



GUIA DE INGENIERIA Y DISEÑO PARA TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD



EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001-2008



POLICONDUCTOS S.A. de C.V.

Av. C.F.E. # 700 Zona Industrial 2ª. Sección San Luis Potosí, S.L.P. CP 78395
Lada sin costo: 01 800 536 97 47 Tel. (444)824 03 64 Fax (444)824 15 02
ventas@policonductos.mx www.policonductos.mx

INTRODUCCION

La tubería y accesorios de polietileno **Policonductos® PE3408** de alta densidad y peso molecular fueron desarrollados específicamente para aplicaciones demandantes de presión. El uso de la tubería y accesorios **Policonductos® PE3408** conforme a esta guía puede ayudar a establecer un sistema funcional y económico.

Los sistemas de tubería de polietileno **Policonductos®** dan la oportunidad al ingeniero de diseño de seleccionar materiales de primera calidad de polietileno para sistemas de tubería, los cuales se desempeñan tan bien o mejor que materiales alternativos. Esto gracias a cualquiera de las características inherentes del polietileno, las cuales se mencionan a continuación:

Resistencia a Largo Plazo

Flexibilidad

Resistencia a la Corrosión

Resistencia Química

Dureza

Resistencia al Intemperismo

Costo de Instalación

Facilidad de Instalación

Mecanismos de Falla

Bajas Perdidas por Fricción

No toxico

Baja Conductividad Térmica

Inactividad Galvanica

Resistencia a la Abrasión

Mientras que esta guía detalla los beneficios de la utilización de materiales de entubado en la industria y minería, los mismos valores nominales pueden aplicarse en tubería para extracción de petróleo, tubería de distribución de gas, tubería para agua y tubería para agua municipal de desecho.

PREFACIO

La Guía de Diseño e Ingeniería para entubado con polietileno, referida como “Guía” de aquí en adelante, define requerimientos de ingeniería considerados necesarios para el diseño seguro y construcción de sistemas de tubería **Policonductos®**. Aunque la seguridad es una consideración básica en esta Guía, el usuario debe estar consciente de que hay otras medidas de seguridad a considerar en la instalación y operación del sistema de tubería. Esta Guía contiene prohibiciones en algunas áreas que en la práctica pueden fácilmente llevar a condiciones inseguras, y en otras áreas “banderas” de precaución.

La Guía pretende proveer principios básicos en áreas de interés para el diseño de un sistema de tubería. No obstante, esta no reemplaza la necesidad de una evaluación y juicio ingenieril competente.

La Guía contiene información de referencia básica y formulas necesarias para el diseño de un sistema de tubería **Policonductos®**. Estas fórmulas son adaptaciones de estándares industriales reconocidos y en muchos casos modificados para una aplicación más fácil a sistemas **Policonductos®**. Se pretende exponer esto en términos de principios básicos de diseño, en los casos necesarios será suplementado con ejemplos para obtener una interpretación uniforme y precisa.

Para asistencia técnica adicional, contacte a **Policonductos®** al 444 824 03 64 Ext. 125 o al correo: ventas@policonductos.mx

Se encuentra disponible una guía de diseño del Plastics Pipe Institute (PPI) consensada por la industria para el uso correcto de la tubería de polietileno. La guía de diseño se encuentra disponible de forma gratuita, vía descarga electrónica desde el sitio www.plasticpipe.org

Información de la Tubería

Tabla A-1
PROPIEDADES FÍSICAS NOMINALES
MATERIAL DE TUBERÍA POLICONDUCTOS® PE3408 Y PE2406

PROPIEDAD	ASTM METODO DE PRUEBA	Valor Nominal	
		PE3408	PE2406
Clasificación por celdas	D3350	345464C	234363E
Densidad, Natural	D1505	0.946 gm/cc	0.940 gm/cc
Densidad, Negro (PE3408) o amarillo (PE2406)	D1505	0.955 gm/cc	0.943 gm/cc
Índice de fluencia (190°C/2.16 kg)	D1238	0.07 gm/10 min	0.2 gm/10 min
Índice de fluencia (190°C/21.6 kg)	D1238	8.5 gm/10 min	20 gm/10 min
Modulo de flexión	D790	136,000 psi (938 MPa)	100,000 psi
Modulo de elasticidad: corto plazo	D638	125,000 psi (862 MPa)	100,000 psi
Modulo de elasticidad: largo plazo	D638	30,000 psi (207 MPa)	25,000 psi
Resistencia a la tensión (fluencia)	D638	3,500 psi (24 MPa)	2,800 psi
ESCR	D1693	>10,000 hrs. Falla	>10,000 hrs. Falla
Crecimiento lento de grietas, PENT	F1473	>100 hrs.	>1,000 hrs.
Base de Diseño Hidrostática (HDB) @ 73.4 °F	D2837	1,600 psi (11 MPa)	1,250 psi
Base de Diseño Hidrostática (HDB) @ 140°F	D2837	800 psi (5.5 MPa)	1,000 psi
Estabilizador UV (carbón)	D1603	2.0% mínimo	----
Temperatura de falla frágil	D746	<-180 °F (-82 °C)	<-180 °F
Punto de fusión	D789	261 °F (127 °C)	261 °F
Temperatura de reblandecimiento Vicat	D1525	255 °F (123.9 °C)	248 °F
Dureza	D2240	64	64 Shore D
Resistencia al impacto Izod (muesca)	D256	7 ft-lb/in	10 ft-lb/in
Coeficiente de expansión térmica	D696	1.0 x 10 ⁻⁴ in/in/ °F (1.75 x 10 ⁻⁴ mm/mm/°C)	1.0 x 10 ⁻⁴ in/in/ °F
Modulo de Poisson	--	0.42	0.42
Rugosidad Manning	--	0.01	0.01
Resistividad volumétrica	D991	2.6 x 10 ¹⁶ ohm-cm	2.6 x 10 ¹⁶ ohm-cm
Peso molecular promedio	GPC	330,000	330,000

***Nota: los valores nominales no son limites especificados.**

CLASIFICACION POR CELDAS

Los estándares para materiales ASTM aseguran que las resinas producidas para la fabricación de tubería y accesorios son capaces de brindar un nivel consistente de desempeño durante la vida útil de diseño. La especificación ASTM más común es ASTM D3350. Mediante el uso de un formato de identificación tipo celda se definen múltiples propiedades físicas, una descripción detallada y se especifican las propiedades del material.

El formato tipo celda está constituido por seis (6) números y una letra. El material para tubería de polietileno **Policonductos®** PE3408 de alta densidad y extra alto peso molecular está clasificado por celdas como 345464C. De acuerdo con el siguiente código, la letra “C” denota el color y estabilización UV. A – Natural, B – de Color, C – negro con mínimo 2% de negro de humo, D – natural con estabilizador UV y E – de color con estabilizador UV

Propiedad	Método	0	1	2	3	4	5	6
Densidad, g/cm ³	D1505	No especificado	0.925 or lower	>0.925 – 0.940	> 0.940 – 0.955	>0.955	-----	-----
Indice de fluidez	D1238	No especificado	>1.0	1.0 – 0.4	<0.4 – 0.15	< 0.15	^A	
Modulo de flexión, psi	D790	No especificado	<20,000	20,000 - <40,000	40,000 – 80,000	80,000 – 110,000	110,000 - <160,000	>160,000
Resistencia a la tensión (fluencia), psi	D638	No especificado	<2200	2200 - <2600	2600 - <3000	3000 - <3500	3500 - <4000	>4000
Crecimiento lento de grietas								
I. ESCR	D1693	No especificado						
a. Condición de prueba			A	B	C	C	-----	-----
b. Duración de prueba, horas			48	24	192	600		
c. Falla, máx., %			50	50	20	20		
II. PENT (horas)	F1473	No especificado						
Placa moldeada, 80°C, 2.4 Mpa			.1	1	3	10	30	100
Base de diseño hidrostático, psi, (23°C)	D2837	NPR ^B	800	1000	1250	1600		

^A se refiere a 10.1.4.1 de ASTM D3350.

^B NPR = no valorado en presión.

Por ser un material de polietileno la abreviatura (PE) precede el número de celda, P-E-3-4-5-4-6-4-C.

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD															
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS		LIBRAS / PIE
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS							
7	1/2	13	0.840	21.3		0.120	3.0		0.586	14.9		0.118	0.387	0.175	
7	3/4	19	1.050	26.7		0.150	3.8		0.732	18.6		0.184	0.605	0.274	
7	1	25	1.315	33.4		0.188	4.8		0.916	23.3		0.289	0.948	0.430	
7	1 1/4	32	1.660	42.2		0.237	6.0		1.158	29.4		0.461	1.511	0.685	
7	1 1/2	38	1.900	48.3		0.271	6.9		1.325	33.7		0.603	1.979	0.898	
7	2	50	2.375	60.3		0.339	8.6		1.656	42.1		0.943	3.093	1.403	
7	2 1/2	60	2.874	73.0		0.411	10.4		2.003	50.9		1.380	4.529	2.054	
7	3	75	3.500	88.9		0.500	12.7		2.440	62.0		2.047	6.717	3.047	
7	4	100	4.500	114.3		0.643	16.3		3.137	79.7		3.384	11.104	5.037	
7	5	127	5.563	141.3		0.795	20.2		3.878	98.5		5.172	16.969	7.697	
7	6	150	6.625	168.3		0.946	24.0		4.619	117.3		7.336	24.067	10.916	
7	8	200	8.625	219.1		1.232	31.3		6.013	152.7		12.433	40.791	18.502	
7	10	250	10.750	273.1		1.536	39.0		7.494	190.3		19.314	63.367	28.743	
7	12	300	12.750	323.9		1.821	46.3		8.889	225.8		27.170	89.139	40.432	
7	14	350	14.000	355.6		2.000	50.8		9.760	247.9		32.758	107.474	48.749	
7	16	400	16.000	406.4		2.286	58.1		11.154	283.3		42.786	140.374	63.672	
7	18	450	18.000	457.2		2.571	65.3		12.549	318.8		54.151	177.661	80.585	
7	20	500	20.000	508.0		2.857	72.6		13.943	354.2		66.853	219.334	99.488	
7	22	550	22.000	558.8		3.143	79.8		15.337	389.6		80.892	265.394	120.380	
7	24	600	24.000	609.6		3.429	87.1		16.731	425.0		96.268	315.841	143.262	
7	26	650	26.000	660.4		3.714	94.3		18.126	460.4		112.982	370.675	168.134	
7	28	700	28.000	711.2		4.000	101.6		19.520	495.8		131.032	429.895	194.996	
7	30	750	30.000	762.0		4.286	108.9		20.914	531.2		150.419	493.502	223.848	
7	32	810	32.000	812.8		4.571	116.1		22.309	566.7		171.144	561.496	254.689	
7	34	850	34.000	863.6		4.857	123.4		23.703	602.1		193.205	633.876	287.520	
7	36	900	36.000	914.4		5.143	130.6		25.097	637.5		216.604	710.643	322.340	

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD												
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR				ESPESOR DE PARED MINIMO		DIAMETRO INTERIOR		PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL									
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	LIBRAS / PIE	LIBRAS / M	KG / M	
7.3	1/2	13	0.840	21.3	0.115	2.9	0.596	15.1	0.114	0.374	0.170	
7.3	3/4	19	1.050	26.7	0.144	3.7	0.745	18.9	0.178	0.584	0.265	
7.3	1	25	1.315	33.4	0.180	4.6	0.933	23.7	0.279	0.916	0.415	
7.3	1 1/4	32	1.660	42.2	0.227	5.8	1.179	29.9	0.445	1.460	0.662	
7.3	1 1/2	38	1.900	48.3	0.260	6.6	1.349	34.3	0.583	1.912	0.867	
7.3	2	50	2.375	60.3	0.325	8.3	1.686	42.8	0.911	2.988	1.355	
7.3	2 1/2	60	2.874	73.0	0.394	10.0	2.039	51.8	1.333	4.375	1.984	
7.3	3	75	3.500	88.9	0.479	12.2	2.485	63.1	1.978	6.488	2.943	
7.3	4	100	4.500	114.3	0.616	15.7	3.194	81.1	3.269	10.726	4.865	
7.3	5	127	5.563	141.3	0.762	19.4	3.948	100.3	4.996	16.391	7.435	
7.3	6	150	6.625	168.3	0.908	23.1	4.700	119.4	7.086	23.247	10.545	
7.3	8	200	8.625	219.1	1.182	30.0	6.119	155.4	12.010	39.402	17.872	
7.3	10	250	10.750	273.1	1.473	37.4	7.627	193.7	18.656	61.209	27.764	
7.3	12	300	12.750	323.9	1.747	44.4	9.046	229.8	26.244	86.103	39.055	
7.3	14	350	14.000	355.6	1.918	48.7	9.934	252.3	31.642	103.813	47.089	
7.3	16	400	16.000	406.4	2.192	55.7	11.353	288.4	41.329	135.593	61.503	
7.3	18	450	18.000	457.2	2.466	62.6	12.772	324.4	52.307	171.609	77.840	
7.3	20	500	20.000	508.0	2.740	69.6	14.191	360.5	64.576	211.863	96.099	
7.3	22	550	22.000	558.8	3.014	76.5	15.610	396.5	78.137	256.355	116.280	
7.3	24	600	24.000	609.6	3.288	83.5	17.029	432.5	92.989	305.083	138.383	
7.3	26	650	26.000	660.4	3.562	90.5	18.449	468.6	109.133	358.049	162.408	
7.3	28	700	28.000	711.2	3.836	97.4	19.868	504.6	126.569	415.252	188.354	
7.3	30	750	30.000	762.0	4.110	104.4	21.287	540.7	145.296	476.693	216.223	
7.3	32	810	32.000	812.8	4.384	111.3	22.706	576.7	165.314	542.370	246.014	
7.3	34	850	34.000	863.6	4.658	118.3	24.125	612.8	186.625	612.285	277.727	
7.3	36	900	36.000	914.4	4.932	125.3	25.544	648.8	209.226	686.438	311.361	

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD												
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR				ESPESOR DE PARED MINIMO		DIAMETRO INTERIOR		PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL		PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	LIBRAS / PIE	LIBRAS / M	KG / M	
9	1/2	13	0.840	21.3	0.093	2.4	0.643	16.3	0.095	0.313	0.142	
9	3/4	19	1.050	26.7	0.117	3.0	0.802	20.4	0.149	0.489	0.222	
9	1	25	1.315	33.4	0.146	3.7	1.005	25.5	0.234	0.767	0.348	
9	1 1/4	32	1.660	42.2	0.184	4.7	1.270	32.3	0.372	1.222	0.554	
9	1 1/2	38	1.900	48.3	0.211	5.4	1.453	36.9	0.488	1.601	0.726	
9	2	50	2.375	60.3	0.264	6.7	1.815	46.1	0.762	2.501	1.134	
9	2 1/2	60	2.874	73.0	0.319	8.1	2.198	55.8	1.116	3.662	1.661	
9	3	75	3.500	88.9	0.389	9.9	2.675	68.0	1.656	5.432	2.464	
9	4	100	4.500	114.3	0.500	12.7	3.440	87.4	2.737	8.979	4.073	
9	5	127	5.563	141.3	0.618	15.7	4.253	108.0	4.182	13.722	6.224	
9	6	150	6.625	168.3	0.736	18.7	5.065	128.6	5.932	19.461	8.827	
9	8	200	8.625	219.1	0.958	24.3	6.594	167.5	10.054	32.985	14.962	
9	10	250	10.750	273.1	1.194	30.3	8.219	208.8	15.618	51.240	23.242	
9	12	300	12.750	323.9	1.417	36.0	9.746	247.5	21.970	72.080	32.695	
9	14	350	14.000	355.6	1.556	39.5	10.701	271.8	26.489	86.906	39.420	
9	16	400	16.000	406.4	1.778	45.2	12.231	310.7	34.598	113.510	51.487	
9	18	450	18.000	457.2	2.000	50.8	13.760	349.5	43.788	143.662	65.163	
9	20	500	20.000	508.0	2.222	56.4	15.289	388.3	54.059	177.360	80.449	
9	22	550	22.000	558.8	2.444	62.1	16.819	427.2	65.412	214.606	97.343	
9	24	600	24.000	609.6	2.667	67.7	18.346	466.0	77.845	255.398	115.846	
9	26	650	26.000	660.4	2.889	73.4	19.875	504.8	91.360	299.738	135.958	
9	28	700	28.000	711.2	3.111	79.0	21.405	543.7	105.956	347.626	157.679	
9	30	750	30.000	762.0	3.333	84.7	22.934	582.5	121.633	399.060	181.010	
9	32	810	32.000	812.8	3.556	90.3	24.461	621.3	138.392	454.042	205.949	
9	34	850	34.000	863.6	3.778	96.0	25.991	660.2	156.231	512.570	232.497	
9	36	900	36.000	914.4	4.000	101.6	27.520	699.0	175.152	574.646	260.654	

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD														
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO		
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS	
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS			PULGADAS			
9.3	1/2	13	0.840	21.3		0.090	2.3		0.649	16.5		0.093	0.304	0.138
9.3	3/4	19	1.050	26.7		0.113	2.9		0.810	20.6		0.145	0.475	0.216
9.3	1	25	1.315	33.4		0.141	3.6		1.016	25.8		0.227	0.745	0.338
9.3	1 1/4	32	1.660	42.2		0.178	4.5		1.283	32.6		0.362	1.188	0.539
9.3	1 1/2	38	1.900	48.3		0.204	5.2		1.468	37.3		0.474	1.556	0.706
9.3	2	50	2.375	60.3		0.255	6.5		1.834	46.6		0.741	2.431	1.103
9.3	2 1/2	60	2.874	73.0		0.309	7.8		2.219	56.4		1.085	3.560	1.615
9.3	3	75	3.500	88.9		0.376	9.6		2.703	68.7		1.609	5.279	2.395
9.3	4	100	4.500	114.3		0.484	12.3		3.474	88.2		2.660	8.727	3.958
9.3	5	127	5.563	141.3		0.598	15.2		4.295	109.1		4.065	13.336	6.049
9.3	6	150	6.625	168.3		0.712	18.1		5.116	129.9		5.765	18.914	8.579
9.3	8	200	8.625	219.1		0.927	23.6		6.660	169.2		9.771	32.058	14.541
9.3	10	250	10.750	273.1		1.156	29.4		8.299	210.8		15.179	49.801	22.589
9.3	12	300	12.750	323.9		1.371	34.8		9.843	250.0		21.353	70.055	31.776
9.3	14	350	14.000	355.6		1.505	38.2		10.809	274.6		25.745	84.465	38.312
9.3	16	400	16.000	406.4		1.720	43.7		12.354	313.8		33.626	110.322	50.041
9.3	18	450	18.000	457.2		1.935	49.2		13.898	353.0		42.558	139.626	63.333
9.3	20	500	20.000	508.0		2.151	54.6		15.440	392.2		52.541	172.377	78.189
9.3	22	550	22.000	558.8		2.366	60.1		16.984	431.4		63.574	208.577	94.608
9.3	24	600	24.000	609.6		2.581	65.5		18.528	470.6		75.658	248.223	112.592
9.3	26	650	26.000	660.4		2.796	71.0		20.072	509.8		88.794	291.318	132.139
9.3	28	700	28.000	711.2		3.011	76.5		21.617	549.1		102.980	337.860	153.250
9.3	30	750	30.000	762.0		3.226	81.9		23.161	588.3		118.216	387.849	175.924
9.3	32	810	32.000	812.8		3.441	87.4		24.705	627.5		134.504	441.286	200.163
9.3	34	850	34.000	863.6		3.656	92.9		26.249	666.7		151.842	498.171	225.965
9.3	36	900	36.000	914.4		3.871	98.3		27.793	706.0		170.232	558.503	253.331

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD												
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR				ESPESOR DE PARED MINIMO		DIAMETRO INTERIOR		PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL		PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	LIBRAS / PIE	LIBRAS / M	KG / M	
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS								
11	1/2	13	0.840	21.3	0.076	1.9	0.679	17.2	0.080	0.262	0.119	
11	3/4	19	1.050	26.7	0.095	2.4	0.849	21.6	0.125	0.410	0.186	
11	1	25	1.315	33.4	0.120	3.1	1.061	26.9	0.196	0.643	0.291	
11	1 1/4	32	1.660	42.2	0.151	3.8	1.340	34.0	0.312	1.024	0.464	
11	1 1/2	38	1.900	48.3	0.173	4.4	1.533	38.9	0.409	1.341	0.608	
11	2	50	2.375	60.3	0.216	5.5	1.917	48.7	0.639	2.096	0.951	
11	2 1/2	60	2.874	73.0	0.261	6.6	2.321	58.9	0.936	3.069	1.392	
11	3	75	3.500	88.9	0.318	8.1	2.826	71.8	1.387	4.552	2.065	
11	4	100	4.500	114.3	0.409	10.4	3.633	92.3	2.294	7.525	3.413	
11	5	127	5.563	141.3	0.506	12.8	4.490	114.1	3.505	11.499	5.216	
11	6	150	6.625	168.3	0.602	15.3	5.349	135.9	4.971	16.309	7.398	
11	8	200	8.625	219.1	0.784	19.9	6.963	176.9	8.425	27.643	12.538	
11	10	250	10.750	273.1	0.977	24.8	8.679	220.4	13.089	42.941	19.478	
11	12	300	12.750	323.9	1.159	29.4	10.293	261.4	18.412	60.406	27.400	
11	14	350	14.000	355.6	1.273	32.3	11.301	287.1	22.199	72.831	33.035	
11	16	400	16.000	406.4	1.455	37.0	12.915	328.1	28.994	95.126	43.148	
11	18	450	18.000	457.2	1.636	41.6	14.532	369.1	36.696	120.394	54.609	
11	20	500	20.000	508.0	1.818	46.2	16.146	410.1	45.304	148.634	67.419	
11	22	550	22.000	558.8	2.000	50.8	17.760	451.1	54.818	179.848	81.577	
11	24	600	24.000	609.6	2.182	55.4	19.374	492.1	65.237	214.034	97.084	
11	26	650	26.000	660.4	2.364	60.0	20.988	533.1	76.563	251.192	113.938	
11	28	700	28.000	711.2	2.545	64.7	22.605	574.2	88.795	291.324	132.141	
11	30	750	30.000	762.0	2.727	69.3	24.219	615.2	101.934	334.428	151.693	
11	32	810	32.000	812.8	2.909	73.9	25.833	656.2	115.978	380.504	172.593	
11	34	850	34.000	863.6	3.091	78.5	27.447	697.2	130.928	429.554	194.841	
11	36	900	36.000	914.4	3.273	83.1	29.061	738.2	146.784	481.576	218.438	

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD															
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS		LIBRAS / PIE
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS			PULGADAS				
11.5	1/2	13	0.840	21.3		0.073	1.9		0.685	17.4		0.077	0.252	0.114	
11.5	3/4	19	1.050	26.7		0.091	2.3		0.857	21.8		0.120	0.394	0.179	
11.5	1	25	1.315	33.4		0.114	2.9		1.073	27.3		0.188	0.617	0.280	
11.5	1 1/4	32	1.660	42.2		0.144	3.7		1.355	34.4		0.300	0.984	0.446	
11.5	1 1/2	38	1.900	48.3		0.165	4.2		1.550	39.4		0.393	1.289	0.585	
11.5	2	50	2.375	60.3		0.207	5.2		1.936	49.2		0.614	2.014	0.914	
11.5	2 1/2	60	2.874	73.0		0.250	6.3		2.344	59.5		0.899	2.949	1.338	
11.5	3	75	3.500	88.9		0.304	7.7		2.856	72.5		1.333	4.374	1.984	
11.5	4	100	4.500	114.3		0.391	9.9		3.671	93.2		2.204	7.231	3.280	
11.5	5	127	5.563	141.3		0.484	12.3		4.537	115.2		3.368	11.051	5.012	
11.5	6	150	6.625	168.3		0.576	14.6		5.404	137.3		4.777	15.672	7.109	
11.5	8	200	8.625	219.1		0.750	19.1		7.035	178.7		8.096	26.563	12.049	
11.5	10	250	10.750	273.1		0.935	23.7		8.768	222.7		12.578	41.265	18.717	
11.5	12	300	12.750	323.9		1.109	28.2		10.399	264.1		17.693	58.048	26.330	
11.5	14	350	14.000	355.6		1.217	30.9		11.420	290.1		21.332	69.987	31.746	
11.5	16	400	16.000	406.4		1.391	35.3		13.051	331.5		27.862	91.412	41.464	
11.5	18	450	18.000	457.2		1.565	39.8		14.682	372.9		35.263	115.693	52.477	
11.5	20	500	20.000	508.0		1.739	44.2		16.313	414.4		43.535	142.831	64.787	
11.5	22	550	22.000	558.8		1.913	48.6		17.944	455.8		52.677	172.826	78.392	
11.5	24	600	24.000	609.6		2.087	53.0		19.576	497.2		62.690	205.677	93.293	
11.5	26	650	26.000	660.4		2.261	57.4		21.207	538.6		73.574	241.385	109.490	
11.5	28	700	28.000	711.2		2.435	61.8		22.838	580.1		85.329	279.950	126.982	
11.5	30	750	30.000	762.0		2.609	66.3		24.469	621.5		97.954	321.371	145.771	
11.5	32	810	32.000	812.8		2.783	70.7		26.100	662.9		111.450	365.649	165.855	
11.5	34	850	34.000	863.6		2.957	75.1		27.731	704.4		125.816	412.783	187.234	
11.5	36	900	36.000	914.4		3.130	79.5		29.364	745.9		141.054	462.774	209.910	

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD															
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS		LIBRAS / PIE
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS			PULGADAS				
13.5	1/2	13	0.840	21.3		0.062	1.6		0.709	18.0		0.066	0.218	0.099	
13.5	3/4	19	1.050	26.7		0.078	2.0		0.885	22.5		0.104	0.340	0.154	
13.5	1	25	1.315	33.4		0.097	2.5		1.109	28.2		0.163	0.534	0.242	
13.5	1 1/4	32	1.660	42.2		0.123	3.1		1.399	35.5		0.259	0.851	0.386	
13.5	1 1/2	38	1.900	48.3		0.141	3.6		1.601	40.7		0.340	1.115	0.506	
13.5	2	50	2.375	60.3		0.176	4.5		2.002	50.8		0.531	1.742	0.790	
13.5	2 1/2	60	2.874	73.0		0.213	5.4		2.422	61.5		0.777	2.550	1.157	
13.5	3	75	3.500	88.9		0.259	6.6		2.951	75.0		1.153	3.782	1.716	
13.5	4	100	4.500	114.3		0.333	8.5		3.794	96.4		1.906	6.252	2.836	
13.5	5	127	5.563	141.3		0.412	10.5		4.690	119.1		2.912	9.555	4.334	
13.5	6	150	6.625	168.3		0.491	12.5		5.584	141.8		4.130	13.551	6.147	
13.5	8	200	8.625	219.1		0.639	16.2		7.270	184.7		7.001	22.968	10.418	
13.5	10	250	10.750	273.1		0.796	20.2		9.062	230.2		10.875	35.680	16.184	
13.5	12	300	12.750	323.9		0.944	24.0		10.749	273.0		15.298	50.192	22.766	
13.5	14	350	14.000	355.6		1.037	26.3		11.802	299.8		18.445	60.516	27.449	
13.5	16	400	16.000	406.4		1.185	30.1		13.488	342.6		24.092	79.041	35.852	
13.5	18	450	18.000	457.2		1.333	33.9		15.174	385.4		30.491	100.036	45.375	
13.5	20	500	20.000	508.0		1.481	37.6		16.860	428.3		37.643	123.501	56.019	
13.5	22	550	22.000	558.8		1.630	41.4		18.544	471.0		45.548	149.437	67.783	
13.5	24	600	24.000	609.6		1.778	45.2		20.231	513.9		54.206	177.842	80.667	
13.5	26	650	26.000	660.4		1.926	48.9		21.917	556.7		63.617	208.717	94.672	
13.5	28	700	28.000	711.2		2.074	52.7		23.603	599.5		73.781	242.063	109.797	
13.5	30	750	30.000	762.0		2.222	56.4		25.289	642.3		84.697	277.878	126.043	
13.5	32	810	32.000	812.8		2.370	60.2		26.976	685.2		96.367	316.163	143.409	
13.5	34	850	34.000	863.6		2.519	64.0		28.660	728.0		108.789	356.919	161.895	
13.5	36	900	36.000	914.4		2.667	67.7		30.346	770.8		121.964	400.144	181.501	

