



**MANUAL TÉCNICO
EXTRUCOL**

EXTRUCOL

Tabla de contenido

1. Parámetros de diseño hidráulico en tuberías PEAD	4
1.1. Dimensiones	4
1.2. Dimensiones para tubos de redes contra incendio	8
1.3. Velocidad	9
1.4. Rugosidad	10
1.5. Golpe de ariete	11
1.6. Resistencia a las sobrepresiones	12
1.7. Factores de reducción por temperatura	13
1.8. Radios de curvatura:	14
1.9. Pérdidas de carga por fricción:	16
1.9.1. Pérdidas de carga en tuberías	16
1.9.2 Pérdidas localizadas:	21
Pérdidas totales:	22
2. Almacenamiento e instalación tuberías plásticas de polietileno	22
2.1 Almacenamiento:	22
2.1.1 Tuberías de gas	22
2.1.2 Tuberías de acueducto y otros fluidos	23
2.2 Instalación	23
2.2.1 Ancho de zanja	23
2.2.2 Cimentación y relleno	25
2.2.2.1 Configuración de relleno	26
2.2.2.1.1 Cama o colchón	26
2.2.2.1.2 Relleno primario inicial	27
2.2.2.1.3 Relleno secundario inicial	27
2.2.2.1.4 Relleno final	27
2.3 Profundidades mínimas de instalación:	28
2.3.1 Acueducto	28
2.3.2 Industria y Minería	28
2.3.3 Redes contra incendio	29
2.4 Apoyos en tramos rectos	29
2.5 Fuerza de halado segura	31
3. Guía para el dimensionamiento de elementos de anclajes	32
3.1 Cálculo de las fuerzas de empuje	32
3.1.1 Metodología de diseño	34
3.2 Parámetros del suelo	34
3.3 Aplicación de anclajes en tuberías PEAD	35
3.3.1 Procedimiento y materiales	36
Registro fotográfico	37

4. Recomendaciones de operación y mantenimiento	38
4.1 Mantenimiento de tuberías PEAD	38
4.1.1 Mantenimiento preventivo	38
4.2 Reparaciones	38
4.2.1. Reparaciones con corte de tubo	38
4.2.2. Reparaciones sin corte de tubo	40
4.3 Limpieza de tuberías	41
4.3.1. Limpieza con agua	41
4.3.2. Dispositivos para limpieza interna	41
5. Prueba para la detección de fugas en campo, usando presión hidrostática	
- Tuberías de polietileno / Aplicación agua.	43
5.1 Generalidades	43
5.2 Procedimiento	44
6. Guía de aplastamiento - Tuberías de polietileno / Aplicación gas.	46
6.1 Introducción	46
6.2 El propósito de la guía	46
6.3 Bases del aplastamiento	46
6.4 Aplastamiento en tubo de PE - GAS	47
6.5 Consideraciones de seguridad	47
6.5.1. Procedimientos, formación y capacitación del personal.	47
6.5.2. Puesta a tierra adecuada de las herramientas y efectos de la electricidad estática	48
6.5.3. Equipo de protección personal adecuado (EPP)	48
6.5.4. Características y especificaciones del equipo recomendado	48
6.5.5. Procedimiento recomendado de aplastamiento	48
6.5.5.1 Equipo requerido	49
6.5.5.2. Preparación del tubo	49
6.5.5.3. Instalación de Tee de derivación al tubo	50
6.5.5.4. Seleccione el nivel de aplastamiento y el gap entre las barras de la herramientas de aplastamiento	50
6.5.5.5. Completar el aplastamiento aguas abajo	50
6.5.5.6. Completar el aplastamiento aguas arriba	50
6.5.5.7. Accionar el dispositivo perforador de la Tee de derivación	51
6.5.5.8. Verifique que no haya gas en la salida de la tubería de purga	51
6.5.5.9. Completar las reparaciones o derivaciones previstas	51
6.5.5.10. Remoción de la tubería de purga	51
6.5.5.11. Extracción de la herramienta de aplastamiento e inspección de la tubería después del procedimiento	51
6.5.5.12. Re-dondeo	52
6.5.5.13. Marcación de la zona de aplastamiento	52
6.5.5.14. Necesidad de cortar la zona sometida al proceso de aplastamiento	52
7. Resistencia química en Tubos de Polietileno	52

1. Parámetros de diseño hidráulico en tuberías PEAD

1.1 Dimensiones

El diámetro interno de la tubería de polietileno y la presión de trabajo son función del espesor de pared de los tubos; en la ecuación (1) se indica fórmula para determinar diámetro interno:

$$\varnothing_{\text{Interno}} = \frac{(\varnothing_{\text{exterior máximo}} + \varnothing_{\text{exterior mínimo}})}{2} - 2(\text{espesor de pared mínimo}) \quad (1)$$

La información presentada a continuación contiene los valores de diámetros internos para tubos de polietileno fabricados en Extrucol:

Tabla 1: NTC 4585-2 / ISO 4427-2/ RDE 26/PN6 Bar/ PE100-PE100RC

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
50	50	50.20	50.4	2.00	2.15	2.30	46.2
63	63	63.20	63.4	2.50	2.70	2.90	58.2
75	75	75.25	75.5	2.90	3.10	3.30	69.45
90	90	90.30	90.6	3.50	3.75	4.00	83.3
110	110	110.30	110.6	4.20	4.50	4.80	101.9
160	160	160.50	161	6.20	6.60	7.00	148.1
200	200	200.60	201.2	7.70	8.15	8.60	185.2
225	225	225.70	226.4	8.60	9.10	9.60	208.5
250	250	250.75	251.5	9.60	10.15	10.70	231.55
280	280	280.85	281.7	10.70	11.30	11.90	259.45
315	315	315.95	316.9	12.10	12.80	13.50	291.75
355	355	356.10	357.2	13.60	14.35	15.10	328.9
400	400	401.20	402.4	15.30	16.15	17.00	370.6
450	450	451.35	452.7	17.20	18.15	19.10	416.95
500	500	501.50	503	19.10	20.15	21.20	463.3
560	560	561.70	563.4	21.40	22.55	23.70	518.9
630	630	631.90	633.8	24.10	25.40	26.70	583.7
710	710	713.20	716.4	27.20	28.65	30.10	658.8
800	800	803.60	807.2	30.60	32.20	33.80	742.4
900	900	904.05	908.1	34.4	36.35	38.3	835.25
1000	1000	1004.5	1009	38.2	40.2	42.2	928.1
1200	1200	1205.4	1210.8	45.9	48.25	50.6	1113.6

Tabla 2: NTC 4585-2 / ISO 4427-2/ RDE 21/ PN8 bar/ PE100-PE100RC

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
40	40	40.20	40.4	2.00	2.15	2.30	36.2
50	50	50.20	50.4	2.40	2.60	2.80	45.4
63	63	63.20	63.4	3.00	3.20	3.40	57.2
75	75	75.25	75.5	3.60	3.85	4.10	68.05
90	90	90.30	90.6	4.30	4.60	4.90	81.7
110	110	110.30	110.6	5.30	5.65	6.00	99.7
160	160	160.50	161	7.70	8.15	8.60	145.1
200	200	200.60	201.2	9.60	10.15	10.70	181.4
225	225	225.70	226.4	10.80	11.40	12.00	204.1
250	250	250.75	251.5	11.90	12.55	13.20	226.95
280	280	280.85	281.7	13.40	14.15	14.90	254.05
315	315	315.95	316.9	15.00	15.80	16.60	285.95
355	355	356.10	357.2	16.90	17.80	18.70	322.3
400	400	401.20	402.4	19.10	20.15	21.20	363
450	450	451.35	452.7	21.50	22.65	23.80	408.35
500	500	501.50	503	23.90	25.15	26.40	453.7
560	560	561.70	563.4	26.70	28.10	29.50	508.3
630	630	631.90	633.8	30.00	31.55	33.10	571.9
710	710	713.20	716.4	33.90	35.65	37.40	645.4
800	800	803.60	807.2	38.10	40.10	42.10	727.4
900	900	904.05	908.1	42.9	45.1	47.3	818.25
1000	1000	1004.5	1009	47.7	50.15	52.6	909.1
1200	1200	1205.4	1210.8	57.2	60.15	63.1	1091

Tabla 3: NTC 4585-2 / ISO 4427-2/ RDE 17/ PN10 bar/ PE100-PE100RC

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
32	32	32.15	32.3	2.00	2.15	2.30	28.15
40	40	40.20	40.4	2.40	2.60	2.80	35.4
50	50	50.20	50.4	3.00	3.20	3.40	44.2
63	63	63.20	63.4	3.80	4.05	4.30	55.6
75	75	75.25	75.5	4.50	4.80	5.10	66.25
90	90	90.30	90.6	5.40	5.75	6.10	79.5
110	110	110.30	110.6	6.60	7.00	7.40	97.1
160	160	160.50	161	9.50	10.05	10.60	141.5
200	200	200.60	201.2	11.90	12.55	13.20	176.8
225	225	225.70	226.4	13.40	14.15	14.90	198.9
250	250	250.75	251.5	14.80	15.60	16.40	221.15
280	280	280.85	281.7	16.60	17.50	18.40	247.65
315	315	315.95	316.9	18.70	19.70	20.70	278.55
355	355	356.10	357.2	21.10	22.25	23.40	313.9
400	400	401.20	402.4	23.70	24.95	26.20	353.8
450	450	451.35	452.7	26.70	28.10	29.50	397.95
500	500	501.50	503	29.70	31.25	32.80	442.1

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
560	560	561.70	563.4	33.20	34.95	36.70	495.3
630	630	631.90	633.8	37.40	39.35	41.30	557.1
710	710	713.20	716.4	42.10	44.30	46.50	629
800	800	803.60	807.2	47.40	49.85	52.30	708.8
900	900	904.05	908.1	53.3	56.05	58.8	797.45
1000	1000	1004.5	1009	59.3	62.35	65.4	885.9
1200	1200	1205.4	1210.8	67.9	71.35	74.8	1069.6

Tabla 4: NTC 4585-2 / ISO 4427-2/ RDE 13.6/ PN12.5 bar/ PE100-PE100RC

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
32	32	32.15	32.3	2.40	2.60	2.80	27.35
40	40	40.20	40.4	3.00	3.25	3.50	34.2
50	50	50.20	50.4	3.70	3.95	4.20	42.8
63	63	63.20	63.4	4.70	5.00	5.30	53.8
75	75	75.25	75.5	5.60	5.95	6.30	64.05
90	90	90.30	90.6	6.70	7.10	7.50	76.9
110	110	110.30	110.6	8.10	8.60	9.10	94.1
160	160	160.50	161	11.80	12.45	13.10	136.9
200	200	200.60	201.2	14.70	15.50	16.30	171.2
225	225	225.70	226.4	16.60	17.50	18.40	192.5
250	250	250.75	251.5	18.40	19.40	20.40	213.95
280	280	280.85	281.7	20.60	21.70	22.80	239.65
315	315	315.95	316.9	23.20	24.45	25.70	269.55
355	355	356.10	357.2	26.10	27.50	28.90	303.9
400	400	401.20	402.4	29.40	30.95	32.50	342.4
450	450	451.35	452.7	33.10	34.85	36.60	385.15
500	500	501.50	503	36.80	38.70	40.60	427.9
560	560	561.70	563.4	41.20	43.35	45.50	479.3
630	630	631.90	633.8	46.30	48.70	51.10	539.3
710	710	713.20	716.4	52.20	54.90	57.60	608.8
800	800	803.60	807.2	58.80	61.80	64.80	686
900	900	904.05	908.1	66.2	69.6	73	771.65
1000	1000	1004.5	1009	72.5	76.2	79.9	859.5
1200	1200	1205.4	1210.8	88.2	92.7	97.2	1029

Tabla 5: NTC 4585-2 / ISO 4427-2/ RDE 11/ PN16 bar/ PE100-PE100RC

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
20	20	20.15	20.3	2.00	2.15	2.30	16.15
25	25	25.15	25.3	2.30	2.50	2.70	20.55
32	32	32.15	32.3	3.00	3.20	3.40	26.15
40	40	40.20	40.4	3.70	3.95	4.20	32.8
50	50	50.20	50.4	4.60	4.90	5.20	41.00
63	63	63.20	63.4	5.80	6.15	6.50	51.6
75	75	75.25	75.5	6.80	7.20	7.60	61.65
90	90	90.30	90.6	8.20	8.70	9.20	73.90
110	110	110.30	110.6	10.00	10.55	11.10	90.30
160	160	160.50	161	14.60	15.40	16.20	131.30
200	200	200.60	201.2	18.20	19.20	20.20	164.20
225	225	225.70	226.4	20.50	21.60	22.70	184.70
250	250	250.75	251.5	22.70	23.90	25.10	205.35
280	280	280.85	281.7	25.40	26.75	28.10	230.05
315	315	315.95	316.9	28.60	30.10	31.60	258.75
355	355	356.10	357.2	32.20	33.90	35.60	291.70
400	400	401.20	402.4	36.30	38.20	40.10	328.60
450	450	451.35	452.7	40.90	43.00	45.10	369.55
500	500	501.50	503	45.40	47.75	50.10	410.70
560	560	561.70	563.4	50.80	53.40	56.00	460.10
630	630	631.90	633.8	57.20	60.15	63.10	517.50
710	710	713.20	716.4	64.50	67.80	71.10	584.20
800	800	803.60	807.2	72.60	76.30	80.00	658.40
900	900	904.05	908.1	81.7	85.85	90	740.65
1000	1000	1004.5	1009	90.2	94.8	99.4	824.1

Tabla 6: NTC 4585-2 / ISO 4427-2/ RDE 9/ PN20 bar/ PE100-PE100RC

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
20*	20	20.15	20.3	2.30	2.50	2.70	15.55
25*	25	25.15	25.3	3.00	3.20	3.40	19.15
32*	32	32.15	32.3	3.60	3.85	4.10	24.95
40	40	40.20	40.4	4.50	4.80	5.10	31.2
50	50	50.20	50.4	5.60	5.95	6.30	39
63	63	63.20	63.4	7.10	7.55	8.00	49
75	75	75.25	75.5	8.40	8.90	9.40	58.45
90	90	90.30	90.6	10.10	10.70	11.30	70.1
110	110	110.30	110.6	12.30	13.00	13.70	85.7
160	160	160.50	161	17.90	18.85	19.80	124.7
200	200	200.60	201.2	22.40	23.60	24.80	155.8
225	225	225.70	226.4	25.20	26.55	27.90	175.3
250	250	250.75	251.5	27.90	29.35	30.80	194.95
280	280	280.85	281.7	31.30	32.90	34.50	218.25
315	315	315.95	316.9	35.20	37.05	38.90	245.55
355	355	356.10	357.2	39.70	41.75	43.80	276.7
400	400	401.20	402.4	44.70	47.00	49.30	311.8
450	450	451.35	452.7	50.30	52.90	55.50	350.75
500	500	501.50	503.0	55.80	58.65	61.50	389.9
**560	560	561.70	563.4	62.50	65.70	68.90	436.7

**Para diámetros mayores contactar a EXTRUCOL

Tabla 7: NTC 4585-2 / ISO 4427-2/ RDE 7.4/ PN25 bar/ PE100-PE100RC

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
*20	20	20.15	20.3	3.00	3.20	3.40	14.15
*25	25	25.15	25.3	3.50	3.75	4.00	18.15
*32	32	32.15	32.3	4.40	4.70	5.00	23.35
40	40	40.20	40.4	5.50	5.85	6.20	29.2
63	63	63.20	63.4	8.60	9.10	9.60	46
90	90	90.30	90.6	12.30	13.00	13.70	65.7
110	110	110.30	110.6	15.10	15.95	16.80	80.1
160	160	160.50	161	21.90	23.05	24.20	116.7
200	200	200.60	201.2	27.40	28.85	30.30	145.8
250	250	250.75	251.5	34.20	36.00	37.80	182.35
315	315	315.95	316.9	43.10	45.35	47.60	229.75
**355	355	356.10	357.2	48.50	51.00	53.50	259.1

*Fabricación bajo solicitud del cliente

**Para diámetros mayores contactar a EXTRUCOL

1.2. Dimensiones para tubos de redes contra incendio

El diámetro interno de la tubería de polietileno para redes contra incendio y la presión de trabajo son función del espesor de pared de los tubos; este se encuentra regulado en la normativa y se calcula dada la Ecuación 2:

$$\varnothing_{\text{Interno}} = \frac{(\varnothing_{\text{exterior máximo}} + \varnothing_{\text{exterior mínimo}})}{2} - (2 * (\text{espesor de pared mínimo}) * 1.06) \quad (2)$$

Tabla 8: Tubo PEAD/Red Contra Incendio EN 12201/ FM 1613/ CLASE 200/ PE100/ sistema milimétrico

Ø Nominal (mm)	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	e Promedio (mm)	e Máx (mm)	Ø Interno (mm)
75	75	75.25	75.5	6.80	7.20	7.60	61.65
90	90	90.30	90.6	8.20	8.70	9.20	73.90
110	110	110.35	110.7	10.00	10.55	11.10	90.35
160	160	160.50	161	14.60	15.40	16.20	131.30
200	200	200.60	201.2	18.20	19.20	20.20	164.20
225	225	225.70	226.4	20.50	21.60	22.70	184.70
250	250	250.75	251.5	22.70	23.90	25.10	205.35
280	280	280.85	281.7	25.40	26.75	28.10	230.05
315	315	315.95	316.9	28.60	30.10	31.60	258.75
355	355	356.10	357.2	32.20	33.90	35.60	291.70
400	400	401.20	402.4	36.30	38.20	40.10	328.60
450	450	451.35	452.7	40.90	43.00	45.10	369.55
500	500	501.50	503	45.40	47.75	50.10	410.70
560	560	561.70	563.4	50.80	53.40	56.00	460.10
630	630	631.90	633.8	57.20	60.15	63.10	517.50
710	710	713.20	716.4	64.50	67.80	71.10	584.20
800	800	803.60	807.2	72.60	76.30	80.00	658.40

Tabla 9: Tubo PEAD/Red Contra Incendio AWWA C906/ FM 1613/ CLASE 200/ PE4710/ sistema pulgadas

Ø Nominal Pulgadas	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	Ø Interno (mm)
3"	88.7	88.90	89.1	8.08	77.10
4"	113.79	114.30	114.81	10.39	92.28
6"	167.51	168.30	169.04	15.29	135.86
8"	218.08	219.10	220.07	19.91	176.86
10"	271.83	273.10	274.27	24.82	220.44
12"	322.40	323.90	325.30	29.44	261.44
14"	354.00	355.60	357.20	32.33	287.05
16"	404.57	406.40	408.23	36.96	328.05
18"	455.14	457.20	459.26	41.55	369.10
20"	505.71	508.00	510.29	46.18	410.10
22"	556.29	558.80	561.31	50.80	451.10
24"	606.86	609.60	612.34	55.42	492.10

Tabla 10: Tubo PEAD/Red Contra Incendio AWWA C906/ FM 1613/ CLASE 250/ PE4710/ sistema pulgadas

Ø Nominal Pulgadas	Ø Mín (mm)	Ø Promedio (mm)	Ø Máx (mm)	e Mín (mm)	Ø Interno (mm)
3"	88.7	88.90	89.1	9.88	73.29
4"	113.79	114.30	114.81	12.70	87.38
6"	167.51	168.30	169.04	18.69	128.64
8"	218.08	219.10	220.07	24.33	167.49
10"	271.83	273.10	274.27	30.33	208.76
12"	322.40	323.90	325.30	35.99	247.55

1.3. Velocidad

La velocidad de flujo es un parámetro fundamental en el cálculo hidráulico ya que está directamente relacionado con el caudal y el diámetro interno del tubo ($Q=V \cdot A$), en general no existe una velocidad mínima para el diseño de redes de distribución, pero si es considerado como una buena práctica en aducciones y conducciones, que este parámetro sea mayor a 0.5 m/s, con el propósito de garantizar la auto limpieza de dichas redes.

Las pérdidas hidráulicas y los fenómenos de sobrepresión o golpe de ariete son función de la velocidad del fluido, por esta razón la velocidad máxima es un parámetro que debe ser controlado en el diseño hidráulico. Para los casos en los cuales estos parámetros no implican limitaciones, se presenta en la Tabla 11 valores de velocidad máxima orientativos para diferentes diámetros.

Tabla 11: Velocidades máximas orientativas en tuberías PEAD.

*ID (mm)	V (m/s)
100	2.0
125	2.0
150	2.0
200	2.0
250	2.0
300	2.1
350	2.3
400	2.3
450	2.4
500	2.5
600	2.6
700	2.7
800	2.8
900	2.8
1.000	2.8
1.200	2.8

*ID= diámetro interno

** Para velocidades orientativas en diámetros superiores, consultar con Extrucol.

Fuente: Manual técnico tuberías PEAD ASETUB.

1.4. Rugosidad

La tubería PEAD se considera hidráulicamente lisa, con coeficiente de fricción (C) de Hazen Williams de 150 y rugosidad absoluta (ϵ) de 0.000005 pies o su equivalente 0.0015 mm; en la Tabla 12 se indican valores de rugosidad típicos para diferentes materiales.

Tabla 12: rugosidad absoluta de materiales.

