

EFECTOS TÉRMICOS

Como respuesta a los cambios de temperatura la tubería de polietileno sin anclajes tendrá un cambio de longitud. La tubería anclada o restringida desarrollará un esfuerzo longitudinal en lugar de sufrir un cambio en su longitud. Este esfuerzo será de tensión cuando la temperatura disminuye y será de compresión cuando la temperatura aumenta. Si el nivel del esfuerzo a compresión, supera la resistencia del tubo al aplastamiento por la altura del relleno, en la sección anclada o restringida, entonces se podría tener un tubo colapsado de manera lateral. A pesar de que el esfuerzo térmico es bien tolerado por la tubería de polietileno, una tubería anclada o restringida puede añadir un esfuerzo adicional a las estructuras que hacen el anclaje. Por lo que las estructuras de anclaje deberán de ser diseñadas para resistir estos efectos térmicos y las cargas generadas que pueden ser significantes, especialmente durante la contracción por temperatura.

Efectos termicos sin Reestricción

El cambio en la longitud teórica para una tubería sin restricción en una superficie sin fricción es:

$$\Delta L = L \alpha \Delta T$$

Donde:

ΔL = cambio de longitud, pulgadas

L = longitud de la tubería, pulgadas

α = coeficiente de expansión térmico, pulgadas / pulgadas / ° F,
= aproximadamente 9.0×10^{-5} pulgadas / pulgadas / ° F para
DriscoPlex™ PE 3408

ΔT = cambio de temperatura, ° F

Una regla aproximada “de dedo” es 1/10/100, esto es que habrá un cambio de 1 pulgada, por cada 10° F de variación, por cada 100 pies de tubería. Este es un cambio significativo de longitud, si lo comparamos con otros materiales de tubería y deberá ser tomado en cuenta cuando se diseña una línea sin restricciones; como las que operan en la superficie o soportada en estructuras. Un aumento en la temperatura producirá en un incremento en la longitud de la tubería y una disminución en la temperatura originará una disminución en la longitud.

Efectos Térmicos en la Tubería anclada o sujeta

Un segmento de tubo que esta sujeto o anclado en ambos extremos y que esta sujeto a una disminución de la temperatura aplicará cargas a tensión importantes en los elementos de sujeción. El esfuerzo de contracción térmico puede ser determinado usando:

$$\sigma = E \epsilon \Delta T$$

Con los términos iguales a la fórmula anterior y:

σ = Esfuerzo longitudinal en la tubería, psi

E = módulo elástico, psi (Tabla 11)

La selección del módulo elástico puede tener un gran impacto en el esfuerzo calculado. Cuando se determina el intervalo de tiempo adecuado, considere que la transferencia de calor ocurre en un plazo bastante lento a través de las paredes de la tubería de polietileno, por lo que los cambios de temperatura no ocurren rápidamente. Entonces, la temperatura promedio es la que se selecciona cuando se elige el módulo elástico.

Mientras el esfuerzo de tensión longitudinal va aumentando en la pared de la tubería, una carga de empuje se crea en las estructuras de sujeción de los extremos. Esta carga puede ser bastante significativa y puede ser determinada usando:

$$F = \sigma A$$

Donde los términos son los mismos que las formulas anteriores y:

F = Fuerza de empuje en los extremos, lb

A = Área de la sección transversal de la tubería, in²

Tabla 11 Módulos Elásticos Típicos para DriscoPlex™ PE 3408

Duración de la Carga	Módulo elástico †, 1000 psi (MPa), a Temperatura, ° F (° C)							
	-20 (-29)	0 (-18)	40 (4)	60 (16)	73 (23)	100 (38)	120 (49)	140 (60)
Corto-Tiempo	300.0 (2069)	260.0 (1793)	170.0 (1172)	130.0 (896)	110.0 (758)	100.0 (690)	65.0 (448)	50.0 (345)
10 h	140.8 (971)	122.0 (841)	79.8 (550)	61.0 (421)	57.5 (396)	46.9 (323)	30.5 (210)	23.5 (162)
100 h	125.4 (865)	108.7 (749)	71.0 (490)	54.3 (374)	51.2 (353)	41.8 (288)	27.2 (188)	20.9 (144)
1000 h	107.0 (738)	92.8 (640)	60.7 (419)	46.4 (320)	43.7 (301)	35.7 (246)	23.2 (160)	17.8 (123)
1 Año	93.0 (641)	80.6 (556)	52.7 (363)	40.3 (278)	38.0 (262)	31.0 (214)	20.2 (139)	15.5 (107)
10 Años	77.4 (534)	67.1 (463)	43.9 (303)	33.5 (231)	31.6 (218)	25.8 (178)	16.8 (116)	12.9 (89)
50 Años	69.1 (476)	59.9 (413)	39.1 (270)	29.9 (206)	28.2 (194)	23.0 (159)	15.0 (103)	11.5 (79)

† valores típicos basados en pruebas de especímenes moldeados según ASTM D 638.

