



SERGECA

TUBERÍAS Y CONEXIONES DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

CATALOGO TÉCNICO

Zona Industrial La Mora, Calle A, Lote C, Parcela N° 4. La Victoria – Edo. Aragua, República Bolivariana de Venezuela
Teléfonos: +58 244 3213620, 3216412, 3218877, 3218855, 3213134 **Fax:** +58 244 3239445
e-mail: ventas@sergeca.com.ve **Internet:** www.sergeca.com.ve

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	1
NUESTROS PRODUCTOS.....	1
TUBERÍAS DE POLIETILENO	1
CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE POLIETILENO	2
APLICACIONES DE LAS TUBERÍAS DE POLIETILENO	4
GESTIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD	8
MATERIA PRIMA	10
PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DE PEAD	17
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS TUBERÍAS DE PEAD	19
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS TUBERÍAS DE PEAD	26
DISEÑO HIDRÁULICO EN TUBERÍAS DE PEAD	28
CONDUCCIONES DE ABASTECIMIENTO	28
TIPOS DE REDES DE ABASTECIMIENTO.....	29
SISTEMAS DE UNIÓN	41
SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN A TOPE.....	41
SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN A ENCAJE	44
SOLDADURA POR ELECTROFUSIÓN	46
UNIÓN MEDIANTE ACCESORIOS MECÁNICOS	49
MANEJO Y ALMACENAMIENTO.....	50
MANEJO	50
ALMACENAMIENTO.....	51
INSTALACIÓN	51
TRAZADO.....	51
SISTEMAS DE INSTALACIÓN	52
SISTEMA DE INSTALACIÓN CON APERTURA DE ZANJA (TRADICIONAL)	52
SISTEMA DE INSTALACIÓN NO ENTERRADA O AÉREA	56
SISTEMA DE REHABILITACIÓN POR FRACTURA (PIPE BURSTING)	59
PRUEBAS	59
PRUEBAS DE PRESIÓN INTERIOR	60

PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

SERGECA es una empresa de capital venezolano fundada en el año 1974 con la finalidad de fabricar tuberías plásticas para el sector agrícola e industrial. Desde entonces, apoyados en la constante inversión en equipos y tecnología, la calidad de sus productos y su talento humano, **SERGECA** se ha desarrollado hasta convertirse en una empresa líder en suministro de tuberías de polietileno en el mercado nacional, extendiéndose a los sectores de la construcción, hidrológico, petrolero y gasífero.



En **SERGECA** somos especialistas en la fabricación de tubería de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) para la conducción de agua y gas doméstico, garantizando la calidad de nuestros productos y prestando asesoría en la instalación y servicio de postventa.

NUESTROS PRODUCTOS

TUBERÍAS DE POLIETILENO

SERGECA fabrica tubería de polietileno de alta densidad para agua y gas doméstico siguiendo lo establecidos en las Normas Venezolanas **COVENIN 3833** y **COVENIN 3839** respectivamente. Actualmente **SERGECA** comercializa tuberías de Polietileno con diámetros externos nominales desde 12 mm hasta 500 mm y presiones hasta de 300 PSI.¹



La presentación de la tubería varía de acuerdo su diámetro externo según se indica a continuación²:

Rollos de 100 mts de longitud: para tuberías con diámetros externos desde 12 mm hasta 110 mm.

Tubos de 12 mts de longitud: para tuberías con diámetros externos desde 125 mm hasta 500 mm.

¹ **SERGECA** está en capacidad de elaborar otros tipos de tubería según requerimientos especiales de los clientes.

² Presentaciones diferentes pueden ser realizadas según requerimientos especiales.

CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE POLIETILENO



El uso de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) presenta grandes ventajas con respecto a otros materiales alternativos, entre las que podemos destacar las siguientes:

Atoxicidad: Las tuberías de PEAD no contienen hierro ni sustancias tóxicas siendo totalmente inodoras, insípidas y atóxicas. Estas características hacen que estas tuberías sean ideales para la conducción de agua potable.

Durabilidad: Por ser el PEAD un material resistente a la agresión de los suelos y las aguas, las tuberías del mismo poseen una gran durabilidad: se considera vida útil de 50 años³.

Baja pérdida de carga: La característica lisa de su pared interna permite el flujo de mayores volúmenes de fluido que otras tuberías fabricadas de otros materiales. Asimismo, las paredes lisas dificultan la formación de depósitos, incrustaciones o adherencias.

Flexibilidad y elasticidad: Su alta flexibilidad permite su fácil instalación en superficies rugosas y terrenos sinuosos. Asimismo, esta característica hace que las tuberías de PEAD posean un excelente comportamiento sísmico.

Resistencia a la abrasión: El PEAD es un material resistente a la abrasión producida por las partículas sólidas transportadas en los fluidos, partículas que tienen la capacidad de erosionar las tuberías.

Resistencia a la corrosión: Las tuberías fabricadas con PEAD son ideales para ser usadas en zonas cuyos ambientes sean altamente corrosivos (*costas, lechos marinos, etc.*).

Resistencia a agentes químicos: El PEAD es material resistente a una gran cantidad de sustancias químicas lo cual hace que las tuberías puedan ser instaladas en ambientes altamente agresivos.

Bajo peso: El bajo peso de las tuberías de PEAD, facilitan su transporte, manipulación, tendido e instalación.

³ Esta información no es una garantía de producto dado que **SERGECA**, no ejerce control sobre todos los aspectos que se presentan en la instalación y demás factores que puedan afectar directamente el desempeño y la vida útil del producto. Esta condición es consecuencia de la designación del compuesto de polietileno empleado en su fabricación de acuerdo con la norma ISO 12162 "Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications - Classification and designation - Overall service (design) coefficient", con base en los resultados del análisis de regresión descrito en la norma ISO 9080 "Hydrostatic Stress Rupture Data to Determine the Longterm Hydrostatic Strength of Thermoplastics Pipe Materials".



SERGECA

Resistencia al impacto: Su material puede soportar altos impactos externo, incluso son difíciles de dañarse cuando los terrenos ceden.

Baja conductividad térmica: La baja conductividad térmica del polietileno hace que las tuberías de PEAD tengan una gran capacidad de aislamiento térmico.

Resistencia a la congelación: Aunado a su capacidad aislante, la flexibilidad de las tuberías de PEAD hace que las mismas tengan una gran resistencia a la congelación. En el caso que el agua se congele en el interior de la tubería, el aumento del volumen del agua no provocará la rotura gracias a la flexibilidad de la tubería.

Baja conductividad eléctrica: La estructura no polar del Polietileno hace que las tuberías de este material no sean conductoras y por tanto sean un excelente aislante eléctrico.

Reciclable: El polietileno es un polímero reciclable, lo cual permite que las tuberías accesorios fabricados de este material sean reutilizados y convertidos en otros productos como: sillas, juguetes, recipientes, etc.

Bajo impacto ambiental: Aparte de ser reciclables, la unión de los tramos de las tuberías de PEAD realizadas por medio de uniones de termofusión o electrofusión son totalmente monolíticas, impidiendo la contaminación del agua conducida, la erosión de los suelos y el hundimiento de vías debido a filtraciones.

Resistencia a la intemperie y medio ambiente: Están protegidas contra la degradación que causan los rayos UV, ya que contienen negro de humo⁴. Esto permite que las tuberías de PEAD puedan ser instaladas a la intemperie.

Baja permeabilidad a los gases: El bajo coeficiente de permeabilidad hace que las tuberías de PEAD sean aptas para la conducción de gases como el gas natural.

Uniones y ensamblaje: Las conexiones y soldadura a topes usadas en la instalación de tuberías de PEAD permiten una rápida y sencilla unión de los sistemas y accesorios.

Resistencia bacteriana: El polietileno no sufre por el efecto de ningún tipo de agresión microbiana, ni propicia la aparición de bacterias, hongos, etc. De igual manera el polietileno no es afectado por el ataque de las potenciales bacterias reductoras de sulfatos que pueda haber en el terreno natural.



⁴ Aditivo / colorante usado en la producción de tuberías de color negro.

APLICACIONES DE LAS TUBERÍAS DE POLIETILENO

AREA SANITARIA

Transporte de agua potable: La característica de atoxicidad, flexibilidad y resistencia (*entre otras*) del PEAD hacen que las tuberías de este material sean ideales para su utilización en acueductos y sistemas de transporte de agua potable. Su facilidad de instalación, bajo mantenimiento y alta durabilidad hacen de las mismas una alternativa económica en la ejecución de este tipo de proyectos.



Conducción de aguas servidas: La flexibilidad inherente de este tipo de tubería permite su adaptación al perfil del terreno, haciendo posible su instalación a una profundidad mínima. Asimismo, su resistencia a la corrosión y abrasión le otorga una larga duración. Por esta razón la tubería de PEAD es ampliamente utilizada para este fin y, especialmente, cuando existe una larga distancia entre la fuente y las plantas de tratamiento y/o el terreno de la misma es de difícil geografía.

Emisarios submarinos: El problema de la contaminación de las playas hace necesario el manejo de los residuos en forma adecuada. Las tuberías PEAD, por sus características, son el material apropiado para el transporte de residuos al fondo del mar.



Conducciones subacuáticas enterradas: Con las tuberías PEAD no son necesarios los costosos elementos prefabricados de adaptación al perfil del fondo, denominados "cuellos de cisne", dada su flexibilidad natural, se amoldan perfectamente por sí mismas a las irregularidades del terreno.



Las conducciones subacuáticas enterradas se utilizan como:

- Tuberías de presión, por ejemplo, para agua potable.
- Tuberías de nivel libre, por ejemplo, para aguas residuales.
- Tuberías para la protección de cables.





Conducción de desagües: El reducido peso de las tuberías de PEAD facilita el ensamblaje de los diferentes elementos en la obra, lo que permite alcanzar un alto grado de prefabricación. Asimismo, el bajo peso de la tubería, hace posible que la misma se mantenga a flote sobre el agua, lo que permite que puedan instalarse tramos *sobre el agua*.

Canalizaciones: Las técnica de soldadura a tope utilizada en las tuberías de PEAD hacen que las uniones de las mismas sean totalmente herméticas, impidiendo que los fluidos transportados (*como aguas residuales de zonas industriales, aguas servidas a presión*) puedan fugarse y contaminar el suelo y/o las aguas subterráneas.



AGRICULTURA

Riego por aspersión: El reducido peso de las tuberías de PEAD y la facilidad de colocación de sus accesorios hace que el número de operarios requeridos para su instalación sea mínimo. Además de esto, la flexibilidad y facilidad para enrollado, permite tener sistemas de riego por aspersión móviles ⁵.

Asimismo, su resistencia a la corrosión ocasionada por agentes químicos y/o orgánicos hace que esta no sea atacada por los agentes químicos provenientes de los pesticidas y fertilizantes utilizados en las actividades agrícolas, de igual manera su resistencia a los rayos UV, proporcionan una alta durabilidad cuando son usadas a la intemperie⁶.



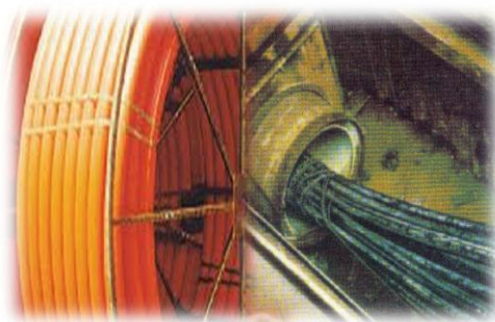
⁵ Las aplicaciones son principalmente en diámetros hasta 110 mm., sólo esporádicamente se usan tuberías mayores a este diámetro.

⁶ Entre otras actividades agrícolas las tuberías de PEAD también son usadas en el transporte de agua para bebederos de animales y riego menor en zonas áridas.

Riego por goteo: Debido a la alta resistencia de las tuberías de PEAD a la oxidación y, la baja pérdida de carga por fricción ayudan a disminuir la probabilidad de falla de otros elementos del sistema como filtros y goteros.



INDUSTRIA EN GENERAL



Protección de cables eléctricos y de telecomunicaciones: El uso de tubería de PEAD para la conducción de cables eléctricos, telefónicos y fibra óptica es cada vez más creciente, la resistencia a la corrosión de los suelos de las tuberías de PEAD hacen que la misma le brinde una excelente protección de los mismos. Aunado a esto, la flexibilidad y bajo peso de la tubería facilitan su instalación y por ende los costos asociados a esta.

Transporte de gases: Las tuberías de PEAD, por su baja permeabilidad de gases y su alta resistencia al impacto así como su elevada resistencia a los residuos aromáticos y otros componentes de los hidrocarburos, aunado su fácil tendido y unión, dan excelentes resultados para redes de abastecimiento de gas natural y otros tipos de gases.

De acuerdo a las normas existentes (*DIN 19630*), las tuberías PEAD pueden utilizarse en todas las conducciones de gas que alcancen una presión máxima de servicio de 4 Kg/cm².



Transporte de sólidos: Debido a su alta resistencia al desgaste, a la presión y su escasa pérdida por fricción, las tuberías de PEAD permiten la conducción y transporte de sólidos como: harinas, granos, arena, minerales en suspensión, piedras, etc.

Minería: Explotar una mina significa penetrar las aguas



SERGECA

freáticas, causando el ingreso de aguas subterráneas, lo cual es un riesgo y molestia para las operaciones e implica el uso de tuberías para evacuar las mismas. Asimismo, una mina es un área muy corrosiva, y las tuberías de acero tienen un ciclo de vida útil limitado en estas condiciones, por lo cual reemplazadas con tuberías PEAD, el cual no sólo resiste prácticamente todos los elementos corrosivos de la industria minera, sino que, además estas tuberías pueden operar en rangos de temperatura que van desde los -40°C a 60°C y presiones de hasta de 300 PSI.

Las tuberías PEAD se utilizan por ejemplo en las siguientes instalaciones:

- Plantas de flotación.
- Plantas de lixiviación.
- Plantas de biolixiviación.
- Plantas de extracción por solventes.
- Plantas de tratamientos de carbón.
- Refinerías electrolíticas.
- Plantas de cianuración.
- Conducción de petróleos y gases.
- Plantas de obtención de yodo.
- Transporte hidráulico de relaves



Instalaciones Industriales: Dada las características de durabilidad y resistencia de las tuberías de PEAD, estas tienen una gran aplicación en la industria bien sea para la conducción de gases, líquidos o sólidos.



GESTIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD

Desde sus inicios en el año 1974 la Calidad y Eficiencia en los procesos han estado en el enfoque de **SERGECA**. En este sentido y, con la finalidad de asegurar el cumplimiento con las normas de Calidad exigidas para la fabricación de tubería de PEAD, y por lo tanto el desempeño de las mismas, **SERGECA** cuenta con un laboratorio dotado con todos los equipos e instrumentos⁷ necesarios para la ejecución de las pruebas requeridas.

Asimismo, la constante búsqueda de la mejora continua, soportada por nuestro Sistema de Gestión de la Calidad (*basado en las Norma ISO 9000*), nos han permitido obtener distintos reconocimientos tales como: la marca **NORVEN**⁸ (*Sello Oficial de Calidad que otorga el estado Venezolano*) en el año 1989, la Certificación **FONDONORMA**⁹ en el año 2002 para tuberías de Agua y Gas, y la aprobación **INTEVEP** (*ente evaluador de PDVSA*). Todas estas certificaciones y aprobaciones obtenidas a través de la evaluación e inspección directa de los diferentes entes certificadores, avalan la solidez de nuestros procesos y la Calidad de nuestros productos.

Como parte de este sistema, todas las materias primas y tuberías fabricadas por **SERGECA** pasan a través de un estricto Control de Calidad, durante el cual le son practicados los siguientes ensayos:

Pruebas de la materia prima: Las propiedades físicas y químicas del polietileno de alta densidad son garantizadas por el fabricante **PEQUIVEN**, sin embargo, en la recepción, el lote es sometido a ensayos en nuestros laboratorios para comprobar la densidad, fluidez y estabilidad térmica. Una vez el lote ha sido aprobado el mismo podrá ser utilizado en la fabricación.

Pruebas de producto terminado:

Control de dimensiones: Consiste en un monitoreo continuo de espesores utilizando tornillos micrométricos y medidores por ultrasonido. Además, se cortan probetas para realizar mediciones adicionales para verificar Diámetro, Espesor, Ovalidad, etc.

Inspección visual: Durante el proceso de producción se verifican los atributos visuales (*rayas, marcas de agua, incrustaciones, concha de naranja, etc.*), comprobando el cumplimiento de las especificaciones.



⁷ Estos equipos cuentan con los certificados de calibración efectuado por el Fondo para el Desarrollo Metrológico SENCAMER

⁸ Sello NORVEN 1774 para Agua y NORVEN 1977 para Gas

⁹ Certificado FONDONORMA FM 094 para Tubería de Agua, Certificado FONDONORMA FM 095 para Tubería de Gas

Prueba de presión hidrostática: Esta es la prueba principal en el ensayo de tuberías y accesorios en la cual se verifica que la tubería resiste la presión para la cual fue fabricada. Para realizar esta prueba se preparan probetas que se someten a presión y temperatura según lo establecido en la Norma COVENIN N° 526.



Prueba de resistencia a la tracción: Se cortan y realizan probetas sacadas del tubo, las cuales son sometidas al ensayo de tracción para determinar el estiramiento y la tensión al punto de fluencia, verificando que dichos resultados cumplan con lo requerido en la Norma COVENIN N° 527.

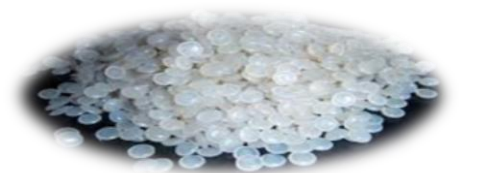
Estabilidad dimensional: En una muestra de tubo se realizan marcas y se calientan por un tiempo determinado. Al enfriarse la muestra se realiza una nueva medición verificando que la variación esté dentro de lo establecido en la Norma COVENIN N° 521.