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD														
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO		
	NOMINAL		REAL				PARED MINIMO			INTERIOR			PESO TEORICO	
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS		MILIMETROS	PULGADAS		MILIMETROS	LIBRAS / PIE		LIBRAS / M	KG / M
15.5	1/2	13	0.840	21.3	0.062	1.6	0.709	18.0	0.066	0.217	0.099			
15.5	3/4	19	1.050	26.7	0.068	1.7	0.906	23.0	0.091	0.300	0.136			
15.5	1	25	1.315	33.4	0.084	2.2	1.137	28.9	0.143	0.470	0.213			
15.5	1 1/4	32	1.660	42.2	0.107	2.7	1.433	36.4	0.228	0.749	0.340			
15.5	1 1/2	38	1.900	48.3	0.123	3.1	1.639	41.6	0.299	0.981	0.445			
15.5	2	50	2.375	60.3	0.153	3.9	2.051	52.1	0.467	1.534	0.696			
15.5	2 1/2	60	2.874	73.0	0.185	4.7	2.482	63.0	0.684	2.246	1.019			
15.5	3	75	3.500	88.9	0.226	5.7	3.021	76.7	1.015	3.330	1.511			
15.5	4	100	4.500	114.3	0.290	7.4	3.885	98.7	1.678	5.505	2.497			
15.5	5	127	5.563	141.3	0.359	9.1	4.802	122.0	2.564	8.414	3.816			
15.5	6	150	6.625	168.3	0.427	10.9	5.720	145.3	3.637	11.933	5.412			
15.5	8	200	8.625	219.1	0.556	14.1	7.446	189.1	6.164	20.225	9.174			
15.5	10	250	10.750	273.1	0.694	17.6	9.279	235.7	9.576	31.418	14.251			
15.5	12	300	12.750	323.9	0.823	20.9	11.005	279.5	13.471	44.196	20.047			
15.5	14	350	14.000	355.6	0.903	22.9	12.086	307.0	16.242	53.287	24.170			
15.5	16	400	16.000	406.4	1.032	26.2	13.812	350.8	21.214	69.599	31.569			
15.5	18	450	18.000	457.2	1.161	29.5	15.539	394.7	26.849	88.086	39.955			
15.5	20	500	20.000	508.0	1.290	32.8	17.265	438.5	33.146	108.748	49.327			
15.5	22	550	22.000	558.8	1.419	36.1	18.992	482.4	40.107	131.585	59.686			
15.5	24	600	24.000	609.6	1.548	39.3	20.718	526.2	47.731	156.598	71.031			
15.5	26	650	26.000	660.4	1.677	42.6	22.445	570.1	56.018	183.785	83.363			
15.5	28	700	28.000	711.2	1.806	45.9	24.171	614.0	64.967	213.147	96.681			
15.5	30	750	30.000	762.0	1.935	49.2	25.898	657.8	74.580	244.684	110.986			
15.5	32	810	32.000	812.8	2.065	52.4	27.622	701.6	84.855	278.396	126.278			
15.5	34	850	34.000	863.6	2.194	55.7	29.349	745.5	95.793	314.283	142.555			
15.5	36	900	36.000	914.4	2.323	59.0	31.075	789.3	107.395	352.345	159.820			

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD															
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS		LIBRAS / PIE
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS			PULGADAS				
17	1/2	13	0.840	21.3		0.062	1.6		0.709	18.0		0.066	0.217	0.099	
17	3/4	19	1.050	26.7		0.062	1.6		0.919	23.3		0.084	0.275	0.125	
17	1	25	1.315	33.4		0.077	2.0		1.152	29.3		0.131	0.431	0.196	
17	1 1/4	32	1.660	42.2		0.098	2.5		1.452	36.9		0.210	0.687	0.312	
17	1 1/2	38	1.900	48.3		0.112	2.8		1.663	42.2		0.275	0.901	0.409	
17	2	50	2.375	60.3		0.140	3.5		2.078	52.8		0.429	1.407	0.638	
17	2 1/2	60	2.874	73.0		0.169	4.3		2.516	63.9		0.628	2.061	0.935	
17	3	75	3.500	88.9		0.206	5.2		3.063	77.8		0.932	3.056	1.386	
17	4	100	4.500	114.3		0.265	6.7		3.938	100.0		1.540	5.052	2.292	
17	5	127	5.563	141.3		0.327	8.3		4.870	123.7		2.353	7.721	3.502	
17	6	150	6.625	168.3		0.390	9.9		5.798	147.3		3.338	10.950	4.967	
17	8	200	8.625	219.1		0.507	12.9		7.550	191.8		5.657	18.560	8.418	
17	10	250	10.750	273.1		0.632	16.1		9.410	239.0		8.788	28.831	13.078	
17	12	300	12.750	323.9		0.750	19.1		11.160	283.5		12.362	40.557	18.396	
17	14	350	14.000	355.6		0.824	20.9		12.253	311.2		14.905	48.900	22.180	
17	16	400	16.000	406.4		0.941	23.9		14.005	355.7		19.467	63.869	28.970	
17	18	450	18.000	457.2		1.059	26.9		15.755	400.2		24.638	80.834	36.665	
17	20	500	20.000	508.0		1.176	29.9		17.507	444.7		30.418	99.795	45.266	
17	22	550	22.000	558.8		1.294	32.9		19.257	489.1		36.805	120.752	54.772	
17	24	600	24.000	609.6		1.412	35.9		21.007	533.6		43.801	143.705	65.183	
17	26	650	26.000	660.4		1.529	38.8		22.759	578.1		51.406	168.654	76.500	
17	28	700	28.000	711.2		1.647	41.8		24.508	622.5		59.618	195.598	88.721	
17	30	750	30.000	762.0		1.765	44.8		26.258	667.0		68.439	224.539	101.849	
17	32	810	32.000	812.8		1.882	47.8		28.010	711.5		77.869	255.475	115.881	
17	34	850	34.000	863.6		2.000	50.8		29.760	755.9		87.907	288.408	130.819	
17	36	900	36.000	914.4		2.118	53.8		31.510	800.3		98.553	323.336	146.662	

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD														
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO		
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS	
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS						
21	1/2	13	0.840	21.3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	3/4	19	1.050	26.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	1	25	1.315	33.4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	1 1/4	32	1.660	42.2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	1 1/2	38	1.900	48.3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	2	50	2.375	60.3	0.113	2.9	2.135	54.2	0.352	1.154	0.523			
21	2 1/2	60	2.874	73.0	0.137	3.5	2.584	65.6	0.515	1.689	0.766			
21	3	75	3.500	88.9	0.167	4.2	3.146	79.9	0.764	2.505	1.136			
21	4	100	4.500	114.3	0.214	5.4	4.046	102.8	1.262	4.142	1.879			
21	5	127	5.563	141.3	0.265	6.7	5.001	127.0	1.929	6.329	2.871			
21	6	150	6.625	168.3	0.315	8.0	5.957	151.3	2.736	8.977	4.072			
21	8	200	8.625	219.1	0.411	10.4	7.754	196.9	4.637	15.215	6.901			
21	10	250	10.750	273.1	0.512	13.0	9.665	245.5	7.204	23.635	10.721			
21	12	300	12.750	323.9	0.607	15.4	11.463	291.2	10.134	33.248	15.081			
21	14	350	14.000	355.6	0.667	16.9	12.586	319.7	12.218	40.087	18.183			
21	16	400	16.000	406.4	0.762	19.4	14.385	365.4	15.959	52.358	23.749			
21	18	450	18.000	457.2	0.857	21.8	16.183	411.1	20.198	66.266	30.057			
21	20	500	20.000	508.0	0.952	24.2	17.982	456.7	24.936	81.809	37.108			
21	22	550	22.000	558.8	1.048	26.6	19.778	502.4	30.172	98.989	44.901			
21	24	600	24.000	609.6	1.143	29.0	21.577	548.1	35.907	117.806	53.435			
21	26	650	26.000	660.4	1.238	31.4	23.375	593.7	42.141	138.258	62.712			
21	28	700	28.000	711.2	1.333	33.9	25.174	639.4	48.874	160.346	72.732			
21	30	750	30.000	762.0	1.429	36.3	26.971	685.1	56.105	184.071	83.493			
21	32	810	32.000	812.8	1.524	38.7	28.769	730.7	63.835	209.432	94.996			
21	34	850	34.000	863.6	1.619	41.1	30.568	776.4	72.064	236.429	107.242			
21	36	900	36.000	914.4	1.714	43.5	32.366	822.1	80.791	265.062	120.230			

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD															
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS		LIBRAS / PIE
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS							
26	1/2	13	0.840	21.3		---	---		---	---		---	---	---	
26	3/4	19	1.050	26.7		---	---		---	---		---	---	---	
26	1	25	1.315	33.4		---	---		---	---		---	---	---	
26	1 1/4	32	1.660	42.2		---	---		---	---		---	---	---	
26	1 1/2	38	1.900	48.3		---	---		---	---		---	---	---	
26	2	50	2.375	60.3		---	---		---	---		---	---	---	
26	2 1/2	60	2.874	73.0		0.111	2.8		2.639	67.0		0.420	1.378	0.625	
26	3	75	3.500	88.9		0.135	3.4		3.214	81.6		0.623	2.044	0.927	
26	4	100	4.500	114.3		0.173	4.4		4.133	105.0		1.030	3.379	1.533	
26	5	127	5.563	141.3		0.214	5.4		5.109	129.8		1.574	5.164	2.343	
26	6	150	6.625	168.3		0.255	6.5		6.084	154.5		2.233	7.325	3.322	
26	8	200	8.625	219.1		0.332	8.4		7.921	201.2		3.784	12.414	5.631	
26	10	250	10.750	273.1		0.413	10.5		9.874	250.8		5.878	19.285	8.748	
26	12	300	12.750	323.9		0.490	12.5		11.711	297.5		8.269	27.129	12.305	
26	14	350	14.000	355.6		0.538	13.7		12.859	326.6		9.970	32.709	14.836	
26	16	400	16.000	406.4		0.615	15.6		14.696	373.3		13.022	42.722	19.378	
26	18	450	18.000	457.2		0.692	17.6		16.533	419.9		16.480	54.070	24.526	
26	20	500	20.000	508.0		0.769	19.5		18.370	466.6		20.346	66.753	30.278	
26	22	550	22.000	558.8		0.846	21.5		20.206	513.2		24.619	80.771	36.637	
26	24	600	24.000	609.6		0.923	23.4		22.043	559.9		29.299	96.124	43.601	
26	26	650	26.000	660.4		1.000	25.4		23.880	606.6		34.385	112.812	51.171	
26	28	700	28.000	711.2		1.077	27.4		25.717	653.2		39.879	130.836	59.346	
26	30	750	30.000	762.0		1.154	29.3		27.554	699.9		45.779	150.194	68.126	
26	32	810	32.000	812.8		1.231	31.3		29.390	746.5		52.086	170.887	77.513	
26	34	850	34.000	863.6		1.308	33.2		31.227	793.2		58.801	192.916	87.505	
26	36	900	36.000	914.4		1.385	35.2		33.064	839.8		65.922	216.279	98.102	

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD														
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO		
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS	LIBRAS / PIE
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS			PULGADAS			
32.5	1/2	13	0.840	21.3		---	---		---	---		---	---	---
32.5	3/4	19	1.050	26.7		---	---		---	---		---	---	---
32.5	1	25	1.315	33.4		---	---		---	---		---	---	---
32.5	1 1/4	32	1.660	42.2		---	---		---	---		---	---	---
32.5	1 1/2	38	1.900	48.3		---	---		---	---		---	---	---
32.5	2	50	2.375	60.3		---	---		---	---		---	---	---
32.5	2 1/2	60	2.874	73.0		---	---		---	---		---	---	---
32.5	3	75	3.500	88.9		0.108	2.7		3.271	83.1		0.503	1.649	0.748
32.5	4	100	4.500	114.3		0.138	3.5		4.207	106.9		0.831	2.726	1.237
32.5	5	127	5.563	141.3		0.171	4.3		5.200	132.1		1.270	4.167	1.890
32.5	6	150	6.625	168.3		0.204	5.2		6.193	157.3		1.801	5.909	2.680
32.5	8	200	8.625	219.1		0.265	6.7		8.063	204.8		3.053	10.016	4.543
32.5	10	250	10.750	273.1		0.331	8.4		10.048	255.2		4.742	15.559	7.058
32.5	12	300	12.750	323.9		0.392	10.0		11.919	302.7		6.671	21.887	9.928
32.5	14	350	14.000	355.6		0.431	11.0		13.086	332.4		8.044	26.389	11.970
32.5	16	400	16.000	406.4		0.492	12.5		14.957	379.9		10.506	34.468	15.634
32.5	18	450	18.000	457.2		0.554	14.1		16.826	427.4		13.296	43.623	19.787
32.5	20	500	20.000	508.0		0.615	15.6		18.696	474.9		16.415	53.856	24.429
32.5	22	550	22.000	558.8		0.677	17.2		20.565	522.3		19.863	65.166	29.559
32.5	24	600	24.000	609.6		0.738	18.8		22.435	569.9		23.638	77.553	35.177
32.5	26	650	26.000	660.4		0.800	20.3		24.304	617.3		27.742	91.017	41.284
32.5	28	700	28.000	711.2		0.862	21.9		26.173	664.8		32.174	105.558	47.880
32.5	30	750	30.000	762.0		0.923	23.4		28.043	712.3		36.934	121.176	54.964
32.5	32	810	32.000	812.8		0.985	25.0		29.912	759.8		42.023	137.872	62.537
32.5	34	850	34.000	863.6		1.046	26.6		31.782	807.3		47.440	155.644	70.599
32.5	36	900	36.000	914.4		1.108	28.1		33.651	854.7		53.186	174.494	79.149

Tabla A-2
PESO Y DIMENSIONES DE LA TUBERIA ESTANDAR (IPS)
PE3408 (NEGRO)

TABLA DE DIMENSIONES Y PESO TEORICO DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD															
RELACION DIMENSIONAL	DIAMETRO EXTERIOR					ESPESOR DE PARED MINIMO			DIAMETRO INTERIOR			PESO TEORICO			
	NOMINAL		REAL				PULGADAS		MILIMETROS			PULGADAS	MILIMETROS		LIBRAS / PIE
	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS			MILIMETROS							
41	1/2	13	0.840	21.3		---	---		---	---		---	---	---	---
41	3/4	19	1.050	26.7		---	---		---	---		---	---	---	---
41	1	25	1.315	33.4		---	---		---	---		---	---	---	---
41	1 1/4	32	1.660	42.2		---	---		---	---		---	---	---	---
41	1 1/2	38	1.900	48.3		---	---		---	---		---	---	---	---
41	2	50	2.375	60.3		---	---		---	---		---	---	---	---
41	2 1/2	60	2.874	73.0		---	---		---	---		---	---	---	---
41	3	75	3.500	88.9		0.085	2.2		3.320	84.3		0.401	1.317	0.597	
41	4	100	4.500	114.3		0.110	2.8		4.267	108.4		0.663	2.176	0.987	
41	5	127	5.563	141.3		0.136	3.4		5.275	134.0		1.014	3.326	1.509	
41	6	150	6.625	168.3		0.162	4.1		6.282	159.6		1.438	4.717	2.140	
41	8	200	8.625	219.1		0.210	5.3		8.180	207.8		2.437	7.995	3.626	
41	10	250	10.750	273.1		0.262	6.7		10.195	258.9		3.786	12.420	5.634	
41	12	300	12.750	323.9		0.311	7.9		12.091	307.1		5.325	17.471	7.925	
41	14	350	14.000	355.6		0.341	8.7		13.277	337.2		6.421	21.065	9.555	
41	16	400	16.000	406.4		0.390	9.9		15.173	385.4		8.386	27.513	12.480	
41	18	450	18.000	457.2		0.439	11.2		17.069	433.6		10.614	34.821	15.795	
41	20	500	20.000	508.0		0.488	12.4		18.965	481.7		13.103	42.989	19.500	
41	22	550	22.000	558.8		0.537	13.6		20.862	529.9		15.855	52.017	23.594	
41	24	600	24.000	609.6		0.585	14.9		22.760	578.1		18.869	61.905	28.079	
41	26	650	26.000	660.4		0.634	16.1		24.656	626.3		22.144	72.652	32.954	
41	28	700	28.000	711.2		0.683	17.3		26.552	674.4		25.682	84.259	38.219	
41	30	750	30.000	762.0		0.732	18.6		28.448	722.6		29.482	96.726	43.874	
41	32	810	32.000	812.8		0.780	19.8		30.346	770.8		33.544	110.053	49.919	
41	34	850	34.000	863.6		0.829	21.1		32.243	819.0		37.868	124.239	56.354	
41	36	900	36.000	914.4		0.878	22.3		34.139	867.1		42.454	139.285	63.178	

Ver ASTM D3035, F714 y AWWA C-901/906 para DE y tolerancias de espesor de pared .
Los pesos están calculados según PPI TR-7.

Tabla A-3
DIMENSIONES DE LA TUBERIA (Métrico)
DUCTOS DE ENERGIA O CONDUIT

DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR	TOLERANCIA	RD 11		RD 13.5		RD 15.5		RD 17		RD 19		RD 21	
			e	Tol (+)	e	Tol (+)	e	Tol (+)	e	Tol (+)	e	Tol (+)	e	Tol (+)
32	42.2	0.1	3.8	0.5	3.1	0.5	2.7	0.5	2.5	0.5	2.2	0.5	2.0	0.5
38	48.3	0.2	4.4	0.5	3.6	0.5	3.1	0.5	2.8	0.5	2.5	0.5	2.3	0.5
50	60.3	0.2	5.5	0.7	4.5	0.5	3.9	0.7	3.6	0.5	3.2	0.5	2.9	0.5
60	73.0	0.2	6.6	0.8	5.4	0.6	4.7	0.8	4.3	0.5	3.8	0.5	3.5	0.5
75	88.9	0.2	8.1	1.0	6.6	0.8	5.7	1.0	5.2	0.6	4.7	0.5	4.2	0.5
100	114.3	0.5	10.4		8.5		7.4		6.7		6.0		5.4	
125	142.5	0.7	12.9		10.6		9.2		8.4		7.5		6.8	
150	168.3	0.8	15.3		12.5		10.8		9.9		8.9		8.0	
200	219.1	1.0	19.9		16.2		14.1		12.9		11.5		10.4	
250	273.1	1.2	24.8		20.2		17.6		16.1		14.4		13.0	
300	323.8	1.4	29.4		24.0		20.9		19.1		17.0		15.4	

Dimensiones de acuerdo a NRF-057-CFE.

DISEÑO DE TUBERIAS A PRESIÓN

Una línea de conducción se define como: una línea de tubería para el transporte de agua, gas, aceite, etc. Estas líneas pueden operar a presión positiva, presión negativa o presión atmosférica dependiendo de los parámetros de diseño. El diseño de un sistema de tuberías es influido por una multitud de consideraciones: corrosión, humedad del suelo, corriente galvánica inducida, cargas externas debidas al suelo, nivel de aguas freáticas, acción del oleaje y/o corrientes, cambios térmicos y el efecto de la luz ultravioleta.

PRESION INTERNA

Policonductos® para uso industrial, municipal o en minas es fabricada según los estándares que aplican en las dimensiones específicas requeridas por la ASTM (American Society for Testing and Materials). Los diámetros externos pueden darse en cualquiera de los siguientes sistemas Estándar IPS (estándar de tubería de fierro fundido) o Métrico. El espesor de la pared está determinado por el sistema RD (Relación Dimensional), una razón entre el diámetro externo real y el espesor mínimo de pared especificado. El uso del número RD en la ecuación ISO, reconocida como una ecuación descriptiva de la relación entre las dimensiones de las tuberías, espesor y diámetro externo, la carga de presión interna y el esfuerzo de tensión en conjunto con un factor de diseño DF adecuado, le dará al ingeniero de diseño la confianza de que la tubería no fallará prematuramente debido a la presión interna.

Para mover un fluido por una línea de conducción se requieren los diferenciales de la fuerza de gravedad o de la presión interna. Para sistemas atmosféricos (flujo por gravedad), las fuerzas gravitacionales proveen el ímpetu para el movimiento de masas más pesadas que el aire. Para mover lo mismo en contra de la gravedad (flujo a presión) se generan fuerzas internas aditivas, las cuales deben ser tomadas en cuenta en las etapas de diseño para proveer la vida operacional deseada. En algunos casos las consideraciones de diseño de un sistema de flujo por gravedad deben ser manejadas comparativamente a las de un sistema de flujo a presión.

Los cálculos para determinar la presión nominal interna de **Policonductos®** se basan en la ecuación ISO² que es:

$$P = \frac{2 \cdot HDB}{(DR - 1)} \cdot DF$$

Donde	P	=	Presión nominal interna, kg/cm ²
	HDB	=	Base de diseño hidrostático, (112 kg/cm ² para PE3408)
	DR	=	Relación dimensional de la tubería (D/t)
	D	=	Diámetro exterior, en cm
	t	=	Espesor mínimo de pared, cm
	DF	=	Factor de diseño (0.5 para agua @ 73°F (23°C))

El uso de factores adicionales proveerá una mejor descripción del desempeño para sistemas con temperaturas de operación mayores, tiempos de operación más cortos y en los que el fluido no sea agua. Estos factores adicionales se definen a continuación:

- F₁ – Factor usado cuando la vida operacional es menor a 50 años. **Ver figura A-1.**
- F₂ – Factor de corrección de la temperatura para uso a temperaturas distintas a 73°F (23°C). **Ver figura A-2.**
- F₃ – Factor ambiental utilizado para compensar el efecto de sustancias distintas al agua. **Ver tabla A-5.**

Con la implementación de los factores adicionales, la ecuación ISO² ahora sería:

$$P = \frac{2 \cdot HDB}{(DR - 1)} \cdot DF \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$$

Donde	P	=	Presión interna, kg/cm ²
	HDB	=	Base de diseño hidrostático, (112 kg/cm ² para PE3408)
	DR	=	Relación dimensional de la tubería (D/t)
	D	=	Diámetro exterior, cm
	t	=	Espesor mínimo, cm
	DF	=	Factor de diseño (0.5 para agua @ 73°F (23°C))
	F ₁	=	Factor de vida operacional (Figura A-1)
	F ₂	=	Factor de corrección de temperatura (Figura A-2)
	F ₃	=	Factor de servicio ambiental (tabla A-5)

Tabla A-5
FACTOR AMBIENTAL DE SERVICIO, F₃

Sustancia	Factor de servicio, F ₃
Petróleo crudo	0.50
Gas natural húmedo	0.50
Gas natural seco regulado federalmente	0.64

Se deben tomar en cuenta las temperaturas máximas de servicio recomendadas, bajo presurización continua, para **Policonductos®** es 150°F (66°C). Sin embargo, en aplicaciones no presurizadas, temperaturas tan altas como 180°F (82°C) pueden ser consideradas. En estos casos, consulte a su proveedor de **Policonductos®** para asistencia adicional de diseño.

Nota: el trabajo con aire comprimido (mayor que la presión atmosférica) a temperaturas por encima de 73°F (23 °C) puede significativamente acortar la vida de servicio. **Policonductos®** no recomienda que sus productos sean usados con aire comprimido por más de 5 años a 100°F (38 °C). Adicionalmente, **Policonductos®** recomienda que toda la tubería de polietileno utilizada con aire comprimido vaya enterrada. Refiérase a la Recomendación “B”, publicada por el PPI, para mayor información acerca del uso de la tubería de polietileno con aire comprimido.

Presiones de Pandeo Crítico:

En el diseño de una línea de conducción, la presión externa del fluido y/o el vacío interno pueden ser manejados de manera equivalente. En una aplicación apoyada sobre el terreno, el colapso de la tubería puede ser calculado con la ecuación¹:

$$P = \left(\frac{2E}{1 - \nu^2} \right) \left(\frac{t}{(D - t)} \right)^3 \cdot SF$$

Donde	<i>P</i>	=	Presión crítica de pandeo, MPa
	<i>E</i>	=	Módulo de elasticidad (largo plazo), MPa
	<i>D</i>	=	Diámetro exterior, cm
	<i>t</i>	=	Espesor, cm
	<i>ν</i>	=	Relación de Poisson, adimensional (.42)
	<i>SF</i>	=	Factor de seguridad

Esto proporciona resistencia a fuerzas originadas por la presión externa del fluido y/o el vacío interno que pueden iniciar el colapso de una tubería de polietileno. Usar un módulo de elasticidad de largo plazo, 30,000 psi, en lugar del valor instantáneo 125,000psi, proporciona un método para asegurar una operación libre de distorsión a largo plazo. Este cálculo es preciso para tuberías de pared delgada y es progresivamente menos preciso para espesores mayores. Los valores mostrados en la Tabla A-7 en las páginas A-16 y A-17 fueron obtenidos empíricamente. Información adicional sobre carga de tierra está dada en la Sección C.

Figura A-1
Factor de vida operacional

Se usa la Figura A-1 para determinar el factor de vida operacional (F_1), seleccione la vida operacional esperada de menos de 50 años en la línea de tiempo (horizontal), desplácese hacia arriba hasta intersectar la recta diagonal, luego a la izquierda para tomar el valor del eje vertical.