Las tuberías de polietileno son flexibles y no transmiten la fuerza de compresión muy bien. Cuando la temperatura aumenta, la tubería usualmente se moverá lateralmente (“serpenteado”) antes de desarrollar fuerzas de compresión en las sujeciones estructurales. Los movimientos laterales pueden ser estimados por:

$$y = L \sqrt{(\alpha \Delta T) / 2}$$

Donde:

y = deflexión lateral, pulgadas

L = distancia entre los extremos, pulgadas

α = coeficiente de expansión térmico, pulgadas / pulgadas / ° F,

ΔT = cambio de temperatura, ° F

Una tubería larga y semi-restringida, puede moverse en cualquier de los dos lados de la línea central. El movimiento total sería:

$$Y_T = 2(\Delta y) + D$$

Los términos son los mismos a la fórmula dada y:

Y_T = deflexión total, pulgadas

D = diámetro de la tubería, pulgadas

Para minimizar los esfuerzos de carga en las sujeciones o para controlar hacia que lado (del centro) la tubería se va a doblar, se puede inducir una deflexión inicial para que esta no regrese a una posición recta a la temperatura mínima esperada. Igualmente, durante la expansión térmica, una tubería flexionada (“serpenteada”) requiere una fuerza menor a la estimada para continuarse flexionando. Al momento de la instalación se deberá considerar la diferencia de temperaturas esperada entre la de instalación y la mínima estimada. Usando este cambio de temperatura y la distancia entre los puntos de sujeción, determine la deflexión lateral, e instale la tubería con esta deflexión lateral calculada adicional a la deflexión lateral mínima especificada por el diseñador.

Se debe tener mucho cuidado para asegurar que la deflexión por expansión térmica no resulte en un rizo de la tubería al girarse. La curvatura por flexión originada por la expansión térmica no deberá de mas cerrada que el radio de curvatura mínimo para doblado de la tubería en frío. Ver tabla 26.

Juntas de Expansión

En general, las juntas de expansión no son recomendadas para usarse en tuberías de polietileno, especialmente en tuberías presurizadas. Si se usan, dichas juntas deberán de ser específicamente diseñadas para usarse en estas tuberías, y deberán de trabajar con fuerzas longitudinales muy bajas y permitir grandes movimientos. Las juntas de expansión que son usadas con tuberías de otros materiales, no son recomendadas para el polietileno por diferentes razones. (1) La distancia de expansión de estas piezas es normalmente insuficiente para el polietileno. (2) La fuerza requerida para activar las juntas puede ser demasiada, el PE genera fuerza muy pequeñas que antes hacer trabajar la junta pueden dañar al mismo tubo. (3) Las juntas de expansión para servicio presurizado pueden tener componentes internos y al trabajar con la presión generarán fuerzas adicionales en los extremo de la tubería. La tubería de PE tiene un resistencia baja a los esfuerzos en los extremos de sujeción y lo mas seguro es que se doblara hacia los lados (“serpentear”) antes de comprimir las juntas de expansión. Contacte al fabricante de las juntas de expansión antes de usarlas en tubería de PE.

Transferencia de Calor

La tubería de polietileno puede ser calentada con traza de calor, aislada o ambas. La temperatura estará controlada para mantener la temperatura a los niveles máximos recomendados de dichas trazas de calor (máximo 120° F) y deberán de ser aplicadas con cinta metálica sensitiva a la presión sobre la tubería. La cinta metálica ayuda a distribuir el calor en la superficie de la tubería.

Términos de conductividad térmica:

C = conductancia térmica, BTU / (hr - ft² - °F)

$$C = k / t = 1 / R$$

t = espesor, pulgadas

Tabla 12 Propiedades Térmicas Típicas para DriscoPlex™ HDPE

<i>Propiedad</i>	<i>Referencia ASTM</i>	<i>Valor Nominal</i>
Conductividad Térmica, k	C 177	3.5 BTU / (hr - ft ² - °F)/in
Resistencia Térmica, R (1 espesor)	-	0.3 (hr - ft ² - °F) / BTU

SOPORTES SUPERFICIALES.

Las aplicaciones superficiales frecuentemente requieren soportes que no son continuos para la tubería de polietileno DriscoPlex™. Aplicaciones como esta usualmente involucran racks o "mochetas" para la tubería, de forma deslizante, o suspendido de una estructura. En tales casos la tubería deberá de ser soportada correctamente, los movimientos generados por la expansión y contracción térmica deberán de ser considerados, así como el espaciamiento de los soportes deberá limitar la deflexión vertical entre los apoyos.

Los soportes para la tubería DriscoPlex™ deben de cubrir al menos 120° de la parte inferior de la tubería, y de un ancho cuando menos de un medio del diámetro de la tubería. Los filos y esquinas deberán de ser redondeados o cubiertos para prevenir un efecto de corte en la tubería. Los soportes comerciales como los U-BOLTS, los ganchos de cinta delgada, y los soportes de tipo rodillo no son recomendados a menos de que sean modificados para cumplir con las especificaciones de ancho y cobertura. El peso de la tubería y su contenido deberán de ser distribuidos sobre una superficie amplia. Los soportes angostos pueden concentrar grandes cantidades de esfuerzo, lo que puede originar a una falla de la tubería. En las figuras 1 y 2 se muestran algunos soportes y los ganchos.