Tipo de material del tubo	Rugosidad absoluta de la superficie (ϵ) (ft.)		
	Valores para tubería nueva informados por referencia	Valores para tubería nueva y valores de diseño recomendados informados por referencia	
		Valor	Valor de diseño recomendado
Acero remachado	0.03 – 0.003	---	---
Concreto	0.01 – 0.001	---	---
Hierro fundido sin revestir	0.00085	0.00074	0.00083
Hierro fundido revestido	---	0.00033	0.00042
Acero galvanizado	0.00050	0.00033	0.00042
Acero comercial o hierro forjado	0.00015	---	---
Acero sin revestir	---	0.00009	0.00013
Acero revestido	---	0.00018	0.00018
Asbesto sin revestir – cemento	---	---	---
Tubo revestido con mortero de cemento	---	0.00167	0.00167
Tubos fibra de vidrio*	---	0.000075	0.000095
Tubos lisos (PE y otros termoplásticos)	---	0.000005	0.000005

Fuente: Handbook plastic pipe institute PPI, capítulo 6 página 172.

* Guías de producto / Tubos GRP

1.5. Golpe de ariete

El fenómeno hidráulico conocido como golpe de ariete es la variación de la magnitud de la presión interna en las tuberías, generada en razón a transitorios ocasionados por variación en el régimen de circulación, tales como cierres o aperturas abruptos en válvulas de control, paradas o arranques de bombeo, etc.

Las tuberías de polietileno son menos susceptibles a sufrir daños por este fenómeno, debido a las propiedades mecánicas del material, dado que la magnitud de celeridad (a) de la onda es menor que en otros materiales, como se puede ver en la Tabla 13

Tabla 13: Valores de Celeridad en distintos materiales

Material	E (kg/m ²)	K _c	D _m (mm)	e (mm)	a (m/s)
Fundición	17 x 10 ⁹	0.59	500	9	1.100
Acero	21 x 10 ⁹	0.48	500	5	1.011
Hormigón	3 x 10 ⁹	3.33	500	40	1.044
PVC – U	3 x 10 ⁸	33.33	500	24	363
PE	10 ⁸	100.00	500	24	214
PRFV	2 x 10 ⁹	5.00	500	7	492

La celeridad en [m/s], está dada por la Ecuación 3:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K_c \frac{D_m}{e}}} \quad (3)$$

Donde K_c es un parámetro adimensional dado por la Ecuación 3.1

$$K_c = \frac{10^{10}}{E} \quad (3.1)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad PEAD en Kg/m² (10⁸)

D_m = Diámetro medio (mm)

e = Espesor de pared mínimo (mm)

Así mismo la celeridad influye directamente en la sobrepresión que experimentará la tubería, en función de las Ecuaciones 3.2 y 3.3:

✓ $T < 2L/a$, según Allievi:

$$\Delta P = \pm \frac{a \cdot v}{g} \quad (3.2)$$

✓ Si $T > 2L/a$, según Michaud:

$$\Delta P = \pm \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T} \quad (3.3)$$

Donde:

ΔP = Sobrepresión debido al golpe de ariete (m)

a = Celeridad (m/s)

v = Velocidad de circulación del agua (m/s)

g = Gravedad (9.81 m/s²)

L = Longitud de la tubería (m)

T = Tiempo efectivo de cierre (s)

En la Tabla 14, se presentan valores calculados de celeridad aplicables a tuberías de polietileno:

ØNominal (mm)	RDE 26	RDE 21	RDE 17	RDE 13.6	RDE 11	RDE 9	RDE 7.4
50	195.7	218.2	243.3	264.1	305.8	326.8	362.96
63	195.0	214.0	238.5	265.3	293.8	333.4	370.25
75	192.6	213.3	238.6	265.3	296.5	323.4	358.50
90	193.1	214.1	239.3	265.0	294.6	323.4	355.49
110	191.4	213.6	238.7	263.6	293.8	322.7	355.49
160	192.8	214.5	238.7	263.8	293.9	323.7	354.28
200	192.2	214.4	238.7	263.4	291.8	322.7	354.48
225	191.5	214.1	237.5	263.8	292.5	323.0	355.21
250	191.9	214.1	237.7	263.5	292.2	322.5	354.73
280	191.5	213.2	237.8	263.5	292.7	322.5	354.88
315	192.0	213.8	237.2	263.6	292.3	322.7	354.64
355	191.7	213.3	237.3	263.4	292.5	322.7	354.67
400	191.6	213.2	237.5	263.4	292.0	322.0	
450	191.5	213.6	237.6	263.5	291.9	321.9	-
500	191.5	213.6	237.3	263.5	292.0	321.9	-
560	191.5	213.7	237.4	263.5	291.8	321.7	-
630	191.6	213.4	237.5	263.4	291.9	-	-
710	191.6	213.3	237.3	263.2	292.1	-	-
800	191.4	213.4	237.5	263.2	292.0	-	-
900	191.4	213.2	237.0	263.3	291.3	-	-
1000	191.3	213.3	237.2	261.4	290.4	-	-
1200	191.4	213.2	231.8	263.2	-	-	-

1.6. Resistencia a las sobrepresiones

Los fenómenos de sobrepresión descritos en el capítulo anterior, sumados a la presión dinámica en la tubería, resultan en la presión de diseño (PD); como fabricantes se sugiere que en todos los escenarios de un diseño hidráulico esta PD sea inferior a la presión nominal (PN) de la tubería.

Sin embargo, es común que en diseños que implican incrementos grandes de caudal por demandas futuras, el aumento en la velocidad de flujo genere escenarios de sobrepresiones que sumados a la presión dinámica, lleguen a superar la presión nominal de la tubería; en casos puntuales es posible aplicar el criterio expuesto en mayo de 2018 por el PPI (Plastic Pipe Institute), el cual publicó el paper titulado: "PPI and MAB Position Paper on HDPE (PE 4710) Distribution Potable Water Pipe Sizes and Pressure Classes", donde se establecen la clasificación y coeficientes de sobrepresión admisibles en tuberías de polietileno de alta densidad, los cuales se definen en la tabla 15:

Tabla 15: Resistencia a las sobrepresiones para tubería y accesorios PE4710

Referencia Normativa	4" a 12" DIPS AWWA C906			
Agua potable	NSF-61, CC3			
RDE	17	13.5	11	9
Clase de presión (CP)	125 psi	160 psi	200 psi	250 psi
Sobrepresión recurrente (SPR)¹	188 psi	240 psi	300 psi	375 psi
Sobrepresión Ocasional (SPO)²	250 psi	320 psi	400 psi	500 psi

¹ y ²: Valores orientativos a utilizar según criterio de diseñador.

La clase de presión (CP) es la capacidad de diseño de los tubos para resistir la presión de trabajo a un máximo de 80°F (26.6°C) de temperatura de servicio; en la tabla 15, se indican las máximas sobrepresiones en función del RDE de las tuberías. Se indica clasificación de sobrepresiones según su periodicidad

- **Sobrepresiones recurrentes (SPR):** Ocurren con mayor frecuencia y son inherentes al diseño y operación del sistema, algunos de ellos son el arranque o apagado de una bomba y la apertura o cierre de válvulas.
 Los picos de presión recurrentes pueden ocurrir múltiples veces en una la vida útil del sistema de tuberías; el coeficiente aproximado es de **1.5 veces la presión nominal de la tubería.**
- **Sobrepresiones ocasionales (SPO):** Son causadas por operaciones de emergencia, generalmente como resultado de un mal funcionamiento del sistema como cortes de energía, cierre abrupto de una válvula, o falla en el componente del sistema; el coeficiente aproximado es de **2 veces la presión nominal de la tubería.**

1.7. Factores de reducción por temperatura

La temperatura es un factor importante a considerar en el diseño de sistemas de tuberías Plásticas; la presión de operación para cada RDE está establecida en referencia a 20°C. El estándar NTC 4585-1 indica los siguientes coeficientes de reducción aplicables a la máxima presión de operación, resumidos en la Tabla 16:

Tabla 16: Coeficientes de reducción por temperatura (Ct°)

Temperatura (°C)	Ct°
20	1.00
30	0.87
40	0.74

Fuente: ISO 4427-1/ NTC 4585-1

Así pues, para calcular la presión de operación de un sistema dada la temperatura del fluido o la temperatura media ambiente, se debe trabajar con la Ecuación 4.

$$\text{Máxima presión de operación} = \text{Presión nominal} * \text{Coeficiente (Ct°)} \quad (4)$$

En la Tabla 17, se presentan las máximas presiones de operación en función del RDE, aplicando los coeficientes de reducción para las distintas temperaturas indicadas anteriormente:

Tabla 17: presiones de trabajo a distintas temperaturas.

RDE	Máxima presión de operación @ 20°C		Máxima presión de operación @ 30°C		Máxima presión de operación @ 40°C	
	bar	psi	bar	psi	bar	psi
41	4.0	58	3.48	50.46	2.96	42.92
26	6.0	87	5.22	75.69	4.44	64.38
21	8.0	116	6.96	100.92	5.92	85.84
17	10.0	145	8.7	126.15	7.4	107.3
13.6	12.5	182	10.875	158.34	9.25	134.68
11	16.0	232	13.92	201.84	11.84	171.68
9	20.0	290	17.4	252.3	14.8	214.6
7.4	25.0	362	21.75	314.94	18.5	267.88

* Para temperaturas intermedias es válido calcular el coeficiente (Ct°) por medio del proceso de interpolación lineal.

1.8. Radios de curvatura:

La flexibilidad característica del polietileno permite a la tubería curvarse, evitando en algunos casos el uso de accesorios para cambios de dirección significativos que requieren codos de 90° y 45°, así mismo evita en su mayoría el uso de codos con ángulos menores: 30°, 22.5° y 11.25°.

Los radios de curvatura más usuales se presentan en la Tabla 18

Tabla 18: Radios de curvatura (Rc)

RDE	PN	Rc
17	10 bar / 145 psi	20* DN
13.6	12.5 bar/ 182 psi	20*DN
11	16 bar/ 232 psi	20*DN

Rc=Radio mínimo de curvatura/ Aplica para Tubos PE100

DN=Diámetro nominal

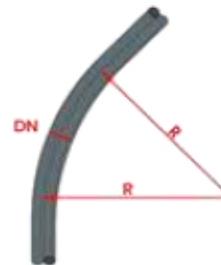
PN=Presión nominal

En la Tabla 19, se describen los radios de curvatura aplicables a las tuberías de polietileno y esquematizados en la Figura 1.

Tabla 19: Radios de curvatura aplicables a tuberías de polietileno

	PE40	PE80	PE100	
PN	4.0	20 x DN	30 x DN	50 x DN
	6.0	20 x DN	20 x DN	30 x DN
	10.0	20 x DN	20 x DN	20 x DN
	16.0	---	20 x DN	20 x DN
	20.0	---	20 x DN	20 x DN
	25.0	---	20 x DN	20 x DN

Figura 1: Esquema del radio de curvatura en tuberías de polietileno



Fuente: Manual técnico de tuberías plásticas asociación española de tuberías plásticas ASETUB, pág. 72

En la Tabla 20, se presentan los radios de curvatura para tuberías Extrucol:

Tabla 20: Radios mínimos de curvatura tuberías PE100/PE100RC (m).

PE 100 – PE 100RC						
DN	RDE 41 PN 4	RDE 26 PN 6	RDE 17 PN 10	RDE 11 PN 16	RDE 9 PN 20	RDE 7.4 PN 25
40	2	1.2	0.8	0.8	0.8	0.8
50	2.5	1.5	1	1	1	1
63	3.15	1.89	1.26	1.26	1.26	1.26
75	3.75	2.25	1.5	1.5	1.5	1.5
90	4.5	2.7	1.8	1.8	1.8	1.8
110	5.5	3.3	2.2	2.2	2.2	2.2
160	8	4.8	3.2	3.2	3.2	3.2
200	10	6	4	4	4	4
250	12.5	7.5	5	5	5	5
315	15.75	9.45	6.3	6.3	6.3	6.3
355	17.75	10.65	7.1	7.1	7.1	7.1
400	20	12	8	8	8	8
450	22.5	13.5	9	9	9	9
500	25	15	10	10	10	10
560	28	16.8	11.2	11.2	11.2	11.2
630	31.5	18.9	12.6	12.6	12.6	12.6
710	35.5	21.3	14.2	14.2	14.2	14.2
800	40	24	16	16	16	16
900	45	27	18	18	18	18
1000	50	30	20	20	20	20
1200	60	36	24	24	24	24

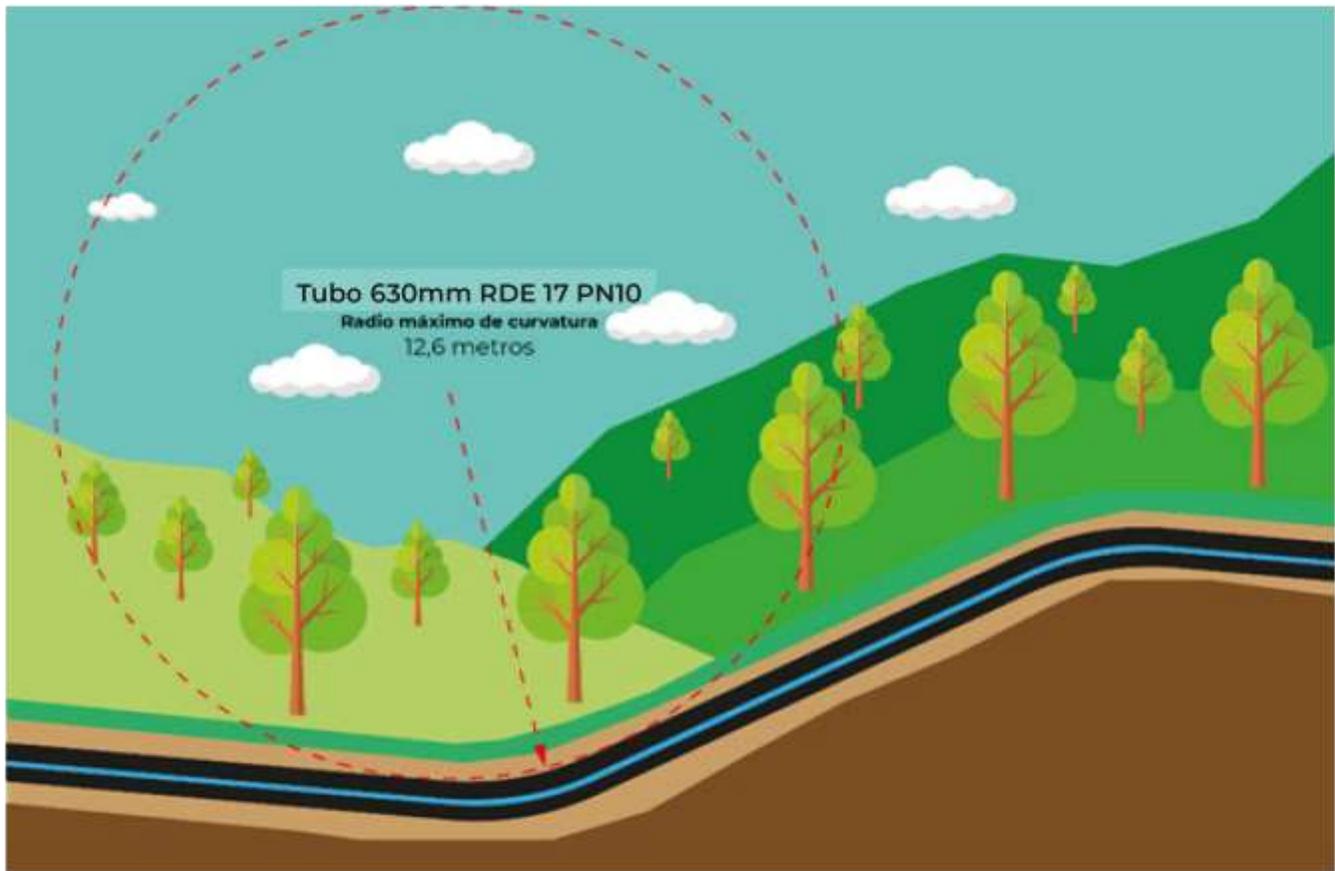


Figura 2: Ejemplo de aplicación de radios de curvatura en perfil

1.9. Pérdidas de carga por fricción:

1.9.1. Pérdidas de carga en tuberías

La fricción entre el fluido y las paredes de la tubería es la principal causa de pérdida de energía en tuberías, como se describió anteriormente propiedades del PEAD como la baja rugosidad y alta resistencia química, lo hacen altamente eficiente en términos de transporte de fluidos.

Las Tablas 21 a 27 recopilan los cálculos de las pérdidas unitarias por fricción para diferentes diámetros y RDE.

Tabla 21: Pérdidas por metro en tubo PE100/PE100RC RDE 26 PN 6

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C (Hazen Williams)		150		150		150		150		150	
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)
50	46.2	0.838	0.0064	1.68	0.0229	2.515	0.0486	3.353	0.0828	4.191	0.1252
63	58.2	1.330	0.0049	2.66	0.0175	3.991	0.0372	5.321	0.0633	6.651	0.0957
75	69.45	1.894	0.0040	3.79	0.0143	5.682	0.0302	7.576	0.0515	9.471	0.0779
90	83.3	2.725	0.0032	5.45	0.0115	8.175	0.0245	10.900	0.0417	13.625	0.0630
110	101.9	4.078	0.0025	8.16	0.0091	12.233	0.0193	16.311	0.0329	20.388	0.0498
160	148.1	8.613	0.0016	17.23	0.0059	25.840	0.0125	34.453	0.0213	43.067	0.0322
200	185.2	13.469	0.0013	26.94	0.0045	40.408	0.0096	53.877	0.0164	67.346	0.0248
225	208.5	17.072	0.0011	34.14	0.0040	51.215	0.0084	68.286	0.0143	85.358	0.0216
250	231.55	21.055	0.0010	42.11	0.0035	63.164	0.0074	84.219	0.0126	105.274	0.0191
280	259.45	26.434	0.0009	52.87	0.0031	79.303	0.0065	105.737	0.0111	132.172	0.0167
315	291.75	33.426	0.0007	66.85	0.0027	100.278	0.0057	133.703	0.0097	167.129	0.0146
355	328.9	42.480	0.0006	84.96	0.0023	127.441	0.0049	169.922	0.0084	212.402	0.0127
400	370.6	53.935	0.0006	107.87	0.0020	161.805	0.0043	215.741	0.0073	269.676	0.0111
450	416.95	68.270	0.0005	136.54	0.0018	204.810	0.0037	273.079	0.0064	341.349	0.0096
500	463.3	84.292	0.0004	168.58	0.0016	252.876	0.0033	337.167	0.0056	421.459	0.0085
560	518.9	105.737	0.0004	211.47	0.0014	317.212	0.0029	422.949	0.0049	528.687	0.0075
630	583.7	133.795	0.0003	267.59	0.0012	401.385	0.0025	535.180	0.0043	668.976	0.0065
710	658.8	170.439	0.0003	340.88	0.0010	511.316	0.0022	681.755	0.0037	852.193	0.0057
800	742.4	216.440	0.0002	432.88	0.0009	649.319	0.0019	865.759	0.0033	1082.198	0.0049
900	835.25	273.964	0.0002	547.928	0.0008	821.893	0.0017	1095.857	0.0028	1369.821	0.0043
1000	928.1	338.260	0.0002	676.520	0.0007	1014.780	0.0015	1353.039	0.0025	1691.299	0.0038
1200	1113.6	486.989	0.0002	973.978	0.0006	1460.968	0.0012	1947.957	0.0020	2434.946	0.0031

Tabla 22: Pérdidas por metro en tubo PE100/PE100RC RDE 21 PN 8

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C (Hazen Williams)		150		150		150		150		150	
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)								
40	36.20	0.51	0.0084	1.03	0.0305	1.54	0.0646	2.06	0.1101	2.57	0.1664
50	45.40	0.81	0.0065	1.62	0.0234	2.43	0.0496	3.24	0.0846	4.05	0.1278
63	57.20	1.28	0.0050	2.57	0.0179	3.85	0.0379	5.14	0.0646	6.42	0.0976
75	68.05	1.82	0.0040	3.64	0.0146	5.46	0.0310	7.27	0.0527	9.09	0.0797
90	81.70	2.62	0.0033	5.24	0.0118	7.86	0.0250	10.48	0.0426	13.11	0.0644
110	99.70	3.90	0.0026	7.81	0.0094	11.71	0.0198	15.61	0.0338	19.52	0.0511
160	145.10	8.27	0.0017	16.54	0.0060	24.80	0.0128	33.07	0.0218	41.34	0.0330
200	181.40	12.92	0.0013	25.84	0.0047	38.77	0.0099	51.69	0.0168	64.61	0.0254
225	204.10	16.36	0.0011	32.72	0.0041	49.08	0.0086	65.43	0.0147	81.79	0.0222
250	226.95	20.23	0.0010	40.45	0.0036	60.68	0.0076	80.91	0.0129	101.13	0.0196
280	254.05	25.35	0.0009	50.69	0.0031	76.04	0.0067	101.38	0.0114	126.73	0.0172
315	285.95	32.11	0.0008	64.22	0.0027	96.33	0.0058	128.44	0.0099	160.55	0.0150
355	322.30	40.79	0.0007	81.59	0.0024	122.38	0.0050	163.17	0.0086	203.96	0.0130
400	363.00	51.75	0.0006	103.49	0.0021	155.24	0.0044	206.98	0.0075	258.73	0.0113
450	408.35	65.48	0.0005	130.97	0.0018	196.45	0.0038	261.93	0.0065	327.41	0.0099
500	453.70	80.83	0.0004	161.67	0.0016	242.50	0.0034	323.34	0.0058	404.17	0.0087
560	508.30	101.46	0.0004	202.92	0.0014	304.38	0.0030	405.85	0.0051	507.31	0.0076
630	571.90	128.44	0.0003	256.88	0.0012	385.32	0.0026	513.76	0.0044	642.20	0.0067
710	645.40	163.58	0.0003	327.15	0.0011	490.73	0.0022	654.30	0.0038	817.88	0.0058
800	727.40	207.78	0.0003	415.56	0.0009	623.35	0.0020	831.13	0.0033	1038.91	0.0050