Ejemplo: para 5 años de vida operacional,
 $F_1 = 1.09$

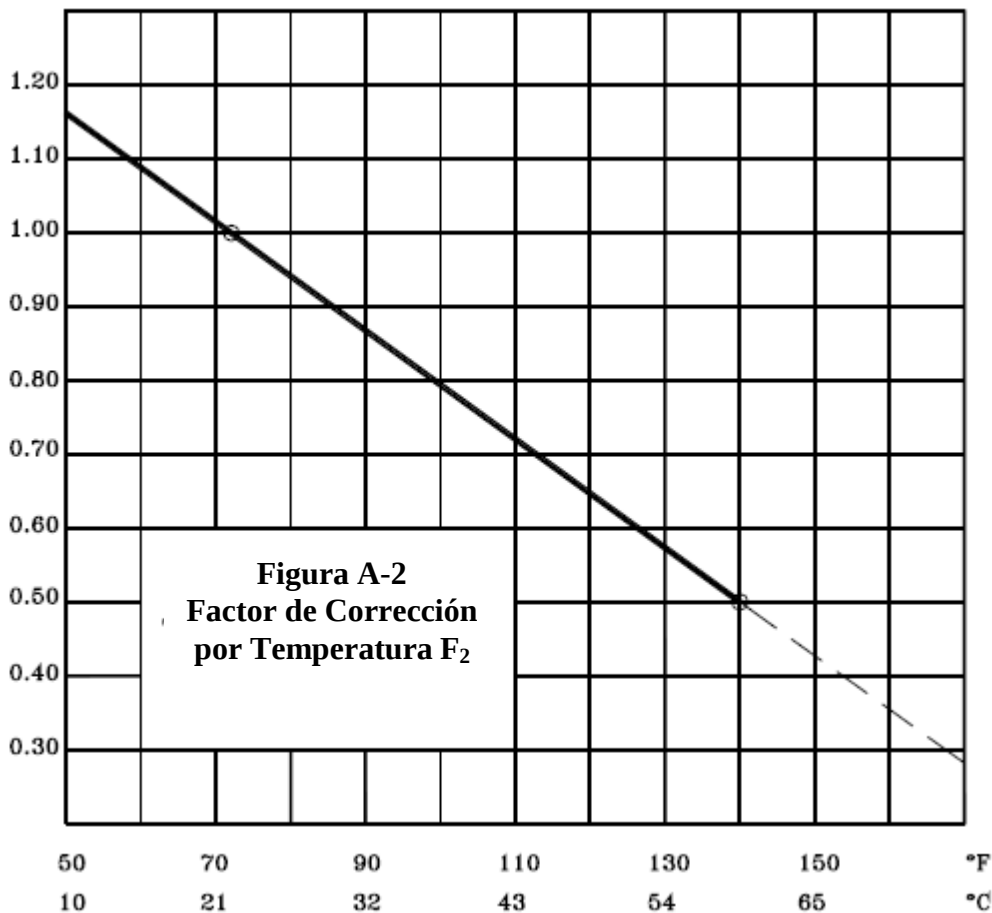
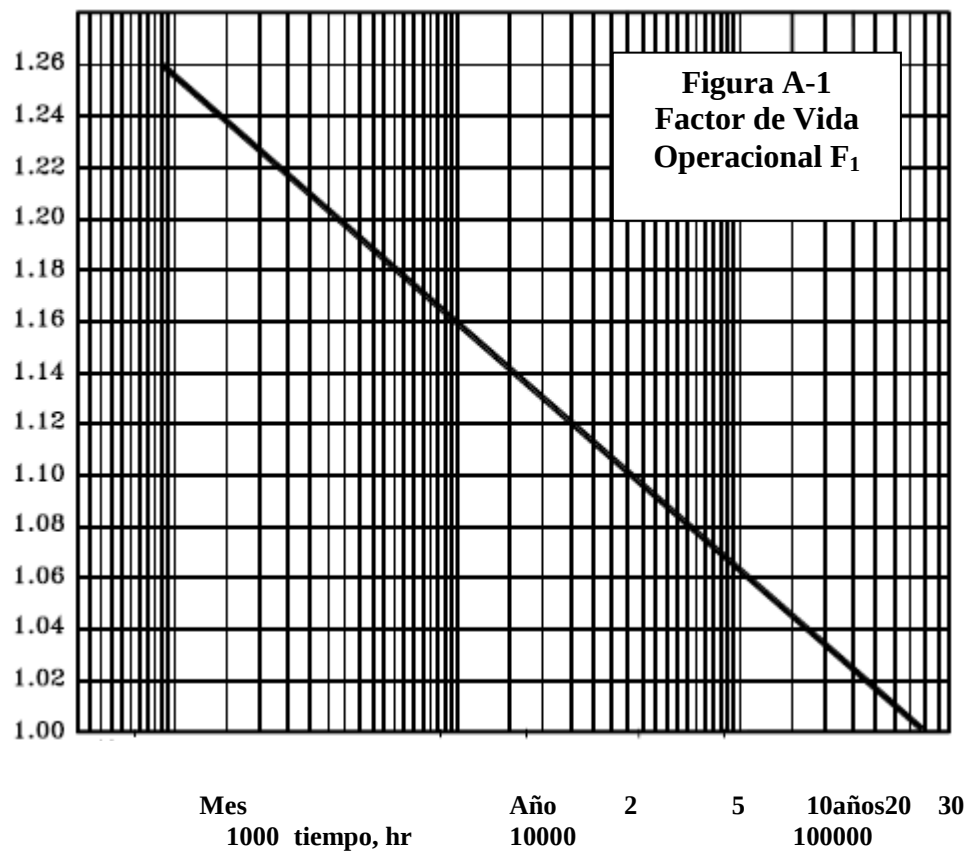


Figura A-2
CORRECCION DE TEMPERATURA

De la misma forma, el factor de corrección de temperatura F_2 , puede ser leído de la Figura A-2.

EJEMPLO: una línea de conducción operando a 125°F tendría un $F_2=0.62$.

Tabla A-6
CLASIFICACION DE PRESIONES INTERNAS PARA POLICONDUCTOS®

Temp °F / °C	Vida años	RD											
		7	7.3	9	9.3	11	13.5	15.5	17	21	26	32.5	unidad
50° / 10°	1	368	351	276	266	221	177	152	138	110	88	70	psi
		2.54	2.42	1.9	1.83	1.52	1.22	1.05	0.95	0.76	0.61	0.48	MPa
	2	359	342	269	259	215	172	149	135	108	86	68	Psi
		2.48	2.36	1.86	1.79	1.48	1.19	1.03	0.93	0.74	0.59	0.47	MPa
	5	347	331	260	251	208	167	144	130	104	83	66	Psi
		2.39	2.28	1.79	1.73	1.43	1.15	0.99	0.9	0.72	0.57	0.46	MPa
	10	340	323	255	245	204	163	141	127	102	81	65	Psi
		2.34	2.23	1.76	1.69	1.41	1.12	0.97	0.88	0.7	0.56	0.45	MPa
	20	330	314	248	239	198	158	137	124	99	79	63	Psi
		2.28	2.17	1.71	1.65	1.37	1.09	0.94	0.86	0.68	0.54	0.43	MPa
	50	317	302	238	229	190	152	131	119	95	76	60	Psi
		2.19	2.08	1.64	1.58	1.31	1.05	0.9	0.82	0.66	0.52	0.41	MPa
75°/23°	1	309	295	232	224	186	148	128	116	93	74	59	Psi
		2.13	2.03	1.6	1.54	1.28	1.02	0.88	0.8	0.64	0.51	0.41	MPa
	2	302	287	226	218	181	145	125	113	90	72	57	Psi
		2.08	1.98	1.56	1.5	1.25	1	0.86	0.78	0.62	0.5	0.39	MPa
	5	292	278	219	211	175	140	121	109	88	70	56	Psi
		2.01	1.92	1.51	1.46	1.21	0.97	0.83	0.75	0.61	0.42	0.39	MPa
	10	285	272	214	206	171	137	118	107	86	68	54	Psi
		1.97	1.88	1.48	1.42	1.18	0.94	0.81	0.74	0.59	0.47	0.37	MPa
	20	277	264	208	200	166	133	115	104	83	67	53	Psi
		1.91	1.82	1.43	1.38	1.14	0.92	0.79	0.72	0.57	0.46	0.37	MPa
	50	267	254	200	193	160	128	110	100	80	64	51	Psi
		1.84	1.75	1.38	1.33	1.1	0.88	0.76	0.69	0.55	0.44	0.35	MPa
100°/38°	1	251	239	188	181	150	120	104	94	75	60	48	Psi
		1.73	1.65	1.3	1.25	1.03	0.08	0.72	0.65	0.52	0.41	0.33	MPa
	2	244	233	183	177	147	117	101	92	73	59	47	Psi
		1.68	1.61	1.26	1.22	1.01	0.81	0.7	0.63	0.5	0.41	0.32	MPa
	5	236	225	177	171	142	113	98	89	71	57	45	Psi
		1.63	1.55	1.22	1.18	0.98	0.78	0.68	0.61	0.49	0.39	0.31	MPa
	10	231	220	173	167	139	111	96	87	69	55	44	Psi
		1.59	1.52	1.19	1.15	0.96	0.7	0.66	0.6	0.48	0.38	0.3	MPa
	20	225	214	168	162	135	108	93	84	67	54	43	Psi
		1.55	1.48	1.16	1.12	0.93	0.74	0.64	0.58	0.46	0.37	0.3	MPa
	50	216	206	162	156	130	104	89	81	65	52	41	Psi
		1.49	1.42	1.12	1.08	0.9	0.72	0.61	0.56	0.45	0.36	0.28	MPa

Nota: las tablas de clasificaron de presión interna y externa para PE3408 están basadas en gases y líquidos no agresivos para el polietileno. Para información adicional sobre resistencia química de **Policonductos®** , ver Sección E, "Resistencia química".

Tabla A-6 (cont.)
CLASIFICACION DE PRESIONES INTERNAS PARA POLICONDUCTOS®

Temp °F / °C	Vida años	RD											
		7	7.3	9	9.3	11	13.5	15.5	17	21	26	32.5	unidad
125°/52°	1	192	183	144	139	115	92	79	72	58	46	37	Psi
		1.32	1.26	0.99	0.96	0.79	0.63	0.54	0.5	0.4	0.32	0.26	MPa
	2	187	178	140	135	112	90	77	70	56	45	36	Psi
		1.29	1.23	0.97	0.93	0.77	0.62	0.53	0.48	0.39	0.31	0.25	MPa
	5	181	172	136	131	109	87	75	68	54	43	34	Psi
		1.25	1.19	0.94	0.9	0.75	0.6	0.52	0.47	0.37	0.3	0.23	MPa
	10	177	168	133	128	106	85	73	66	53	42	34	Psi
		1.22	1.16	0.92	0.88	0.73	0.59	0.5	0.46	0.37	0.29	0.23	MPa
	20	172	164	129	124	103	83	71	64	52	41	33	Psi
		1.19	1.13	0.89	0.86	0.71	0.57	0.49	0.44	0.36	0.28	0.23	MPa
	50	165	157	124	120	99	79	68	62	50	40	31	Psi
		1.14	1.08	0.86	0.83	0.68	0.54	0.47	0.43	0.34	0.28	0.21	MPa
140° /60°	1	156	148	117	113	93	75	64	58	47	37	30	Psi
		1.08	1.02	0.81	0.78	0.64	0.52	0.44	0.4	0.32	0.26	0.21	MPa
	2	151	144	113	110	90	72	62	57	45	36	29	Psi
		1.04	0.99	0.78	0.76	0.62	0.5	0.43	0.39	0.31	0.25	0.2	MPa
	5	147	139	110	106	88	70	60	55	44	35	29	Psi
		1.01	0.96	0.76	0.73	0.61	0.48	0.41	0.38	0.3	0.24	0.2	MPa
	10	142	135	106	103	85	68	58	53	43	34	28	Psi
		0.98	0.93	0.73	0.71	0.59	0.47	0.4	0.37	0.3	0.23	0.19	MPa
	20	140	132	104	101	83	67	57	52	42	33	27	Psi
		0.97	0.91	0.72	0.7	0.57	0.46	0.4	0.36	0.29	0.23	0.19	MPa
	50	134	127	100	97	80	64	55	50	40	32	26	Psi
		0.92	0.88	0.69	0.67	0.55	0.44	0.38	0.35	0.28	0.22	0.18	MPa

Nota: las tablas de clasificaron de presión interna y externa para PE3408 están basadas en gases y líquidos no agresivos para el polietileno. Para información adicional sobre resistencia química de **Policonductos®** , ver Sección E, “Resistencia química”.

Tabla A-7
CLASIFICACION DE PRESIONES EXTERNAS PARA POLICONDUCTOS®
CARGAS CRÍTICAS DE PANDEO A LARGO PLAZO (Para aplicaciones apoyadas sobre el terreno)

Temp °F / °C	Vida	RD											
		7	7.3	9	9.3	11	13.5	15.5	17	21	26	32.5	unidad
50° / 10°	Día	221.1	201	150.7	142.7	110.6	68.3	48.2	28.1	14.1	8	4	psi
		1.52	1.39	1.04	0.98	0.76	0.47	0.33	0.19	0.1	0.06	0.03	MPa
	Mes	154	140	105	99.4	77	47.6	33.6	19.6	9.8	5.6	2.8	psi
		1.06	0.97	0.72	0.69	0.53	0.33	0.23	0.14	0.07	0.04	0.02	MPa
	Año	132	120	90	85.2	66	40.8	28.8	16.8	8.4	4.8	2.4	psi
		0.91	0.83	0.62	0.59	0.46	0.28	0.2	0.12	0.06	0.03	0.02	MPa
	2 Años	123.2	112	84	79.5	61.6	38.1	26.9	15.7	7.8	4.5	2.2	psi
		0.85	0.77	0.58	0.55	0.42	0.26	0.19	0.11	0.05	0.03	0.02	MPa
	5 Años	117.7	107	80.6	76	58.9	36.4	25.7	15	7.5	4.3	2.1	psi
		0.81	0.74	0.55	0.52	0.41	0.25	0.18	0.1	0.05	0.03	0.01	MPa
	10 Años	114.4	104	78	73.8	57.2	35.5	25	14.6	7.3	4.2	2.1	psi
		0.79	0.72	0.54	0.51	0.39	0.24	0.17	0.1	0.05	0.03	0.01	MPa
	50 Años	110	100	75	71	55	34	24	14	7	4	2	psi
		0.76	0.68	0.52	0.49	0.38	0.23	0.17	0.1	0.05	0.03	0.01	MPa
75° / 23°	Día	176	164.8	134.7	124.6	98.5	60.3	42.2	24.1	13.1	7	3.6	psi
		1.22	1.14	0.93	0.86	0.68	0.42	0.29	0.17	0.09	0.05	0.02	MPa
	Mes	123.2	114.8	93.8	86.8	68.6	42	29.4	16.8	9.1	4.9	2.5	psi
		0.85	0.79	0.65	0.6	0.47	0.29	0.2	0.12	0.06	0.03	0.02	MPa
	Año	105.6	98.4	80.4	74.4	58.8	36	25.2	14.4	7.8	4.2	2.2	psi
		0.73	0.68	0.55	0.51	0.41	0.25	0.17	0.1	0.05	0.03	0.02	MPa
	2 Años	98.6	91.8	75	69.4	54.9	33.6	23.5	13.4	7.3	3.9	2	psi
		0.68	0.63	0.52	0.48	0.38	0.23	0.16	0.09	0.05	0.03	0.01	MPa
	5 Años	94.2	87.7	71.7	66.3	52.4	32.1	22.5	12.8	7	3.7	1.9	psi
		0.65	0.6	0.49	0.46	0.36	0.22	0.16	0.09	0.05	0.03	0.01	MPa
	10 Años	91.5	85.3	69.7	64.5	51	31.2	21.8	12.5	6.8	3.6	1.9	psi
		0.63	0.59	0.48	0.44	0.35	0.22	0.15	0.09	0.05	0.02	0.01	MPa
	50 Años	88	82	67	62	49	30	21	12	6.5	3.5	1.8	psi
		0.61	0.57	0.46	0.43	0.34	0.21	0.14	0.08	0.04	0.02	0.01	MPa
100° / 38°	Día	152.8	140.7	110.6	104.5	82.4	48.2	34.2	20.1	10.1	6	3	psi
		1.05	0.97	0.76	0.72	0.57	0.33	0.24	0.14	0.07	0.04	0.02	MPa
	Mes	106.4	98	77	72.8	57.4	33.6	23.8	14	7	4.2	2.1	psi
		0.73	0.68	0.53	0.5	0.4	0.23	0.16	0.1	0.05	0.03	0.01	MPa
	Año	91.2	84	66	62.4	49.2	58.8	20.4	12	6	3.6	1.8	psi
		0.63	0.58	0.46	0.43	0.34	0.2	0.14	0.08	0.04	0.02	0.01	MPa
	2 Años	85.1	78.4	61.6	58.2	45.9	26.9	19	11.2	5.6	3.4	1.7	psi
		0.59	0.54	0.42	0.4	0.32	0.19	0.13	0.08	0.04	0.02	0.01	MPa
	5 Años	81.3	74.9	58.9	55.6	43.9	25.7	18.2	10.7	5.4	3.2	1.6	psi
		0.56	0.52	0.41	0.38	0.3	0.18	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	MPa
	10 Años	79	72.8	57.2	54.1	42.6	25	17.7	10.4	5.2	3.1	1.6	psi
		0.54	0.5	0.39	0.37	0.29	0.17	0.12	0.08	0.04	0.02	0.01	MPa
	50 Años	76	70	55	52	41	24	17	10	5	3	1.5	psi
		0.52	0.48	0.38	0.36	0.28	0.17	0.12	0.07	0.03	0.02	0.01	MPa

Tabla A-7 (cont.)
CLASIFICACION DE PRESIONES EXTERNAS PARA POLICONDUCTOS®
CARGAS CRÍTICAS DE PANDEO A LARGO PLAZO (Para aplicaciones apoyadas sobre el terreno)

Temp °F / °C	Vida	RD											
		7	7.3	9	9.3	11	13.5	15.5	17	21	26	32.5	unidad
125° / 52°	Día	120.6	108.5	88.4	82.4	68.3	38.2	26.1	16.1	9	4.6	2.4	psi
		0.83	0.75	0.61	0.57	0.47	0.26	0.18	0.11	0.06	0.03	0.02	MPa
	Mes	84	75.6	61.6	57.4	47.6	26.6	18.2	11.2	6.3	3.2	1.7	psi
		0.58	0.52	0.42	0.4	0.33	0.18	0.13	0.08	0.04	0.02	0.01	MPa
	Año	72	64.8	52.8	49.2	40.8	22.8	15.6	9.6	5.4	2.8	1.4	psi
		0.5	0.45	0.36	0.34	0.28	0.16	0.11	0.07	0.04	0.02	0.01	MPa
	2 Años	67.2	60.5	49.3	45.9	38.1	21.3	14.6	9	5	2.6	1.3	psi
		0.46	0.42	0.34	0.32	0.26	0.15	0.1	0.06	0.03	0.02	0.01	MPa
	5 Años	62.4	57.8	47.1	43.9	36.4	20.3	13.9	8.6	4.8	2.5	1.3	psi
		0.44	0.4	0.32	0.3	0.25	0.14	0.1	0.06	0.03	0.02	0.01	MPa
	10 Años	62.4	56.2	48.8	42.6	35.4	19.8	13.5	8.3	4.7	2.4	1.2	psi
		0.43	0.39	0.34	0.29	0.24	0.14	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01	MPa
	50 Años	60	54	44	41	34	19	13	8	4.5	2.3	1.2	psi
		0.41	0.37	0.3	0.58	0.23	0.13	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01	MPa
150° / 65°	Día	104.5	94.5	76.4	72.4	58.3	32.2	22.1	14.1	7.4	4	2	psi
		0.72	0.65	0.53	0.5	0.4	0.22	0.15	0.1	0.05	0.03	0.01	MPa
	Mes	72.8	65.8	53.2	50.4	40.6	22.4	15.4	9.8	5.2	2.8	1.4	psi
		0.5	0.45	0.37	0.35	0.28	0.15	0.11	0.07	0.04	0.02	0.01	MPa
	Año	62.4	56.4	45.6	43.2	34.8	19.2	13.2	8.4	4.4	2.4	1.2	psi
		0.43	0.39	0.31	0.3	0.24	0.13	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01	MPa
	2 Años	58.2	52.6	42.6	40.3	32.5	17.9	12.3	7.8	4.1	2.2	1.1	psi
		0.4	0.36	0.29	0.28	0.22	0.12	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	MPa
	5 Años	55.6	50.3	40.7	38.5	31	17.1	11.8	7.5	4	2.1	1.1	psi
		0.38	0.35	0.28	0.27	0.21	0.12	0.08	0.05	0.03	0.01	0.01	MPa
	10 Años	54.1	48.9	39.5	37.4	30.2	16.6	11.4	7.3	3.8	2.1	1	psi
		0.37	0.34	0.27	0.26	0.21	0.11	0.08	0.05	0.03	0.01	0.01	MPa
	50 Años	52	47	38	36	29	16	11	7	3.7	2	1	psi
		0.36	0.32	0.26	0.25	0.2	0.11	0.08	0.05	0.06	0.01	0.01	MPa

Nota: las tablas de clasificaron de presión interna y externa para PE3408 están basadas en gases y líquidos no agresivos para el polietileno. Para información adicional sobre resistencia química de **Policonductos®**, ver Sección E, "Resistencia química".

SISTEMA A PRESION EXTERNA O VACIO

Una línea de tubería puede estar sometida a una presión externa positiva o a vacío como oposición a la más usual situación de presión interna positiva. En la mayoría de los casos esto ocurre por diseño, como en una línea de succión de agua, pero también puede ocurrir de manera inesperada. Por ejemplo, una línea que tenga un punto elevado en el lado de bajada puede resultar en una velocidad de flujo mayor que en el lado de subida.

En otras aplicaciones, puede haber ambos vacío y presión externa ejerciendo sobre el sistema. Estas condiciones pueden ocurrir si una línea bombeada a succión es enterrada con una carga externa considerable sobre la tubería. Ambos factores son aditivos y deben de considerarse en el diseño del sistema de tubería.

En cualquier situación, los efectos de las condiciones de presión externa o vacío deben ser consideradas en el diseño. El pandeo de la tubería puede ocurrir en casos extremos, pero puede ser prevenido mediante un correcto diseño del sistema. En caso de que el pandeo deba ocurrir, generalmente no es una falla catastrófica. El pandeo ocurre como una deflexión gradual del tubo hacia una condición no redonda que empeora progresivamente hasta el punto de quedar totalmente plana. Como el pandeo no produce agrietamiento o rajadura de la pared del tubo, esta puede recobrar su condición original de redondez. Esto puede lograrse aplicando presión interna por un corto lapso de tiempo. La causa del pandeo debe ser identificada y corregida.

Las presiones externas seguras para **Policonductos®** se encuentran en la tabla A-7 para una serie de temperaturas. Estos valores están basados en varias expectativas de vida para aplicaciones usando agua o fluidos de compatibilidad similar con polietileno.

En algunas situaciones, vacíos y/o cargas externas ocurren por un relativamente corto periodo de tiempo. Estimando la duración de la carga y aplicando los factores de corrección de tiempo, Tabla A-8, el diseñador puede equiparar la RD (relación dimensional) a la aplicación en particular. La tubería con pared delgada generalmente es capaz de soportar cargas de corta duración. Estos factores de corrección de tiempo son usados en el cálculo de los valores presentados en la Tabla A-7 en las páginas A-16 y A-17. En la Sección C se explica más a detalle la carga externa.

Tabla A-8
FACTOR DE CORRECCION DE TIEMPO

Tiempo	Factor de corrección de tiempo
Día	2.01
Mes	1.40
Año	1.20
2 Años	1.12
5 Años	1.07
10 Años	1.04
50 Años	1.00

Ejemplo: Calcular la presión externa de un mes de duración para tubería RD 26 con una presión externa estimada de 4.0 psi (0.02Mpa) a 75°F (23°C).

De la Tabla A-7, presión externa a 50 años es 3.5 psi (0.02MPa) x factor de corrección de tiempo, 1.40 = **4.90 psi (0.03Mpa) de capacidad.**

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.

FLUJO DE FLUIDOS

La velocidad de flujo a través de un sistema de tuberías es un factor importante para el diseño del sistema. Algunos factores que pueden afectar el flujo son: densidad, presión (incluyendo pérdida de presión), diámetro interno de la tubería, y cualquier factor de resistencia adicional como los accesorios.

Policonductos® tiene una superficie interna extremadamente lisa, resultado de esto es un muy bajo coeficiente de fricción y una pérdida mínima de presión debida a fricción cuando se le compara con tuberías de otros materiales. La superficie interna virtualmente no experimenta deterioro debido a corrosión. Las propiedades benéficas de la superficie lisa interna de la tubería de polietileno se mantienen a lo largo de su vida de servicio. Gracias a estas ventajas, frecuentemente es posible utilizar una tubería de polietileno de un diámetro interno menor que con tuberías de otros materiales.

La velocidad máxima permitida para agua en un sistema de tuberías termoplásticas está en función del diseño del sistema específico y de sus condiciones de servicio. De acuerdo con PPI Technical Report #14, "En general, velocidades de 5 – 10 ft/s son consideradas normales". Como ya se mencionó, estas velocidades son recomendadas para agua y varían dependiendo del fluido y del diámetro interno de la tubería. Velocidades recomendadas para diferentes propiedades del fluido se muestran en la Tabla B-1. Información adicional para aplicaciones con lodos se encuentra en la Sección H.

Tabla B-1
Velocidades de líquido recomendadas

tamaño de la tubería	Velocidad Recomendada				
	Agua y Líquidos Viscosos Similares			Líquidos Viscosos	
	Succión* de la Bomba	Descarga de la Bomba	Sistema de Drenaje por Gravedad	Succión* de la Bomba*	Descarga de la Bomba
3 – 10 pulgadas (76 – 254 mm)	1 – 4 pie/s (.30 – 1.22 m/s)	3 – 10 pie/s (.91 – 3.00 m/s)	3 – 5 pie/s (.91 – 1.52 m/s)	0.05 – 2 pie/s (.15 – .61 m/s)	3 – 5 pie/s (.91 – 1.52 m/s)
10 – 28 pulgadas (254 – 711 mm)	3 – 6 pie/s (.91 – 1.83 m/s)	4 – 10 pie/s (1.22 – 4.00 m/s)	4 – 8 pie/s (1.22 – 2.44 m/s)	1 – 4 pie/s (.30 – 1.22 m/s)	4 – 6 pie/s (1.22 – 1.83 m/s)
28 – 54 pulgadas (711 – 1372 mm)	5 – 8 pie/s (1.54 – 2.44 m/s)	6 – 12 pie/s (1.83 – 3.66 m/s)	6 – 10 pie/s (1.83 – 3.05 m/s)	2 – 5 pie/s (.61 – 1.52 m/s)	5 – 7 pie/s (1.52 – 2.13 m/s)

*es importante en la selección del tamaño de tubería que la velocidad designada de succión por bombeo sea menor que la velocidad de descarga.

CAÍDA DE PRESIÓN

Un fluido se define como “Una sustancia que cuando está en equilibrio estático no es capaz de sostener fuerzas tangenciales o cortantes”.

Los tres tipos de fuerzas que pueden actuar sobre un cuerpo son cortante, tensión y compresión. Las fuerzas cortantes y de tensión no se mencionan en esta Guía. Las fuerzas de compresión, presión, son consideradas debido a la importancia en el diseño de las capacidades de un sistema de tubería.

El flujo volumétrico, Q, puede determinarse con la ecuación de continuidad⁴ $Q = A \cdot V$. Modificada para flujo en galones por minuto:

$$Q = 0.7854 \cdot V \cdot d^2 \quad (4)$$

$$d = \sqrt{\frac{1.2732 \cdot Q}{V}} \quad (5)$$

Donde Q = Flujo Volumétrico, m³/s
V = Velocidad, m/s
d = Diámetro interno, m

EJEMPLO: Si el gasto requerido para un sistema es de 126.2 lt/s y la velocidad debe mantenerse por debajo de 2.44 m/s, ¿Cuál es el diámetro de la tubería?

$$d = \sqrt{\frac{1.2732 \cdot 0.1262}{2.44}} = 0.2566 \text{ m}$$

PERDIDA DE PRESION POR FRICCION

El total de la caída de presión en un sistema es la suma de las perdidas por fricción, accesorios y por cambios de elevación. La pérdida de presión debida a fricción en la tubería se calcula utilizando la fórmula de Hazen-Williams¹. Se puede aplicar en sistemas de bombeo de agua y fluidos con viscosidad similar. La fórmula de Hazen-Williams es:

$$\Delta P_f = \frac{1748.24 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot d^{4.87}}$$

Donde ΔP_f = Pérdida de presión debida a fricción, m cada 1 m
C = Coeficiente del factor de flujo Hazen-Williams^{*}
Q = Flujo volumétrico, lt/s
d = Diámetro interior, pulgadas

***Policonductos®** recomienda un valor de 150 para C basándose en información del Plastics Pipe Institute Technical Report #14, *Water Flow Characteristics of Thermoplastic Pipe*. Para más información, refiérase a este artículo (www.plastipipe.org).