Fig. 1 Soporte para Tuberías

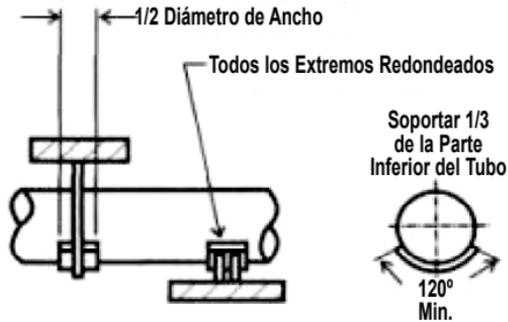
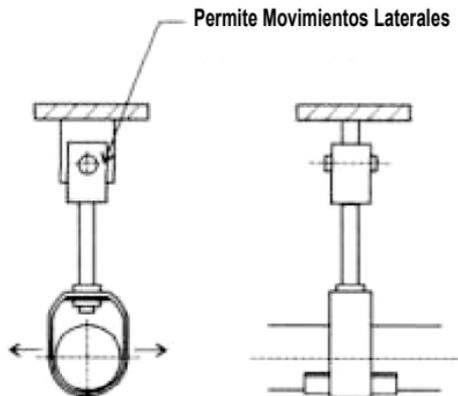


Fig. 2 Soporte Colgante de Tubería



Espaciamiento de los Soportes

El espaciamiento de los soportes depende de las deflexiones aceptables entre soportes, y esto a su vez depende de la tubería, el fluido en ella, y de la temperatura de servicio. Performance Pipe recomienda que la deflexión aceptable entre soportes a largo plazo, no debe de exceder 1". El espaciamiento recomendado puede ser determinado por:

$$L_S = \sqrt[4]{((384 E I y_S) / 5 (W_p + W_f))}$$

L_S = distancia entre los soportes, in

E = módulo a largo plazo para la temperatura de servicio, lb/in²
(Ver Tabla 11)

I = momento de la inercia, in⁴

y_S = deflexión entre los soportes, in

W_p = peso de la tubería, lb/in

W_f = peso del fluido en la tubería, lb/in

Cada soporte en la tubería esta cargado en ambos lados. Cuando los soportes en una línea están igualmente espaciados, la carga en los soportes será:

$$W_R = L (W_p + W_f)$$

Donde:

W_R = Carga en los soportes, Libras.

Cuando los soportes están en el principio o al final de la línea, estos solo están cargados de un lado, entonces la carga en estos soportes será:

$$W_E = L(W_p + W_f)/2$$

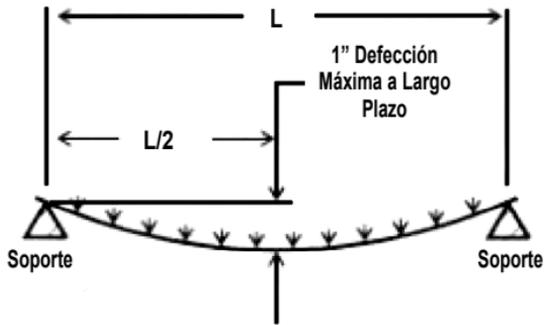
Donde:

W_E = Carga en los soportes de los extremos, Libras.

Los valores para el espaciado de los soportes estan dados en la tabla 13, y fueron determinados usando una deflexión de 1" en tubería DriscoPlex™ PE 3408, llenas con agua a 73° F (23° C)

El espaciamiento de los soportes podrá ser mayor a temperaturas bajas y cuando la tubería no está completamente llena o el fluido dentro de ella es más ligero que el agua (gases, etc). El espaciamiento será menor para temperaturas altas y para fluidos que son más pesados que el agua (salmueras, lodos, etc.). Las formulas para el espaciamiento en esta sección o en el Manual de Ingeniería de Performance Pipe (PP-900) pueden de ser usadas cuando las condiciones sean diferentes a las de la tabla 13.

Figura 3 Espaciado de Soportes



**Tabla 13 Espaciamiento de Soportes para tuberías
DriscoPlex™ PE 3408 ◊**

Tamaño IPS	D. Ext in	Espaciado de Soportes, en Pies									
		RD 7.3	RD 9	RD 11	RD 13.5	RD 17	RD 21	RD 26	RD 32.5	RD 41	
2	2.375	5.3	5.1	4.9							
3	3.500	6.4	6.2	6.0	5.8	5.5	5.3				
4	4.500	7.3	7.0	6.8	6.5	6.3	6.0	5.7	5.4		
5	5.563	8.1	7.8	7.6	7.3	7.0	6.7	6.4	6.0		
6	6.625	8.8	8.5	8.3	7.9	7.6	7.3	6.9	6.6		
8	8.625	10.1	9.7	9.4	9.1	8.7	8.3	7.9	7.5		
10	10.750	11.2	10.9	10.5	10.1	9.7	9.2	8.8	8.4		
12	12.750	12.2	11.9	11.5	11.0	10.5	10.1	9.6	9.1		
14	14.000	12.8	12.4	12.0	11.5	11.0	10.6	10.1	9.6		
16	16.000	13.7	13.3	12.8	12.3	11.8	11.3	10.8	10.2		
18	18.000	14.5	14.1	13.6	13.1	12.5	12.0	11.4	10.9		
20	20.000	15.3	14.8	14.3	13.8	13.2	12.6	12.0	11.5		
22	22.000	16.1	15.6	15.0	14.5	13.8	13.2	12.8	12.0		
24	24.000	16.8	16.3	15.7	15.1	14.4	13.8	13.2	12.5		
26	26.000	17.5	16.9	16.3	15.7	15.0	14.4	13.7	13.1		
28	28.000		17.6	17.0	16.3	15.6	14.9	14.2	13.5		
30	30.000		18.2	17.6	16.9	16.1	15.4	14.7	14.0	13.3	
32	32.000		18.8	18.1	17.5	16.7	15.9	15.2	14.5	13.7	
34	34.000			18.7	18.0	17.2	16.4	15.7	14.9	14.2	
36	36.000			19.2	18.5	17.7	16.9	16.2	15.4	14.6	
42	42.000				20.0	19.1	18.3	17.4	16.6	15.7	
48	48.000				21.4	20.4	19.5	18.6	17.7	16.8	
54	54.000					21.7	20.7	19.8	18.8	17.8	

