

## Regímenes de presión de las tuberías PE4710 de WL Plastics

### Funcionamiento a corto y largo plazo

El polietileno es un material especial debido a que su resistencia a las cargas depende de la magnitud y la duración de estas. Las tuberías de polietileno de alta densidad (High-density polyethylene, HDPE) de WL Plastics clasificadas para uso bajo presión se fabrican con compuestos elaborados a partir de polietileno (WL106). Estos compuestos suministran un equilibrio único entre las propiedades de corto y largo plazo para las distintas aplicaciones de las tuberías a presión.

Los materiales de las tuberías a presión dúctiles que ofrecen solidez y resistencia resisten los picos de presión, la manipulación e instalación, los hundimientos del suelo, la escarcha y los desplazamientos sísmicos. Las tuberías HDPE de WL Plastics ofrecen una resistencia excepcional y propiedades independientes de solidez a corto y largo plazo para muchas décadas de servicio. Las propiedades de corto y largo plazo son diferentes, y las de corto plazo no pueden usarse para estimar el rendimiento a largo plazo.

Las capacidades nominales de esfuerzo para diseño hidrostático (Hydrostatic Design Stress, HDS) para el servicio con presión interna, a largo plazo, a temperaturas de hasta 60 °C (140 °F) se determinan de acuerdo con las normas de ASTM y PPI<sup>1</sup>. (El servicio libre de presión a temperaturas de hasta 82 °C [180 °F] es aceptable).

El HDS corresponde a la tensión máxima de diseño a largo plazo a una temperatura de operación para el compuesto de PE. Los valores de HDS a temperaturas de 23 °C (73 °F) y 60 °C (140 °F) incorporan un factor de diseño (design factor, DF) de 0,63 para PE4710. Los factores de seguridad que se aplican para reducir una propiedad de resistencia a corto plazo no son los mismos que los factores de diseño. Para obtener una explicación del factor de diseño, consulte WL123.

Tabla 1 HDS: Compuesto de la tubería de PE de WL Plastics

Compuesto	Hoja de datos	HDS a 23 °C (73 °F)	HDS a 60 °C (140 °F)
PE4710	WL106	1000 psi	630 psi

### Régimen de presión interna

El régimen de presión corresponde a una combinación de compuestos de PE, gas o medio líquido interno, entorno externo, temperatura y tamaño de la tubería. El régimen de presión varía en función de diversas condiciones. Las ecuaciones 1 y 2 se utilizan para determinar el régimen de presión interna a largo plazo.

$$PR = \frac{2 HDS f_E f_T}{(DR - 1)} \quad (1)$$

- PR = régimen de presión, psi.
- HDS = esfuerzo de diseño hidrostático a 23 °C (73 °F) psi
- f<sub>E</sub> = factor de diseño ambiental (Tabla 2)
- f<sub>T</sub> = multiplicador de temperatura de operación (Tablas 3, 4)
- DR = relación de dimensión de la tubería

$$DR = \frac{D}{t} \quad (2)$$

- D = diámetro exterior de la tubería, pulgadas (WL102, WL104)
- t = grosor mín. de la pared de la tubería, pulgadas (WL102, WL104)

Para gas presurizado o medio líquido en el interior de la tubería, o para un entorno de importancia química fuera de la tubería, se aplica un factor ambiental, f<sub>E</sub> (environmental factor). Consulte la Tabla 2.

La relación de dimensión (dimension ratio, DR) de la tubería corresponde al diámetro exterior (outside diameter, OD) promedio dividido por el grosor mínimo de la pared de la tubería. Para una DR determinada, el grosor de la pared de la tubería aumenta o disminuye en proporción directa al diámetro exterior. La DR es un valor práctico dado que es constante aunque el tamaño de la tubería varíe. Para las mismas condiciones, cuando las tuberías tienen OD distintos pero la DR es la misma, el régimen de presión también es el mismo.