Se debe mencionar que los tamaños de tubería citados en las figuras son los diámetros internos mínimos y el diámetro externo puede ser consultado en la Sección A.

La fórmula de Hazen-Williams se puede usar para calcular cualquiera de las siguientes variables: flujo volumétrico (Q), velocidad (V), diámetro interno (d) o pérdida de presión por fricción (ΔP_f). Valores adicionales para el Coeficiente del factor de flujo Hazen-Williams se muestran en la Tabla B-2.

Tabla B-2
COEFICIENTES DEL FACTOR DE FLUJO HAZEN-WILLIAMS EN VARIAS TUBERIAS

DESCRIPCION DE LA TUBERIA	VALOR DE "C"
Policonductos® HDPE	150
Acero muy liso y recto, vidrio	130-140
Hierro dúctil con revestimiento de cemento nuevo	130
Madera lisa y zunchada	120
Acero remachado nuevo, hierro fundido	110
Hierro fundido viejo	95
Tubería vieja en mala condición	60-80
Tuberías pequeñas muy corroídas	40-50

GANANCIA/PERDIDA DE PRESION POR ELEVACION

La fórmula de Hazen-Williams es usada solo para establecer las pérdidas de presión debidas a fricción en la tubería. Si hay un cambio en la elevación, es necesario calcular el cambio de presión debido a los cambios de elevación. El cambio en la presión puede ser positivo (descenso) o negativo (asenso).

En una línea con cambio en la elevación sin cambio en el diámetro del tubo, la perdida de presión puede ser calculada de la siguiente forma:

$$\Delta P_e = h_2 - h_1 \quad (7)$$

Donde ΔP_e = Perdida de presión debida a cambio de elevación, m
 h_1 = Punto alto de la elevación, m
 h_2 = Punto bajo de la elevación, m

PERDIDA DE PRESION EN ACCESORIOS

Ningún cálculo de la caída de presión en un sistema de tuberías puede ser hecho con precisión sin considerar la pérdida de presión debida a la presencia de accesorios en el sistema.

El flujo del fluido, al pasar por un accesorio, es sujeto a un cambio de dirección y al resultante grado de iniciación de turbulencia, o por lo menos a una interrupción de la deseable condición de flujo estable que se presenta a lo largo de la tubería en línea recta.

Debido a la geometría y variación en las condiciones de flujo a través del accesorio, la pérdida de presión exacta no puede ser calculada en ningún sentido práctico. La pérdida de presión es calculada al expresar al accesorio como una longitud equivalente de tubería la cual se espera que produzca la misma perdida de presión. Los valores mostrados en la Tabla B-3 han sido obtenidos en cierto grado por experimentación, pero son en mayor grado el resultado de un consenso general de la industria (PPI Technical Repor t#14).

Tabla B-3
CAIDA DE PRESION EN ACCESORIOS

TIPO DE ACCESORIO	LARGO EQUIVALENTE DE TUBERIA*,m
codo de 90°, moldeado	16D
codo de 90°, segmentado	24D
codo de 60°	16D
codo de 45°, moldeado	16D
codo de 45°, segmentado	12D
Tee	20D
Tee con derivación (silleta de ramaleo)	60D
Válvula de compuerta, abierta	8D
Valvula de mariposa 3"-14" (76-356 mm)	40D
Válvula de mariposa 114" (356 mm) y mayores	30D
Valvula de retroceso de columpio	100D
Valvula esferica, abierta	3D

***NOTA:** *D es el diámetro interno de la tubería en m.*

EJEMPLO: Una tee tiene una longitud equivalente de 20D. Para una línea de 18" (457 mm) RD11, calcule la longitud de tubería equivalente del accesorio para compensar la pérdida de presión.

De la página A-6, el diámetro interno nominal de 18"RD11 es 369.09 mm. $0.37 \text{ m} \times 20 = \mathbf{7.4 \text{ m}}$

Por lo tanto, un total de 7.4 m es sumado a la longitud total para compensar la pérdida de presión adicional creada por el accesorio.

PERDIDA DE PRESION TOTAL

La presión total requerida para mantener el flujo puede ser calculada sumando las pérdidas de presión calculadas usando la ecuación de Hazen-Williams para la pérdida de presión por fricción en la tubería, la Ecuación (7) para los cambios de elevación y la Tabla B-3 para la perdida de presión debida a accesorios.

$$\Delta P_T = \Delta P_f + \Delta P_e + \Delta P_{\text{accesorios}} \quad (8)$$

FLUJO POR GRAVEDAD

La ecuación de Manning¹ es la aproximación más comúnmente aceptada para el flujo por gravedad.

$$V = \frac{R^{0.667} \cdot S^{0.5}}{n} \quad (9)$$

Donde V = Velocidad de flujo promedio, m/s
R = Radio hidráulico, m
S = Pendiente de la tubería, m por m
n = Coeficiente de flujo Manning, 0.010

El coeficiente de Manning (n) para **Policonductos®** es aproximadamente 0.009. Sin embargo, generalmente es usada una aproximación confiable y conservadora de 0.010.

El radio hidráulico puede determinarse con la siguiente formula:

$$R = f \cdot d \quad (10)$$

Donde R = Radio hidráulico, m
f = Factor de llenado
d = Diámetro interno, m

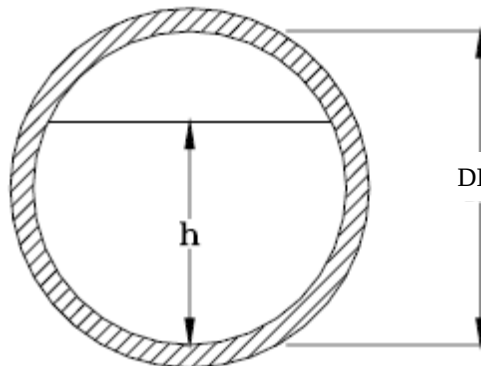


Tabla B-4
Factor de llenado f y de área A

h/ID	f	A	h/ID	f	A
0.05	0.0326	0.0147	0.5500	0.2649	0.4426
0.10	0.0636	0.0409	0.6000	0.2776	0.4920
0.15	0.0929	0.0739	0.6500	0.2881	0.5404
0.20	0.1206	0.1118	0.7000	0.2962	0.5872
0.25	0.1466	0.1535	0.7500	0.3017	0.6319
0.30	0.1710	0.1982	0.8000	0.3042	0.6736
0.35	0.1935	0.2450	0.8500	0.3033	0.7115
0.40	0.2143	0.2934	0.9000	0.2980	0.7445
0.45	0.2331	0.3428	0.9500	0.2864	0.7707
0.50	0.2500	0.3927	1.0000	0.2500	0.7854

Una vez determinada la velocidad de flujo, el gasto volumétrico puede ser calculado usando la siguiente formula:

$$Q = V \cdot A \cdot d^2 \quad (11)$$

Donde Q = Gasto volumétrico, m³/s
 V = Velocidad, m/s
 d = Diámetro interior, m
 A = Factor de área de la Tabla B-4

Para aplicaciones con flujo a tubo lleno, el gasto volumétrico puede determinarse usando la siguiente formula:

$$Q = \frac{0.3117}{n} * d^{2.667} * S^{0.5} \quad (12)$$

Donde Q = Gasto volumétrico, m³/s
 n = Coeficiente de Manning, 0.010
 D = Diámetro interno, m
 S = Pendiente, m por m

OSCILACIONES DE PRESION Y GOLPE DE ARIETE

El uso generalizado de tubería de polietileno para flujo líquido necesita un mayor entendimiento de las acciones y reacciones en el flujo de masa que pueden afectar al sistema. Como el agua es un líquido, y a velocidades de deformación sustanciales actúa casi como un sólido, se comporta de una manera compleja cuando se acelera o desacelera.

Esta columna de agua móvil dentro de la tubería tiene energía cinética activa. Esta energía puede ser calculada con su masa y velocidad. Un cambio en la velocidad de la columna causa un cambio en la energía que se manifiesta como un cambio en la presión. Este cambio en la presión es comúnmente llamado “golpe de ariete”. El golpe de ariete se describe mejor como presión hidráulica transitoria y es un incremento repentino en la presión debido a cambios en la velocidad del fluido en la tubería.

El aire capturado en un sistema de tubería sobre un terreno de pendiente normal puede causar golpe de ariete. Aun utilizando técnicas adecuadas de llenado y desplazando todo el aire, el aire capturado se separa y se junta en bolsas en las “jorobas” de la línea de conducción. Presiones significativas son generadas cuando las bolsas de aire son súbitamente liberadas. El uso de válvulas expulsoras de aire en los puntos altos puede aliviar este problema.

Un bloqueo abrupto a una columna de agua en movimiento genera un incremento en la presión aguas arriba y una presión negativa aguas abajo del bloqueo. La magnitud de estas presiones está relacionada con la velocidad del fluido, la masa del fluido y la velocidad con la que ocurre el bloqueo.

Las fuerzas requeridas para restablecer el reposo de esta columna de agua son las fuerzas de fricción y el esfuerzo transmitido a la pared de la tubería. Por lo tanto, el esfuerzo en la pared de la tubería se incrementa con la magnitud de la oscilación y el esfuerzo total es el esfuerzo normal de operación (presión) más el esfuerzo por la oscilación (sobre presión).

En el lado de aguas abajo del bloqueo la columna de agua puede crear vacío. Dependiendo de la velocidad de la columna, esta pudiera separarse y juntarse nuevamente. El vacío en esta condición normalmente no afecta negativamente a la tubería a menos que ocurra la separación de la columna. En ese caso, una presión positiva extremadamente alta pudiera generarse cuando el espacio se cerrara y las dos caras de la columna colisionaran.

El golpe de ariete en un sistema de tuberías es una onda de presión que se inicia debido a un cambio en la velocidad del líquido y la onda puede moverse a través de la columna a una velocidad de hasta 1,272 m/s, dependiendo del material de la tubería.

La magnitud, ΔP , de esta onda de presión puede ser calculada con la siguiente ecuación¹:

$$\Delta P = \frac{S \cdot \Delta V}{g} \quad (14)$$

Donde ΔP = Sobrepresión, m
 ΔV = Cambio en la velocidad, m/s
 g = Aceleración debida a la gravedad, 9.81 m/s²
 S = Velocidad de la onda, m/s

El valor calculado usando la Ecuación (14) puede tener una presión de onda resultante positiva o negativa. Esta fuerza resultante, cuando se sobrepone en la curva de presión de operación, pudiera mostrar un incremento o reducción con respecto a la presión de operación normal.

Donde S , la velocidad de la onda, puede calcularse con la siguiente formula¹:

$$S = \frac{1400}{\sqrt{1 + \frac{2E'd}{Et}}} \quad (15)$$

Donde	E	=	Módulo de elasticidad instantáneo del material, Mpa
	E'	=	Módulo de elasticidad volumétrico del fluido, Mpa
	d	=	Diámetro interno, m
	t	=	Espesor de la pared de la tubería, m

Debido a las propiedades elásticas del polietileno, una cantidad significativa de la oscilación de presión es absorbida por la expansión. Esta elasticidad permite reducir la onda de choque y la disipación de la onda. Según AWWA C-906, un sistema operando por debajo de su presión de trabajo es capaz de soportar una oscilación de presión de acuerdo con lo siguiente.

1. Oscilación de presión recurrente: el total de la máxima presión de trabajo y la máxima presión de oscilación recurrente no deben de ser mayor que 1.5 veces la presión nominal de trabajo (PC) de la tubería.
2. Oscilación de presión ocasional: el total de la máxima presión de trabajo y la máxima oscilación de presión ocasional no debe ser mayor que 2 veces la presión nominal de trabajo (PC) de la tubería.

Como el golpe de ariete es producido por cambios en la velocidad, el adecuado control de válvulas puede eliminar o minimizar este efecto. Para minimizar o eliminar el golpe de ariete, el flujo no debe ser interrumpido más rápido de lo que tarda una onda de presión en ser iniciada al principio del cierre de la válvula y regresar a la válvula de nuevo. Esto por definición es considerado el *tiempo crítico* (T_{cr})¹ que se define como el mayor tiempo antes de la detención final del flujo que todavía permite que ocurra la máxima presión.

$$T_{cr} = \frac{2 \cdot L}{S}$$

Donde	T_{cr}	=	Tiempo crítico, s
	S	=	Velocidad de la onda, m/s
	L	=	Longitud de la línea de conducción, m

Como la mayoría de las válvulas no cortan el flujo proporcionalmente al recorrido del cilindro de la válvula, es importante basar el tiempo de cerrado de la válvula en el tiempo de cerrado efectivo. El tiempo de cerrado efectivo en la mayoría de las aplicaciones está determinado como la mitad del tiempo de cerrado actual. Este es el valor que debe ser utilizado en los cálculos del golpe de ariete.

El aspecto más importante a reconocer en el diseño del sistema es recordar que el golpe de ariete puede ocurrir y que los métodos de protección para el sistema y para minimizar el efecto deben estar indicados. Esto puede lograrse mediante la instalación de equipo, incluyendo el siguiente:

- Válvulas aliviadoras de presión
- Válvulas check de cerrado controlado.
- Cámaras de aire
- Válvulas expulsoras de aire y vacío
- Tanques de oscilación
- Válvulas de compuerta manuales

En resumen, las oscilaciones son el resultado de un cambio de velocidad en el sistema. Este cambio en la velocidad está directamente relacionado con el cambio de presión en el sistema (negativo o positivo). El golpe de ariete puede ser evitado eliminando cambios bruscos de velocidad en el sistema. Tomando los pasos precautorios necesarios durante el llenado inicial y probando la línea de conducción, pueden ser eliminados un número significativo de problemas de oscilación.

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.

CARGA DE TIERRA

Policonductos®, debido a su flexibilidad, se deflectará al ser enterrada. El grado de deflexión dependerá de las condiciones del suelo, condiciones de enterrado, ancho de la trinchera y la profundidad de enterrado. El grado de deflexión de la tubería está limitado por el suelo a su alrededor, especialmente en la dirección lateral. Cuando el suelo se compacta alrededor de la tubería, existe un efecto de soporte debido al suelo, y junto con la compactación, existe fricción del suelo y cohesión sobre la tubería que reduce la carga directa sobre la tubería.

Policonductos®, como otras tuberías flexibles, depende del suelo a su alrededor para soporte, y debe de ser considerado como un componente en el sistema tubería/suelo. La presencia del arco de suelo y el soporte derivado de las limitaciones de movimiento lateral son sumamente benéficos para la eficiencia del sistema. Por lo tanto, la flexibilidad de **Policonductos®** es la principal razón para estas ventajas. Como ya se mencionó, gracias a la durabilidad del polietileno es capaz de resistir niveles altos de abuso mecánico, y esto no es menos cierto para sistemas enterrados donde las fuerzas de deflexión pueden ocurrir debido a hundimiento, deslave y asentamiento.

Los análisis de las cargas externas deben ser llevados a cabo para determinar la viabilidad de la aplicación. Hay dos cálculos de carga necesarios al diseñar aplicaciones bajo tierra de **Policonductos®**. Estos cálculos son la deformación de anillo y el pandeo de la pared. La deformación axial calculada usando la fuerza de compresión permisible del PE, no es normalmente critica cuando se está usando **Policonductos®** de pared maciza, pero la deformación de anillo y el pandeo de la pared son parámetros predominantes.

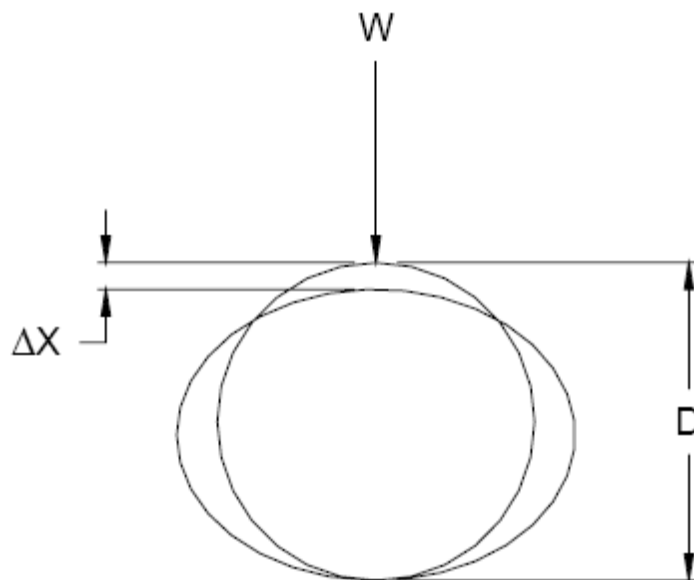
DEFORMACION DE ANILLO

Policonductos®, cuando se entierra en condiciones de suelo suelto, exhibirá su tendencia a la deflexión, llamada deformación de anillo. A continuación se encuentran listados los límites máximos permisibles para la deformación de anillo en **Policonductos®** para las diferentes relaciones dimensionales (RD) disponibles.

Tabla C-1
Límites de diseño para deformación de anillo

RD	Deformación segura, % del diámetro
32.5	8.0
26	7.0
21	6.0
17	5.0

Figure C-1



Policonductos®, debido a sus propiedades físicas inherentes de flexibilidad, elasticidad y resistencia puede soportar deflexión significativa sin fallar. Puede aplastarse sin causar fractura a la pared de la tubería. No obstante, esta condición es inaceptable para condiciones de servicio. Una deflexión del 15% sería aceptable para un sistema de polietileno fusionado a tope, aunque una reducción en el flujo se haría evidente. También sería difícil utilizar equipo de limpieza convencional con esta severa deflexión. La deformación de anillo que resulta en áreas de flujo hidráulico reducido, debe ser tomada en cuenta en la ingeniería de las características de flujo. Refiérase a la Tabla C-2 para obtener el porcentaje de reducción de área basado en el porcentaje de deformación de anillo.

Tabla C-2
Reducción de área debida a deformación de anillo

Deformación de anillo, %	Reducción de área, %
2	0.04
4	0.16
5	0.25
6	0.36
8	0.64
10	1.00
12	1.44
14	1.96
15	2.25
16	2.56

Al calcular la carga de tierra en una tubería enterrada, el diseñador debe ser capaz de calcular con cierto grado de precisión el tipo de condición del material de relleno. Sería más difícil de colocar y compactar adecuadamente arcilla saturada que un material granular grueso que no es pegajoso. Es importante en el sistema tubería/suelo que el material de relleno a utilizar para acostillado y para el relleno inicial (ver Instalación, Sección F, para una explicación de la terminología) sea granular y no cohesivo, libre de detritus, materia orgánica, tierra congelada y piedras mayores de 1 ½ pulg de diámetro. Este material puede ser descrito como Clase I o II de ASTM D2321 “materiales de ¼ a 1 ½ pulg como: piedra graduada angular, escoria, roca extrusiva, conchas quebradas y piedra o arenas y gravas conteniendo un porcentaje pequeño de finos, generalmente granulares y no cohesivos, húmedos o secos.” Este material puede trabajarse fácilmente para formar el acostillado de la tubería, y compactarse por capas de aproximadamente 4 -6 pulgadas.

Para determinar la deformación de anillo de **Policonductos®** sujeta a una carga externa, primero se debe determinar la carga de tierra en libras por pulgada lineal de tubería mediante el uso de la siguiente modificación de la fórmula de Marston⁵:

$$W = \frac{C_d \cdot \rho \cdot B_d \cdot D}{144}$$

- Donde

W

=

Carga de tierra por unidad de longitud de tubería, lbs/pulg

C_d

=

Coeficiente de trinchera (adimensional) (ver figura C-2)

ρ

=

Densidad del suelo, lbs/pie³

D

=

Diámetro externo, pulgadas

B_d

=

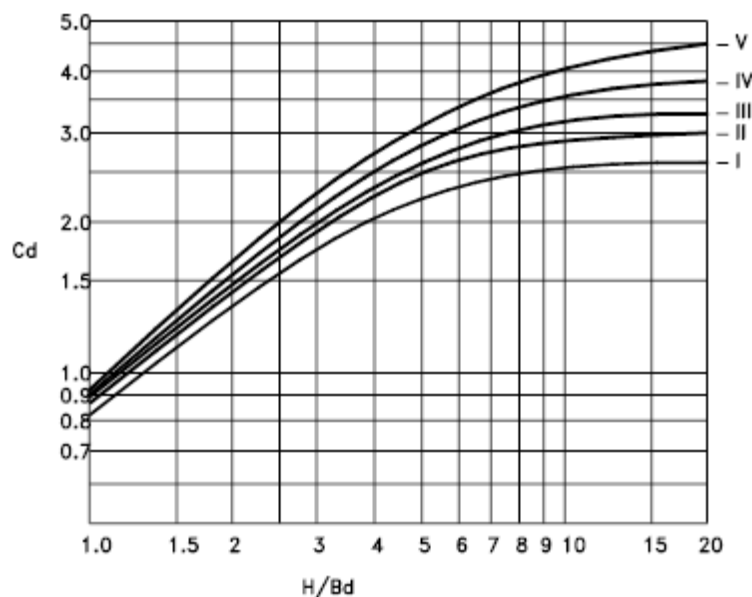
Ancho de la trinchera en la parte superior de la tubería, pie

Tabla C-3
CLASSIFICACION DEL MATERIAL DE RELLENO
SEGUN ASTM D2321*

Clase	Comentarios
<u>Clase I</u> – piedra angular graduada, ¼ “ a 1 ½ “, incluyendo algunos materiales de relleno que tienen significancia regional como el coral, escoria, roca extrusiva, piedra triturada, grava triturada y conchas trituradas.	100 – 200 libras por pie cúbico. Para tuberías de tamaño menor a 10” el tamaño máximo de partícula debe limitarse a ½ “ para facilitar la colocación.
<u>Clase II</u> – grava y arena gruesa con un tamaño de partícula máximo de 1 ½ “, incluyendo varias arenas graduadas y gravas con bajo contenido de finos, generalmente granulares no cohesivos, secos o húmedos.	110 – 130 libras por pie cúbico. Para tuberías de tamaño menor a 10” el tamaño máximo de partícula debe limitarse de ½ “ a ¾” para facilitar la colocación.
<u>Clase III</u> – grava arenosa y arcillosa fina, incluyendo arenas finas, mezclas de arena y arcilla, y mezclas de grava y arcilla.	140 – 150 libras por pie cúbico.
<u>Clase IV</u> – limo, arcillas limosas, y arcillas, incluyendo arcillas inorgánicas y limos de plasticidad y limite líquido de medio a alto.	150 – 180 libras por pie cúbico.
<u>Clase V</u> – incluye suelos orgánicos así como suelos que contengan tierra congelada, detritus, piedras mayores a 1 ½ pulgada de diámetro, y otros materiales extraños.	No recomendable como relleno a excepción de la última zona del relleno.

* Para más información sobre la clasificación de suelos el diseñador puede consultar ASTM D2487, “Standard Test Method for Classification of Soil for Engineering Purposes.”

Figura C-2
COEFICIENTE DE TRINCHERA, C_d
DEPENDIENTE DEL TIPO DE SUELO Y CONFIGURACION DE CEPAS



I Materiales Granulares
II Arena y Grava
III Suelo Superficial Saturado
IV Arcilla Normal
V Arcilla Húmeda

H: altura del relleno sobre la tubería, pies.
 B_d : ancho de la cepa sobre la tubería, pies.

En la practica, el ancho de trinchera (B_d) puede mantenerse a un máximo de seis pulgadas por lado, mayor al diámetro de la tubería. Aunque esto pueda parecer estrecho en comparación con las trincheras para materiales convencionales, se debe mencionar que **Policonductos®** puede ser pre-ensamblado sobre el suelo y después colocado en la trinchera. El ancho de la trinchera debe mantenerse lo más estrecho posible ya que la carga ejercida por el suelo está relacionada con el ancho de trinchera.

La deflexión lineal de la tubería puede ser calculada con la siguiente ecuación modificada de Spangler ⁶.

$$\Delta x = \frac{D_1 \cdot K \cdot W}{\left(\frac{2E}{3(RD - 1)^3} \right) + 0.061E'}$$

Donde Δx = Deflexión horizontal o cambio en el diámetro, pulgadas
 D_1 = Factor de deflexión retardado, **Policonductos®** recomienda 1.0 (adimensional)
 K = Constante de encamado, **Policonductos®** recomienda 0.1 (adimensional)
 W = Carga de tierra, lbs/pulg (ver ecuación (17))
 E = Módulo de elasticidad de la tubería, 30 000 psi
 E' = Modulo del suelo, psi
 RD = Relación dimensional, (adimensional)

* para más valores de K ver referencia.

El porcentaje de deflexión puede ser calculado usando la siguiente formula⁶.

$$d = \frac{\Delta x}{D} \cdot 100$$

Donde d = Porcentaje de deflexión, %
 Δx = Deflexión horizontal o cambio en el diámetro, pulgadas
 D = Diámetro externo, pulgadas

Tabla C-4
MODULOS DE SUELO TIPICOS (PSI)

Tipo de suelo	Profundidad		Compactación relativa estándar AASHTO			
	pies	m	85%	90%	95%	100%
Suelos de grano fino con menos del 25% de contenido de arena (CL, ML, CL-ML)	0-5	0-1.5	500	700	1000	1500
	5-10	1.5-3.1	600	1000	1400	2000
	10-15	3.0-4.6	700	1200	1600	2300
	15-20	4.6-6.1	800	1300	1800	2600
Suelos de grano grueso con finos (SM, SC)	0-5	0-1.5	600	1000	1200	1900
	5-10	1.5-3.0	900	1400	1800	2700
	10-15	3.0-4.6	1000	1500	2100	3200
	15-20	4.6-6.1	1100	1600	2400	3700
Sólidos de grano grueso con pocos o sin finos (SP, SW, GW)	0-5	0-1.5	700	1000	1600	2500
	5-10	1.5-3.0	1000	1500	2200	3300
	10-15	3.0-4.6	1050	1600	2400	3600
	15-20	4.6-6.1	1100	1700	2500	3800

Los valores del módulo de reacción del suelo, E' (psi) están basados en la profundidad de enterrado, tipo de suelo, y compactación relativa. Los símbolos de los tipos de suelo fueron tomados del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Fuente: Hartley, James D. and Duncan, James M., "E' and its Variation with Depth," Journal of Transportation, Division of ASCE, Sept. 1987.

PANDEO DE LA PARED

Cuando **Policonductos®** se entierra en condiciones de suelo denso y sujeto a una carga externa excesiva, tendrá tendencia al pandeo de pared. Como se observa en la Figura C-3, el pandeo de pared es una arruga longitudinal que generalmente ocurre entre la posición de las 10:00 y las 2:00 horas. El pandeo de pared debe tomarse como una consideración de diseño cuando el total de la carga vertical exceda el esfuerzo crítico de pandeo para **Policonductos®**.

Figura C-3



La carga vertical puede ser determinada mediante la suma de la carga muerta calculada (carga resultante del relleno y cargas superficiales estáticas) y la carga viva (carga debida a carros, camiones, trenes, etc.)