◊ El espaciamiento es para la tubería DriscoPlex™ PE 3408 llena de agua a 73° F (23° C). El espaciamiento cambiara si la temperatura o los fluidos son diferentes

DISEÑO DE LAS TUBERÍAS ENTERRADAS

El diseño de una tubería subterránea se basa en la interacción entre la tubería de polietileno y el terreno adyacente. Tanto la rigidez de la tubería como del terreno, determinan el diseño del relleno y el comportamiento de la aplicación.

El relleno y las fuerzas (dinámicas y estáticas) de la superficie causaran una deflexión vertical y horizontal en la tubería. Esta deflexión en la tubería moviliza las fuerzas de resistencia pasiva del relleno circundante, que a su vez limita dicha deflexión horizontal y balancea la carga vertical. Una mayor resistencia pasiva del relleno se da cuando el envolvente de tierra se vuelve más rígido, por lo que se tiene una menor deflexión. La mayoría de las tuberías de polietileno se consideran flexibles porque la tubería contribuye menos que el terreno circundante para resistir la deflexión.

Cuando se utiliza tubería de polietileno es importante verificar en cada aplicación, que el diseño sea adecuado para su instalación, esto incluye a la tubería y el relleno a usar. Performance Pipe publica información amplia sobre el diseño de tubería enterrada en su Manual de Ingeniería, PP-900 y puede ser aplicada para tuberías flexibles y rígidas. Debido a las complejidades de la interacción de la tubería-relleno, es importante contar con la asesoría de un ingeniero calificado, para el diseño de la tubería enterrada, según los requerimientos específicos de cada aplicación.

Las guías de diseño en el Manual de Ingeniería de Performance Pipe, PP-990 son complementarias con los estándares de instalación reconocidos en la industria para tuberías flexibles, como son los estándares ASTM D-2321 Practicas Estándar para la Instalación Subterránea de Tuberías Termoplásticas para Drenajes y otras Aplicaciones de Flujo por Gravedad y el ASTM D-2774 Practicas Estándar para la Instalación Subterránea de Tuberías Termoplásticas a Presión.

Flotación por nivel freático de Agua

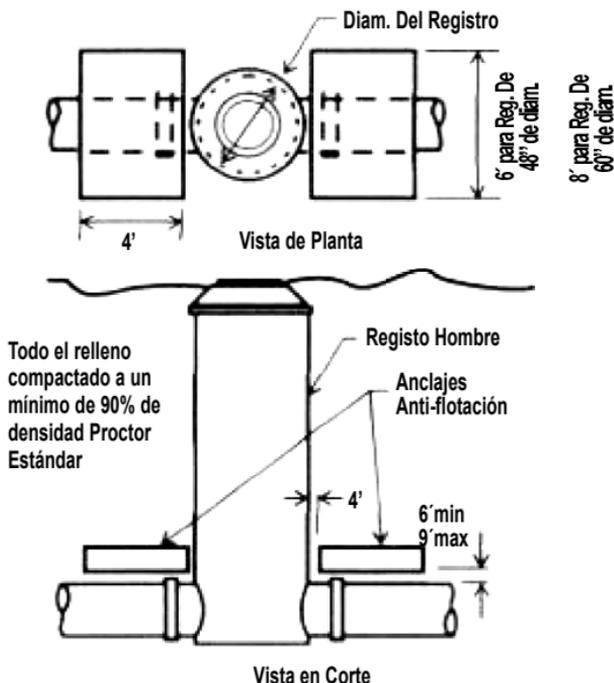
Una tubería o un registro-hombre enterrado pueden ser sujetos a flotación por el nivel freático del agua alrededor de la tubería. La tubería de polietileno es ligera y fácil de manejar e instalar, ya que su peso es más ligero, si lo comparamos con tuberías de metal o concreto, y por esta razón se hace necesario revisar su diseño para evitar que pueda flotar como consecuencia de altos niveles freáticos de agua.

Una regla “de dedo” es que cuando la tubería esta enterrada en un terreno normal saturado (aprox. 120 lb / ft³), con una profundidad de al menos una y media veces el diámetro del tubo, generalmente no estará sujeta a los efectos de flotación. Sin embargo, este efecto de flotación deberá de revisarse si se entierra en terrenos mas ligeros, o con una profundidad menor, o bien si se sabe que la tubería podrá tener bajos niveles de flujo durante temporadas de alto nivel freático.