Tabla 2 Factor ambiental, f<sub>E</sub>

f <sub>E</sub>	Materiales y condiciones ambientales
1,00	Líquidos internos, gases y suelos externos, o líquidos con propiedades químicas benignas para el polietileno tales como agua (potable, sin procesar, gris, residual, reciclada), aguas servidas, soluciones salobres o salmuera, soluciones glicólicas o anticongelantes, alcohol; gas natural seco <sup>A</sup> , gas de vertedero, nitrógeno, aire, oxígeno, dióxido de carbono, hidrosulfuro
0,64	EE. UU.: Sistemas subterráneos de transporte, distribución o recolección de gases combustibles secos, regulados por el gobierno estatal y federal de los Estados Unidos, entre ellos el gas natural, el gas propano líquido, el gas propano, el butano y el gas de vertedero (usar un valor de HDS de 800 psi por CFR Título 49 Parte 192 para cálculos de presión usando la ecuación 1)
0,80	Solo Canadá: Sistemas subterráneos de transporte, distribución o recolección de gases combustibles, regulados por el gobierno provincial y federal de Canadá, entre ellos el gas natural, el gas propano líquido, el gas propano, el butano y el gas de vertedero
0,50	Líquidos multifásicos, gas natural húmedo, líquidos o aguas subterráneas en el interior de la tubería o alrededor de esta, con una concentración de químicos penetrantes o disolventes del 2 % o mayor, entre ellos los hidrocarburos líquidos (gasolina, aceite combustible, queroseno, petróleo crudo, combustible diésel y para reactores aeronáuticos).

<sup>A</sup> En lugares en los que las normativas estadounidenses estipuladas en 49 CFR Parte 192 o las normativas canadienses estipuladas en CSA Z662 no imponen restricciones regulatorias.

Multiplicador de temperatura operativa, f<sub>T</sub>, Tablas. Utilice las Tablas 3 y 4 para WL106 PE4710. Consulte WL106 para obtener los datos de código del compuesto.

<sup>1</sup> ASTM D1598: Tiempo transcurrido hasta que ocurran fallos de tuberías de plástico bajo presión interna constante; ASTM D2837: Obtención de la base del diseño hidrostático para materiales de tuberías termoplásticas; PPI TR-3: Políticas y procedimientos para el desarrollo de la Base del diseño hidrostático (Hydrostatic Design Basis, HDB), la Base del diseño para presión (Pressure Design Basis,

PDB), la Base del diseño para resistencia (Strength Design Basis, SDB), y los Valores mínimos de resistencia requeridos (Minimum Required Strength, MRS) para los materiales o las tuberías termoplásticas.

La temperatura de operación máxima recomendada para la presión interna constante es de 60 °C (140 °F). (Para el servicio libre de presión, se permite una temperatura de hasta 82 °C [180 °F]).

**Tabla 3 PE4710 Multiplicador de temperatura de operación,  $f_T$ , para temperaturas de operación en °F**

°F	$f_T$	°F	$f_T$	°F	$f_T$	°F	$f_T$	°F	$f_T$
32	1,28	54	1,12	76	0,98	98	0,85	120	0,73
33	1,27	55	1,12	77	0,97	99	0,84	121	0,72
34	1,27	56	1,11	78	0,97	100	0,84	122	0,72
35	1,26	57	1,10	79	0,96	101	0,83	123	0,71
36	1,25	58	1,10	80	0,96	102	0,83	124	0,71
37	1,24	59	1,09	81	0,95	103	0,82	125	0,70
38	1,24	60	1,08	82	0,94	104	0,82	126	0,70
39	1,23	61	1,08	83	0,94	105	0,81	127	0,69
40	1,22	62	1,07	84	0,93	106	0,80	128	0,69
41	1,21	63	1,06	85	0,93	107	0,80	129	0,68
42	1,21	64	1,06	86	0,92	108	0,79	130	0,68
43	1,20	65	1,05	87	0,91	109	0,79	131	0,67
44	1,19	66	1,04	88	0,91	110	0,78	132	0,67
45	1,19	67	1,04	89	0,90	111	0,78	133	0,66
46	1,18	68	1,03	90	0,90	112	0,77	134	0,66
47	1,17	69	1,03	91	0,89	113	0,77	135	0,65
48	1,17	70	1,02	92	0,88	114	0,76	136	0,65
49	1,16	71	1,01	93	0,88	115	0,75	137	0,64
50	1,15	72	1,01	94	0,87	116	0,75	138	0,63
51	1,14	73	1,00	95	0,87	117	0,74	139	0,63
52	1,14	74	0,99	96	0,86	118	0,74	140	0,63
53	1,13	75	0,99	97	0,86	119	0,73		