Pruebas Químicas: Aunque el fabricante de materia prima proporciona una lista del comportamiento del polietileno de alta densidad (PEAD) frente a distintos agentes químicos, también pueden realizarse, en caso de ser necesario y a solicitud del cliente, pruebas específicas con la sustancia a transportar en la cual se somete a la tubería a la temperatura máxima de trabajo esperada a fin de evaluar su comportamiento frente a dicha sustancia.

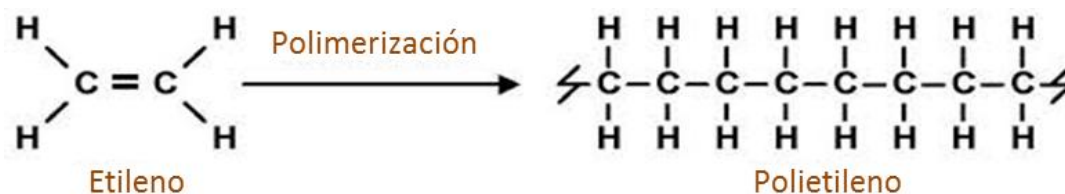
MATERIA PRIMA

Polietileno de alta densidad (PEAD): El Polietileno es un termoplástico obtenido de la polimerización del etileno perteneciente a la familia de los polímeros conformado por unidades repetitivas de etileno.



Proceso de obtención Polietileno de alta densidad: A través de un proceso de síntesis, el etileno, el hidrógeno, los catalizadores y el hexano son introducidos en reactores de agitación, generando una pasta de polímero en hexano. Posteriormente, mediante un proceso de centrifugación y secado, se separa el polímero del hexano. Removido el hexano, el polvo de Polietileno es mezclado con aditivos y extruido para llevarlo a la forma granulada. El producto es finalmente secado, homogeneizado y empacado.

Figura 01: Síntesis del Etileno



Propiedades químicas del material: Las tuberías PEAD poseen excelentes propiedades químicas por ser insolubles en todos los solventes orgánicos e inorgánicos. El PEAD sólo es atacado a la temperatura ambiente y en el transcurso del tiempo por oxidantes muy fuertes (H_2SO_4 concentrado, HNO_3 concentrado y agua regia).

Los halógenos en estado libre (*cloro, bromo, etc.*), a temperatura ambiente forman polietileno halogenado con desprendimiento de haluro de hidrógeno. La estructura del material no queda destruida, pero cambian las propiedades físicas y químicas.

Elementos que no deben ser transportados en tuberías HDPE son: Tetracloruro de carbono, Bisulfito de carbono, Cloroformo, Flúor, Ozono, Trióxido de sulfuro, Cloruro de thionil, Tolueno, Xileno y Tricloroetileno.

Tabla 1: Resistencia del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) a los agentes químicos¹⁰

SIGNOS CONVENCIONALES		
Resistente	X	Hinchamiento < 3% ó pérdida de peso < 0.5% Alargamiento de desgarre sin alteración apreciable
Resistente bajo determinadas condiciones	/	Hinchamiento 3-8% o pérdida de peso 0.55% y/o disminución del alargamiento de desgarre < 50%
No Resistente	-	Hinchamiento > 8% o pérdida de peso > 5% y/o disminución del alargamiento de desgarre
Decoloración	D	Decoloración

MEDIO	20 °C	60 °C
Aceite de coco	X	/
Aceite de linaza	X	X
Aceite de parafina	X	X
Aceite de semillas de maíz	X	/
Aceite de silicona	X	X
Aceite diesel	X	/
Aceite de husos	X	/
Aceite de transformadores	X	/
Aceites etéreos	/	/
Aceite minerales	X	X
Aceite vegetales y animales	X	X
Acetaldehído gaseoso	X	/
Aceite de amilo	X	X
Acetato de butilo	X	/
Acetato de etilo	/	-
Acetato de plomo	X	X
Acetona	X	X
Acido acético 10%	X	X
Acido acético 100% glacial	X	/ D
Acido adipínico	X	X
Acido benzolsulfónico	X	X
Acido benzoico	X	X
Acido bórico	X	X
Acido bromhídrico 50%	X	X

MEDIO	20 °C	60 °C
Acido butírico	X	/
Acido carbónico	X	X
Acido cianhídrico	X	X
Acido cítrico	X	X
Acido clorhídrico (cualquier concentración)	X	X
Acido cloroacético mono	X	X
Acido clorosulfónico	-	-
Acido crómico 80%	X	- D
Acido dicloroacético 50%	X	X
Acido dicloroacético 100%	X	/ D
Acido esteárico	X	/
Acido fluorhídrico 40 %	X	/
Acido fluorhídrico 70 %	X	/
Acido fluorsilícico acuoso (hasta 32%)	X	X
Acido fórmico	X	
Acido fosfórico 25%	X	X
Acido fosfórico 50%	X	X
Acido fosfórico 95%	X	/ D
Acido ftálico 50%		X
Acido glicólico 50%	X	X
Acido glicólico 70%	X	X
Acido láctico	X	X
Acido maléico	X	X
Acido málico	X	X

- ¹⁰ - Los resultados obtenidos después de 55 días, en probetas de 50 x 25 x 1 mm.
 - Los datos mostrados buscan dar una orientación del comportamiento del material frente a los diferentes agentes químicos. Sin embargo, no proporcionan indicación suficiente sobre el comportamiento del polietileno para determinadas aplicaciones o condiciones de uso.
 - Para obtener con mayor precisión la resistencia de las tuberías a bajo presión y condiciones de trabajo, resulta necesario someter las probetas de las mismas a ensayos de presión interna permanente, utilizando el agente químico a verificar.

MEDIO	20 °C	60 °C
Acido monocloraacético	X	X
Acido nítrico 25%	X	X
Acido nítrico 50%	/	-
Acido oleico (concentrado)	X	/
Acido oxálico (50%)	X	X
Acido perclórico 20%	X	X
Acido perclórico 50%	X	/
Acido perclórico 70%	X	- D
Acido propiónico 50%	X	X
Acido propiónico 100%	X	/
Acido silícico	X	X
Acido succínico 50%	X	X
Acido sulfhídrico	X	X
Acido sulfúrico 10%	X	X
Acido sulfúrico 50%	X	X
Acido sulfúrico 80%	X	X
Acido sulfúrico 98%	/	-
Acido sulfuroso	X	X
Acido tánico 10%	X	X
Acido tartárico	X	X
Acido tricloroacético 50%	X	X
Acido tricloroacético 100%	X	/
Acido aromático	X	X
Acidos grados (> C6)	X	/
Acrilnitrilo	X	X
Agua de cloro (desinfección de tuberías)	X	
Agua de mar	X	X
Agua oxigenada 30%	X	X
Agua oxigenada 100%	X	
Agua regia	-	-
Alcanfor	X	/
Alcohol alélico	X	X
Alcohol bencílico	X	X
Alcohol etílico	X	X
Alcohol furfurílico	X	X D
Almidón	X	X

MEDIO	20 °C	60 °C
Alumbre	X	X
Amoniaco, gaseoso 100%	X	X
Benceno	/	/
Benzoato sódico	X	X
Bicromato potásico 40%	X	X
Bisulfito sódico (diluido en agua)	X	X
Borato potásico (acuoso hasta 1%)	X	X
Bórax (cualquier concentración)	X	X
Amoniaco, liquido 100%	X	X
Anhídrido acético	X	/ D
Anhídrido sulfúrico	-	-
Anhídrido sulfuroso húmedo	X	X
Anhídrido sulfuroso seco	X	X
Anilina pura	X	X
Anisol	/	-
Azufre	X	X
Bromato potásico (acuoso hasta 10%)	X	X
Bromo	-	-
Bromuro potásico	X	X
Butanol	X	X
Butanotriol	X	X
Butilglicol	X	X
Butoxilo	X	/
Carbonato sódico	X	X
Cera de abejas	X	/
Cerveza	X	X
Cetonas	X	X
Cianuro potásico	X	X
Ciclohexano	X	X
Ciclohexanol	X	X
Ciclohexanona	X	/
Clorhidrina de glicerina	X	X
Clorito sódico 50%	X	/
Clorobenceno	/	-
Cloroetanol	X	X D
Cloroformo	/	-

MEDIO	20 °C	60 °C
Cloro gaseoso, húmedo	/	-
Cloro gaseoso, seco	/	-
Cloro, líquido	-	-
Cloruro amónico	X	X
Cloruro de cinc	X	X
Cloruro de calcio	X	X
Cloruro de etileno dicloroetano	/	/
Cloruro de mercurio sublimado	X	X
Cloruro de metileno	/	/
Cloruro de sulfurilo	-	
Cresol	X	X D
Cromato potásico (acuoso 40%)	X	
Decahidronaftalina	X	/
Detergentes sintéticos	X	X
Dextrina (acuosa saturada al 18%)	X	X
Dibuléter	X	-
Diclorobenceno	/	-
Dicloroetano	/	/
Dicloroetileno	-	-
Dietileter	X	/
Disobutilcetona	X	/
Dimetilformamida 100%	X	X
Dioxano	X	X
Emulsionantes	X	X
Esencia de trementina	X	/
Espermaceti	X	/
Esteres alifáticos	X	X

MEDIO	20 °C	60 °C
Etilhexanol	X	X
Fenol	X	X d
Flúor	-	-
Fluoruro amónico (acuoso hasta 20%)	X	X
Formaldehido 40%	X	X
Formamida	X	X
Fosfato de tributilo	X	X
Fosfatos	X	X
Ftalato de dibutilo	X	/
Gases industriales conteniendo ácido carbónico (cualquier concentración)	X	X
Gases industriales conteniendo ácido clorhídrico (cualquier concentración)	X	X
Gases industriales conteniendo ácido fluorhídrico (Trazas)	X	X
Gases industriales conteniendo ácido sulfúrico (Húmedo en cualquier concentración)	X	X
Gases industriales conteniendo anhídrido (Sulfuroso a baja concentración)	X	X
Gases industriales conteniendo óxido de carbono	X	X
Gases industriales conteniendo vapores nitrosos	X	X
Gasolina	X	X
Ester etílico del ácido monocloroacético	X	X
Ester metílico del ácido dicloroacético	X	X
Ester metílico del ácido monocloroacético	X	X
Eter	X	/
Eter de petróleo	X	/
Cloruro de aluminio anhidro	X	X
Cloruro de bario	X	X
Eter isopropílico	X	-
Etilendiamina	X	X
Etilglicol	X	X

MEDIO	20 °C	60 °C
Gelatina	X	X
Glicerina	X	X
Glicol (concentrado)	X	X
Glucosa	X	X
Grasa de desecador	X	/
Halothan	/	/
Hidrato de hidracina	X	X
Hidrocarburo fluorado	/	-
Hidrógeno	X	X
Hidróxido de bario	X	X
Hidróxido sódico (solución 30%)	X	X
Hipoclorito sódico 12% de cloro activo	/	-
Hipoclorito de calcio	X	X
Isooctano	X	/
Isopropanol	X	X
Jarabe simple	X	X
Jugos de fruta	X	X
Lejía para blanquear al cloro (12% de cloro activo)	/	-
Levadura, en agua	X	X
Melaza	X	X
Mentol	X	/
Mercurio	X	X
Mermelada	X	X
Metanol	X	X
Metilbutanol	X	/
Metiletilcetona	X	/
Metilglicol	X	X
Morfolina	X	X
Nafta	X	/
Hidróxido de potásico (solución 30%)	X	X
Naftalina	X	/
Nitrato amónico	X	X
Nitrato de plata	X	X
Nitrato potásico	X	X
Nitrato sódico	X	X
Nitrobenceno	X	/

MEDIO	20 °C	60 °C
O-nitrotolueno	X	/
Octilcresol	/	-
Oleum	-	-
Oxícloruro de fósforo	X	/ D
Ozono	/	-
Ozono de (solución acuosa)	X	
Pentóxido de fosforo	X	X
Permanganato potásico	X	X D
Petróleo	X	/
Piridina	X	/
Poligligoles	X	X
Potasa cáustica	X	X
Propanol	X	X
Propilenglicol	X	X
Pulpa de fruta	X	X
Sales de cobre	X	X
Sales de níquel	X	X
Sebo	X	X
Seudocumeno	/	/
Silicato sódico	X	X
Silicato soluble	X	X
Soles salinos saturados	X	X
Soluciones para hilar viscosa	X	X
Soda cáustica	X	X
Sulfato amónico	X	X
Sulfato de aluminio	X	X
Sulfato magnésico	X	X
Sulfatos	X	X
Sulfuro amónico	X	X
Sulfuro de carbono	/	
Sulfuro sódico	X	X
Tetrabromuro de acetileno	/	-
Tetracloroetano	X	-
Tetracloruro de carbono	/	-
Tetrahidrofurano	X	-
Tetrahidronaftalina	X	/

MEDIO	20 °C	60 °C
Tintura de yodo (DAB 7)	X	/ D
Tiofeno	/	/
Tiosulfato sódico	X	X
Tolueno	/	-
Tricloroetileno	/	-
Tricloruro de antimonio	X	X
Tricloruro de fosforo	X	/

MEDIO	20 °C	60 °C
Trietanolamina	X	X
Tween 20 y 80 altas chemicals	X	X
Urea	X	X
Vapores de bromo	/	
Vaselina	X	/
Vinagre (concentración corriente)	X	X
P-xileno	* /	-

Propiedades físicas del Polietileno de Alta Densidad (Venelene 6100M): Es un material de aplicación típica en: tuberías para acueductos, gas, riego, drenajes, entre otros. Este material cumple con los requisitos para ser considerado PE80 (*Norma ISO 9080*) y con la clasificación 345444A (*Norma ASTM D3350*)

Tabla 2: Propiedades físicas y mecánicas PEAD (Venelene 6100M)¹¹

PROPIEDAD	ASTM ¹²	UNIDADES	VALOR TÍPICO ¹²
Índice de fluidez (190°C - 2.16 Kg.)	D 1238	dg/min	0,12
Densidad	D 792	g/cm ³	0,9530
Módulo en Flexión	D 790	MPa	950
Esfuerzo en flexión al 5% de deformación	D 790	MPa	13
Esfuerzo de fluencia en tensión	D 638	MPa	23
Esfuerzo de ruptura en tensión	D 638	MPa	30
Deformación hasta ruptura	D 638	%	> 1500
Tenacidad	D 638	MPa	300
Resistencia al impacto Gardner	D 3019	KJ/m	12
Temperatura de reblandecimiento Vicat	D 1525	°C	128
ESCR ¹³ (F 50 / 10% Igepal)	D 1693	horas	> 1000
Tiempo de Inducción Oxidativa (OIT) a 200 °C	TR 10837	min	> 20
Coefficiente medio de dilatación lineal entre 20 °C y 90 °C	D 396	m/m °C	2 x 10 ⁻⁴
Conductividad térmica a 20 °C	DIN 52612	w/m K	0.4

Propiedades físicas del Polietileno de Alta Densidad (Venelene 7700): Es un material de aplicación típica en: tuberías para acueductos, redes de distribución de gas, y drenajes, entre otros. Especialmente aditivado para soportar las condiciones de procesamiento y

¹¹ Datos tomados de la hoja técnica del producto Venelene 6100 suministrada por la empresa Polinter. SERGECA. declina toda responsabilidad por resultados obtenidos por el uso de esta información. Este producto está registrado en el M.S.A.S. de Venezuela y cumple con los requisitos de la F.D.A. para el contacto con alimentos, incluyendo aplicaciones de cocción.

¹² Las normas COVENIN equivalentes a las ASTM utilizadas son las siguientes: Densidad Covenin 461-96; Índice de fluidez Covenin 1152-93; Propiedades mecánicas Covenin 1357-79.

¹³ ESCR: Resistencia al agrietamiento en medios tensoactivos.

prolongar la vida útil a la intemperie. Este material cumple con los requisitos para ser considerado PE100 (*Norma ISO 9080*) y con la clasificación 346546A (*Norma ASTM D3350*).

Tabla 3: Propiedades físicas y mecánicas PEAD (Venelene 700M)¹¹

PROPIEDAD	ASTM ¹¹	UNIDADES	VALOR TÍPICO ¹²
Índice de fluidez (190°C - 2.16 Kg.)	D 1238	dg/min	0.045 / 13.0
Densidad	D 792	g/cm ³	0,9495
Módulo en Flexión	D 790	MPa	950
Esfuerzo en flexión al 5% de deformación	D 790	MPa	15
Esfuerzo de fluencia en tensión	D 638	MPa	26
Esfuerzo de ruptura en tensión	D 638	MPa	30
Deformación hasta ruptura	D 638	%	> 1500
Tenacidad	D 638	MPa	300
Resistencia al impacto Gardner	D 3019	KJ/m	9
Temperatura de reblandecimiento Vicat	D 1525	°C	128
ESCR ¹³ (F 50 / 10% Igepal)	D 1693	horas	> 1000
PENT	F 1473	horas	> 150
Tiempo de Inducción Oxidativa (OIT) a 200 °C	TR 10837	min	> 20
Coeficiente medio de dilatación lineal entre 20 °C y 90 °C	D 396	2 x 10 ⁻⁴	m/m °C
Conductividad térmica a 20 °C	DIN 52612	0.4	w/m K

Permeabilidad del PEAD a los gases ¹⁴: La permeabilidad de los gases es muy baja, para una pared de 50 micrones de grosor, el coeficiente de permeabilidad específico a 20 °C ¹⁵ es:

Tabla 4: Permeabilidad de los gases¹⁶

GASES	(cm ³ / cm * S mbar) * 10 ¹²
Aire	2.4
Gas Natural	5.6
O ₂	7.0
H ₂	21.0
SO ₂	50.0
CO ₂	18.0
N ₂	2.0
CH ₂	6.0

S = Espesor de pared

¹⁴ Al quemarse las tuberías PEAD desprenden CO, CO₂, H₂O, pero ningún gas nocivo.