Comparadas con las tuberías, los registro hombres son menos resistentes a los efectos de flotación porque la elevación de estos, elimina el prisma de carga del terreno que si existe en el caso de la tubería enterrada. En algunas condiciones de nivel freático, la resistencia creada por fricción de la tierra alrededor del registro, y el prisma de carga del terreno sobre las conexiones de salida, no son suficientes para prevenir la flotación, entonces se puede requerir de algún tipo de anclaje adicional en el registro.

Es posible usar placas de anclaje anti-flotación, estas son planchas de concreto reforzado que se colocan encima de las conexiones de salida de los registros hombre. Ver figura 4. Los anclajes proveen de peso adicional para contrarrestar la fuerza de flotación en la base del registro. Los anclajes anti-flotación serán instalados alrededor del registro y sobre las conexiones de salida. Dependiendo del diseño del registro y de sus conexiones, el anclaje anti-flotación puede usar unos anillos alrededor del registro y encima o debajo de las conexiones, y luego aplicando una placa de concreto anti-flotación encima del collarín (no ilustrado). Información sobre el diseño de anclaje anti-flotación se encuentra disponible en el Manual de Ingeniería de Performance Pipe, PP-990 y la Guía de Referencia para Registros de Polietileno, PP-902 y no se encuentra en este manual.

Figura 4 Instalación de Placas Anti-Flotación



CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN AMBIENTE ACUÁTICO

Las aplicaciones en ambientes acuáticos incluyen cualquier instalación en la cual el ambiente predominante se agua, como descargas y tomas de agua, ríos, lagos, cruces de corrientes, tuberías flotantes y sumergidas e instalaciones en áreas pantanosas. Además los encamisados puede que requieran consideraciones de diseño, para las cargas hidrostáticas externas que se pueden presentar. Los diseños para estas situaciones incluyen la presión hidráulica externa, contrapesos para lastrado, y revisar si la tubería está flotando o sobre la superficie.

Presión Hidráulica Externa

Para los propósitos de está análisis, las tuberías sin sujeciones DriscoPlex, son tuberías sueltas que no están encapsuladas en ningún tipo de relleno (concreto, suelo cemento, grout, etc). Cuando la línea puede estar sumergida en forma ocasional o continua y si la presión hidráulica externa sobrepasa la resistencia de la tubería, esta puede colapsarse.

La resistencia de la tubería a ser aplastada por cargas externas debe ser considerada para aplicaciones como: tuberías que transportan gases, operan parcialmente llenas de líquido o cualquier aplicación donde la presión interna sea menor a la presión hidráulica externa.

Esta resistencia normalmente no aplica en tuberías como descargas y entradas de agua (del mar o lagos) donde un extremo de la tubería esta abierto al ambiente, o para tubería de agua o drenaje que pasa por debajo de ríos, riachuelos y lagos. Las líneas que tienen los extremos abiertos tendrán la presión balanceada y la presión estática en una tubería llena que cruza un cuerpo de agua, normalmente será la misma o mayor que la columna de agua sobre la tubería.

Tabla 14 Resistencias de Presión Externa

Los valores son para un ovalamiento de la tubería de 3% e incluye un factor de protección de 2%. Multiplique el valor en psi por 2.307 para obtener pies de agua.							
Temp. de Servicio, °F	RD de la Tubería	Resistencia de Presión Externa, psi					
		50 Años	10 Años	1 Año	1000 h	100 h	10 h
40	9	72.8	81.7	98.1	113.0	132.2	148.5
	11	37.3	41.8	50.2	57.8	67.7	76.0
	13.5	19.1	21.4	25.7	29.6	34.6	38.9
	17	9.1	10.2	12.3	14.4	16.5	18.6
	21	4.7	5.2	6.3	7.2	8.5	9.5
	26	2.4	2.7	3.2	3.7	4.3	4.9
	32.5	1.2	1.3	1.6	1.9	2.2	2.4
60	9	55.7	62.4	75.0	86.4	101.1	113.5
	11	28.5	31.9	38.4	44.2	51.7	58.1
	13.5	14.6	16.3	19.7	22.6	26.5	29.8
	17	7.0	7.8	9.4	10.8	12.6	14.2
	21	3.6	4.0	4.8	5.5	6.5	7.3
	26	1.8	2.0	2.5	2.8	3.3	3.7
	32.5	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9

Los valores son para un ovalamiento de la tubería de 3% e incluye un factor de protección de 2%. Multiplique el valor en psi por 2.307 para obtener pies de agua.

Temp. de Servicio, °F	RD de la Tubería	Resistencia de Presión Externa, psi					
		50 Años	10 Años	1 Año	1000 h	100 h	10 h
73	9	52.6	58.8	70.7	81.3	95.3	107.0
	11	26.9	30.1	36.2	41.6	48.8	54.8
	13.5	13.8	15.4	18.5	21.3	25.0	28.1
	17	6.6	7.4	8.8	10.2	11.9	13.4
	21	3.4	3.8	4.5	5.2	6.1	6.8
	26	1.7	1.9	2.3	2.7	3.1	3.5
	32.5	0.9	1.0	1.2	1.3	1.6	1.8
100	9	42.8	48.0	57.7	66.4	77.8	87.3
	11	21.9	24.6	29.5	34.0	39.8	44.7
	13.5	11.2	12.6	15.1	17.4	20.4	22.9
	17	5.4	6.0	7.2	8.3	9.7	10.9
	21	2.7	3.1	3.7	4.3	5.0	5.6
	26	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5	2.9
	32.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.4
120	9	27.9	31.3	37.6	43.2	50.6	56.8
	11	14.3	16	19.3	22.1	25.9	29.1
	13.5	7.3	8.2	9.9	11.3	13.3	14.9
	17	3.5	3.9	4.7	5.4	6.3	7.1
	21	1.8	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6
	26	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9
	32.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