**Tabla 4 PE4710 Multiplicador de temperatura de operación,  $f_T$ , para temperaturas de operación en °C**

°C	$f_T$								
0	1,28	13	1,12	26	0,97	39	0,83	52	0,71
1	1,27	14	1,10	27	0,96	40	0,82	53	0,70
2	1,25	15	1,09	28	0,95	41	0,81	54	0,69
3	1,24	16	1,08	29	0,94	42	0,80	55	0,68
4	1,23	17	1,07	30	0,93	43	0,79	56	0,67
5	1,22	18	1,06	31	0,91	44	0,79	57	0,67
6	1,20	19	1,05	32	0,90	45	0,78	58	0,66
7	1,19	20	1,03	33	0,89	46	0,77	59	0,65
8	1,18	21	1,02	34	0,88	47	0,76	60	0,64
9	1,17	22	1,01	35	0,87	48	0,75		
10	1,15	23	1,00	36	0,86	49	0,74		
11	1,14	24	0,99	37	0,85	50	0,73		
12	1,13	25	0,98	38	0,84	51	0,72		

### Ejemplos de regímenes de presión interna

- Determinar el régimen de presión a largo plazo para DR 11 de la tubería PE4710 de WL Plastics para transporte de salmuera a 51 °C (125 °F).

$$PR = \frac{2(1000)(0.70)(1.00)}{(11 - 1)} = 140 \text{ psi}$$

- Determinar el régimen de presión a largo plazo para DR 17 de la tubería PE4710 de WL Plastics para transporte de petróleo crudo a 45 °C (113 °F).

$$PR = \frac{2(1000)(0.78)(0.50)}{(17 - 1)} = 48.8 \text{ psi}$$

- Determinar el régimen de presión a largo plazo para tuberías de 2 pulgadas IPS DR 11 PE4710 de WL Plastics instaladas en superficies para transporte de aire comprimido a 48 °C (120 °F).

$$PR = \frac{2(1000)(0.73)(1.00)}{(11 - 1)} = 146 \text{ psi}$$

**PRECAUCIÓN:** Las tuberías bajo presión con gas comprimido se instalan de forma tal que no se puedan mover a causa de fallos o separaciones por daños mecánicos externos o juntas defectuosas. Para sujetarlas se utilizan métodos tales como instalación subterránea, sujeción mecánica o encierro en materiales resistentes a roturas. Las tuberías expuestas instaladas con sujeción mecánica se colocan en lugares altos o en zonas en las que queden protegidas contra daños externos provocados por equipos en movimiento, terceros, etc. Es necesario emplear juntas que se hayan elaborado correctamente y estén completamente sujetas.

### Caudales de líquidos

Los cambios instantáneos de velocidad de los caudales de líquidos provocan aumentos repentinos de presión interna a corto plazo, tales como golpes de ariete. Estas condiciones se toleran por encima de los regímenes de presión interna a largo plazo mediante las capacidades físicas a corto plazo.

Para la distribución y el transporte de líquidos tales como agua o estéril líquido en agua, se aplican tolerancias de aumentos repentinos de presión por encima del régimen de presión de la tubería. Esto significa que, durante un evento de aumento repentino de presión, la presión momentánea de la tubería puede aumentar a un valor máximo de régimen de presión (pressure rating, PR) sumado a la tolerancia de aumento repentino de la presión.

La tolerancia de aumento repentino de la presión se ofrece tanto para aumentos repentinos de la presión ocasionales como recurrentes:

$$P_{OS} = 1.00 \times PR \quad (3)$$

$$P_{RS} = 0.50 \times PR \quad (4)$$

- $P_{OS}$  = tolerancia de aumento repentino de la presión para aumentos repentinos ocasionales, psi
- $P_{RS}$  = tolerancia de aumento repentino de la presión para aumentos repentinos recurrentes, psi

Los aumentos repentinos ocasionales de presión generalmente son ocasionados por cambios instantáneos de velocidad de los líquidos debido a condiciones tales como la extinción de incendios o fallos de los componentes. Los aumentos repentinos recurrentes de presión son ocasionados generalmente por eventos cíclicos tales como operaciones de bombeo o de control de sistemas, o por extracciones periódicas del sistema.

La velocidad del caudal del líquido se determina con

$$V = \frac{1.283 Q}{\pi D_i^2} \quad (5)$$

V = velocidad, pies/s.

- Q = caudal, gal de EE. UU./min  
 Di = diámetro interior promedio de la tubería, pulgadas

$$D_i = D - 2.12 \frac{D}{DR} \quad (6)$$

(Nota: Di es un diámetro interior (Internal Diameter, ID) promedio de la tubería para fines de cálculo de flujo únicamente. El verdadero diámetro interior varía según las dimensiones y las tolerancias indicadas en las especificaciones. Consulte las especificaciones o mida el diámetro interior real de la tubería para equipos tales como los endurecedores que se instalan en la abertura de la tubería).

