



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

1922 '04 MAR 31 12:56

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

UNIDAD ADMINISTRATIVA
"ACATLAN" ESCOLAR

RECIBIDO

CONSTRUCCION DE REDES HIDRAULICAS CON TUBERIAS
PLASTICAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD),
MEDIANTE EL PROCESO DE TERMOFUSION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL

P R E S E N T A

ABEL RAMON MARQUEZ CARRETO

ASESOR: ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO



ABRIL 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONSTRUCCIÓN DE REDES
HIDRÁULICAS
CON TUBERÍAS PLÁSTICAS DE
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD
(PEAD),
MEDIANTE EL PROCESO DE
TERMOFUSIÓN

A mi esposa
Ana María Bermejo García
El amor de mi vida
Por su comprensión, apoyo y cariño

A mi Padre
Leonel Márquez Centeno
Por su fe en mí

A mis hijos
Ana Laura, Leonel y Víctor
por ser la razón de mis esfuerzos

Agradecimientos al profesor
Ing. Hermenegildo Arcos Serrano
Por su apoyo incondicional

Índice

Introducción	1
1. Antecedentes	3
2. Normatividad	7
2.1. Normas que emiten especificaciones	9
2.1.1. Norma NMX-E-144-1991	10
2.1.2. Norma NMX-E-018-1996-SCFI	14
2.1.3. Norma NMX-E-216-1994-SCFI	22
2.1.4. Norma NMX-E-146-1998-SCFI	26
3. Proceso Constructivo.	31
3.0.1. Unión en un punto.	31
3.0.2. Unión en toda la línea.	33
3.0.3. Construcción de cruceros y colocación de accesorios.	33
3.1. Excavaciones.	34
3.2. Rellenos.	35
3.2.1. Plantilla.	35
3.2.2. Colocación de la tubería.	35
3.2.3. Detección de líneas.	36
3.2.4. Acostillado.	36
3.2.5. Relleno de la cepa.	36
3.2.6. Condiciones especiales.	37
3.3. Termofusión de tuberías	45
3.3.1. Termofusión a tope de los extremos	46
3.3.2. Fusión tipo silla de montar o silleta.	52
3.3.3. Fusión tipo socket o enchufe.	54
3.3.4. Electrofusión.	56
3.3.5. Termofusión por aporte de material.	58
3.3.6. Termofusión para unir tubería de materiales diferentes al polietileno y sus accesorios.	59
3.3.7. Verificación de las juntas por termofusión.	59
3.3.8. Seguridad	60
3.3.9. Presión Interfacial	60
3.4. Pruebas Hidrostáticas	61

3.4.1. Desarrollo de la prueba hidrostática de campo (prueba de estanqueidad), para tuberías de abastecimiento y conducción de agua (generalidades):	62
3.4.2. Desarrollo de la prueba hidrostática de campo para tuberías de abastecimiento y conducción de agua presurizadas de polietileno de alta densidad (específica).	66
3.4.3. Pruebas hidrostáticas y de hermeticidad en Tuberías de PEAD utilizadas en drenaje.	74
3.4.4. Pruebas de hermeticidad en Tomas domiciliarias.	79
3.5. Conexión con otros sistemas constructivos.	81
4. Comparativo de costos con otros procesos constructivos.	89
4.1. Trazo y nivelación para estructuras hidráulicas.	89
4.2. Excavaciones.	91
4.3. Otros conceptos inherentes a las excavaciones para la instalación de Tubería de PAD.	94
4.4. Suministro e instalación de sistemas de tuberías.	95
4.4.1. Costo de los materiales.	95
4.4.2. Costo de la mano de obra y equipo para la instalación.	96
4.4.3. Otros insumos.	97
5. Información técnica para el diseño de redes hidráulicas basándose en Tuberías de PAD.	98
5.1. Tuberías para presión positiva.	101
5.2. Tuberías para flujo por gravedad.	107
5.3. Tuberías para vacío ó succión.	109
5.4. Tuberías insertadas en líneas existentes.	110
5.5. Consideraciones Térmicas.	111
5.6. Diseño de Tuberías de Polietileno Enterradas.	114
6. Proceso de fabricación de la tubería de Polietileno.	123
6.1. Antecedentes.	123
6.2. Proceso de fabricación de las tuberías de Polietileno.	125
7. Conclusiones.	128

Anexos

Anexo "A": Normas que regulan los procedimientos para obtener las características físico químicas y mecánicas de las tuberías y accesorios (Referencias).	129
Anexo "B": Tablas de la Norma Oficial Mexicana NOM-E-144-1991	130
Anexo "C" Tablas de la Norma Oficial Mexicana NMX-E-018-1996-SCFI.	134
Anexo "D" Tablas de la Norma Oficial Mexicana NMX-E-216-1994-SCFI.	139

Bibliografía

142

INTRODUCCIÓN.

El objeto de este trabajo, es el de presentar de una manera breve, un sistema de construcción de redes de conducción de fluidos, que tecnológicamente será el primero de una serie, que lograrán combinar las facilidades de manejo e instalación de las tuberías plásticas con una gran resistencia de los nuevos materiales fabricados por el hombre, con lo cual se abatirán costos en el futuro, teniéndose con una menor inversión, un mayor alcance social, y un mejor aprovechamiento de los recursos económicos.

Damos inicio a este trabajo presentando en el capítulo de antecedentes un bosquejo de los orígenes del plástico en general y su clasificación, a partir de esta, veremos que el polietileno, presenta cualidades que permiten fabricar con él tubería para la conducción de fluidos, y que basado en la cualidad termoplástica de este material, que consiste en la conservación de sus cualidades físicas aún después de ser sometido a ciclos de calentamiento enfriamiento, pudiendo cambiar de forma dentro de este proceso, se desarrolló un método de junteo de tubería y sus conexiones denominado termofusión, que presenta grandes ventajas sobre otros sistemas constructivos .

Considero conveniente que a continuación, en el segundo capítulo, hacer la descripción y relación de las normas mexicanas que reglamentan la fabricación de tuberías y sus conexiones, para que basado en el conocimiento de las cualidades físicas, químicas y mecánicas de la tubería de polietileno, permita posteriormente comprender las facilidades del sistema constructivo utilizando la termofusión en este tipo de tuberías.

Una vez adentrados en las facilidades prestadas por las tuberías de polietileno, en el tercer capítulo se hará una descripción del proceso constructivo de sistemas de agua potable, agua tratada y sistemas de alcantarillado utilizando las tuberías fabricadas a partir de resinas de polietileno de alta densidad, de acuerdo a los lineamientos generales dictaminados por las entidades gubernamentales, responsables de la mayoría de los proyectos hidráulicos en este país.

En este tercer capítulo se aborda el proceso constructivo en sí, indicando las condiciones particulares que son necesarias para las diferentes instalaciones de riego, de agua potable y alcantarillado, el proceso de termofusión, y la descripción del sistema constructivo, así como el sistema de prueba de tuberías propuesto, además de mencionar los diferentes tipos de piezas especiales que se requieren para interconectar este sistema constructivo con algunos de los existentes en la actualidad.

Una vez comprendido el sistema constructivo y sus variantes principales, se pueden analizar los aspectos económicos que lo enmarcan, y de esta manera soportar la elección más económica del tipo de tubería elegida.

En el cuarto capítulo se analizan las principales variantes que facilitan la decisión financiera de los proyectos de sistemas de tuberías, haciendo hincapié en la nobleza del manejo de tuberías de polietileno, tratando de orientar al lector hacia la selección óptima del tipo de tubería a utilizar en los diferentes proyectos.

En el quinto capítulo se proporciona una serie de apoyos técnicos e información que podrá ser utilizada en el proyecto y revisión de sistemas de abastecimiento de fluidos.

Por otra parte y como complemento, en el sexto capítulo se expone como información general, el proceso de fabricación de la tubería y las piezas especiales de la misma, lo cual apoyará en la solución de problemas durante el proceso de construcción de las líneas y redes de tubería de polietileno.

Al final, en los "Anexos", se incluyen las tablas generadas por las especificaciones normativas, indicándose los valores permisibles de las principales características de las tuberías.

El orden seguido en este trabajo para mostrar el proceso constructivo, permite al lector entrar directamente a un capítulo para conocer una parte específica de interés, así por ejemplo, el constructor, al inicio de los trabajos podrá consultar las especificaciones de los materiales que le serán surtidos en obra consultando únicamente los anexos y/o la normatividad, o al iniciar los trabajos de trazo y excavación, podrá consultar los anchos de cepa sugeridos en el tercer capítulo, así también podrá preparar la entrega de los trabajos, siguiendo los lineamientos para efectuar la prueba hidrostática y el lavado de tuberías consultando este mismo capítulo, o bien reparando fugas consultando el capítulo 6, sustituir piezas especiales consultando el sub capítulo 3.5, y el diseñador podrá apoyarse en el capítulo cinco para diseñar el sistema o analizar la propuesta del capítulo cuatro para soportar la decisión de costo para elegir tipo de tubería.

1.- Antecedentes.

Desde mediados del siglo XIX, químicos, físicos e ingenieros utilizaron todos los recursos de la ciencia moderna y crearon una vasta gama de sustancias orgánicas moldeables llamadas plásticos, uno de ellos es el polietileno, que está entre los más utilizados, a partir del cual se desarrolló un proceso constructivo de líneas y redes de conducción de fluidos, el cual analizaremos en el presente trabajo, para lo cual inicialmente describiremos las características del material a utilizar, que serán aprovechadas por las tuberías fabricadas a partir de la materia prima, para este caso las resinas plásticas, denominadas químicamente polietileno.

Los plásticos, son materiales poliméricos orgánicos (están compuestos por moléculas orgánicas) que son plásticos, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, a partir del petróleo y otros materiales orgánicos, obteniéndose productos como el polietileno y el nailon.

Dos procesos básicos de la producción de resinas son la condensación y las reacciones de adición. La condensación produce varias longitudes de polímeros, mientras que las reacciones de adición producen longitudes específicas. Por otro lado, las polimerizaciones por condensación generan subproductos en pequeñas cantidades, como agua, amoníaco y etilenglicol, mientras las reacciones de adición no producen ningún subproducto. Algunos polímeros típicos de condensación son el nailon, los poliuretanos y los poliésteres. Entre los polímeros de adición se encuentran el polietileno, el polipropileno, el cloruro de polivinilo y el poliestireno. Las masas moleculares medias de los polímeros de adición son generalmente mayores que las de los polímeros de condensación.

Los plásticos se dividen en dos grupos principales: Termoplásticos y Termoestables, que difieren en la forma en que los afecta el calor. Los primeros se ablandan cuando se los calienta y se endurecen cuando se enfrían, si se vuelve a aplicar calor, nuevamente se ponen blandos. Se pueden moldear para darles la misma forma o una distinta. Solo se produce un cambio físico no químico, entre ellos está el polietileno, junto con el poliestireno y el acetato de celulosa.

Los termoestables son afectados en forma bastante diferente cuando se les aplica calor, primero se vuelven blandos, al enfriarse, se vuelven relativamente duros y después no se les puede volver a ablandar calentándolos. El endurecimiento permanente, que se llama curado, es un cambio químico comparable al endurecimiento de un huevo en agua hirviendo. Los plásticos termoestables comprenden los fenólicos y los epóxicos.

El plástico se procesa de formas distintas, según sea termoplástico o termoendurecible. Los termoplásticos, compuestos de polímeros lineales o ramificados, pueden fundirse. Se ablandan cuando se calientan y se endurecen al enfriarse, siendo este proceso reversible. Lo mismo ocurre con los plásticos termoendurecibles en que están poco entrecruzadas sus moléculas. No obstante, la mayoría de los termoendurecibles ganan en dureza cuando se calientan, no permitiendo el reblandecimiento al calentarse nuevamente. El entrecruzado final de las moléculas que vuelve rígidos a los termoendurecibles se produce cuando se ha dado forma al plástico.

El polietileno, que es un material termoplástico, es fuerte, y se puede hacer rígido o flexible, resiste el calor, el frío, el agua y la intemperie, y es un excelente aislador eléctrico. Sus muchas aplicaciones incluyen caños y tuberías, envoltura de cables eléctricos, cubetas flexibles, botellas rígidas y exprimibles, vasos plásticos para beber, platos, tazones para mezclar, mangos de cepillo y juguetes, se puede hacer película o laminar, y de esta forma fabricar envolturas, ropa impermeable, bolsas para congelador y protección para la humedad por debajo del concreto armado y dentro de las paredes de las edificaciones, también utilizado para fabricar la geomembrana utilizada para contener los desechos sólidos en los vertederos de basura municipales.

El Polietileno de Alta Densidad es rígido, resistente al agua, a la intemperie, a los ácidos de los alimentos, a la abrasión y de muy fácil limpieza, motivos por los cuales, es conveniente su utilización para fabricar tuberías que conduzcan fluidos para el uso humano, y sus desechos contaminados.

El sistema constructivo a analizar, está basado en la utilización de tubería fabricada con resinas plásticas denominadas Polietileno de Alta Densidad o alto peso molecular, y la principal diferencia con otros procesos, consiste en la unión en campo por el proceso de termofusión de los tramos de tubería y las piezas especiales necesarias para la conducción y distribución de fluidos, principalmente de agua en sus diferentes usos: agua potable, agua tratada y aguas servidas.

La termofusión es una de las partes esenciales del proceso, ya que esta se desarrolla en campo, donde es más difícil de controlar las condiciones de ejecución del proceso.

El desarrollo de este sistema se inicia a principios de los años 50 y ha tenido avances significativos tanto en Alemania como en los Estados Unidos donde su aplicación es cada vez más amplia.

En México se inicia su uso a principios de los años 70, siendo cada vez más extensa su utilización, ya que sus usos son diversos, como la conducción de agua potable, gas natural, gas L.P. agua tratada para riego, drenajes, desechos industriales, procesos químicos y lodos de minería o dragados.

Una de las características de este material, es la superficie tersa de la tubería de polietileno, con lo cual resiste la formación de incrustaciones y la corrosión, minimizando las pérdidas por fricción, logrando propiedades de flujo superiores a las de otros sistemas de tuberías

Este proceso constructivo basado en la utilización de tuberías elaboradas con resinas plásticas, para la construcción de redes hidráulicas es relativamente nuevo, y es actualmente reconocido como una solución a diversos problemas constructivos como lo puede ser un mejor comportamiento ante situaciones de asentamientos diferenciales del terreno donde se aloja la tubería; es una buena opción para zonas en las cuales es difícil contar con materiales seleccionados para los rellenos, presenta un excelente comportamiento ante la intemperie y la luz solar, y una inmejorable resistencia ante una gran cantidad de agentes químicos, ante la mayoría de los cuales su comportamiento es óptimo, soporta con gran facilidad cambios ligeros de dirección teniéndose un gran ahorro en la instalación de piezas especiales que requieren otros sistemas de conducción, tiene una gran facilidad para su manejo y almacenamiento, y los rendimientos para su

instalación son altos, estos entre otros son algunos de los factores que impulsan a su gran demanda actual.

El proceso de construcción de la línea es relativamente sencillo y permite una diversidad de opciones que pueden ser aplicadas para mejorar los rendimientos, no así la calidad de la termofusión, que debe ser controlada cabalmente para garantizar la estabilidad física de los materiales y por ende la resistencia ante las sollicitaciones a que se verá expuesta la línea de conducción.

Ampliando el concepto de las ventajas del sistema constructivo podremos mencionar, que es posible, inclusive, la sustitución de algunos tipos de tubería ya instaladas, como el asbesto, por tubería de polietileno, en sitio, introduciendo las nuevas tuberías dentro de las instaladas, con un mínimo de excavaciones.

Por otra parte se puede agregar, que el proceso de termofusión para la unión de tuberías y sus conexiones, es solo uno de los procesos que se pueden utilizar con las tuberías de polietileno, ya que como todos los plásticos, son termo moldeables, y se les puede dar las formas necesarias, para utilizar otro tipo de unión, como puede ser la de espiga campana, coples, etc, sin embargo a la fecha no es posible el uso de cementantes para la unión del plástico, por lo cual se deben utilizar sellos para confinar los fluidos dentro de la tubería.

Particularmente, las ventajas que expone este sistema constructivo ante otras son las siguientes:

Uniones por termofusión: las uniones de tuberías y conexiones de este sistema, se llevan a cabo por medio de termofusión, que consiste en calentar las dos partes por unir, hasta alcanzar el grado de fusión necesario, y después por medio de una presión controlada sobre ambas partes, se logra una unión monolítica, mas resistente que la tubería misma y hermética al 100%, existiendo uniones tipo mecánico para hacer transición con otros tipos de sistemas constructivos.

Diversidad de diámetros: debido al grado de avance de la industria del plástico, es posible contar con una gran gama de diámetros y de espesores de pared, para diversas condiciones de uso y presión, siendo esto permitido, gracias a la facilidad que tienen los plásticos para ser moldeados de acuerdo a las necesidades que requiera el ser humano.

Factores de flujo: la tersura de la pared interior de la tubería de polietileno, se conserva por gran espacio de tiempo, debido a que tiene una gran resistencia a la formación de incrustaciones, siendo los valores para el cálculo de flujo de $C = 150$ para la fórmula de Hazen-Williams y de $n = 0.009$ como factor de Manning.

Resistencia al impacto: es difícil que una tubería de polietileno sufra rupturas durante los procesos de carga, almacenamiento e instalación, esto debido a la gran resistencia al impacto que presenta, con lo cual se disminuyen pérdidas.

Flexibilidad: se logra un importante ahorro al disminuir la necesidad de utilización de codos y piezas especiales en los cambios de dirección de las líneas, ya que la tubería en todos sus diámetros presenta una gran flexibilidad si el radio de curvatura se conserva con un mínimo de 10 veces el diámetro, según el tipo del tubo que se trate.

Ligero: al ser una resina plástica, pesa mucho menos que la mayoría de las otras tuberías, en los mismos diámetros, como en el caso del asbesto cemento o acero, el peso específico del material es de alrededor de 0.9595 a 0.957, por lo cual puede inclusive flotar en el agua, por lo cual produce sustanciales ahorros en acarreos y manejo para la instalación.

Resistencia química: el polietileno de alta densidad, es inerte a la mayoría de los agentes químicos que se manejan en la industria y no se afecta por la composición natural de los diferentes terrenos o agua marina, así también como el polietileno no es conductor de electricidad, no se presenta la corrosión por electrólisis y por las mismas propiedades, no se favorece el crecimiento de algas ó bacterias, ni la formación de incrustaciones.