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C (Hazen Williams)		150		150		150		150		150	
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)								
900	818.25	262.93	0.00022	525.85	0.0008	788.78	0.0017	1051.70	0.0029	1314.628	0.0044
1000	909.1	324.55	0.00020	649.10	0.0007	973.66	0.0015	1298.21	0.0026	1622.760	0.0039
1200	1091	467.42	0.00016	934.85	0.0006	1402.27	0.0012	1869.69	0.0021	2337.117	0.0031

Tabla 23: Pérdidas por metro en tubería PE100/ PE100RC RDE 17 PN 10

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C (Hazen Williams)		150		150		150		150		150	
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)								
32	28.15	0.3112	0.0113	0.6224	0.0409	0.9336	0.0867	1.2447	0.1476	1.5559	0.2232
40	35.4	0.4921	0.0087	0.9842	0.0313	1.4763	0.0663	1.9685	0.1130	2.4606	0.1708
50	44.2	0.7672	0.0067	1.5344	0.0242	2.3016	0.0512	3.0688	0.0872	3.8360	0.1319
63	55.6	1.2140	0.0051	2.4280	0.0185	3.6419	0.0392	4.8559	0.0668	6.0699	0.1009
75	66.25	1.7236	0.0042	3.4472	0.0151	5.1708	0.0319	6.8943	0.0544	8.6179	0.0823
90	79.5	2.4820	0.0034	4.9639	0.0122	7.4459	0.0258	9.9278	0.0440	12.4098	0.0665
110	97.1	3.7025	0.0027	7.4051	0.0097	11.1076	0.0205	14.8101	0.0348	18.5127	0.0527
160	141.5	7.8627	0.0017	15.7255	0.0062	23.5882	0.0132	31.4510	0.0225	39.3137	0.0340
200	176.8	12.2751	0.0013	24.5502	0.0048	36.8253	0.0102	49.1004	0.0173	61.3756	0.0262
225	198.9	15.5357	0.0012	31.0714	0.0042	46.6071	0.0089	62.1427	0.0151	77.6784	0.0228
250	221.15	19.2059	0.0010	38.4118	0.0037	57.6177	0.0078	76.8236	0.0133	96.0295	0.0202
280	247.65	24.0845	0.0009	48.1690	0.0032	72.2535	0.0069	96.3380	0.0117	120.4225	0.0177
315	278.55	30.4696	0.0008	60.9393	0.0028	91.4089	0.0060	121.8785	0.0102	152.3482	0.0154
355	313.9	38.6940	0.0007	77.3880	0.0025	116.0820	0.0052	154.7760	0.0089	193.4700	0.0134
400	353.8	49.1560	0.0006	98.3120	0.0021	147.4680	0.0045	196.6240	0.0077	245.7800	0.0117
450	397.95	62.1896	0.0005	124.3792	0.0019	186.5689	0.0039	248.7585	0.0067	310.9481	0.0102
500	442.1	76.7542	0.0005	153.5083	0.0016	230.2625	0.0035	307.0166	0.0060	383.7708	0.0090
560	495.3	96.3380	0.0004	192.6760	0.0014	289.0140	0.0031	385.3519	0.0052	481.6899	0.0079
630	557.1	121.8785	0.0003	243.7571	0.0013	365.6356	0.0027	487.5141	0.0045	609.3927	0.0069
710	629.00	155.3682	0.0003	310.7364	0.0011	466.1047	0.0023	621.4729	0.0039	776.8411	0.0060
800	708.8	197.2915	0.0003	394.5829	0.0010	591.8744	0.0020	789.1659	0.0034	986.4574	0.0052
900	797.45	249.7283	0.0002	499.4567	0.0008	749.1850	0.0018	998.9134	0.0030	1248.6417	0.0045
1000	885.9	308.1983	0.0002	616.3967	0.0007	924.5950	0.0016	1232.7934	0.0026	1540.9917	0.0040
1200	1069.6	449.2661	0.0002	898.5323	0.0006	1347.7984	0.0012	1797.0646	0.0021	2246.3307	0.0032

Tabla 24: Pérdidas por metro en tubería PE100/ PE100RC RDE 13.6 PN 12.5

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C (Hazen Williams)		150		150		150		150		150	
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)								
32	27.35	0.2937	0.0117	0.5875	0.0423	0.8812	0.0896	1.1750	0.1527	1.4687	0.2308
40	34.2	0.4593	0.0090	0.9186	0.0326	1.3780	0.0691	1.8373	0.1176	2.2966	0.1779
50	42.8	0.7194	0.0069	1.4387	0.0251	2.1581	0.0532	2.8775	0.0906	3.5968	0.1369
63	53.8	1.1366	0.0053	2.2733	0.0192	3.4099	0.0407	4.5466	0.0694	5.6832	0.1049
75	64.05	1.6110	0.0043	3.2220	0.0157	4.8330	0.0332	6.4441	0.0566	8.0551	0.0856
90	76.9	2.3223	0.0035	4.6445	0.0127	6.9668	0.0268	9.2891	0.0457	11.6114	0.0691
110	94.1	3.4773	0.0028	6.9546	0.0100	10.4319	0.0212	13.9091	0.0361	17.3864	0.0546
160	136.9	7.3598	0.0018	14.7197	0.0065	22.0795	0.0137	29.4393	0.0233	36.7992	0.0353

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C (Hazen Williams)		150		150		150		150		150	
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)
200	171.2	11.5098	0.0014	23.0196	0.0050	34.5295	0.0106	46.0393	0.0180	57.5491	0.0272
225	192.5	14.5520	0.0012	29.1040	0.0043	43.6560	0.0092	58.2080	0.0157	72.7599	0.0237
250	213.95	17.9757	0.0011	35.9514	0.0038	53.9271	0.0081	71.9027	0.0139	89.8784	0.0210
280	239.65	22.5536	0.0009	45.1072	0.0034	67.6608	0.0071	90.2144	0.0122	112.7680	0.0184
315	269.55	28.5354	0.0008	57.0650	0.0029	85.5974	0.0062	114.1299	0.0105	142.6624	0.0159
355	303.9	36.2679	0.0007	72.5358	0.0026	108.8037	0.0054	145.0716	0.0092	181.3395	0.0139
400	342.4	46.0393	0.0006	92.0785	0.0022	138.1178	0.0047	184.1571	0.0080	230.1963	0.0121
450	385.15	58.2533	0.0005	116.5066	0.0019	174.7600	0.0041	233.0133	0.0070	291.2666	0.0106
500	427.9	71.9027	0.0005	143.8055	0.0017	215.7082	0.0036	287.6110	0.0062	359.5137	0.0093
560	479.3	90.2144	0.0004	180.4288	0.0015	270.6431	0.0032	360.8575	0.0054	451.0719	0.0082
630	539.3	114.2146	0.0004	228.4293	0.0013	342.6439	0.0028	456.8585	0.0047	571.0732	0.0071
710	608.8	145.5493	0.0003	291.0986	0.0011	436.6480	0.0024	582.1973	0.0041	727.7466	0.0062
800	686	184.8030	0.0003	369.6061	0.0010	554.4091	0.0021	739.2122	0.0036	924.0152	0.0054
900	771.65	233.8307	0.0002	467.6615	0.0009	701.4922	0.0018	935.3230	0.0031	1169.1537	0.0047
1000	859.5	290.1033	0.0002	580.2066	0.0008	870.3099	0.0016	1160.4132	0.0027	1450.5165	0.0041
1200	1029	415.8069	0.0002	831.6137	0.0006	1247.4206	0.0013	1663.2274	0.0022	2079.0343	0.0034

Tabla 25: Pérdidas por metro en tubería PE100/ PE100RC RDE 11 PN 16

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C (Hazen Williams)		150		150		150		150		150	
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)
20	16.15	0.1024	0.0217	0.2048	0.0782	0.3073	0.1656	0.4097	0.2822	0.5121	0.4266
25	20.55	0.1658	0.0163	0.3317	0.0590	0.4975	0.1251	0.6634	0.2131	0.8292	0.3221
32	26.15	0.2685	0.0123	0.5371	0.0446	0.8056	0.0944	1.0741	0.1609	1.3427	0.2432
40	32.8	0.4225	0.0095	0.8450	0.0342	1.2674	0.0725	1.6899	0.1235	2.1124	0.1867
50	41	0.6601	0.0073	1.3203	0.0264	1.9804	0.0559	2.6405	0.0952	3.3006	0.1440
63	51.6	1.0456	0.0056	2.0912	0.0202	3.1368	0.0427	4.1823	0.0728	5.2279	0.1101
75	61.65	1.4925	0.0045	2.9851	0.0164	4.4776	0.0347	5.9702	0.0592	7.4627	0.0895
90	73.9	2.1446	0.0037	4.2892	0.0133	6.4339	0.0281	8.5785	0.0479	10.7231	0.0724
110	90.3	3.2021	0.0029	6.4042	0.0105	9.6063	0.0223	12.8084	0.0379	16.0106	0.0573
160	131.3	6.7700	0.0019	13.5401	0.0068	20.3101	0.0144	27.0801	0.0245	33.8501	0.0371
200	164.2	10.5878	0.0014	21.1757	0.0052	31.7635	0.0111	42.3513	0.0189	52.9392	0.0286
225	184.7	13.3966	0.0013	26.7932	0.0046	40.1898	0.0097	53.5864	0.0165	66.9830	0.0249
250	205.35	16.5596	0.0011	33.1192	0.0040	49.6789	0.0085	66.2385	0.0146	82.7981	0.0220
280	230.05	20.7829	0.0010	41.5657	0.0035	62.3486	0.0075	83.1315	0.0127	103.9143	0.0193
315	258.75	26.2919	0.0009	52.5838	0.0031	78.8756	0.0065	105.1675	0.0111	131.4594	0.0168
355	291.7	33.4144	0.0007	66.8288	0.0027	100.2432	0.0057	133.6576	0.0097	167.0720	0.0146
400	328.6	42.4029	0.0006	84.8059	0.0023	127.2088	0.0049	169.6118	0.0084	212.0147	0.0127
450	369.55	53.6299	0.0006	107.2599	0.0020	160.8898	0.0043	214.5198	0.0073	268.1497	0.0111
500	410.7	66.2385	0.0005	132.4769	0.0018	198.7154	0.0038	264.9539	0.0065	331.1924	0.0098
560	460.1	83.1315	0.0004	166.2629	0.0016	249.3944	0.0033	332.5258	0.0057	415.6573	0.0086
630	517.5	105.1675	0.0004	210.3350	0.0014	315.5025	0.0029	420.6701	0.0050	525.8376	0.0075
710	584.2	134.0244	0.0003	268.0489	0.0012	402.0733	0.0025	536.0978	0.0043	670.1222	0.0065
800	658.4	170.2317	0.0003	340.4635	0.0010	510.6952	0.0022	680.9270	0.0037	851.1587	0.0057
900	740.65	215.4205	0.0003	430.8409	0.0009	646.2614	0.0019	861.6819	0.0033	1077.1023	0.0049
1000	824.1	266.6986	0.0002	533.3972	0.0008	800.0958	0.0017	1066.7944	0.0029	1333.4930	0.0044

Tabla 26: Pérdidas por metro en tubería PE100/PE100RC RDE 9 PN 20

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C		150		150		150		150		150	
(Hazen Williams)											
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)
20	15.55	0.0950	0.0226	0.1899	0.0817	0.2849	0.1731	0.3798	0.2949	0.4748	0.4458
25	19.15	0.1440	0.0178	0.2880	0.0641	0.4320	0.1358	0.5760	0.2313	0.7201	0.3497
32	24.95	0.2445	0.0130	0.4889	0.0471	0.7334	0.0997	0.9778	0.1699	1.2223	0.2569
40	31.2	0.3823	0.0100	0.7645	0.0363	1.1468	0.0769	1.5291	0.1309	1.9113	0.1979
50	39	0.5973	0.0077	1.1946	0.0280	1.7919	0.0593	2.3892	0.1009	2.9865	0.1526
63	49	0.9429	0.0059	1.8857	0.0214	2.8286	0.0454	3.7715	0.0774	4.7144	0.1169
75	58.45	1.3416	0.0048	2.6832	0.0174	4.0249	0.0370	5.3665	0.0630	6.7081	0.0952
90	70.1	1.9297	0.0039	3.8595	0.0141	5.7892	0.0299	7.7189	0.0510	9.6487	0.0770
110	85.7	2.8842	0.0031	5.7684	0.0112	8.6525	0.0237	11.5367	0.0403	14.4209	0.0609
160	124.7	6.1065	0.0020	12.2130	0.0072	18.3196	0.0153	24.4261	0.0260	30.5326	0.0394
200	155.8	9.5323	0.0015	19.0645	0.0056	28.5968	0.0118	38.1290	0.0201	47.6613	0.0304
225	175.3	12.0677	0.0013	24.1354	0.0048	36.2031	0.0103	48.2708	0.0175	60.3385	0.0265
250	194.95	14.9248	0.0012	29.8495	0.0043	44.7743	0.0091	59.6990	0.0155	74.6238	0.0234
280	218.25	18.7055	0.0010	37.4110	0.0038	56.1165	0.0080	74.8220	0.0136	93.5275	0.0205
315	245.55	23.6778	0.0009	47.3555	0.0033	71.0333	0.0069	94.7111	0.0118	118.3888	0.0179
355	276.7	30.0662	0.0008	60.1325	0.0028	90.1987	0.0060	120.2650	0.0103	150.3312	0.0155
400	311.8	38.1780	0.0007	76.3560	0.0025	114.5340	0.0052	152.7120	0.0089	190.8900	0.0135
450	350.75	48.3121	0.0006	96.6243	0.0022	144.9364	0.0046	193.2486	0.0078	241.5607	0.0118
500	389.9	59.6990	0.0005	119.3981	0.0019	179.0971	0.0040	238.7962	0.0069	298.4952	0.0104
560	436.7	74.8906	0.0005	149.7812	0.0017	224.6718	0.0035	299.5624	0.0060	374.4530	0.0091

Tabla 27: Pérdidas por metro en tubería PE100/PE100RC RDE 7.4 PN 25

Velocidad (m/s)		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
C		150		150		150		150		150	
(Hazen Williams)											
DN (mm)	Di (mm)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)	Q (l/s)	Hf (m/m)
16	11.55	0.0524	0.0320	0.1048	0.1156	0.1572	0.2449	0.2095	0.4171	0.2619	0.6306
20	14.15	0.0786	0.0253	0.1573	0.0912	0.2359	0.1932	0.3145	0.3292	0.3931	0.4977
25	18.15	0.1294	0.0189	0.2587	0.0682	0.3881	0.1446	0.5175	0.2463	0.6468	0.3723
32	23.35	0.2141	0.0141	0.4282	0.0509	0.6423	0.1078	0.8564	0.1836	1.0705	0.2775
40	29.2	0.3348	0.0109	0.6697	0.0392	1.0045	0.0830	1.3393	0.1415	1.6742	0.2138
63	46	0.8310	0.0064	1.6619	0.0231	2.4929	0.0489	3.3238	0.0833	4.1548	0.1259
90	65.7	1.6951	0.0042	3.3902	0.0152	5.0853	0.0323	6.7803	0.0550	8.4754	0.0831
110	80.1	2.5196	0.0033	5.0391	0.0121	7.5587	0.0256	10.0783	0.0436	12.5978	0.0659
160	116.7	5.3481	0.0022	10.6963	0.0078	16.0444	0.0165	21.3926	0.0281	26.7407	0.0425
200	145.8	8.3479	0.0017	16.6958	0.0060	25.0436	0.0127	33.3915	0.0217	41.7394	0.0328
250	182.35	13.0579	0.0013	26.1157	0.0046	39.1736	0.0098	52.2315	0.0167	65.2894	0.0253
315	229.75	20.7287	0.0010	41.4574	0.0035	62.1861	0.0075	82.9148	0.0128	103.6435	0.0193
355	259.1	26.3631	0.0009	52.7261	0.0031	79.0892	0.0065	105.4522	0.0111	131.8153	0.0168

1.9.2. Pérdidas localizadas:

Además de las pérdidas por fricción en la tubería, los accesorios generan turbulencias en el flujo que disminuyen la energía disponible, este efecto se conoce como pérdida localizada y se produce en cada accesorio de la red; la ecuación 5 permite el cálculo de la magnitud de este fenómeno.

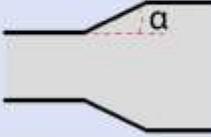
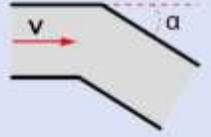
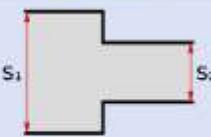
$$\Delta H_l = \frac{k \cdot v^2}{2g} \quad (5)$$

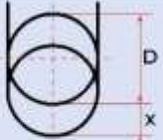
Donde:

k = Coeficiente de pérdidas localizadas
v = Velocidad del fluido (m/s)
g = Gravedad (m/s²)

Los coeficientes de pérdidas localizadas en cada tipo de accesorio se indican en la Tabla 28.

Tabla 28: Coeficientes *k* para el cálculo de pérdidas localizadas

		Coeficiente <i>k</i>						
Tipo de accesorio	Ensanchamiento gradual	α	5°	10°	20°	30°	40°	90°
		<i>k</i>	0,16	0,40	0,85	1,15	1,15	1,00
	Codos circulares	α	90°			45°		
		<i>k</i>	0,10			0,05		
	Codos segmentados	α	90°	45°		22,5°		
		<i>k</i>	1,00	0,40		0,20		
	Disminución de sección	s_2/s_1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	
	<i>k</i>	0,5	0,43	0,32	0,25	0,14		
Otras	Entrada a depósito				<i>k</i> = 1,0			
	Salida de depósito				<i>k</i> = 0,5			

Tipo de accesorio	Disminución de sección	x/D	¼	½	¾	1/1			
		<i>k</i>		24,00	6,00	1,00	0,12		
	Disminución de sección	x/D	0°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
	<i>k</i>	0,30	1,5	1,35	10	30	100	500	

Pérdidas totales

Las pérdidas de presión serán entonces la sumatoria de las pérdidas continuas por fricción (ΔH_f) y las localizadas en los accesorios (ΔH_l), y se calculan

$$\Delta H = \Delta H_f + \Delta H_l \quad (6)$$

2. Almacenamiento e instalación tuberías plásticas de polietileno

2.1 Almacenamiento:

2.1.1 Tuberías de gas

- Las tuberías de Polietileno (PE80 – PE 100) y las de Poliamida (PAU) no deben quedar expuestas a la intemperie por periodos prolongados (Mayores a 30 días), ya que la luz directa del sol y las temperaturas mayores a 38°C pueden alterar las propiedades mecánicas de las mismas. Cuando por alguna circunstancia las tuberías de Polietileno o las de Poliamida, permanezcan expuestas por un tiempo mayor al recomendado, se recomienda efectuarse ensayos de laboratorio con el fin de verificar cumplimiento de estándares de fabricación. Ejm: NTC 1746, ISO 4437, PPI-TR3, NTC 6105-2, ISO 16486-2, ASTM F2785.
- Las tuberías deben almacenarse sobre superficies niveladas y regulares sin presencia de elementos que pueden rallar su superficie o causar perforaciones; una superficie protegida con listones de madera es considerada una buena práctica de almacenamiento. En ningún caso la altura de las camas de tubería almacenada debe superar los 1,5 metros.

2.1.2 Tuberías de acueducto y otros fluidos

- Las tuberías de Polietileno (PE 40-PE 80-PE 100-PE100RC) fabricadas con materias primas compuestas, es decir que sean pigmentadas desde fabricante de materia prima, pueden estar expuestas a la intemperie por periodos prolongados de tiempo (Hasta por 10 años, con garantía de fabricante de hasta 1 año); estas tuberías deben almacenarse sobre superficies niveladas y regulares sin presencia de elementos que puedan rallar su superficie o causar perforaciones; una superficie protegida con listones de madera es considerada una buena práctica de almacenamiento. En ningún caso la altura de las camas de tubería almacenada debe superar los 1,5 metros.
- Nota: Durante el proceso de descargue de las tuberías de Polietileno, las mismas no podrán ser arrojadas o rodadas desde la plataforma del vehículo que las transporta.

2.2 Instalación

2.2.1 Ancho de zanja

El ancho de zanja en cualquier punto del alineamiento del tendido de la tubería deberá asegurar el espacio suficiente para cada uno de los siguientes eventos:

- Realizar uniones con tubería y accesorios dentro de la zanja si es necesario.
- Realizar correctamente la compactación del material de relleno en cada costado de la tubería; se recomienda tener en cuenta al momento de seleccionar los equipos de compactación.
- Permitir el serpenteo del tubo cuando los efectos de la contracción no se acomodan de otra manera (Aplica para tuberías de conducción de gas).
- Comprobar la estanqueidad de las uniones de termofusión; para tuberías de conducción de fluidos líquidos se recomienda la implementación de la NTC 5560; para tuberías de conducción de gas se deben atender los requisitos exigidos por cada operador del servicio.

Para el caso de tuberías de polietileno unidas por termofusión o electrofusión, se permite realizar la unión por fuera de la zanja, para luego y de forma controlada, bajar la tubería hasta el fondo de la misma; para la implementación de esta práctica, se debe asegurar que haya transcurrido el tiempo total de enfriamiento del proceso de unión utilizado.

Durante la excavación de la zanja, se debe asegurar que los lados de la zanja estén estables en todas las condiciones de trabajo. Las paredes de las zanjas pueden ser inclinadas o estar provistas de soportes apropiados para cumplir con todas las buenas prácticas de ingeniería.