¹⁵ Resultados suministrados por el fabricante, **SERGECA** no se responsabiliza por resultados prácticos diferentes a los mostrados

¹⁶ La permeabilidad de los gases a través de una pared de un tubo plástico se mide mediante la primera Ley de Fick,

Masterbatch: Sistema de coloración y aditivación de polímeros mediante la dosificación de un concentrado de colorantes, pigmentos y/o aditivos dispersados en la matriz polimérica, que actúa como vehículo para dicho concentrado (*en nuestro caso específico polietileno*). Dicho colorante, mezclado con el polímero base (*polietileno*) durante el proceso de transformación, lo colorea y/o le confiere propiedades específicas, como por ejemplo protección UV requerida por las tuberías de agua y gas.



Tabla 5: Propiedades físicas del Masterbatch Negro de Humo ¹⁷

PROPIEDAD	VALOR TÍPICO
Concentración de pigmentos y aditivos	30 ± 2 %
Toxicidad (Vehículo PEAD)	Ninguna
Solidez a la luz (Pigmento)	8 (Alta)
Solidez a la migración (Pigmento)	5 (Alta)
Densidad (Vehículo PEAD)	0.925 g/ml
Índice de fluidez (Vehículo PEAD)	20 g / 10 MIN
Nota de dispersión	0 – 3.5
Resistencia térmica	Excelente

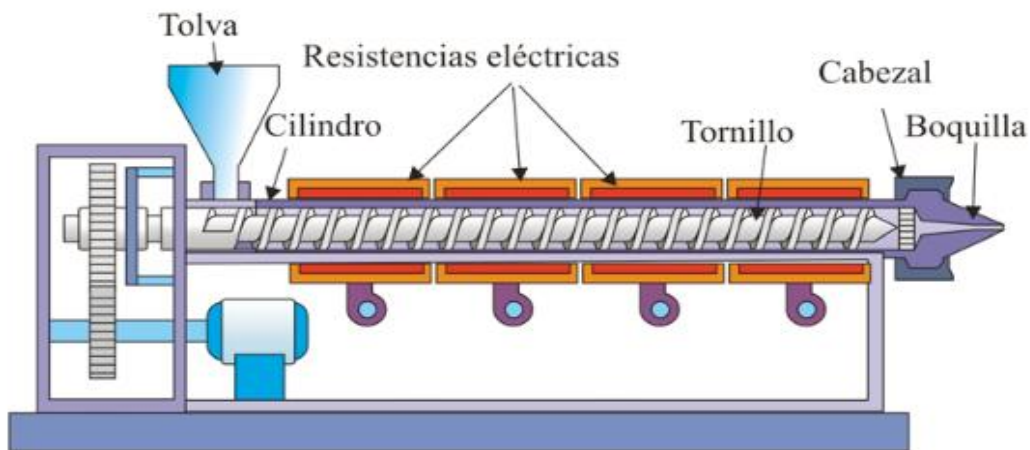
PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DE PEAD

La fabricación de tuberías de PEAD se lleva a cabo a través de un proceso de extrusión. En términos generales, el proceso de extrusión es la operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un artículo de sección transversal constante y, en principio, longitud indefinida. (*en la figura 02, puede observarse los equipos que componen una línea de extrusión de tubería*).

El proceso inicia con el mezclado de los componentes (*PEAD y Masterbatch*). Una vez realizado el mezclado de dichos componentes, la extrusora es alimentada a través de la tolva donde se inicia el proceso de extrusión propiamente dicho. Una extrusora dispone de un sistema de alimentación del material, un sistema de fusión-plastificación del mismo, el sistema de bombeo y presurización, y finalmente, el dispositivo para dar lugar al conformado del material fundido. La siguiente figura muestra una representación esquemática de una extrusora de husillo único.

¹⁷ Resultados suministrados por el fabricante, **SERGECA** no se responsabiliza por resultados prácticos diferentes a los mostrados

Figura 02: Esquema extrusora



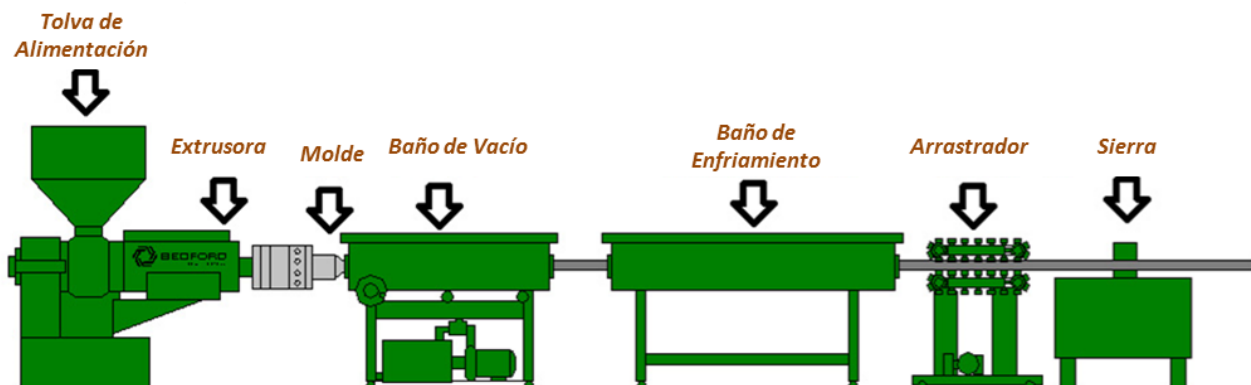
En la extrusora el dispositivo de fusión-plastificación, bombeo y mezclado está constituido por un tornillo que gira en el interior de un cilindro calentado, generalmente mediante resistencias eléctricas. En la parte del cilindro más alejada de la tolva se acopla un cabezal cuya boquilla de salida tiene el diseño adecuado para que tenga lugar el conformado del producto y a través del cual es forzado el material ya fundido.

Una vez el material fundido ha pasado por el molde (*o boquilla*) se realiza el dimensionamiento del perfil tubular del mismo, el cual se logra utilizando el método de vacío. Este método consiste en hacer pasar el tubo a través de una cámara de vacío herméticamente cerrada y llena de agua. A medida que el tubo avanza dentro de esta cámara, el mismo se expande contra un conjunto de calibradores que determinan el diámetro externo del tubo. La fuerza expansiva generada por el vacío previene el colapso del tubo y permite que el éste se amolde a las dimensiones del calibrador.

Inmediatamente, al salir de la cámara de vacío, el tubo pasa a un baño de enfriamiento en el cual, utilizando agua, se realiza un intercambio de calor y se reduce la temperatura del mismo estabilizando sus dimensiones. Una vez enfriado el tubo, éste es halado por el arrastrador, el cual no sólo tiene la función de mover el tubo a través de la línea, sino que, la sincronización de este con la extrusora influye en la homogeneidad del tubo y su espesor.

Seguidamente, el tubo ya entra en la última etapa del proceso, en donde utilizando un equipo de sierra, el tubo será cortado de acuerdo a la longitud requerida y, según sea su diámetro y presentación, será bobinado o dejado en tubos rectos.

Figura 03: Esquema línea de extrusión

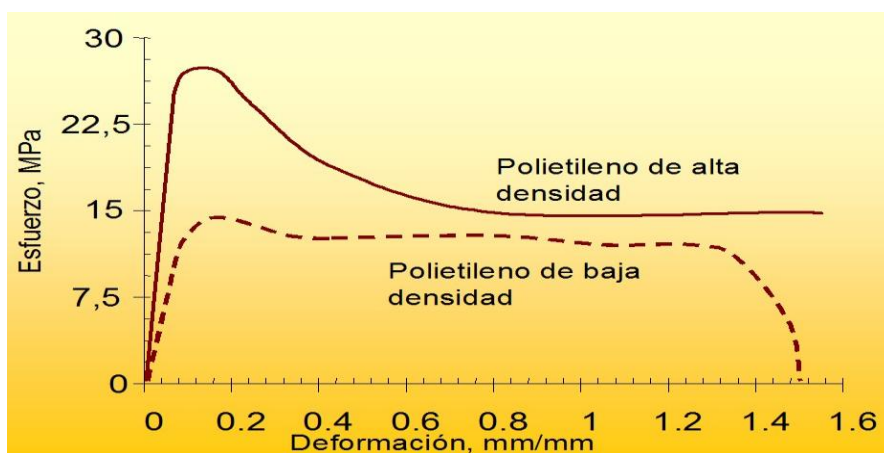


CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS TUBERÍAS DE PEAD

COMPORTAMIENTO ANTE LOS ESFUERZOS DE TRACCIÓN

El polietileno es un material viscoelástico que presenta la característica de ir plastodeformándose con el tiempo a temperatura ambiente y bajo una carga relativamente reducida. Cuando deja de actuar esta última, las piezas recuperan más o menos su forma original, según haya sido la magnitud de la carga y el tiempo durante el cual ha actuado. La deformación recuperable corresponde al componente elástico, y la permanente, al plástico. Por ello hay que tener en cuenta que las características mecánicas de un componente de material plástico dependen de tres variables fundamentales: tiempo, temperatura y esfuerzo.

Gráfico 01: Ejemplo Curva tensión-deformación en el ensayo de tracción del polietileno



En pequeñas deformaciones el polietileno se comporta de forma elástica recuperando en gran medida sus dimensiones iniciales y son aplicables las leyes de Hook. Llegado el punto de máxima deformación elástica se *produce una deformación plástica irreversible sin aumento de tensión en la sección*.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN CIRCUNFERENCIAL

La resistencia a la tracción circunferencial de una tubería puede entenderse como la capacidad para resistir esfuerzos de tracción derivados de la acción de la presión interior. La resistencia a la tracción de los tubos de PEAD se mide a través del parámetro conocido como Tensión Mínima Requerida, MRS. Los tipos de PEAD utilizados para la fabricación de tubos se clasifican según su MRS¹⁷, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6: Tensión mínima requerida

	P 80	P 100
LCL¹⁸ (N/mm²)	8.00 – 9.99	10.00 – 11.19
MRS (N/mm²)	8.0	10.0

La siguiente tabla indica los valores¹⁹ para el coeficiente de diseño “C” utilizado en el dimensionado de la tubería de PEAD.

Tabla 7: Tensión de diseño resultante σ_s^{20} (N/mm²)

C	P 80	P 100
1.25	6.3	8.0
1.60	5.0	6.3
2.00	4.0	5.0
2.50	3.2	4.0
3.20	2.5	3.2

En las conducciones para el transporte de agua a presión (*abastecimientos*) el mínimo coeficiente recomendado¹⁷ es de 1.25, y para las de gas doméstico es 2.00.

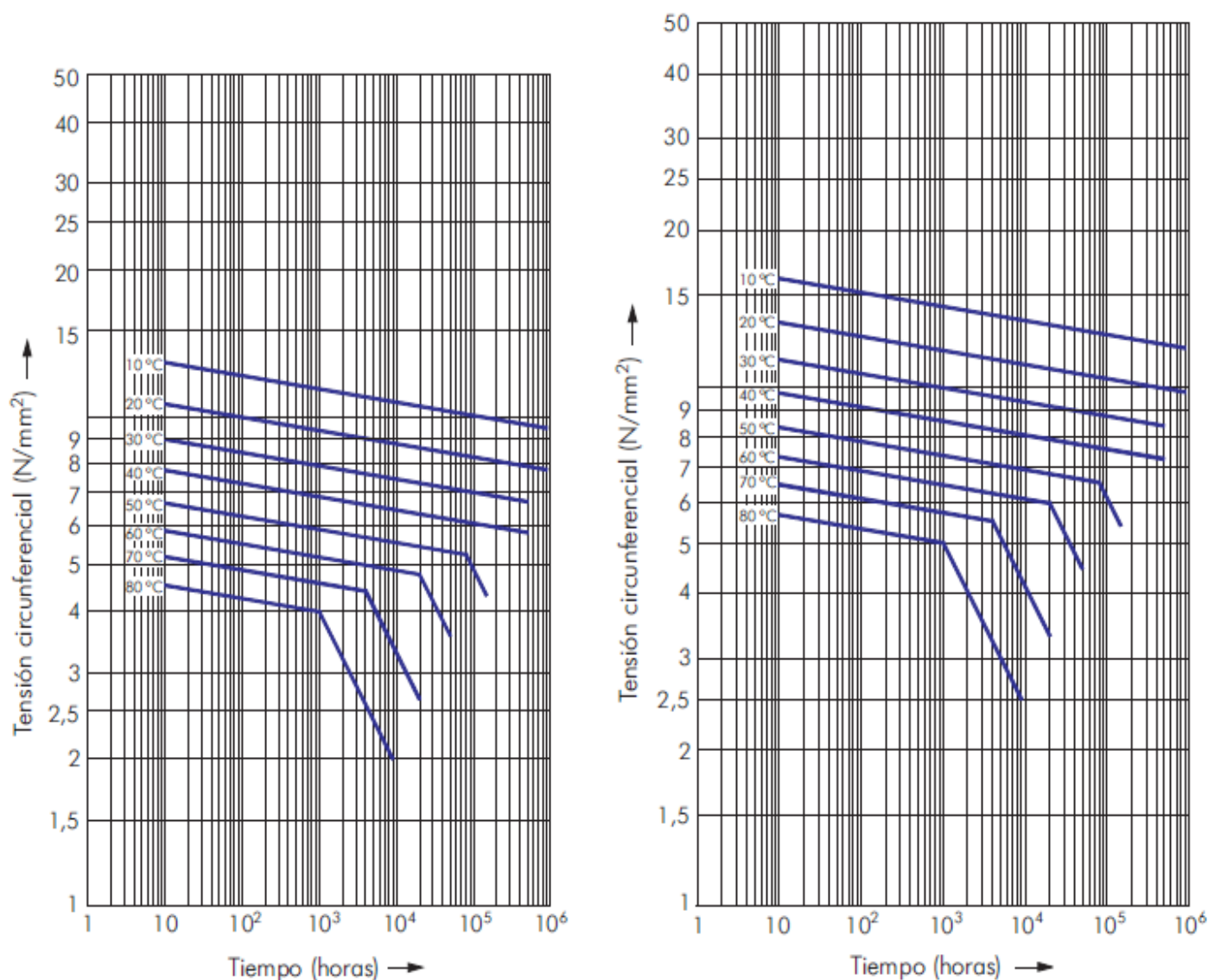
¹⁸ **Límite inferior de confianza (LCL):** Cantidad, expresada en MPa, que puede considerarse como una propiedad de un material, y que representa el límite inferior de confianza al 97,5% de la resistencia hidrostática a largo plazo prevista para el agua a 20 °C durante 50 años.

¹⁹ Normas UNE-EN

²⁰ **Tensión de diseño (σ_s):** Tensión a tracción admisible del material. Se determina dividiendo la tensión mínima requerida (MRS) por un coeficiente de seguridad (C) denominado “coeficiente de diseño”.

Los valores normalizados del LCL y MRS son los que se estima tendrá el material a largo plazo (50 años). Para determinar la resistencia que el material tendrá a lo largo del tiempo se realizan ensayos a diferentes temperaturas (20 °C, 40 °C, 60 °C y 80 °C)²¹, durante periodos de tiempo, obteniéndose las curvas de regresión o de referencia que relacionan las tres variables de: resistencia del material, tiempo y temperatura.

Gráfico 02: Curvas de Referencia



²¹ Según la metodología recogida en la Norma UNE-EN ISO 9080 (equivalente a Norma ASTM F 1759-97)

MÓDULO DE ELASTICIDAD

La elasticidad de un material es la propiedad mecánica que permite que éstos sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores, en este sentido, se dice que un material es elástico cuando la deformación que sufre ante la acción de una fuerza cesa al desaparecer la misma. Sin embargo, los materiales elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima (*es lo que se conoce como límite elástico*), por lo cual, si se mantiene la aplicación de dicha fuerza y se sobrepasa este límite, la deformación del material es permanente y sus propiedades cambian. Asimismo, si la fuerza que se aplica sobre el material supera las fuerzas internas de cohesión, el material se fisura, generando la rotura del mismo.

Para el caso específico del polietileno, cuando éste es sometido a una tensión muy alta durante escasos segundos, como es el caso de las acciones puntuales del tráfico o del golpe de ariete, ofrece un módulo de elasticidad muy alto en esos primeros momentos, lo que significa un excelente comportamiento del PE ante los efectos puntuales evitando su deformación o rotura.

Gráfico 03: Módulo de elasticidad a corto plazo, E50, en función de la temperatura en los tubos de PE

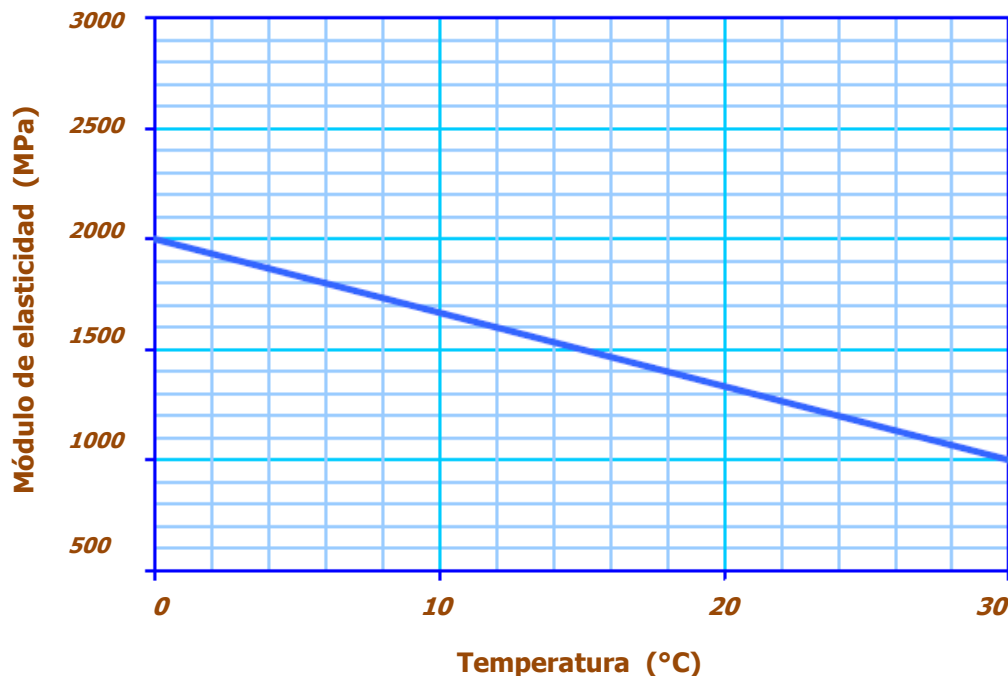


Tabla 8: Comparación del valor del módulo de elasticidad del PAED frente a materiales alternativos

		MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	
		Corto Plazo	Largo Plazo
MATERIAL	PEAD	800 - 1100	130 - 160
	PVC	3000	1750
	PP	1200 - 1800	450 - 460
	PRFV	3.9×10^4	10^4
	Hormigón	$2 \times 10^4 - 4 \times 10^4$	
	Fundición	1.7×10^5	
	Acero	2.1×10^5	

ALARGAMIENTO EN LA ROTURA

El alargamiento o elongación es una magnitud que mide el aumento de longitud que tiene un material cuando se le somete a un esfuerzo de tracción antes de producirse su rotura. Esta magnitud se expresa como un valor porcentual (%) medido con respecto a la longitud inicial, el alargamiento en la rotura en los tubos de PE es, como mínimo, del 350 %, variando con la temperatura conforme se indica en la siguiente gráfica.