Lastres Para Hundir Los Tubos

Los materiales de polietileno DriscoPlex™ son más ligeros que el agua y al tubería flotará un poco sobre la superficie, aún cuando este llena con agua. Sin una tubería debe estar sumergida, está se deberá lastrar para evitar que flote.

El diseño del peso del lastre considera el peso y volumen de la tubería, el contenido de la tubería y las condiciones ambientales.

Los lastres de hundimiento se espacian usualmente de 10 a 15 pies entre ellos para evitar una curvatura excesiva y esfuerzo alto durante y después de la instalación.

DISEÑO PASO A PASO DE LASTRES

Vea los Boletines Performance Pipe PP-152 y PP-153 para las dimensiones y pesos de la tubería.

Paso 1

Determine el volumen del líquido desplazado y la flotación para un pie de tubería:

$$V_p = \frac{\pi}{4} D^2 / 576$$

$$B_p = V_p K \gamma_{LO}$$

Donde:

V_p = volumen desplazado por la tubería, ft³/ft

D = diámetro exterior de la tubería, in

B_p = flotación de la tubería, lb/ft

K = multiplicador de flotación (Tabla 15)

γ_{LO} = peso específico del líquido en el exterior de la tubería, lb/ft³

El multiplicador de flotación, K , es un elemento para compensar los efectos de las corrientes y el oleaje. A menos de que se deseé una flotación neutral, el valor de K será mayor a 1.0

Tabla 15 Multiplicador de flotación, K

<i>Ambiente bajo el agua</i>	<i>K</i>
Flotación Neutral	1.0
Lagos, lagunas, corrientes lentas o riachuelos, corrientes y oleajes bajos	1.3
Corrientes fuertes o ros u oleajes altos	1.5

La tabla 16 muestra peso específicos de algunos líquidos. Para otros líquidos y lodos la siguiente formula puede ser usada para calcular el peso específico, cuando la gravedad específica de los líquidos es conocida. Para gases (aire, gas, dióxido de carbono, etc.) en la tubería, considera ana gravedad específica de cero con relación al agua.

$$\gamma_L = 62.4 S_L$$

Donde:

ρ_L = peso específico del líquido

S_L = gravedad específica del líquido

Tabla 16 Pesos por Gravedad Especifica de los Líquidos a 60°F (15° C)

Líquido	Gravedad Especifica, S_L	Peso Especifico, ρ_L
Gasolina	0.68	42.5
Keroseno	0.80	50.2
Petróleo Crudo	0.86	53.1
Agua Dulce	1.00	62.4
Agua Salada	1.026	64.0
Salmuera, 6% NaCl	1.044	65.1
Salmuera, 12% NaCl	1.088	67.8
Salmuera, 18% NaCl	1.135	70.8
Salmuera, 24% NaCl	1.184	73.8
Salmuera, 6% CaCl	1.050	65.52
Salmuera, 12% CaCl	1.105	68.95
Salmuera, 18% CaCl	1.162	72.51
Salmuera, 24% CaCl	1.223	76.32
Salmuera, 30% CaCl	1.287	80.35

Paso 2

Determine la flotación negativa (peso de la tubería y peso del contenido de la tubería)

$$V_B = \frac{\pi d^2}{576}$$

$$B_N = W_p + (V_b \rho_{LI})$$

Donde

V_B = volumen interno de la tubería, ft³ / ft

d = diámetro interno de la tubería, in

B_N = flotación negativa, lb / ft

W_p = peso de la tubería, lb / ft

ρ_{LI} = peso específico del líquido en el interior de la tubería, lb / ft³

Paso 3

Determine el peso del lastre:

$$W_{BS} = B_P - B_N$$

Donde:

W_{BS} = peso del lastre, Lb/ft

Paso 4

El diseñador deberá de escoger un material apropiado para el lastre (concreto, acero, etc.) Para el material de lastre elegido, determine el peso seco:

$$W_{BD} = L W_{BS} \rho_B / (\rho_B - K \rho_{LO})$$

Donde:

W_{BD} = peso seco del lastre, lb

L = espaciamiento de las piezas de lastre, ft

ρ_B = peso específico del material de lastre, lb/ft³

FORMA DE LOS LASTRES

Los lastres o “muertos” son usualmente fabricados de concreto reforzado, lo cual le da mayor flexibilidad al diseño de las formas. Los “muertos” son usualmente fabricados en dos o mas secciones que hacen se ensamblan alrededor de la tubería, como protección a la tubería se coloca un “colchón” de un elastómero entre ambos. Las piezas del lastre deberán de haber una holgura entre ambas, para que cuando se haga el apriete sobre la tubería, las secciones queden bien sujetas y no se deslizarán sobre los tubos. En general los lastres son de fondo plano y mas pesados en la sección inferior. Con esto se previene que se giren en situaciones donde haya corrientes cruzadas. Los cinchos o tornillería que se use para sujetar las secciones del lastre deberán de ser resistentes al ambiente marino.