Cuando se produce un evento de aumento repentino de presión en una tubería, por ejemplo un golpe de ariete, la velocidad del aumento repentino de la presión depende del módulo elástico instantáneo del material de la tubería y de las dimensiones de esta.

$$a = \frac{4660}{\sqrt{1 + \frac{k D_i}{E t}}} \quad (7)$$

- a = velocidad de onda de presión, pies/s  
 k = módulo de volumen de líquidos, psi  
 = 300.000 psi para agua  
 E = módulo instantáneo elástico dinámico del material de la tubería, psi  
 = 150.000 psi para HDPE según AWWA M55

El aumento repentino de la presión, Ps, causado por un cambio repentino en la velocidad del caudal de líquidos, es:

$$P_s = \frac{a(\Delta v)}{2.31g} \quad (8)$$

- Ps = aumento repentino de la presión, psi  
 Δv = cambio repentino de velocidad, pies/s  
 g = aceleración gravitacional, pies/s<sup>2</sup>  
 = 32,2 pies/s<sup>2</sup>

(Nota: El cambio repentino de velocidad, Δ, debe presentarse dentro del período crítico, 2L/a, donde 'L' es la longitud de la tubería medida en pies, y 'a' es la velocidad de onda de presión de acuerdo con la ecuación 7. No se presentan aumentos repentinos de presión si el tiempo necesario para el cambio de velocidad supera el período crítico).

Durante la operación a presión constante, la presión máxima de operación (maximum operating pressure, MOP) no debe superar el régimen de presión a largo plazo, y durante un evento de aumento repentino de presión, la presión interna total no debe superar el régimen de presión a largo plazo sumado a la tolerancia del aumento repentino de la presión. En la tabla 5 se muestra el cambio instantáneo aproximado de velocidad del agua para producir un aumento repentino de la presión idéntica a la tolerancia de aumento repentino de la presión. Si el posible cambio de velocidad produce un aumento repentino de la presión mayor que el valor de tolerancia de aumento repentino de la presión, la MOP se reduce, o se usan tuberías con regímenes de presión mayores (ecuación 10), y la diferencia entre el PR y el MOP se suma a P<sub>SA</sub>.

Durante la operación a presión constante,

$$PR \geq MOP \quad (9)$$

Y durante un evento de aumento repentino de la presión,

$$PR + P_{SA} \geq MOP + P_S \quad (10)$$

**Tabla 5 Regímenes de presión, tolerancia de aumento repentino y cambio de velocidad correspondiente para el agua**

DR	PC, psi	P <sub>SA</sub> , psi	Δv, pies/s
	PE4710	PE4710	PE4710
7	333	333	22,1
7,3	317	317	21,6
9	250	250	18,9
11	200	200	16,7
13,5	160	160	14,8
15,5	139	139	13,6
17	125	125	12,9
21	100	100	11,4
26	80	80	10,1
32,5	63	63	8,9

(kPa = psi x 6,895; m/s = pies/s x 0,305)

**Presión externa/Resistencia al vacío**

El vacío interno o la presión externa aplicada en circunferencia, o una combinación de presión externa y vacío interno, intentarán aplanar la tubería. Las tuberías libres de presión y sin sujeción instaladas en superficies, las tuberías de revestimiento, las tuberías sumergidas y las que se usan en otras aplicaciones similares no llevan soportes de incrustación ni ningún otro tipo de confinamiento externo que pueda mejorar de manera considerable la resistencia al aplanamiento causado por la presión externa. La resistencia al aplanamiento por presión externa de las tuberías sin mecanismos de sujeción depende del grosor de la pared (DR de la tubería), de sus propiedades elásticas (módulo elástico dependiente del tiempo y la temperatura, y la relación de Poisson), y de su redondez.

$$P_{CR} = \frac{2 E f_o}{(1 - \mu^2)} \left( \frac{1}{DR - 1} \right)^3 \quad 11$$

P<sub>CR</sub>=límite de resistencia al aplanamiento, psi

- E = módulo de elasticidad, psi  
 μ = Relación de Poisson  
 = 0,45  
 fo = factor de redondez  
 DR = relación de dimensión de la tubería, (ecuación 2)

$$P_{AL} = \frac{P_{CR}}{N} \quad (10)$$

- P<sub>AL</sub> = presión externa segura, psi  
 N = factor de seguridad (generalmente ≥ 1,5)