CARGA DEL RELLENO

$$P_b = \frac{\rho_{soil} \cdot H}{144}$$

Donde P_b = Carga del relleno, psi
 ρ_{soil} = Densidad del relleno, lbs/pie³
 H = Altura de relleno sobre la tubería, pies

CARGA SUPERFICIAL

Las cargas superficiales son aquellas ejercidas por estructuras cercanas a **Policonductos®** enterrada. Estas cargas pueden ser edificios, tanques de almacenamiento, u otras estructuras de peso considerable que puedan sumarse a la carga de relleno. Las cargas ejercidas sobre **Policonductos®** por cargas superficiales estructurales pueden ser aproximadas usando la siguiente formulación de Boussinesq¹⁷:

$$P_s = \frac{3LZ^3}{144 \cdot 2\pi R^5}$$

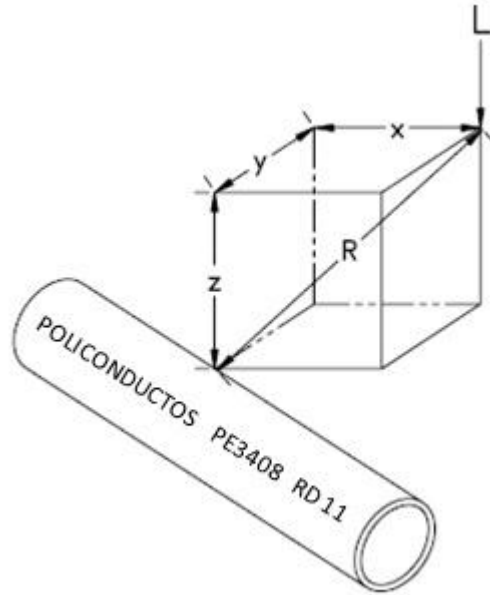
Donde P_s = Carga superficial en la tubería, psi
 L = Carga superficial estática, lbs
 Z = Distancia vertical desde la parte superior de la tubería al nivel de superficie de carga, pies
 R = Línea recta de la parte superior de la tubería a la superficie de carga, pies

Donde,

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Donde x = Distancia horizontal a la superficie de carga, pies (ver figura C-4)
 y = Distancia horizontal a la superficie de carga, pies (ver figura C-4)
 z = Distancia vertical de la parte superior de la tubería al nivel de superficie de carga, pies (ver figura C-4)

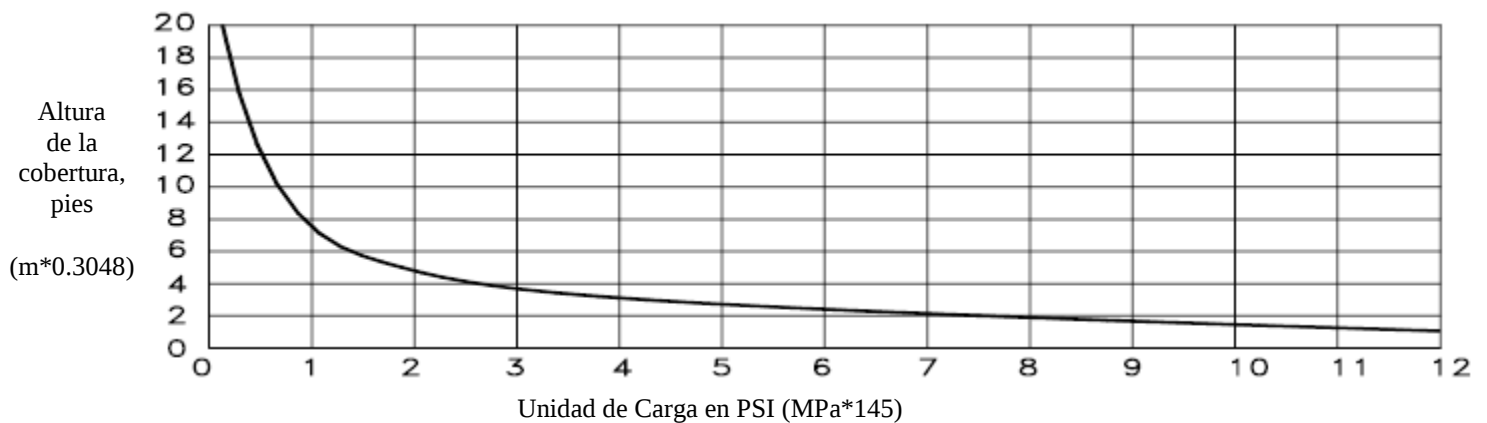
Figura C-4
FUERZA SUPERFICIAL RESULTANTE



CARGA VIVA

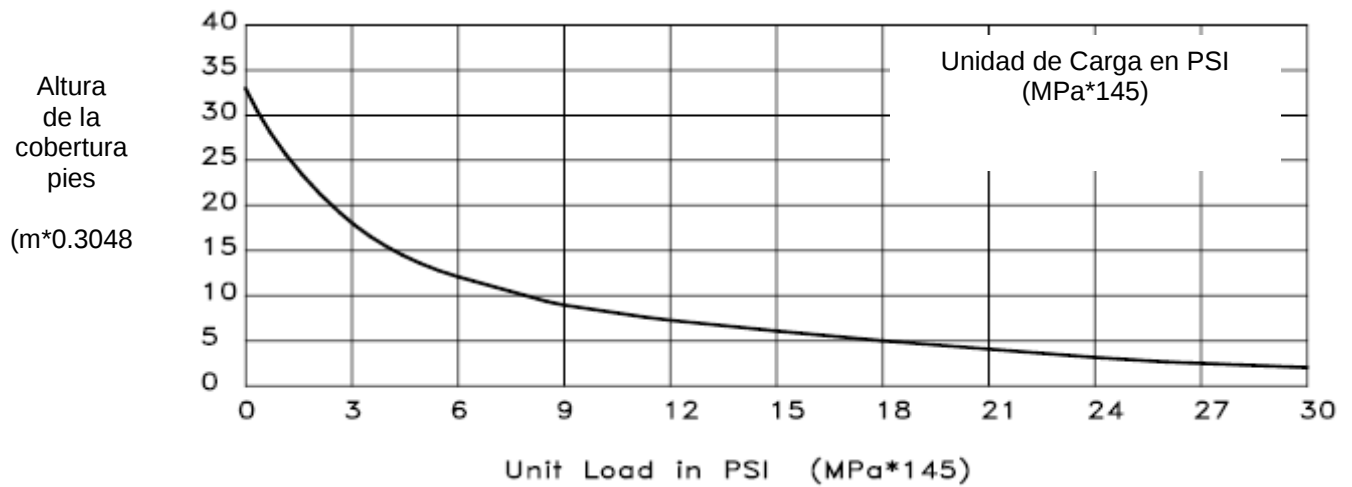
La carga viva puede determinarse extrayendo de la Figura C-5 la carga de carretera H20, o de la Figura C-6 para carga Cooper E-80 la carga de ferrocarril, o por estimación, usando las técnicas analíticas disponibles.

Figura C-5
CARGA DE CARRETERA H20



Nota: La carga viva H20 asume dos cargas de 16 000 lb aplicadas en dos áreas de 18" x 20", una localizada sobre el punto en cuestión, y la otra localizada a una distancia de 72". De esta manera se simula, un camión con una carga de 20 toneladas.

**Figura C-6
COOPER E-80**



CARGA EXTERNA TOTAL

Carga total = Carga Viva + Carga de Relleno + Carga Superficial

$$P_t = P_l + P_b + P_z$$

Una vez determinada la carga externa sobre **Policonductos®** enterrada, será necesario calcular el esfuerzo critico de pandeo para **Policonductos** enterrada y determinar si la tubería puede soportar la carga externa. La capacidad de carga externa, o esfuerzo critico de pandeo, puede determinarse usando la siguiente formula de Von Mises.

$$P_{cb} = \frac{1}{SF} \cdot \left(\frac{2.67 \cdot R_w \cdot B \cdot E_s \cdot E}{RD^3} \right)^{1/2}$$

Donde

- P = Esfuerzo critico de pandeo, psi
- SF = Factor de seguridad, **Policonductos®** recomienda SF=2
- R_w = Factor de flotación, (adimensional)
- B = coeficiente empírico de soporte elástico, (adimensional)
- E = Módulo del suelo (ver tabla C-4)
- E_s = Módulo de elasticidad de la tubería, psi
- RD = Relación dimensional

Donde,

$$R_w = 1 - \left(0.33 \cdot \frac{H_w}{H} \right)$$

H_w = altura del nivel freático sobre la tubería, pies

H = altura de la cobertura de suelo sobre la tubería, pies

Nota: H_w debe ser menor que H

y,

$$B = \frac{1}{1 + 4 \cdot e^{-0.065 \cdot H}}$$

Donde e = 2.718
 H = Altura de la cobertura del suelo sobre la tubería, pies

Si la carga externa total, Ecuación (23), es menor al esfuerzo crítico de pandeo ($P_t < P_{cb}$), entonces la aplicación debe ser considerada como segura. Sin embargo, si este no es el caso ($P_t > P_{cb}$) entonces los parámetros requeridos para una aplicación segura pueden determinarse con la siguiente variación de la ecuación pasada:

$$RD = \left(\frac{2.67 \cdot R_w \cdot B \cdot E_s \cdot E}{SF^2 \cdot P_{cb}^2} \right)$$

o

$$E_s = \frac{P_{cb}^2 \cdot SF^2 \cdot RD^3}{2.67 \cdot R_w \cdot B \cdot E}$$

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA

CONDUCTIVIDAD TERMICA

La conductividad térmica de un material se expresa como la razón a la cual el calor es transferido por conducción a través de una unidad de área transversal de un material cuando exista un gradiente de temperatura perpendicular al área. Las unidades usadas generalmente para expresar este valor son BTU –pulg por hora, por pie cuadrado, por °F.

Policonductos®, al igual que muchos materiales termoplásticos, tiene un bajo coeficiente de conductividad térmica. **Policonductos®** tiene un valor “R” de 0.3 BTU/pulg. A continuación en la Tabla D-1 se muestra el valor de **Policonductos®** comparado con algunos materiales convencionales.

Tabla D-1
CONDUCTIVIDAD TERMICA DE MATERIALES

Material	BTU – pulg/ft ² /hr/°F
Cobre	3027
Aluminio	1457
Acero	411
Hierro forjado	302
Vidrio	7.2
Policonductos®	2.7
Uretano	0.6

Debido a su valor bajo de conductividad térmica, **Policonductos®** es un buen aislante.

EXPANSION Y CONTRACCION TERMICA

Como todos los materiales, **Policonductos®** está sujeto a expansión/contracción debido a cambios de temperatura. Es importante considerar esta propiedad al diseñar una línea de conducción. El coeficiente de expansión/contracción térmico, α , para **Policonductos®** es aproximadamente:

$$1.0 \times 10^{-4} \text{ pulgada por pulgada por } ^\circ\text{F} (1.75 \times 10^{-4} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C})$$

La cantidad de expansión/contracción puede calcularse con la siguiente formula¹¹:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot (T_2 - T_1)$$

Donde Δl = Cambio de longitud, m
 α = Coeficiente de expansión térmico, 1.75×10^{-4} mm/mm/°C
 l = Longitud inicial de la tubería, m
 T_1 = Temperatura inicial, °C
 T_2 = Temperatura final °C

***NOTA:** Las expansiones calculadas para la línea no ocurren frecuentemente a menos que la tubería esté libre de restricción por fricción.

EJEMPLO: Una tubería libre de 500 pies (152 m) se expone a una fluctuación de temperatura que va de 90°F (32°C) durante el día a 65°F (18°C) en la noche. Calcula el cambio de longitud debido a la diferencia de temperatura entre el día y la noche.

$$\Delta l = (1.75 \times 10^{-4}) (32 - 18) (152) (100) = 37.24 \text{ cm (15 pulg)}$$

Los gradientes de temperatura producidos por un cambio en la temperatura del fluido o del ambiente crearán un gradiente a través de la pared de la tubería. La temperatura en la parte media de la pared de la tubería no reflejara las condiciones internas ni externas. El efecto del gradiente de temperatura ocurre gradualmente debido a la baja conductividad térmica de **Policonductos®**. El polietileno, que es un material visco-elástico, sufre un reacomodo molecular debido al gradiente de temperatura. Esta restructuración disipa una gran parte del esfuerzo inducido por temperatura. A este comportamiento se le llama relajación del esfuerzo y es considerado benéfico para una línea de conducción que puede experimentar fluctuaciones de temperatura. En ciertas circunstancias, es necesario, ser capaz de calcular el grado de esfuerzo ejercido sobre la tubería debido a cambios medioambientales o del proceso.

En un sistema donde la tubería está sujeta en ambos extremos, se crea un esfuerzo de compresión. Las fuerzas inducidas térmicamente en el polietileno pueden ser calculadas con la siguiente ecuación¹¹:

$$F = \sigma \cdot A$$

Y

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Donde	F	=	Fuerza, kg
	σ	=	Esfuerzo, kg/cm ²
	A	=	Área de sección transversal a la pared de la tubería, cm ²
	E	=	Módulo de elasticidad, kg/cm ²
	ΔT	=	Cambio de temperatura, °C
	α	=	Coefficiente de expansión térmica, 1.75 x10 ⁻⁴ mm/mm/°C

El módulo de elasticidad, E, para el polietileno es función del tiempo y la temperatura.

Refierase al Plastics Pipe Institute (PPI) Engineering Handbook capítulo sobre Engineering Properties para más información.

Un sistema enterrado, gracias a su continuo contacto con el material de relleno y la reducción de las fluctuaciones de temperatura, no necesita consideraciones especiales. La fricción entre la tubería y el suelo sujetará la tubería en su lugar. Sin embargo, las líneas de conducción superficiales no están sujetas y la expansión/contracción térmica debe permitirse y considerarse en el diseño. El diseño debe incorporar las sujeciones necesarias para adaptarse a los efectos adversos debidos a la expansión/contracción térmica. Esto puede lograrse mediante uno de los siguientes métodos:

1. La línea de conducción no está sujeta permitiéndole moverse libremente.
2. Anclajes a poca distancia y ajustados para que los cambios unitarios de carga incidan en la elasticidad del material y no transfieran todas las fuerzas en un solo punto.
3. Anclando los extremos y cambios de dirección con la adición de juntas de expansión en o cerca de la mitad del tramo.

Para líneas de conducción superficiales largas y continuas, la cantidad de expansión/contracción puede ser significativa como resultado de variaciones de temperatura normales entre el día y la noche. La línea de conducción debe ser instalada para minimizar la exposición a la luz del sol directa. Al aumentar la temperatura de la tubería, el movimiento es generalmente de lado a lado. Aunque esta expansión no puede prevenirse, colocar puntos de anclaje a intervalos a lo largo de la línea, puede controlarlo. La siguiente formula ⁽¹⁾ se usa para estimar la distancia entre los puntos de anclaje.

$$L = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta y^2}{\alpha \cdot \Delta T}}$$

Donde	L	=	Distancia entre los puntos de anclaje, cm
	Δy	=	Deflexión lateral, cm
	α	=	Coefficiente de expansión térmica, 1.5×10^{-4} cm/cm/°C
	ΔT	=	Cambio de temperatura, °C

Las recomendaciones en cuanto a la instalación de tuberías que se espera experimenten fluctuaciones de temperatura se encuentran en la Sección F.

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.

RESISTENCIA QUIMICA

Los materiales termoplásticos generalmente son resistentes al ataque de muchos químicos, lo que los hace apropiados para muchas aplicaciones a procesos. La adaptabilidad al uso en un proceso particular de aplicación de tuberías está en función del:

1. Material

- A. El material plástico específico: ABS, CPVC, PP, PVC, PE, PB, PVDF, PEX, PA11, PK.
- B. El material plástico específico y sus propiedades físicas identificadas por su clasificación por celdas de acuerdo a la especificación del material ASTM apropiado.

2. Producto y Sistema de Juntas

- A. Dimensiones de la tubería, construcción, y composición (capas, filtros, etc.).
- B. Sistema de juntas. La fusión por calor y la cementación por solventes no introducen diferentes materiales al sistema. Las juntas mecánicas pueden introducir empaques de elastómeros, u otros materiales termoplásticos o no termoplásticos usados como componentes de sellado mecánico.
- C. Otros componentes y accesorios en el sistema de tuberías.

2. Condiciones de Uso- Internas y Externas

- A. Químicos o mezclas de químicos, y sus concentraciones.
- B. Temperatura de operación — máxima, mínima y variaciones cíclicas.
- C. Presión de operación o esfuerzo aplicado — máximo, mínimo y variaciones cíclicas.
- D. Información del ciclo de vida — como el costo del material, costo de instalación, vida de servicio deseada, mantenimiento, costos de reparación y remplazo, etc.

El polietileno no se oxida, pudre, pica o corroe como resultado de la acción química, electrolítica o galvánica. Algunos químicos que potencialmente pueden inducir serios problemas para el polietileno son los agentes oxidantes fuertes y ciertos hidrocarburos. Estos químicos pueden reducir las presiones de trabajo para la tubería o ser inadecuados para su transporte. También puede ser función de la temperatura de servicio o concentración química,

La exposición continua a hidrocarburos puede causar infiltración a través del material o empaque de elastómero usado en las juntas. El grado de infiltración es función de la presión, la temperatura, la naturaleza de los hidrocarburos y de la estructura del polímero del que está hecha la tubería. El ambiente químico debe de ser tomado en cuenta cuando la pureza del fluido dentro del tubo tiene que mantenerse. La infiltración del hidrocarburo puede afectar las presiones de trabajo e impedir conexiones futuras.

Para información más detallada sobre resistencia química, el *Plastics Pipe Institute (PPI)* ha preparado un reporte técnico, TR-19 "Thermoplastic Piping for the Transport of Chemicals", como un servicio a la industria. Este documento se encuentra disponible vía descarga desde la página de Internet del PPI www.plasticpipe.org.

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.

INSTALACION SUBTERRANEA

La instalación de tuberías construidas con materiales convencionales generalmente requiere de la unión y tendido de la tubería pieza por pieza dentro de la trinchera. Esto hace necesario que la trinchera tenga un ancho tal que permita a uno o dos instaladores llevar a cabo la instalación con sus herramientas y espacio suficiente para trabajar.

Debido a la flexibilidad y resistencia de **Policonductos®**, esta puede pre-ensamblarse sobre el suelo. Esto nos permite tener un área de trabajo amplia, también provee una oportunidad para inspeccionar exhaustivamente las uniones antes de ser enterrada. Las dimensiones de la trinchera son muy angostas en comparación a las medidas usadas para materiales tradicionales y puede ser construida por una gran variedad de tipos de maquinaria.

Como en cualquier operación, una gran contribución para el éxito del trabajo puede ser hecha mediante una planeación adecuada. En muchas situaciones pudiera no ser posible evadir algunas circunstancias difíciles resultando en un tiempo de instalación prolongado. Esto es particularmente cierto en la instalación de tubería de acero. Por ejemplo, en terreno muy irregular o montañoso, la ligereza de **Policonductos®** sería una ventaja definitiva permitiendo la unión de la tubería en un área más adecuada para después ser transportada o jalarla al sitio de trabajo en secciones más largas para su instalación en la trinchera.

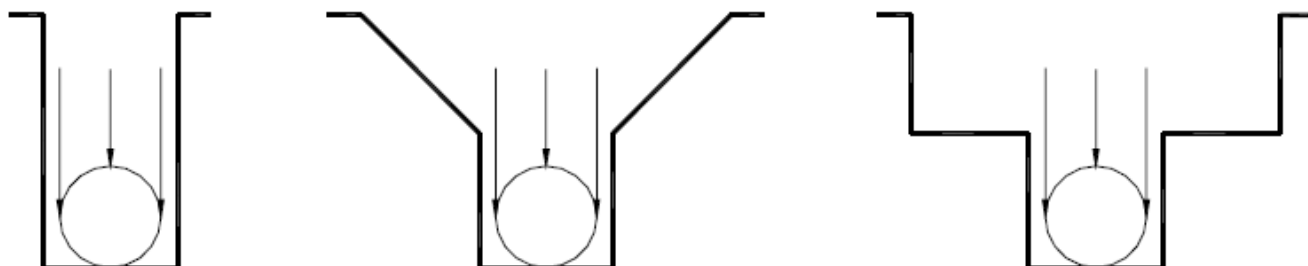
ZANJEADO

Como ya se ha mencionado anteriormente, el ancho de la trinchera debe ser lo más estrecho posible. El ancho máximo no debe exceder el diámetro de la tubería más 60 cm. Si es posible, la trinchera debe ser hecha tan estrecha como el tubo más 30 cm. La importancia del ancho de la trinchera no es tanto por el costo del zanjeado, que es por supuesto un factor, como por la eficiencia de trabajo del sistema terminado. Las trincheras deben tener las paredes lo más derechas posible y el fondo plano para facilitar la correcta consolidación y compactación de los materiales de relleno (Ver Figura F-2).

En terreno de grano grueso con muchas piedras grandes o protuberancias, será necesario hacer la zanja un poco más profunda y colocar una cama de grava fina en la base de la trinchera para tener una cama libre de esfuerzo para la tubería. No se recomienda utilizar arena ordinaria para este propósito, ya que es posible que se deslave, dejando sin soporte a la tubería.

La formación de la base de la trinchera es de gran importancia. Debe de ser tan plana y nivelada como sea posible o graduada a la pendiente correcta, cuando se especifique. Una instalación en la que esto es significativo sería un sistema de flujo por gravedad. El graduado puede lograrse usando grava o piedra finamente triturada. Si la condición del suelo es pobre debido a encharcamiento en un área con alto nivel freático, se requeriría establecer mayor estabilización a la base de la trinchera después de haber drenado el área. En terreno rocoso, la instalación debe de hacerse de tal manera que la tubería no quede en contacto directo con la superficie dura. La trinchera debe de cavarse a una profundidad de seis pulgadas a un pie mayor que el nivel requerido para después ser nivelada con tierra o grava fina. Las zanjas en suelo suelto pueden requerir una pendiente en las paredes de la trinchera para prevenir colapso de estas y el consecuente deslizamiento de la trinchera (Ver Figura F-1(b)). En algunos casos es preferible excavar la trinchera con una sección superior más ancha y cortar recto del terreno hacia abajo al nivel de posicionamiento de la tubería. Esta configuración de trinchera es representada en la Figura F-1(c). En cualquier caso de la Figura F-1, el relleno de la trinchera no resultará en una mayor carga de tierra sobre la tubería.

Figura F 1
CONFIGURACION DE LA
TRINCHERA



CURVATURA DE LA TUBERIA

Al construir tramos largos de tubería es frecuentemente necesario colocar dobleces. La flexibilidad natural del polietileno permitirá que sean jalados tramos de la tubería en radios muy pequeños. Por lo tanto las trincheras pueden ser excavadas para acomodar dobleces, que se encuentren dentro de las capacidades de la tubería.

El grado al que la tubería puede ser doblada alrededor de un radio es dependiente de la razón entre el diámetro y el espesor de la pared, D/t , o de la relación dimensional RD. La siguiente tabla enlista los radios de doblado mínimos recomendados para cualquier tamaño de tubería.

Tabla F-1
RADIO MINIMO DE DOBLADO

Relación Dimensional RD	Factor del Radio Mínimo, K_{mrf}
32.5	40
26	36
21	32
17	26
15.5	24
11 o menor	20

Multiplicando el factor del radio mínimo, K_{mrf} , por el diámetro exterior, D , de la tubería a instalar se puede determinar el radio mínimo de doblado, r_m , para la tubería a instalar. Use la formula siguiente:

$$r_m = D \cdot K_{mrf}$$

Ejemplo: Una tubería de 8" IPS RD 32.5 tendría una radio mínimo de doblado de $(8.625")(40) = 345" = 876 \text{ cm}$

En un sistema que requiera doblado y que pueda hacerse utilizando la curvatura natural de la tubería no es necesaria la utilización de machones de anclaje. Sin embargo, las curvaturas cerradas con polietileno deben enterrarse o sujetarse. Cuando sea necesario colocar una junta de compresión, también pudiera ser necesario el uso de un machón de anclaje. Las juntas fusionadas o bridadas no requieren machones de anclaje. Los machones de anclaje deben de ser contruidos como un bloque colado de concreto reforzado que encapsule parcialmente al accesorio y prevenga cualquier movimiento relativo entre los tramos rectos y dicho accesorio. Los machones de anclaje deben ser colados sobre suelo firme o el suelo debe ser compactado.

En la mayoría de los casos, la colocación de suelo bien compactado contra el extradós de un codo o la espalda de una tee es suficiente como anclaje. Esta precaución debe ser tomada para prevenir cualquier esfuerzo innecesario para la tubería y para asegurar que la expansión y contracción de la tubería sea forzada a tomar la dirección con la que fue diseñada.

TENDIDO DE LA LINEA

Si la tubería va a ser unida pieza por pieza antes de ser bajada dentro de la trinchera, el transporte de los tramos de la tubería al sitio es de poca importancia. En las situaciones donde las condiciones del lugar de trabajo requieran que varios tramos sean termofusionados a tope en un sitio remoto, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones. El efecto de jalar varios tramos de la tubería sujetándola de un extremo a través del terreno, resulta en una carga de tensión sobre la tubería.

El tamaño de la tubería determinara el método utilizado para la instalación de la tubería en la trinchera. Para tamaños de hasta 6" (152.5mm) la tubería puede ser maniobrada por trabajadores y colocada en la posición deseada. Las uniones simples de hasta 10" (254mm) de diámetro pueden ser colocadas en la trinchera manualmente para su posterior fusión a tope. Los tamaños mayores de 10" (254mm) requerirán para su movilización y posicionamiento el uso de equipo como rodillos o quizá equipo de construcción ligero. Los diámetros grandes necesitaran ser colocados dentro de la trinchera con equipo de izaje sobre ruedas o colocados con un elevador con plataforma

En la fase de colocación de la tubería, se pueden hacer algunos ajustes para permitir la expansión/contracción térmica. Normalmente al colocar la tubería en la trinchera ocurrirá serpenteo. Aun tramos rectos tienen una tendencia a ondularse de lado a lado. La tubería no debe ser jalada o estirada. Deje la trayectoria de lado a lado y corte el largo para la junta. Cuando sea posible, un ajuste final debe realizarse después de transcurrida una noche dentro de la trinchera para permitir que la tubería se enfríe a una temperatura cercana a las condiciones del suelo.

Las conexiones a válvulas, tuberías rígidas o pozos inspección deben estar soportadas. Una alternativa para algunas de estas situaciones es la construcción de una cama bien compactada y solidificada debajo de la junta. Una cama de concreto debe ser instalada debajo del componente pesado para resistir el asentamiento y así prevenir que la tubería soporte el componente. La necesidad de este tipo de soporte especial es especialmente crítica en condiciones de suelo inestable.

LONGITUD DEL TRAMO A SER JALADO

La siguiente información puede ser utilizada para estimar la longitud permitida de jalado para aplicaciones de tubería de polietileno nominal. La siguiente ecuación resulta en una longitud de jalado que está basada en la resistencia a la tracción a corto plazo. El uso de fuerzas de jalado mayores a las calculadas puede causar daño a la tubería.

Policonductos® recomienda el uso de un dinamómetro para monitorear la fuerza aplicada. Esta información se encuentra disponible en “**Policonductos®** Info Brief #6”.