Adicionalmente otros factores que influyen en la determinación del ancho de zanja son los siguientes:

- Seguridad de los trabajadores
- Diámetro externo de la tubería
- Medios de apertura (mecánicos o manual)
- Profundidad de la zanja
- Tipo y condiciones de los suelos

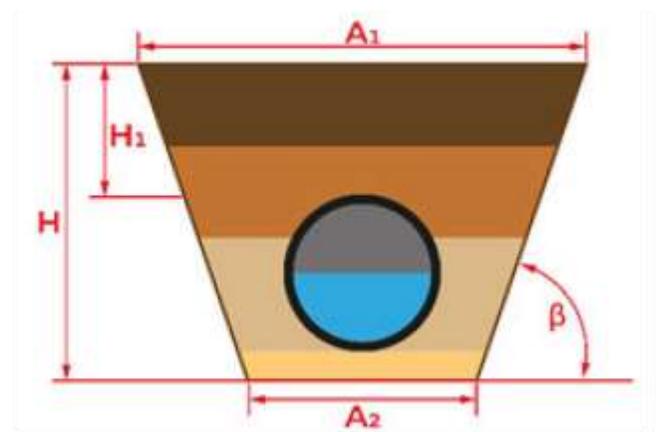
En la Tabla 29 se presentan los anchos de zanja mínimos recomendados en función del diámetro exterior de la tubería

Tabla 29: Anchos de zanja mínimos recomendados.

Diámetro Nominal ØDN (mm)	Ancho mínimo de zanja (en m) (A ₂ = ØDN + x)		
	Zona entibada	Zona sin entibar	
		β > 60°	β ≤ 60°
≤ 225	ØDN + 0,4	ØDN + 0,4	ØDN + 0,4
> 225 · ≤ 355	ØDN + 0,5	ØDN + 0,5	ØDN + 0,4
> 355 · ≤ 710	ØDN + 0,7	ØDN + 0,7	ØDN + 0,4
> 710 · ≤ 1200	ØDN + 0,85	ØDN + 0,85	ØDN + 0,4
> 1200	ØDN + 1,0	ØDN + 1,0	ØDN + 0,4

ØDN: Diámetro externo de la tubería en metros
 β: Ángulo de la pared de la zanja sin entibar medido desde la horizontal
 A₂: Ancho de zanja en la base de la excavación.

Figura 3. Instalación tipo



Fuente: Manual técnico asociación española de tuberías plásticas.

Para anchos de zanja, donde la unión de la tubería se realice por fuera de la zanja, es posible tener menores anchos de zanja a los indicados en la Tabla 29.



2.2.2 Cimentación y relleno

Los tubos de Polietileno deben estar soportados uniforme y continuamente a través de toda su longitud y sobre un material firme y estable. No debe apoyarse puntualmente para cambiar la pendiente de la tubería.

Los materiales para la cimentación o zona de confinamiento de la tubería, deben ser estables, granulados no cohesivos, de forma que pueden ser fácilmente compactados.

Los materiales del relleno inicial (relleno primario inicial + relleno secundario inicial), deben ser colocados en capas o estratos compactados.

El material seleccionado de la excavación, para el relleno final, debe estar libre de basura, material orgánico, rocas o piedras grandes.

El tamaño del material pétreo en contacto con el tubo no debe sobrepasar lo indicado en la Tabla 30 y no podrá ser angular ni con aristas

Tabla 30. Tamaño máximo de partículas en contacto con la tubería.

Diámetro Nominal ØDN (mm)	Tamaño máximo de partículas
≤110	½"
125 a 200	¾"
250 a 400	1"
>400	1 ½"

Nota: Cuando en la fundación de la tubería (fondo de la zanja) se presenten materiales angulares, con aristas o con tamaños superiores a los indicados en la Tabla 30, es una buena práctica de ingeniería el utilizar una cama de arena de río o de peña de al menos 10 cm de alto.

2.2.2.1 Configuración de relleno

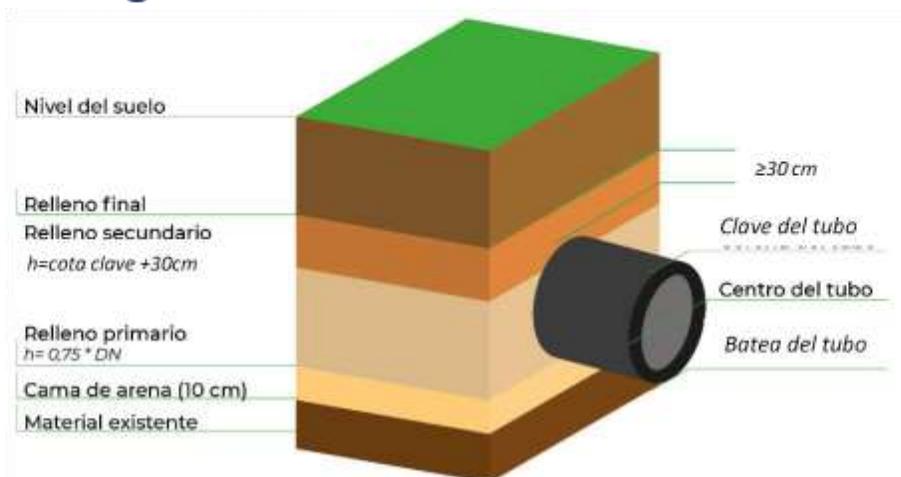


Figura 4. Relleno tipo

El relleno inicial debe ser compactado manualmente y se propone el uso de material granular; las capas de este relleno se describen a continuación:

2.2.2.1.1 Cama o colchón

Contempla el material para nivelar la fundación de la tubería; dispone la superficie del terreno para la colocación de la misma, evitando que en presencia de material pétreo angular o con aristas, se presenten ralladuras o daños en la tubería. Esta capa de material debe ser de un espesor acorde a la siguiente recomendación y generalmente se utiliza arena de peña o de río.

$$e_c = 10 + \frac{DN}{10}$$

ec = Espesor cama de arena (cm)
 DN =Diámetro Nominal tubo (cm)

Tabla 31: Espesores de cama de arena según diámetro nominal.

Diámetro Nominal ØDN (mm)	Espesor de la cama de arena (cm)
63	10.6
75	10.8
90	10.9
110	11.1
160	11.6
200	12.0
225	12.3
250	12.5
280	12.8

Continúa Tabla 31. Espesores de cama de arena según diámetro nominal

Diámetro Nominal ØDN (mm)	Espesor de la cama de arena (cm)
315	13.2
355	13.6
400	14.0
450	14.5
500	15.0
560	15.6
630	16.3
710	17.1
800	18.0
900	19.0
1000	20.0
1200	22.0

2.2.2.1.2 Relleno primario inicial

Esta zona del relleno proporciona el soporte necesario para controlar la deformación lateral de la tubería. Se extiende desde la batea del tubo hasta al menos el 75% del diámetro de la misma o al menos 30 cm sobre la clave del tubo si este va a estar constantemente bajo el nivel freático. El tipo de material pétreo utilizado en esta parte del relleno debe atender lo indicado en la Tabla 30 y debe disponerse en capas compactadas de máximo 10 cm de espesor.

2.2.2.1.3 Relleno secundario inicial

El material de relleno en esta zona, distribuye las cargas a la que está sometida la tubería y separa la tubería de cualquier deformación excesiva generada por la colocación del relleno final; se extiende hasta al menos 30 cm sobre clave de la tubería y debe disponerse en capas compactadas de máximo 15 cm de espesor; el tipo de material pétreo utilizado en esta parte del relleno debe atender lo indicado en la Tabla 30.

Si el nivel freático supera la cota clave de la tubería, el relleno secundario inicial debe ser la continuidad del relleno primario inicial.

Se recomienda que las capas de relleno inicial desde la batea del tubo hasta el 75% del diámetro del mismo, sean de máximo de 10 cm de espesor, desde este punto y hasta al menos 30 cm sobre clave del tubo, el espesor de capa debe ser máximo de 15 cm. Los espesores de capa indicados corresponden a espesores de capa compactados.

2.2.2.1.4 Relleno final

Esta parte del relleno no está en contacto con la tubería; estas capas de material deben ser compactadas hasta alcanzar al menos el 90% de la densidad Proctor estándar o según sea la especificación del proyecto. Una compactación que puede ser tan simple como compactar con pisón, puede ser suficiente para alcanzar el 90% Proctor estándar.

2.3 Profundidades mínimas de instalación:

2.3.1 Acueducto

En Colombia las redes para aplicaciones de acueducto y alcantarillado están reglamentadas por la Resolución 0330 de 2017 y sus modificaciones, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, en ella se establecen las profundidades mínimas de instalación como se indica en las Tablas 32 y 33:

Tabla 32: Profundidades mínimas RAS Acueducto.

SERVIDUMBRE	PROFUNDIDAD A CLAVE DE TUBO (m)	
	ZONA URBANA	ZONA RURAL
Vías peatonales o zonas verdes o agrícolas	0,6	1,00
Vías vehiculares	1,00	1,00

Nota: La profundidad de instalación de los elementos que conformen la Red de distribución no deberá exceder 1,5m, medidos desde la clave del tubo hasta la superficie del terreno. Para realizar instalación de tubos a profundidades mayores se deberá contar con estudio estructural de dicha instalación

Tabla 33: Profundidades mínimas RAS Alcantarillado.

SERVIDUMBRE	PROFUNDIDAD A CLAVE DE TUBO (m)
Vías peatonales o zonas verdes	0,75
Vías vehiculares	1,2

Nota: La cota clave del tubo de alcantarillado siempre deberá estar por debajo de la cota batea del tubo de acueducto.

2.3.2 Industria y Minería

Para aplicaciones como Minería, industria o aguas para propósitos generales que no requieran cumplir los lineamientos de RAS 2017, una buena referencia se encuentra en el numeral 6.4.2 standard ASTM D2774 y se resume en la tabla 34:

Tabla 34: Profundidades mínimas ASTM D2774

PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN	TIPO DE CARGA
Entre 0,31 m a 0,46 m a cota clave de la Tubería	Zona donde se garantice no habrá flujo vehicular
0,61 m a cota clave de la Tubería	Zona expuesta a cargas vehiculares

2.3.3 Redes contra incendio

El estándar NFPA 24 es internacionalmente reconocido como una de las principales referencias en cuanto a instalación de redes contra incendio, dicha norma en su capítulo 10 titulado aplicaciones subterráneas, hace las siguientes aclaraciones sobre la instalación de tuberías HDPE*:

- La profundidad de la tubería se medirá desde la parte superior de la tubería hasta la pendiente final / rasante
- La profundidad del relleno en servicios privados de redes contra incendios y sus accesorios debe estar de acuerdo con el siguiente apartado, para proteger contra daños mecánicos.
- Las tuberías principales de servicio contra incendios privadas instaladas debajo de vías o caminos deben enterrarse a una profundidad mínima de 3 pies (900 mm)
- Las aceras, pasarelas y otros pasillos peatonales pavimentados o en concretos no deberán cumplir con lo mencionado en el apartado anterior.

Fuente: Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances, capítulo 10. Underground requirements / pág. 24-16.

Para el caso de tuberías HDPE en redes contra incendios instaladas de acuerdo la NFPA 24, la Tabla 35 indica recomendación de profundidad de instalación:

Tabla 35: Profundidad de instalación sugerida en RCI

Tipo de carga	Profundidad de instalación*
Zona Peatonal	0,6m Según ASTM D 2774
<i>*ASTM D2774: Standard practice for underground installation of thermoplastic pressure piping.</i>	
Zona con tráfico (vías o caminos)	0,9m

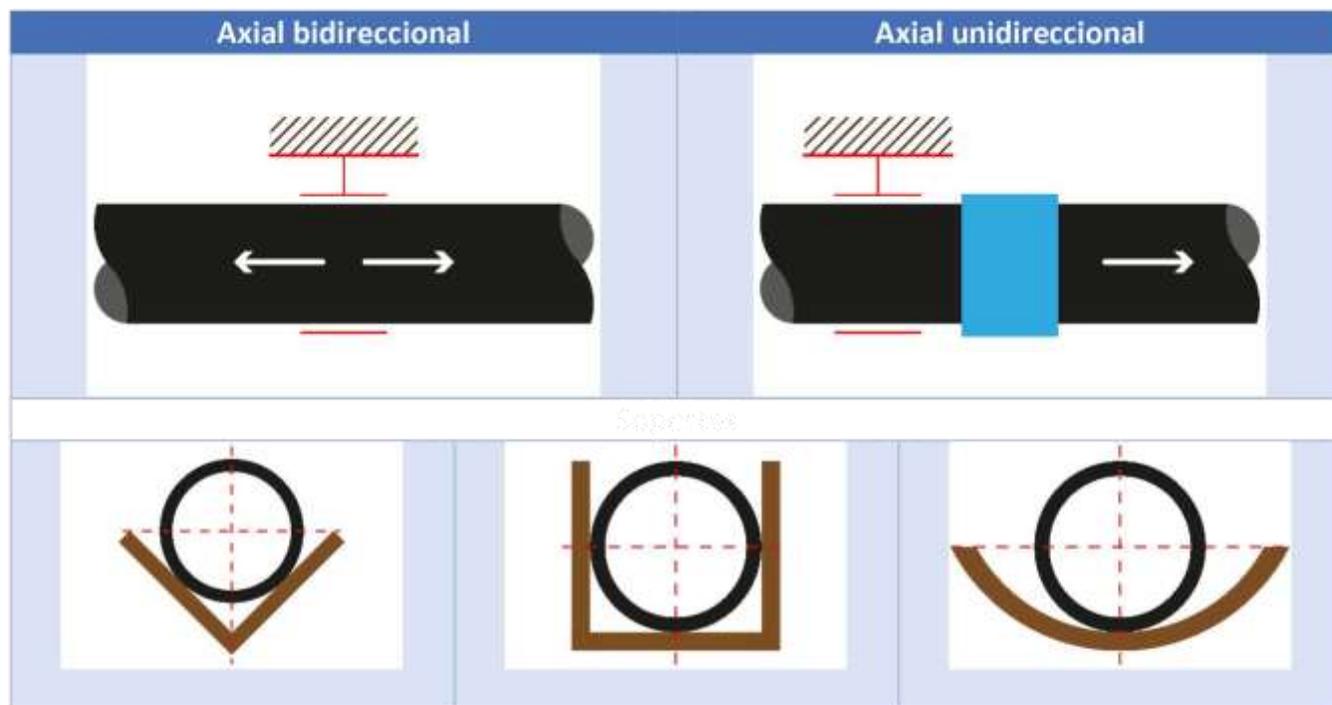
2.4 Apoyos en tramos rectos

En razón a la posibilidad de instalar tubos de Polietileno a la vista, se recomienda el uso de apoyos, soportes o abrazaderas, con el propósito de evitar desplazamientos de las tuberías. Los tubos de Polietileno no deben someterse a esfuerzos de tensión longitudinal para ponerse en forma rectilínea.

Correas o abrazaderas de material plástico o metálico pueden ser utilizadas para sujetar los tubos instalados a la vista; los elementos de sujeción se alinean y separan apropiadamente y su superficie de contacto con la tubería debe ser suave y lisa (se recomienda el uso de láminas o tiras de Neopreno, en la superficie de contacto entre el metal y la Tubería de PE). Los soportes con cantos afilados deben evitarse.

Las válvulas en particular y toda clase de transiciones bridadas o mecánicas, deben ser firmemente ancladas con el fin de evitar cualquier movimiento causado por su manejo. Los soportes recomendados se indican a continuación.

Figura 5: Soporte axial bidireccional y unidireccional



Fuente: Tuberías de Polietileno, Manual Técnico ASETUB 2008; Página: 296

Separaciones entre apoyos se indican en la Tabla 36:

Tabla 36: Distancias entre apoyos para tuberías de polietileno (m)

DN Tubo	PE 40			PE 80			PE 100		
	PN4 (bar)	PN6 (bar)	PN10 (bar)	PN4 (bar)	PN6 (bar)	PN16 (bar)	PN4 (bar)	PN6 (bar)	PN16 (bar)
20	---	---	0.3	---	0.3	0.4	---	---	0.3
25	---	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	---	0.4	0.4
32	---	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	---	0.5	0.5
40	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
63	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9
75	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0
90	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	---	1.1	1.2	1.2
110	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	---	1.3	1.4	1.5
125	---	---	---	1.6	1.6	---	1.4	1.6	1.6
140	---	---	---	1.7	1.8	---	1.5	1.7	1.8
160	---	---	---	1.9	2.0	---	1.7	1.9	2.0
180	---	---	---	2.1	2.2	---	1.8	2.1	2.2
200	---	---	---	2.2	2.4	---	2.0	2.2	2.4
225	---	---	---	2.4	2.6	---	2.1	2.4	2.6
250	---	---	---	2.6	2.8	---	2.3	2.6	2.8

Continúa Tabla 36. Distancias entre apoyos para tuberías de polietileno (m)

DN Tubo	PE 40			PE 80			PE 100		
	PN4 (BAR)	PN6 (BAR)	PN10 (BAR)	PN4 (BAR)	PN6 (BAR)	PN16 (BAR)	PN4 (BAR)	PN6 (BAR)	PN16 (BAR)
280	---	---	---	2.8	3.1	---	2.4	2.8	3.1
315	---	---	---	3.0	3.4	---	2.6	3.0	3.4
355	---	---	---	3.3	3.6	---	2.8	3.3	3.6
400	---	---	---	3.5	3.9	---	3.0	3.5	3.9
450	---	---	---	3.8	4.2	---	3.3	3.8	4.2
500	---	---	---	4.1	4.5	---	3.5	4.1	4.5
560	---	---	---	4.3	---	---	3.7	4.3	---
630	---	---	---	4.6	---	---	3.9	4.6	---
710	---	---	---	4.9	---	---	4.3	4.9	---
800	---	---	---	5.3	---	---	4.6	5.3	---

Fuente: Tuberías de Polietileno, Manual Técnico ASETUB 2008; Página: 297

Estas separaciones entre apoyos aplican para temperaturas máximas de 20°C; para situaciones de temperaturas mayores, hasta 40 °C, se deberán multiplicar los valores indicados por los siguientes coeficientes de reducción:

- Entre 20 °C y 35 °C, coeficiente 0,9.
- Entre 35 °C y 40 °C, coeficiente 0,85.

Para situaciones de instalación con tubos en posición vertical, la distancia entre apoyos será la indicada en la tabla, multiplicada por 1,3.

En la instalación de las tuberías de PE se evitará la proximidad con otras tuberías o superficies que estén a temperaturas superiores a 60 °C.

2.5 Fuerza de halado segura

En casos de instalación por tecnologías NO DIG (sin zanja), es común que se instalen largas longitudes de tubería mediante procedimientos de halado que someten a la tubería a esfuerzos de tensión; el Plastic Pipe Institute en su Technical Report TR46, titulado "Guía para la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad por procedimiento de perforación horizontal dirigida", recomienda que estos procedimientos se realicen con tuberías de espesores de pared que correspondan a mínimo RDE 17 PE100-PE4710, además establece que en todos los casos no se ejerza sobre la tubería una fuerza tal que produzca deformaciones plásticas.

Se indica ecuación para el cálculo de la tensión de halado permitida (Allowable Tensile Load) aplicable a tubos de Polietileno -fórmula de acuerdo a ASTM F1804-:

$$ATL = f_y * f_t * T_y * \frac{1}{4} * \varnothing^2 \left[\left(\frac{1}{R} \right) - \left(\frac{1}{R^2} \right) \right]$$

Donde:

ATL= Allowable tensile load / Esfuerzo máximo admisible (lb)

f_y = factor de diseño de rendimiento por tracción (seguridad) = 0,4 para PE4710 / PE100

f_t = factor de diseño por tiempo bajo tensión (seguridad) basado en una deformación del 5% = 1,00 para tiempos de hasta 1 hora / 0,95 para tiempos de 12 horas / 0,91 para tiempos hasta 24 horas.

T_y = Resistencia a la tracción = 3500 psi para PE4710 @27°C

\varnothing = Diámetro exterior de la tubería (pulgadas)

R = Relación diámetro-espesor (RDE, SDR) Adimensional

Tabla 37: Fuerza de halado segura según ASTM F1804 (lb) – ft=1

ØDN (mm)	PE100/PE4710 RDE 17	PE100/PE4710 RDE 13.6	PE 100/PE4710 RDE 11
63	1498	1843	2236
75	2123	2612	3169
90	3057	3761	4563
110	4566	5619	6817
160	9662	11888	14423
200	15097	18576	22536
225	19107	23510	28522
250	23589	29025	35213
280	29590	36409	44171
315	37450	46081	55904
355	47565	58527	71004
400	60388	74306	90145
450	76429	94043	114090
500	94356	116103	140853
560	118361	145639	176686
630	149801	184325	223618
710	190261	234110	284016
800	241553	297224	360583
900	305716	376174	456363
1000	377427	464412	563412
1200	543495	668754	-----

3. Guía para el dimensionamiento de elementos de anclajes

3.1 Cálculo de las fuerzas de empuje

Toda tubería sometida a presión hidrostática, se ve afectada por fuerzas de empuje que actúan sobre las paredes de la tubería o los accesorios que conforman la red, como codos, derivaciones, tapones, válvulas, entre otros.

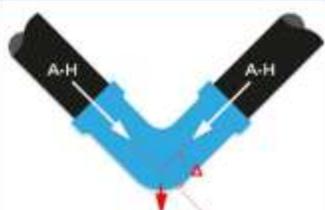
Dichas fuerzas de empuje deben ser controladas bien sea mediante el uso de bloques de anclaje o rigidizando tramos de tubería que permitan transmitir al suelo circundante los empujes producidos; en el caso de las tuberías de polietileno unidas mediante termofusión o electrofusión, las uniones poseen la característica de ser monolíticas y más resistentes a esfuerzos de tensión que la pared de la tubería, por tanto no son vulnerables a que las fuerzas de empuje afecten la integridad de la unión, por esta razón no es necesaria la instalación de bloques de anclaje en uniones y cambios de dirección horizontal.