Gráfico 04: Alargamiento en la rotura en los tubos de PEAD en función de la temperatura

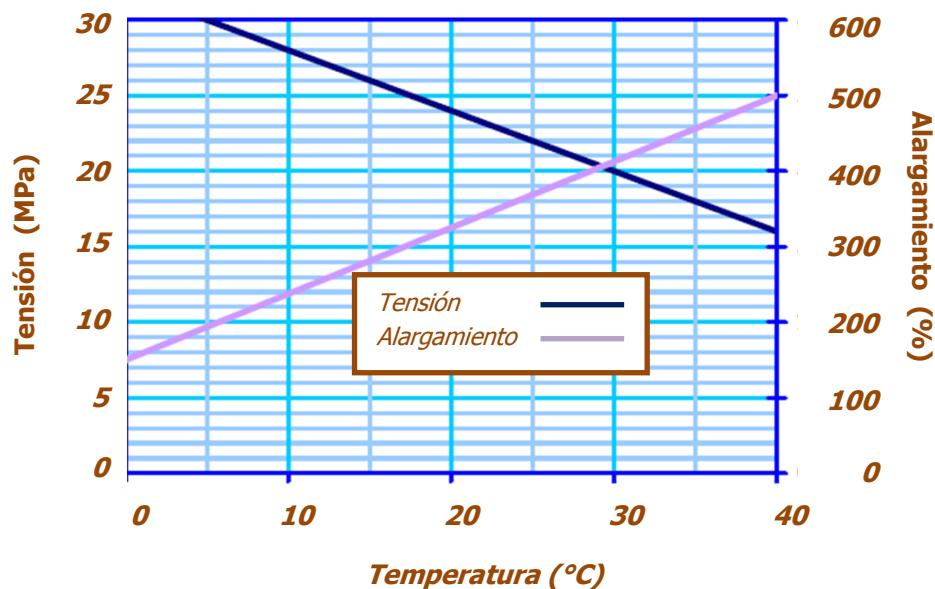


Tabla 9: Comparación de los valores de alargamiento en la rotura del PEAD frente a materiales alternativos

	ALARGAMIENTO (%)
PEAD	>350
PVC	≥ 80
Fundición	5 - 10
Acero	10 - 24

FLEXIBILIDAD

Esta es una de las propiedades más características de las tuberías de polietileno y la cual determina gran parte de sus propiedades técnicas, esta permite que los tubos se adapten muy bien a las condiciones de instalación particulares de cada caso en concreto. Además, una vez la tubería es instalada, si se producen posteriores movimientos, asentamientos o desplazamientos del terreno, el tubo no sufre tensiones superficiales por lo cual se adapta fácilmente a la nueva topografía ²².

La flexibilidad de las tuberías de polietileno hace posible que estas puedan ser instaladas curvándolas en frío, sin necesidad de emplear accesorios. Los radios de curvatura máximos se pueden calcular aproximadamente con las siguientes fórmulas:



Para presiones nominales bajas ²³

$$R_c = \frac{Rm^2}{(0.28) \times e}$$

R_c = Radio de curvatura

Rm = Radio de la tubería en milímetros

e = Espesor de la tubería en milímetros

Simplificadamente, también pueden adoptarse los radios de curvatura máximos que se indican a continuación (a 20 °C y en función de la presión nominal y del tipo de polietileno):

²² Video de comportamiento sísmico disponible en www.sergeca.com.ve

²³ Tomada del "Manual Técnico de Polietileno" de Luis Balairón Pérez

Tabla 10: Radios máximos de curvatura admisibles

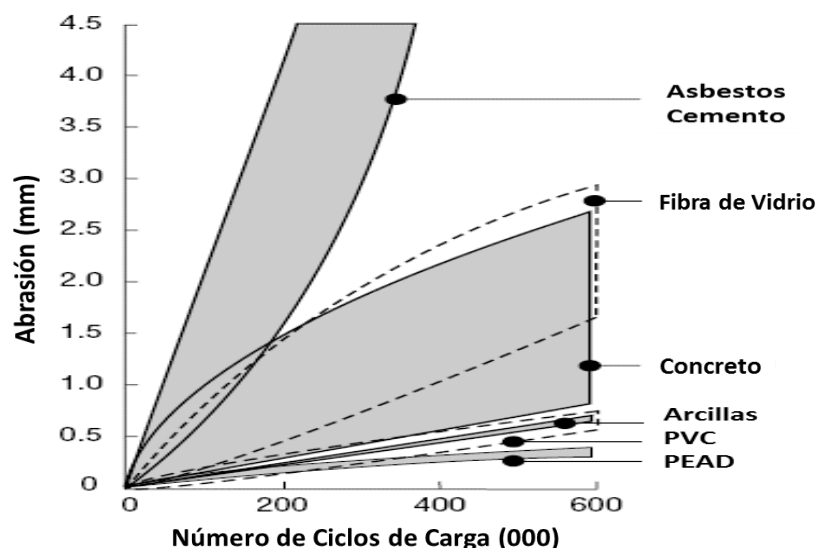
PSI	P 80	P 100
4	30 x DN	30 x DN
6	20 x DN	50 x DN
10	20 x DN	20 x DN
16	20 x DN	20 x DN
20	20 x DN	20 x DN
25	20 x DN	20 x DN

Nota: Si la instalación se realizase a 0 °C, estos radios de curvatura se incrementarían 2,5 veces; entre 0 °C y 20 °C el radio de curvatura admisible puede determinarse por extrapolación lineal.

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

La superficie interior de los tubos de PE es altamente resistente a la potencial abrasión generada por las partículas en suspensión que pueda llevar el agua transportada. Esta propiedad es de gran importancia sobre todo en el caso de conducción de aguas residuales.

Gráfico 05: Estimación de la resistencia a la abrasión de la superficie interior de una conducción²⁴



²⁴ Los ensayos para cuantificar la resistencia a la abrasión de la superficie interior de un tubo de PEAD, consisten en someter a una probeta de un metro de longitud extraída de un tubo de DN 300 a lentos movimientos de vaivén (con una frecuencia de 0,18 Hz) conteniendo una mezcla de agua y un 46% de volumen de grava y arena con un grano máximo de 30 mm.

RESISTENCIA A LA PROPAGACIÓN DE FISURAS

Esta propiedad representa la facilidad con la que una fisura (*por ejemplo, la producida por un golpe accidental*) puede propagarse a lo largo de una tubería. El riesgo de propagación rápida de una fisura se eleva cuando aumentan el diámetro, el espesor o la presión.

El polietileno, gracias a su bajo módulo de elasticidad, es muy resistente a impactos bruscos o a elevadas tensiones instantáneas. Incluso a muy bajas temperaturas, las tuberías de polietileno resisten golpes e impactos sin problemas de fisura. Esta característica reduce las posibilidades de rotura frágil a temperatura ambiente. Asimismo, la deformidad e inalterabilidad a bajas temperaturas protegen a la tubería de roturas frágiles por impacto o ciclos de carga y descarga.

Nota: La resistencia a la propagación rápida de fisuras (RCP o stress cracking) es una de las propiedades más importantes en las tuberías de polietileno de alta densidad, tanto más importante cuanto más peligroso sea el fluido transportado.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS TUBERÍAS DE PEAD

DENSIDAD

Las tuberías de PEAD son ligeras, con una densidad comprendida entre 0,93 y 0,96 g/cm³, por lo que flotan en el agua y son fáciles de transportar y manejar. Tal valor de densidad (*menor que la del agua*) hace que en el diseño de instalaciones enterradas con el nivel freático elevado, deba tenerse en cuentas medidas ante la posible flotabilidad de los tubos.

La densidad (*junto a la masa molecular y a su distribución*) es una de las propiedades que más influye en las características del polietileno. En concreto, el efecto de la densidad sobre las principales propiedades de las tuberías puede resumirse en la siguiente tabla:

Tabla 11: Efecto del aumento de la densidad sobre las propiedades de las tuberías de PEAD

PROPIEDAD	VALOR TÍPICO
Rigidez	Aumenta
Dureza	Aumenta
Resistencia a la tracción	Aumenta
Alargamiento	Disminuye
Temperatura de reblandecimiento	Aumenta
Resistencia al choque a bajas temperaturas	Disminuye
Resistencia a los productos químicos	Aumenta
Permeabilidad	Disminuye

COMPORTAMIENTO ANTE LA TEMPERATURA

El coeficiente lineal de dilatación térmica del PEAD oscila entre 0,17 y 0,22 mm/m·°C. Este valor implica que, en instalaciones que sufran importantes variaciones en la temperatura ambiente, las tuberías de PEAD sufrirán elongaciones importantes, aunque por otra parte, la flexibilidad del material hace que sea capaz de absorberlas sin que aparezcan tensiones apreciables a lo largo de la extensión.

Asimismo, los tubos de PEAD (*como en la mayoría de los plásticos*) tienen una buena capacidad de aislamiento térmico. En concreto, el coeficiente de conductividad térmica del PEAD oscila entre 0,35 y 0,37 kcal/m · °C. Este buen aislamiento térmico reduce el riesgo de rotura frágil en caso de heladas y bajas temperaturas. Efectivamente, en caso de helarse el agua del interior de una tubería de PEAD, el aumento de volumen provocaría un incremento de diámetro, sin que llegara a romperse, recuperando después del deshielo el diámetro original, por lo tanto, es esta capacidad elástica del material la que hace que los tubos de PEAD soporten condiciones mucho más desfavorables que otros materiales.

RESISTENCIA A LAS RADIACIONES

Las tuberías de PEAD resisten, en principio, radiaciones de alta energía, y de hecho se utilizan para la conducción de aguas radiactivas a alta temperatura procedentes de laboratorios y como conductos de refrigeración de las centrales nucleares. La mayoría de las aguas residuales radiactivas contienen rayos beta y gamma.

Nota: Las tuberías de PEAD no se vuelven radiactivas con el paso de los años si durante su utilización no reciben una dosis de radiación superior a 10 kJ/kg uniformemente distribuida.

COMPORTAMIENTO FRENTE A LA ACCIÓN DEL FUEGO

La combustibilidad del polietileno de alta densidad es normal, prende al aplicar una llama, arde con llama poco brillante, incluso después de apartarla, y desprende gotas de material inflamado. Como ocurre con los hidrocarburos, desprende CO, CO₂ y agua, pero sin residuos corrosivos o perjudiciales para el medio ambiente. Su temperatura de autoinflamación es de 348 °C, y la de inflamación, 340 °C.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

El polietileno de alta densidad no conduce la electricidad, pues es un aislante eléctrico, lo que evita que un sistema eléctrico pueda ser conectado a tierra a través de una tubería de PEAD. No son nunca necesarias protecciones catódicas ni son de esperar reacciones electrolíticas que

provoquen corrosión por efectos de potenciales eléctricos diferenciales. Las tuberías de PEAD, en consecuencia, no requieren en ningún caso protecciones contra corrientes galvánicas.

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

El coeficiente de rugosidad de un material es fundamental en el diseño hidráulico de una conducción.

El bajo coeficiente de rugosidad del PEAD le permite a este tipo de tuberías transportar más caudal de agua a igualdad de sección que un tubo de cualquier otro material. Por otra parte, el carácter inalterable del polímero, la baja rugosidad y la baja reactividad química del polietileno impiden la formación de incrustaciones de cualquier tipo en la tubería, y en consecuencia, el volumen de sedimentaciones calcáreas o incrustaciones en las tuberías de PEAD es muy inferior al observado en tuberías de otros materiales, no produciéndose reducciones de sección con el paso del tiempo. Esta característica garantiza la invariabilidad del coeficiente de rugosidad de la tubería con el paso del tiempo, por lo tanto no es necesario considerar posibles aumentos en las pérdidas de carga respecto a las calculadas en primera instancia por reducción de la sección interior de paso.

DISEÑO HIDRÁULICO EN TUBERÍAS DE PEAD

El diseño hidráulico de una tubería tiene por objeto principal la determinación del diámetro de la misma. A continuación se especifican unos criterios básicos que deben seguirse en el diseño hidráulico de una conducción según se trate de redes de abastecimiento de agua urbanas (*a presión*) o de saneamiento (*en lámina libre*), pues son los empleos más frecuentes de las conducciones de PEAD.

CONDUCCIONES DE ABASTECIMIENTO

Los condicionantes básicos del diseño hidráulico de una red de abastecimiento (*cuyo funcionamiento es, en cualquier caso, bajo presión hidráulica interior*) son el caudal requerido y la presión exigida en los terminales de la red.

Una variable que tiene una gran incidencia en el diseño de la red es su estructura, de manera que, atendiendo a este criterio, las redes para el abastecimiento de agua potable pueden ser ramificadas o malladas, si bien existen también redes mixtas en las que puede haber tramos ramificados y tramos de red mallada.

TIPOS DE REDES DE ABASTECIMIENTO

- 1. Redes ramificadas o abiertas:** son aquellas en las que, a partir de un origen del agua (*un depósito o un embalse*), las conducciones van bifurcándose en dos o más tuberías, las cuales vuelven a hacer lo mismo después, y así sucesivamente. En ellas sólo hay un camino posible para el abastecimiento de agua desde el origen hasta el punto de suministro, de manera que, para una situación definida de consumos en los nudos, pueden calcularse los caudales circulantes por las tuberías sin más que aplicar la ecuación de continuidad, es decir, el caudal circulante por una conducción es igual a la suma de los consumos en los nudos situados aguas abajo de la misma. Lo típico de estas redes es que tienen un gran número de puntos terminales y en cada uno de los cuales hay, o puede haber, una toma o acometida de agua.
- 2. Redes malladas:** tienen todas sus tuberías interconectadas entre sí, de manera que el agua puede llegar a un punto siguiendo varios caminos, al contrario que en las anteriores redes ramificadas, en las que el agua sólo llega a cada punto siguiendo un camino único. En consecuencia, en las redes malladas los caudales circulantes por las conducciones no quedan definidos aplicando las ecuaciones de continuidad, sino que es necesario para definirlos, además, aplicar las ecuaciones de equilibrio de la malla.
- 3. Redes mixtas:** corresponderían a diseños que contienen tramos de red mallada y tramos de red ramificada. Por ejemplo, es frecuente en redes ramificadas disponer algún anillo de refuerzo para mejorar o equilibrar las presiones o aumentar la dotación de alguna zona concreta, si bien esto suele ser casi siempre una práctica realizada sobre redes existentes en las que, por el motivo que sea, hay alguna insuficiencia en el suministro de agua.

Nota: Las redes ramificadas, en principio, tienen un diseño hidráulico más sencillo que las malladas, aunque sólo sea por el hecho de que los caudales de cada tramo quedan fijados de manera unívoca. Además, resultan más económicas que las malladas, pues la longitud total de conducciones a instalar es menor.

Las redes malladas, por su parte, presentan una mayor seguridad o garantía en el suministro, pues aun en el caso de rotura de una tubería, se puede seguir dando servicio a la casi totalidad de los usuarios gracias a la interconexión existente entre todas las conducciones (*siempre que existan suficientes válvulas de corte que permitan aislar un sector relativamente poco importante*). En una red ramificada, por el contrario, la rotura de una conducción deja sin servicio a todos los tramos que estén aguas abajo.

En las redes malladas, además, las pérdidas de carga que se producen son menores y no se presentan estancamientos del agua, lo que redundaría en una mejor calidad de suministro.

CÁLCULO DE CAUDALES

La determinación de los caudales en los puntos de consumo se hace a través de la consideración de unas dotaciones de cálculo, entendiendo por éstas el volumen medio diario de agua a suministrar por cada habitante. Se expresa habitualmente en litros por habitante y día, variando fundamentalmente en función del número de habitantes y del nivel socioeconómico. No obstante, otros factores de los que dependen las dotaciones de agua para abastecimientos urbanos pueden ser los siguientes:

- La forma de urbanización y el tamaño de la ciudad.
- La importancia de las actividades industriales y comerciales en el núcleo urbano.
- Las condiciones climáticas.
- La calidad del agua (*si es buena, los consumos serán mayores*).
- El régimen tarifario empleado.
- El estado de la red de abastecimiento y saneamiento.

El caudal punta Q_p de diseño de la red de abastecimiento suele calcularse a través de la siguiente expresión, en función del caudal medio Q_m :

$$Q_p = 2.25 Q_m$$

Nota: El caudal punta tiene por finalidad considerar la variabilidad de los consumos a lo largo de las horas del día, de los días del mes y de los meses del año.

Es frecuente considerar que el día punta del año consume 1,5 veces lo del día medio y en ese día, en la hora máxima, se consume 1,5 veces lo que la hora media. Ello quiere decir que la punta máxima del año es de $1,5 \times 1,5 = 2,25$ veces el consumo medio anual.