La Fuerza Máxima de Jalado (*MPF*) en libras que puede ser aplicada a la tubería puede calcularse con la siguiente ecuación¹⁴.

$$MPF = f_y \cdot f_t \cdot T \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{1}{RD} - \frac{1}{RD^2} \right)$$

Donde	MPF	=	Fuerza Máxima de Jalado, kg (ALT y MPF son sinónimos)
	f_y	=	Factor (seguro) de esfuerzo de tensión de diseño, 0.40
	f_t	=	Factor de diseño (seguro) del tiempo bajo tensión, 0.95*
			*el valor 0.95 es adecuado para jalados de hasta 12 horas.
	T	=	Resistencia a la tensión, kg/cm ² (ver Tabla F-2 a continuación)
	D	=	Diámetro externo de la tubería, cm
	RD	=	Relación dimensional (adimensional)

Tabla F-2
RESISTENCIA A LA TENSION
Resistencia a la tensión, kg/cm²

Temperatura, °F	PE3408
73	2,450 kg/cm ²
100	1,960 kg/cm²
120	1,610 kg/cm ²
140	1,260 kg/cm²

Una vez determinada la fuerza de jalado máxima, se puede calcular la longitud máxima de jalado, MPL, del material HDPE para el tipo de instalación. Las instalaciones pueden dividirse en cuatro categorías:

1. Al nivel del suelo
2. A través de un conducto ya existente que este vacío
3. A través de un conducto ya existente, donde el HDPE y el conducto existente estén llenos de agua.
4. A través de un túnel perforado usando la técnica de perforación horizontal.

1. A NIVEL DE SUELO:

$$MPL = \frac{MPF}{f \cdot W}$$

Donde	MPL	=	Longitud máxima de jalado, m
	MPF	=	Fuerza máxima de jalado, kg (Ecuación (34))
	f	=	Coefficiente de fricción sobre un suelo arenoso liso, 0.7(adimensional)
	W	=	Peso de la tubería, kg/m

2. INTRODESLIZAMIENTO SECO:

Para determinar la longitud máxima de jalado para tubería de HDPE a través de un conducto ya existente que es recto, nivelado y vacío, **Policonductos®** recomienda usar el mismo procedimiento para determinar la longitud de jalado en una superficie relativamente plana sobre el suelo.

3. INTRODESLIZAMIENTO HUMEDO:

Para intro-deslizamiento donde la tubería de HDPE y el conducto preexistente están llenos de agua, la longitud máxima de jalado permitida puede ser estimada usando un coeficiente de fricción de 0.1.

4. TUNELES PERFORADOS:

Para estimar la longitud máxima de jalado para agujeros hechos mediante la técnica de perforación direccional horizontal (HDD), es más complejo. Se encuentran disponibles dos referencias para asistir en el diseño de aplicaciones HDD: Plastics Pipe Institute (PPI) Engineering Handbook, "Polyethylene Pipe for Horizontal Directional Drilling" disponible en su página web, www.plasticpipe.org; y, ASTM F1962, "Standard Guide for Use of Maxi-Horizontal Directional Drilling for Placement of Polyethylene Pipe or Conduit Under Obstacles, Including River Crossings". Si requiere más asistencia favor de contactar **Policonductos®**.

Antes de que la tubería sea jalada a su posición, se debe revisar el área para asegurarse que las condiciones de la superficie no causaran daño a la tubería en la forma de raspones o surcos profundos. Un sistema de rodamientos puede construirse con tramos cortos de tubería y puede ser usado para reducir la fuerza de jalado requerida y para evitar el contacto de la tubería con el suelo.

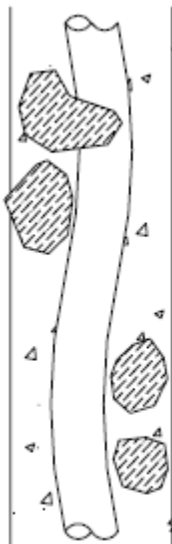
Una cabeza de jalado es utilizada para sujetar el extremo guía de la tubería. Este puede ser un simple colchón de hule con cables de acero envueltos alrededor de la tubería o puede ser más sofisticado en la forma de una cabeza jaladora. La tubería nunca debe ser jalada sujetándola de los flancos. Si el acoplamiento es bridado, estos deben elevarse para evitar que se arrastren sobre el suelo.

RELLENADO

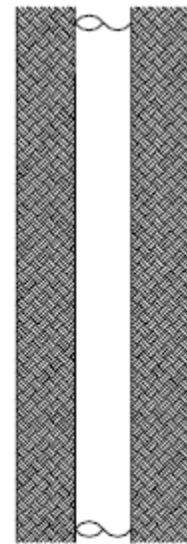
El relleno no solamente es utilizado para llenar la trinchera, sino que también cumple una función de diseño muy específica. El propósito principal del material de relleno es proveer un soporte adecuado y protección para la tubería. Al asegurar que el relleno es sólido y continuo, puede prevenirse el daño por tráfico superficial, rocas cayendo o levantamiento debido a la inundación de la trinchera.

El suelo usado para relleno puede ser el suelo excavado original de la trinchera o suelo de préstamo que ha sido transportado al sitio. Cualquiera sea el suelo usado, es recomendable que el acostillado y el material de relleno no contengan piedras, terrones duros, material congelado o arcilla. También debe ser suficientemente pulverizable para que fluya fácilmente hacia los flancos de la tubería. Es importante que el relleno inicial sea consolidado para asegurar un contacto continuo y soporte a la tubería (Ver Figura F-2). Esto puede lograrse usando un material basado en arena fina o arcilla. Estos materiales deben ser usados en áreas secas donde sea poco probable que se deslaven.

Figura F-2
RELLENADO CORRECTO



Relleno Inadecuado

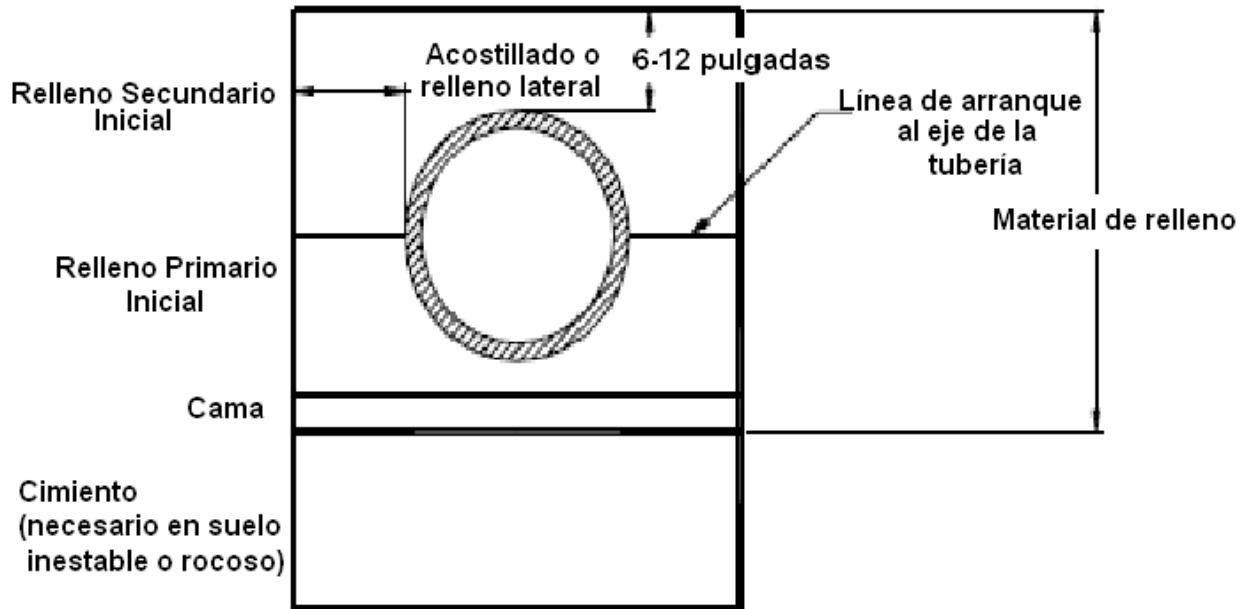


Relleno Adecuado

TERMINOLOGIA Y CONFIGURACION DE LAS TRINCHERAS

La siguiente figura describe un típico arreglo de trincheras bien construidas y brinda una correcta terminología descriptiva para los componentes.

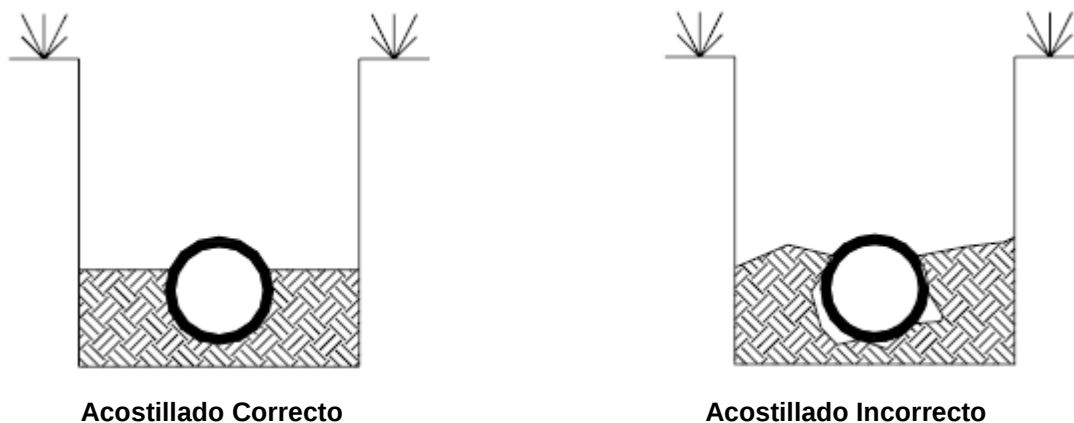
Figura F-3
CONFIGURACION DE TRINCHERA



Cimentación y Encamado – Se requerirá el uso de un material de cimentación solo cuando la base de la trinchera tenga que ser elevada al nivel de la línea de conducción, o cuando el fondo de la trinchera sea inestable o rocoso. Como se mencionó anteriormente, este puede ser suelo o grava fina.

Acostillado – El acostillado da estabilidad lateral y en la base a la tubería. El mejor material es piedra quebrada, grava fina o arena gruesa, y debe ser compactado con una herramienta compactadora estrecha para asegurar que el material este bien consolidado debajo de los lados de la tubería y alrededor de esta. El material de acostillado debe ser vertido dentro de la trinchera gradualmente para que la operación de compactado pueda llevarse a cabo simultáneamente con el colocado. Aplicar demasiada materia de una sola vez puede causar un efecto de puente que resultara en la formación de una cavidad debajo de la tubería, que después puede causar perdida de soporte para la tubería.

Figura F-4
ACOSTILLADO ADECUADO



Relleno Inicial – Estos materiales incluyen arena gruesa, grava fina o piedra triturada. Esta sección del relleno debe llevarse a cabo igual que el acostillado. El material debe ser agregado gradualmente en capas de 4-6 pulgadas (102-152mm) de alto y compactadas simultáneamente. El relleno inicial debe ser llevado a una altura de 6-12 pulgadas (152-305mm) sobre el lomo de la tubería, dependiendo del tamaño de la tubería.

Relleno Final – Como se mencionó anteriormente, el relleno final puede ser el material excavado original u otro suelo conveniente, solo si no contiene piedras excesivamente grandes o terrones congelados que inicialmente pudieran dañar la tubería o posteriormente permitir el deslave y pérdida de consolidación. El relleno debe ser compactado según los requerimientos mencionados en el Capítulo E.

En áreas donde el nivel freático es alto, es necesario permitir el efecto de flotación de la tubería y del material de relleno. El resultado de que el material de relleno se sature debido al nivel freático reducirá la carga ejercida sobre la tubería. En estas condiciones, la configuración de trinchera convencional no será suficiente para enfrentar la tendencia a flotar de la tubería.

Esta situación puede ser controlada diseñando para una cantidad extra de cubierta para asegurar que la tubería se quede en su lugar. La profundidad de cubierta puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$H = \frac{\rho_w \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) - W_p}{4 \cdot \rho_s \cdot D} \quad (36)$$

Donde	H	=	Profundidad de relleno mínimo, m
	ρ_w	=	Densidad del agua, kg/m ³
	W_p	=	Peso de la tubería, kg/m
	ρ_s	=	Densidad del suelo, kg/m ³
	D	=	Diámetro exterior, m
	d	=	Diámetro interior, m

PROCEDIMIENTO RECOMENDADO DE PRUEBA

PRUEBA DE FUGAS

El propósito de la prueba de fugas es encontrar fallas inaceptables en la línea de conducción. Si estas fallas existen, estas pudieran manifestarse como fuga o ruptura.

Las pruebas de fugas pueden ser llevadas a cabo en caso de ser requeridas en las especificaciones del contrato. Las pruebas pueden ser hechas de varias formas. La prueba de presión interna involucra el llenado de la sección con líquido o gas no inflamable, para luego presurizar el medio. **La prueba de presión hidrostática con agua es el método preferido y el más recomendado.** Otros procedimientos de prueba involucran tapones en los extremos para pruebas de presión a secciones o juntas individuales, o una prueba de servicio inicial. Las juntas deben estar expuestas para permitir la inspección en busca de fugas.

Los líquidos como el agua son preferibles como medio de prueba ya que liberan menos energía si la sección falla catastróficamente. Durante una prueba de presión, se aplica energía (presión interna) para esforzar la sección de prueba. Si el medio de prueba es un gas compresible, entonces el gas se comprime para absorber energía y así aplicar el esfuerzo a la línea de conducción. Si una falla catastrófica ocurre, ambas energías la del esfuerzo sobre la tubería y la de compresión sobre el gas son liberadas súbitamente. Sin embargo, con un medio de prueba que sea un líquido incompresible como el agua, la energía que se libera es solo la requerida para esforzar la línea de conducción.

ADVERTENCIA: Las pruebas de presión en un sistema de tuberías se realizan para descubrir fallas inaceptables en un sistema de tuberías. La prueba de presión puede causar que estos defectos fallen y causen fugas o ruptura. Esto puede resultar en falla catastrófica. La ruptura de un sistema de tuberías puede resultar en un movimiento súbito, forzoso e incontrolado del sistema de tuberías o sus componentes, o partes de sus componentes.

ADVERTECIA: Tubería Restringida. El sistema de tuberías que esta siendo probado y los alrededores de la sección de prueba deben ser restringidos contra movimiento súbito incontrolado por falla catastrófica. El equipo de prueba debe examinarse antes de aplicar presión para asegurarse que esta firmemente conectado. Todas las líneas y otros accesorios no sujetos a prueba de presión deben ser desconectados o aislados.

ADVERTENCIA: Protección Personal. Tome precauciones adecuadas para eliminar riesgos para el personal cerca de las líneas que están siendo probadas. Mantenga al personal a una distancia segura del tramo de prueba durante la prueba.

Precauciones para la Prueba de Presión

El tramo bajo prueba y las inmediaciones del tramo de prueba deben fijarse, de lo contrario restringirse contra movimiento súbito incontrolado en caso de ruptura. Las juntas de expansión deben fijarse temporalmente, aislarse o removerse durante la prueba de presión.

Las pruebas pueden hacerse al sistema o por tramos. El tamaño del tramo está determinado por la capacidad del equipo de prueba. Si el equipo presurizador es muy pequeño, pudiera no ser posible completar la prueba dentro de los límites permisibles de tiempo de prueba. De ser así, será necesario un equipo de prueba mayor, o una sección más pequeña de prueba.

De ser posible, la temperatura del medio de prueba y el tramo de prueba debe ser menor que 100°F (38°C). A temperaturas por arriba de 100°F (38°C), se requiere una presión de prueba reducida. Antes de aplicar la presión de prueba, pudiera requerirse tiempo para que la temperatura del medio de prueba y del tramo de prueba se estabilicen. Contacte al fabricante de la tubería para asistencia técnica en pruebas de presión a temperaturas elevadas.

Prueba de Presión

Las válvulas y otros accesorios o componentes para presiones menores pueden limitar la prueba de presión. Estos componentes pudieran no ser capaces de soportar la presión requerida para la prueba, y deben ser removidos o aislados del tramo que se está probando para evitar un posible daño o falla de los accesorios. El equipo aislado debe estar ventilado.

- Para sistemas a presión continua donde los componentes limitantes para la prueba de presión han sido aislados o removidos, o no están presentes en el tramo de prueba, la presión de prueba máxima permitida es 1.5 veces la presión de diseño del sistema en su elevación más baja para la sección bajo prueba.
- Si los componentes o accesorios limitantes para la prueba de presión no pueden ser removidos o aislados, entonces la presión de prueba del sistema es la presión de prueba máxima permitida para ese accesorio o componente.
- Para sistemas sin presión, baja presión, o flujo por gravedad, consulte al fabricante de la tubería para la presión de prueba máxima permitida.

Duración de la Prueba

Para cualquier presión de prueba de 1.0 a 1.5 veces la presión de diseño del sistema, el tiempo total de prueba incluyendo la presurización inicial, expansión inicial y el tiempo a presión de prueba, no debe de exceder ocho (8) horas. Si la prueba de presión no se completa debido a fuga, falla del equipo, etc., el tramo de prueba debe despresurizarse, y permitir que se “relaje” por lo menos ocho (8) horas antes de llevar el tramo de prueba hasta la presión de prueba de nuevo.

Inspección antes de la Prueba

El equipo de prueba y la línea de conducción deben ser examinados antes de aplicar presión para asegurar que las conexiones son firmes, las restricciones necesarias están en su lugar y seguras, y los componentes que deben estar aislados o desconectados están aislados o desconectados. Todas las líneas a baja presión y otros aditamentos no sujetos a la prueba de presión deben ser desconectados o aislados.

Prueba de Presión Hidrostática

Es altamente recomendable y preferible probar la presión hidrostática. El medio preferido de prueba es agua limpia. El tramo de prueba debe llenarse completamente con el medio de prueba, teniendo el cuidado de purgar el aire atrapado. Pudiera requerirse para purgar las bolsas de aire ventilar en puntos altos mientras la sección de prueba se está llenando. La ventilación puede proveerse aflojando las bridas o usando los respiraderos del equipo. Ajustar todas las bridas aflojadas antes de aplicar la presión de prueba.

Prueba de Agua Compensatoria Monitoreada

El procedimiento de prueba consiste en la expansión inicial y la fase de prueba. Durante la fase inicial de expansión, el tramo de prueba es presurizada a la presión de prueba, y se agrega suficiente agua compensatoria cada hora por tres (3) horas para regresar a la presión de prueba.

Después de la fase inicial de expansión, más o menos cuatro (4) horas después de la presurización, la fase de prueba comienza. La fase de prueba puede ser una (1), dos (2) o tres (3) horas, después de las cuales se agrega una

cantidad medida de agua compensatoria para regresar a la presión de prueba. Si la cantidad de agua compensatoria no excede los valores de la Tabla F-3, no hay evidencia de fuga.

**TABLA F-3
CANTIDAD DE REPUESTO DURANTE LA PRUEBA**

Tamaño Nominal Tubería	lt por cada 100 de tubo		
pulgadas	1-hora	2-horas	3-horas
2	0.87	1.37	2.36
3	1.24	1.86	3.11
4	1.61	3.11	4.97
5	2.36	4.72	7.2
6	3.73	7.45	11.18
8	6.21	12.42	18.63
10	9.94	16.15	26.08
12	13.66	28.57	42.23
14	17.39	34.78	52.16
16	21.14	40.99	62.1
18	24.84	53.41	80.73
20	34.78	68.31	99.36
22	43.47	86.94	130.41
24	55.89	110.54	165.19
28	68.31	137.86	208.66
30	78.25	157.73	238.46
32	86.94	177.61	267.03
36	111.78	223.56	335.34
42	149.03	286.91	438.43
48	186.3	335.34	534.06
54	229.77	389.99	642.11

Prueba de Agua Compensatoria No Monitoreada

El procedimiento de prueba consiste en la expansión inicial y la fase de prueba. Durante la fase inicial de expansión, se agrega el agua requerida para mantener la presión de prueba por cuatro (4) horas. Para la fase de prueba, la presión de prueba es reducida 10 psi. Si la presión permanece estable (dentro del 5% del valor de prueba) por una hora, no hay evidencia de fuga.

Los procedimientos de prueba mencionados anteriormente fueron tomados del “*Plastic Pipe Institute Engineering Handbook; Inspections, Tests and Safety Concerns*”.

Prueba Neumática para Drenajes por Gravedad

Para líneas de drenajes por gravedad, puede ser usado aire a baja presión según ASTM F1417. Sin embargo, cualquier otra prueba neumática no es recomendable. Pueden requerirse precauciones de seguridad adicionales.

El fabricante de la tubería debe ser consultado antes de usar procedimientos de prueba con presiones diferentes a los presentados aquí. Otros procedimientos pueden ser o no ser aplicables dependiendo del producto y/o de la aplicación de la tubería.

APLICACIONES MARITIMAS

Policonductos® se ajusta idealmente a aplicaciones marítimas, ya sea en océanos, lagos, estanques, pantanos o ríos. El cruzar una zona de inundación con una línea de conducción de polietileno tiene algunas similitudes y algunas diferencias con una instalación en tierra firme. Reconocer y manejar estos parámetros de diseño y operación es importante.

La tubería de polietileno, debido a su densidad, flotará cerca de o en la superficie del líquido. Transportar un líquido comparable al líquido externo permite que el polietileno flote con el lomo de la tubería apenas saliendo de la superficie.

Las cualidades inherentes de **Policonductos®** (flexibilidad, ligereza, resistencia a la corrosión, secciones de largo homogéneo y resistencia a la abrasión) le permiten su aceptación en dragado, pozos de aireación, líneas de descarga y de toma. Los factores a ser considerados en la instalación de líneas de conducción marinas incluyen los siguientes:

- Flotación o hundimiento
- Capacidades de presión interna
- Resistencia al colapso de la tubería
- Lastrado

FLOTACION O HUNDIMIENTO

Una línea de conducción de polietileno con densidades comparables del líquido interno y externo flotará en equilibrio en la superficie. Un aumento en el peso del 10-20% del peso de la tubería hundirá la tubería hasta el fondo, solo si no existen corrientes submarinas. Una línea de una draga o proveniente de un estanque sedimentador flotará mientras se bombee solo agua. Si se introducen sólidos o la densidad del fluido es mayor que la del fluido circundante, la tubería se hundirá. Esta técnica operacional puede ser aceptable en este caso y no requerirá anclas o instrumentos de flotación. Si la línea de conducción debe ser movida, la línea debe ser purgada hasta que flote.

Cuando se desea que la línea flote o se mantenga cerca o en la superficie, varios tipos de collares, silletas y eslingas se encuentran disponibles. Estos pueden ser soportes continuos o colocados a intervalos aproximadamente del doble que los requeridos por peso. Los tramos de tubería de polietileno con tapones en los extremos pueden también ser utilizadas como instrumentos de flotación. El tamaño y espaciamiento de los collares de flotación se basa en la posición deseada de la tubería transportadora relativa a la superficie del agua y al peso de la línea de conducción.

Para instalaciones subacuáticas, es importante seleccionar el correcto peso y espaciamiento del peso. Cuando es posible, una línea de conducción subacuática debe ser instalada en una trinchera.

PRESION INTERNA

Una línea de conducción marítima, como cualquier otra, debe ser diseñada para soportar la presión y oscilaciones de presión anticipadas. En algunos casos, otros parámetros de diseño requieren una pared más pesada que los de la presión de trabajo. En estos casos, el diseño subacuático debe predominar en la porción marina y el diseño convencional debe predominar para la porción terrestre.

RESISTENCIA AL COLAPSO

La aplicación de la tubería y el procedimiento de instalación pueden requerir una pared de tubería más pesada que las capacidades de presión de transporte por sí solas. La resistencia al colapso debida al doblado de la tubería, la carga o las fuerzas ambientales deben ser tomadas en cuenta. Ver Tabla A-7 para capacidades de carga externa de **Policonductos®** y la Sección C para el método de cálculo de las presiones de colapso. La tubería, cuando está sumergida, está sujeta a presiones externas del fluido circundante. Esta presión puede tener el efecto de causar un colapso si la tubería tiene que estar parcialmente llena, o, en el peor caso, completamente vacía. Si la tubería está llena y abierta por los extremos, dependiendo del bombeo la presión del interior normalmente será igual o mayor que la presión en el exterior, y una situación de colapso no es una consideración.

INSTALACION

A excepción de situaciones raras, donde tramos muy largos de tubería de polietileno son requeridos, la tubería puede unirse por termofusión e instalársele las pesas adecuadas en tierra. Estos tramos individuales, unidos por bridas o por termofusión, pueden después ser remolcados a su lugar y hundidos en un área predeterminada.

Una vez que la línea de conducción ha sido instalada en un cuerpo de agua, los cambios en el flujo del líquido circundante crean diferentes trayectorias. Una línea de conducción instalada en el fondo estará sometida a flujos que pudieran lavar el material debajo de la tubería, creando más empuje hacia arriba que estando en contacto con el fondo. Esto formara bancos de sedimento en la parte aguas arriba y agujeros de socavación en la parte aguas abajo donde la tubería con pesos pudiera asentarse.

Es importante notar que en ríos y arroyos son posibles velocidades de la corriente tan altas como 2.44 metros por segundo, o incluso mayores. Si estas condiciones aplican para la línea de conducción instalada, deben darse consideraciones de diseño adicionales para peso adicional, espaciado de las pesas y tubería de pared mas pesada. Las líneas de conducción marinas enterradas, aunque no siempre posibles, no deben ser consideradas como una solución donde la velocidad de corriente exceda 0.64 metros por segundo. Las técnicas de enterrado actuales utilizan el proceso de sedimentación natural. En algún punto de la acumulación de sedimento, es posible que exista un periodo en el que el sedimento se licue lo suficiente para ejercer fuerzas de flotación significativamente mayores que solo agua.

HUNDIMIENTO CONTROLADO DE TUBERIA POLICONDUCTOS

Una línea de conducción de polietileno con pesas unidas a ella, los extremos tapados y llena de aire a presión atmosférica, puede ser hundida gradualmente a su posición permitiendo la entrada controlada de agua. El llenado debe comenzar en un punto de unión a una estructura fija para luego continuar. Es importante mantener un llenado progresivo para disminuir la probabilidad de generar una bolsa de aire y con esto un tramo de la tubería lleno de aire. Es igualmente importante mantener en una elevación mayor el extremo por el que se esta purgando el aire para prevenir que el agua entre por ambos extremos. Cuando una bolsa de aire es capturada a la mitad de una línea, está indicado introducir un diablo en el extremo fijo y forzarlo hacia afuera con agua bajo presión para reemplazarla por agua.

LASTRADO

Policonductos® puede ser lastrado y llevado a su posición por varios métodos. Las pesas de concreto son las más comunes. Estas pueden ser de arnés o con pesos colgados. También es posible usar anclajes atornillados con silletas para sostener la tubería. En algunos casos podría ser mejor instalar pilotes con barras transversales para sostener la tubería y detenerla en suspensión entre la superficie y el fondo.

Una línea de conducción usada para transportar un medio gaseoso o uno que pudiera tener periodos con bolsas gaseosas tendrá que ser lastrado pesadamente para mantener su posición en el fondo. Las líneas de conducción transportando líquidos pueden tener menos lastre. Las líneas de conducción con los extremos abiertos, como descargas o tomas, que tengan poca probabilidad de capturar bolsas de aire que hagan flotar la línea, pueden ser lastradas con solamente 10-15% de su peso, solo si no existen fuerzas medioambientales sobre la tubería.