Las variables que intervienen en el cálculo de las fuerzas de empuje son:

D	Diámetro del tubo (m)
A	Área de la sección transversal del tubo (m ²)
H	Presión de diseño (mca)
Δ	Ángulo de deflexión del accesorio (°)
E	Empuje hidrostático (t)
Er	Empuje resistente (t)
L	Longitud del bloque de anclaje (m)
h_c	Altura del bloque de anclaje (m)
b	Ancho del bloque de anclaje (m)
Y_c	Densidad del concreto (t/m ³)
Q_{adm}	Capacidad admisible del suelo (t/m ²)

La ecuación que se presenta en la Tabla 38, se utiliza para el cálculo del Empuje hidrostático en cambios de dirección vertical

Tabla 38: Ecuación para el cálculo de empuje hidrostático para cambios de

Accesorio	Gráfico	Empuje hidrostático
Codo		$E = 2AH \text{ Sen} \left(\frac{\Delta}{2} \right)$

El empuje hidrostático (E) calculado se contrarresta con la fuerza de empuje resistente (Er), la cual representa la contraposición que genera el anclaje y la reacción del suelo; es una buena práctica de ingeniería que el empuje resistente (Er) sea 10% mayor al empuje hidrostático (E) calculado de acuerdo a la ecuación (8).

$$Er = 1.1 * E \quad (8)$$

Para situaciones de cambios de dirección vertical – hacia arriba o hacia abajo –, se debe considerar la instalación de anclajes, incluso si el método de unión entre Tubo y Accesorio es Termofusión o Electrofundición. El propósito del uso de anclajes en estas situaciones es evitar desplazamientos de las tuberías fuera de la zanja o zona de instalación.

Tabla 39: Ecuaciones de cálculo de empuje resistente E_r .

<p>Cambios de dirección verticales hacia arriba</p>		$E_r = Y_c (h_c L_b)$
<p>Cambios de dirección verticales hacia abajo</p>		$E_r = Q_{adm} L_b$

Fuente: Guía para el cálculo de bloques de anclaje para redes secundarias de acueducto. EPM, 2017

3.1.1 Metodología de diseño

- 1.1 Calcular la fuerza de empuje hidrostático con la ecuación del accesorio correspondiente.
- 1.2 Aplicar factor de seguridad a la fuerza de empuje hidrostático (E) y obtener fuerza la resistente (E_r), tal como se indica en la Ecuación (8).
- 1.3 Identificar el caso de cambio de dirección: Vertical hacia arriba o vertical hacia abajo.
- 1.4 Reemplazar las variables en la ecuación identificada de la fuerza de empuje resistente y despejar las dimensiones del anclaje.
- 1.5 Obtenidas las dimensiones aproximar a valores enteros y calcular volumen del anclaje.

3.2 Parámetros del suelo

En los proyectos donde no se cuente con estudios de suelos completos, los valores presentados en la Tabla 40, pueden ser utilizados como referencia para el cálculo de la fuerza de empuje resistente:

Tabla 40: Parámetros de referencia en distintos tipos de suelo.

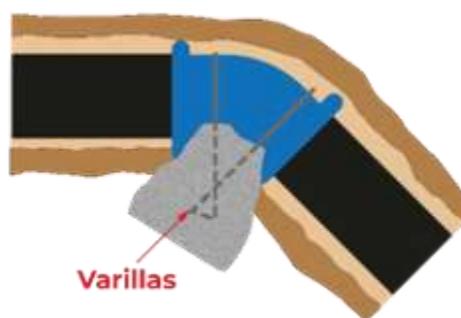
Tipo de suelo	Ángulo de fricción Φ ($^{\circ}$)	Factor de fricción (μ)	Coefficiente de empuje de suelos (k)	Densidad del suelo γ_b (t/m^3)	Capacidad admisible del suelo Q_{adm} (t/m^2)
Roca	35	0,70	1,40	2,70	150
Grava limpia, mezcla de arena y grava y arena gruesa	29 a 31	0,55 a 0,60	1,16	1,70	40
Arena fina y arena media, limo medio a grueso, grava limosa o arcillosa	24 a 29	0,45 a 0,55	1,00	1,45	30
Arena fina limpia, arena limosa o arcillosa fina a media	19 a 24	0,35 a 0,45	0,79	1,60 – 1,90	30
Limo arenoso fino, limo de baja plasticidad	17 a 19	0,30 a 0,35	0,65	1,40	20
Arcilla residual dura o preconsolidada	22 a 26	0,40 a 0,50	0,89	1,70	10
Arcilla dura, semidura y arcilla limosa	17 a 19	0,30 a 0,35	0,65	11,5 – 14,5	10

3.3 Aplicación de anclajes en tuberías PEAD

En proyectos donde se implemente la tecnología del polietileno, se recomienda aplicar las ecuaciones de la Tabla 39 que describen los siguientes escenarios:

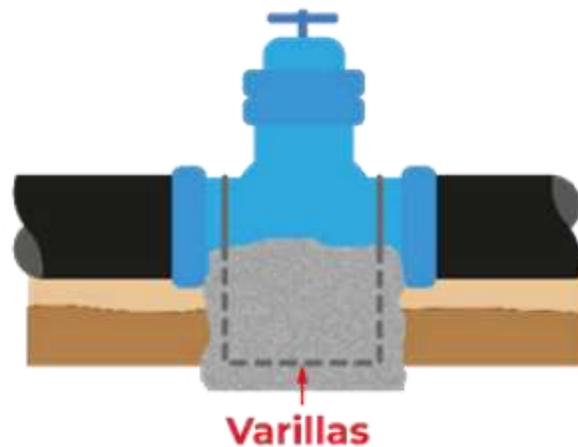
-Cambios de dirección verticales hacia arriba o hacia abajo en tubería y accesorios unidos por Termofusión como se ve en la Figura 6, para evitar desplazamientos de tubería en instalaciones con pendientes altas. Ambos casos con una fuerza de empuje calculada con la ecuación para codos.

Figura 6. Anclajes en cambios de dirección vertical.



- *Uniones bridadas para transiciones o conexiones a elementos especiales, como lo muestra la Figura 7.*

Figura 7. Anclajes en uniones bridadas.



3.3.1 Procedimiento y materiales

- *Localización trazado y replanteo*
- *Excavaciones*
- *Cargue, retiro y disposición del material sobrante de excavaciones*
- *Almacenamiento temporal de material.*
- *Nivelación de terreno.*
- *Armado de encofrado.*
- *Armado del acero de refuerzo / recomendado $F_y=420$ Mpa (60000 psi)*
- *Vaciado de concreto / recomendado $f'c= 21$ Mpa (3000 psi)*
- *Desencofrado.*
- *Llenos y compactación de material.*

3.3.1 Registro fotográfico

Excavación de sobre ancho en la zona de anclaje.



Ubicación de formaleta para vaciado de concreto.



Retiro de formaleta luego del fraguado del concreto.



Terminación de caja de inspección en mampostería.



4. Recomendaciones de operación y mantenimiento

4.1 Mantenimiento de tuberías PEAD

4.1.1 Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento se refiere a la inspección de tuberías y accesorios, para prevenir fallas antes de transcurrido el periodo de vida útil, mediante actividades como inspección visual de los tramos instalados a la intemperie y otros métodos de inspección tales como: técnicas de ultrasonido, uso de cámaras con circuitos cerrados de televisión y limpieza de zonas con acumulación de sedimentos, etc.

Se recomienda que el mantenimiento preventivo se programe de acuerdo a los siguientes criterios:

- 1 vez al año para las tuberías PEAD instaladas a la intemperie.
- 1 vez cada 5 años para las tuberías PEAD instaladas bajo tierra, si las condiciones del fluido transportado han permanecido invariables durante este periodo o 1 vez cada año si las condiciones de operación han variado o se está operando a condiciones no consideradas en el diseño.
- Cuando ocurra un fenómeno natural (temblor, inundación, remociones en masa) que pueda afectar el funcionamiento de la red.
- Cuando ocurra una falla y sea reparada se debe realizar mantenimiento preventivo en los demás puntos que pudieran verse afectados.

Las razones principales que originan las fugas en los sistemas de tuberías de polietileno son:

- Condiciones de operación no consideradas en el diseño.
- Inapropiados procesos de unión.
- Fallas en la operación
- Daños ocasionados por terceros.

4.2 Reparaciones

4.2.1. Reparaciones con corte de tubo

En caso de que la tubería presente una falla de dimensión significativa, se debe demarcar correctamente la longitud del tramo afectado; Si la tubería se encontraba enterrada, la excavación debe tener unas dimensiones que permitan trabajar cómodamente en los cortes del tubo y proceder a realizar la sustitución por un tramo de tubería nuevo.

En función de la longitud afectada y según las condiciones de la instalación y la disponibilidad del personal y los equipos de unión, se procederá a la unión del nuevo tramo de tubería con la línea existente según el método seleccionado, como: soldadura a tope, accesorios de electrofusión o conexiones bridadas.

En tuberías de diámetros entre 16 mm hasta 125 mm es posible realizar reparaciones utilizando accesorios plásticos mecánicos de compresión.

En los casos donde se utilicen accesorios de reparación (electrofusión, mecánicos metálicos, mecánicos plásticos), el procedimiento a seguir se describe a continuación:

- (a) Cortar la sección dañada de la tubería y asegurarse de que el corte sea perpendicular al eje de la misma.
- (b) El niple a insertar debe tener una longitud igual al tramo de tubería cortado, menos 10 mm
- (c) Limpiar los extremos de las tuberías en una longitud tal que el accesorio pueda insertarse completamente sin ensuciarse.
- (d) Medir la profundidad de inserción del accesorio; en cada extremo de tubo debe hacerse una marca en una longitud igual a la profundidad de inserción más 10 mm.
- (e) Ubique los accesorios en la tubería a reparar y deslícelos completamente de tal modo que pueda ubicar en medio el niple de tubería.
- (f) Una vez alineado el niple, ubique el accesorio en ambos tramos de tal modo que se puedan observar las marcas de inserción en cada extremo.
- (g) Finalmente realice la unión siguiendo el procedimiento habitual para cada técnica de unión. En caso de utilizarse manguitos de electrofusión, habría que realizar el raspado de las tuberías y preparado del manguito (véase procedimiento de electrofusión para tuberías PEAD).

En las reparaciones con corte de tubo debe tenerse en cuenta la dilatación y posible contracción del tubo, siendo por ello recomendable el empleo de manguitos electrosoldables o el uso de piezas de reparación con elementos resistentes a la tracción.

En la Figura 8, se presentan accesorios utilizados en la instalación y reparación de tuberías de PEAD

Figura 8: Accesorios de reparación para tuberías PEAD



(a) Unión electrofusión



(b) Mecánico antitracción



(c) Mecánico metálico



(b) Mecánico plástico

4.2.2. Reparaciones sin corte de tubo

En el caso de que el daño ocasionado en la tubería sea pequeño (un golpe de un compresor o máquina, un agujero causado por terceros), se puede reparar con una pieza de reparación mecánica apropiada para la dimensión de la avería y la presión nominal de la tubería instalada. Dado que no se realiza el corte del tubo, la pieza debe permitir su desmontaje con el fin de que pueda ser acoplada a la tubería.

Dependiendo del tipo de accesorio de reparación, dimensiones del mismo y tipo de avería, estos accesorios pueden ser utilizados para reparar averías de hasta 50 cm de longitud. Estos sistemas de reparación son relativamente rápidos ya que tras descubrir la tubería se puede instalar la pieza de reparación cerrando el servicio un pequeño instante e incluso en ocasiones sin tener que realizar un corte total del suministro.

Con ello se evita el corte y vaciado de la tubería consiguiendo tiempos de restablecimiento del servicio muy reducidos; en la figura 9 se presentan accesorios de reparación.



Figura 9: Accesorios de reparación en acero inoxidable.

4.3 Limpieza de tuberías

4.3.1. Limpieza con agua

Este es el método más sencillo y común para realizar limpieza periódica de tuberías, sin embargo, por sí solo no es una limpieza completa, habitualmente es una actividad preliminar en cualquier proceso de mantenimiento de una red, la cual debe complementarse con técnicas más eficaces; sólo cuando la red no tenga excesivas acumulaciones, la limpieza con agua será suficiente por sí misma.

Consiste en circular a presión y velocidad controladas, una corriente de agua por la conducción, para que esta arrastre cualquier elemento o suciedad que pueda estar incrustada en las paredes de la tubería; la velocidad a la que debe circular el agua para garantizar una limpieza efectiva, es variable en función del diámetro de la conducción y del tipo de partículas que deben ser removidas; para el caso particular de partículas de 0,2mm de tamaño, la tabla 41 indica magnitudes de velocidad recomendadas para realizar limpieza.

Tabla 41: Velocidades recomendadas de circulación del agua.

DN	Densidad 3000 kg/m ³ Velocidad mínima [m/s]	Densidad 1500 kg/m ³ Velocidad mínima [m/s]
63	1.3	0.7
90	1.6	0.8
110	1.8	0.9
160	2.3	1.1
2000	2.6	1.3

Fuente: Manual técnico de tuberías plásticas ASETUB pág. 340.

4.3.2. Dispositivos para limpieza interna

Actualmente existen múltiples equipos para realizar limpieza interna de tubos; el más común en tuberías plásticas es un elemento plástico o de espuma de poliuretano conocido como poly pig (con una densidad que oscila entre 80 y 130 kg/m³). Este elemento tendrá un diámetro similar o ligeramente mayor a la conducción a limpiar y se impulsará con agua a presión.

El paso del poly pig a lo largo de la tubería empuja cualquier elemento que obstruya la circulación y mediante fricción, retira las incrustaciones de las paredes del tubo; este dispositivo es flexible, blando y con diseños disponibles en una gran variedad de formas, rigideces y diámetros. En las tuberías de PEAD se recomienda el uso de limpiadores de dureza baja.

Es importante controlar las dimensiones del dispositivo de limpieza atendiendo las recomendaciones indicadas en las Tabla 42

Tablas 42: Diámetros de los elementos de limpieza interna.

DN	Diámetro de la cápsula
<110	2 x DN
>110 <315	1.5 x DN
	1.25 x DN
>315	DN + 75 mm

Fuente: Manual técnico de tuberías plásticas ASETUB pág. 342.

Figura 9: Dispositivos de limpieza interna de tuberías plásticas.



Fuente: Manual técnico de tuberías plásticas ASETUB pág. 342.

5. Prueba para la detección de fugas en campo, usando presión hidrostática - Tuberías de polietileno / Aplicación agua.

5.1 Generalidades

Siempre tome precauciones para eliminar los riesgos de las personas que están cerca de los tramos de tuberías que están siendo ensayadas. Durante el procedimiento, incluyendo las fases de llenado, presurización inicial, tiempo de ensayo de presión y despresurización, únicamente las personas que realizan el ensayo o inspeccionan los sistemas que están siendo probadas, deben ser permitidos cerca de las secciones bajo ensayo. Esas personas deben estar notificadas de los riesgos del ensayo de presión en campo. Todas las otras personas deben mantenerse lejos a una distancia segura.

La prueba de presión hidrostática se hace en todas las redes que se instalen, ejecutándose antes de los empalmes a las redes existentes y una vez se hayan instalado las silletas o collarines de derivación o las llaves de incorporación con las correspondientes perforaciones.

El tramo del sistema de tuberías que va a ser ensayado es aislado de otras partes del sistema y restringido contra el movimiento para evitar consecuencias graves en el evento de una falla. Los componentes que no van a ser sometidos al ensayo de presión o que podrían ser dañados por el ensayo de presión, son retirados o aislados si es necesario. Los componentes aislados son dejados a presión atmosférica. El tramo de ensayo es llenado con agua, se eleva la presión de ensayo hasta presión de ensayo y se permite que se estabilice. El sistema es inspeccionado verificando ausencia de fugas y entonces la presión del ensayo es liberada. Si son necesarias reparaciones o correcciones, estas solo se hacen cuando la sección este despresurizada. Si es necesario, se realiza un nuevo ensayo después de un periodo de relajación. Al terminar un ensayo que reúna los requisitos de este documento o de la norma NTC 5560, el tramo probado puede ser puesto en servicio.

Las fugas o defectos usualmente ocurren en las conexiones, uniones y sellos mecánicos donde es requerido el sellado bajo presión.

El ensayo puede ser realizado en el sistema entero o en secciones del sistema. El tamaño de la sección está determinado por la capacidad de llenado y presurización del equipo encargado de presurizar. Se recomienda realizar la prueba de presión hidrostática en tramos con una longitud máxima de 500 metros.

Se deben utilizar los equipos y accesorios adecuados para esta clase de labor, como motobomba, manómetros calibrados, cabezales de prueba con los elementos necesarios para toma de presión y/o evacuación del aire, aseguramientos provisionales y demás que garanticen la efectividad de la prueba.

Antes del ensayo las uniones por termofusión deben estar completamente frías.

Las uniones mecánicas deben estar completamente ensambladas con todos los sellos necesarios y todas las abrazaderas instaladas y apretadas. No es conveniente ensamblarlas cuando la tubería este caliente, pues las dilataciones y contracciones cuando se enfrían las pueden soltar o aflojar

La tubería debe estar adecuadamente anclada para impedir el movimiento. La prueba no debe iniciarse hasta que los bloques de empuje o anclajes de concreto hayan fraguado y estén debidamente soportados para resistir las fuerzas de empuje ocasionadas por las presiones de la prueba.

La tubería debe ser llenada lentamente de la cota más baja a la cota más alta, evitando crear una oleada o una trampa de aire. Toda trampa de aire debe ser liberada antes de iniciar la fase de presurización. El sistema debe incluir salidas apropiadas en los extremos o tapones provisionales. El aire atrapado puede resultar en falla catastrófica, explosiva, violenta y peligrosa, dado que tanto los esfuerzos de presión en la tubería y la energía usada para comprimir el aire atrapado, son liberados abruptamente.

Para permitir el escape del aire de la sección de ensayo, la velocidad de flujo durante el llenado no debe exceder la capacidad de los aparatos de liberación de aire u otras aberturas usadas para liberar el aire encerrado. Para evitar o limitar la pérdida transitoria de presión, la velocidad de flujo de llenado, no debe exceder la velocidad de diseño del sistema de tuberías.

La presión máxima de ensayo para la tubería de polietileno con clasificación de presión no debe exceder 1,5 veces la presión de diseño. Por ejemplo: para tubería PN10 la presión de ensayo debe ser ≤ 217.5 psi; para PN16 la presión de ensayo debe ser ≤ 348 psi.

Las tuberías de polietileno tienen típicamente clasificación de presión a 23° C (73° F). A temperaturas superiores se pueden requerir reducciones de la clasificación de presión, como se menciona en el numeral 1.7 del presente documento.

5.2 Procedimiento

Prepare la sección de ensayo con los aparatos necesarios, teniendo en cuenta todas las precauciones de seguridad requeridas.

Restricciones en contra de movimientos: Tome medidas para asegurarse que todas las partes de la sección bajo ensayo están restringidas en contra del movimiento si ocurriera la falla. Tales medidas pueden incluir relleno, anclaje u otras medidas apropiadas.

Relleno parcial durante el ensayo: Cuando las conexiones bajo tierra, uniones y sellos, están por ser expuestos para la observación durante el ensayo, use suficiente material de relleno puesto entre las uniones y sobre el tubo para prevenir movimientos, dando la debida consideración para impedir las fuerzas de empuje. En particular, tubos conectados a uniones restringidas que derivan su estabilidad de la interacción del tubo y la tierra, deben ser rellenados antes del ensayo.

Presión de ensayo: La máxima presión de ensayo hidrostática debe ser medida en el punto más bajo presente en el tramo a ensayar.

La máxima presión de ensayo es la más baja de:

- 1,5 veces la presión de diseño del sistema.
- La más baja clasificación de presión de los componentes del sistema.

Llene la sección de ensayo lentamente de la cota más baja a la cota más alta. Elimine todo el aire. Tome todas las precauciones apropiadas para asegurarse que no hay aire atrapado en la sección de ensayo.

Permita que la sección de ensayo y el líquido de ensayo se igualen a una temperatura común. Cuando el tramo a ensayar es llenado con agua y todo el aire es removido, gradualmente llene el tubo hasta lograr incrementar la presión del tramo hasta la presión de ensayo.

Si la presión de ensayo no puede ser alcanzada o si esto toma un tiempo demasiado largo, puede haber defectos como fugas excesivas, aire atrapado, válvulas abiertas o el equipo de presurización puede ser inadecuado para el tamaño de la sección de ensayo. Si algún defecto de estos existe, suspenda la presurización y corríjalo antes de continuar.

Fase de expansión inicial: Mantenga la tubería a la presión de ensayo durante 4 horas; durante esta fase el polietileno se expandirá ligeramente y la presión decaerá. Para mantener la presión de ensayo, se requiere añadir agua adicional; no es necesario monitorear la cantidad de agua añadida durante la fase de expansión inicial.

Cuando se realizan apropiadamente las uniones por termofusión o electrofusión, estas son tan fuertes como el cuerpo del tubo y en general no presentan fugas. Las fugas en las uniones por fusión indican un procedimiento de unión deficiente, que puede fallar completamente en cualquier momento.

Si la fuga es observada en una unión por fusión, retírese inmediatamente y despresurice la sección de ensayo.

Fase de ensayo: Reduzca la presión de ensayo en 1,45 KPa (10 psi) y monitoree la presión durante 1 h. No aumente la presión o adicione agua de relleno.