Durabilidad: se puede estimar que el tiempo de vida para la tubería en redes subterráneas, que conducen agua a 23° C es de por lo menos 40 años, y con este periodo, es fácilmente amortizable la inversión, sobre todo para los servicios públicos.

Mantenimiento: las características mencionadas anteriormente, permiten minimizar, o eliminar la necesidad de mantenimiento, eliminando las fugas constantes de agua por uniones o fracturas del material, fugas que pueden afectar los pavimentos, así como incrementar los costos de bombeo, el desperdicio y la contaminación del fluido, como puede suceder en otros tipos de tubería.

Otras características beneficiosas en el material son: su resistencia a la abrasión, la cual le permite utilizarse en la conducción de lodos en la industria de la minería; su resistencia a la intemperie, ya que a la resina de la tubería se le añade un cierto porcentaje de negro de humo, lo cual le protege de los efectos adversos de la intemperie, sobre todo de la exposición a los rayos ultravioleta del sol

Las propiedades físicas y químicas de la tubería fabricada con polietileno, le permiten la característica de poder utilizarse en cualquier tipo de terreno, ya que al no ser frágil, ni excesivamente rígida, se flexiona ajustándose al contorno natural del terreno, y absorbe esfuerzos por impacto, por lo cual no requiere en la mayoría de los casos de encamados, acostillamientos, atraques ni de cepas profundas.

2.- Normatividad.

En la República Mexicana, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, ahora Secretaría de Economía, es la encargada de normar la calidad de los materiales y materias primas de los productos elaborados ó susceptibles de un proceso de elaboración. Es esta, a través de la Dirección General de Normas la entidad que formula la Norma Oficial Mexicana, reglamentación que regula la calidad de los materiales y productos terminados, no solamente industriales, para ofrecer al público consumidor final un estándar de calidad aceptable y satisfactorio.

En lo general se considera que la norma nacional debe satisfacerse obligadamente, ya que actualmente tanto las pruebas de laboratorio como las de campo son completas, y a través de las mismas se garantiza el rango de calidad de los materiales, para que estos cumplan con la calidad que ofrece el fabricante.

Lo anterior basado en que existe la suficiente experiencia en el manejo de los materiales, y conocimiento de la calidad esperada mínima para que se garantice al usuario final un grado de respuesta adecuado de calidad del producto final, ante las solicitudes que exigen las normas nacionales.

Las normas oficiales presentan la siguiente estructura:

Portada	<i>Es la presentación de la misma, incluyendo clasificación, nombre en español e inglés.</i>
Prefacio	<i>Donde se menciona la participación de las empresas e instituciones que participaron en la elaboración de la norma.</i>
Objetivo	<i>Se enuncian los alcances, el objetivo y el campo de aplicación de la norma.</i>
Referencias	<i>Se enlistan las NOM's que complementan a la norma</i>
Definiciones	<i>Se establecen las definiciones de términos usados en la norma</i>
Clasificación	<i>Se establece la o las clasificaciones del producto normado</i>
Especificaciones	<i>Se establecen las especificaciones que debe de cumplir el producto</i>
Muestreo	<i>Se indica qué norma o qué tipo de muestreo debe utilizarse para verificar la calidad del producto y el nivel de aceptación del mismo.</i>
Métodos de prueba	<i>Se indican los procedimientos ó normas a seguir para corroborar las características del material que son indicadas en las especificaciones particulares del producto, que deben aplicarse a las muestras seleccionadas de acuerdo al tipo de muestreo.</i>
Marcado	<i>Se establecen los mínimos de marcado final del producto para su identificación en el mercado.</i>
Bibliografía	<i>Se indica el material que fue utilizado o consultado para la elaboración de la norma.</i>
Concordancia con normas Internacionales	<i>En la generalidad de las mismas en este renglón se enuncia la convergencia con las diferentes normas internacionales vigentes.</i>

El control de calidad para la fabricación de la tubería de PAD esta reglamentada por una serie de Normas Oficiales que se dividen en dos grupos, a saber, las normas que emiten especificaciones para la fabricación de las tuberías y las características mínimas que el fabricante debe de cumplir en cuanto para clasificar estas y sus parámetros de resistencia y/o uso, y las normas para efectuar métodos de prueba para obtener las características físico, químicas, mecánicas y de resistencia de los materiales que componen las tuberías y sus accesorios.

En el primer grupo para clasificar las tuberías fabricadas con polietileno se emiten cuatro normas que son:

NORMA	FCH EXP.	TITULO
NMX-E-144-1991	21-ene-1992	<i>Tubos de Polietileno (PE) Para Conducción de Líquidos a Presión Serie Métrica. Especificaciones.</i>
NMX-E-018-1996-SCFI	21-abr-1997	<i>Tubos de Polietileno Para la Conducción de Fluidos a Presión. Especificaciones</i>
NMX-E-146-1998-SCFI	8-dic-1998	<i>Tubos de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) Para Toma Domiciliaria de Agua. Especificaciones.</i>
NMX-E-216-1994-SCFI	20-sep-1994	<i>Tubos De Polietileno de Alta Densidad (PEAD) Para Sistemas de Alcantarillado-Especificaciones</i>

Emitiéndose además toda una serie de métodos de prueba para obtener las características que cumplen o que alcanzan los materiales que componen las tuberías y sus conexiones, las principales son listadas dentro del "ANEXO A" de este trabajo, y que dentro de las normas se indica en el segundo capítulo de una, bajo el título de "REFERENCIAS", de estas, algunas se formulará un bosquejo en la segunda parte de este capítulo.

Es conveniente especificar que las normas del segundo grupo no son limitativas a las enunciada, ya que las normas interactúan entre ellas y dependiendo el uso que se pueda dar a la tubería, pueden intervenir más normas, como lo pueden ser las pruebas químicas y/o dieléctricas de los materiales que componen la tubería, etc.

Adicionalmente los diferentes fabricantes pueden obtener individualmente "Sello Oficial de Garantía", ante la mencionada Secretaría, con lo cual se da constancia de un buen grado de calidad obtenida regularmente en la fabricación final del producto.

2.1.- Normas que emiten especificaciones

Este grupo que como se mencionó anteriormente se compone de cuatro normas, una general y tres específicas, la primera NMX-E-144-1991, establece los principios que rigen a las otras tres, por ejemplo, define que la densidad específica de la resina con que se fabrica la tubería, siendo este el parámetro que lleva a la clasificación de los tipos de tubería, en tubería de polietileno de baja densidad (PE), de media densidad y de alta densidad (PEAD) como veremos más adelante.

En cada norma, en el capítulo 3 de las mismas, se establecen algunas de las siguientes definiciones,

Falla	<i>Es cualquier desperfecto que le ocurra al tubo o tramo del tubo durante las pruebas de presión o su vida útil</i>
Abolsamiento	<i>Es la falla debido a la expansión anormal localizada en el tubo cuando se encuentra sometido a presión interna.</i>
Filtración	<i>Es la falla debida a roturas o porosidades que pueden ser microscópicas, presentes en la pared del tubo.</i>
Reventamiento .	<i>Es la falla debida a una rotura en el tubo con la disminución inmediata de presión y pérdida continua del fluido.</i>
Diámetro exterior promedio (Dem).	<i>Es el resultado de promediar una serie de mediciones efectuadas de acuerdo con un sistema de medidas</i>
Medida nominal ó diámetro nominal (Dn)	<i>Es la característica genérica que sirve para denominar la medida del tubo, que corresponde al diámetro exterior del tubo en la clasificación de serie métrica (NMX-E-144) y en la norma NMX-E-018-1996 corresponde al diámetro exterior para la tubería tipo II, y al interior para la tubería tipo I .</i>
Diámetro exterior tipo (De)	<i>Es el diámetro que tiene el tubo sobre cuyo valor se aplican las tolerancias.</i>
Reversión Térmica	<i>Es una variación de la longitud de la probeta cuando esta es expuesta al calor.</i>
Fluido	<i>Es toda sustancia que puede ser transportada por la tubería, sin afectar las propiedades químicas y físicas del polietileno, con excepción de los gases, para lo cual se tienen que hacer consideraciones especiales, consultando al fabricante.</i>
Presión de trabajo.	<i>Es la presión interna máxima de diseño, que el fluido puede ejercer continuamente sobre las paredes del tubo, durante un largo período, sin presentar falla alguna.</i>
Relación de dimensiones (RD)	<i>En tubos del tipo I (diámetro interior controlado) el RD es la relación que guardan el diámetro interior y el espesor mínimo de pared. Cuando los tubos son del tipo II (diámetro exterior controlado) el RD es la relación que guardan el diámetro exterior y el espesor mínimo de pared.</i>
Tubos de polietileno	<i>Son los conductos de sección anular de espesor, diámetros y longitudes determinadas, los cuales pueden unirse entre sí para formar líneas de conducción de líquidos a presión .</i>

Pasando a analizar cada una de las normas en cuestión, y marcando con letra cursiva las partes extraídas de cada una de las normas:

2.1.1 Norma: NMX-E-144-1991

Clasificación: **NMX-E-144-1991**

Fecha de expedición: **21 de enero de 1992**

Título: **"INDUSTRIA DEL PLÁSTICO- TUBOS DE POLIETILENO (PE) PARA LA CONDUCCION DE LÍQUIDOS A PRESIÓN- SERIE MÉTRICA ESPECIFICACIONES"**.

En general la aplicación de esta norma es más adecuada para cuando se utilizan tuberías de baja y media densidad, ya que la tecnificación de la producción de la tubería plástica, permite, que casi con los mismos costos, se produzcan tuberías más resistentes, lo cual redundaría en que a igual peso del material, más resistencia de la tubería, por lo cual, se emiten posteriormente las otras tres normas, que manejan tuberías más resistentes y que ya incluyen cada una implícitamente un sistema de unión entre tramos y rollos para la construcción de líneas y redes de fluidos.

Haciendo hincapié en que la diferencia principal entre esta norma y las otras tres, es que debido a que la tecnificación del equipo para la fabricación e instalación de la tubería de polietileno, se ha venido desarrollando con estándares diferentes a la serie "Métrica" que es el campo a normar en este caso, se dio la necesidad de emitir la normatividad nacional para los estándares "Americanos" ó "Ingles", que son los que plantean un mayor desarrollo de la tecnología en el campo de la utilización de plásticos en la industria de la construcción, y es el estándar que más influye en el mercado nacional.

Esta norma se incluye dentro de este trabajo, porque como ya se indicó antes, permite clasificar el material de resinas de polietileno de acuerdo a su densidad, y que da una clasificación para los distintos tipos de tubería de polietileno que aún se fabrican; es conveniente mencionar, que en algunos proyectos específicos, generalmente de riego por gravedad, por el bajo costo de algunos tipos de la tubería de media y baja densidad, que inclusive son fabricados a base de residuos, tal vez sea adecuada la implementación de este tipo de tuberías de polietileno, pero en estas, es difícil establecer un adecuado proceso de termofusión de tuberías, debido a que probablemente, dependiendo del fabricante y de las materias primas con que se elaboran las tuberías no se tenga perfectamente establecido el punto de fusión del material, o este sea muy bajo y por consiguiente no sea controlable en campo, siendo difícil termofusionar las tuberías, por lo cual se tendrá que adoptar otro sistema de acoplamiento de las mismas. Por otra parte, si el producto es elaborado con los mínimos de calidad, convendrá consultar con fabricante la posibilidad de unir la tubería por termofusión, y si es el caso él indicará el procedimiento a seguir.

El Objetivo de la norma NMX-E-144 se describe como:

Esta norma Oficial Mexicana establece las especificaciones que como producto terminado deben cumplir los tubos de polietileno (PE) cilíndricos sin costura.

Estos tubos deben utilizarse para la conducción de agua potable, agua para riego y residuos industriales a presiones y temperaturas variables.

Esta Norma clasifica en su parte número cuatro a las tuberías en tres tipos:

4. Clasificación

El producto objeto de esta norma, se clasifica en:

a) de acuerdo a la densidad de la materia prima

Tipo HI	Tubos de polietileno de baja densidad (0.910 a 0.925 g/cm ³) con un esfuerzo de diseño de 2.45 MPa (25 Kgf/cm ²).
Tipo II	Tubos de polietileno de media densidad (0.926 a 0.940 g/cm ³) con un esfuerzo de diseño de 3.13 MPa (32 Kgf/cm ²).
Tipo III	Tubos de polietileno de alta densidad (mayor o igual a 0.941 g/cm ³) con un esfuerzo de diseño de 4.90 MPa (50 Kgf/cm ²).

b) Por su presión máxima de trabajo en cinco clases (ver tabla 1).

Tabla 1.- Presiones de Trabajo

Clase	Presión Máxima de trabajo	
	MPa	(kgf/cm ²)
2.5	0.25	2.5
4	0.39	4
6	0.59	6
8	0.78	8
10	0.98	10

Y las principales especificaciones que el producto terminado debe cumplir bajo esta norma son las siguientes, que están enunciadas en el capítulo cinco de la norma.

5. Especificaciones

5.1 Dimensionales. Para comprobar las dimensiones debe utilizarse lo indicado en la Norma NOM-E-21.	
5.1.2 Diámetro exterior	Los diámetros exteriores y sus tolerancias para los tubos se establecen en la tabla 2 (ver ANEXO "B").
5.1.3 Ovalidad	Los tubos no deben presentar una ovalidad superior a lo establecido en la tabla 2 (ver ANEXO "B").
5.1.4 Diámetro del rollo	El diámetro interior del rollo debe ser como mínimo el establecido en la tabla 2 (ver ANEXO "B").
5.1.5 Longitud útil	Los tubos con diámetro menor o igual a 75 mm deberán suministrarse en rollos. Los tubos con diámetros mayor o igual a 75 mm deberán suministrarse en tramos. La longitud útil en el suministro de ambos casos es establecida de común acuerdo entre el fabricante y comprador con una tolerancia de $\pm 0.2\%$

5.1.6 Espesor de pared	Los espesores de pared de los tubos deben cumplir con lo especificado en las tablas 3, 4 y 5 (ver ANEXO "B") de acuerdo con el esfuerzo de diseño establecido.
5.2. Resistencia a la presión interna.	
5.2.1 Presión sostenida por corto periodo	Los tubos hasta de 250 mm. de diámetro deben soportar como mínimo 4 veces la presión de trabajo, de acuerdo con el método de prueba NOM-E-016-1993-SCFI
5.2.2 Presión sostenida por corto periodo en tramo completo	Los tubos de 315 mm de diámetro en adelante en adelante deben soportar como mínimo 4 veces la presión de trabajo, de acuerdo con el método de prueba NOM-E- 130
5.2.3 Presión sostenida por 1 hora	Los tubos sometido a la prueba de presión hidrostática deben soportar las condiciones que para este fin se indican en la tabla 6 (ver ANEXO "B"), sin presentar al finalizar el ensayo ninguna de las fallas indicadas en el inciso 3.2. para comprobar esta especificación debe utilizarse el método establecido en la NOM-E-13
5.2.4 Presión sostenida por 1000 h	Los tubos sostenidos a la prueba de presión hidrostática por 1000 h deben soportar como mínimo 2 veces la presión de trabajo, sin presentar al finalizar el ensayo ninguna de las fallas indicadas en el inciso 3.2. . Para comprobar esta especificación debe utilizarse el método establecido en la NOM-E-13.
5.3 Especificación sanitaria El agua después de estar en contacto con los tubos de polietileno (PE), de acuerdo con lo establecido en la NOM-E-28, no debe exceder, en la 3ra. Extracción, los contenidos que se indican en la tabla 7 (ver ANEXO "B").	
5.4 Reversión térmica Los tubos objeto de esta norma, no deben presentar una variación longitudinal mayor del 3% cuando se prueba a una temperatura de $383\text{ }^{\circ}\text{K} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{K}$ ($110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$). Para comprobar esta especificación debe utilizarse el método establecido en la NOM-E-179	
5.5 Protección al Intemperismo Los tubos deben estar protegido contra el Intemperismo, para comprobar esto, se debe cumplir con las siguientes especificaciones:	
5.5.1 Contenido de negro de humo	Los tubos de Polietileno deben contener de 2 a 3 % de negro de humo, el cual se verifica de acuerdo con el método de prueba NOM-E-34
5.5.2 Dispersión de negro de humo	Los tubos de polietileno deben cumplir con la dispersión indicada en las fotografías 1 a 6 de acuerdo con el método de prueba NOM-E-61.
5.6 Densidad del tubo	La densidad del tubo debe determinarse de acuerdo a lo establecido en cualquiera de los procedimientos descritos en la NOM-E-4 ó NOM-E-185, la densidad de la materia prima se calcula con la siguiente fórmula: Densidad de la resina virgen = [Densidad del tubo] - 0.0044[% en peso de negro de humo] Esta densidad de la resina virgen debe corresponder con alguno de los tipos establecidos en el capítulo 4 inciso "a"
5.7 Resistencia al envejecimiento La muestra sometida a esta prueba no debe presentar ninguna de las fallas indicadas en el inciso 3.2, al ser sometida a una presión de por lo menos 2.1 veces la presión de trabajo, cuando se prueba de acuerdo a la NOM-E-35.	

5.8 Resistencia a la tensión

Cuando los tubos se ensayan según lo indicado en la NOM-E-82, la resistencia a la tensión debe ser como mínimo de:

Polietileno de baja densidad de 10 MPa (102 Kgf/cm²)

Polietileno de media densidad de 15 MPa (153 Kgf/cm²)

Polietileno de alta densidad de 19 MPa (194 Kgf/cm²)

5.9 Alargamiento a la rotura

Cuando los tubos se ensayan de acuerdo a la NOM-E-82 el alargamiento a la rotura de los tubos debe ser como mínimo de 350%.

5.10 Apariencia

5.10.1 Color	Los tubos objeto de esta norma deben de ser de color negro. Esto debe de verificarse visualmente.
--------------	---

5.10.2 Acabado	Las superficies interna y externa de los tubos deben ser lisas y estar libres de ranuras, rayas, ampollas, grietas o cualquier otro defecto que se note en su superficie. Esto debe verificarse visualmente.
----------------	--

Todas las especificaciones anteriores, forman parte básica de las otras tres especificaciones para las tuberías de polietileno, y como se aprecia en el listado, se corroboran mediante diversas pruebas, las ventajas de resistencia mecánica, resistencia al Intemperismo y la ductilidad del material, lo cual le aventaja enormemente con respecto a otros materiales.

En la norma, se establecen otros dos capítulos, que son muestreo y marcado, el primero, establece un criterio estadístico para la selección de muestras de acuerdo a la norma NOM-Z-12/1, 2 y 3 (tabla 8. del anexo B). Esta norma establece una serie de planes de muestreo para diferentes lotes de producción y resultados de las mismas. Así también establece el tipo de nivel de inspección para cada uno de las especificaciones particulares.