CÁLCULO DE PRESIONES

El segundo condicionante básico en el diseño de las redes de abastecimiento es la presión. La presión disponible en cada punto de la red es variable y depende del nivel del agua en los depósitos reguladores y del consumo instantáneo (*el cual hace variar las pérdidas de carga*). En cualquier caso, lo acostumbrado es establecer la misma entre unos valores máximos y mínimos, en este sentido, la presión máxima en las redes de distribución urbana se suele fijar en 60 m.c.a. (*metro de columna de agua*²⁵) equivalente a 85.32 PSI. En cuanto a la presión mínima, en la siguiente tabla se indican las mismas en función del número de pisos de un edificio²⁶.

²⁵ 1 m.c.a. = 1.422 PSI

²⁶ Equivalente, aproximadamente, a añadir 15 m a la altura sobre la calle del techo de la planta más elevada.

Tabla 12: Presiones mínimas recomendadas en redes de distribución urbanas

NÚMERO DE PISOS	M.C.A.	PSI
1	19	27.02
2	22	31.28
3	26	36.97
4	29	41.24
5	32	45.50
6	36	51.19
7	39	55.46
8	42	59.72
9	45	63.99
10	49	69.68

Nota: La diferencia entre la presión máxima en la red (*aprox. 85.32 PSI*) y la mínima (*sugerida en la tabla*) es la pérdida de carga máxima disponible en el cálculo de la red. Esto implica que habitualmente no es posible abastecer con la sola presión de la red edificios de más de 8 ó 9 pisos (dada la pérdida de carga), por lo cual los edificios más altos necesitan sus propios grupos de bombeo que suplementen la presión y cuyo cálculo es ajeno a la red.

A partir de los valores antes establecidos para las presiones máximas y mínimas se diseña la red para las dos hipótesis siguientes:

- a) Consumo mínimo: la presión en todos los puntos debe ser inferior a la máxima (*85.32 PSI*).
- b) Consumo máximo: la presión en todos los puntos debe ser superior a la mínima (*según tabla*).

Además de las anteriores hipótesis de funcionamiento normal, debe también garantizarse el diseño de la conducción en situaciones excepcionales como las siguientes:

- Incendios: ante la eventualidad de un incendio, funcionando un cierto número de hidrantes (*complementariamente a los caudales máximos*), es admisible que el agua en la red tenga menos presión que los valores mínimos.
- Averías: una de las ventajas de las redes malladas es que ante la eventual rotura de alguna de las tuberías de alguna de las mallas, aislando el tramo afectado mediante el cierre de válvulas, puede darse servicio al resto de población, ya que se reajustan los caudales circulantes, aumentando los de los restantes tramos. Esto produce mayores pérdidas de carga, disminuyendo las presiones disponibles, que, no obstante, deben seguir siendo razonablemente suficientes para seguir dando provisionalmente el servicio hasta que la avería se repare.

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

La pérdida de carga total (ΔH) en una conducción será la suma de las pérdidas de carga continuas (ΔH_c) y las localizadas (ΔH_l), las cuales se deben calcular conforme lo explica la siguiente fórmula:

$$\Delta H = \Delta H_c + \Delta H_l$$

Pérdidas de carga continuas: Las pérdidas de carga continuas (*por unidad de longitud*), J , deben calcularse, en general, mediante la fórmula universal de Darcy-Weisbach ²⁷:

$$J = \frac{\Delta H_c}{L} = \frac{f}{ID} \times \frac{v^2}{2g}$$

J = Pérdida de carga debido a la fricción (m)
 f = Factor de fricción de Darcy (adimensional)
 L = Longitud de la tubería (m)
 ID = Diámetro interno de la tubería (m)
 v = Velocidad media del fluido (m/s)
 g = Aceleración de la gravedad $\approx 9,80665 \text{ m/s}^2$

A su vez, independientemente de cuál sea la rugosidad hidráulica de la tubería, el cálculo del coeficiente de pérdida de carga por unidad de longitud, f , es, en principio, recomendable calcularlo mediante la expresión de Colebrook-White ²⁸:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{k}{3.75ID} \right) + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right]^2}$$

f = Factor de fricción de Darcy (adimensional)
 ID = Diámetro interno de la tubería (m)
 k = Rugosidad de la tubería (m)
 Re = Número de Reynolds (adimensional)

²⁷ La ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación usada en hidráulica. Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería llena. La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy y refinada por Julius Weisbach.

Esta fórmula permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería. Es una de las pocas expresiones que agrupan estos factores, presentando la ventaja que puede aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento), debiendo el coeficiente de fricción tomar los valores adecuados, según corresponda.

²⁸ El campo de aplicación de esta fórmula se encuentra en la zona de transición de flujo laminar a flujo turbulento y flujo turbulento. Para la obtención de f es necesario el uso de métodos iterativos.

Número de Reynolds ²⁹:

$$Re = \frac{vID}{\nu_c}$$

Re = Número de Reynolds (adimensional)

ID= Diámetro interno de la tubería (m)

v = Velocidad media del fluido (m/s)

ν_c = Viscosidad cinemática (m²/s)

Nota: La viscosidad cinemática para el agua a 20 ° C es $1,01 \times 10^{-6}$ m²/s.

Los valores que se adopten para la rugosidad son determinantes en los resultados obtenidos en el cálculo. Aunque estos dependen fundamentalmente del material de la conducción, también deben considerarse otros factores adicionales para la fijación de la rugosidad, como por ejemplo:

- El número de uniones de la canalización.
- El número y tipología de piezas especiales.
- La antigüedad de la conducción y el estado de conservación.
- La temperatura del agua transportada.
- La presencia de irregularidades en el trazado.
- La ovalación de la tubería.

Nota: Las expresiones anteriores son las conocidas como "fórmulas racionales" (*derivadas de la aplicación de la teoría de la hidráulica*), no obstante, además de ellas, existen numerosas "fórmulas empíricas" para el cálculo de las pérdidas de carga como por ejemplo: Ganguillet y Kutter, Manning, Bazin, Hazen-Williams, Scimemi y, Scobey entre otras.

En función de la fórmula utilizada, para el polietileno de alta densidad son aceptados los siguientes valores,

k = 0,003 mm (rugosidad hidráulica; fórmula de Colebrook)

n = 0,008 (fórmula de Manning)

C = 150 (fórmula de Hazen Williams)

En las tablas siguientes se representan las pérdidas de carga por rozamiento (m/min) en tuberías de polietileno para el transporte de agua a presión para diferentes caudales, velocidades y diámetros calculadas conforme a la expresión de Darcy-Weisbach y Colebrook (*para una rugosidad k = 0,003 mm*).

²⁹ El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (*número de Reynolds pequeño*) o turbulento (*número de Reynolds grande*).

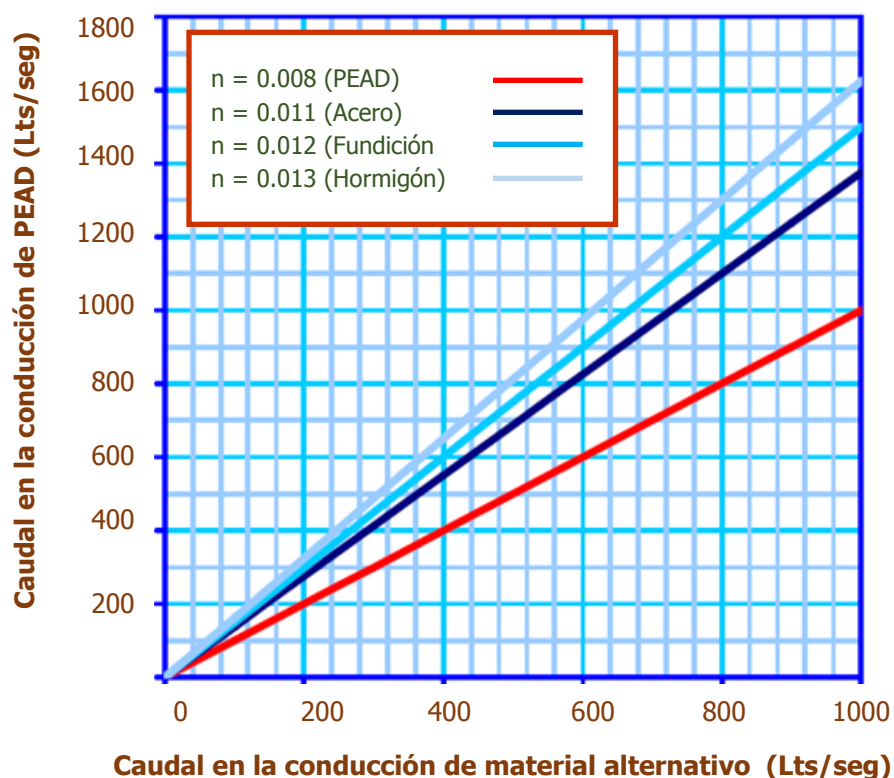
Tabla 13: Pérdidas de carga por rozamiento en los tubos de polietileno ($k = 0,003 \text{ mm}$)

Q (Caudal) Lts / seg	Ø 200 mm		Ø 300 mm		Ø 400 mm		Ø 500 mm		Ø 600 mm	
	J (m / m)	V (m / s)	J (m / m)	V (m / s)	J (m / m)	V (m / s)	J (m / m)	V (m / s)	J (m / m)	V (m / s)
25	0,002	0,796	0,001	0,354	0,000	0,199	0,000	0,127	0,000	0,088
50	0,006	1,592	0,002	0,707	0,000	0,398	0,000	0,255	0,000	0,177
75	0,014	2,387	0,003	1,061	0,000	0,597	0,000	0,382	0,000	0,265
100	0,026	3,183	0,005	1,415	0,001	0,796	0,000	0,509	0,000	0,354
125	0,040	3,979	0,007	1,768	0,001	0,995	0,000	0,637	0,000	0,442
150	0,058	4,775	0,010	2,122	0,002	1,194	0,001	0,764	0,000	0,531
175	0,078	5,571	0,013	2,476	0,002	1,393	0,001	0,891	0,000	0,619
200	0,102	6,366	0,016	2,830	0,003	1,592	0,001	1,019	0,000	0,707
225	0,129	7,162	0,020	3,183	0,004	1,791	0,001	1,146	0,000	0,796
250	0,160	7,958	0,024	3,537	0,004	1,989	0,001	1,273	0,001	0,884
275	0,193	8,754	0,028	3,891	0,005	2,188	0,002	1,401	0,001	0,973
300	0,230	9,550	0,033	4,244	0,006	2,387	0,002	1,528	0,001	1,061
325	0,270	10,345	0,038	4,598	0,008	2,586	0,002	1,655	0,001	1,149
350	0,313	11,141	0,044	4,952	0,009	2,785	0,003	1,783	0,001	1,238
375	0,359	11,937	0,050	5,305	0,010	2,984	0,003	1,910	0,001	1,326
400	0,409	12,733	0,057	5,659	0,011	3,183	0,004	2,037	0,001	1,415
425	0,462	13,529	0,064	6,013	0,013	3,382	0,004	2,165	0,002	1,503
450	0,518	14,324	0,071	6,366	0,014	3,581	0,005	2,292	0,002	1,592
475	0,577	15,120	0,079	6,720	0,016	3,780	0,005	2,419	0,002	1,680
500	0,639	15,916	0,087	7,074	0,018	3,979	0,006	2,547	0,002	1,768
525	0,705	16,712	0,095	7,427	0,020	4,178	0,006	2,674	0,002	1,857
550	0,773	17,508	0,104	7,781	0,022	4,377	0,007	2,801	0,003	1,945
575	0,845	18,303	0,113	8,135	0,024	4,576	0,007	2,929	0,003	2,034
600	0,920	19,099	0,123	8,489	0,026	4,775	0,008	3,056	0,003	2,122
625	0,999	19,895	0,133	8,842	0,028	4,974	0,009	3,183	0,003	2,211
650	1,080	20,691	0,143	9,196	0,030	5,173	0,009	3,311	0,004	2,299
675	1,165	21,487	0,154	9,550	0,032	5,372	0,010	3,438	0,004	2,387
700	1,253	22,282	0,165	9,903	0,035	5,571	0,011	3,565	0,004	2,476
725	1,344	23,078	0,177	10,257	0,037	5,770	0,012	3,693	0,005	2,564
750	1,438	23,874	0,189	10,611	0,040	5,968	0,013	3,820	0,005	2,653
775	1,535	24,670	0,201	10,964	0,043	6,167	0,013	3,947	0,005	2,741
800	1,636	25,466	0,214	11,318	0,046	6,366	0,014	4,074	0,006	2,830
825	1,740	26,261	0,227	11,672	0,048	6,565	0,015	4,202	0,006	2,918
850	1,847	27,057	0,241	12,025	0,051	6,764	0,016	4,329	0,006	3,006
875	1,957	27,853	0,255	12,379	0,054	6,963	0,017	4,456	0,007	3,095
900	2,071	28,649	0,269	12,733	0,058	7,162	0,018	4,584	0,007	3,183
925	2,187	29,445	0,284	13,086	0,061	7,361	0,019	4,711	0,008	3,272
950	2,307	30,240	0,299	13,440	0,064	7,560	0,020	4,838	0,008	3,360
975	2,430	31,036	0,314	13,794	0,068	7,759	0,021	4,966	0,008	3,448
1.000	2,556	31,832	0,330	14,148	0,071	7,958	0,022	5,093	0,009	3,537
1.025	2,686	32,628	0,346	14,501	0,075	8,157	0,024	5,220	0,009	3,625
1.050	2,818	33,424	0,363	14,855	0,078	8,356	0,025	5,348	0,010	3,714
1.075	2,954	34,219	0,380	15,209	0,082	8,555	0,026	5,475	0,010	3,802
1.100	3,093	35,015	0,398	15,562	0,086	8,754	0,027	5,602	0,011	3,891
1.125	3,235	35,811	0,416	15,916	0,090	8,953	0,028	5,730	0,011	3,979
1.150	3,381	36,607	0,434	16,270	0,094	9,152	0,030	5,857	0,012	4,067
1.175	3,529	37,403	0,452	16,623	0,098	9,351	0,031	5,984	0,012	4,156
1.200	3,681	38,198	0,472	16,977	0,102	9,550	0,032	6,112	0,013	4,244
1.225	3,836	38,994	0,491	17,331	0,107	9,749	0,034	6,239	0,013	4,333
1.250	3,994	39,790	0,511	17,684	0,111	9,947	0,035	6,366	0,014	4,421
1.275	4,156	40,586	0,531	18,038	0,116	10,146	0,037	6,494	0,014	4,510
1.300	4,320	41,382	0,552	18,392	0,120	10,345	0,038	6,621	0,015	4,598
1.325	4,488	42,177	0,573	18,745	0,125	10,544	0,039	6,748	0,015	4,686
1.350	4,659	42,973	0,594	19,099	0,130	10,743	0,041	6,876	0,016	4,775
1.375	4,833	43,769	0,616	19,453	0,134	10,942	0,042	7,003	0,017	4,863
1.400	5,010	44,565	0,638	19,807	0,139	11,141	0,044	7,130	0,017	4,952
1.425	5,191	45,360	0,661	20,160	0,144	11,340	0,046	7,258	0,018	5,040
1.450	5,375	46,156	0,684	20,514	0,150	11,539	0,047	7,385	0,018	5,128
1.475	5,562	46,952	0,707	20,868	0,155	11,738	0,049	7,512	0,019	5,217
1.500	5,752	47,748	0,731	21,221	0,160	11,937	0,051	7,640	0,020	5,305

Nota: En comparación a materiales alternativos, la menor rugosidad de las tuberías de PEAD hace que su capacidad hidráulica en igualdad de condiciones sea mayor.

En el siguiente gráfico, se representa el aumento de capacidad de transporte de una conducción de PE frente a materiales alternativos de diferentes rugosidades supuesto el diámetro constante y que la pérdida de carga (*calculada de manera simplificada mediante la expresión de Manning*) sea la misma. Por ejemplo, una conducción de PE capaz de transportar 800 l/s, si fuera de otros materiales, su capacidad de transporte (a igualdad de diámetro y pérdidas de carga) se reduciría a 480, 520 o 600 l/s (*para los casos de acero, fundición u hormigón, respectivamente*).