**Tabla 6 Factor de redondez, fo**

% de deflexión	fo	% de deflexión	fo
0	1,00	6	0,52
1	0,92	7	0,48
2	0,88	8	0,42
3	0,78	9	0,39
4	0,70		
5	0,62	≤10	0,36

**Tabla 7 Módulo elástico aparente para PE4710, kpsi**

Temp., °F	Duración de carga continua, horas				Duración de carga continua, años			
	1	10	100	1000	1	10	50	100
-20	198,1	165,1	139,7	116,8	101,6	86,4	73,7	71,1

-10	184,1	153,4	129,8	108,6	94,4	80,2	68,4	66,1
0	170,0	141,7	119,9	100,3	87,2	74,1	63,2	61,0
10	156,0	130,0	110,0	92,0	80,0	68,0	58,0	56,0
20	141,2	117,7	99,6	83,3	72,4	61,5	52,5	50,7
30	128,7	107,3	90,8	75,9	66,0	56,1	47,9	46,2
40	116,2	96,9	82,0	68,5	59,6	50,7	43,2	41,7
50	103,0	85,8	72,6	60,7	52,8	44,9	38,3	37,0
60	92,0	76,7	64,9	54,3	47,2	40,1	34,2	33,0
73	78,0	65,0	55,0	46,0	40,0	34,0	29,0	28,0
80	72,5	60,5	51,2	42,8	37,2	31,6	27,0	26,0
90	64,0	53,3	45,1	37,7	32,8	27,9	23,8	23,0
100	56,9	47,5	40,2	33,6	29,2	24,8	21,2	20,4
110	49,9	41,6	35,2	29,4	25,6	21,8	18,6	17,9
120	45,2	37,7	31,9	26,7	23,2	19,7	16,8	16,2
130	39,0	32,5	27,5	23,0	20,0	17,0	14,5	14,0
140	33,5	28,0	23,7	19,8	17,2	14,6	12,5	12,0

Tabla 8 PE4710 Régimen de presión externa a 23 °C (73 °F), P<sub>AL</sub>, psi, por duración de carga<sup>A</sup>

Duración de carga	DR									
	7	7,3	9	11	13,5	15,5	17	21	26	32,5
½ día	249,1	215,2	105,1	53,8	27,6	18,6	13,2	6,7	3,5	1,7
42 días	208,4	180,0	87,9	45,0	23,1	14,7	11,0	5,6	2,8	1,5
1 año	181,2	156,5	76,4	39,2	20,0	12,8	9,6	4,8	2,5	1,3
50 años	134,5	116,1	56,8	29,1	14,8	9,5	7,1	3,6	1,9	0,9

<sup>A</sup> Los valores corresponden a tuberías sin mecanismos de sujeción y libres de presión con un 3% de ovalidad y un factor de seguridad de 2. Para temperaturas diferentes de 23 °C (73 °F), multiplique el valor por el multiplicador de temperatura de las Tablas 3 o 4. Relación de Poisson a corto plazo, 0,35, que se usa para una duración de carga de ½ día. Relación de Poisson a largo plazo, 0,45, que se usa para cualquier otra duración de carga. Los valores varían para una ovalidad mayor o menor, el factor de seguridad y la duración de carga. Los datos **sombreados** indican la resistencia total al vacío. La presión interna aumenta la resistencia a las cargas externas al redondear las tuberías y contrarrestar dichas cargas. Cuando las tuberías se entierran en suelos de relleno adecuados e instalados correctamente, la resistencia a las cargas externas puede triplicarse o ser incluso mayor.

Esta publicación tiene como fin servir como guía para los sistemas de tubería. No debe utilizarse como reemplazo al criterio o asesoramiento de un ingeniero profesional, ni tiene como fin servir de instrucciones de instalación. La información incluida en esta publicación no constituye una garantía ni un aval para las instalaciones de tubería y no puede garantizarse debido a que las condiciones de uso están fuera de nuestro control. El usuario de esta información asume todos los riesgos asociados con su uso. WL Plastics Corporation ha hecho el mayor esfuerzo posible por garantizar su exactitud, pero es posible que la información incluida en esta publicación no esté completa, en especial si se trata de usos especiales o poco comunes. Esta publicación puede estar sujeta a cambios ocasionales sin aviso. Comuníquese con WL Plastics Corporation para saber si tiene la edición más actualizada. Está permitida su reproducción sin modificaciones.