Es conveniente aclarar, que todos los métodos de prueba que se mencionan en las anteriores especificaciones, a excepción de los que se verifican visualmente, por el equipo y exactitud necesaria, deben de ser aplicados en laboratorios especializados, con certificación técnica, y que dependiendo del volumen de compra, podremos solicitar al fabricante la certificación de su producto, es decir, será difícil aplicar alguna de estos métodos de prueba en campo, por lo cual siempre es conveniente adquirir el producto con un fabricante reconocido y formal, que lleve por si mismo un control de calidad adecuado; pero sin embargo, el conocimiento de las pruebas a que es sometido en laboratorio el material, nos conlleva al mejor uso y aplicación del producto en los diferentes campos de la Ingeniería Civil.

Por otra parte, el capítulo de marcado se establecerá mas adelante, de acuerdo a la norma de clasificación del producto establecida en la NOM-E-018-1996-SCFI, por ser este más conveniente para el manejo de la tubería.

2.1.2. Norma NMX-E-018-1996-SCFI

Clasificación: **NMX-E-018-1996-SCFI**

Fecha de expedición: **21 de abril de 1997**

Título: **INDUSTRIA DEL PLASTICO- TUBOS DE POLIETILENO (PE) PARA LA CONDUCCION DE FLUIDOS A PRESIÓN- ESPECIFICACIONES**

El objetivo y campo de aplicación de esta norma, son idénticos a los de la norma NMX-E-144-1991, siendo la diferencia que esta norma no rige para la serie "Métrica", es decir no reglamenta las tuberías que ajustan sus diámetros exteriores a un estándar de medición del Sistema Métrico Decimal.

Para la norma NMX-E-018-SCFI, siendo el Sistema Métrico Decimal, el sistema de pesas y medidas utilizado legalmente en el país, se utilizan los estándares de medición "Americanos", convertidos al Sistema Métrico Decimal.

1. *Objetivo y campo de aplicación.*

1.1 *Objetivo.*

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones que deben cumplir los tubos de polietileno (PE) cilíndricos sin costura.

1.2 *Campo de aplicación.*

Esta Norma Mexicana es aplicable a los tubos de polietileno (PE) utilizados en la conducción de agua potable, agua para uso agrícola, residuos industriales y minero a presiones variables y cualquier otro fluido a presión exceptuando gases.

En el capítulo cuatro de esta norma, se definen los siguientes símbolos y abreviaturas:

*De es el diámetro exterior;
di es la diámetro interior;
Dn es el diámetro nominal;
e es el espesor mínimo de pared
RD es la relación de dimensiones.*

Que son indispensables para la clasificación y designación de tuberías indicada en el capítulo de la norma:

5 *Clasificación y designación*

5.1 *Clasificación*

5.1.1 *De acuerdo al control de su diámetro, el producto objeto de esta norma, se clasifica en dos tipos:*

Tipo I *Tubo de diámetro interior controlado*

Tipo II *Tubo de diámetro exterior controlado*

- 5.1.2 De acuerdo a su relación de dimensiones (RD) (diámetro / espesor) se clasifica en cuatro subtipos para el tipo I y en ocho subtipos para el tipo II.

Tabla 1. Subtipos (RD)

Tipo I		Tipo II	
Subtipo	RD	Subtipo	RD
1	7	1	9
2	9	2	11
3	11.5	3	13.5
4	15	4	17
		5	21
		6	26
		7	32.5
		8	41

- 5.1.3 De acuerdo a la densidad de la resina virgen con la que son fabricados, los tubos objeto de esta norma se clasifican en dos clases:

Clase 2 Con una densidad de 0.926 g/cm³ a 0.940 g/cm³

Clase 3 Con una densidad de 0.941 g/cm³ a 0.965 g/cm³

Nota: Como se aprecia en la anterior clasificación, esta corresponde a la clasificación que hace la norma NMX-E-144-1991 en su capítulo cuatro, para el tipo II y Tipo III de acuerdo a la densidad de la materia prima.

- 5.1.3 De acuerdo a la velocidad de flujo nominal de la resina con que se fabrican, los tubos de polietileno objeto de esta norma se clasifican en cuatro categorías, como se indica en la tabla 2. La velocidad de flujo se determina de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-E-135 (ver referencias).

Categoría	Velocidad del flujo g/10 min. a 463 °K (190°C), 2 160 g
1	Mayor que 25
2	Mayor que 10 hasta 25
3	Mayor que 1 hasta 10
4	1.0 máximo

Con las tres anteriores clasificaciones y con el esfuerzo de diseño de la tubería, la norma emite una designación que se aplica a los tubos fabricados de acuerdo a lo siguiente:

5.2 Designación del tipo de tubería:

Las materias primas con las que están elaborados los tubos de polietileno (PE) objeto de esta norma, se designan de la siguiente forma:

- Las siglas "PE"
- La clase de polietileno según su densidad.
- La categoría del polietileno según su densidad de flujo.
- El esfuerzo de diseño en MPa. (Kgf/cm²).

Nota 1- Para efectos de esta norma sólo se normalizan los tubos de polietileno que según su materia prima tengan la designación, que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.- Designación del polietileno

Designación	Clase por densidad	Categoría por índice de Fluidéz	Esfuerzo de diseño
	(1)	(2)	MPa (Kgf/cm ²)
PE 2 335	2	3	3.50 (35.0)
PE 2 344	2	3	4.40 (44.0)
PE 3 244	3	2	4.40 (44.0)
PE 3 344	3	3	4.40 (44.0)
PE 3 456	3	4	5.60 (56.0)

Nota 2.- (1) ver inciso 5.1.3;
(2) ver inciso 5.1.4.

Para entender mejor la designación de ó clasificación anterior se puede ejemplificar de la manera siguiente:

Se tiene un tubo de polietileno fabricado con las siguientes características de su materia prima:

Se usó una resina de 0.950 g/cm³ que de acuerdo al punto 5.1.3 corresponde a la clase 3 (alta densidad).

La resina tiene una velocidad de flujo de 12 g/10 min. que en el punto 5.1.4 de esta norma la coloca en la categoría 2.

Y el esfuerzo de diseño de la resina es de 4.4 MPa (44 Kgf/cm²). se designa como sigue:

Primero se ubican las siglas PE, inmediatamente después, la clase de resina, en este caso 3 (alta densidad), a continuación la velocidad de flujo de diseño que cae dentro de la categoría 2 y por último el esfuerzo de diseño del material siendo este de 44 Kg/cm², teniéndose:

PE 3 244

Una vez enunciado el alcance de la norma de acuerdo a la tabla 3, la norma dicta las siguientes especificaciones:

6. Especificaciones:

La tubería sujeta a esta norma debe cumplir con las especificaciones que se mencionan a continuación:

6.1 Dimensionales	
6.1.6 las dimensiones y tolerancias de los tubos objeto de esta norma se verifican de acuerdo a lo indicado en la Norma Mexicana NMX-E-021-SCFI.	
6.1.1 Diámetros interiores y sus tolerancias para la tubería tipo I	Para la Tubería tipo I, los diámetros interiores y sus tolerancias deben ser los establecidos en la tabla 4 (ver ANEXO "C")
6.1.2 Espesores mínimos de pared (e) y sus tolerancias para la tubería tipo I	Para la tubería tipo I, el espesor mínimo de pared (e) y sus tolerancias, deben ser los establecidos en la tabla 5 (ver ANEXO "C").
6.1.3 Diámetros exteriores y sus tolerancias para la tubería tipo II	Para la tubería tipo II, los diámetros exteriores y sus tolerancias deben ser los establecidos en la tabla 6 (ver ANEXO "C").
6.1.4 Espesor de pared (e) y sus tolerancias para la tubería tipo II	Para la tubería tipo II, el espesor mínimo de pared (e) y sus tolerancias deben ser los establecidos en la tabla 7 (ver ANEXO "C").
6.1.5 Excentricidad	La excentricidad de un tubo se obtiene midiendo el espesor de pared máxima A y el espesor de pared mínimo B de un extremo dado del tubo y se calcula con la fórmula siguiente: Excentricidad en % = $(A-B)/A \times 100$ La máxima excentricidad permitida es de 12%
6.2 Mecánicas	
6.2.1 Resistencia a la presión hidráulica interna a corto periodo.	Los tubos deben soportar como mínimo una presión de cuatro veces la presión de trabajo, como se establece en las tablas 8 y 9 (ver ANEXO "C")., esto se verifica de acuerdo a lo indicado en la Norma Mexicana NMX-E-016-SCFI
6.2.2 Resistencia a la presión hidráulica interna sostenida por largo tiempo	Los tubos deben estar exentos de fallas, después de haber sido sometidos a una presión de dos veces la presión de trabajo, como mínimo tal y como se establece en las tabla 10 y 11 (ver ANEXO "C") , durante 1000 horas como mínimo. Esto se verifica de acuerdo a lo indicado en la Norma Mexicana NMX-E-013 (ver referencias en ANEXO "A").
6.2.3 Resistencia al envejecimiento acelerado	La muestra sometida a esta prueba no debe presentar ninguna de las fallas mencionadas en el inciso 3.1 (abolsamiento), 3.3 (falla), 3.4 (filtración) y 3.9

	(reventamiento), al ser sometida a las presiones de prueba indicadas en las tablas 10 y 11 (ver ANEXO "C"), esto se verifica de acuerdo a lo indicado en la Norma Mexicana NMX-E-035 (ver referencias en ANEXO "A")
6.3 Físicoquímicas	
6.3.1 Especificación sanitaria	en la tercera extracción, el agua no debe exceder los contenidos que se indican en la tabla 12 (ver ANEXO "C"), después de estar en contacto con los tubos polietileno (PE), de acuerdo con lo establecido en la Norma Mexicana NXM-E-028 (ver referencias en ANEXO "A"). Esta prueba debe de efectuarse como mínimo dos veces al año.
6.3.2 protección al Intemperismo	
6.3.2.1 Contenido de Negro de Humo.	Los tubos de polietileno deben contener de 2.0 % en masa a 3.0 % en masa de negro de humo. Esto se verifica de acuerdo a lo indicado en la Norma Mexicana NMX-E-034 (ver referencias en ANEXO "A").
6.3.2.2 Dispersión de negro de humo	los tubos de polietileno deben de cumplir con la dispersión de negro de humo especificadas en las fotografías 1 a 6 de la Norma Mexicana NMX-E-061 (ver referencias en ANEXO "A").
6.3.3 Densidad del tubo	<p>La resina virgen utilizada en la fabricación de los tubos de polietileno objeto de esta norma, según su clase, deben tener la densidad que se indica en la tabla 13 (ver ANEXO "C").</p> <p>La densidad de la resina virgen debe calcularse de acuerdo con la fórmula siguiente:</p> $\text{Densidad de la resina virgen} = (\text{densidad del tubo}) - 0.004 (\% \text{ en masa de negro de humo})$ <p>La densidad del producto objeto de esta norma debe determinarse de acuerdo con lo establecido en cualquiera de los procedimientos descritos en las normas mexicanas MNX-E166 o NMX-185 (ver referencias). (ver ANEXO "A")</p> <p>Nota 3.- En caso de inconsistencia en la densidad reportada por el proveedor de la materia prima o el fabricante de tubería de esta y los datos obtenidos por la ecuación anterior, se toma una tolerancia de $\pm 0.002 \text{ g/cm}^3$ para dicha definición.</p>

El negro de humo es un colorante orgánico que se adiciona a la resina virgen con que se procesan los tubos de polietileno (PE), con esto el material adquiere un color negro uniforme y se absorbe la gran mayoría de rayos ultravioleta emitidos por la radiación solar, ya que este agente, es el que en mayor medida produce la degradación de la resina plástica y por ende la pérdida de resistencia de la tubería.

7. Materia Prima.

Los tubos objeto de esta norma pueden ser elaborados a base de una resina que tengan alguna de las siguientes designaciones: PE 2 335, PE 2 344, PE 3 244, PE 3 344, PE 3 456

8. Muestreo.

8.1 Para verificar la calidad del producto objeto de esta norma debe utilizarse el plan de muestreo establecido de común acuerdo entre el fabricante y el comprador, con un nivel de calidad aceptable máximo de cuatro y de acuerdo con lo indicado en las Normas Mexicanas NMX-Z-012/1,2,3 (ver referencias). (ver ANEXO "A")

9. Métodos de prueba.

Para verificar la calidad del producto objeto de esta norma, deben utilizarse los procedimientos de los métodos de prueba mencionados en las normas del capítulo 2 de referencias (ver ANEXO "A")

10 Apéndice. Presión máxima de trabajo.

Según el esfuerzo de diseño de la materia prima con la que son fabricados los tubos de polietileno y la relación de dimensión, se calcula la presión de trabajo quedando como se muestra en las tablas 14 y 15.

TABLA 14.- Presiones máximas de trabajo (p) para la tubería tipo I a 296 °K (23 °C) ± 2 °K (± 2°C)

RD	PE 3 456		PE 2 344 PE 3 244 PE 3 344		PE 2 335	
	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)
7	1.40	(14.0)	1.10	(11.0)	0.88	(8.8)
9	1.12	(11.2)	0.88	(8.8)	0.70	(7.0)
11.5	0.90	(9.0)	0.70	(7.0)	0.56	(5.6)
15	0.70	(7.0)	0.55	(5.5)	0.44	(4.4)

TABLA 15. Presiones máximas de trabajo (p) para la tubería tipo II a 297 °K (23 °C) \pm 2 °K (\pm 2 °C)

RD	PE 3 456		PE 2 344 PE 3 244 PE 3 344		PE 2 335	
	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)
9	1.40	(14.0)	1.10	(11.0)	0.88	(8.8)
11	1.12	(11.2)	0.88	(8.8)	0.70	(7.0)
13.5	0.90	(9.0)	0.70	(7.0)	0.56	(5.6)
17	0.70	(7.0)	0.55	(5.5)	0.44	(4.4)
21	0.56	(5.6)	0.44	(4.4)	0.35	(3.5)
26	0.45	(4.5)	0.35	(3.5)	0.28	(2.8)
32.5	0.36	(3.6)	0.28	(2.8)	0.22	(2.2)
41	0.28	(2.8)	0.22	(2.2)	0.18	(1.8)

Nota 4.- para efectos de esta norma se toma un factor de conversión de 1 MPa = 10 Kgf/cm²

F. Marcado

La tubería objeto de esta norma, debe marcarse en forma clara e indeleble, a intervalos no mayores de dos metros, con los siguientes datos como mínimo:

- Nombre, razón social, marca registrada o símbolo del fabricante.
- La designación de la materia prima con la que está elaborado el tubo de acuerdo a lo indicado en páginas anteriores.
- Tipo I o Tipo II.
- Diámetro nominal en mm.
- Relación de dimensiones (RD).
- Presión máxima de trabajo en MPa (Kgf/cm²).
- La leyenda o el símbolo de "HECHO EN MÉXICO" o indicar el lugar de origen "HECHO EN".
- Uso (agua potable o uso industrial)
- Fecha de fabricación (año/mes).

Como se mencionó en el análisis de la norma NMX-E-144-1991, el marcado de las tuberías bajo el tenor anterior, es más conveniente y describe mejor las características de las tuberías, además de que es el usado en la tubería clase 3, que es la tubería fabricada con polietileno de alta densidad.

Por otra parte, las tablas de presiones de trabajo no se colocaron en los anexos, para tener una cercanía con los datos indicados en las especificaciones, respecto a las presiones de prueba que deben resistir los especímenes muestreados en laboratorio.

Como apéndice informativo de esta Norma Mexicana, es conveniente agregar que se indica que las unidades Kgf/cm² están en desuso, con base a la NOM-0080SCFI-13. En el cuerpo de esta Norma Mexicana aparecen entre paréntesis solo para fines prácticos, ya que las unidades para presión que deben emplearse son Pascales "Pa"

Así también, es conveniente mencionar que la equivalencia de la clasificación de la materia prima en unidades de Kgf/cm² del sistema métrico con unidades de Lbf/in² del sistema inglés es la siguiente:

<i>Métrico</i>	<i>Inglés</i>
3 456	(3 408)
3 244	(3 206)
3 344	(3 306)
2 344	(2 306)
2 335	(2 305)

2.1.3. Norma NMX-E-216-1994-SCFI

Clasificación: **NMX-E-216-1994-SCFI**

Fecha de expedición: **20 de septiembre de 1994**

Título: **INDUSTRIA DEL PLASTICO- TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) PARA SISTEMAS DE ALCANTARILLADO- ESPECIFICACIONES**

Esta norma esta dedicada exclusivamente a la tubería fabricada a base de resinas de polietileno de alta densidad con una densidad de 0.941 g/cm³, o mayor, que de acuerdo con la norma NMX-E-018-SCFI, y que para cumplir con la prueba de resistencia a la presión interna sostenida por 1000 horas, el esfuerzo de diseño debe de ser de 5.6 MPa, por lo cual según la clasificación indicada en la norma anterior, la resina que cubre estos requisitos es la PE 3 456, que en el equivalente americano es la PE 3 408.

Por lo anterior, al comparar ambas normas, verificaremos, que los diámetros exteriores, sus tolerancias y los espesores de tubo mínimos y sus tolerancias, son muy similares en ambas normas, claro, los diámetros adecuados para conducir aguas residuales, se clasifican a partir de los 100 mm y se consideran hasta 1200 mm, no siendo importante y de hecho no se especifica, la resistencia a altas presiones de corta intensidad, que en la norma NMX-E-018-SCFI, si se establecen como especificaciones primordiales.

1. Objetivo y campo de aplicación.

1.1 Esta Norma Mexicana establece las especificaciones de los tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) con unión por termofusión, utilizados en sistemas de alcantarillado:

1.2 Es aplicable a los tubos con diámetros nominales desde 100 mm hasta 1200 mm, que desalojen por gravedad aguas residuales y pluviales.

Como definiciones adicionales en esta norma solo se agrega la siguiente:

3.1 Agua residual.	<i>Es un líquido de composición variada, resultante de cualquier uso primario del agua, por el que haya sufrido degradación original.</i>
---------------------------	---

4. Clasificación

Los tubos objeto de esta norma se clasifican por su relación de dimensiones ($RD = de / e$) diámetro exterior entre espesor, en cuatro tipos: RD21, RD26, RD32.5 y RD41.

5. Especificaciones:

El producto objeto de esta norma debe cumplir con las siguientes especificaciones.