Gráfico 06: Aumento de capacidad de transporte de una tubería de PEAD frente a materiales alternativos



En cualquier caso, las pérdidas de carga calculadas con las expresiones anteriores corresponden al transporte de agua a la temperatura de 20 °C. Si la temperatura del agua fuera diferente a dicho valor, las pérdidas de carga deben calcularse mediante la siguiente fórmula:

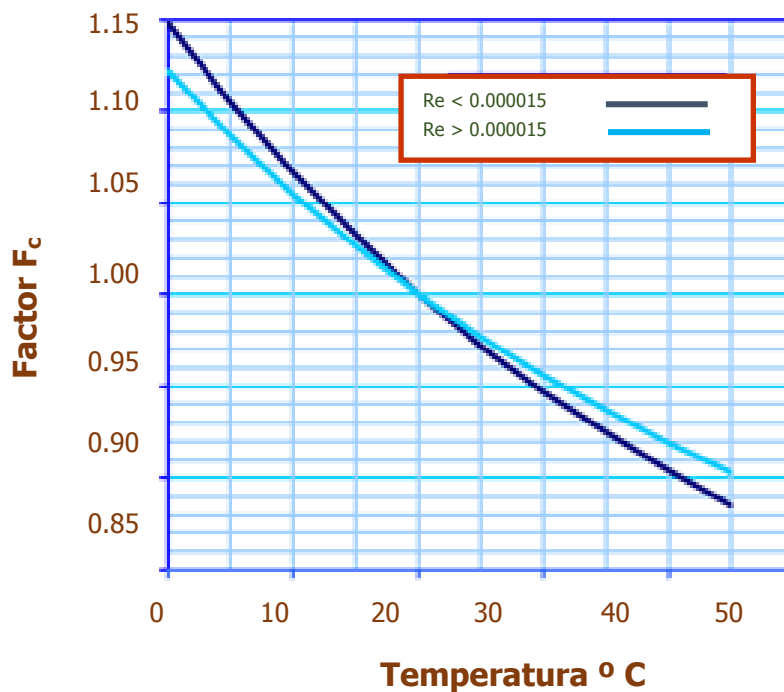
$$J_t = F_c \times J_{20^\circ\text{C}}$$

J_t = Pérdida de carga continua a la temperatura "t" (m/m)

F_c = Factor de corrección

$J_{20^\circ\text{C}}$ = Pérdida de carga continua a la temperatura de 20 ° C (m/m)

Gráfico 07: Factor de corrección F_c en función de la temperatura del agua



Pérdidas de carga localizadas: Además de las pérdidas de carga continuas, deben calcularse también las pérdidas de carga localizadas en los accesorios y en las válvulas, las cuales se determinan mediante la siguiente expresión:

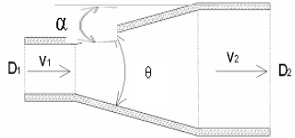
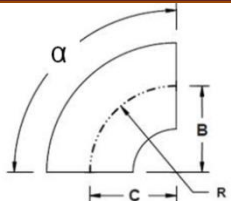
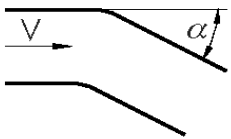
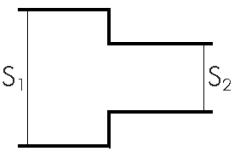
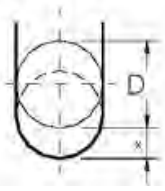
$$\Delta H_l = K \frac{v^2}{2g}$$

H_l = Pérdida de carga localizada en cada accesorio (m)

K = Coeficiente que depende del tipo de accesorio o válvula

v = Máxima velocidad de paso del agua a través del accesorio o válvula (m/s)

Tabla 14: Coeficiente K para el cálculo de las pérdidas de carga localizadas

ENSANCHAMIENTO GRADUAL	α	5°	10°	20°	30°	40°	90°	
	K	0.16	0.40	0.85	1.15	1.15	1.00	
CODOS CIRCULARES	α	90°			45°			
	K	0.10			0.15			
CODOS SEGMENTADOS	α	90°		45°		22.5°		
	K	1.00		0.40		0.20		
DISMINUCIÓN DE SECCIÓN	S_2/S_1	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8		
	K	0.5	0.43	0.32	0.25	0.14		
DISMINUCIÓN DE SECCIÓN	x/D	$1/4$	$1/2$	$3/4$	1			
	K	24.00	6.00	1.00	0.12			
DISMINUCIÓN DE SECCIÓN	α	0°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
	K	0.30	1.50	3.50	10.00	30.00	100.00	500.00

Nota: Para otros casos no incluidos en la anterior tabla, como T a 90 ° con el flujo en línea o en un ramal, pueden adoptarse los valores de K de 0,35 ó 1,20, respectivamente.

SOBREPRESIONES DEBIDAS AL GOLPE DE ARIETE

El golpe de ariete³⁰ es la variación de presión que se genera dentro de una tubería por fenómenos transitorios derivados de cambios de régimen de circulación, tales como cierre o apertura de válvulas, paradas o arranque de bombas, etc.

El cálculo del golpe de ariete es fundamental para el correcto diseño de una tubería cuyo funcionamiento hidráulico sea bajo presión hidráulica interior (*sobrepresiones y depresiones*).

Para estudiar el fenómeno del golpe de ariete, podemos distinguir dos casos diferentes: 1) oscilación en masa y, 2) oscilación dinámica. La forma de calcular las sobrepresiones instantáneas en cada caso es diferente.

1. **Oscilación en masa:** Este caso se presenta en tuberías de grandes abastecimientos de poblaciones, con elevados caudales y tuberías de gran diámetro, disponiendo en al menos uno de los extremos de la tubería unos depósitos que almacenan agua y que absorben las sobrepresiones causadas por el golpe de ariete. Su cálculo es complejo y se hace obligando a que se cumplan las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento en cada sección de la tubería y para cada instante del fenómeno. Ello puede hacerse con suficiente precisión en un ordenador personal mediante alguno de los programas de cálculo que, al respecto, existen en el mercado.
2. **Oscilación dinámica:** Este caso se presenta cuando no existe un depósito capaz de almacenar o ceder agua, de manera que, si se disminuye bruscamente el caudal circulante en la tubería (*por el cierre brusco de una válvula, por ejemplo*), el agua circulante hasta el punto de corte no dispone de una cámara cerrada (*amortiguador de sobrepresión*) o espacio abierto para almacenarse hasta anular su velocidad, por lo que aumenta su presión aplicándose ésta sobre presión sobre la pared interior de la tubería, ejerciendo un esfuerzo superior al de régimen de servicio, pudiendo llegar a la rotura en conducciones rígidas y a un incremento del diámetro de la tubería en conducciones flexibles, como en el caso del PEAD, recuperando su diámetro original cuando el fenómeno transitorio desaparece, formándose un almacenamiento de agua principalmente por la dilatación de la tubería, y en menor cuantía, por la compresión del agua.

Como el material de la tubería siempre tiene una cierta elasticidad, intenta recuperar su forma original cediendo el agua almacenada en la dilatación, e incluso más, por efecto de la inercia, con

³⁰ El golpe de ariete es, junto a la cavitación, el principal causante de averías en tuberías e instalaciones hidráulicas. El golpe de ariete se origina cuando se cierra bruscamente una válvula instalada en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento, esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería.

lo que se forma un movimiento alternativo del agua en una y otra dirección, al mismo tiempo que hay unas ondas de sobrepresión y de depresión que también se trasladan alternativa y periódicamente en ambas direcciones.

De esa manera se obtienen unas presiones máximas y otras mínimas en cada punto de la tubería, creando un movimiento de "oscilación elástica". El fenómeno puede aparecer no por disminución del caudal circulante, sino por aumento (*debido, por ejemplo, a la apertura de una válvula*), obteniéndose un fenómeno equivalente, en el que también se alternan las ondas de depresión y altas presiones, pero en orden opuesto.

La oscilación dinámica es el fenómeno que se produce con más frecuencia y su cálculo es más sencillo, como se indica a continuación:

En el caso de una válvula de corte, si la variación de la velocidad del agua en la maniobra de cierre o apertura sigue una ley lineal con respecto al tiempo (*conducciones cortas*), puede suponerse, simplificada, que la variación de sobrepresiones debidas al fenómeno del golpe de ariete siga una ley lineal a lo largo de la tubería, siendo máxima (*positiva o negativa*) junto a la válvula (*o, en general, junto al elemento de cierre*) y nula en el otro extremo de la tubería. En ese caso, puede, por ejemplo, utilizarse la fórmula de Michaud para el cálculo de las sobrepresiones:

$$\Delta P = \pm \frac{2Lv}{gt} ; \text{ si } t > \frac{2L}{a}$$

donde:

ΔP = Sobrepresión (m)

L = Longitud de la tubería (m)

v = Velocidad media del fluido (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

a = Celeridad (velocidad propagación de las ondas, m/s)

t = Tiempo efectivo de cierre (seg)

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K_C \frac{D_m}{e}}}$$

donde:

a = Celeridad (velocidad propagación de las ondas, m/s)

D_m = Diámetro medio de la tubería (mm)

e = Espesor de la tubería (mm)

K_C = Parámetro adimensional

$$K_C = \frac{10^{10}}{E}$$

K_C = Parámetro adimensional

E = Módulo de elasticidad de la tubería (kg/m²)

En caso de tuberías con una longitud muy larga, el valor del golpe de ariete de oscilación elástica alcanza su valor máximo no en el extremo de cierre como en el caso anterior, sino en un punto

genérico del interior de la tubería. En este caso, el valor máximo de las sobrepresiones debidas al golpe de ariete puede calcularse mediante la fórmula de Allievi ³¹:

$$\Delta P = \pm \frac{av}{g} ; \text{ si } t > \frac{2L}{a}$$

ΔP = Sobrepresión (m)

L = Longitud de la tubería (m)

v = Velocidad media del fluido (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m²/s)

a = Celeridad (velocidad propagación de las ondas, m/s)

t = Tiempo efectivo de cierre (seg)

Tabla 15 ³²: Valor de la celeridad

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	5000	40	1.044
PVC	3 x 10 ⁸	33.33	500	24	363
PEAD	10 ⁸	100.00	500	24	214
PRFV	2 x 10 ⁹	5.00	500	7	492

Nota: Como se puede observar, el material que presenta el valor más bajo de celeridad es el PEAD y, en consecuencia, los efectos del golpe de ariete son mucho menores que en el resto de los materiales.

VELOCIDADES DE DISEÑO

La velocidad de diseño es otro parámetro fundamental en el dimensionamiento hidráulico de las tuberías. En el caso de tuberías para la conducción de agua potable, cuyo funcionamiento hidráulico es bajo presión hidráulica interior, la velocidad del agua está directamente relacionada con el caudal circulante y con el diámetro de la conducción (*según lo establecido en la ecuación de continuidad, $Q = V \times S$*).

El problema de determinar la velocidad máxima de diseño en una tubería es complejo, dado que el mismo no se encuentra normalizado ³³ y dependerá de las necesidades específicas de la

³¹ Se introduce una variable, que depende del material de la tubería

³² Valor de la celeridad para una tubería de un mismo diámetro realizada en diversos materiales.

³³ Algunos especialistas sugieren valores que oscilan entre 2 y 3 m/s, aunque el mismo dependerá del diseño en general.

red, de manera que éste debería ser el resultado de un ejercicio de optimización económica que minimice los costos totales de la tubería, teniendo en cuenta tanto los costos de la propia instalación como los asociados a las pérdidas de carga.

Nota: Como criterio general, a mayores diámetros, mayores serán las velocidades admisibles.

SISTEMAS DE UNIÓN

Las tuberías de PEAD admiten una gran variedad de sistemas de unión, siendo los siguientes los más frecuentes:

- Soldadura por termofusión (*a tope y por encaje*).
- Soldadura por electrofusión.
- Unión mecánica.

Nota: El sistema de unión de soldadura térmica (*por electrofusión o a tope*) es el que más se emplea en la actualidad, en el cual, el material fundido de las zonas a unir se entremezcla entrelazando sus macromoléculas. Es un sistema de unión económico y que garantiza uniones firmes, fiables y resistentes a la tracción.

SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN A TOPE

La soldadura a tope es un método empleado para unir tubos y accesorios de PEAD, que normalmente es utilizado en tubos de espesor de pared superior a 3 mm y diámetros mayores a 90 mm. Este método produce una unión permanente y eficaz, siendo además el más económico de los sistemas de uniones térmicas.

De manera resumida, esta técnica consiste en calentar los extremos de los tubos a unir con una placa calefactora a temperatura de fusión, y a continuación, aplicar una determinada presión (*cuyo valor está normalizado*) uniendo ambos tubos hasta que se la unión (*o soldadura*) enfríe y se solidifique.

Nota: Es importante cerciorar previamente que los materiales a unir puedan soldarse entre sí, lo cual sucede cuando sus índices de fluidez son del mismo grupo. Sólo se pueden soldar tubos de PE 80 y PE 100, mientras que los tubos de PE 40 se unen únicamente por accesorios mecánicos. Aunque para algunos casos en particular pueden hacerse soldaduras a tope de dos tuberías con diferentes SDR (*relación diámetro /espesor*), esta es más apropiada para la unión de dos tuberías del mismo SDR.

Equipos de soldadura a tope

Hay muchos equipos de soldadura a tope disponibles en el mercado, si bien, en cualquier caso, deben disponer al menos de los siguientes componentes (*además del necesario material de limpieza*)³⁴, y cumpliendo con lo especificado en la Norma ISO 12176:

- Mordazas (*adecuadas al diámetro a soldar*).
- Mesa de alineación (*con sistema de movimiento*).
- Bancada
- Refrentador.
- Placa calefactora eléctrica³⁵ (*con temperatura regulable*).
- Fuente de energía (*red o generador eléctrico*).

Figura 04: Equipos de soldadura a tope por termofusión



³⁴ Alcohol propano o etílico.

³⁵ La placa calefactora debe ir revestida con PTFE (*politetrafluoroetileno*) con aerosol como revestimiento antiadherente.

Breve descripción del proceso de soldadura a tope ³⁶:

1. Preparar el equipo asegurándose del buen estado del mismo, así como también verificar que todos los elementos y accesorios requeridos se encuentren disponibles y en estado operativo.

Nota: En lluvia se deberá montar una caseta o carpa

2. Colocar y alinear en la máquina los tubos (*o accesorios*), luego, refrentar las superficies a soldar hasta que se limpie totalmente la superficie transversal de los tubos y estas sean paralelamente uniformes. Retirar la viruta sin tocar las superficies a unir y limpiar las mismas usando el material de limpieza y papel blanco.

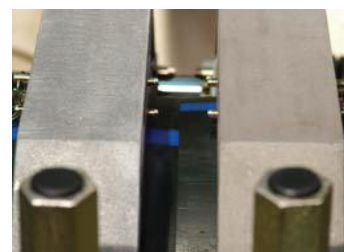
Nota: Los extremos de los tubos a soldar deben quedar completamente paralelos para evitar movimiento axial, y asegurar una unión uniforme. Una vez refrentadas las tuberías no deben ser tocadas para asegurar que éstas no sean contaminadas con impurezas o aceite.

3. Controlar el paralelismo (*confrontando los extremos de los tubos a soldar*) y la perpendicularidad del corte. Seguidamente se debe verificar la presión de arrastre y así calcular la presión para la formación del labio inicial.

Nota: La desalineación máxima no debe superar el 10% del espesor del tubo.

4. Limpiar las caras de la placa calefactora, comprobando la temperatura para, seguidamente, colocar la placa calefactora entre los tubos a soldar y presionar los extremos de los tubos contra la placa, a la presión calculada hasta formar un labio inicial uniforme.

Nota: Si la presión de la tubería contra la plancha se mantuviera durante el tiempo de calentamiento, el material fundido escurrirá de ambos extremos, causando concavidad en los extremos de las tuberías calentadas y esto produciría a su vez una unión débil.



³⁶ La descripción aquí hecha tiene la intención de indicarle al usuario las etapas del proceso, sin que la misma sea considerada como un instructivo a seguir para la ejecución de dicho proceso.

5. Cumplido el tiempo de calentamiento, (*según la tabla de tiempo*) retire la plancha y una rápidamente los extremos de la tubería hasta llegar a la presión establecida, una vez hecho esto, mantenga la presión por el tiempo requerido para terminar el proceso y deje enfriar el tiempo establecido antes de retirar la máquina.

Nota: La presión excesiva sacará demasiado polietileno fundido, dando como resultado una unión débil. Deje enfriar por al menos 20 minutos la unión después de retirar la máquina antes de aplicarle esfuerzos de doblado o prueba de presión.



Fallas más comunes en la realización de soldaduras a tope:

- Contaminación de la unión.
- Reborde pequeño o excesivo debido a presiones y tiempos y presiones inadecuados.
- Presencia de vacío en la unión generada por partículas de agua o materiales extraños, adicionalmente se puede presentar por poco tiempo de enfriamiento.
- Desalineamiento, generado por deficiencias en la alineación de los extremos.
- Uniones frías presentadas debido a tiempos de calentamiento cortos o temperaturas bajas de la plancha.
- Deformaciones locales producidas por movimientos de la plancha durante los procesos de calentamiento o por contacto en el momento de retirarla.

SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN POR ENCAJE

El método de soldadura por encaje también es un método de termofusión en el cual se calientan de manera simultánea la superficie externa de la tubería y la cara interna del accesorio, hasta alcanzar la temperatura de fusión. Una vez lograda la fusión del material, se procede a unir ambas piezas introduciendo el tubo en el accesorio.

Nota: Este método es utilizado en diámetros hasta 110 mm.

Equipos de soldadura por encaje:

Las herramientas requeridas para la realización de una soldadura por encaje a continuación:

Figura 05: Equipos de soldadura por termofusión a encaje

- Plancha calentadora.
- Socket recubierto en teflón.
- Cortador de tubería.
- Biselador.
- Pinza o anillo frío.
- Calibrador de profundidad.
- Papel absorbente.
- Indicador de Temperatura.
- Material de limpieza ³⁷



Breve descripción del proceso de soldadura por encaje ³⁸:

1. Corte el extremo del tubo utilizando una cortatubo, evitando la presencia de rebabas, seguidamente utilice el biselador sobre el tubo y rótelos para que retire un poco del borde (*aproximadamente 1.5 mm*) externo de la tubería.

Nota: Esta operación se efectúa con el objetivo de: limpiar las impurezas de la superficie, eliminar el posible ovalado del tubo, generando un bisel que facilita el acople del tubo con el molde (*dado*) y la conexión.

2. Mida la profundidad de inserción apropiada en la tubería utilizando el calibrador de profundidad con el fin de conocer la distancia a fundir y la ubicación del anillo frío.

Nota: Se debe alinear el anillo y el extremo del tubo, con el fin de redondear la tubería y mantener la profundidad de inserción apropiada.

3. Verifique la temperatura de la plancha de calentamiento y los dados, y limpie la conexión y el extremo del tubo.

³⁷ Alcohol propano ó etílico.

³⁸ La descripción aquí hecha tiene la intención de indicarle al usuario las etapas del proceso, sin que la misma sea considerada como un instructivo a seguir para la ejecución de dicho proceso.

Nota: Para evitar contaminación de las piezas, esta operación debe realizarse justo antes de realizar la unión.

4. Colocar, de manera simultánea y perpendicularmente, el tubo y la conexión en la plancha de calentamiento (*la conexión en el dado macho y el tubo en el molde hembra*), dejándolos calentar el tiempo especificado para las piezas a unir.
5. Separe el tubo y el accesorio revisando la calidad del fundido (*revisión visual*). Seguidamente introduzca el extremo del tubo en el accesorio de forma recta y uniforme, sin movimientos laterales, hasta que el accesorio se encuentre con el anillo frío. Mantenga la presión constante durante el tiempo de enfriamiento.

Nota: En caso de un fundido no satisfactorio, corte dicha parte del tubo, utilice un accesorio nuevo e inicie el proceso. Asimismo, la tubería debe permanecer inmóvil durante 10 minutos después de realizarse la unión.