Figura 5 Contra peso de Concreto

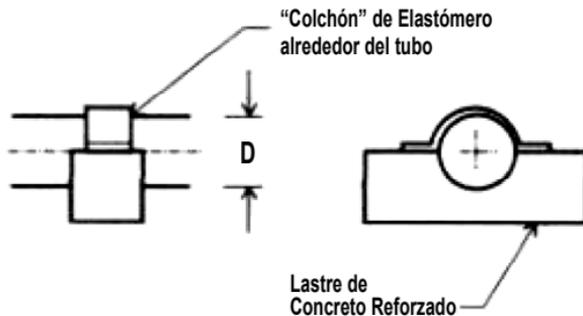
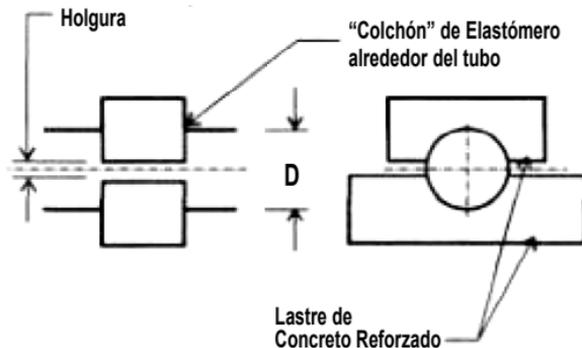


Figura 6 Contra peso de Concreto



Lineas de Tubería Flotante

En tuberías que son utilizadas para dragado o descargar lodos puede ser necesario que floten sobre la superficie del agua. El polietileno es 4.5% mas ligero que el agua, entonces la tubería flotara cuando este llena de agua. Pero algunos lodos pueden pesar mas que el agua y por tanto la tubería pueden hundirse.

Cuando la tubería esta soportada con flotadores sobre la superficie, estos deberán de soportar su propio peso, el peso de la tubería y el peso del contenido de la tubería.

Al flotar en la superficie, el desplazamiento de agua producido por la línea de tubería reduce los requerimientos de flotadores. En las Figuras 7 y 8 se ilustran métodos para colocar los flotadores.

Figura 7 Flotación sobre la Superficie

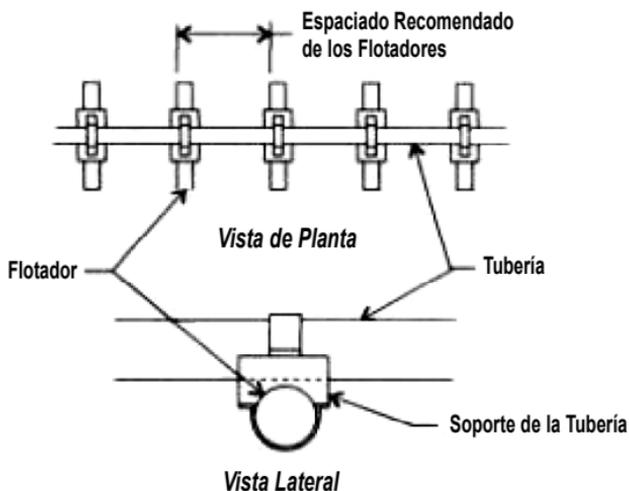
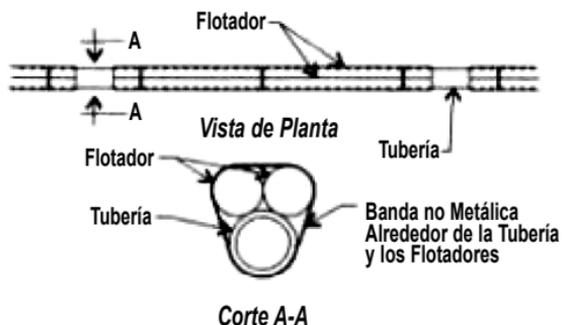


Figura 8 Flotación en la Superficie



TUBERÍA DE POLIETILENO COMO FLOTADOR

La tubería controlada de polietileno DriscoPlex(r) puede ser usada como flotador para soportar otras líneas de tubería sobre el agua o en la superficie. Típicamente los flotadores son piezas de tubería que están cerradas en los extremos. Los flotadores pueden llenarse con espuma de bajo peso, con lo que se previene la posible entrada de agua, en caso de que algún daño físico le ocurriera al flotador, imposibilitando su funcionamiento.

El diseño del flotador es un proceso iterativo, dado que el flotador debe de soportar su propio peso mas la carga aplicada. El primer paso es determinar la carga y tomar un tamaño inicial del flotador.

Paso 1.- Determinación de la Carga

La carga soportada es el peso de la tubería que debe flotar, mas el peso de su contenido así como el peso del flotador y de la estructura de amarre entre el conjunto. Si la tubería esta llena con espuma el peso del relleno deberá de ser incluido.

$$P = W_P + W_C + W_S + W_F + W_M$$

Donde:

P = carga soportada, lb / ft

W_P = peso de la tubería, lb / ft

W_C = peso del contenido de la tubería, lb / ft

W_S = peso de la estructura de "amarre", lb

W_F = peso del flotador, lb / ft (Tabla 17)

W_M = peso de la espuma, lb / ft

$$W_M = V_F M_M$$

V_F = volumen interno del flotador, ft³ / ft (Tabla 17)

M_M = densidad de la espuma, lb / ft³

Normalmente las espumas termoplásticas pesan de 2 a 3 lb / ft³.