5 Dimensionales	
5.1 Para comprobarse todas las dimensiones de utilizarse la NMX-E-021-SCFI.	
5.1.1 Diámetros exteriores y sus tolerancias	Los diámetros exteriores y sus tolerancias deben ser los que se muestran en la tabla 1 (ver ANEXO "D").
5.1.2 Espesores mínimos de pared (e) y sus tolerancias.	Los espesores mínimo de pared (e) y sus tolerancias deben ser que se muestran en la tabla 2 (ver ANEXO "D").
5.1.3 Longitud de los tubos	La longitud de los tubos debe de ser de 12 m con una tolerancia de $\pm 0.5\%$, pueden suministrarse otras longitudes previo acuerdo entre el comprador y el fabricante, considerando la misma tolerancia.
5.1.4 Excentricidad	La excentricidad de un tubo se obtiene midiendo el espesor de pared máxima A y el espesor de pared mínimo B de un extremo dado del tubo y se calcula con la fórmula siguiente: Excentricidad en % = $(A-B)/A \times 100$ La máxima excentricidad permitida es de 12%
5.1.5 Corte a 90°	Los extremos de los tubos deben tener corte a $90^\circ \pm 2^\circ$, libres de rebabas
5.2 Mecánicas	
5.2.1 Resistencia a la presión interna por largo período.	Los tubos deben estar exentos de fallas, después de someterse a la presión especificada en la tabla 3 (ver ANEXO "D"), durante 1000 horas como mínimo de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-E-013 (ver referencias en ANEXO "A"). Esta prueba debe efectuarse 2 veces como mínimo, cada vez en diferente diámetro y RD
5.2.2 Rigidez del tubo.	Los tubos al someterse a la prueba de rigidez de acuerdo con la NMX-E-208, deben tener como mínimo los valores mostrados en la tabla 4 (ver ANEXO "D").
5.2.3 Resistencia a la tracción.	La resistencia a la tracción para el polietileno de alta densidad (PEAD) cuando se prueba según el método de prueba NMX-E-82, debe ser como mínimo de 21 MPa (210 Kg/cm ²). Con un módulo de flexión mínimo de 758 MPa (75 Kg/cm ²)
5.2.4 Reversión térmica del tubo.	Cuando los tubos se ensayan según la NMX-E-179, a una temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ el resultado del ensayo no debe variar más de un 3% en el sentido longitudinal; además en las probetas no deben aparecer burbujas, fisuras, oquedades, así como otros defectos apreciables.
5.2.5 Resistencia al envejecimiento	La muestra sometida a esta prueba no debe presentar ninguna de las fallas mencionadas en el inciso 3.4 (abolsamiento, falla, filtración y reventamiento), al ser sometida a las presiones de prueba indicadas en la tabla 3 (ver ANEXO "D"), cuando se prueba de acuerdo a lo indicado en la Norma Mexicana NMX-E-035 (ver referencias en ANEXO "A")
5.3 Físicas y químicas	
5.3.2 Protección al Intemperismo	Los tubos deben estar protegidos contra el Intemperismo, para comprobar esto, se debe cumplir con las siguientes especificaciones:
5.3.1.1 Contenido de Negro de Humo.	Los tubos de polietileno deben contener de 2.0 % a 3.0 % en de negro de humo. El cual se verifica de acuerdo a lo indicado en la Norma Mexicana NMX-E-034 (ver referencias en ANEXO "A").

5.3.1.2 <i>Dispersión de negro de humo</i>	los tubos de polietileno deben de cumplir con la dispersión de negro de humo especificadas en las fotografías 1 a 6 de la Norma Mexicana NMX-E-061 (ver referencias en ANEXO "A").
5.3.2 <i>Densidad del tubo</i>	<p>La densidad del producto objeto de esta norma debe determinarse de acuerdo con lo establecido en cualquiera de los procedimientos descritos en las normas mexicanas MNX-E-4 o NMX-185 (ver referencias). (ver ANEXO "A")</p> <p>La densidad de la resina virgen debe calcularse de acuerdo con la fórmula siguiente:</p> $\text{Densidad de la resina virgen} = (\text{densidad del tubo}) - 0.0044 (\% \text{ en masa de negro de humo})$ <p>Esta Densidad de la resina virgen debe ser igual o mayor a 0.941 g/cm3.</p>
5.4 Apariencia	
5.4.1 <i>Color.</i>	Los tubos deben ser de color negro. Esto debe inspeccionarse visualmente.
5.4.2 <i>Acabado.</i>	Las superficies interna y externa del tubo deben ser lisas, permitiéndose un ligero ondulamiento en la pared interior del tubo; de color homogéneo, libres de grietas, ampollas, protuberancias o cualquier otro defecto apreciable. No deben contener impurezas ni porosidades. Esto debe inspeccionarse visualmente.

Como se mencionó al principio del análisis de esta norma, esta norma mexicana, al estar enfocada completamente a los tubos utilizados para sistemas de alcantarillado, sus especificaciones no contemplan verificaciones sanitarias, y al controlar únicamente el diámetro externo, permite ajustarse a los estándares del proceso de termofusión, con lo cual se logran líneas de tubería homogéneas y de gran resistencia.

Es importante señalar que este tipo de tuberías por su uso van a estar sometidas a una mayor relación de combinación cargas externas vivas y muertas respecto al espesor de sus paredes y su diámetro, es decir, son tuberías de un diámetro relativamente grande con respecto al espesor de sus paredes.

Es por esto, que se establece la necesidad de reglamentar la rigidez y la resistencia a la tracción del material, con el fin de otorgar una mayor resistencia a las cargas externa axiales que tendrá la tubería dentro de las zanjas que la cobijen

También es importante la inspección de la apariencia, ya que la tubería puede estar destinada a ser conducto de lodos y fluidos de una viscosidad mayor que la del agua, y es necesario un acabado liso, para lograr una menor resistencia de los fluidos con las paredes del tubo.

7. Muestreo.

7.1 Para verificar la calidad del producto objeto de esta norma debe utilizarse el plan de muestreo establecido de común acuerdo entre el fabricante y el comprador, con

un nivel de calidad aceptable máximo de cuatro y de acuerdo con lo indicado en las Normas Mexicanas NMX-Z-012/1,2,3 (ver referencias). (ver ANEXO "A")

8. Métodos de prueba.

Para verificar la calidad del producto objeto de esta norma, deben utilizarse los procedimientos de los métodos de prueba mencionados en las normas del capítulo 2 de referencias (ver ANEXO "A")

9. Marcado

El marcado de los tubos debe hacerse con caracteres legibles e indelebles en color naranja, a intervalos no mayores de dos metros, y debe incluir como mínimo la siguiente:

- Nombre, razón social, marca registrada o símbolo del fabricante.*
- Material del que está fabricado el tubo (PEAD)*
- Relación diámetro espesor (RD).*
- Diámetro nominal.*
- Serie inglesa (Si)*
- Uso (Alcantarillado)*
- La leyenda o el símbolo de "HECHO EN MÉXICO" o indicar el lugar de origen "HECHO EN".*
- Fecha de fabricación (Día/Mes/Año).*
- Sellos de calidad cuando así se autoricen.*

2.1.4 NORMA NMX-E-146-1998-SCFI

Clasificación: **NMX-E-146-1998-SCFI**

Fecha de expedición: **8 de diciembre de 1998**

Título: **INDUSTRIA DEL PLASTICO- TUBOS Y CONEXIONES – TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) PARA TOMA DOMICILIARIA DE AGUA - ESPECIFICACIONES**

Una red de agua potable, para considerarse completa, debe considerar desde la fuente de abastecimiento hasta la llave domiciliaria; el sistema de termofusión, puede utilizarse a todo lo largo de la red, ya que la existencia de los diferentes diámetros y resistencias permite lo anterior, con una gran disminución de mantenimiento en la misma.

Esta norma emite especificaciones particulares para el tubo (manguera) que es la última parte de las redes de distribución de agua potable hasta el domicilio del consumidor, y debido a que en la mayoría de las veces, el diámetro para suministrar agua en forma domiciliaria es pequeño (nominalmente de 13 y 19 mm), se consideró necesario normar este tipo de tubo para homogeneizar la toma domiciliaria, ya que por las características de la tubería de polietileno, se pueden utilizar diferentes RD de tubería así como diferentes diámetros, pero, debido a la necesidad de interconexión entre la tubería de polietileno y los diferentes materiales usados en las instalaciones hidráulicas domésticas, es necesario contar con una cantidad relativamente pequeña de adaptadores que cumplan la función con gran eficiencia, lo cual se consigue estandarizando la tubería antes de la instalación interior doméstica.

Lo anterior no da oportunidad a que sean utilizados en forma equivocada conexiones y adaptadores, y evitar con esto el perder las ventajas de la utilización de la tubería de polietileno, al provocar pérdidas de presión, de fluido, o contaminación del agua potable.

1. Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones aplicables a los tubos de polietileno de alta densidad (PEAD), serie métrica, utilizados en tomas domiciliarias de agua (TD)

Como definiciones adicionales en esta norma se agregan las siguientes:

3.1 Cuadro	<i>Parte de la toma domiciliaria que inicia donde termina el ramal, cuya función es la de permitir la colocación del medidor y otros elementos tales como: válvula limitadora de flujo, llave de nariz y otras válvulas. Se ubica en los límites del predio, terminando con el tapón instalado.</i>
3.2 Diámetro exterior promedio (dem)	<i>Es el promedio aritmético de las lecturas efectuadas en el diámetro exterior del tubo.</i>
3.3 Diámetro exterior tipo (De)	<i>Es el valor del diámetro exterior especificado al cual se aplican las tolerancias.</i>
3.4 Diámetro nominal de los tubos (Dn)	<i>Medida de la clasificación de la toma domiciliaria, que corresponde a la denominación comercial de los elementos que la integran.</i>
3.6 Ramal	<i>Parte de la toma domiciliaria que da inicio en la llave de vertical y concluye en el codo inferior del primer tubo vertical del cuadro. (ver figura 1)</i>
3.7 Toma domiciliaria	<i>Instalación que se conecta a la tubería de la red de distribución y permite el suministro de agua potable a los usuarios. (ver figura 1)</i>

4. Símbolos

Para los propósitos de esta norma se entiende por

- PEAD Polietileno De Alta Densidad.
TRTD Tubo para ramal de toma domiciliaria.
TD Toma domiciliaria.

5. Clasificación

Los tubos objeto de esta norma se clasifican en:

5.1 De acuerdo a su diámetro exterior en dos tipos:

Tipo I	Tubo de 16 mm de diámetro exterior.
Tipo II	Tubo de 20 mm de diámetro exterior.

5.2 Con base a su presión de trabajo, en una sola clase, con una presión máxima de trabajo de 1.0 Mpa (10 Kg / cm²)

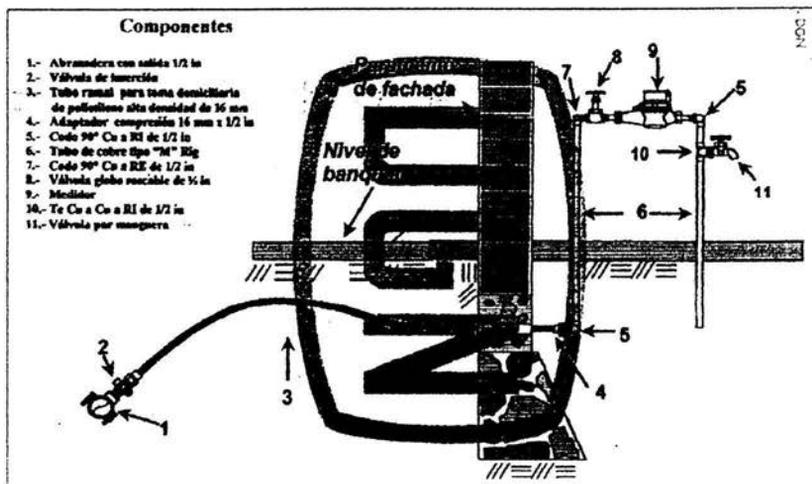


Figura 1.- Tubo de polietileno de alta densidad en la toma domiciliaria de agua.

6. Especificaciones:

El producto objeto de esta norma debe cumplir con las especificaciones que se establecen a continuación..

6 Dimensionales

6.1 Para comprobarse todas las dimensiones de utilizarse la NMX-E-021-SCFI.

6.1.2 Diámetro, espesor y ovalidad de los tubos	El diámetro exterior, el espesor y la ovalidad de la parte lisa de los tubos se establecen en la tabla 1
6.1.3 Longitud de los tubos	Debe establecerse previo acuerdo entre fabricante y comprador, siempre y cuando se conserve la tolerancia de \pm

	0.5 %.
6.2 Mecánicas.	
6.2.1 Resistencia a la presión hidráulica interna a corto período.	El tubo de polietileno debe soportar como mínimo una presión de cuatro veces la presión de trabajo (debe resistir 4.0 MPa ó 40 Kgf / cm ²), como se establece en el capítulo 5 esto se verifica de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-016-SCFI.
6.2.2 Resistencia a la presión sostenida por 1000 horas.	El tubo de polietileno debe estar exento de falla, después de someterse a una presión de 2 veces la presión de trabajo como se establece en el capítulo 5 durante 1000 horas como mínimo, esto se verifica de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-E-013-SCFI. Esta prueba debe efectuarse 3 veces como mínimo al año, cada vez en diferente diámetro y tipo.
6.2.3 Resistencia a la tensión.	La probeta debe resistir una tensión mínima de 19.4 MPa (194 Kgf / cm ²) para los dos tipos. Esto se verifica de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-E-082 (ver referencias en ANEXO "A").
6.2.4 Alargamiento mínimo a la rotura .	Las probetas de los dos tipos de tubo de polietileno son sometidas a pruebas de alargamiento . El momento crítico mínimo de rotura debe de ser de 350 %, de acuerdo con lo establecido en la norma mexicana NMX-E-082 (ver referencias en ANEXO "A").
6.3 Físicas y químicas	
6.3.1 Especificación sanitaria.	El agua después de estar en contacto con las tubos de polietileno (PEAD), de acuerdo en lo establecido en la Norma Mexicana NMX - E - 028 (ver referencias en ANEXO "A"), no debe exceder en la tercera extracción, que se indican en la tabla 2. Esta prueba debe de efectuarse como mínimo dos veces al año.
6.3.2 Resistencia al envejecimiento	Los tubos no deben presentar ninguna de las fallas indicadas en el inciso 3.5 (abolsamiento, falla, filtración o reventamiento) al ser sometidos a una presión de por lo menos 2.1 veces la presión de trabajo. Esto se verifica de acuerdo a lo establecido en la Norma Mexicana NMX - E - 035. (ver referencias en ANEXO "A").
6.3.3 Reversión térmica.	Cuando los tubos se verifican de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana MNX-E-179-SCFI (ver referencias en ANEXO "A") , el resultado no debe variar más de un 3% en el sentido longitudinal. Además en las probetas no deben aparecer burbujas, fisuras, oquedades, así como otros defectos apreciables.
6.3.4 Protección al Intemperismo	Los tubos deben estar protegidos contra el Intemperismo, para comprobar esto, se debe cumplir con las siguientes especificaciones:
6.3.4.1 Contenido de Negro de Humo.	Los tubos de polietileno deben contener de 2.0 % a 3.0 % en de negro de humo. El cual se verifica de acuerdo a lo indicado en la Norma Mexicana NMX-E-034 (ver referencias en ANEXO "A").
6.3.4.2 Dispersión de negro de humo	los tubos de polietileno deben de cumplir con la dispersión de negro de humo especificadas en las fotografías 1 a 6 de la Norma Mexicana NMX-E-061 (ver referencias en ANEXO "A").
6.3.5 Densidad del tubo	La resina virgen utilizada en la fabricación de los tubos de

	polietileno objeto de esta norma debe tener la densidad mínima de 0.950g/cm ³ . Esto se verifica de acuerdo a lo establecido en las normas mexicanas NMX-E-004 o NMX-E-185 (ver referencias en ANEXO "A").
6.4 Apariencia	
6.4.1 Acabado.	Las superficies interna y externa del tubo deben ser lisas, de color homogéneo, libres de grietas, ampollas, protuberancias o cualquier otro defecto apreciable. No deben contener impurezas ni porosidades, el acabado debe ser tan homogéneo como comercialmente sea práctico. Esto se verifica visualmente.
6.4.2 Color.	Los tubos deben ser de color negro. Esto se verifica visualmente.

TABLA 1.- Diámetros, espesores de pared y ovalidad.
Dimensiones en milímetros.

Diámetro nominal (Dn)	tipo	Diámetro exterior		ovalidad	espesor	Tol (+)
		Tipo (De)	Tol (+)			
16	I	16	0.3	1.0	2.0	0.3
20	II	20	0.4	1.2	2.3	0.4

TABLA 2.- Valores máximos permisibles de metales pesados.

Parámetro	Especificación Ppm	Método de prueba (Norma Mexicana)
Plomo	0.05	NMX-AA-051 o NMX-BB-093
Cadmio	0.01	NMX-BB-093 o NMX-BB-093
Estaño	0.02	NMX-BB-093
Mercurio	0.001	NMX-AA-051
Bario	1.00	NMX-AA-051
Antimonio	0.05	NMX-AA-051
Cromo	0.05	NMX-AA-051
Arsénico	0.05	NMX-AA-051

7. Materia prima.

El producto objeto de esta norma debe ser elaborado a base de resina de polietileno, la cual debe tener una densidad mínima de 0.950g/cm³, esto se verifica de acuerdo a lo establecido en las normas mexicanas NMX-E-004 o NMX-E-185.

8. Muestreo

Para verificar el producto objeto de esta norma, debe utilizarse un plan de muestreo establecido de común acuerdo entre el fabricante y el comprador, con un nivel de calidad aceptable máximo de 4 y de acuerdo a lo establecido en las normas mexicanas NMX-Z-012/1, NMX-Z-012/2 y NMX-Z-012/3

9. Métodos de prueba.

Para verificar la calidad del producto objeto de esta norma, se deben aplicar las normas mexicanas indicadas para cada caso..

10. Marcado

La tubería objeto de esta norma, debe marcarse en forma clara e indeleble, a intervalos no mayores de dos metros, con los siguientes datos como mínimo:

- *Nombre, razón social, marca registrada o símbolo del fabricante.*
- *Material del que está fabricado el tubo (PEAD)*
- *Diámetro nominal.*
- *Presión máxima de trabajo.*
- *Uso: "Tubo para ramal de Toma Domiciliaria" (TRTD).*
- *Fecha de fabricación (día/mes/año)*
- *La leyenda "HECHO EN MÉXICO" o declaración del país de origen*
- *Sello oficial de garantía. Cuando así se autorice.*

3.- Proceso Constructivo.