Fallas más comunes en la realización de soldaduras por encaje:

- Area de fusión muy corta debido a la no utilización del anillo frío o a que no ingreso totalmente el accesorio en el socket.
- Desalineamiento ocasionado por un incorrecto corte del tubo o la entrada incorrecta del tubo en el accesorio.
- Reborde incorrecto generado por desalineamiento en el momento de realizar la unión o insuficiente tiempo de calentamiento.
- Obstrucción del diámetro interno originado por demasiado tiempo de calentamiento o una longitud del tubo demasiado larga.

SOLDADURA POR ELECTROFUSIÓN

La soldadura por electrofusión es una técnica que hace uso de la energía eléctrica para realizar la unión de tubo y accesorios (*accesorios específicos, conocidos como electrosoldables*). Esta técnica se basa en hacer pasar una corriente de baja tensión por las espiras metálicas que tienen los accesorios, originando un calentamiento por efecto Joule, en donde el calor generado ocasiona la plastificación del polietileno del tubo y del accesorio produciéndose la unión (*soldadura*) del accesorio con el tubo introducido.

Equipos de soldadura por electrofusión:

Para realizar una soldadura por electrofusión se requieren los siguientes equipos:

Figura 06: Equipos de soldadura a por electrofusión

- Máquina de soldadura por electrofusión.
- Material de limpieza ³⁹.
- Redondeador.
- Rascador.
- Alineador.



Breve descripción del proceso de soldadura por electrofusión ⁴⁰:

1. Corte perpendicularmente los extremos de los tubos a unir y limpie los mismos utilizando un trapo limpio (*aproximadamente 50 cm*).
2. Utilice el accesorio (*sin sacar el accesorio del empaque*) para marcar la longitud mínima de tubo que debe ser raspada en cada uno de los extremos (*mitad de la longitud del manguito más unos 25 mm*).
3. Utilizando una cortadora de tubos corte los extremos del tubo (*buscando que sus caras queden paralelas y perpendiculares a su eje*). Seguidamente quite las rebabas y limpie los extremos con un trapo limpio.
4. Utilizar un raspador para eliminar la capa superficial marcada alrededor de los extremos de los tubos a unir, asegurándose que se ha raspado toda la zona superficial marcada.



³⁹ Alcohol propano ó etílico.

⁴⁰ La descripción aquí hecha tiene la intención de indicarle al usuario las etapas del proceso, sin que la misma sea considerada como un instructivo a seguir para la ejecución de dicho proceso.

Nota: Esta operación se denomina "Peeling Off" y la misma realiza la limpieza del polietileno exterior oxidado, siendo esta fundamental para el resultado satisfactorio de la unión. Una vez realizada, no se debe tocar con las manos las zonas raspadas.

5. Retire el accesorio de su empaque procurando no tocar con los dedos sobre la superficie interna, y deslice el accesorio sobre el extremo de uno de los tubos hasta su tope central.
6. Ubique el tubo con el accesorio en el dispositivo con mordazas de alineación, y ajuste las mismas.



Nota: Este paso es requerido para evitar el movimiento de la tubería y mantener la misma totalmente alineada durante el proceso de unión, por lo que también se debe prestar mucha atención al centrado de las tuberías.

7. Introduzca el otro tubo en forma suave hasta el tope central del accesorio y ajuste las mordazas, verificando la correcta alineación de los elementos y procurando que los terminales del accesorio queden en posición de fácil acceso (*preferiblemente en posición vertical*).
8. Conecte los cables a los terminales del accesorio y verifique el tiempo de fusión indicado en el accesorio. Seguidamente active el ciclo de fusión de la máquina según las instrucciones del fabricante del equipo y durante el tiempo indicado.



Nota: Durante la unión se notará un movimiento ascendente de los "Testigos de Fusión" (*hilos de polietileno fundido*) del accesorio. Estos no deben ser alterados bajo ningún concepto.

9. Sin mover el accesorio, deje enfriar el conjunto en el alineador el tiempo indicado antes de quitar los cables y desmontar el alineador.
10. Inspeccionar visualmente la unión y comprobar que han salido los testigos de fusión.

Fallas más comunes en la realización de soldaduras por electrofusión:

- Interrupción del proceso por cortes o variaciones en la energía, por lo cual se debe descartar tanto la tubería como los accesorios.
- Existencia de cavidades o fisuras en el área transversal de la unión, generada por el movimiento de los accesorios o variaciones de voltaje.

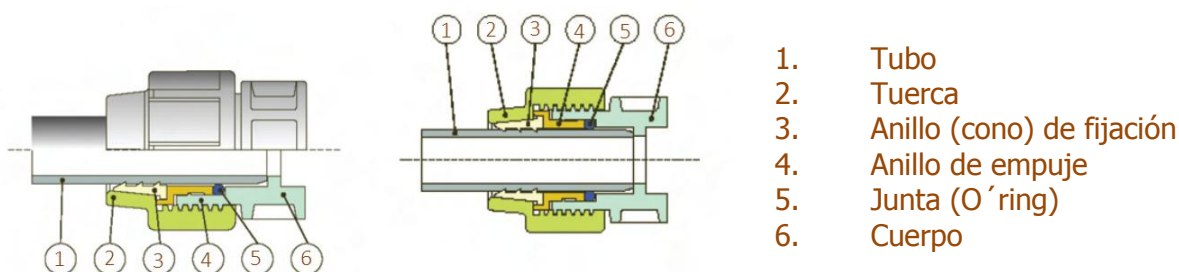
UNIÓN MEDIANTE ACCESORIOS MECÁNICOS

En este sistema, la unión se realiza por medio de accesorios mecánicos (*generalmente roscados*) que permiten la conexión entre dos tubos o entre un tubo y un accesorio. Esta aplicación es mayormente recomendada en tubos de diámetro pequeño (*menores de 110 mm*).

Este sistema de unión presenta, básicamente, tres grandes ventajas: 1) Se pueden unir tubos de PEAD con otros de materiales diferentes, 2) Son adecuados para conexiones en sitios de difícil acceso, 3) Permiten el desmontaje de la unión durante el servicio de la tubería.

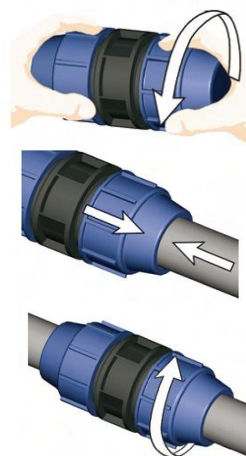
Nota: Los accesorios mecánicos pueden ser metálicos o plásticos. Por lo general, es recomendable que los accesorios metálicos sólo deben emplearse si el fluido transportado y el terreno atravesado no son agresivos. Los accesorios plásticos, por el contrario, tienen la ventaja de su gran resistencia a los ataques químicos.

Figura 07: Esquema general de un accesorio de unión mecánica



Breve descripción del proceso de instalación de accesorios mecánicos⁴¹:

1. Cortar el tubo perpendicularmente y hacer un chaflán con un ángulo de aproximadamente 15° (*respetando mantener al menos 1/3 del espesor del tubo*).
2. Aflojar la tuerca sin separarla del cuerpo, controlando que la junta y el cono de fijación estén en la posición de armado.
3. Desmontar el accesorio y deslizar por el tubo todos los componentes internos (*tuerca, cono de fijación, y junta*) e insertar el extremo del tubo sin roscar la tuerca.
4. Empujar el accesorio hasta que el tubo sobrepase la junta y llegue al tope.
5. Roscar manualmente la tuerca con la mano y posteriormente apretar con una llave adecuada.



⁴¹ La descripción aquí hecha tiene la intención de indicarle al usuario las etapas del proceso, sin que la misma sea considerada como un instructivo a seguir para la ejecución de dicho proceso.

Nota: En algunos casos particulares, sobre todo con accesorios de diámetro superior a 75 mm, para facilitar el montaje debe procederse de un modo algo distinto al anterior, en concreto, para estos casos se sugiere desmontar el accesorio totalmente y deslizar por el tubo todos los componentes internos de manera individual.

Fallas más comunes en la colocación de accesorios mecánicos:

- Insuficiente presión en el roscado de las tuercas.
- Mal armado de la conexión.
- El tubo no fue introducido suficientemente en la conexión.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

MANEJO

A pesar que las tuberías de PEAD son flexibles y resistentes, para garantizar el correcto desempeño de las mismas, durante su manipulación es recomendable seguir ciertas prácticas, tales como:

- Evite arrastrarlas sobre superficies ásperas o abrasivas.
- Las tuberías de PEAD pueden hacerse rodar sobre si mismas, procurando que no pasen sobre objetos punzantes, cortantes o con aristas que puedan dañar la superficie.
- Cuando sea necesario desatar un rollo para cortar un trozo de tubo, es conveniente atarlo de nuevo sin apretar excesivamente el amarre para no colapsarlo.
- Para cortar el tubo, utilice una sierra, un cuchillo o un cortador especial, evitando usar herramientas sin filo que al cortar pueda producir aplastamiento y deformación del mismo.
- Si debido al manejo o almacenaje incorrecto, una tubería resulta dañada o colapsada con dobleces, es recomendable que la porción afectada sea completamente suprimida.
- Los rollos deben desenrollarse de forma tangencial rodándolo sobre sí mismo, evitando hacerlo en forma de espiral para evitar estrangulamiento y daños en la tubería. En el caso de los rollos de tubería de mayor diámetro, estos se extenderán en posición horizontal, atando a un punto fijo el extremo del tubo exterior del rollo y estirando con precaución el extremo del tubo interior del rollo.



ALMACENAMIENTO

En términos generales, las tuberías de PEAD de color negro pueden ser almacenadas bajo techo o a la intemperie, ya que están debidamente protegidas de la acción solar y protección UV por la adición de negro de humo. Sin embargo, con las tuberías de PEAD de color azul, amarillo o naranja (*a pesar de tener componentes de protección UV en sus pigmentos colorantes*) se debe tener la precaución de que no estén más de seis meses a la intemperie expuestos a los rayos ultravioletas y sin protección antes de enterrarlos.



Cuando la tubería es presentada en rollos, estos pueden ser almacenados en posición horizontal, unos encima de otros y en el caso de almacenarlos verticalmente se pondrá uno solo. Por otra parte, cuando la presentación sea en tubos, estos pueden ser almacenados en lotes colocados unos encima de otros, o también pueden ser almacenados sobre estantes horizontales, disponiendo del apoyo necesario para evitar su deformación.

Es importante que la tubería almacenada no esté en contacto con combustibles, disolventes, adhesivos, pinturas agresivas ni con conducciones de vapor o agua caliente. Asimismo, debe asegurarse que la temperatura de la superficie externa no exceda los 50° C, por lo que es conveniente que exista una buena ventilación de los tubos para evitar la deformación debida a la acumulación de calor.



INSTALACIÓN

TRAZADO

La instalación de tuberías de PEAD debe contemplar las características propias del material para evitar imprevistos. Esto implica el tendido de la tubería de forma sinuosa con la finalidad de absorber, en parte, las tensiones producidas por las dilataciones térmicas longitudinales.

Asimismo, el diseño debe minimizar el trayecto, tendiéndose el tubo desde el extremo aguas abajo de cada tramo. En el caso de fuertes pendientes se deben colocar puntos de anclaje. Por otra parte, si el recorrido requiere cambios abruptos, se debe contemplar la utilización de accesorios para permitir la eliminación del aire atrapado y el desagüe de los puntos bajos.



SISTEMAS DE INSTALACIÓN

En las instalaciones de tuberías de polietileno se debe tener en cuenta la técnica a trabajar para que, de esta forma, aplicar los diferentes criterios de instalación. A continuación se explicarán brevemente en que consisten los principales sistemas actualmente empleados.

- Sistema de instalación con apertura de zanja (*Tradicional*)
- Sistema de instalación no enterrada o aérea
- Sistema de rehabilitación por fractura (*Pipe bursting*)

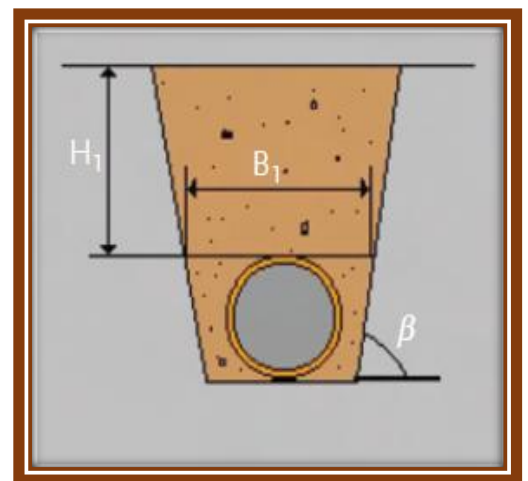
SISTEMA DE INSTALACIÓN CON APERTURA DE ZANJA (TRADICIONAL)

Como su nombre lo indica, este sistema consiste en realizar la apertura de la zanja dentro de la cual se colocará la tubería. El diseño de una instalación enterrada debe tomar en cuenta la interacción suelo-estructura, lo que será determinante para asegurar el correcto funcionamiento de la tubería (*el desempeño de dicho funcionamiento depende de la relación de su rigidez*).

La elevada flexibilidad del PEAD implica unas deformaciones notables bajo la acción de cargas gravitatorias que el proyectista las deberá tener en consideración en la fase de diseño (*contemplando la cobertura sobre la clave de tubo, de la superficie en coronación de zanja y la rigidez transversal de la tubería*). Bajo esta premisa, las características geométricas de la zanja son determinantes para asegurar un correcto comportamiento estructural y, en términos generales, las mismas debe seguir los siguientes parámetros ⁴²:

Ancho: El ancho de la zanja, B , depende del diámetro del tubo, de la profundidad de la zanja y del tipo de suelo. Se debe dejar un espacio de al menos 20 cm. A cada lado del tubo, para poder compactar el relleno y permitir que los operarios puedan trabajar cómodamente.

Profundidad: La profundidad mínima, H , de la zanja debe proteger las tuberías de las cargas móviles de circulación rodada, de las cargas fijas, del material del relleno y de las variaciones de temperatura del medio ambiente. Como norma general, bajo calzada o terreno de circulación rodada posible, la profundidad mínima será de 1 m hasta la generatriz superior de la tubería. En aceras o lugares sin circulación rodada, puede disminuirse este recubrimiento.

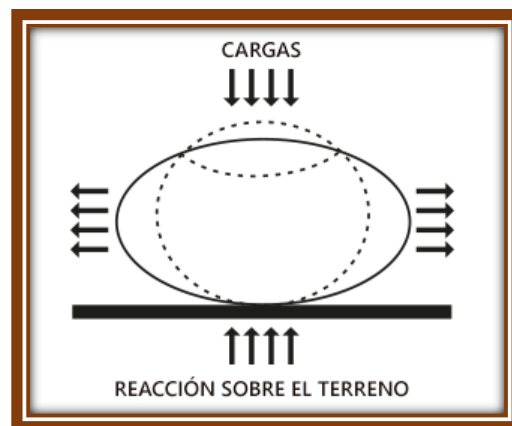


⁴² Los parámetros aquí mencionados son meramente enunciativos y dan un guía general para la excavación de zanjas sin que el mismo implique una rigurosidad para el diseño.

Lecho: Siempre que el terreno sea uniforme, se excavará hasta la línea de la rasante. Si quedan al descubierto piedras, cimentaciones, rocas, etc. será necesario excavar por debajo de la rasante para efectuar un relleno posterior del lecho. El relleno de excavaciones complementarias realizadas por debajo de la rasante, se condiciona mediante tierras procedentes de la excavación, que se compacten fácilmente y exentas de piedras, enrasando su superficie.

Nota: Si se requiere un lecho de apoyo en la zanja, éste se realizará con material sin piedras y en una altura del 10 % del diámetro nominal más 10 cm ($0.1 \times DN + 10 \text{ cm.}$). Asimismo, si durante el montaje existe riesgo de inundaciones de la zanja, se debe fijar la tubería al lecho de la misma, al menos parcialmente mediante puntos de relleno, para evitar la flotación de los tubos.

Apoyo: El material del lecho vendrá definido en proyecto a fin de garantizar la resistencia y rigidez suficiente que minimicen la deformación producida por las cargas del terreno. La carga del relleno actúa de manera desigual a lo largo del contorno de la tubería, provocando una variabilidad de estados tensionales haciendo que la tubería tienda a ovalarse y provocando que las paredes actúen sobre el terreno circundante, incrementando las tensiones horizontales del suelo y movilizándolo, generando un empuje pasivo que nuevamente modificará el estado tensional de la tubería produciendo deformaciones adicionales.



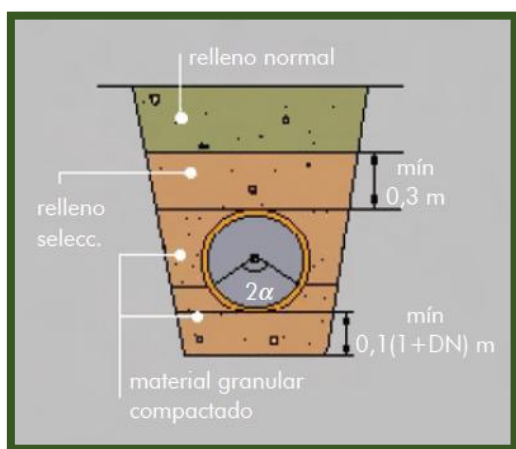
Este hecho obliga a garantizar la calidad en la ejecución del apoyo y posterior relleno para que la tubería quede perfectamente colocada en el interior del material granular. Por tanto, para conseguir una distribución uniforme de tensiones sobre toda la superficie de apoyo de los tubos es indispensable tener una base con rasante uniforme.

Nota: En caso de instalación de juntas, se deben prever huecos que dejen espacio suficiente para el ensamblaje apropiado de las mismas e impedir su apoyo directo. Estos huecos se rellenarán con material de igual densidad y mismo grado de compactación que el resto del relleno alrededor del tubo. Debe tenerse la precaución de proceder a rellenar primero el hueco debajo de la junta antes de echar el material sobre el tubo para evitar una desviación adicional por el efecto del peso del material.