Todos los aditamentos de lastrado usados para restringir líneas de conducción de polietileno deben ser acolchados con un material elástico e impermeable para proteger la tubería de las proyecciones filosas del concreto o metal de las abrazaderas. Placas de neopreno u otros materiales compresibles similares de 1/8" (para tubería nominal de hasta 12") hasta 1/4" (para tubería nominal >12") de espesor es recomendada. Debajo de los lastres colgados, el acolchado debe ser sujetado a la tubería con bandas de acero inoxidable.

Los lastres de concreto deben ser colados con concreto de 140-160 lbs por pie cúbico (2,245 – 2,565 kg/m³). Ambos lastres colgados y fijos con arneses deben estar reforzados con varillas de acero inoxidable. Lastres de concreto para tubería de 4 pulgadas o menores pueden ser reforzados con maya de alambre. Tuercas, tornillos y otros implementos usados en líneas de conducción subacuáticas deben ser de materiales resistentes a la corrosión adecuados para el sitio en particular.

Diseño del Anclaje del Lastre

El lastre requerido para hundir una línea de conducción es función del volumen de líquido desplazado por el cuerpo (tubería), el peso de los cuerpos sumergidos incluyendo la tubería, contenidos de la tubería, lastres y las condiciones medioambientales.

Para determinar el peso del lastre con el fluido circundante (o peso sumergido), use la siguiente formula:

$$W_s = W_p + \frac{\pi}{4} \cdot \left[\overbrace{(\rho_f \cdot d^2)}^{\text{Peso del fluido en la tubería}} - \underbrace{(\rho_s \cdot OD^2 \cdot K)}_{\text{Flotación de la tubería}} \right] \quad (37)$$

Donde	W_s	=	Peso del lastre con el fluido circundante, kg/m
	W_p	=	Peso de la tubería, kg/m
	ρ_s	=	Densidad del fluido circundante, kg/m ³ (agua, 1,000 kg/m ³)
	ρ_f	=	Densidad del fluido dentro de la tubería, kg/m ³ (agua, 1,000 kg/m ³)
	OD	=	Diámetro exterior, m
	d	=	Diámetro interior, m
	K	=	Constante del lastre (ver Tabla G-1)

***Nota: Ver Tablas A-2 hasta Tabla A-4 para el peso y dimensiones de las tuberías.**

El valor de K, la constante del lastre, debe variar con las condiciones de oleaje, marea o corriente que se conocen o que se anticipan en el área que cruza la tubería. K debe tener un valor mayor a 1.0 a menos que se desee una flotación neutral.

Tabla G-1
VALORES DE LA CONSTANTE DEL ANCLA

K, Constante Del lastre	Condición Ambiental
1.0	Flotación Neutral
1.3	Estanques, lagos, arroyos o ríos de corriente lenta, corrientes o mareas lentas
1.5	Arroyos o corrientes o flujos de mareas significativos

Una fuerza (↓) positiva (+) indica que la línea de conducción se hundirá sin lastre adicional, solo si no existen fuerzas elevadoras extrañas. Sin embargo, una fuerza resultante (↑)negativa (-) indica que se requiere lastre adicional para hundir la tubería.

Una vez que el material adecuado se ha escogido para el lastre, el peso requerido puede determinarse con la siguiente ecuación:

$$W_d = \frac{S \cdot W_s \cdot \rho_a}{\rho_a - (K \cdot \rho_s)}$$

Donde	W_d	=	Peso de lastre en suelo seco, kg
	S	=	Espaciamiento del lastre, m
	ρ_a	=	Densidad del material de lastre, kg/m ³

El espacio entre lastres, S, puede variar con el tamaño de la tubería. Una tubería nominal de 2 pulgadas o menor debe ser lastrada con eslingas a intervalos de 6-8 pies (1.83 - 2.44 m). Tuberías de 3-12 pulgadas deben tener lastres cada 8-12 pies (2.44 – 3.66 m) y cualquiera mayor a intervalos de 12-15 pies (3.66 – 5.22 m).

Una línea de conducción con lastres sujetos en tierra firme debe ser manejada cuidadosamente para no doblar la tubería. Esto puede lograrse inclinando las orillas del cuerpo de agua y deslizándola sobre el terreno una vez que los pesos han sido instalados. Si la instalación se hace desde una barca flotante dentro del agua, la tubería lastrada deberá ser soportada con eslingas desde la barca.

Diseño y Construcción de Balastros¹⁶

Para prevenir daño a los balastros al manejar, sujetar y mover la tubería de PE, típicamente son contruidos de concreto reforzado. Los balastros pueden hacerse de distintas formas, aunque los diseños simétricos como los redondos, cuadrados o hexagonales son preferidos para prevenir torsiones durante el sumergimiento. Balastros de fondo plano son preferidos si es probable que la tubería sumergida esté expuesta a fuerzas significativas de corrientes, mareas u oleaje, porque ayudan a la prevención de movimientos de torsión de la tubería.

También, cuando es probable que estas condiciones ocurran, los balastros deben posicionar la tubería a una distancia de al menos un cuarto del diámetro de la tubería sobre el lecho del río o mar. La fuerza de sustentación causada por el rápido movimiento del agua que está en ángulo recto a la tubería descansando en o cerca del lecho del mar o río es significativamente mayor que la que actúa sobre una tubería situada a una distancia mayor del lecho. Esto significa que los balastros diseñados para dar un espacio abierto entre la tubería y el lecho darán como resultado fuerzas de sustentación menores.

Los balastros deben estar contruidos de una sección superior y una inferior que al unirse con un espacio mínimo entre las dos mitades provean un diámetro interior resultante que sea por poco mayor que el diámetro exterior de la tubería. Este diámetro interior poco mayor es para permitir la colocación de una interface acolchonada para proteger la tubería de plástico más suave de ser dañada por el duro material del balastro. Otra función de la interface es proveer resistencia por fricción que ayudará a prevenir que el balastro se deslice a lo largo de la tubería durante el proceso de hundimiento. Por lo tanto, los materiales resbalosos para interface como placas de polietileno, no deben ser usados. Algunos materiales de interface recomendados incluyen varias placas de hule de aproximadamente 1/8-pulgada de espesor o placas de neopreno de aproximadamente 1/4-pulgada de espesor.

Adicionalmente, la experiencia ha demostrado que en ciertas aplicaciones marinas donde la actividad de las mareas o corrientes es significativa, es factible que la tubería se ruede o doble. Esta influencia combinada con la masa de los balastros individuales puede llevar a una torsión sustancial de la tubería. Para este tipo de instalaciones, un diseño asimétrico de balastro en el cual la porción inferior del balastro sea más pesada que la porción superior es recomendado. Para más información sobre el diseño de este tipo de balastros, refiérase al Apéndice A-3 de PPI Engineering Handbook Chapter on Marine Applications.

Orejas para izaje adecuadas deben ser incluidos en las secciones superior e inferior de los balastros. Las orejas y el material de sujeción deben ser resistentes a la corrosión. Cable de acero inoxidable y tortillería resistente a la corrosión es lo más comúnmente usado. El atornillado es preferible en tuberías de diámetro mayor a 8-pulgadas porque permite un ajuste previo al hundimiento para compensar cualquier holgura del balastro como resultado del relajamiento del esfuerzo del material de la tubería.

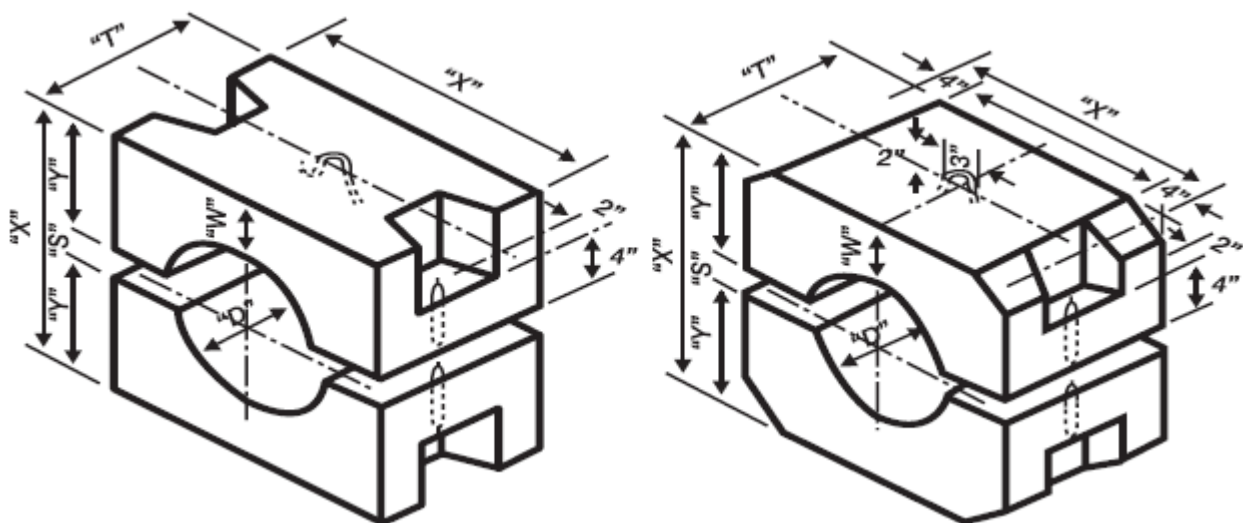
Los diseños de balastros de concreto pueden ser de una variedad de tamaños, formas y configuraciones dependiendo de las necesidades del sitio de trabajo, el tipo de instalación y/o la disponibilidad de los materiales de producción. La siguiente Tabla G-2 muestra algunos diseños típicos de balastros y detalles de concreto, algunos sugieren consideraciones dimensionales basadas en el tamaño de la tubería, densidad del concreto reforzado a 144 lbs/pie³ (2,308 kg/m³) y porcentaje de aire atrapado en una instalación subacuática típica. Estas dimensiones son una referencia solamente después de haber terminado un cuidadoso análisis de la instalación subacuática propuesta en concordancia con los lineamientos presentados en el PPI Engineering Handbook Chapter on Marine Applications.

Tabla G-2
DIMENSIONES RECOMENDADAS PARA BALASTROS DE CONCRETO

Tamaño Nominal de la Tubería	DE Real	Espaciamiento de las pesas para contrarrestar el % de aire, pies			Peso aproximado del bloque de Concreto, lbs		Dimensiones aproximadas del bloque de concreto, pulgadas						Dimensiones del tornillo, pulgadas	
IPS	in	10%	15%	20%	En Aire	En Agua	D	X	Y	T	S,min	W	D	largo
3"	3.50	10	6 3/4	5	12	7	4	9	3 3/4	2 1/2	1 1/2	3	3/4	12
4"	4.50	10	6 3/4	5	20	10	5	11	4 3/4	2 1/2	1 1/2	3	3/4	12
5"	5.56	10	6 3/4	5	30	18	6	12	5 1/4	3 1/2	1 1/2	3	3/4	12
6"	6.63	10	6 3/4	5	35	20	7 1/8	13	5 3/4	3 1/2	1 1/2	3	3/4	12
7"	7.13	10	6 3/4	5	45	26	7 5/8	13 1/2	6	4 1/4	1 1/2	3	3/4	12
8"	8.63	10	6 3/4	5	55	30	9 1/4	15 1/4	6 7/8	4 1/4	1 1/2	3	3/4	12
10"	10.75	10	6 3/4	5	95	55	11 3/4	19 1/4	8 5/8	4 1/2	2	4	3/4	12
12"	12.75	10	6 3/4	5	125	75	13 1/4	21 1/4	9 5/8	5	2	4	3/4	13
13"	13.38	10	6 3/4	5	175	100	13 7/8	24	11	5 1/4	2	5	3/4	13
14"	14.00	15	10	7 1/2	225	130	14 1/2	24 1/2	11 1/4	6 1/2	2	5	1	13
16"	16.00	15	10	7 1/2	250	145	16 1/2	26 1/2	12 1/4	6 1/2	2	5	1	13
18"	18.00	15	10	7 1/2	360	210	18 1/2	28 1/2	13 1/4	8 1/4	2	5	1	13
20"	20.00	15	10	7 1/2	400	235	20 1/2	30 1/2	14 1/4	8 1/4	2	6	1	13
22"	22.00	15	10	7 1/2	535	310	22 1/2	34 1/2	16 1/4	8 1/2	2	6	1	13
24"	24.00	15	13 1/2	7 1/2	610	360	24 1/2	36 1/2	17 1/4	8 3/4	2	6	1	13
28"	28.00	20	13 1/2	10	900	520	28 1/2	40 1/4	19 1/4	11 3/4	2	6	1	13
36"	36.00	20	13 1/2	10	1430	830	36 1/2	48 1/2	23 1/4	13 1/2	2	6	1	13
42"	42.00	20	13 1/2	10	1925	1125	42 1/2	54 1/2	26 1/4	15	2	6	1	13

1. Material de interface recomendado: placas de hule roja o negra de 1/8", o placas de neopreno de 1/4".el ancho debe ser mínimo "T" +2" para prevenir que el concreto este en contacto con la superficie de la tubería.
2. El concreto interior debe ser liso (3000psi ≈210 kg/cm2 – 28 días)
3. Mangas de tubería de acero pueden ser usadas alrededor de los tornillos de anclaje (1" para tornillo de 3/4", etc.). tornillos, tuercas, rondanas y mangas galvanizadas en caliente.
4. Un espacio mínimo, "S", entre los bloques correspondientes debe mantenerse para permitir el ajustado de la tubería.
5. Para mantener su resistencia estructural algunas pesas superan el mínimo requerido.
6. Peso adicional puede ser requerido en condiciones de marea y corriente.
7. Pesos calculados para agua dulce.
8. Todos los bloques de concreto deben ser adecuadamente reforzados con varillas para prevenir agrietamiento durante el manejo, ajustado y movimiento de la tubería lastrada.

Figura G-1
ESQUEMAS DE DISEÑOS DE BALASTROS DE CONCRETO



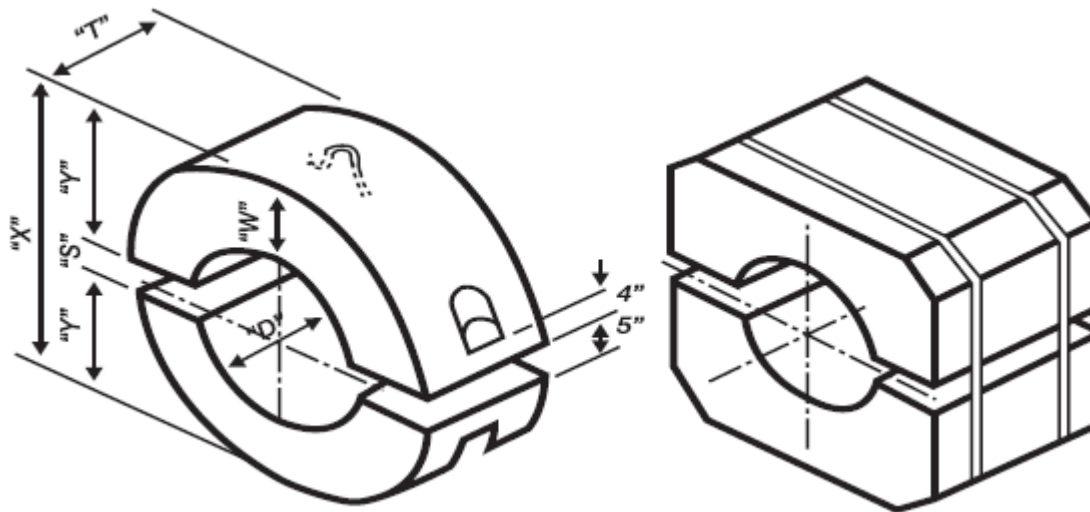
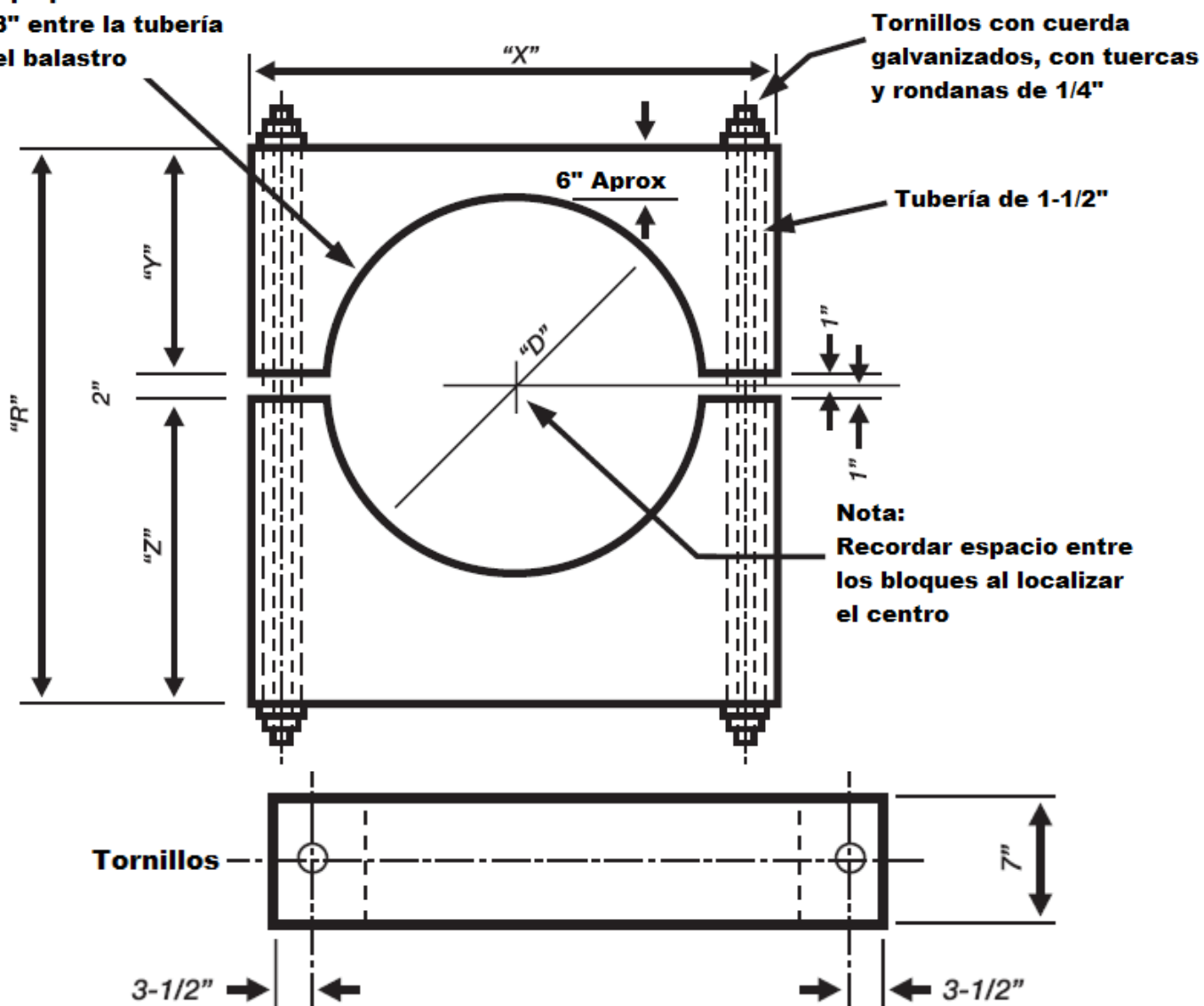


FIGURA G-2
DETALLE TIPO DE BALASTRO DE CONCRETO MOSTRANDO
UN ESPACIO DE 1" ENTRE LAS SECCIONES DEL BALASTRO

Empaque de hule de 1/8" entre la tubería y el balastro



APLICACIONES PARA LODOS

Los lodos se definen como una mezcla de dos fases de un sólido con un fluido donde los elementos constituyentes no reaccionan químicamente pero pueden ser separados mecánicamente. Hay dos tipos básicos de lodo. El primero es lodo en suspensión en el cual todas las partículas quedan atrapadas en el líquido. En este tipo de fluido, el lodo tiene características semejantes a las de un fluido viscoso y puede ser tratado como este en el diseño del sistema. El segundo y más típico régimen de flujo para lodos es el sedimentable. En esta condición, las partículas, una vez suspendidas en el líquido, comienzan a sedimentarse en la porción mas baja de la tubería. El grado de sedimentación es dependiente de la velocidad del sistema. Partículas grandes son más difíciles de suspender y requieren velocidades mayores para permanecer en suspensión, especialmente en tuberías horizontales.

La velocidad crítica, V_c , se define como la velocidad minima requerida para suspender los sólidos que constituyen el lodo. La velocidad crítica es dependiente de las siguientes variables del sistema:

- tamaño y forma del sólido
- distribución del tamaño del sólido
- densidad del sólido
- densidad del fluido
- concentración de lodo
- tamaño de la tubería

REGIMENES DE FLUJO

Para utilizar los beneficios de **Policonductos®** en aplicaciones para lodos es útil entender el fenómeno de abrasión causado por diferentes tipos de lodos. Hay cuatro tipos de flujo que pueden existir en una línea de lodo, los cuales son el resultado de variaciones en la velocidad de flujo. Por lo tanto, cambios en la velocidad pueden dar como resultado cualquiera de las siguientes condiciones de flujo:

1. Homogéneo

Todas las partículas están distribuidas homogéneamente y atrapadas en el fluido resultando en un contacto mínimo entre el sólido y las paredes de la tubería. Esta condición es la menos abrasiva para el material de la tubería; por lo tanto, la mas deseable.

2. Heterogéneo

En este caso, existe cierta tendencia a sedimentar resultando en una densidad incrementada del lodo en la mitad inferior de la tubería. Sin embargo, los sólidos no están en completo contacto con la pared de la tubería mientras estén en movimiento; por lo tanto, ocurre minima abrasión. Esta condición es la más económica ya que lograr un flujo homogéneo requiere más energía.

3. Saltación en el fondo

Las partículas sólidas tienden a rebotar en el fondo de la tubería causando abrasión en la tubería de acero, pero en **Policonductos®** los sólidos rebotan debido a las características del material de la tubería resultando en una razón de erosión menor.

4. Arrastre de fondo

Esta es la condición mas agresiva, donde las partículas han dejado de estar en suspensión y están rodado y arrastrándose a lo largo del fondo de la tubería. En este caso, ocurren muy altos niveles de abrasión especialmente en el cuadrante inferior de la tubería.

Aumentar o disminuir la velocidad de flujo puede causar la transición entre las condiciones de flujo descritas anteriormente. Por ejemplo, una aplicación para lodo en el flujo en saltación puede ser mejorada a flujo heterogéneo incrementando la velocidad de flujo. Sin embargo se debe tener en cuenta que incrementar la velocidad de flujo incrementa el costo. Esto debe tomarse en consideración al sacar el costo de la instalación.

TAMAÑO DE PARTICULA

Para una aplicación en la que el tamaño de partículas es muy fino (como cenizas) la fase sólida con el líquido acarreador forma un fluido viscoso y tiene un flujo homogéneo. Esta condición existe siempre y cuando la velocidad del flujo se mantenga por encima de la velocidad crítica. Cuando la velocidad cae por debajo del nivel de transición, los sólidos comienzan a sedimentarse y la condición de flujo cambia de flujo turbulento a flujo laminar. En la condición de flujo laminar, el lodo pasa a la condición de flujo de saltación o de arrastre. Por lo tanto, para este tipo de lodo, es importante mantener la velocidad de flujo por encima de la velocidad de transición crítica para evitar rapidez de erosión significativamente mas elevadas.

Tipos de material típicos para los cuales estas consideraciones son de importancia son aquellos con tamaño de partícula menor a 200 micrones. Estos incluyen los siguientes tipos de material:

- ceniza de escoria
- arenas finas
- arcillas
- sólidos productos de la combustión
- carbón pulverizado
- materiales que han sido reducidos a talco

Para lodos que contengan materiales finos, como los presentados anteriormente, los siguientes cambios en el sistema pueden causar separación en dos fases.

1. Aumento de la viscosidad del lodo
2. Aumento de la concentración de sólidos
3. Aumento del tamaño de partícula

En cualquiera de los casos anteriores, un aumento en la velocidad de flujo puede prevenir que ocurra sedimentación.

En una aplicación en la que el tamaño de partícula no sea menor a 200 micrones requerirá consideraciones distintas. Partículas mayores y más pesadas se comportan diferentes en suspensión que los lodos más finos y no formarán situaciones de flujo homogéneo. Para estos materiales, la mejor situación que se puede lograr es la condición de flujo heterogéneo. Debido al tamaño grande de partícula y a su densidad significativa, la inercia de las partículas resulta en sedimentación de los sólidos a través del fluido, aun a altas velocidades. Esta condición es cierta en condiciones de flujo a sección llena, resultando en una concentración mayor de sólidos en la mitad inferior de la tubería. Una vez que la velocidad del flujo es menor a la velocidad crítica, la cantidad de sólidos comienza a aumentar en el fondo de la tubería resultando en un aumento del grado de erosión. En la mayoría de los casos, la velocidad crítica para partículas grandes se encuentra en el régimen de flujo turbulento.

Materiales típicos de lodo que se encuentran en esta categoría incluyen los siguientes:

- Jales
- Arenas
- Minerales
- Caliza quebrada
- Grava
- Materiales de dragado

En caso que el lodo contenga partículas más grande y pesadas los siguientes cambios pueden incrementar la tendencia a dejar el estado de suspensión.

1. Aumento en el tamaño de partícula
2. Aumento en la densidad del sólido
3. Aumento en la concentración de sólidos
4. Uso de un diámetro de tubería mayor

Un aumento en la velocidad de flujo puede prevenir la sedimentación de partículas y así mantener un flujo heterogéneo.

VELOCIDADES DE FLUJO

A continuación se muestran en la Tabla H-1 las velocidades de flujo sugeridas por tamaño de particular para lograr un óptimo servicio.

Tabla H-1
VELOCIDADES DE FLUJO SUGERIDAS

TAMAÑO DE PARTICULA	Tamaño de Tubería		
	3 – 10 in (76-254 mm)	10 – 28 in (254-711 mm)	28 – 48 in (711-1216 mm)
200 micrones a ¼ pulgada	7 – 10 pie/s (2.1 - 3.0 m/s)	8 – 12 pie/s (2.4 - 3.7 m/s)	10 – 15 pie/s (3.0 - 4.6 m/s)
> ¼ pulgada	10 - 13 pie/s (3.0 - 4.0 m/s)	12 - 16 pie/s (3.7 - 4.9 m/s)	14 -18 pie/s (4.3 - 5.5 m/s)

En aplicaciones para lodos, velocidades de flujo por debajo del nivel crítico pueden resultar en grados de erosión muy elevados y hasta posiblemente taponar la línea.

PÉRDIDA DE PRESIÓN

La pérdida de presión del lodo en un sistema de tuberías debida a la fricción puede ser estimada usando la ecuación de Hazen-Williams de la Sección B, “Caída de Presión”. La caída de presión calculada, ΔP_f , multiplicada por la gravedad específica del lodo dará un aproximado de la caída de presión por fricción. Esto se representa con la siguiente ecuación:

$$\Delta P_s = \Delta P_f \cdot SG$$

Donde ΔP_s = Pérdida de presión por fricción para lodo, m/m.
 ΔP_f = Pérdida de presión por fricción para agua, m/m, (Ecuación (6))
 SG = Gravedad específica del lodo, (adimensional)

NOTA: el valor obtenido mediante este procedimiento de cálculo no puede ser más preciso que la determinación de la gravedad específica pero es reconocido como una estimación segura.