Criterio de aceptación o falla: Si no se observan fugas y la presión durante la fase de ensayo se mantiene estable (dentro del 5% de la presión de la fase de ensayo) por el período de la fase de ensayo de 1 h, esto indica que el ensayo se considera aceptado.

Reensayo: Si es necesario un reensayo, despresurice la sección de ensayo reduciendo la presión o liberando líquido de ensayo a una tasa controlada (Una despresurización repentina puede causar golpe de ariete) y corrija cualquier defecto o fuga en la sección de ensayo. No intente corregir los defectos o arreglar las fugas mientras la sección de ensayo se encuentra bajo presión.

Cuando la máxima presión de ensayo está entre la presión de diseño del sistema y 1.5 veces la presión de diseño del sistema o está en ese máximo valor, permita a la sección de ensayo relajarse por lo menos 8 h antes de la re-presurización.

Después del periodo de relajación, repita la expansión inicial y las fases del ensayo como se indicó anteriormente.

Despresurice la sección de ensayo reduciendo la presión o liberando líquido de ensayo a una tasa controlada, una despresurización repentina puede causar un golpe de ariete.

Después del ensayo retire los elementos de sello y los elementos de aislamiento de la sección de ensayo.

Dependiendo de la aplicación de la tubería puede ser necesario, lavado, desinfectado o drenaje.

REFERENCIAS

NTC 5560 2007-12-12 MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS EN CAMPO DE SISTEMAS DE TUBERÍAS A PRESIÓN DE POLIETILENO (PE) USANDO PRESIÓN HIDROSTÁTICA.

6. Guía de aplastamiento - Tuberías de polietileno / Aplicación gas.

6.1 Introducción

Esta guía se escribió utilizando la mejor información disponible en el momento de la publicación del presente documento. Las condiciones y circunstancias inusuales en el campo pueden dictar que los procedimientos sean modificados. Extrucol no asume ninguna responsabilidad con respecto al uso de herramientas y modificaciones de procedimientos.

6.2 El propósito de la guía

Esta guía se ha desarrollado para ayudar al usuario a comprender los conceptos básicos del aplastamiento aplicado a la tubería de Polietileno (PE) y para proporcionar referencias a varios estándares ampliamente aceptados para la técnica.

Dado que la seguridad del trabajador es de la mayor importancia, siempre que sea posible, hacemos referencia a las pautas de protección del trabajador, a las regulaciones y a los requisitos de la industria del gas natural, si los hay.

6.3 Bases del aplastamiento

El aplastamiento es un método para reducir o detener en gran medida el flujo de gas o líquidos en una tubería de plástico dúctil, comprimiendo la tubería entre barras paralelas, hasta que las superficies internas de la tubería se toquen. Se usa en situaciones en las que el acceso a una válvula de control de flujo no está disponible o cuando cerrar la válvula tiene otras consecuencias que son más preocupantes que "apretar" la tubería. El aplastamiento se puede usar para controlar o detener el flujo de los empalmes, así como para el control de flujo de emergencia para reparaciones.

Es muy poco probable que el aplastamiento del tubo detenga completamente el flujo; especialmente si el sistema de tubería presenta altas presiones, siempre habrá una pequeña fuga más allá del sitio de compresión y esa fuga podría ser suficiente para crear un peligro para la seguridad. Dado que es poco probable que con un único punto de aplastamiento, se produzca un cierre 100% hermético, se recomienda que se utilice el método de "Bloqueo doble y purga", para detener completamente el flujo de gas. La sección 6.5.5, ofrece una breve descripción del método. Se recomienda encarecidamente a los usuarios de esta guía que se familiaricen completamente con la técnica y que se aseguren de que todo el equipo sea adecuado para la tarea y que los operadores estén completamente calificados antes de intentar realizar aplastamientos en tubería PE, especialmente cuando está operando a alta presión.

El aplastamiento no se recomienda para el control de flujo repetido en el mismo lugar en una tubería PE y no se debe utilizar para simplemente disminuir o regular el flujo, ya que estas condiciones podrían resultar en peligros inaceptables. Otros dispositivos de control de flujo, como las válvulas diseñadas para este propósito, deben usarse en esas aplicaciones.

6.4 Aplastamiento en tubo de PE - GAS

Debido a la gran variedad de herramientas y procedimientos de aplastamiento y las combinaciones de tamaños de tubería, se recomienda que cualquier persona que utilice herramientas de aplastamiento con productos de Polietileno, utilice las pautas de un estándar de amplio uso para el desarrollo de procedimientos de aplastamiento, a saber:

ASTM F1734 / Práctica estándar para la calificación de una combinación de herramienta de compresión, tubería y procedimientos de aplastamiento para evitar daños a largo plazo en la tubería de gas de polietileno (PE).

ASTM F1041 / Guía estándar para la compresión de tuberías y conductos de gas de poliolefina.

ASTM F1563 / Especificación estándar para herramientas para aplastamiento por compresión de tuberías o conductos de gas de polietileno (PE)

6.5 Consideraciones de seguridad

6.5.1. Procedimientos, formación y capacitación del personal.

El aplastamiento de Tubería PE, implica el riesgo de lesiones graves o la muerte y daños a la propiedad. Todo el personal involucrado en una operación de aplastamiento debe estar debidamente capacitado por un instructor calificado y esa capacitación debe estar documentada.

Los aplastamientos de Tubería PE deben realizarse de acuerdo con los procedimientos escritos y siguiendo las pautas de ASTM F 1734 o estándar equivalente.

6.5.2. Puesta a tierra adecuada de las herramientas y efectos de la electricidad estática

Todas las herramientas utilizadas en una operación de aplastamiento deben estar debidamente conectadas a tierra. La compresión a menudo resulta en la generación de cargas eléctricas estáticas que podrían ser peligrosas para el personal y podrían causar la ignición de gases y otras sustancias inflamables. Esto es especialmente importante en las aplicaciones de tuberías de gas de Polietileno con altas presiones de operación, dando como resultado una alta velocidad que acelera la carga estática. Las operaciones de aplastamiento relacionadas con una fuga de gas (gas de fuga) deben realizarse en una zanja separada aislada del gas de fuga. Los fluidos comerciales de disipación de estática y los equipos de puesta a tierra diseñados para la tarea están disponibles y deben usarse cuando sea apropiado.

6.5.3. Equipo de protección personal adecuado (EPP)

Se debe usar equipo de protección personal al realizar una operación de aplastamiento. Las grandes fuerzas involucradas pueden crear peligros potenciales. Como mínimo, se deben usar gafas de seguridad, guantes protectores y calzado. La compañía y las regulaciones locales pueden requerir protección adicional. Se deben seguir todas las regulaciones locales y las políticas de la compañía.

6.5.4. Características y especificaciones del equipo recomendado

Debido a la gran variación en el diseño y la construcción de las herramientas de compresión, no es práctico hacer recomendaciones específicas con respecto a las especificaciones de las herramientas de compresión. Como punto de partida, las operaciones de aplastamiento de la tubería de Polietileno deben realizarse utilizando un equipo diseñado y aprobado para este propósito.

Una vez que se ha seleccionado la herramienta de aplastamiento, es esencial que se pruebe en el taller bajo condiciones controladas para asegurarse de que puede generar la fuerza necesaria sin dañar la herramienta. Debido a que en el campo la herramienta probablemente se usará en tuberías presurizadas, es esencial asegurarse de que la herramienta pueda "apretar" la tubería sin presión en el taller utilizando menos de la mitad de la capacidad de fuerza de la herramienta.

6.5.5. Procedimiento recomendado de aplastamiento

Se recomienda el método de doble bloqueo y purga; se indica una breve descripción del proceso: El aplastamiento es más eficaz cuando las herramientas se aplican en pares. Se realizan dos aplastamientos con una distancia de aproximadamente dos metros (7 pies) entre ellos y se instala un accesorio de purga (Tee de derivación) a la tubería entre los puntos de aplastamiento. La Tee de derivación se utiliza para purgar la presión de gas que se puede acumular entre los dos puntos de aplastamiento y evitar que el gas fluya aguas abajo; el pequeño volumen de gas se ventila y se dispersa a la atmósfera de manera controlada a salvo de ignición. Este método generalmente se llama "doble bloqueo y purga"

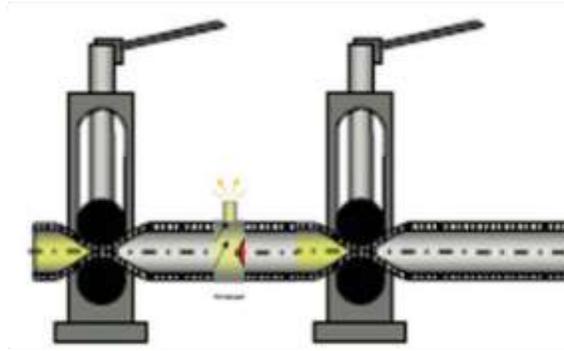


Figura 10. Método de doble bloqueo y purga

6.5.5.1 Equipo requerido

Una Tapping Tee (Tee de derivación) o una válvula de servicio diseñada para usarse en la tubería a aplastar y clasificada a la presión máxima de operación de la tubería. La Tee de derivación debe tener un mecanismo de cierre positivo para detener el flujo a través de la salida en T antes de que la tubería vuelva a funcionar. Tee de derivación mecánicas y de electrofusión son aceptables. Si se va a utilizar una Tee de derivación de electrofusión, es esencial que el equipo de electrofusión esté disponible en el lugar de trabajo.

Dos herramientas de aplastamiento clasificadas según el diámetro y la presión de la tubería a reparar. Las barras de compresión del equipo de aplastamiento deben ser semi-redondas o planas con bordes redondeados de gran radio.

Una longitud de tubería (Tubería de purga) del diámetro adecuado para conectarla a la salida de la Tee de derivación y lo suficientemente larga para permitir la descarga de gas a una distancia segura del personal y el equipo.

6.5.5.2. Preparación del tubo

La zona del aplastamiento debe elegirse de modo que se tenga al menos tres diámetros de tubería o 1 metro (3.3 pies), el que sea mayor, de la junta de fusión o la conexión mecánica más cercana.

Antes de la operación de aplastamiento, la tubería debe estar suficientemente excavada para que el operario pueda inspeccionar toda la superficie del sitio de aplastamiento para detectar daños previos o una apariencia irregular. Luego se debe limpiar la tubería para eliminar la suciedad y los residuos sueltos. Si se descubre daño o una condición insegura, se debe elegir un sitio alternativo.

Con un marcador permanente, marque: la ubicación de la Tee de derivación, el sitio de aplastamiento aguas arriba y el sitio de aplastamiento aguas abajo.

La Tee de derivación debe ubicarse al menos tres diámetros de tubería o 1 metro (3.3 pies), lo que esté más lejos, de cada uno de los dos sitios de aplastamiento

6.5.5.3. Instalación de Tee de derivación al tubo

Para la instalación de la Tee de derivación siga las instrucciones del fabricante del accesorio, conecte la tubería de purga a la salida en T, realice la perforación de la tubería, abra la válvula de la Tee de derivación; la tubería de purga debe finalizar en un lugar seguro, lejos del personal y el equipo. No accione el dispositivo de perforación de la Tee de derivación hasta que se hayan completado ambos aplastamientos y la salida de la tubería de purga esté asegurada en un lugar seguro. Si se utiliza una Tee de derivación de electrofusión, asegúrese de esperar el tiempo de enfriamiento requerido antes de realizar la perforación de la tubería.

6.5.5.4. Seleccione el nivel de aplastamiento y el gap entre las barras de las herramientas de aplastamiento

Los topes típicos de las herramientas de compresión se establecen para un 30% o menos de compresión de la pared según el grosor máximo de la pared del tubo (una distancia que es el 70% del doble del grosor máximo de la pared del tubo cuando la herramienta de compresión está cerrada hasta los topes -Ver ASTM F1734/Wall compression-). En general y para no sobrecargar la tubería, las herramientas están "seteadas" con topes finales ajustables para tuberías SDR 11. Debido a los diferentes espesores de pared de las tuberías, la separación de las barras de compresión puede diferir hasta 80% del doble del grosor máximo de la pared cuando la herramienta de compresión está cerrada hasta los topes. Las barras del equipo de aplastamiento deben limpiarse para eliminar la suciedad o los residuos sueltos y luego inspeccionarlas para asegurarse que no tengan bordes afilados o ásperos que puedan dañar la tubería de Polietileno.

6.5.5.5. Completar el aplastamiento aguas abajo

Las velocidades máximas de aplastamiento no deben exceder los 50 mm (2 pulgadas) por Minuto. A temperaturas ambientales de 0 °C (32 °F) e inferiores, la velocidad debe reducirse a 25 mm (1 pulgada) por Minuto.

Aplaste la tubería hasta que se detenga el flujo o hasta que se logren los topes de separación entre las barras del equipo de aplastamiento, lo que ocurra primero. Un proceso de apriete lento es recomendado.

Se recomienda consultar el documento: Technical Note TN54 – Plastic Pipe Institute, para concretar velocidad de aplastamiento en función del diámetro y espesor de pared de la tubería.

6.5.5.6. Completar el aplastamiento aguas arriba

Utilice el mismo procedimiento para el aplastamiento aguas abajo.

Se recomienda consultar el documento: Technical Note TN54 – Plastic Pipe Institute, para concretar velocidad de aplastamiento en función del diámetro y espesor de pared de la tubería.

6.5.5.7. Accionar el dispositivo perforador de la Tee de derivación

Siga las instrucciones del fabricante de la Tee de derivación para operar el dispositivo perforador del accesorio. Cuando se retrae el cortador, esto liberará el gas que se haya filtrado más allá del aplastamiento aguas arriba y continuará haciéndolo a menos que la tubería de purga se obstruya o el cortador se devuelva a la posición de cierre inferior.

6.5.5.8. Verifique que no haya gas en la salida de la tubería de purga

La presencia de una pequeña cantidad de gas es normal. Esta salida debe permanecer abierta hasta que se elimine la necesidad de control de flujo

6.5.5.9. Completar las reparaciones o derivaciones previstas

Asegúrese que las ubicaciones de las herramientas de aplastamiento estén seguras durante los trabajos y que las herramientas estén correctamente bloqueadas para evitar que una persona no autorizada libere la compresión, lo que presentará una condición potencialmente mortal para el personal que trabaja cerca del sitio de reparación.

6.5.5.10. Remoción de la tubería de purga

Una vez finalizados los trabajos y antes de retirar las herramientas de aplastamiento, se debe cerrar la Tapping Tee (Tee de derivación) o la válvula de servicio. Si se usa una Tee de derivación, haga avanzar el cortador a la posición completamente cerrada y asegure la tapa superior. Si se usa una válvula de servicio, cierre la válvula de servicio completamente y asegure la válvula en la posición cerrada. Sin presencia de flujo en la tubería de purga instale un accesorio tipo tapón en el extremo final de la tubería de purga.

6.5.5.11. Extracción de la herramienta de aplastamiento e inspección de la tubería después del procedimiento

La velocidad de liberación es más lenta que la velocidad de compresión. Se recomienda una tasa de liberación de 12 mm (0,5 pulgadas) por Minuto. Si la velocidad de liberación es demasiado rápida, existe el riesgo de dañar la tubería debido a las presiones internas en la tubería. Cuando se retiren las herramientas de aplastamiento, se deben inspeccionar los sitios de compresión para detectar cortes y otros daños.

Se recomienda consultar el documento: Technical Note TN54 – Plastic Pipe Institute, para concretar velocidad de liberación del aplastamiento en función del diámetro y espesor de pared de la tubería.

6.5.5.12. Re-dondeo

En general se podría esperar que la presión interna del gas, sea suficiente para forzar a la tubería a recuperar un diámetro interno adecuado, después de retirar la herramienta de aplastamiento. De requerirse el proceso de redondeo, se recomienda el uso de herramientas apropiadas para este propósito.

6.5.5.13. Marcación de la zona de aplastamiento

Después de completar la operación, las ubicaciones de los aplastamientos deben marcarse como comprimidas. Como mínimo, la fecha y el nombre del operador de la herramienta de aplastamiento deben anotarse en la tubería. La marca o la etiqueta deben ser permanentes y fáciles de ver para futuras excavaciones. La misma área nunca debe ser comprimida más de una vez. Los aplastamientos múltiples pueden causar daño grave a la tubería y pueden afectar la resistencia a largo plazo.

6.5.5.14. Necesidad de cortar la zona sometida al proceso de aplastamiento

Si se considera que cualquier daño observado es lo suficientemente grave como para que se deba cortar y reemplazar la zona de aplastamiento, hay opciones para evitar que el área dañada se deba cortar e instalar una nueva pieza de tubería. El usuario final está en la mejor posición para decidir qué hacer. Ejemplo: Parches de reparación por E.F.

7. Resistencia química en Tubos de Polietileno

A continuación, se presentan las resistencias químicas del polietileno evaluado según los parámetros presentados en la Tabla 43

Tabla 43: Parámetros de resistencia química del polietileno en función de la temperatura

RESISTENCIA	TEMPERATURA (°F)	OBSERVACIÓN
ALTA	140 °F	El PEAD generalmente es resistente a la temperatura (°F) indicada por el código.
ALTA	73 °F	El PEAD generalmente es resistente a la temperatura (°F) indicada por el código y puede tener una resistencia limitada a temperaturas más altas.
LIMITADA	73 °F	El PEAD tiene una resistencia limitada a la temperatura (°F) indicada por el código y puede ser adecuado para algunas condiciones.
NO RESISTENTE	---	El PEAD no es resistente
NO EVALUADO	---	Sin datos disponibles

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Aceite de algodón		---	Alta 140 °F
Aceite de cacahuete		---	---
Aceite de castor		---	Limitada 73 °F
Aceite de coco		---	Limitada 73 °F
Aceite de hígado de bacalao		Coloide	---
Aceite de limón		---	---
Aceite de linaza		---	Alta 73°F
Aceite de maíz		---	Limitada 120°F
Aceite de manteca		---	Limitada 120°F
Aceite de motor		---	Alta 140 °F
Aceite de oliva		---	Alta 140 °F
Aceite de palma		---	Alta 140 °F
Aceite de pescado		---	Alta 140 °F
Aceite de pino		---	Alta 73°F
Aceite de resina		---	Limitada 120°F
Aceite de silicona		---	Limitada 73 °F
Aceite de soya		---	Alta 140 °F
Aceite crudo agrio		---	---
Aceite hidráulico (petróleo)		---	Limitada 73 °F
Aceite linoleico (Tipo 1)		---	---
Aceite lubricante (ASTM N° 1 – N°2 – N°3)		---	Limitada 73 °F
Aceite mineral		---	Alta 73°F
Aceites para cortes de filamentos		---	---
Aceite para transformador		---	Limitada 120 °F
Aceite para transformador DTE/30		---	Limitada 120 °F
Aceite vegetal		---	Alta 140 °F
Acetaldehído	CH ₃ CHO	---	Limitada 73 °F
		Aq. Of 40%	Alta 73°F
Acetamida	CH ₃ CONH ₂	5%	Alta 140 °F
Acetato de amilo	CH ₃ COOC ₅ H ₁₁	---	Limitada 73 °F
Acetato de amonio	CH ₃ COONH ₄	Saturado	Alta 140 °F
Acetato de butilo	CH ₃ COOCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	100%	Limitada 73 °F
Acetato de cellosolve	CH ₃ COOCH ₂ CH ₂ OC ₂ H ₅	---	---
Acetato de cobre	Cu (C ₂ H ₃ O ₂) ₂ • H ₂ O	Saturado	---
Acetato de etilo	CH ₃ COOCH ₂ CH ₃	---	Limitada 73 °F
Acetato de isopropilo	CH ₃ COOCH (CH ₃) ₂	---	Limitada 73 °F
Acetato de metilo	CH ₃ CO ₂ CH ₃	---	Limitada 120 °F
Acetato de níquel	Ni (OOCCH ₃) ₂ • 4H ₂ O	---	Alta 140 °F
Acetato de plata	AgCH ₃ COO	Saturado	---
Acetato de plomo	Pb (C H ₃ COO) ₂ • 3H ₂ O	Saturado	Alta 140 °F
Acetato de sodio	CH ₃ COONa	Saturado	Alta 140 °F
Acetato de vinilo	CH ₃ COOCH=CH ₂	---	Alta 140 °F
Acetato de zinc	Zn (CH ₃ COO) ₂ • 2H ₂ O	---	---
Acetileno	HC≡CH	Gas 100%	Limitada 73 °F
Acetoacetato de etilo	CH ₃ COCH ₂ COOC ₂ H ₅	---	---
Acetofenona	C ₆ H ₅ COCH ₃	---	Limitada 73 °F