El espaciamiento de los flotadores no deberá de exceder la distancia máxima recomendada. Ver tabla 13.

Tabla 17 Propiedades de Flotación del Polietileno †.

<i>Diámetro Nominal</i>	<i>Diámetro del Flotador d, in</i>	<i>Peso del Flotador WF lb / ft</i>	<i>Empuje del Flotador, B, lb / ft</i>	<i>Volumen Interno, VF, ft³ / ft</i>
4	4.500	0.83	6.9	0.097
6	6.625	1.80	14.9	0.211
8	8.625	3.05	25.3	0.357
10	10.750	4.75	39.3	0.555
12	12.750	6.67	55.3	0.781
14	14.000	8.05	66.7	0.941
16	16.000	10.50	87.1	1.230
18	18.000	13.30	110	1.556
20	20.000	16.41	136	1.921
22	22.000	19.86	165	2.325
24	24.000	23.62	196	2.767
26	26.000	27.74	230	3.247
28	28.000	32.19	267	3.766
30	30.000	36.93	306	4.323
32	32.000	42.04	349	4.919
34	34.000	47.43	393	5.553
36	36.000	53.20	441	6.225

† Propiedades basadas en el polietileno negro HDPE (densidad 0.955 g/cm³) y tubería DR 32.5.

Paso 2 Porcentaje del Flotador Sumergido

El porcentaje de sumergimiento es el porcentaje del flotador que esta sumergido en el agua como ilustrado en la figura 9.

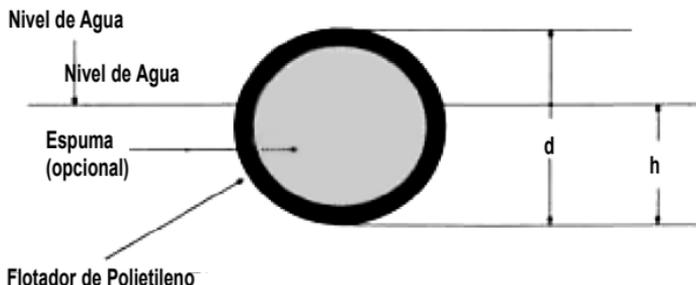
$$\% \text{ Sumergimiento} = 100 (h / d)$$

Donde:

h = Longitud de la tubería bajo el nivel del agua, in

d = diámetro de la tubería, in (Tabla 17)

Figura 9 Flotador Sumergido



El diseñador deberá de escoger un porcentaje apropiado de sumergimiento y el margen de este. Para los flotadores de la tabla 17, los márgenes de sumergimiento son mostrados en la tabla 18. Si el porcentaje de sumergimiento es demasiado alto, los flotadores de mas carga pueden doblarse en el centro, de tal forma que en esta parte la tubería que se quiere sostener, queda mas hundida en estos puntos de mas carga que en los que tiene poca carga.

Tabla 18 Margen de Sumergimiento

% Sumergimiento	Margen de Sumergimiento
55%	2
43%	3
37%	4

Paso 3 Capacidad de Soporte de Flotación

Determine el empuje del flotador, B, de la tabla 17 para el tamaño de flotador inicial. Determine el factor de sumergimiento, f_s , de la tabla 19.

Tabla 19 Factor de Sumergimiento, f_s

Sumergimiento		Sumergimiento		Sumergimiento		Sumergimiento	
%	Factor, f_s						
5	0.019	30	0.252	55	0.564	80	0.858
10	0.052	35	0.312	60	0.623	85	0.906
15	0.094	40	0.377	65	0.688	90	0.948
20	0.142	45	0.436	70	0.748	95	0.981
25	0.196	50	0.500	75	0.804	100	1.000

Determine la capacidad de carga del flotador, P_F .

$$P_F = f_S B$$

Donde:

P_F = la capacidad de carga del flotador, lb/ft

f_S = factor de sumergimiento de la tabla 19

B = Empuje del flotador de la tabla 17

Paso 4 Comparar la Capacidad de Soporte del Flotador a la Carga

La capacidad de carga del flotador deberá ser igual o exceder la carga de diseño que debe de soportar.

$$P_F \geq P$$

Si la carga, P , es mayor a la capacidad de soporte del flotador, P_F , escoja un flotador mas grande y repita los pasos 1, 2, 3. Si la capacidad de soporte de flotador, P_F , es mucho mas grande que la carga, P , un flotador mas pequeño puede ser requerido.

Paso 5 Revisar el Sumergimiento Actual del Flotador

Una vez determinado que el tamaño del flotador es el adecuado, revise el sumergimiento del flotador.

$$f_{SA} = P / B$$

Donde:

f_{SA} = factor de sumergimiento actual del flotador

El valor actual del factor de sumergimiento del flotador, F_{SA} , puede ser comparado con los valores de la tabla 19 para aproximar los porcentajes de sumergimiento.