La tubería **Policonductos®** de polietileno de alto peso molecular tiene una resistencia a la abrasión causada por lodos extremadamente alta. Cuando se le compara con materiales tradicionales, **Policonductos®** tiene una resistencia mayor. Por ejemplo, **Policonductos®** puede superar al acero tanto como 4 a 1 en una situación dada. Este factor es solo uno de los beneficios de usar **Policonductos®** en aplicaciones para lodos; es también más ligero y fácil de instalar en lugares donde líneas para lodos son requeridas. Desafortunadamente, debido al gran numero de variables involucradas en aplicaciones para lodos, es difícil de establecer una referencia de grados de abrasión para tubería de polietileno.

Adicionalmente, la tubería de polietileno es más fácil de mantener y puede ser rotada fácilmente una vez erosionada. , **Policonductos®** recomienda rotación periódica de la línea de conducción para lodo. La frecuencia de la rotación depende de las propiedades de la mezcla del lodo a transportar a través de la línea de conducción.

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.

TUBERIAS SUSPENDIDAS O APOYADAS INTERMITENTEMENTE

Los puntos de consideración en la instalación de líneas de conducción apoyadas intermitentemente, son:

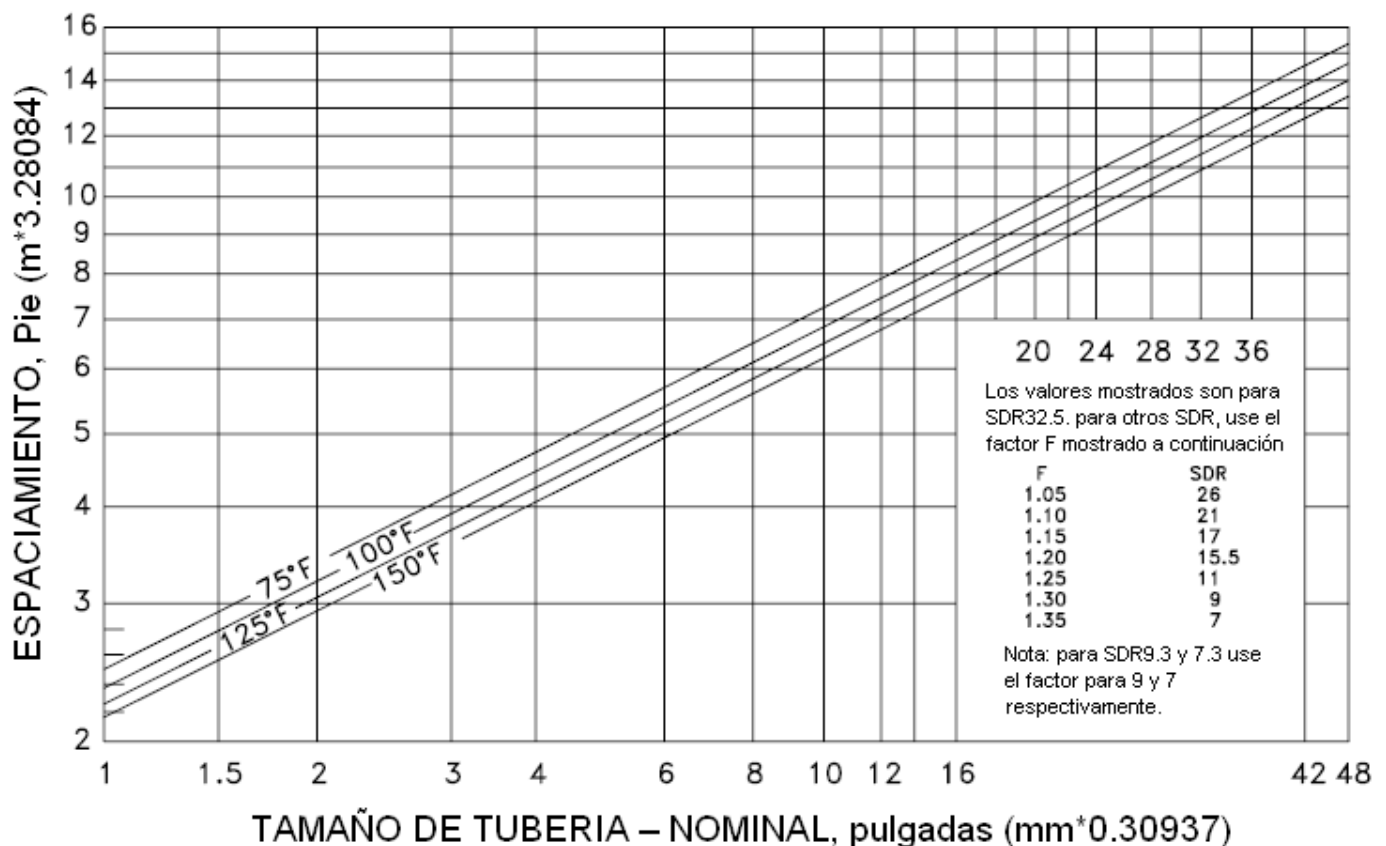
1. Espacio entre soporte
2. Tipo de soporte
3. Influencia de la temperatura
4. Peso de la tubería y deflexión
5. Instalación

DEFLEXION

La magnitud de la deformación en la parte media del tramo entre apoyos depende del peso de la tubería por metro, incluyendo su contenido. La Figura J-1 muestra el espaciamiento recomendado para una deflexión en el punto medio del tramo de 6.5 mm (un cuarto de pulgada) cuando está llena de agua. Sin embargo, en situaciones donde se conduce un gas seco, el espaciado indicado puede doblarse. Cuando ocurre condensación en la línea de conducción, el líquido se acumula en la deflexión, a menos que la tubería tenga pendiente; y a consecuencia se acelera la deflexión debido al aumento de peso. Si se desea menos deflexión, se puede determinar nuevamente el espaciamiento de los soportes, multiplicando el espaciamiento por los siguientes factores de corrección:

1. 0.67 para deflexión de 0.05 pulgada(1.3mm)
2. 0.80 para deflexión de 0.10 pulgada (2.5mm)
3. 0.88 para deflexión de 0.15 pulgada (3.8mm)
4. 0.95 para deflexión de 0.20 pulgada (5.1mm)

Figura J-1
ESPACIAMIENTO DE LOS SOPORTES PARA LINEAS DE CONDUCCION
SOPORTADAS INETRMITENTEMENTE



TEMPERATURA

La Figura J-1 determina el diseño del espaciamiento para adaptarse a los cambios de temperatura que la tubería pudiera experimentar. Un aumento en la temperatura disminuye la resistencia a la deflexión de la tubería resultando en un aumento en la magnitud de la deflexión.

Nota: Una línea de conducción operando a temperaturas superiores a 150°F (65°C) debe tener soporte continuo.

Sin embargo la Figura J-1 no toma en consideración la deflexión adicional que pudiera haber debido a expansión térmica por aumento en la temperatura. Por esta razón, la temperatura de la tubería al ser instalada es muy importante y debe fijarse lo mas cerca posible o por encima de la temperatura de operación. Si se instala una línea de conducción de 100 pies (30.5m) y es instalada a 60°F(16°C) y operada a 120°F (49°C), puede ocurrir un aumento en la longitud hasta de 7 pulgadas (178mm) manifestándose como deformación adicional.

SOPORTE

El polietileno es un material relativamente blando y requiere superficies anchas, acolchadas para ser soportado. Una línea de conducción llena de agua es aproximadamente 3 veces mas pesada que una línea vacía o una línea conteniendo materiales gaseosos. El soporte para líneas con flujo a sección llena de agua debe ser por lo menos tan ancho en la dirección longitudinal de la tubería como la mitad del diámetro exterior de la tubería. El soporte debe cubrir la tubería por aproximadamente 135°, i.e., asumiendo que la sección transversal de la tubería es la cara de un reloj, el soporte debe cubrir por lo menos de las 4:00 a las 8:00. Las tuberías suspendidas deben tener 180 grados de soporte, y si están sujetadas por un dispositivo tipo abrazadera, el soporte abarcara 360°. Donde sean utilizados soportes o bandas de metal, un acolchado de neopreno o hule debe ser usado para proteger la tubería de daño por los soportes.

ESPACIADO

El diseñador puede referirse a la Sección D para un entendimiento más amplio de los efectos de la temperatura sobre la línea de conducción. Para la determinación del espaciamiento entre los soportes, la siguiente formula puede ser usada:

$$\Delta y = \frac{0.0651 \cdot \pi \cdot (\rho_p (D^2 - d^2) + \rho_f \cdot d^2) \cdot L^4}{E \cdot (D^4 - d^4)}$$

O

$$L = \left[\frac{E \cdot (D^4 - d^4) \cdot \Delta y}{0.0651 \cdot \pi (\rho_p (D^2 - d^2) + \rho_f \cdot d^2)} \right]^{1/4}$$

Donde	Δy	=	Deflexión de la tubería en el punto mas bajo, pie
	ρ_p	=	Densidad de la tubería, lbs/pie ³
	ρ_f	=	Densidad del fluido, lbs/pie ³
	E	=	Modulo de elasticidad, lbs/in ²
	L	=	Distancia entre los soportes, pies
	D	=	Diámetro exterior, pulgadas
	d	=	Diámetro interior, pulgadas

NOTA: Como se menciona anteriormente, una línea de conducción operando continuamente por encima de 150°F debe tener soporte continuo.

INSTALACION

Un sistema de tuberías enterrado, gracias al continuo contacto con el material de relleno y la reducción en las fluctuaciones de temperatura debidas al ambiente, no necesita de consideraciones especiales. La fricción entre la tubería y el suelo efectivamente retendrán en posición a la tubería. Sin embargo, las tuberías superficiales no tienen estas restricciones; por lo tanto, la expansión/contracción térmica deben ser permitidas por diferentes medios. Con un cambio en la temperatura, una cantidad de expansión /contracción ocurrirá, y es necesario asegurar que este efecto sea absorbido para que no se experimenten efectos adversos.

El cambio de longitud debido a cambios térmicos puede ser absorbido en cualquiera de las siguientes formas.

1. Se puede permitir el movimiento libre de la línea de conducción tanto como las restricciones físicas lo permitan.
2. Se pueden situar los apoyos cerca unos de otros y apretados para que los cambios unitarios se transfieran a la elasticidad del material y no se concentren todas las fuerzas en un punto.
3. Los extremos y cambios de dirección se pueden anclar e instalar vueltas de expansión en o cerca de los puntos medios del tramo.

Una línea de conducción superficial debe ser situada en la sombra, si es posible, para minimizar el efecto de la temperatura inducida por el sol; y por lo tanto, la magnitud de expansión térmica.

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.

MANEJO Y ALMACENAJE

Después de diseñar y especificar el sistema de tuberías, los componentes del sistema de tuberías deben ser obtenidos. Típicamente, el personal de gestión de proyectos y compras trabajan en estrecha relación para que los componentes necesarios estén disponibles cuando se necesiten en la construcción.

INSTRUCCIONES DE DESCARGA

Antes de descargar el envío, debe situarse un espacio adecuado y nivelado para descargar el envío. El camión debe estar en suelo nivelado con el freno de estacionado puesto y las llantas trabadas. El equipo para descarga debe ser capaz de levantar y mover con seguridad la tubería, accesorios, accesorios unidos u otros componentes.

PRECAUCION: La descarga y manejo debe realizarse con seguridad. Un manejo peligroso puede resultar en daños a la propiedad o equipo y ser riesgoso para las personas en el área. Mantenga a las personas innecesarias alejadas del área durante la descarga.

PRECAUCION: Solo personas entrenadas adecuadamente deben operar el equipo de descarga.

REQUERIMIENTOS DEL SITIO DE DESCARGA

El sitio de descarga debe ser relativamente plano y nivelado. Debe ser lo suficientemente amplio para dar cabida al camión, el equipo para manejar la carga y su movimiento, y para almacenar temporalmente la carga. La tubería en manojos y en plataforma debe ser descargada lateralmente con un montacargas. Tubería, accesorios, accesorios unidos, pozos de visita u otros componentes no empaquetados deben descargarse desde arriba con equipo de izaje y eslingas anchas, o lateralmente con un montacargas.

EQUIPO DE MANEJO

Equipo apropiado para descargar y manejar, de capacidad adecuada, debe ser usado para descargar el camión. Se deben seguir procedimientos de manejo y operación seguros.

La tubería no debe ser rodada o empujada fuera del camión. No se deben arrojar o tirar fuera del camión la tubería, accesorios, tanques, pozos de visita y otros componentes.

Aunque los componentes de polietileno son ligeros comparados a sus similares de metal, concreto, barro u otros materiales, los componentes grandes pueden ser pesados. El equipo para levantar y manejar debe tener la capacidad adecuada para levantar y mover los componentes desde el camión al almacén temporal. Equipos como montacargas, grúa, tractor con pluma lateral, o una grúa con pluma extensible se utilizan para descargar

Cuando se use un montacargas, o un accesorio de montacargas montado en equipo como cargadores articulados o retroexcavadoras, la capacidad debe ser la adecuada en el centro de carga del montacargas. Los equipos de montacargas se clasifican por su máxima capacidad de carga a cierta distancia desde la parte posterior de las barras. (Ver Figura M-1.) Si el centro de masa de la carga está más alejado de las barras, la capacidad de carga se reduce.

Antes de levantar o transportar la carga, las barras deben abrirse tanto como sea práctico, las barras deben extenderse completamente debajo de la carga, y la carga debe estar lo más hacia atrás de las barras como sea posible.

PRECAUCION: Durante el transporte, una carga sobre barras muy cortas o muy pegadas una con otra, o una carga muy hacia fuera de las barras, puede tornarse inestable y desplazarse hacia delante o de lado, resultando en un daño a la carga o la propiedad, o riesgo para las personas.

En equipo de carga como montacargas, grúa, tractor con pluma lateral, o una grúa con pluma extensible la carga debe ser sujeta con eslingas anchas alrededor de la carga o a las agarraderas de izaje que tenga el componente. Solamente se deben usar eslingas anchas. Las eslingas de cable y las cadenas pueden dañar los componentes, por lo que no deben usarse. Barras separadoras (balancines) deben ser usadas al levantar tubería o componentes de longitud mayor a 20 pies.

PRECAUCION: Antes de usarse, inspeccione las eslingas y el equipo de carga. Equipo con daño o desgaste que disminuya su función o capacidad de carga no debe ser usado.

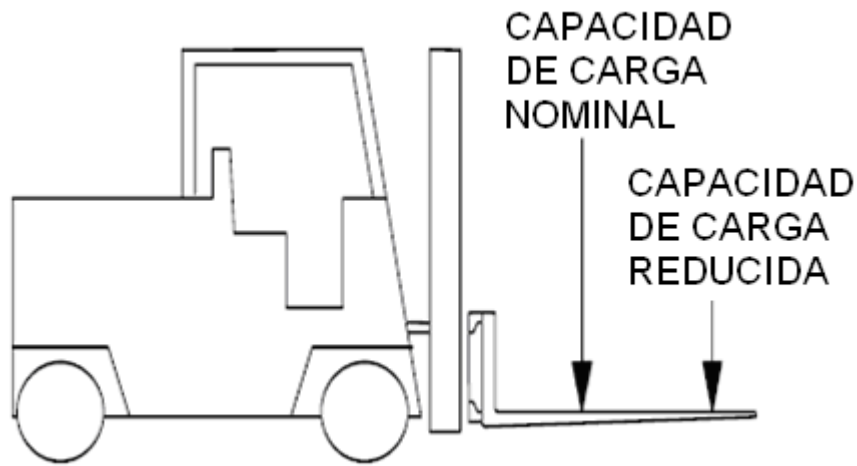


Figura M-1
CAPACIDAD DEL MONTACARGAS

Descarga de Accesorios Unidos Grandes, Pozos de Visita y Tanques

Los accesorios unidos grandes, pozos de registro y tanques deben ser descargados usando eslingas anchas y equipo de carga como montacargas, grúa, tractor con pluma lateral, o una grúa con pluma extensible. La eslinga se ajusta alrededor del tubo vertical del pozo de registro o cerca del borde superior del tanque. No use las tomas, ramales o accesorios como puntos de izaje, y evite colocar las eslingas en los ramales o accesorios. Los pozos de registro y tanques de gran diámetro son típicamente cargados con orejas de izaje.

PRECAUCION: TODAS las orejas de izaje deben ser usados. El peso del pozo de registro o tanque es soportado adecuadamente solo cuando todos las orejas de izaje son utilizados para levantar la carga. No levante tanques o pozos de registro conteniendo agua.

Almacenaje Preinstalación

El tamaño y complejidad del proyecto y los componentes, determinará los requerimientos de preinstalación. Para algunos proyectos, pueden ser apropiados varios sitios de almacenaje o ensamblado a lo largo del derecho de vía, mientras que un solo sitio de almacenaje puede ser lo adecuado en otro trabajo.

El arreglo del sitio debe brindar protección contra daño físico a los componentes. Los requerimientos generales son que el área sea de tamaño suficiente para albergar los componentes de la línea de conducción, espacio suficiente para que el equipo de manejo pueda pasar alrededor de estos, y que la superficie sea relativamente lisa, nivelada y libre de piedras, desechos u otro material que pueda dañar la tubería o sus componentes o que interfiera con su manejo. La tubería debe colocarse sobre polines de madera de 4 pulgadas de ancho, igualmente espaciados a intervalos de 4 pies o menos.

ALTURA DE ESTIBA PARA TUBERIA

La mejor forma de almacenar la tubería en rollo es como fue recibida, en silos para rollos. Tramos individuales del rollo pueden ser retirados desde la parte superior del silo sin perjudicar la estabilidad del rollo sobrante en el silo.

La tubería recibida en manojos y en plataforma debe ser almacenada en el mismo empaque. Si el sitio de almacenaje es plano y a nivel, los manojos y plataformas pueden ser estibados hasta una altura de 6 pies. Para terreno menos plano o desnivelado, la altura límite de estiba es de 4 pies.

Antes de remover tramos individuales de los manojos o plataformas, el paquete debe ser retirado de la pila de almacenamiento, y colocado en el suelo.

Tuberías individuales pueden ser apiladas en filas. La tubería debe colocarse derecha, sin que se crucen o amontonen unas con otras. La fila base debe ser bloqueada para prevenir movimiento lateral o desplazamiento (ver Tabla M-1). El interior de la tubería debe permanecer libre de desperdicios u otros materiales extraños.

Tabla M-1
ALMACENAMIENTO DE TUBERIA SUELTA

Tamaño de Tubería, Nominal	Altura de Estiba Recomendada* - Filas	
	RD mayor a 17	RD17 y Menor
4	15	12
5	12	10
6	10	8
8	8	6
10	6	5
12	5	4
14	5	4
16	4	3
18	4	3
20	3	3
22	3	2
24	3	2
26	3	2
28	2	2
30	2	2
32	2	2
36	2	1
42	1	1
48	1	1
54	1	1
63	1	1

***NOTA:** las alturas de estiba están basadas en 6 pies para terreno nivelado y 4 pies o menos para terreno menos nivelado.

Exposición a Radiación UV y Clima

Los productos de tubería de polietileno están protegidos contra el deterioro causado por la exposición a luz ultravioleta y el efecto de intemperismo. Los productos de color negro están compuestos con antioxidantes, estabilizantes térmicos y estabilizadores UV. Los productos de color usan estabilizadores UV consumibles que absorben energía UV y eventualmente se terminan. En general, productos sin negro de humo no deben permanecer almacenados al intemperie sin protección por mas de dos años; sin embargo algunos fabricantes pudieran permitir un tiempo de almacenaje mayor al intemperie y sin protección. Los productos negros contienen por lo menos 2% de negro de humo para proteger el material del deterioro por radiación UV. Los productos negros con o sin líneas son generalmente adecuados para almacenaje al intemperie ilimitado y para servicio en la superficie o por arriba de esta.

Manejo en Clima Frío

Temperaturas cercanas o por debajo del punto de congelación afectaran la tubería de polietileno, reduciendo la flexibilidad e incrementando la vulnerabilidad a daños por impacto. Se debe tener cuidado de no dejar caer la tubería, o accesorios unidos, y evitar que el equipo de carga u otras cosas golpeen la tubería. Hielo, nieve y lluvia no son dañinos para el material, pero pueden causar que las áreas de almacenaje se tornen más conflictivas para el equipo de carga y personal. El andar en piso resbaloso requerirá mayor cuidado para prevenir daños o heridas.

Caminar sobre la tubería puede ser peligroso. El clima inclemente puede hacer que la superficie de la tubería se torne especialmente resbalosa.

PRECAUCION: Anteponga la seguridad en el sitio de trabajo; no camine en la tubería.

Toda la información mencionada anteriormente ha sido impresa con el permiso del Plastics Pipe Institute. La información se encuentra disponible en *Engineering Handbook; Inspections, Test and Safety Concerns*.

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.

FACTORES DE CONVERSION

DE METRICO A INGLES

<u>Para obtener:</u>	<u>Multiplique:</u>	<u>Por:</u>
Pulgadas	Centímetros	0.3937
Pulgadas	Milímetros	0.03937
Pie	Metros	3.281
Yardas	Metros	1.094
Millas	Kilómetros	0.6214
Onzas	Gramos	352.74
Libras	Kilogramos	2.205
Galones (U.S. Liquido)	Litros	0.264
Onzas de Fluido	Milímetros(cc)	338.14
Pulgadas Cuadradas	Centímetros Cuadrados	0.155
Pies Cuadrados	Metros Cuadrados	10.764
Yardas Cuadradas	Metros Cuadrados	1.196
Pulgadas Cúbicas	Milímetros(cc)	610.24
Pies Cúbicos	Metros Cúbicos	35.315
Yardas Cúbicas	Metros Cúbicos	1.308
Libras/ Pie Cúbico	Kilogramos/Metros Cúbicos	0.0624
Galones/Minuto	Metros Cúbicos/Minuto	0.00378

DE INGLES A METRICO

<u>Para obtener:</u>	<u>Multiplique:</u>	<u>Por:</u>
Micrones	Mils	25.4
Centímetros	Pulgadas	2.54
Milímetros	Pulgadas	25.4
Metros	Pies	0.3048
Metros	Yardas	0.9144
Kilómetros	Millas	1.609
Gramos	Onzas	28.350
Kilogramos	Libras	0.456
Litros	Gallones (U.S. liquido)	3.785
Mililitros (cc)	Onzas de fluido	29.574
Centímetros Cuadrados	Pulgadas Cuadradas	6.452
Metros Cuadrados	Pies Cuadrados	0.0929
Metros Cuadrados	Yardas Cuadradas	0.936
Mililitros (cc)	Pulgadas Cúbicas	16.387
Metros Cúbicos	Pies Cúbicos	0.02832
Metros Cúbicos	Yardas Cúbicas	0.765
Metros Cúbicos/Minuto	Galones/Minuto	264.86

GENERAL

<u>Para obtener:</u>	<u>Multiplique:</u>	<u>Por:</u>
Atmósferas	Pies de agua @ 4°C	0.0295
Atmósferas	Pulgadas de mercurio @ 0°C	0.0342
PSI	Pulgadas de mercurio @ 0°C	.2049
Atmósferas	Libras por pulgada cuadrada	0.06804
BTU	Pie-libras	0.01285
BTU	Joules	0.09348
Cords	Pie Cúbico	128
MPa	Libras pos pulgada cuadrada	0.006897
Libras por Pulgada Cuadrada	MPa	145
Grados (ángulo)	Radianes	57.2958
Ergios	Pie-libras	1.356 x 10 ⁷
Pies	Millas	5280
Pies de Agua @ 4°C	Atmosfera	33.90
Pie-libras	Caballos de potencia –horas	1.98 x 10⁶
Pie-libras	Kilowatts –horas	2.655 x 10 ⁶
Pie-libras por minuto	Caballos de potencia	3.3 x 10⁶
Caballos de Potencia	Pie-libras por segundo	1 818
Pulgadas de mercurio @0°C	Libras por pulgada cuadrada	2.036
Joules	BTU	1054.8
Joules	Pie-libras	1.35582
Kilowatts	BTU por minuto	0.01758
Kilowatts	Pie-libras por minuto	0.0000226
Kilowatts	Caballos de potencia	0.7457
Nudos	Millas por hora	0.869
Millas	Pie	0.0001894
Millas Náuticas	Millas	0.869
Radianes	Grados	0.01745
Pies Cuadrados	Acres	43 560
Watts	BTU por minuto	17.5796
Libras por Pulgada Cuadrada	Pie de agua @ 4°C	0.4335

FACTORES DE TEMPERATURA

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = [T(^{\circ}\text{F}) - 32]/1.8$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = 1.8T(\text{K})$$

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$$

Las escalas Centígrada y Celsius son equivalentes.

EQUIVALENTES DECIMALES DE FRACCIONES DE PULGADA

		1/64	0.0156			11/32	22/64	0.3438				43/64	0.6719
	1/32	2/64	0.0313				23/64	0.3594		11/16	22/32	44/64	0.6875
		3/64	0.0469		6/16	12/32	24/64	0.3750				45/64	0.7031
1/16	2/32	4/64	0.0625				25/64	0.3906			23/32	46/64	0.7188
		5/64	0.0781			13/32	26/64	0.4063				47/64	0.7344
	3/32	6/64	0.0938				27/64	0.4219		12/16	24/32	48/64	0.7500
		7/64	0.1094		7/16	14/32	28/64	0.4375				49/64	0.7656
2/16	4/32	8/64	0.1250				29/64	0.4531			25/32	50/64	0.7813
		9/64	0.1406			15/32	30/64	0.4688				51/64	0.7969
	5/32	10/64	0.1563				31/64	0.4844		13/16	26/32	52/64	0.8125
		11/64	0.1719		8/16	16/32	32/64	0.5000				53/64	0.8281
3/16	6/32	12/64	0.1875				33/64	0.5156			27/32	54/64	0.8438
		13/64	0.2031			17/32	34/64	0.5313				55/64	0.8594
	7/32	14/64	0.2188				35/64	0.5469		14/16	28/32	56/64	0.8750
		15/64	0.2344		9/16	18/32	36/64	0.5625				57/64	0.8906
4/16	8/32	16/64	0.2500				37/64	0.5781			29/32	58/64	0.9063
		17/64	0.2656			19/32	38/64	0.5938				59/64	0.9219
	9/32	18/64	0.2813				39/64	0.6094		15/16	30/32	60/64	0.9375
		19/64	0.2969		10/16	20/32	40/64	0.6250				61/64	0.9531
5/16	10/32	20/64	0.3125				41/64	0.6406			31/32	62/64	0.9688
		21/64	0.3281			21/32	42/64	0.6563				63/64	0.9844

Advertencia:

La información contenida aquí es una guía para el uso de la tubería y accesorios de polietileno **Policonductos®** y debe ser tomada como confiable y precisa. Sin embargo, la información general no cubre adecuadamente aplicaciones específicas, y su compatibilidad en aplicaciones particulares debe ser verificada independientemente. En todos los casos, el usuario debe asumir que medidas de seguridad adicionales pueden ser requeridas en la instalación segura u operación del proyecto. Debido a la amplia variación de las condiciones de servicio, calidad de instalación, etc., ninguna garantía, expresa o implícita, es dada en combinación con el uso de este material.