Acetona		5% 10% 100%	Limitada 73 °F
Acetonitrilo		---	---
Ácido acético	CH ₃ COOH	Vapor	Alta 140 °F
		5%	---
		10%	---
		25%	Alta 140 °F
		40%	---
		50%	---
		60%	Limitada 73 °F
		80%	---
85%	Limitada 73 °F		
Glacial	Limitada 73 °F		
Ácido acrílico	H ₂ C=CHCOOH	97%	Alta 140 °F
Ácido adípico	COOH (CH ₂) ₄ COOH	Saturado	Alta 140 °F
Ácido antraquinona sulfónica	C ₁₄ H ₇ O ₂ • SO ₃ • H ₂ O	---	Alta 140 °F
Ácido aril sulfónico	C ₆ H ₅ SO ₃ H	---	Limitada 73 °F
Ácido arsénico	H ₃ AsO ₄	80%	Alta 140 °F
Ácido benceno sulfónico	C ₆ H ₅ SO ₃ H	10%	Alta 73 °F
		> 10%	---
Ácido benzoico	C ₆ H ₅ COOH	All	Alta 140 °F
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	Saturado	Alta 140 °F
Ácido bromhídrico	HBr	20%	Alta 140 °F
		50%	Alta 140 °F
		66%	---
Ácido brómico	HBrO ₃	Saturado	N
		10%	Alta 140 °F
Ácido butírico	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH		
Ácido carbónico	H ₂ CO ₃	Saturado	Alta 140 °F
Ácido cianhídrico	HCN	---	Alta 140 °F
		Saturado	---
Ácido cítrico	C ₆ H ₈ O ₇	Saturado	Alta 140 °F
Ácido clorhídrico	HClO ₃ • 7H ₂ O	10% 20%	Limitada 73 °F
Ácido clorhídrico	HCl	1%	---
		10%	Alta 140 °F
		20%	---
		30%	Alta 140 °F
		Conc.	---
Ácido cloroacético	CH ₂ ClCOOH	50%	Limitada 120 °F
		>10%	---
Ácido clorosulfónico	ClSO ₂ OH	0.5	Limitada 120 °F
		100%	N
Ácido cresílico		50%	Limitada 73 °F
Ácido crómico	H ₂ CrO ₄	Saturado	---
		10%	Limitada 73 °F
		20%	---
		25%	---
		30%	Limitada 73 °F
		40%	Limitada 73 °F
		50%	Limitada 73 °F
Ácido dicloroacético	CHCl ₂ COOH	50%	---

Ácido diglicólico	$O (CH_2 COOH)_2$	Saturado	Alta 140 °F
Ácido esteárico	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	--- 100%	Limitada 120°F
Ácido fluorhídrico	HF	Diluido 30%	Alta 140 °F
		40%	Alta 140 °F
		50%	---
		60%	Limitada 120°F
		70%	Alta 140 °F
		100%	---
		Gas	Limitada 120°F
Ácido fluorobórico	HF_4	--- Sólido	Alta 140 °F ---
Ácido fluorosilícico	$H_2 SiF_6$	25%	---
		30%	Alta 140 °F
		40%	---
		50%	Alta 140 °F
		Saturado	---
Ácido fórmico	HCOOH	---	Alta 140 °F
		10%	---
		40%	---
		50%	---
		85%	---
		100%	Alta 140 °F
Ácido fosfórico	$H_3 PO_4$	10%	Alta 140 °F
		50%	Alta 140 °F
		75%	---
		85%	Limitada 73 °F
		98%	---
Ácido ftálico	$C_6 H_4 (COOH)_2$	---	Alta 140 °F
		Susp.	---
Ácido gálico	$C_6 H_2 (OH)_3 CO_2 H \cdot H_2 O$	---	Limitada 73 °F
Ácido glicólico	OHCH ₂ COOH	Saturado	Alta 140 °F
		10%	---
		30%	---
		65%	---
Ácido hipocloroso	HOCl	10%	Alta 140 °F
Ácido láctico	CH ₃ CHO _H COOH	10%	---
		20%	---
		25%	Alta 140 °F
		80%	Alta 140 °F
		Líquido	---
Ácido láurico	$CH_3 (CH_2)_{10} COOH$	---	Limitada 120°F
Ácido linoleico	$CH_3 (CH_2)_4 (CH=CHCH_2)_2 (CH_2)_6 COOH$	---	---
Ácido maleico	HOOCCH=CHCOOH	Saturado	Alta 140 °F
		50%	---
		10%	---
Ácido málico	COOHCH ₂ CH(OH)COOH	---	Alta 140 °F
Ácido metilsulfúrico	$CH_3 HSO_4$	---	---
Ácido monocloroacético	$CH_2 ClCOOH$	50%	Alta 140 °F
Ácido nicotínico	$C_5 H_4 NCOOH$	---	Alta 140 °F

Ácido nítrico	HNO₃	5%	Limitada 73°F --- Limitada 73°F --- Limitada 73°F Limitada 73°F --- Limitada 73°F
		10%	
		20%	
		25%	
		30%	
		35%	
		40%	
		50%	
		65%	
		70%	
		85%	
95%			
100%			
Ácido nitroso	HNO₂	10%	Limitada 73°F
Ácido oleico	CH₃ (CH₂)₇ CH=CH (CH₂)₇ COOH	---	Alta 140 °F
Ácido oxálico	HOOC-COOH•2H₂O	50%	Alta 140 °F
		10%	---
		Saturado	---
Ácido palmítico	CH₃ (CH₂)₁₄ COOH	10% 70%	Limitada 120°F
Ácido peracético	CH₃ COOOH	40%	---
Ácido perclórico (Tipo 1)	HClO₄	10%	---
		20%	---
		15%	Alta 140 °F
		70%	Limitada 73°F
Ácido pícrico	C₆ H₂ (NO₂)₃ OH	10%	Limitada 73°F
		50%	---
		Saturado	---
Ácido pirogálico	C₆ H₃ (OH)₃	---	---
Ácido propiónico	CH₃ CH₂ CO₂ H	---	Alta 140 °F
Ácido salicílico	C₆ H₄ (OH)(COOH)	---	Alta 140 °F
Ácido selénico (acuoso)	H₂ SeO₄	---	Alta 140 °F
Ácido silícico	SiO₂ •nH₂ O	---	Alta 140 °F
Ácido succínico	COOH(CH₂)₂COOH	---	Alta 140 °F
Ácido sulfámico	HSO₃NH₂	20%	---
Ácido sulfúrico	H₂SO₄	5%	---
		30%	Alta 140 °F
		50%	Limitada 120°F
		60%	Limitada 120°F
		70%	Limitada 120°F
		80%	Limitada 120°F
		90%	Limitada 120°F
		93%	Limitada 73°F
		94 – 98%	Limitada 73°F
		100%	Limitada 73°F
Ácido sulfuroso	H₂SO₃	---	Alta 140 °F
Ácido tartárico	HOOC(CHOH)₂COOH	---	Alta 140 °F
Ácido tricloroacético	CCl₃COOH	50%	Alta 140 °F
		10%	
Ácidos grasos	R-COOH	---	Limitada 120°F
Acrilato de etilo	CH₂=CHCOOC₂ H₅	---	---
Acrilato de metilo	CH₂ =CHCOOCH₃	Tech Pure	Alta 140 °F
Acrilonitrilo	H₂ C=CHC≡N	---	Alta 140 °F
Agua ácida (drenaje de minas)	H₂O	---	Alta 140 °F

Agua blanda	H ₂ O	---	Alta 140 °F
Agua clorada		Saturado	Limitada 120°F
Agua de bromo		Saturado	N
Agua de mar	H ₂ O	---	Alta 140 °F
Agua desionizada	H ₂ O	---	Alta 140 °F
Agua destilada	H ₂ O	---	Alta 140 °F
Agua potable	H ₂ O	---	Alta 140 °F
Agua regia (ácido nitrohidroclórico)		---	N
Agua residual	H ₂ O	---	Alta 140 °F
Agua salada	H ₂ O	---	Alta 140 °F
Alcanfor	C ₁₀ H ₁₆ O	---	Limitada 73 °F
Alcohol alílico	CH ₂ = CHCH ₂ OH	96%	Alta 140 °F
Alcohol amílico	C ₅ H ₁₁ OH	100%	Alta 140 °F ---
Alcohol de bencilo	C ₆ H ₅ CH ₂ OH	---	Alta 140 °F
Alcohol de butilo	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ OH	---	Alta 140 °F
Alcohol de diacetona	CH ₃ COCH ₂ C (CH ₃) ₂ OH	---	---
Alcohol etílico (etanol)	C ₂ H ₅ OH	---	Alta 140 °F
Alcohol isobutílico	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH	---	Alta 140 °F
Alcohol isopropílico	(CH ₃) ₂ CHOH	---	Alta 140 °F
Alcohol propargílico	HC≡CCH ₂ OH	---	Alta 140 °F
Alcohol propílico (Tipo 1)	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	---	Alta 140 °F
Almidón		---	Alta 140 °F
Alquitrán		---	---
Alumbre de potasio	AlK (SO ₄) ₂ • 12H ₂ O	---	Alta 140 °F
Alumbre de sodio	AlNa (SO ₄) ₂ • 12H ₂ O	---	---
Aluminato de sodio	Na ₂ Al ₂ O ₄	Saturado	---
Amoniaco gaseoso	NH ₃	100%	Alta 140 °F
Amoniaco líquido	NH ₃	100%	Alta 140 °F
Anhídrido acético	(CH ₃ CO) ₂ O	---	Limitada 73 °F
Anhídrido fosfórico	P ₂ O ₅	---	---
Anilina	C ₆ H ₅ NH ₂	---	Limitada 73 °F
Anisol	C ₇ H ₈ O	---	---
Anticongelante		---	---
Antraquinona	C ₁₄ H ₈ O ₂	---	Limitada 73 °F
Asfalto		---	Limitada 73 °F
Azúcar	C ₆ H ₁₂ O ₆	Aq	Alta 140 °F
Azúcar de uva		---	---
Azufre	S	---	Alta 140 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Baño coagulante de rayón		---	Alta 140 °F
Benceno	C ₆ H ₆	---	Limitada 120°F
Benzaldehído	C ₆ H ₅ CHO	10% 99%	Limitada 73 °F ---
Benzonato de sodio	C ₆ H ₅ COONa	35% 50%	Alta 140 °F ---
Bicarbonato de potasio	KHCO ₃	Saturado	Alta 140 °F
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	---	Alta 140 °F
Bicromato de potasio	K ₂ Cr ₂ O ₇	Saturado 40%	---

Bifluoruro de amonio	$\text{NH}_4 \text{HF}_2$	Saturado	---
Bisulfato de potasio	KHSO_4	---	Alta 140 °F
Bisulfato de sodio	NaHSO_4	---	Alta 140 °F
Bisulfito de calcio	$\text{Ca} (\text{HSO}_3)_2$	---	N
Bisulfito de sodio	NaHSO_3	Saturado	---
Bisulfuro de amonio	$(\text{NH}_4) \text{HS}$	---	Alta 140 °F
Bisulfuro de calcio	$\text{Ca} (\text{HS})_2 \bullet 6\text{H}_2\text{O}$	---	---
Blanqueador		5% Active Cl_2 12% Active Cl_2	Alta 140 °F Limitada 73 °F
Borato de potasio	$\text{K}_2 \text{B}_4 \text{O}_7 \bullet 4\text{H}_2\text{O}$	---	Alta 140 °F
Borato de sodio (bórax)	$\text{Na}_2 \text{B}_4 \text{O}_7 \bullet 10\text{H}_2\text{O}$	Saturado	Alta 140 °F
Bórax	$\text{Na}_3 \text{B}_4 \text{O}_7 \bullet 10\text{H}_2\text{O}$	Saturado	Alta 140 °F
Bromato de potasio	KBrO_3	---	Alta 140 °F
		10%	---
Bromo	Br_2	Líquido Vapor 25%	N
Bromobenceno	$\text{C}_6 \text{H}_5 \text{Br}$	---	---
Bromotolueno (bromuro de bencilo)	$\text{C}_6 \text{H}_5 \text{CH}_2 \text{Br}$	---	---
Bromuro de etileno	$\text{BrCH}_2 \text{CH}_2 \text{Br}$	Seco	---
Bromuro de litio	LiBr	---	Alta 140 °F
Bromuro de metileno	$\text{CH}_2 \text{Br}_2$	---	Limitada 120°F
Bromuro de metilo	$\text{CH}_3 \text{Br}$	---	Limitada 73 °F
Bromuro de potasio	KBr	---	Alta 140 °F
Bromuro de sodio	NaBr	Saturado	Alta 140 °F
Butadieno	$\text{H}_2 \text{C}=\text{CHCH}=\text{CH}_2$	50%	Limitada 73 °F
		50%	Alta 140 °F
Butano	$\text{C}_4 \text{H}_{10}$	Gas	---
n-Butanol	$\text{C}_4 \text{H}_9\text{OH}$	Líquido	---
Butil glicol	$\text{HOCH}_2 \text{CH}_2 \text{O} (\text{CH}_2)_3 \text{CH}_3$	Líquido	---
Butil fenol	$\text{C}_4 \text{H}_9 \text{C}_6 \text{H}_4 \text{OH}$	---	Limitada 73°F
Butileno	$\text{CH}_3 \text{CH}=\text{CHCH}_3$	Líquido	Limitada 120°F
Butinodiol	$\text{HOCH}_2 \text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{OH}$	---	---
Butyl CELLOSOLVE	$\text{HOCH}_2 \text{CH}_2 \text{O} (\text{CH}_2)_3 \text{CH}_3$	---	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Café		---	Alta 140 °F
Carbitol	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$	---	---
Carbonato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	Saturado	Alta 140 °F
Carbonato de bario	BaCO_3	Saturado	Alta 140 °F
Carbonato de bismuto	$(\text{BiO})_2 \text{CO}_3$	Saturado	Alta 140 °F
Carbonato de calcio	CaCO_3	Saturado	Alta 140 °F
Carbonato de cobre	CuCO_3	Saturado	Alta 140 °F
Carbonato de magnesio	MgCO_3	---	Alta 140 °F
Carbonato de potasio	$\text{K}_2 \text{CO}_3$	---	Alta 140 °F
Carbonato de propileno	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$	100%	---
Carbonato de sodio	$\text{Na}_2 \text{CO}_3$	---	Alta 140 °F
Carbonato de zinc	ZnCO_3	---	Alta 140 °F
Cellosolve		---	Limitada 120°F
Cianuro de cadmio	$\text{Cd} (\text{CN})_2$	---	---
Cianuro de cobre	CuCN	Saturado	Alta 140 °F
Cianuro de hidrogeno	HCN	---	---
Cianuro de mercurio	$\text{Hg} (\text{CN})_2$	Saturado	Alta 140 °F

Cianuro de plata	AgCN	---	Alta 140 °F
Cianuro de potasio	KCN	---	Alta 140 °F
Cianuro de sodio	NaCN	---	Alta 140 °F
Ciclohexano	C ₆ H ₁₂	---	N
Ciclohexanol	C ₆ H ₁₁ OH	---	Limitada 73°F
Ciclohexanona	C ₆ H ₁₀ O	Líquido	Limitada 120°F
Citrato de magnesio	MgHC ₆ H ₅ O ₇ • 5H ₂ O	---	Alta 140 °F
Citrato de tributilo	C ₁₈ H ₃₂ O ₇	---	Limitada 120°F
Cerveza		---	Alta 140 °F
Cetonas		---	Limitada 73°F
		Coloide	---
Cloramina	NH ₂ Cl	Diluido	Limitada 73°F
Clorato de calcio	Ca (ClO ₃) ₂ • 2H ₂ O	---	Alta 140 °F
Clorato de potasio (acuoso)	KClO ₃	---	Alta 140 °F
Clorato de sodio	NaClO ₃	Saturado	Alta 140 °F
Clorhidrato de anilina	C ₆ H ₅ NH ₂ • HCl	---	Limitada 73 °F
		Saturado	Alta 140 °F
Clorhidrato de fenilhidrazina	C ₆ H ₅ NHNH ₂ • HCl	10%	---
Clorhidrina de etileno	ClCH ₂ CH ₂ OH	---	---
		Líquido	---
Clorito de sodio	NaClO ₂	25%	Alta 140 °F
Cloro		Líquido	N
Cloroacetato de etilo	ClCH ₂ COOC ₂ H ₅	---	---
Clorobenceno	C ₆ H ₅ Cl	Seco Líquido	75 °F ---
Clorobromuro de metileno	CH ₂ ClBr	---	---
Cloroetanol	ClCH ₂ CH ₂ OH	Líquido	---
Cloroformo	CHCl ₃	Seco Líquido	75 °F ---
Cloroformo de metilo	CH ₃ CCl ₃	---	Limitada 120°F
Clorometano	CH ₃ Cl	Gas	---
Cloropicrina	CCl ₃ NO ₂	---	Limitada 73 °F
Cloruro amónico	NH ₄ Cl	Saturado	Alta 140 °F
Cloruro cúprico	CuCl ₂ • 2H ₂ O	20%	---
Cloruro cuproso	CuCl	Saturado	Alta 140 °F
Cloruro de acetilo	CH ₃ COCl	---	---
Cloruro de alilo	CH ₂ =CHCH ₂ Cl	---	Limitada 73 °F
		Líquido	---
Cloruro de aluminio acuoso	AlCl ₃	Saturado	Alta 140 °F
Cloruro de N-Amilo	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ Cl	---	Limitada 73 °F
Cloruro de azufre	S ₂ Cl ₂	---	---
Cloruro de bario	BaCl ₂ • 2H ₂ O	Saturado	Alta 140 °F
Cloruro de bencilo	C ₇ H ₇ Cl	---	---
Cloruro de benzoilo	C ₆ H ₅ COCl	Saturado. Sol.	---
Cloruro de n-Butilo	C ₄ H ₉ Cl	---	---
Cloruro de calcio	CaCl ₂	5% Saturado	---
			Alta 140 °F
Cloruro de cloroacetilo	ClCH ₂ COCl	---	---
Cloruro de clorobencilo	ClC ₆ H ₄ CH ₂ Cl	---	Limitada 120 °F

Cloruro de cobre	CuCl_2	Saturado	Alta 140 °F
Cloruro de estaño (II)	SnCl_2	---	---
Cloruro de estaño (IV)	SnCl_4	---	---
Cloruro de etilo	$\text{C}_2 \text{H}_5 \text{Cl}$	Seco	Limitada 73 °F
Cloruro de etileno (cloruro de vinilo)	$\text{CH}_2 \text{CHCl}$	Seco	Alta 140 °F
Cloruro de laurilo (Tipo 1)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{Cl}$	---	Limitada 120°F
Cloruro de litio	LiCl	---	Limitada 120°F
Cloruro de magnesio	MgCl_2	Saturado 50%	Alta 140 °F ---
Cloruro de mercurio	HgCl_2	---	Alta 140 °F ---
Cloruro de metileno	$\text{CH}_2 \text{Cl}_2$	100%	N
Cloruro de metilo	$\text{CH}_3 \text{Cl}$	Seco	Limitada 120°F
Cloruro de níquel	NiCl_2	Saturado	Alta 140 °F
Cloruro de plata	AgCl	---	---
Cloruro de plomo	PbCl_2	---	Limitada 120°F
Cloruro de potasio	KCl	---	Alta 140 °F
Cloruro de sodio	NaCl	Saturado 10%	Alta 140 °F ---
Cloruro de tionilo	SOCl_2	---	N
Cloruro de zinc	ZnCl_2	50% Saturado	Alta 140 °F ---
Cloruro estañico	SnCl_4	Saturado	Alta 140 °F
Cloruro estañoso	SnCl_2	15% Saturado	Alta 140 °F
Cloruro férrico (acuoso)	FeCl_3	Saturado	Alta 140 °F
Cloruro ferroso	FeCl_2	Saturado	Alta 140 °F
Combustibles diesel		---	Limitada 73 °F
Combustible JP-4		---	Limitada 73 °F
Combustible JP-5		---	Limitada 73 °F
Creosota		---	Alta 140 °F
Cresol	$\text{CH}_3 \text{C}_6 \text{H}_4 \text{OH}$	90%	Limitada 73 °F
Cromato de potasio	$\text{K}_2 \text{CrO}_4$	---	Alta 140 °F
Cromato de sodio	$\text{Na}_2 \text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2 \text{O}$	---	Alta 140 °F
Crotonaldehído	$\text{CH}_3 \text{CH}=\text{CHCHO}$	---	---
		Líquido	

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Detergentes (servicio pesado)		---	Alta 140 °F
Dextrina (goma de algodón)		Saturado	Alta 140°F
Dextrosa	$\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6$	Saturado	Alta 140°F
Diclorobenceno	$\text{C}_6 \text{H}_4 \text{Cl}_2$	---	Limitada 120 °F ---
Dicloroetileno	$\text{C}_2 \text{H}_2\text{Cl}_2$	---	Limitada 120 °F ---
Dicloruro de etileno	$\text{C}_2 \text{H}_4 \text{Cl}_2$	Seco	Limitada 73 °F
Dicloruro de propileno	$\text{CH}_3 \text{CHClCH}_2 \text{Cl}$	100%	N
Dicromato de amonio	$(\text{NH}_4)_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$	---	---