El proceso de termofusión de tuberías, permite elegir entre varios sistemas de trabajo o una combinación de ellos, la pauta a seguir para el desarrollo de los trabajos de la instalación de las tuberías, como puede ser, que se excaven primero las cepas donde se alojará la tubería, y posteriormente se unan los tramos de tubería, a la manera tradicional, o bien que la tubería ya unida por termofusión se coloque en el sitio de los trabajos antes de iniciar las excavaciones, o trabajar por tramos según convenga; para esto se utilizan principalmente dos sistemas en el manejo de las tuberías del proceso de termofusión de los tramos de tubería que proporciona el fabricante: unión en un punto y la unión en toda la línea, adicionalmente del proceso a seguir para la construcción de cruceros e instalación de conexiones y dispositivos.

Es la flexibilidad de la tubería de polietileno, la que permite las uniones fuera de la zanja y facilita su posterior instalación dentro de ésta, rolando o empujando la tubería, más que cargándola, haciendo posible su acomodo de acuerdo al contorno del terreno, eliminando una gran cantidad de codos y trabajos de predoblado, necesarios con otras tuberías. La tubería puede ajustarse a curvaturas permanentes, con radios 10 veces el diámetro del tubo, sin dañarse ó afectar sus propiedades físicas, de esta manera, se evita la construcción de atraques en la mayoría de las veces, que son necesarios en otros tipos de tuberías cuando existen cambio de dirección.

El polietileno a diferencia de otras tuberías plásticas, tiene una excelente resistencia a las fracturas por impacto, aunado a su ligereza común en las tuberías de plástico, permite su fácil transporte, carga, almacenamiento e instalación, minimizando los desperdicios.

El sistema de trabajo, esta diseñado para trabajar fuera de las cepas, es decir la unión de los tramos de tubería suministrados por el fabricante, son unidos por juntas termo fusionadas para formar las longitudes necesarias, y posteriormente introducirse a las cepas ó a los conductos que las alojaran definitivamente.

Aún y cuando existe la anterior indicación, no esta limitada a ser la única posibilidad, ya que dependerá de las necesidades de la obra y de la imaginación del ingeniero la aplicación de la solución mas económica y adecuada al trabajo que se ejecuta.

3.0.1. Unión en un punto.

Si se trabaja con trazos de tubería en líneas rectas largas, donde el terreno sea accidentado, o sea necesario pasar bajo otras tuberías u obstáculos dentro de las cepas o en el trazo de la tubería, se recomienda utilizar este sistema, que consiste en unir primeramente tramos continuos de 150 a 200 metros, que luego serán transportados o remolcados por tres o cuatro hombres, o por algún vehículo, esto dependiendo del diámetro de la tubería, así como del terreno y equipo del que se disponga, al utilizar este sistema, y durante el movimiento de la tubería se procurará evitar el roce de la tubería con aristas cortantes y facilitar su deslizamiento en puntos críticos mediante rodillos que pueden ser secciones del mismo tubo, los tramos de tubería se distribuirá en cantidades adecuadas en cada punto de unión previsto, donde posteriormente se unirán los tramos construidos para formar uno solo.

Gracias a la gran flexibilidad de la tubería de polietileno, y que una vez unidos por termofusión los tramos, esta se comporta como una tubería de una sola pieza con una longitud determinada por el método de arrastre y la posibilidad de manejo de la misma, es posible introducir esta dentro de tuberías enterradas (con sus restricciones de diámetro) que necesiten ser sustituidas, y que debido a razones de tráfico o de infraestructura, no sea recomendable la excavación total de la cepa para sustituir la tubería caduca o en mal estado, en este punto existen una diversidad de métodos para el manejo de la tubería dentro de las tuberías ya existentes, incluidos los que destruyen la tuberías obsoletas, hasta los métodos que se usan para perforar longitudes relativamente grandes por medio de esta tubería, para construir pasos por debajo de otras instalaciones u obstáculos naturales ó artificiales, dado lo anterior, sin embargo el ciclo de actividades para el proceso de termofusión, es el de unión en un punto, para formar una tubería continua y por diferentes procedimientos, proceder a sustituir, por arrastre, empuje o cualquier otro método las tuberías en cuestión.

Para trabajar con este sistema, se procede primeramente a elegir un lugar conveniente para colocar el equipo, sus accesorios y los tramos de tubería que serán unidos, una vez elegido el sitio y colocado en el lugar todo lo necesario, de acuerdo al proceso de termofusión a utilizar, que para este caso, el más conveniente es la unión a tope, se coloca el equipo en posición. Generalmente el equipo de termofusión ó carro alineador consta de dos juegos de abrazaderas, un juego fijo al equipo y otro juego deslizante sobre el eje del equipo, se procurará por ser más conveniente, que la parte del equipo que tiene las abrazaderas fijas, se oriente hacia la dirección en que se transportará la tubería unida. El proceso requiere que las puntas de dos tramos de tubería se sujeten en las abrazaderas del equipo, para iniciar el proceso de termofusión. De acuerdo a la metodología indicada por el fabricante de la tubería y/o del equipo, se efectuará el proceso de unión ó junteo por termofusión; una vez terminado el proceso, se libera la tubería del equipo y a continuación se procederá a deslizar el tramo unido por sobre el equipo, para iniciar nuevamente el proceso, inmovilizando la punta del tramo ya unido, para unir otro nuevo tramo al mismo. Así hasta concluir la longitud de tubería necesaria.

Una vez unido en su totalidad el tramo ó los tramos, se trasladarán hasta el sitio donde se colocarán definitivamente la tubería ya unida, en caso de que sea necesario unir los tramos (ó lingadas, chorizos, cadenas, collares, etc.) unos con otros en la longitud del trazo de la cepa, será necesario trasladar el equipo hasta ese nuevo lugar, para proceder a efectuar una sola unión en ese punto, donde las puntas de los dos tramos, deberán coincidir con un traslape mínimo, de acuerdo al diámetro del tubo. Y así repetir este proceso hasta concluir con la longitud total de tubería requerida.

Este sistema de trabajo proporciona rendimientos altos, ya que la termofusión se efectúa en forma continua, semejando un proceso industrial, que permite al ser repetitivo cuidar adecuadamente la calidad de las uniones, y controlar el calentador a una temperatura constante, minimizando la probabilidad de juntas de mala calidad.

Otra aplicación que se puede manejar, es cuando se construye una red de abastecimiento domiciliario, en que las longitudes entre cruceros es relativamente pequeña, es posible unir en un lugar específico todos los tramos que conforman la red con sus longitudes entre cruceros, y posteriormente, cuando las excavaciones se van concluyendo, se transportan y colocan las tuberías en su sitio, procediendo a cerrar la red con la construcción de los cruceros.

3.0.2. Unión en toda la línea.

Cuando se va a trabajar sobre un camino plano, en longitudes cortas, o el diámetro de la tubería no permite un fácil manejo o arrastre, lo más conveniente es unir tramo por tramo en toda su extensión, por lo que la tubería deberá depositarse a todo lo largo del trazo de la cepa y al lado contrario al que se coloque el producto de la excavación, para facilitar las maniobras de unión.

Una vez colocada la tubería a todo lo largo del trazo de la línea, se procederá a ubicar el equipo en donde se efectuará la primera unión, colocando las abrazaderas fijas hacia donde el tubo quedará atrás al desplazarse el equipo hacia la siguiente junta, se montan las puntas de los dos tramos de tubería a unir en el equipo, se procede a ejecutar la termofusión, una vez concluida esta, se desmonta la tubería unida y se traslada el equipo a la siguiente ubicación donde se unirán otras dos puntas de tubería. Este proceso, se hace repetitivo, hasta donde sea necesario, teniendo cuidado de mantener los niveles de calidad y las temperaturas adecuadas para efectuar la termofusión en todas las juntas.

3.0.3. Construcción de cruceros y colocación de accesorios:

Para este tipo de trabajo, es conveniente, que las tuberías ya unidas por termofusión estén ubicadas en su nivel definitivo, y que se disponga de la totalidad de las piezas a utilizar, ya que los llamados cruceros, sean unión de tuberías entre sí, instalación de piezas especiales, instalación de válvulas y medios de control, deben iniciarse y concluirse dentro en una acción continua en el menor tiempo posible, ya que la tubería presenta cambios de longitud motivados por la temperatura ambiental, por lo cual al efectuar cortes en los extremos de las tuberías para ubicar las conexiones adecuadas, si estas no son instaladas de inmediato, junto con la piezas necesarias para interconectar las tuberías o para terminar el crucero, lo más probable es que al intentar realizar estos trabajos posteriormente, las dimensiones de los cortes efectuados con anterioridad (distancias entre extremos) hayan sufrido modificaciones, siendo necesario corregir estas por medio de nuevos cortes y juntas.

En la instalación de los dispositivos y conexiones, es recomendable trabajar dentro de las cepas, o bien en las excavaciones que contendrán las cajas de válvulas, lo cual dará espacio suficiente para trabajar dentro de las mismas con equipo ó termofusionar las juntas necesarias manualmente, esto, según el tipo de tubería que se trate y principalmente de su diámetro, ya que este determinará la facilidad del manejo manual de la tubería.

Lo anterior es recomendable, pero siempre existirán alternativas, como lo es que el, si en la tubería ya colocada dentro de la cepa, se dimensiona la instalación de las piezas a colocar, sea posible extraer esta de la cepa, para efectuar las uniones por termofusión fuera de la misma, y al concluir, reintegrarla al interior de la cepa, con lo cual se evitará aumentar las dimensiones de la misma.

Es conveniente aclarar que todas las obras son distintas y que ambos sistemas se pueden combinar para dar un mejor rendimiento, sobre todo en diámetros menores a 8" en los cuales, si se dispone de suficiente mano de obra u equipo se pueden arrastrar tramos de tubería considerablemente mayores a los ya indicados, lo cual no es posible en diámetros mayores, por el peso mismo de la tubería.

3.1. Excavaciones

La ventaja principal respecto a otros procesos para la construcción de sistemas de tuberías, radica principalmente, en que las tuberías de Polietileno pueden ser ensambladas fuera de la cepa o conducto que las alojarán, siendo también su comportamiento en la intemperie excelente, por lo cual no se necesitan espacios de trabajo dentro de la cepa, es debido a esto, y que excepcionalmente se requiere una superficie especial para que la soporte, no siendo necesario excavar la parte correspondiente a las "camas" que solicitan otro tipo de tuberías, que las dimensiones de las cepas se reducen notablemente, logrando con esto una disminución en los costos de ejecución de estos trabajos.

Estas dimensiones deberán ajustarse a las especificaciones del proyecto, para obtener un ahorro más significativo se recomienda observar las siguientes reglas:

A.- Ancho.

Zona suburbana, se considera el diámetro de la tubería (en cm.) y a este se le suman 10 cm por lado.

Zona urbana, también serán 10 cm a cada lado adicionales al diámetro de la tubería.

B.- Profundidad.

Zona suburbana, 20 cm a partir del nivel del terreno hasta el lomo de la tubería.

Zona urbana, 50 cm a partir del nivel del terreno hasta el lomo de la tubería.

Con lo anterior se puede construir la tabla que a continuación se muestra:

DIAMETRO NOMINAL DE TUBERÍA		ZONA SUB-URBANA			ZONA URBANA		
mm.	Pulgadas	Ancho	Prof.	Vol. X m	Ancho	Prof.	Vol. X m
25-100	1"- 4"	0.30 m	0.30 m	0.090 m3	0.30 m	0.60 m	0.180 m3
150	6"	0.35 m	0.35 m	0.122 m3	0.35 m	0.65 m	0.227 m3
200	8"	0.40 m	0.40 m	0.160 m3	0.40 m	0.70 m	0.280m3
250	10"	0.45 m	0.45 m	0.202 m3	0.45 m	0.75 m	0.337m3
300	12"	0.50 m	0.50 m	0.250 m3	0.50 m	0.80 m	0.400 m3
350	14"	0.55 m	0.55 m	0.302 m3	0.55 m	0.85 m	0.467 m3
400	16"	0.60 m	0.60 m	0.360 m3	0.60 m	0.90 m	0.540 m3
450	18"	0.65 m	0.65 m	0.422 m3	0.65 m	0.95 m	0.617 m3
600	24"	0.80 m	0.80 m	0.640 m3	0.80 m	1.10 m	0.880 m3
900	36"	1.10 m	1.10 m	1.210 m3	1.10 m	1.40 m	1.540 m3

Lo anterior, sin embargo es conveniente revisarlo para los puntos críticos del cálculo hidráulico, así también, será conveniente revisar profundidades de los elementos

de control (válvulas), para que estos sean operables a profundidades mínimas, o bien, en los puntos donde se ubiquen estos se dará mayor profundidad a la tubería, o se construirán obras de protección para estos elementos, además de que en el proyecto habrá de revisarse la resistencia de la tubería a las cargas de relleno y las cargas vivas o de tránsito que deberá soportar junto con el relleno, que en muchos de los casos será el factor determinante de la profundidad a la que se ubicará la tubería y del RD necesario para evitar se colapse debido a las cargas impuestas a la tubería por los rellenos.

3.2. Rellenos.

Normalmente, en este capítulo, por orden de ejecución de las actividades en la construcción de líneas y redes de tuberías, se debería colocar la instalación de la tubería, pero, el proceso de termofusión es un caso especial de unión de tuberías, que debe ejecutar personal con adiestramiento y que debe contar con un mínimo de equipo para hacer las uniones por termofusión, es debido a esto, que se dará un capítulo extenso a esa actividad, que al intercalarlo en este punto, nos desviaría del proceso de construcción, ya que es una actividad, que se puede efectuar antes, durante y después de los trabajos de excavación, por lo cual, es conveniente, que para dar continuidad a los trabajos, se tratan los temas que a continuación se mencionan.

El relleno de la zanja debe de seguir a la colocación de la tubería dentro de la cepa, tan pronto como sea posible, de esta manera se disminuye el riesgo de que la tubería sufra algún desperfecto, eliminándose también los problemas que causan las inundaciones de la zanja. Se recomiendan los pasos siguientes:

3.2.1. Plantilla :

Cuando se trabaja en terrenos tipos I y II, la tubería de polietileno no necesita de plantilla o de encamado, ya que por su flexibilidad se ajusta al contorno del piso de la cepa. Solo en el caso de terreno tipo III, se requerirá de una plantilla de 5 cm de espesor, para evitar contacto directo con aristas agudas del fondo.

En caso de ser necesario por la existencia de roca en el fondo de la excavación, o bien porque el proyecto la solicite, la plantilla deberá de ser uniforme, y de preferencia compacta, de material de banco. Para el caso de las tuberías de que serán utilizadas para drenaje, esta deberá de ser nivelada siguiendo las pendientes del proyecto. Se recomienda que el material utilizado en la construcción de la plantilla o cama, sea sin rocas, ya que estas podrían perforar la tubería. Otra solución posible es utilizar el mismo material de la excavación al que previamente se le somete a un cribado para separar los materiales gruesos que pudiesen dañar la tubería.

3.2.2. Colocación de la tubería.

Para colocar la tubería en el fondo de la cepa, no se tiene definido algún procedimiento en particular, este movimiento depende del lugar donde este ubicada la tubería ya unida por termofusión, por ejemplo, si la tubería se encuentra a un lado de la cepa, puede introducirse a ella, por volteo simple, evitando en lo posible que la tubería se golpee en exceso al caer en el fondo de la cepa, o bien, la tubería también puede arrastrarse por el fondo de la cepa, para evitar otras instalaciones que pueden quedar a un nivel superior al de la tubería. Deberá de tenerse cuidado, para que en esta acción la

tubería no sufra daños por roce en aristas de roca que pudiesen existir en los lados y fondo de la cepa, y que por esa razón, se disminuya el espesor de la pared en forma notable, o que pudiese sufrir alguna perforación.

La expansión y la contracción térmica deben ser consideradas en el diseño, y durante la instalación, aunque el coeficiente para la expansión y la contracción es mayor para el polietileno que para otros materiales, las fuerzas generadas por la tensión térmica son mucho menores, ya que la elasticidad es mayor y además es capaz de presentar relajación. El fenómeno de la dilatación y la contracción presente en las tuberías termoplásticas puede ser contrarrestado aplicando las recomendaciones siguientes:

a.-Al colocar la tubería dentro de la cepa se tendrá la precaución de tenderla serpenteada, es decir, no recta, para facilitar los movimientos de contracción y dilatación que se presenten, durante la instalación y posteriores a está.

b.-Buscar instalar la tubería en momentos del día donde la tendencia sea la expansión en lugar de la contracción.

c.-Proteger la tubería con el material de arroyo de la zanja para aprovechar su efecto aislante y conservar la línea dentro de un rango corto de temperaturas.

d.-Tomar en cuenta la dimensión de la posible contracción térmica máxima para compensar la longitud extra en el momento de la instalación.

3.2.3. Detección de líneas:

Debido a que generalmente las líneas no siguen el trazo original del proyecto por variaciones en obra, se debe recurrir a proporcionar a la tubería de polietileno un sistema que pueda ser susceptible de detección, como lo puede ser sujetando a toda su extensión un alambre metálico, o con anillos metálicos a intervalos regulares no mayores a 150 metros, de modo que con un detector de metales sea factible localizarla para reparaciones, ampliaciones o cualquier otra finalidad. Otro método, puede ser el que a cierto nivel, superior al lomo de la tubería, se coloque una banda de señalamiento que indique la profundidad y el tipo de tubería que se encontrará si se sigue excavando en ese lugar, esto, con el fin de evitar daños a la tubería ocasionados por obras ejecutadas posteriormente a esta. Algunas autoridades, solicitan que el relleno de la cepa, sea totalmente ejecutado con material de banco, diferente en color y cualidades a las del terreno natural, con el doble objetivo, se proteger a las tubería por el señalamiento de diferente color en el terreno y al pavimento que se colocará sobre esta.

3.2.4.- Acostillado:

Una vez colocada la tubería en el fondo de la cepa, se procede a cubrir la misma, para lo cual se sugiere que sea el mismo material producto de la excavación, separando únicamente las piedras con aristas agudas que pudiesen quedar en contacto directo con la tubería. Para lo cual en primera instancia se deberá de llenar los flancos de la tubería con el material de relleno, hasta la mitad del nivel del tubo y apisonando después la tierra de los lados, y posteriormente, continuar con el relleno en capas de material según lo soliciten las especificaciones correspondientes, con la herramienta adecuada.