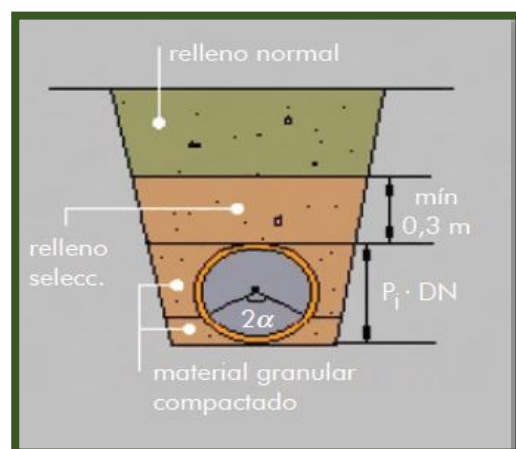
Pueden considerarse dos tipos de apoyo:

- **Apoyo tipo A:** Cama continua de material granular compactado de manera uniforme en toda su longitud y sobre la que descansaría el tubo. Lo envolverá según el ángulo 2α previsto, y que se recomienda sea de 120° .
- **Apoyo tipo B:** El tubo descansa directamente sobre el fondo de zanja, o el suelo natural, en caso de terraplén. Sólo se usará en suelos arenosos, sin terrones o piedras. Se añadirá suelo seleccionado hasta 30 cm por encima de la clave del tubo, compactándose a ambos lados de la tubería para garantizar el ángulo 2α de 120° .

Figura 08: Tipos de apoyo



Apoyo Tipo A



Apoyo Tipo B

Nota: En ningún caso se plantearán soluciones de base cemento / hormigón. Asimismo, en el tendido de la tubería dentro de la zanja

Si el tipo de terreno no garantiza la estabilidad de la tubería, se debe mejorar la cimentación mediante compactación o consolidación.

En relación al tipo de terrenos, se debe tener en cuenta las siguientes indicaciones con carácter general:

1. Terrenos de gran resistencia y rocas: Se deben disponer camas, en general, granulares con un espesor mínimo de unos 15 a 20 cm.
2. Suelos de tipo granular: En este tipo de suelos, el tubo puede apoyarse directamente sobre el fondo previamente modelado en forma de cuna, o simplemente perfilado y compactado.
3. Suelos normales (*areno-arcillosos estables*): En general, deben disponerse camas granulares.
4. Suelos malos (*fangos, rellenos, etc.*): Debe profundizarse la excavación sustituyendo el terreno de mala calidad por material de aportación debidamente compactado (*Proctor Normal*⁴³ > 95%), siendo el espesor de la capa del relleno compactado, como mínimo, la mitad del diámetro del tubo.
5. Suelos excepcionalmente malos (*deslizantes, arcillas expansivas, terrenos movedizos, etc.*): Se recomienda hacer un estudio específico.

Asimismo, siempre que las características y estabilidad del terreno lo permitan, los apoyos sobre el terreno pueden tener las siguientes formas:

Figura 09: Formas del apoyo



Relleno: El relleno de la zanja se realizará una vez colocada y probada la tubería. En términos generales se recomienda que éste se realice por capas sucesivas de aproximadamente unos 10 cm. y de ser posible con tierras exentas de piedras hasta una altura de 30 cm. por encima de la generatriz superior de los tubos, consiguiendo un 95% del Proctor Normal en la compactación. El resto del relleno puede realizarse con tierras sin seleccionar procedentes de la excavación. Asimismo, se recomienda que el proceso de compactado se lleve a cabo de forma equilibrada a ambos lados del tubo para igualar la presión sobre la misma y usando un pistón de cabeza plana o equipo similar.

⁴³ Es un el ensayo usado para el estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, condición que optimiza el inicio de la obra con relación al costo y el desarrollo estructural e hidráulico.

En cuanto al tipo de material y, aunque éste dependerá del tipo de suelo y otros aspectos específicos del proyecto⁴⁴, en su mayoría los tipos de relleno usados en proyectos de tuberías de PEAD enterradas son los siguientes:

Clase I: Consistente en piedra angular entre ¼ y 1 ½ pulgada, que puede ser varios materiales como coral, piedra aplastada y conchas.

Clase II: Son suelos granulares de arenas toscas hasta de ½ pulgada de grosor con porcentajes pequeños de hullas.

Clase III: Finas arenas y arcillas enarenadas.

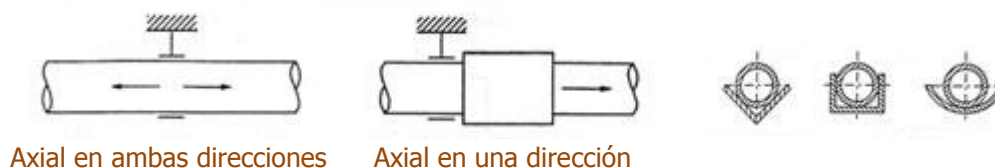
Nota: Los suelos de la Clase I y los de la Clase II, pueden mezclarse para prevenir posibles problemas de sifonamiento, dada la continuidad de su granulometría dando lugar a multitud de soluciones de “mezcla” con una puesta en obra y posterior compactación cuya respuesta puede superar a otros materiales, tendiendo a minimizar la deflexión de la tubería durante la instalación. Por otro lado, la elevada permeabilidad de las mezclas abiertas de las dos clases ayuda en el drenaje de las zanjas haciendo de estos materiales los idóneos en situaciones con el nivel freático alto.

SISTEMA DE INSTALACIÓN NO ENTERRADA O AÉREA

La sujeción de las tuberías aéreas se realiza mediante pinzas o abrazaderas de material plástico o metálico cuya superficie de contacto con la tubería debe ser suave y lisa, evitándose los soportes con cantos afilados. Asimismo, las válvulas y controles manuales, deben ser firmemente anclados con el fin de evitar cualquier movimiento causado por su manejo.



Figura 10: Soportes



⁴⁴ Los requisitos exigidos a los materiales de relleno, no se centran exclusivamente en criterios mecánicos de resistencia a las cargas, sino también en su estabilidad en las condiciones de uso, la facilidad de puesta en obra y posterior compactación, su coste y su disponibilidad.

La distancia entre apoyos se basa en el análisis de una viga continua y una deflexión a una distancia entre apoyos cuando la tubería está llena de líquido. En términos generales, la tabla presentada a continuación puede prestar una aproximación para la determinación de la misma:

Tabla 16: Distancia en metros entre soportes en instalaciones aéreas horizontales ⁴⁵

Diámetro	P 80		P 100	
	PN 10	PN 16	PN 10	PN 16
20	0.2	0.2	0.3	0.4
25	0.3	0.3	0.4	0.5
32	0.4	0.4	0.5	0.6
40	0.5	0.5	0.6	0.7
50	0.6	0.6	0.7	0.8
63	0.7	0.7	0.9	0.9
75	0.8	0.8	1.0	1.0
90	0.9	0.9	1.2	1.3
110	1.0	1.0	1.5	1.6
125	1.1	1.1	1.6	1.7
160	1.4	1.4	2.0	2.1
200	1.7	1.7	2.4	2.5

La principal precaución que debe tenerse en la instalación de una tubería de PEAD aérea es la relacionada a la dilatación longitudinal producida por las variaciones de temperatura. La variación en la longitud de una tubería sometida a una diferencia de temperatura viene dada por la expresión:

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

ΔL = incremento de longitud (mm)
 α = Coeficiente de variación térmica lineal, (0,20 de media en el PE)
 ΔT = Variación de la temperatura, en °C (respecto a 20 °C)
 L = Longitud inicial de la tubería, en m

Nota: Cuando la variación de temperatura sea positiva (*aumento*), la tubería se alargará (*expansión*), mientras que si la variación de temperatura es negativa (*disminución*), la misma se acortará (*contracción*).

Si esta expansión / contracción en la longitud se impide, se generará una tensión en la tubería cuyo valor puede ser calculado a través de la siguiente fórmula:

⁴⁵ Estas distancias corresponde a temperaturas máximas de 20° C, por ende, en caso de temperaturas superiores y hasta 45° C, se deberán multiplicar los valores indicados por 0.85. En tuberías indicadas en posición vertical, la distancia entre apoyos será la indicada en la tabla multiplicada por 1.3.

$$\sigma = 10^{-3} \times E \times \alpha \times \Delta T$$

σ = Tensión, en MPa

E = Módulo de elasticidad del material (1.000 MPa de media en el PE)

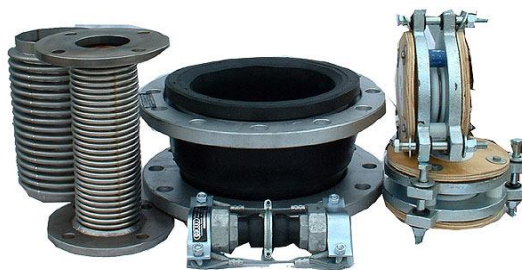
α = Coeficiente de variación térmica lineal, (0,20 de media en el PE)

ΔT = Variación de la temperatura, en °C

Nota: Aunque el coeficiente de dilatación térmico lineal del PEAD es muy superior al de materiales alternativos, al ser su módulo de elasticidad considerablemente inferior, las tensiones producidas en la tubería, si se evitan los alargamientos térmicos, resultan inferiores.

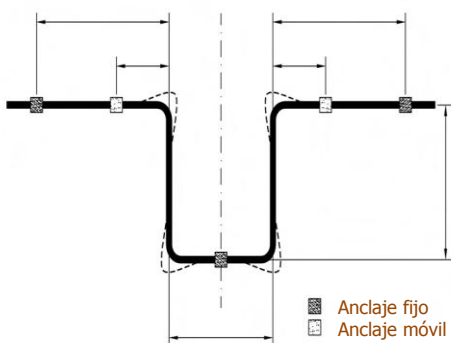
Para compensar las dilataciones producidas en los tubos de PEAD por efecto de las variaciones de temperatura, pueden emplearse distintos métodos. Si el trazado de la tubería es completamente recto, será necesario insertar elementos capaces de absorber tales dilataciones / contracciones, como, por ejemplo, liras, prensaestopas o compensadores de dilatación.

Figura 11: Compensadores de dilatación

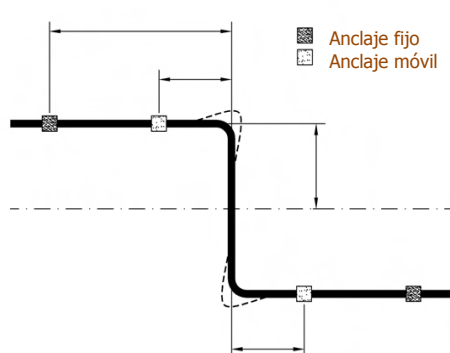


Asimismo, en muchas instalaciones, los cambios de dirección en la tubería proporcionan un medio adecuado para compensar estas dilataciones / contracciones.

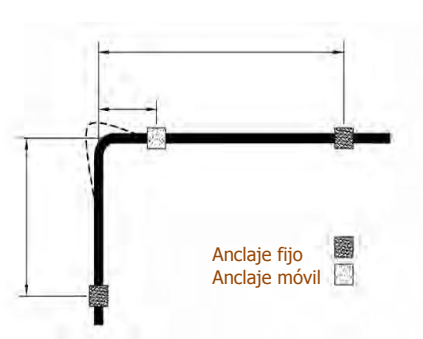
Figura 11: Disposiciones para absorber dilataciones



Sistema de compensación en "U"



Sistema de compensación en "Z"



Sistema de compensación en "L"

Nota: Las tuberías de PEAD necesitan compensadores que absorban más dilatación o contracción que en otros materiales. No obstante, hay que tener muy en cuenta que en muchas instalaciones, los cambios de dirección de la conducción proporcionan un medio adecuado para compensar la dilatación.

SISTEMA DE REHABILITACIÓN POR FRACTURA (PIPE BURSTING)

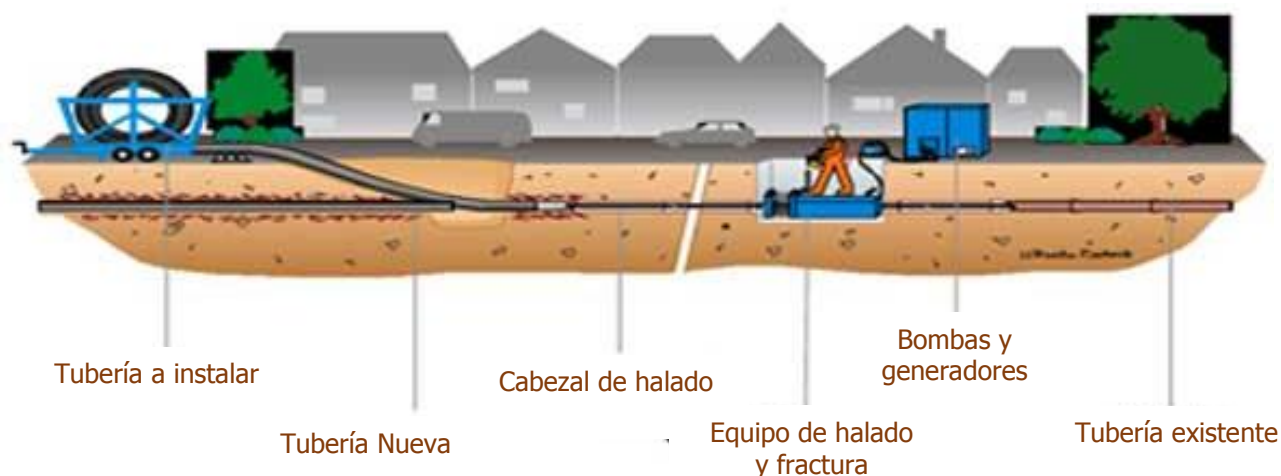
La técnica de fractura de tuberías consiste en arrastrar una tubería nueva a través de una tubería existente.



De manera resumida, el método emplea una herramienta de impacto y halado para fracturar la tubería existente y pasar la nueva tubería. La nueva tubería (*que puede ser del mismo tamaño o más grande*) se conecta a un cabezal especial que rompe la tubería existente y simultáneamente arrastra la tubería nueva hasta el punto de salida.



Figura 12: Esquema general del sistema de rehabilitación por fractura (*pipe bursting*)



PRUEBAS

Toda tubería, tras haberse instalado, debe someterse a una prueba de presión para garantizar la integridad de los tubos, uniones, accesorios y anclajes.

Nota: Las tuberías de polietileno para agua potable deben ser probadas hidrostáticamente con agua, no recomendándose realizar las pruebas con aire o gas, ya que esta práctica de manera indebida puede causar accidentes.

PRUEBAS DE PRESIÓN INTERIOR ⁴⁶

1. A medida que avance en el montaje de la tubería se procederá a pruebas parciales de presión interna por tramos de longitud fijada por las partes. Se recomienda que estos tramos tenga longitud aproximada a los quinientos (500) metros, pero en el tramo elegido la diferencia de presión entre el punto de rasante más bajo y el punto de rasante más alto no excederá del diez por ciento (10 %) de la presión de prueba establecida.

Nota: Antes de empezar la prueba deben estar colocados en su posición definitiva todos los accesorios. La zanja debe estar parcialmente rellena, dejando las juntas descubiertas.

2. Se empezará por llenar lentamente de agua el tramo objeto de la prueba, dejando abiertos todos los elementos que puedan dar salida al aire, los cuales se irán cerrando después y sucesivamente de abajo hacia arriba una vez se haya comprobado que no existe aire en la tubería. En el punto más alto se colocará un grifo de purga para expulsión del aire y para comprobar que todo el interior del tramo se encuentra comunicado en la forma debida.

Nota: De ser posible se dará entrada al agua por la parte baja, con lo cual se facilita la expulsión del aire por la parte alta, si esto no fuera posible, el llenado se hará aún más lentamente para evitar que quede aire en la tubería. Antes de empezar la prueba deben estar colocados en su posición definitiva todos los accesorios. La zanja debe estar parcialmente rellena, dejando las juntas descubiertas.

3. La bomba para la presión hidráulica podrá ser manual o mecánica, pero en este último caso deberá estar provista de llaves de descarga o elementos apropiados para poder regular el aumento de presión. Se colocará en el punto más bajo de la tubería que se va a ensayar y estará provista de manómetro.



⁴⁶ La descripción aquí hecha tiene la intención de indicarle al usuario las etapas del proceso, sin que la misma sea considerada como un instructivo a seguir para la ejecución de dicho proceso.

4. Los puntos extremos del tramo que se quiere probar se cerrarán convenientemente con piezas especiales que se apuntalarán para evitar deslizamientos de las mismas o fugas de agua, y que deben ser fácilmente desmontables para poder continuar el montaje de la tubería. Se comprobará cuidadosamente que las llaves intermedias en el tramo en prueba, de existir, se encuentren abiertas. Los cambios de dirección, piezas especiales, etc., deberán estar anclados.
5. La presión interior de la prueba en zanja de la tubería será tal que se alcance en el punto más bajo del tramo en prueba (1,5) veces la presión máxima de trabajo en el punto de más presión. La presión se hará subir lentamente, de forma que el incremento de la misma no supere un (1) kilogramo por centímetro cuadrado cada minuto.

Nota: Durante este tiempo, se agrega periódicamente agua a la tubería para mantener la presión de prueba y compensar la dilatación (estiramiento) de la tubería.

6. Una vez obtenida la presión, se parará durante treinta minutos a una hora (*máximo tres horas*), y se considerará satisfactoria cuando durante este tiempo el manómetro no muestre un descenso superior a raíz cuadrada de $P/5$ siendo "P" la presión de prueba en zanja en kilogramos por centímetro cuadrado. Cuando el descenso del manómetro sea superior, se corregirán los defectos observados en las juntas que pierdan agua; cambiando si es preciso algún tubo; etc., de forma que al final se consiga que al repetir la prueba el descenso de presión no sobrepase la magnitud indicada.



Nota: Si se consigue se debe hacer una reparación para arreglar una fuga, se recomienda esperar al menos 3 horas para volver a probar la tubería.