Dicromato de potasio	$K_2 Cr_2 O_7$	Saturado	Alta 140°F
Dicromato de sodio	$Na_2 Cr_2 O_7 \cdot 2H_2 O$	Saturado 20% 50%	--- Alta 140 °F ---
Dietanolamina	$(CH_2CH_2OH)_2 NH$	Sólido 20%	---
Dietilamina	$C_4 H_{10} NH$	---	Limitada 120 °F
Dimetilamina	$(CH_3)_2 NH$	---	Limitada 73 °F
Dimetilformamida	$HCON (CH_3)_2$	---	Limitada 120 °F
Dimetilhidrazina	$(CH_3)_2 NNH_2$	---	---
Dioxano	$C_4 H_8 O_2$	---	Alta 140 °F ---
Dióxido de azufre	SO_2	Líquido Gas seco Gas húmedo	---
Dióxido de carbono	CO_2	Seco 100% Húmedo	Alta 140 °F Limitada 120 °F
Disolvente de Stoddard		---	Limitada 73 °F
Disulfuro de carbono	CS_2	---	Alta 140 °F
DowTherm A		---	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Estearato de butilo	$CH_3(CH_2)_{16} COO(CH_2)_3 CH_3$	---	---
Estearato de zinc	$(CH_3(CH_2)_{16} COO)_2 Zn$	---	---
Estireno	$C_6H_5CH=CH_2$	---	Limitada 73 °F
Etanol	$C_2 H_5 OH$	40% 95% Líquido	---
Éter	ROR	---	Limitada 73 °F
Éter n-Dibutilo	$C_4 H_9 OC_4 H_9$	---	Limitada 73 °F
Éter dietílico	$C_4 H_{10} O$	---	Alta 140 °F
Éter etílico	$(C_2 H_5)_2 O$	Líquido	N
Éter isopropílico	$(CH_3)_2 CHOCH(CH_3)_2$	---	Limitada 73 °F
Éter de petróleo		---	---
Etilbenceno	$C_6 H_5 C_2 H_5$	---	Limitada 73 °F
Etilendiamina	$NH_2 CH_2 CH_2 NH_2$	---	Alta 140 °F
Etilenglicol	$OHCH_2CH_2 OH$	Líquido	Alta 140 °F
2-Etilhexanol	$CH_3 (CH_2)_3 CHC_2 H_5 CH_2 OH$	---	Limitada 73 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Fenilhidracina	$C_6 H_5 NHHN_2$	---	Limitada 120 °F
Fenol	$C_6 H_5 OH$	---	Alta 140 °F
		5%	---
		50%	---
		90%	Alta 140 °F
		Sólido	---
Ferricianuro de potasio	$K_3 Fe (CN)_6$	---	Alta 140 °F
Ferricianuro de sodio	$Na_3 Fe (CN)_6 \cdot 2H_2 O$	Saturado	Alta 140 °F
Ferrocianuro de potasio	$K_4 Fe (CN)_6 \cdot 3H_2 O$	---	Alta 140 °F
Ferrocianuro de sodio	$Na_3 Fe (CN)_6 \cdot 10H_2 O$	Saturado	Alta 140 °F
Fluoruro de aluminio anhidro	AlF_3	Saturado	Alta 140 °F
Fluoruro de amonio	$NH_4 F$	10% 25%	Alta 140 °F
Fluoruro de cobre	$CuF_2 \cdot 2H_2 O$	2%	Alta 140 °F

Fluoruro de hidrógeno anhidro	HF	---	---
Fluoruro de potasio	KF	---	Alta 140 °F
Fluoruro de sodio	NaF	---	Alta 140 °F
Fluoruro cúprico	CuF ₂	---	Alta 140 °F
Formaldehído	HCHO	Diluido 35% 37% 50%	Alta 140 °F
Fosfato de amonio (monobásico)	NH ₄ H ₂ PO ₄	Todos	Alta 140 °F
Fosfato de sodio	NaH ₂ PO ₄	Ácido	Alta 140 °F
Fosfato de disodio	Na ₂ HPO ₄	---	Alta 140 °F
Fosfato de sodio	NaH ₂ PO ₄	Ácido	Alta 140 °F
Fosfato de tributilo	(C ₄ H ₉) ₃ PO ₄	---	Limitada 73 °F
Fosfato trisódico	Na ₃ PO ₄ • 12H ₂ O	---	Alta 140 °F
Fosfina	PH ₃	Gas	---
Fósforo rojo Fósforo amarillo		---	Alta 140 °F
Fosfuro de hidrógeno (tipo 1)	PH ₃	---	Alta 140 °F
Freon 11	CCl ₃ F	100%	Limitada 73 °F
Freon 12	CCl ₂ F ₂	100% Coloide	Limitada 73 °F ---
Freon 21	CHCl ₂ F	100%	Limitada 120 °F
Freon 22	CHClF ₂	100%	Limitada 120 °F
Freon 113	C ₂ Cl ₂ F ₃	100%	Limitada 73 °F
Freon 114	C ₂ Cl ₂ F ₄	100%	Limitada 73 °F
Fructosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	Saturado	Alta 140 °F
Ftalato de butilo	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	---	---
Ftalato de dibutilo	C ₆ H ₄ (COOC ₄ H ₉) ₂	---	Limitada 73 °F
Ftalato de dibutoxiétilo	C ₂₀ H ₃₀ O ₆	---	---
Ftalato de dimetilo	C ₆ H ₄ (COOCH ₃) ₂	---	Limitada 73 °F
Ftalato de dioctilo	C ₆ H ₄ (COOC ₈ H ₁₇) ₂	---	Limitada 73 °F
Furfural	C ₄ H ₃ OCHO	100%	Alta 140 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Gas de cloro	Cl ₂	<i>Contenido de humedad</i> 0-20 ppm 20-50 ppm +50 ppm	Limitada 73 °F
Gas de flúor	F ₂	Seco 100% Húmedo	Limitada 73 °F N
Gas de horno de coque		---	Alta 140 °F
Gas natural		---	Alta 140 °F
Gasohol		---	Limitada 73 °F
Gasolina (combustible)		---	---
Gasolina sour		---	Limitada 73 °F
Gasolina con plomo		---	Limitada 73 °F
Gasolina sin plomo		---	Limitada 73 °F
Gelatina		---	Alta 140 °F

Glicerina	$C_3 H_5 (OH)_3$	---	Alta 140 °F ---
Glicol	$OHCH_2 CH_2 OH$	---	Alta 140 °F
Glioxal	$OCHCHO$	---	Alta 140 °F
Glucosa	$C_6 H_{12} O_6 \cdot H_2 O$	---	Alta 140 °F
Grasa		---	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Heptano (tipo 1)	$C_7 H_{16}$	---	Limitada 73 °F ---
n-Hexano	$C_6 H_{14}$	Líquido	---
Hexano terciario (tipo 1)	$CH_3 (CH_2)_4 CH_2 OH$	---	Alta 140 °F
Hidrato de cloral	$CCl_3 CH (OH)_2$	todos	Limitada 120 °F
Hidrazina	$H_2 NNH_2$	---	---
Hidrogeno	H_2	Gas	Alta 140 °F
Hidrógeno sulfito de potasio	$KHSO_3$	10% Saturado	---
Hidroquinona	$C_6 H_4 (OH)_2$	Saturado	Alta 140 °F
Hidróxido de aluminio	$Al (OH)_3$	Saturado	Alta 140 °F
Hidróxido de amonio	$NH_4 OH$	10% 30% Conc.	Alta 140 °F --- ---
Hidróxido de bario	$Ba (OH)_2$	Saturado 10% 30%	Alta 140 °F --- Alta 140 °F
Hidróxido de calcio	$Ca (OH)_2$	0.02 30%	Alta 140 °F ---
Hidróxido de litio	$LiOH$	---	Limitada 120 °F
Hidróxido de magnesio	$Mg (OH)_2$	Saturado	Alta 140 °F
Hidróxido de potasio	KOH	4%	---
		10%	---
		20%	---
		25%	Alta 140 °F
		45%	---
Hidróxido de sodio	NaOH	50%	---
		1%	---
		5%	---
		15%	Alta 140 °F
		30%	Alta 140 °F
		40%	---
		50%	Alta 140 °F
60%	---		
70%	Alta 140 °F		
Hidróxido férrico	$Fe (OH)_3$	Saturado	Alta 140 °F
Hidróxido ferroso	$Fe (OH)_2$	Saturado	Alta 140 °F
Hipoclorito de calcio	$Ca (OCl)_2$	30%	Alta 140 °F
		Saturado	---
Hipoclorito de potasio	KClO	---	Limitada 120 °F
		3%	---
Hipoclorito de sodio	$NaOCl \cdot 5H_2 O$	2% Cl	Alta 140 °F
		12.5% Cl	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Isooctano	$(\text{CH}_3)_3 \text{CCH}_2 \text{CH}(\text{CH}_3)_2$	--- Líquido	Limitada 73 °F ---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Jabones		---	Alta 140 °F
Jarabe de maíz		---	Alta 140 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Látex		---	Alta 140 °F
Lechada de cal		---	Alta 140 °F
Leche		---	Alta 140 °F
Licor blanco		---	---
Licor Kraft		---	Limitada 120°F
Licor negro		Saturado	Limitada 120°F
Licor verde		---	---
Licores		---	Limitada 120°F
Licores de caña de azúcar	$\text{C}_{12} \text{H}_{22} \text{O}_{11}$	---	Alta 140 °F
Licores de remolacha azucarera		---	Limitada 73 °F
Licores de curtición		---	Limitada 120°F
Licores de sulfato (aceite)		6%	---
Licores de sulfito		6%	Alta 140 °F
Ligroin		---	---
Líquido de frenos		---	Alta 140 °F
Líquido lavaplatos (Cascade ®)		---	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Margarina		Coloide	---
Melaza		---	Alta 140 °F
Mercurio	Hg	Líquido	Alta 140 °F
Metacrilato de metilo	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	---	Alta 140 °F
Metafosfato de amonio		Saturado	Alta 140 °F
Metafosfato de sodio	$(\text{NaPO}_3)_n$	---	---
Metano	CH_4	---	Alta 140 °F
Metanol (alcohol metílico)	$\text{CH}_3 \text{OH}$	0.05 Líquido	Alta 140 °F ---
Metil butil cetona	$\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	Líquido	---
Metil cellosolve	$\text{HOCH}_2 \text{CH}_2 \text{OCH}_3$	---	Limitada 120°F
Metil etil cetona	$\text{CH}_3 \text{COC}_2 \text{H}_5$	100%	N
Metil isobutil carbinol	$(\text{CH}_3)_2 \text{CHCH}_2 \text{CH}(\text{CH}_3) \text{OH}$	---	---
Metil isobutil cetona	$(\text{CH}_3)_2 \text{CHCH}_2 \text{COCH}_3$	---	Limitada 73 °F
Metil isopropil cetona	$\text{CH}_3 \text{COCH}(\text{CH}_3)_2$	---	Limitada 73 °F
n-Metil pirrolidona	$\text{C}_5 \text{H}_9 \text{NO}$	100%	---
Metilamina	$\text{CH}_3 \text{NH}_2$	---	---
Monoclorobenceno	$\text{C}_6 \text{H}_5 \text{Cl}$	Tech Pure	Limitada 120°F
Monoetanolamina	$\text{HOCH}_2 \text{CH}_2 \text{NH}_2$	---	---
Monóxido de carbono	CO	Gas	Alta 140 °F
Morfolina	$\text{C}_4 \text{H}_8 \text{ONH}$	---	Alta 140 °F
Mostaza (acuosa)		Coloide	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Nafta		---	Limitada 73 °F
Naftalina	$C_{10}H_8$	---	Limitada 73 °F
Nicotina	$C_{10}H_{14}N_2$	---	Alta 140 °F
Nitrato de aluminio	$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	Saturado	Alta 140 °F
Nitrato de amonio	NH_4NO_3	Saturado	Alta 140 °F
Nitrato de bario	$Ba(NO_3)_2$	Saturado	Alta 140 °F
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2$	---	Alta 140 °F
		50%	Alta 140 °F
		Saturado	---
Nitrato de cobre	$Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$	30%	Alta 140 °F
		50%	---
Nitrato de magnesio	$Mg(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$	---	Alta 140 °F
Nitrato de níquel	$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Saturado	Alta 140 °F
Nitrato de plata	$AgNO_3$	---	Alta 140 °F
		50%	---
Nitrato de plomo	$Pb(NO_3)_2$	Saturado	Limitada 120°F
Nitrato de potasio	KNO_3	---	Alta 140 °F
Nitrato de sodio	$NaNO_3$	Saturado	Alta 140 °F
Nitrato de zinc	$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	---	Alta 140 °F
		Saturado	---
Nitrato férrico	$Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	Saturado	Alta 140 °F
Nitrato ferroso	$Fe(NO_3)_2$	---	Alta 140 °F
Nitrato mercurioso	$HgNO_3 \cdot 2H_2O$	Saturado	Alta 140 °F
		10%	---
Nitrito de sodio	$NaNO_2$	---	Alta 140 °F
Nitrobenceno	$C_6H_5NO_2$	100%	N
Nitroglicerina	$CH_2NO_3CHNO_3CH_2NO_3$	---	Limitada 73 °F
Nitroglicol	$NO_3(CH_2)_2NO_3$	---	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
n-Octano	C_8H_{18}	---	---
Oleato de metoxietilo	$CH_3OCH_2CH_2OOC C_{17}H_{33}$	---	---
Oleum	$xH_2SO_4 \cdot ySO_3$	---	N
Orina		---	Alta 140 °F
Ortofosfato de potasio	H_2KPO_4	Saturado	---
Oxicloruro de aluminio		---	---
Oxicloruro de fósforo	$POCl_3$	Líquido	---
Óxido de calcio	CaO	---	Alta 140 °F
Óxido de difenilo	$(C_6H_5)_2O$	Saturado	Limitada 73 °F
Óxido de etileno	CH_2CH_2O	---	Limitada 73 °F
Óxido de magnesio	MgO	---	---
Óxido de propileno	CH_3CHCH_2O	---	Alta 140 °F
Óxido de zinc	ZnO	---	---
Óxido nitroso	N_2O	---	Limitada 73 °F
Oxígeno	O_2	Gas	Alta 140 °F
Ozono	O_3	---	Limitada 120°F
		Saturado	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Palmitato de sodio	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{14} \text{COONa}$	5%	---
Parafina	$\text{C}_{36} \text{H}_{74}$	---	Alta 140 °F
Pegamento		---	Alta 140 °F
n-Pentano	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_3 \text{CH}_3$	---	Limitada 120°F
Pentóxido de fósforo	$\text{P}_2 \text{O}_5$	---	Alta 140 °F
Perborato de potasio	KBO_3	---	Alta 140 °F
Perborato de sodio	$\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	---	Limitada 73 °F
Perclorato de potasio	KClO_4	---	Alta 140 °F
Perclorato de sodio	NaClO_4	---	Alta 140 °F
Percloroetileno (Tetracloroetileno)	$\text{Cl}_2 \text{C}=\text{CCl}_2$	---	Limitada 120°F
Perfosfato		---	---
Permanganato de potasio	KMnO_4	10%	Alta 140 °F
		20%	---
		25%	Alta 140 °F
		30%	---
		Saturado	---
Peróxido de hidrógeno	$\text{H}_2 \text{O}_2$	3%	---
		10%	---
		30%	---
		50%	Alta 140 °F
		90%	Limitada 73 °F
Peróxido de sodio	$\text{Na}_2 \text{O}_2$	10%	Alta 140 °F
Persulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2 \text{S}_2 \text{O}_8$	---	Alta 140 °F
Persulfato de potasio	$\text{K}_2 \text{S}_2 \text{O}_8$	---	Alta 140 °F
Petróleo crudo		---	Limitada 120°F
Piridina	$\text{N}(\text{CH})_4 \text{CH}$	---	Limitada 73 °F
Pirofosfato de tetrasodio	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	---	---
Plomo tetraetilo	$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$	---	---
Potasa (acuosa)	KOH	Saturado	Alta 140 °F
Potasa cáustica	KOH	50%	Alta 140 °F
Propano	$\text{C}_3 \text{H}_8$	---	Alta 140 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Queroseno		---	Alta 140 °F
Quinona	$\text{C}_6 \text{H}_4 \text{O}_2$	---	Alta 140 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Salicilaldehído	$\text{C}_6 \text{H}_4 \text{OHCHO}$	---	Limitada 120°F
Salmuera		Saturado	Alta 140 °F
Salsa de tomate		---	---
Sebacato de dibutilo	$\text{C}_4 \text{H}_9 \text{OCO}(\text{CH}_2)_8 \text{OCOC}_4 \text{H}_9$	---	Limitada 73 °F
Silicato de sodio	$2\text{Na}_2 \text{O} \cdot \text{SiO}_2$	---	Alta 140 °F
		10%	---
		50%	---
Solución de almidón		Saturado	Alta 140 °F
Soluciones fotográficas		---	Alta 140 °F

Soluciones de revestimiento Latón Cadmio Cromo Cobre Estaño Níquel Oro Plata Plomo Rodio Zinc		---	Alta 140 °F
Sosa cáustica (hidróxido de sodio)	NaOH	40%	Alta 140 °F
Sulfato de aluminio y potasio	$AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	---	---
Sulfato de aluminio y amonio (alumbre)	$AlNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	Saturado	Alta 140 °F
Sulfato de aluminio y potasio (alumbre)	$AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	Saturado	Alta 140 °F
Sulfato de aluminio (alumbre)	$Al_2(SO_4)_3$	Saturado 20%	Alta 140 °F ---
Sulfato de amonio	$(NH_4)_2SO_4$	Saturado 20%	Alta 140 °F ---
Sulfato de bario	$BaSO_4$	Saturado	Alta 140 °F
Sulfato de calcio	$CaSO_4$	---	Alta 140 °F
Sulfato de cobre	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Saturado	Alta 140 °F
Sulfato de cromo y potasio	$CrK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	>10% --- Saturado	--- Limitada 73 °F ---
Sulfato de hidrógeno	H_2SO_3	10%	Alta 140 °F
Sulfato de hidroxilamina	$(NH_2OH)OH_2SO_4$	---	Alta 140 °F
Sulfato de magnesio	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	---	Alta 140 °F
Sulfato de manganeso	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	---	Alta 140 °F
Sulfato de mercurio	$HgSO_4$	Saturado	Alta 140 °F
Sulfato de metilo	$(CH_3)_2SO_4$	---	Alta 140 °F
Sulfato de níquel	$NiSO_4$	Saturado	Alta 140 °F
Sulfato de plata	Ag_2SO_4	---	Alta 140 °F
Sulfato de plomo	$PbSO_4$	---	Limitada 120°F
Sulfato de potasio	K_2SO_4	---	Alta 140 °F
Sulfato de sodio	Na_2SO_4	Saturado 0.10%	Alta 140 °F ---
Sulfato de zinc	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	--- Saturado	Alta 140 °F ---
Sulfato cúprico	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Saturado	Alta 140 °F
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$	--- Saturado	Alta 140 °F ---
Sulfato ferroso	$FeSO_4$	--- 20% Saturado	Alta 140 °F --- ---
Sulfito de hidrógeno de sodio	$NaHSO_3$	50%	---
Sulfito de potasio	$K_2SO_3 \cdot 2H_2O$	---	Alta 140 °F
Sulfito de sodio	Na_2SO_3	Saturado	Alta 140 °F

Sulfuro de amonio	$(\text{NH}_4)_2 \text{S}$	Dilute Saturado	Alta 140 °F
Sulfuro de bario	BaS	Saturado	Alta 140 °F
Sulfuro de cal		---	Limitada 120°F
Sulfuro de hidrogeno	$\text{H}_2 \text{S}$	Seco Húmedo	Alta 140 °F
Sulfuro de hidrógeno y calcio	$\text{Ca} (\text{HS})_2$	>10%	---
Sulfuro de potasio	$\text{K}_2 \text{S}$	---	Alta 140 °F
Sulfuro de sodio	$\text{Na}_2 \text{S}$	Saturado	Alta 140 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Terpineol	$\text{C}_{10} \text{H}_{17} \text{OH}$	---	---
Tetracloroetano	$\text{CHCl}_2 \text{CHCl}_2$	---	Limitada 120°F
Tetracloroetileno	$\text{Cl}_2 \text{C}=\text{CCl}_2$	---	Limitada 120°F
Tetracloruro de carbono	CCl_4	---	Limitada 73 °F
Tetracloruro de titanio	TiCl_4	---	Limitada 120°F
Tetraetil de plomo	$\text{C}_8 \text{H}_{20} \text{Pb}$	---	---
Tetrahidrofurano	$\text{C}_4 \text{H}_8 \text{O}$	---	Limitada 73 °F
Tetralin	$\text{C}_{10} \text{H}_{12}$	---	N
Tintas		---	Alta 140 °F
Tiocianato de amonio	$\text{NH}_4 \text{SCN}$	50 – 60%	Alta 140 °F
Tiosulfato de sodio	$\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2 \text{O}$	50%	Alta 140 °F
Tolueno (toluol)	$\text{CH}_3 \text{C}_6 \text{H}_5$	---	Limitada 120°F
Trementina		---	Limitada 120°F
Triclorobenceno	$\text{C}_6 \text{H}_3 \text{Cl}_3$	---	---
Tricloroetano	$\text{C}_2 \text{H}_3 \text{Cl}_3$	---	---
Tricloroetileno	$\text{CHCl}=\text{CCl}_2$	---	Limitada 120°F
Tricloruro de antimonio	SbCl_3	Saturado	Alta 140 °F
Tricloruro de fósforo	PCl_3	---	Limitada 120°F
Trietanolamina	$(\text{HOCH}_2 \text{CH}_2)_3 \text{N}$	---	Limitada 73 °F
Trietilamina	$(\text{C}_2 \text{H}_5)_3 \text{N}$	---	Limitada 73 °F
Trimetilolpropano	$(\text{CH}_2 \text{OH})_3 \text{C}_3 \text{H}_5$	---	Limitada 120°F
Trióxido de azufre	SO_3	Gas	N

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	10% Saturado	Alta 140 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Vaselina		---	Limitada 120°F
Vinagre		---	Alta 140 °F
Vino		---	Alta 140 °F
Whiskey		---	Alta 140 °F

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Xantato de amilo de potasio	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4 \text{OC}(=\text{S})\text{-S.K}$	---	---
Xantato de etilo de potasio	$\text{KS}_2 \text{COC}_2 \text{H}_5$	---	---
Xileno (xilol)	$\text{C}_6 \text{H}_4(\text{CH}_3)_2$	---	N

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Yodo	I ₂	10%	Limitada 120°F
Yoduro de metileno	CH ₂ I ₂	---	Limitada 120°F
Yoduro de potasio	KI	---	Alta 140 °F
Yoduro de sodio	NaI	---	---

Químico	Fórmula	Concentración	Resistencia del PE
Zumo de frutas		Coloide	---
Zumo de limón		---	Alta 140 °F
Zumo de tomate		---	Alta 140 °F
Zumo de uva		Coloide	---

EXTRUCOL



INTEGRIDAD



EMPATÍA



EXCELENCIA



SOSTENIBILIDAD



COMPROMISO
CON LA VIDA



PASIÓN POR LO
QUE HACEMOS