3.2.5.- Relleno de la cepa.

De acuerdo con la ubicación de la red, el proyecto deberá indicar las solicitudes a que será expuesto el relleno de las cepas, determinando esto la necesidad de compactación mecánica, o bien de relleno solo a volteo con el material solicitado o recuperado de la excavación.

El relleno en terreno tipo I y II puede hacerse con el mismo material de excavación, evitando únicamente las piedras agudas. En terreno tipo III será necesario hacerlo con material de banco. La compactación del material de relleno no es necesaria si se han tomado en cuenta los espesores mínimos de relleno sugeridos en otros capítulos, y si esta se efectúa será para la protección del pavimento o piso que se coloque sobre el trazo de la cepa. Lo anterior, sin olvidar que los requerimientos del proyecto deben observarse primordialmente.

Normalmente, las especificaciones de los órganos reguladores, indican un procedimiento como el que sigue:

"Cuando en líneas de conducción no se requiera un grado de compactación especial, el material se colocará en las excavaciones a volteo apisonándolo ligeramente, por capas sucesivas de 20 centímetros, a partir del nivel de 30 centímetros arriba del lomo de los tubos, dejando sobre ella un montículo de material con altura de 15 cm, sobre el nivel natural del terreno, o la altura que ordene la Secretaría".

El proceso de unión de tuberías de polietileno por termofusión, cuando es ejecutado responsablemente, permite garantizar que no existen fugas en las uniones, por lo cual, aún cuando la mayor parte de los lineamientos impuestos por los órganos reguladores para la construcción de sistemas de tuberías, solicita que se dejen al descubierto las juntas entre tubos hasta que se realice la prueba hidrostática de la tubería, lo cual indican en párrafos como el que sigue:

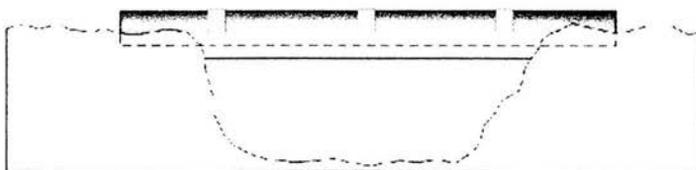
Con el fin de evitar daños a la tuberías instaladas, ocasionados por descuidos, movimiento de tierras y caída de materiales duros sobre las mismas, se recomienda proceder al relleno inmediato después de su instalación y alineamiento dejando en su totalidad descubiertos

Se podrá, de acuerdo a la mayoría de estas especificaciones proceder a cerrar en su totalidad las cepas, y posteriormente ejecutar la prueba, siempre y cuando el personal que realiza las termofusiones este capacitado y asuma la responsabilidad de que su trabajo, fue correctamente ejecutado, garantizando la no existencia de fugas.

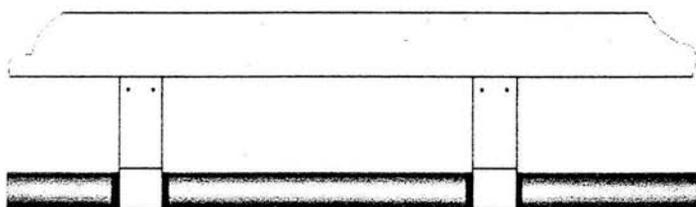
El compactado provee estabilidad a la tubería, mejorando su capacidad para resistir esfuerzos

3.2.6.- Condiciones especiales:

La versatilidad de la tubería de polietileno, le permite no solo ser colocada dentro de cepas, esto debido a que una vez unidos los tramos por termofusión, se convierte en un solo elemento, lo cual le permite ser utilizada como una tubería continua, que no necesita confinación para mantenerse unida, esta cualidad le permite ser estable colocada superficialmente ó en instalaciones aéreas.



Soporte continuo para una tubería de polietileno que cruza un vado.



Soporte intermitente para un tubo de polietileno suspendido de una estructura rígida.

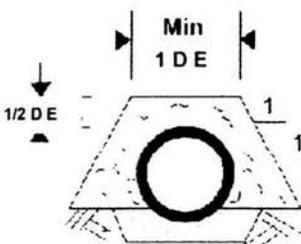
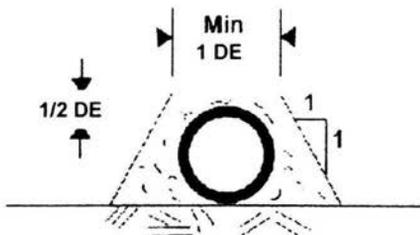
3.2.6.1. Tuberías superficiales.

En muchos casos la tubería ya termo fusionada, es simplemente colocada en la superficie de la tierra, las tuberías de polietileno, han sido usadas comúnmente en estas situaciones, logrando mantenerse periodos de más de 15 años sin perder sus características físicas dependiendo del lugar. Debido a los cambios de temperatura por el transcurrir día-noche la tubería tiende a contraerse o a expandirse y a enroscarse, siendo esto de naturaleza común en la tubería debido a su componente plástico.

Es recomendable, que para controlar estos movimientos, o para que la tubería permanezca estable, sea anclada a intervalos regulares, o bien permitir su movimiento libre entre dos hileras de obstáculos laterales, como podrían ser una zanja poco profunda ó dos hileras de pilares enterrados. Sin embargo, donde la pendiente del terreno donde sea necesario ubicar la tubería sea significativa, es conveniente usar atraques o postes para sujetar la tubería.

Es conveniente, que hasta donde sea posible se proteja a la tubería de temperaturas superiores a los 60° C. Debido a que más allá de esa temperatura, se incrementan rápidamente los cambios físicos de la materia prima de la tubería. En climas fríos se debe tener la precaución de evitar las obstrucciones de la tubería por la congelación de los líquidos dentro de ella, el paso constante de líquido por la misma, evitará que esta se congele. Si por alguna razón el flujo se detendrá en condiciones de congelación, se colocarán desagües para vaciar parcial ó totalmente la tubería. Lo anterior, es solo con el fin de evitar la obstrucción de las líneas, ya que si es necesario o no es posible de evitar, el agua contenida dentro de la tubería se podrá congelar, y en respuesta a esto, la tubería se deformará elásticamente para contener el aumento de volumen del agua al congelarse, siendo reversible este fenómeno al descongelarse el agua contenida.

La tubería fabricada con polietileno, tiene una dureza y excelente resistencia a la abrasión, que podrá resistir el daño ocasionado por los suelos en los cuales se asentará, sin embargo es conveniente evitar el contacto con piedras afiladas, que pueden ocasionar perforaciones y cortes a la tubería.



Atraques superficiales para limitar los movimientos causados por los cambios de temperatura en tuberías de polietileno colocadas superficialmente.

A continuación se propone un método, para calcular la distancia entre atraques, dependiendo de la deflexión lateral tolerada.

$$\Delta Y = L \sqrt{0.50 \alpha (\Delta T)}$$

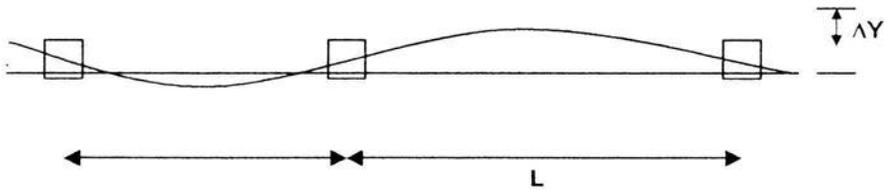
donde:

ΔY = Deflexión lateral en pulgadas.

L = Longitud entre apoyos (pulg.) .

α = Coeficiente de expansión térmica (0.0001pulg./pulg./° F, determinado según la ASTM D696)

ΔT = Variación de temperatura ° F.



La anterior fórmula derivada de la general para obtener el incremento ó disminución de longitud motivada por un cambio de temperatura que es:

$$\Delta L = L \alpha (\Delta T)$$

Donde:

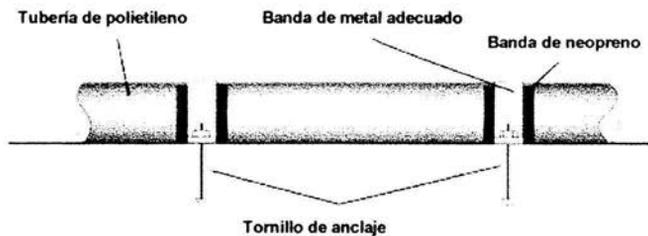
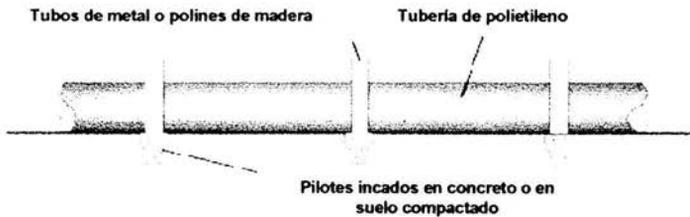
ΔL = Cambio en la longitud (pulg.).

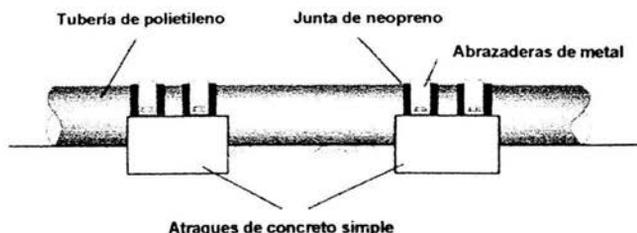
L = Longitud original. (pulg.)

ΔT = Cambio de la temperatura (° F)

α = Coeficiente de expansión lineal (10 a 12 X 10⁻⁵ pulg. / pulg. / ° F)

Es común considerar como máxima deflexión permitida una deflexión de ½"





Algunos tipos de confinamiento para tubos colocados superficialmente

3.2.6.2. Instalaciones aéreas.

En algunas instalaciones visibles se tendrá que colocar la tubería a niveles superiores al los de terreno natural, ya sea soportada en toda su longitud, o bien soportada por colgantes y abrazaderas para adosarla a alguna estructura, colgarla de las techumbres existentes, etc., esto generalmente ocurre en instalaciones industriales, de minería, y en plantas de tratamiento, en general, Para estos casos es conveniente seguir las siguientes recomendaciones:

El proceso de termofusión a seguir es el mismo, debiendo evitarse en lo posible efectuar las uniones en situaciones incómodas ó difíciles que podrían redundar en la baja de la calidad del proceso, si esto no es posible, se deberá procurar que la termofusión se efectúe en las mejores condiciones apoyados con andamios y estructuras adecuadas de soporte .

Es conveniente que las tuberías se termofusionen sobre una superficie regular y estable, como puede ser a nivel de piso y posteriormente se coloquen en su ubicación definitiva. Se deberá planear el proceso de tal manera, que se minimicen las termofusiones en lugares altos, en caso de no ser posible realizar estas en lo alto o por las dificultades de espacio, se podrá utilizar las diferentes uniones mecánicas existentes, como pueden ser tuercas unión, bridas, etc.

La deflexión de la tubería entre dos soportes, puede calcularse utilizando las fórmulas para una viga con carga uniformemente repartida:

$$Y_{\max} = \frac{5}{384} \frac{(W_{\text{tubo}} + W_{\text{fluido}}) d^4}{E I}$$

Donde :

Y_{max} = Es la deflexión máxima, equidistante entre los apoyos en pulg.

W_{tubo} = Carga propia unitaria del tubo .

W_{fluido} = Carga unitaria del fluido contenido en el tubo.

E = Modulo de flexibilidad en periodos largos, en lb /pulg²

I = Momento de inercia en pulg⁴ .

d = Distancia entre soportes en pulg.

$$I = \frac{\pi}{64} (DE^4 - DI^4)$$

DE = Diámetro exterior del tubo.

DI = Diámetro interior del tubo.

La distancia entre soportes, deberá ajustarse para obtener como máximo una deflexión de 0.5 pulg, adicionalmente, dependiendo de las recomendaciones del fabricante, se aplicarán factores de corrección a la distancia entre soportes, entre otras causas, estos serán consecuencia del ancho del soporte y de que por cambios de temperatura, también se presentan deflexiones que son representadas por la siguiente fórmula:

Deflexión total = deflexión tipo viga + deflexión por expansión térmica

$$= Y_{max} + \Delta Y$$

$$= \frac{5 W d^4}{384 E I} + L [0.5 \alpha (\Delta T)]^{1/2}$$

El análisis de la viga simple asume que existe un solo punto de apoyo en cada extremo, pero la mayoría de las tuberías se soportan con varios apoyos repartido en longitudes relativamente iguales, por lo cual el diseñador puede analizar cada segmento individualmente, considerando en cada apoyo las condiciones estáticas ó hiperestáticas al existir diferentes tipos de soportes, que pueden simplemente apoyar, ó proporcionar un empotramiento en ese punto a la tubería.

Para lo anterior, el PPI (Plastics Pipe Institute) propone un análisis de viga continua basado en las diferentes condiciones de apoyo con la fórmula:

$$d = \frac{fql^3}{E_L I}$$

Donde:

d = Deflexión ó flecha (pulg)

f = Coeficiente de deflexión

q = carga por unidad de longitud (lbs / pulg)

L = longitud entre soporte ó amarre (pulg)

EL = Apparent long - term modulus of elasticity at average long - term temperature de la Table 1

I = Momento de inercia (pulg⁴) = (p/64)(OD⁴ - ID⁴)

El coeficiente de deflexión "f" es una función del número de soportes ó amarres y si la tubería esta abrazada firmemente ó solo guiada (no amarrada ó empotrada) dentro de los soportes, en la tabla siguiente están propuestos los valores más prácticos para "f"

Coeficientes de deflexión "f" para varias configuraciones de apoyos.

1 Tramo	2 Tramos	3 Tramos	4 Tramos
N - N F = 0.013	N - N - N F = 0.0069	N - N - N - N 1 2 1 f1=0.0069 f2=0.0026	N - N - N - N - N 1 2 2 1 f1=0.0065 f2=0.0031
F - N f=0.0054	F - N - N 1 2 f=0.0026 f2=0.0054	F - N - N - N 1 2 2 f1=0.0026 f2=0.0054	F - N - N - N - N 1 2 2 2 f1=0.0026 f2=0.0054
F - F f=0.0026	F - N - F f=0.0026	F - N - N - F 1 2 1 f1=0.0026 f2=0.0031	F - N - N - N - F 1 2 2 1 f1=0.0026 f2=0.0031
	F - F - F f=0.0026	F - F - F - F f=0.0026	F - F - F - F - F f=0.0026

F = Apoyo empotre, o firme N = Apoyo simple.

Este método, como el de análisis de viga simple, puede no considerar las deflexiones adicionales por contracción o expansión provocada por las variaciones de temperatura, por lo cual la siguiente fórmula la integra, siendo la deflexión total en pulgadas el resultado de :

$$\frac{f q L^4}{E I} + L [0.5 r (\Delta T)]^{1.2}$$

Se considera que la máxima deflexión permisible puede ser 1/2".

Table 1 Pressure Capability Design Factors

Service Temperature °F (°C)	Apparent Modulus of Elasticity (E_s) psi	Apparent Long-Term Modulus of Elasticity (E_L) psi	Pressure Design Factor
140 (60)	50,000	12,000	0.50
130 (55)	57,000	13,000	0.50
120 (49)	65,000	15,000	0.70
110 (44)	80,000	18,000	0.75
100 (38)	100,000	23,000	0.80
90 (32)	103,000	24,000	0.90
80 (27)	108,000	25,000	0.95
73.4 (23)	130,000	30,000	1.00
60 (16)	130,000	30,000	1.15
50 (10)	165,000	38,000	1.30
40 (4)	170,000	39,000	1.40
30 (-1)	200,000	46,000	1.60

3.2.6.3.- Suelos Inestables:

Existen terrenos que necesitan un tratamiento especial como los arenosos con poco soporte, o excesivamente húmedos, en los cuales, para proteger mejor la tubería, la cepa se deberá profundiza unos 10 ó 15 cm adicionales a los normalmente considerados. En estos suelos, la cepa deberá de ser rellena con material de banco como piedra molida, grava, arena, etc.. En los suelos inestables en donde el agua pueda cubrir la tubería y produzca una flotación en ésta, se le podrá lastrar, o colocar atraques para evitar la flotación.

3.3. Termofusión de tuberías

El presente es una exposición de los procedimientos más comunes de unión y montajes de tubería de polietileno. Una parte integral de cualquier sistema de la tubería es el método unión de los componentes del sistema. El proyecto de ingeniería de un sistema tendrá en cuenta el tipo y la efectividad de las técnicas de unión de los componentes de las tuberías y sus accesorios, así como la durabilidad de las uniones resultantes. La integridad y versatilidad de las técnicas de la unión usadas para la tubería de polietileno le permiten al diseñador tomar ventaja de los beneficios de la actuación de polietileno en una gran variedad de aplicaciones.

Recomendaciones Generales

Las tuberías de polietileno y sus accesorios se pueden unir a través de fusión de calor o con montajes mecánicos. Pueden unirse plásticos a otros materiales por medio de apropiados collarines de compresión, bridas, u otros tipos adecuados de montajes de transición, según convenga. Hay muchos tipos y estilos de montajes disponibles que el usuario puede escoger. Cada uno ofrece ventajas particulares y limitaciones para cada situación de unión que el usuario pueda encontrar. Es aconsejable contactar con los fabricantes para obtener una guía de aplicaciones apropiadas y conocer los estilos disponibles para unir tuberías como se describe en este documento. En este capítulo se exponen los métodos más utilizados en la unión de tuberías de diferentes diámetros.

Termofusión

Hay tres tipos de uniones de tubería por fusión por calor ó "termofusión" usados actualmente en la industria; la unión a tope, la unión tipo socket, y ensille. Hay adicionalmente otros dos métodos para producir la unión por socket y la unión tipo silla de montar ó ensille, denominados electrofusión y termofusión por aporte de material.

Procedimientos para la unión de tubería de Polietileno

El principio de la termofusión es calentar dos superficies a una temperatura específica, este calentamiento produce que el material que se calienta al llegar a cierta temperatura se funde y empiece a fluir, entonces, se unen estas superficies ya fundidas por la acción del calor y "fusionan" juntas mediante la aplicación de una fuerza suficiente. Esta fuerza causa que los materiales de ambos extremos, que por el calor aplicado a cada uno, una vez que han empezado a fluir, permite que se unan íntimamente, produciendo la fusión de los materiales componentes.

