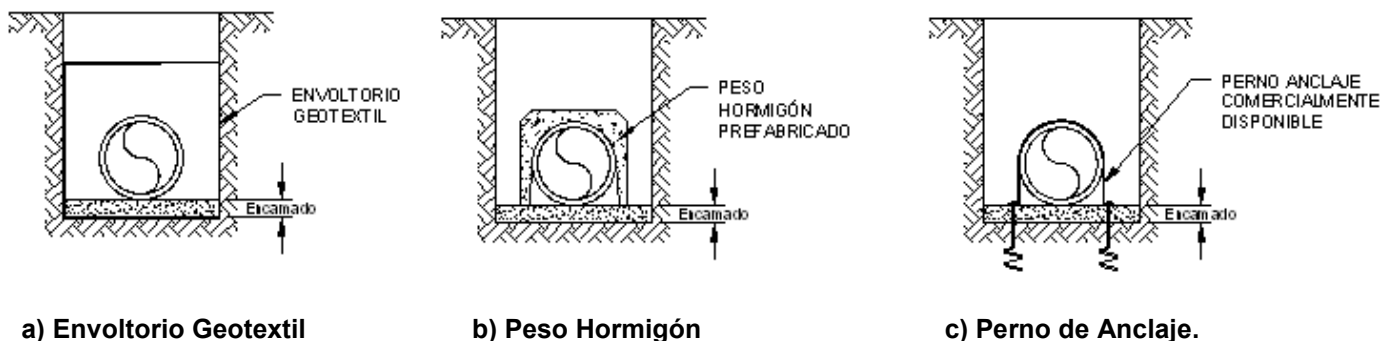
Finalmente, calculando el recubrimiento mínimo de la Ecuación (4):

$$H = H_{\text{sub}} = \underline{\underline{33 \text{ pulgadas}}}$$

El cálculo anterior es conservador dado que el ángulo de fricción interna del suelo, ϕ , y el coeficiente de esfuerzo lateral del suelo, K_o , no están siendo considerados. La definición de estos parámetros deben dejarse en manos del ingeniero geotécnico. Si estos parámetros fuesen incluidos en los cálculos anteriores, la altura de recubrimiento requerida se reduciría.

Si no se puede obtener un recubrimiento adecuado para prevenir la flotación, se debe seleccionar un método de estabilización alternativo. Algunos ejemplos de otros métodos son mostrados en la Figura 3.

Figura 3
Alternativas de Estabilización de Tuberías



Flotación Debido a Rellenos Fluidos

Los materiales de Resistencia Baja Controlada (CLSM, Controlled Low Strength Material, en inglés) son un tipo de relleno fluido que consiste principalmente en suelo cemento, arena, agua y cenizas volantes. El empuje vertical puede ser calculado mediante la Ecuación (5):

$$U = \frac{A_{desp} \delta_{CLSM}}{144} \quad (5)$$

donde, A_{desp} = Área del Tubo desplazada por el CLSM, pulg²
 δ_{CLSM} = Peso Específico del CLSM, lb/ft³
 U = Empuje Vertical debido al Relleno CLSM, lb/ft

Dada la gran diferencia en los pesos específicos del agua y el CLSM, la fuerza de flotación ejercida por el CLSM puede ser hasta dos veces mayor que la fuerza de flotación hidrostática. Cuando se utiliza CLSM, la ausencia de carga de suelo de recubrimiento produce que la tubería flote, por lo tanto, ésta debe ser anclada para mantenerla con su alineamiento y pendiente adecuados. Comúnmente, esto se realiza mediante el anclaje de barras de refuerzo en forma de X sobre la parte superior de la tubería y en las paredes laterales de la zanja, utilizar CLSM seco como anclaje, u otro sistema de anclaje disponible en el mercado.

El espaciamiento de los anclajes puede variar según el diámetro de la tubería, la altura de las capas de colocación del CLSM y el tipo de anclaje. El proyectista debe considerar estos factores para asegurar la posición correcta de la tubería en la zanja durante la colocación del relleno fluido. El espacio máximo entre anclajes no debiese superar los 3 metros, de modo de que la tubería al menos quede anclada en cada junta y en el punto medio de cada una de las tiras (de largo estándar 6 m), para asegurar una adecuada estabilización.

Después de determinar el espaciamiento entre anclajes, se debe escoger el tipo de anclaje basado en los esfuerzos que deben soportarse para prevenir la flotación. Dada la variación de mezclas de CLSM, de los pesos específicos del terreno y de las fuerzas de anclaje utilizadas, es el ingeniero geotécnico quien debe evaluar las condiciones particulares del proyecto para determinar tipo y espaciamiento de los anclajes para evitar la flotación.

Conclusiones

Muchas veces, la flotación puede abordarse y evitarse con un recubrimiento adecuado. En aquellas situaciones donde no se pueda lograr un recubrimiento apropiado, existen métodos alternativos para prevenir la flotación. Incluso bajo las condiciones de colocación de un relleno fluido, un anclaje adecuado permite mantener el alineamiento y la pendiente correctos.