Cuando la tubería es unida por este método, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes, la fusión en el área de la junta se vuelve tan fuerte o más que la propia tubería, debido a un incremento de la sección resistente, aumentando por este motivo la resistencia a la tensión y a las fuerzas de presión para las que originalmente es proyectada la tubería

En cuanto la unión se enfría a la temperatura ambiente la tubería puede manejarse de inmediato como si se tratara de una tubería de una sola pieza. En las secciones siguientes de este capítulo se expondrá una pauta de procedimientos generales a seguir para cada uno de estos métodos de termofusión.

NOTA: Es necesario insistir en que los fabricantes serios y honestos han establecido sus propios procedimientos de termofusión calificados y que deben seguirse específicamente en cuanto se usan sus productos, estos procedimientos, varían poco entre uno y otro fabricante, generalmente en el tiempo de calentamiento y el tiempo de enfriamiento del material.

Para los tres tipos de unión, se usa herramienta especial para calentar las partes a ser unidas. Para el otro método denominado electro fusión que sólo se usa para la unión tipo socket y para juntas tipo silla de montar. El calor es generado induciendo corriente eléctrica en un rollo del alambre que es una parte del montaje.

3.3.1. Termofusión a tope de los extremos

Este método es ampliamente usado para unir grandes longitudes de tubería a partir de tramos individuales de tubería de polietileno de diámetros relativamente grandes, se fusionan por calor los extremos de la tubería como se ilustra en la figura 1, produciéndose una junta homogénea, 100 % hermética y mas resistente que la propia tubería, con esta técnica se prescinde de tuberías especialmente modificadas en los extremos para aceptar coples, campanas ó cualquier otro tipo de acoplamiento, ya que la unión se hace en cualquier parte de la tubería que funcione como extremo.

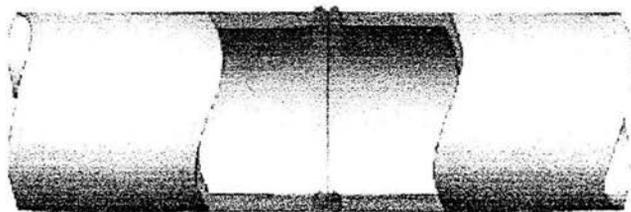


Figura 1. Termofusión a tope en extremos.

Esta unión produce una conexión permanente, barata y eficaz para la conducción de flujos. Las termofusiones de extremo pueden ser realizadas en el sitio de campo por operadores capacitados que usan un proceso desarrollado para este fin utilizando maquinaria especializada, que permite alinear la tubería, sujetar la misma, prepararla y proporcionar la fuerza necesaria para provocar la fusión de ambos extremos.

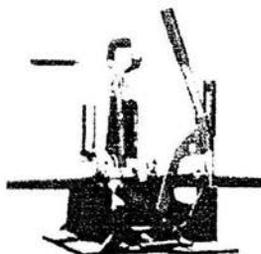


Figura 2. Típica maquinaria para unir a tope pequeños diámetros

Este tipo de máquinas, proporciona un correcto alineamiento de la tubería para proceder al proceso de termofusión.

Existen seis pasos involucrados para efectuar una junta de tuberías a tope y son:

- Sujetar firmemente los componentes a ser unidos
- Enfrente los extremos de la tubería, verificando la alineación correcta de los mismos
- Escuadre el perfil de la tubería, quitando protuberancias y rebaba, hasta que las superficies transversales de la tubería coincidan en un plano perpendicular a la longitud de la tubería.
- Aplique la herramienta de calor para fundir las superficies perpendiculares al sentido de la tubería, siguiendo las recomendaciones del fabricante o la experiencia del instalador, esperar hasta que el plástico empiece a fluir y forme un reborde alrededor del diámetro de la tubería .
- Retire la herramienta de calor y una los dos perfiles.
- Sostenga bajo presión

Sujeción

Cada componente que será termofusionado debe sostenerse en posición para que no tenga movimiento a menos que sea movido por el dispositivo que lo sujeta. Esto se logra mediante la máquina herramienta que en México es llamada comúnmente carro alineador, o equipo alineador, con el cual se sujetan los extremos de los tubos a unirse por medio de anillos fríos ó abrazaderas, que por medio de un mecanismo de deslizamiento, permiten sólo el movimiento longitudinal de uno de los extremos, con el fin de acercar entre sí las caras extremas de los elementos a unir, en las figuras 2 y 3 están representadas estas herramientas.

El proceso es el siguiente: El equipo se coloca en el extremo del tubo que quedará fijo, el carro alineador, consta de un juego de anillos unidos al mismo y otro juego que es deslizante en sentido longitudinal, estos anillos están generalmente divididos en dos partes, una inferior sujeta al cuerpo del carro alineador, ya sea fija o deslizante, y la superior, la cual se une a la inferior por medio de una bisagra y del otro lado por un mecanismo de cierre y apriete que puede ser tornillo y tuerca o un sistema de presión mecánica tipo clamp.

El tubo será acomodado entre los anillos fijos al carro alineador, y abrazados por la parte superior de estos anillos, procediendo a sujetar por medio del mecanismo correspondiente, al hacer esto, se deberá tomar en consideración que será necesario que una parte del extremo del tubo quede libre hacia el centro del alineador, para que en esta parte sea posible efectuar las partes del proceso de cepillado de las caras y la termofusión(ver figura 3).

Una vez colocado el tubo y sujeto, se procederá a colocar el otro tramo de tubería sobre los anillos móviles del carro alineador, tomando en cuenta las mismas consideraciones que se hicieron para el otro extremo.

Una vez fijos los dos extremos de tubería, se procederá en caso de ser necesario al cepillado de las caras para dejar perfectamente paralelas las caras de los extremos como se describe más adelante.

Dependiendo del diámetro de la tubería y de su RD, será conveniente en algunas ocasiones que los tubos a unir, o por lo menos más de la mitad de cada uno de los tubos, se encuentren al mismo nivel que tiene la tubería en los puntos donde esta sujeta al carro alineador, ya que esto proporcionara un mejor funcionamiento de el mecanismo de cepillado, de la termofusión, y permitirá un manejo más fácil de la tubería.

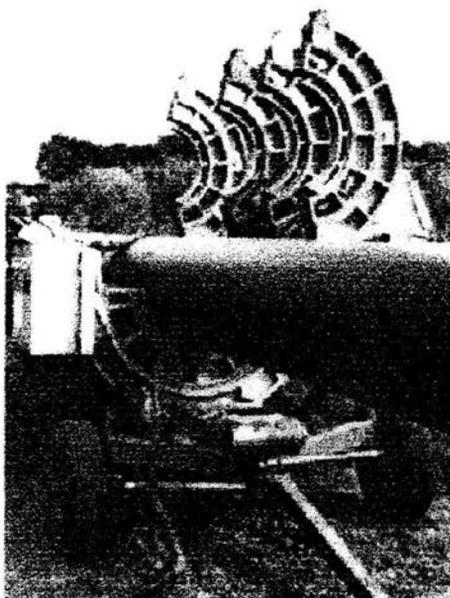


Figura 3. Carro alineador (máquina herramienta)

Enfrentar la superficies a unir (Caras)

Los extremos de la tubería a unir deben al ser colocados uno frente a otro ser totalmente paralelos, para establecer superficies de la unión limpias y uniformes. La mayoría de los fabricantes de equipo (si no todos), han incorporado un mecanismo de cepillado de superficies orbital (gira alrededor del eje de la tubería) por medio de cuchillas, este mecanismo es colocado entre las dos caras de los extremos de tubería a unir y el operario utilizando el movimiento longitudinal de la tubería aplicando fuerza, bloqueará está contra la superficie de cepillado, la cual en un movimiento rotatorio proporcionado por un motor, o bien, por equipo manual en diámetros pequeños, rebajará los bordes, rebabas y protuberancias que pudiesen tener los extremos de la tubería, hasta dejar perfectamente paralelas ambas caras, con lo que se cumplirá lo indicado al principio del párrafo, el desperdicio de este proceso es una cinta de polietileno de espesor variable y con un ancho igual al espesor de pared del tubo.

Al iniciar este cepillado, la cinta de polietileno será de longitudes pequeñas, en cuanto la cuchilla proporcione una cinta uniforme de por lo menos el perímetro del tubo, en ambos extremos, podremos dar por concluido el cepillado y verificaremos una vez

retirado el mecanismo de cepillado, que las caras de los extremos sean perfectamente paralelas, en caso de que al enfrentar nuevamente las caras de la tubería, esto no sea así, deberemos repetir el procedimiento, hasta conseguirlo, cuidando que en los extremos libres ubicados al centro del carro alineador exista una adecuada cantidad de material que nos permita efectuar la termofusión.

Este procedimiento garantiza que las caras estén perfectamente alineadas y escuadradas, es decir perfectamente perpendicular a centro de línea de la tubería.

Alinear

Los perfiles o paredes de la tubería deben redondearse y alinearse para minimizar desigualdad entre sí (alto-bajo) de las paredes de la tubería, esto es, después de que sean escuadradas las caras, al enfrentarse las mismas, se debe de cuidar que las superficies de las paredes coincidan una con otra. Esto puede ser logrado ajustando las mandíbulas que sujetan los diámetros externos de la tubería. Las mandíbulas no deben soltarse o la tubería puede resbalarse durante fusión, teóricamente, al ajustar los anillos sobre la tubería, esta se redondeará igualando ambos extremos, en ocasiones esto no ocurre y se tendrá que ajustar nuevamente los anillos o mandíbulas, o bien acercando el extremo del tubo al anillo, mediante el afloje de este y aplicando una fuerza axial para desplazarlo, y nuevamente apretándolo, bastará para alinear la tubería, existe un requisito de distancia mínima entre la parte fija y la móvil de las mandíbulas, conservando esta distancia, es posible mediante el apriete de los anillos o mandíbulas en este trecho redondear la tubería al cierre.

Habrán ocasiones, en que por el diámetro o el RD de la tubería, esto no baste, sin embargo un operador experimentado, podrá maniobrando la tubería longitudinalmente o bien aplicando insertos en los anillos hacer coincidir la alineación de las paredes exteriores de la tubería, para proceder a la termofusión de los extremos.

Calentar

Una vez escuadrados y alineados los extremos de la tubería, se procede a calentar los cantos de la tubería a la temperatura, presión, y por el tiempo recomendados por el fabricante de la tubería. Para este proceso se utiliza una herramienta denominada calentador ó plancha, que el común de las veces es una placa de metal (aluminio normalmente) de forma circular, con resistencias eléctricas interiores que son las encargadas de producir el calentamiento de este dispositivo, el espesor de este dispositivo depende de la potencia del mismo y del diámetro de tubería con que se utilizará, ya que a mayor diámetro y menor RD, será necesaria más potencia o energía para fundir el material de polietileno que estará en contacto con las caras de la plancha.

Estos dispositivos deberán estar cubiertos por un material que evite al que se adhiera el polietileno al mismo, normalmente se utiliza un acabado de pintura de teflón, y aún así se debe tener cuidado de retirar las adherencias de material al calentador, ya que estas afectan en dos sentidos al proceso de termofusión, en primera, el material que se desprende de las caras de la tubería, afecta el que las superficies de la misma no sean uniformes y homogéneas en el punto de fusión de ambas, y posteriormente, en el caso de persistir estas adherencias sobre la superficie del calentador, debido a que el proceso de calor en las superficies del mismo es continuo, harán que el material adherido pierda sus características de termoplástico y que posteriormente "contamine" alguna otra junta o

superficie de fusión, esto normalmente esta previsto por el fabricante del equipo y por el fabricante de la tubería, por lo cual deberán seguirse las instrucciones dictadas por ambos para estos casos, que en la generalidad, indican el material y el procedimiento de limpieza del equipo y la periodicidad de mantenimiento del mismo.

La función de que la herramienta tenga esta forma es permitir que el calor proporcionado sea simultáneo y homogéneo para ambos extremos de la tubería.

Una vez que el calor proporcionado por el calentador penetre en el material del polietileno, y aunado a la presión ejercida al extremo móvil de la tubería, se formará en ambos extremos a unir, una protuberancia en forma de anillo o collar alrededor de la superficie de contacto con el calentador.

Es importante señalar, una vez alcanzado la dimensión de este collar indicada por el fabricante, siendo este constante alrededor de los extremos de la tubería deberá suspenderse la aplicación de fuerza axial, para evitar que el material caliente sea desplazado.

A las herramientas de calor normalmente se les habilita con termómetros para medir la temperatura interior del mismo, con la cual el operador puede supervisar la temperatura antes de cada junta a efectuar, sin embargo ellos sólo pueden usarse como un indicador general porque siempre hay alguna pérdida de calor del interior a las superficies externas, dependiendo de factores como temperaturas del ambiente y las condiciones del viento, lo más recomendable es utilizar un pirómetro, o algún otro dispositivo con el cual se pueda verificar periódicamente la temperatura exterior del equipo, si el dispositivo es alguno de tipo punta de lápiz, o tipo crayón, habrá de procurar no colocar este en la superficie donde tendrá contacto el calentador con el tubo, adicionalmente, los calentadores específicos de los alineadores, cuentan con un sistema de suspensión y una guía de alineación que los centra en los extremos de la tubería, siendo fácil controlar la superficie que entra en contacto con el polietileno.

En el anexo "G" se muestra una tabla de tiempos de calentamiento e enfriamiento para diferentes diámetros y RD's, siendo esta solo como guía, lo más recomendable es obtener la del fabricante que suministre la tubería.

Unir

Después de que los extremos de la tubería han estado calentándose durante el tiempo y a la temperatura apropiados, se retiran los extremos de las tuberías del calentador, la herramienta calentador se retira produciendo un chasquido característico e inmediatamente se verifica que el calentamiento sea uniforme en ambos extremos de los tubos; acercando inmediatamente los extremos fundidos de la tubería, se unen con una presión suficiente para mezclar los materiales de la tubería propiamente y formar una junta homogénea.

Esta verificación debe ser efectuada con toda celeridad, evitando que el material se enfríe, es importante vigilar que el calentamiento sea homogéneo y que no se haya desprendido material fundido de los extremos de la tubería, si esto se da, deberemos verificar la temperatura del calentador como medida para evitar esto, y dependiendo del volumen de plástico que se ha desprendido, convendrá repetir el proceso, evitando en siguiente unión esta pérdida.

Las instrucciones del fabricante de la tubería pueden especificar una presión o tamaño del collar o labio de material fundido como una guía para efectuar una junta apropiada.

Es importante señalar que al igual que en el calentamiento, debe evitarse aplicar una fuerza axial excesiva ya que esto podría desplazar el material caliente y susceptible de fundirse, con lo cual se provocaría una junta débil, carente de la calidad en la fusión de los materiales. Por lo cual una vez cumplidos los requerimientos de presión indicados por el fabricante, y alcanzado el grado de fusión necesario, habrá de disminuir la presión ejercida, mantener una presión menor constante que inmovilice la junta hasta que esta enfrie.

Hay máquinas disponible para los tamaños de la tubería de 5/8 de pulgada hasta de 72 pulgadas de diámetro que ayudarán al operador a aplicar suficiente fuerza para obtener la presión de fusión apropiada. Normalmente se operan por medio de palanca las máquinas para 4 pulgadas de diámetro y los tamaños más pequeños. Muchas de estas máquinas más pequeñas pueden ajustarse con tirones de torque para obtener un valor teórico que le permite al operador aplicar la fuerza aproximada de forma consistente exigida para una junta correcta.

Las máquinas más grandes emplean sistemas hidráulicos con varios tipos de sistemas del mando como:

- Manual con bomba de mano hidráulica.
- Semi automático con sistema hidráulico motorizado incluso para reducir la presión, seleccionador, y válvulas de mando direccionales.
- Totalmente automático con computadora - o microprocesador - que controlan el calor, ciclos de fusión y presiones.

Sostener bajo presión

La junta de material fundido debe sostenerse inmóvil bajo presión hasta que disminuya la temperatura, con una fuerza constante. Los tipos de máquinas varían desde un brazo de palanca manual, a los dispositivos de cierre con llave automáticos que ayudan al operador a lograr este paso. Los tiempos de enfriamiento apropiados para cada tipo de junta dependen del material, el diámetro, el espesor de la pared y son establecidos por el fabricante de la tubería. El adecuado acatamiento de los tiempos aplicando presión hasta que la tubería enfria, antes de retirar el sistema de soporte para lograr una buena integridad de la junta.

El fabricante indica el tiempo de enfriamiento en que se tienen que guardar las circunstancias de sostenimiento, una vez transcurrido el mismo, la tubería se podrá desmontar del equipo, procediendo a su arrastre, a su colocación dentro o a un lado de la cepa, o a su traslado a su lugar de colocación.

Retiro del collar ó labio

En algunos usos de sistemas de tuberías, el collar interno que resulta del proceso de la fusión de los extremos puede ser indeseable, este collar a pesar de ser mínimo puede representar algunos problemas como que las turbulencias originadas por estos,

pueden crear o volverse un obstáculo en el que pueden alojarse los sólidos de los fluidos. Además, por fuera de las tuberías, estas protuberancias puede ser un obstáculo posterior que impida a la tubería el resbalar y/o provocar malos funcionamientos. Existe equipo que está disponible para quitar estas protuberancias si eso es deseable.

Una vez concluido el proceso, evítese sujetar a la unión a cualquier tensión externa hasta que se halla enfriado a la temperatura ambiente.

3.3.2. Fusión tipo silla de montar o silleta

Para la fusión tipo silla de montar ó silleta existen ocho pasos secuenciales que normalmente se usan para lograr una fusión óptima:

- Limpie la tubería
- Instale adaptadores al calentador o herramienta de calor, adecuados al diámetro de tubería en que se instalará la silleta.
- Instale la máquina de fusión de silla de montar en la tubería
- Prepare las superficies a unir de la tubería y de la "silleta"
- Alinear la tubería y la silleta
- Con la herramienta de calor, calentar la tubería y la silleta, hasta que el plástico empiece a fluir.
- Retire el calentador, verificando que las superficies de contacto a unir estén calientes y ensamblar las partes prensando una hacia la otra.
- Espere que se enfríe la junta y retire la maquina de fusión.

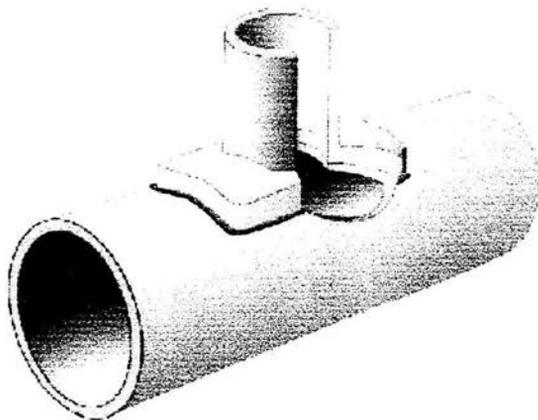


figura 4. Típica unión tipo silleta.

Limpie la Tubería

Retire alguna suciedad o polvo que pueda estar cubriendo al tubería, ya que esta pudiera interferir con la instalación apropiada tanto de la herramienta, como de la pieza a instalar .

Instale los Adaptadores de Silla de montar de Calentador

Estos adaptadores, consisten en un par superficies cilíndricas, una para sobreponer en la tubería y otra para que se le sobreponga la silleta o pieza a fundir sobre la tubería, existiendo una diversidad de medidas, de acuerdo a las derivaciones necesarias .

Instale la Máquina de Fusión de Silla de montar

Instale la máquina de fusión de silleas por estampado apropiada a la tubería utilizando las herramientas y siguiendo las instrucciones de fabricante para enderezar y redondear la tubería. Apretar con cuidado el sistema de sujeción para evitar que la tubería cambie de forma allanándose.

Prepare Superficies

Quite barro o cualquier otro contaminante. Entonces, usando tela de lija áspera, limpie y ponga áspera la superficie de la tubería y el contorno de la silleta para exponer el material sin intemperizar.

Retire los residuo con una tela limpia y seca después de poner ásperas las superficies. Evite usar papel de lija o otros materiales abrasivos que probablemente pueden dejar arenisca o depósitos de otros materiales extraños en la superficie de la tubería.

Alineación correcta

Asegúrese que se estén utilizando los adaptadores de inserción a silla de montar apropiadas en la máquina de fusión. Posicione el montaje en la tubería y ponga el montaje en la inserción. Aplique una fuerza descendente ligera en el montaje e inspeccione para asegurar un ataque preciso a la tubería. Remueva el montaje de la tubería, entonces pase por atrás de la tubería e inspecciona de nuevo para verificar una alineación precisa.

Cuando se utiliza el procedimiento manual, es decir, se colocan manualmente las silleas utilizando únicamente el calentador adaptado para este proceso, se debe seguir un procedimiento similar, asegurando una alineación correcta entre la tubería y la silleta.

Calentando

Verifique que el calentador tenga la temperatura adecuada. Periódicamente verifique la temperatura apropiada de la superficie usando un pirómetro u otro dispositivo para medir la temperatura de la superficie. Si la temperatura se mide usando barras de lápiz indicador, no los use en la superficie que entrará en contacto con la tubería. Coloque

el calentador en posición de calentar la tubería y alineando las superficies de acuerdo con las instrucciones del fabricante, recordando que los procedimientos pueden variar de un fabricante a otro, y estos también varían de un producto a otro.

En el anexo "G" se encuentra una tabla de tiempos de calentamiento para los diámetros más comunes, que puede utilizarse como referencia, siempre teniendo en cuenta que es preferible solicitar estos al fabricante.

Fusión

Después de se ha cumplido con los requisitos de temperatura, tiempo de calentamiento y presión, retirar el calentador de la tubería caliente, y de la silleta, desprendiéndose de estas con un característico chasquido, se inspecciona rápidamente que las superficies de contacto de la tubería y de la pieza a instalar estén uniformemente fundidas, una vez verificado lo anterior, una el montaje a la tubería con la fuerza recomendada, para lograr una fusión correcta.

Enfriamiento

De acuerdo a las instrucciones de montaje del fabricante. Permita a la junta enfriar al toque o alcanzar temperatura del ambiente. No exponga la junta a cualquier tensión externa hasta la junta de fusión ha enfriado.

3.3.3. Fusión tipo socket o enchufe.

Esta técnica consiste en calentar la superficie externa de un extremo de la tubería, encajándolo en un adaptador de la herramienta calentador y con la otra parte de la herramienta, calentar el interior o socket (enchufe) de una conexión, para que una vez ambos al cumplir con la temperatura y tiempo de calentamiento prescrito por el fabricante, retirarlos ambos de la herramienta de calentamiento, proceder a una revisión para verificar que las superficies han sido calentadas homogéneamente y de inmediato insertar el extremo de la tubería dentro del socket, para que en esta introducción se produzca la fusión de los materiales de la tubería y de la conexión, esperando el tiempo recomendado hasta que la unión producida por este medio se enfríe y se pueda someter a tensiones.

Existe equipo mecánico para este tipo de unión y debe usarse para los tamaños mayores a 2" de diámetro, para lograr que este equipo, por medio de sus palancas y dispositivos alcance la fuerza necesaria para apoyar en la alineación de la tubería y la conexión

Es conveniente observar los pasos siguientes al realizar termofusión tipo socket:

- Seleccione el equipo
- alinee y escuadre para preparar los extremos de la tubería
- Caliente las partes
- Una las partes
- Permita enfriar

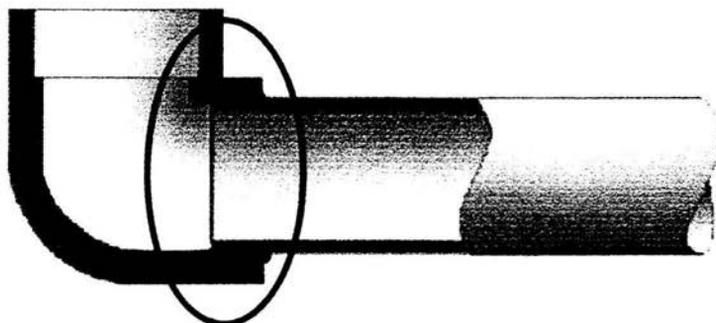


figura 5. Típica unión tipo socket.

Selección de equipo

Seleccione la herramienta del tamaño apropiado para el tipo de trabajo y para que esta tenga capacidad de calentamiento necesaria para llegar a la temperatura de fusión recomendada para unir el material.

Durante muchos años, se fabricaron herramientas de fusión tipo socket sin regularización industrial alguna. Como resultado, existían una gran variedad de calentadores en diámetros y profundidades del socket y de profundidades de penetración. Recientemente, la ASTM promulgo su documento F1056 el cual establece dimensiones normalizadas para estas herramientas.

Por consiguiente, los fabricantes de las herramientas caloríficas indican en las mismas si se cumple con la recomendación "F1056", siendo recomendable acatar estas disposiciones para contar con un producto normalizado.

Alineación, Escuadrado y Preparación de la Tubería

Corte el extremo de la tubería en ángulo recto. Para tubería de diámetro de 1 1/4" y mayores, bisele el extremo de la tubería (el biselador para diámetros mas pequeños es específico y deben de seguirse las instrucciones para cada diámetro), este biselado es equivalente a "sacarle punta al tubo". Quite cualquier rebaba, protuberancia, grasa o suciedad de las superficies. Cuando se utiliza equipo, sujete la tubería en el anillo frío a la posición apropiada, usando alfileres de medida de profundidad o un calibrador, verifíquese la profundidad del socket y márquese en el extremo del tubo la profundidad a que insertará el mismo en el socket.

El anillo frío ayudará redondeando la tubería y mantiene una distancia adecuada para verificar la longitud de la inserción, y para el sostenimiento de la herramienta calorífica y para el acoplado durante el proceso de fusión.

Calentando

Antes de iniciar el proceso verifique que la temperatura del calentador sea la adecuada, y durante el proceso mismo de calentamiento verifique periódicamente que la temperatura de la superficie se la apropiada usando un pirómetro u otro dispositivo de medición superficial de la temperatura.

Si la temperatura se verifica mediante una barra de lápiz indicadora, no use este en la superficie que entrará en contacto con el materia a fusionarse.

Con la herramienta limpia, caliente por contacto la superficie exterior del extremo de la tubería y la superficie interior del socket con el lado de insertar de la herramienta, de acuerdo con el tipo de tubería, el tipo de material y los fabricantes que la suministran, las instrucciones de los procedimientos variarán. Siga las instrucciones cuidadosamente. Con equipo o manualmente, es recomendable que el anillo frío se coloque a la distancia que penetrará la tubería en el socket, caliéntese como se indicó anteriormente, a la temperatura y el tiempo recomendado por el fabricante.

Uniendo

Una vez que se halla concluido el tiempo recomendado por el fabricante para el calentamiento del material, simultáneamente retire la herramienta de la tubería y del socket, en este movimiento se percibirá el característico "chasquido", a continuación y de inmediato, inspeccione que el calentamiento sea uniforme y en su totalidad tanto en la tubería como en el socket, una vez satisfecha esta condición, proceda inmediatamente a insertar el extremo del tubo en el socket, hasta la marca o hasta el anillo frío, esto en modo totalmente lineal al eje de la tubería come del socket, no gire la tubería durante el proceso e inserción o posteriormente a este (esto es práctica común en otros procesos de unión de tuberías, no en este).

Enfriamiento

Una vez que se ha introducido el extremo de la tubería dentro de la conexión socket, el proceso de enfriamiento producirá fuerzas cuya resultante actuará axialmente tratando de sacar el extremo de la tubería de dentro de la conexión, por lo cual es importante sostener la tubería o bloquearla, de tal manera que se evite este movimiento o se minimice, para que la tubería no salga de la conexión.

Los tiempos de enfriamiento se indican en las instrucciones del fabricante, es necesario seguirías cuidadosamente.

3.3.4. Electrofusión.

Esta técnica de termofusión para unir tubería es algo diferente del proceso convencional descrito con anterioridad. La diferencia principal estriba en la forma de aplicación del calor, mientras que el calor se aplica con una herramienta calorífica para los procesos de termofusión ya descritos, la junta efectuada por electrofusión obtiene su calor internamente al aplicar una corriente eléctrica a un rollo de alambre bobinado sobre el tubo y la junta, una interfase ubicada en la junta misma, ó bien, a un polímero conductor ubicado en las superficies a unir. El calor se crea como resultado de la resistividad a una carga de corriente eléctrica aplicada en los conductores anteriormente mencionados.

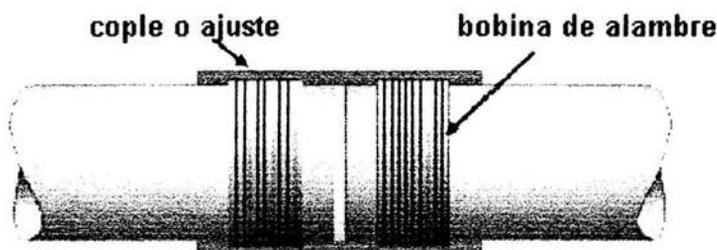


figura 6. típica junta de electrofusión

En la figura 7 se ilustra una caja de mando de electrofusión y su conexión a la construcción de una unión ó junta.

Los pasos generales a ser seguidos cuando se realiza una junta ó unión por electrofusión son:

- Prepare la tubería
- Sujete el cople ó montaje y el ó los tubos
- Aplique la corriente eléctrica
- Permita el enfriamiento y retire las alertas.

Prepare la Tubería

Primero limpie la superficie de la tubería en el área de la junta. Corte el extremo de la tubería en ángulo recto al eje de la misma (omite esto, si se trata de una electrofusión tipo sileta). Marque en la superficie de la tubería la posición adecuada del montaje (cople ó sileta) a ser instalado. Raspe la superficie de la tubería que será unida, quitando toda la degradación de la superficie y contaminación. Proceda con cautela para evitar la contaminación de las superficies de la tubería raspadas. Hay herramientas disponible para ayudar al operador en este procedimiento.

Sujete el cople ó montaje y el ó los tubos

Coloque el tubo y el cople ó montaje en un dispositivo con abrazaderas o algún mecanismo para prevenir el movimiento del tubo(s), inserte el tubo(s) en el montaje ó cople y bloquee el sistema a algún movimiento, preste especial atención a que coincidan el montaje y el tubo(s) en el área que fue preparada previamente.

Aplique Corriente Eléctrica

Conecte los controles de electrofusión de la caja de control al montaje y a la fuente de poder. Aplique corriente eléctrica al montaje como se especifica en las

instrucciones del fabricante. Si el control no es totalmente automático, corte la corriente cuando el tiempo adecuado para calentar la junta ha transcurrido.

Permita el enfriamiento y retire las abrazaderas.

Permita a la junta enfriar durante el tiempo recomendado y posteriormente retirar las abrazaderas de sujeción. El retiro prematuro de las abrazaderas y cualquier tensión en una junta que no ha enfriado totalmente pueda ser perjudicial a la calidad de la junta.

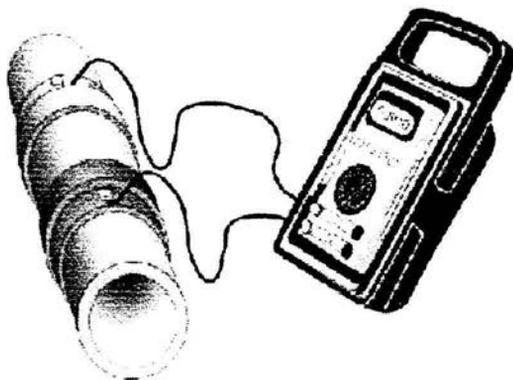


Figura 7 Electrofundición, Mando de Caja Típica con Bornes y Accesorios

3.3.5. Termofusión por aporte de material.

Para este proceso de termofusión se utiliza un proceso también distinto que esta basado en lo siguiente: El calor para fundir el material es proporcionado por una corriente de aire caliente, producida por un soplador de turbina que induce a la corriente a través de una resistencia eléctrica que calienta el aire, e inmediatamente la dirige hacia un aplicador de pequeño diámetro, donde converge la corriente de aire, y es donde se regula su temperatura, este aplicador se dirige al punto de la tubería donde se pretende efectuar la unión, y de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, se expone un determinado tiempo al material a esta corriente, paralelamente a esto, se adiciona un filamento de material, que se depositará a las superficies calientes, formando un cordón que juntará la unión.

Este método es similar al de soldadura de oxiacetileno, en el que la llama, es sustituida por la corriente constante de aire caliente, con una temperatura controlada.

Por otra parte, este método, presenta desventajas con respecto a los anteriores métodos, ya que es difícil de controlar con toda exactitud la velocidad de adición de material, la distancia a la que se colocará la boquilla de aire, y como el área caliente es pequeña, se enfría con demasiada rapidez, por lo cual se recomienda para usarse en la unión de tuberías que no funcionan a presiones altas, o, bien en reparaciones de tuberías como perforaciones y rasgaduras.

Al igual que en la soldadura de oxiacetileno, para la unión de metales, es preferible biselar en forma angular las paredes de la tubería.

3.3.6. termofusión para unir tubería de materiales diferentes al polietileno y sus accesorios

Investigaciones han indicado que tubería y accesorios fabricadas de resinas diferentes al polietileno, pueden unirse por medio de juntas fabricadas por termofusión que se comportan satisfactoriamente.

Algunas compañías de gas tienen establecidos procedimientos de termofusión de los tres tipos, a tope, socket y silleta, para resinas diferentes al polietileno, procesos que no difieren de los expuestos anteriormente. Así también los fabricantes de tuberías plásticas pueden ser consultadas para conocer otros tipos de tuberías de plástico de resinas diferentes al polietileno, como pueden ser las resinas de polipropileno, entre otras.

3.3.7. Verificación de las juntas por termofusión.

La inspección visual es el método de evaluación de junteo más común para todos los tamaños de tubería de polietileno extruida. El criterio para la inspección visual debe de obtenerse del fabricante de la tubería. Este tipo de inspección esta basado en el control del labio que se forma al presionar un extremo del tubo contra del otro después de haber sido calentados ambos uniformemente, los fabricantes en su generalidad, recomiendan la formación primeramente de un labio al exponer las caras al calentador, y otro posterior al ser unidos los dos extremos una vez retirado el calentador, este labio esta formado por el desplazamiento del material caliente al aplicar presión axial a la junta, y como cada fabricante indicará, la dimensión de este labio depende del diámetro y RD específico de cada tipo de tubería.

Para el caso anterior es importante hacer notar que el primer labio puede ser ligeramente irregular, esto debido a que el corte de la herramienta utilizada para "carear" los extremos de los tubos a unir no siempre es pulcro, siendo indicativo este primer labio de que el material del tubo de polietileno esta recibiendo calor y se esta fundiendo, y finalmente lo importante realmente es vigilar la adecuada formación del segundo labio, que debe ser perfectamente regular alrededor de la junta.

Existe equipo de inspección ultrasónico controlado por computadora disponible para diámetros de 12" y menores con paredes de hasta 1". Los equipo para diámetros y espesores más grandes están en desarrollo actualmente. La inspección de la radiografía es generalmente inestable porque la radiografía es un indicador pobre de calidad de fusión, ya que el material plástico, es altamente transparente a los rayos X.

Es necesario recordar que si la fusión ha sido efectuada con una temperatura fuera del rango indicado por el fabricante, esta junta es probable que falle, por lo cual es necesario cortar la misma y volver a ejecutar el trabajo, esta vez adecuadamente.

Pueden probarse la junta destructivamente para confirmar integridad de la misma, el procedimiento del operador y el correcto funcionamiento del equipo, para esto se utiliza un método denominado "prueba de la correa torcida", que consiste en lo siguiente:

Se prepara un espécimen para la prueba, es recomendable el escoger el que corresponde a la primer termofusión de la jornada, esta se deja enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente, se procede a separar junto con la fusión a probar una longitud de 6 a 15 pulgadas de longitud, este tramo de tubería, es cortado perpendicularmente con un ancho de 1" o 1 ½", quedando la fusión a mitad de esta correa resultante del corte. Esta correa será torcida en todos sentidos, cualquier discontinuidad en la fusión es inaceptable, y si esto ocurre, la termofusión ha fracasado y los procedimientos de fusión y/o el equipo deben ser ajustados, y será necesario repetir la prueba, hasta que esta pase correctamente.

3.3.8. Seguridad

Las consideraciones de seguridad son muy importantes al unir materiales del polietileno, pero ellos no son parte de este documento; el usuario de esta información de unión de tuberías debe consultar y seguir instrucciones de seguridad apropiadas que están disponible con los fabricantes, tanto de tubería como del equipo y herramientas utilizados en el proceso de termofusión.

3.3.9. Presión Interfacial

Existe otro parámetro que es considerado por los diferentes fabricantes de tubería de polietileno que ha venido tomando importancia con la creciente tecnificación del equipo de fusión, este parámetro es denominado "Presión Interfacial", el cual consiste básicamente en controlar la presión aplicada entre las dos superficies a unir ó termofusionar, este control se puede lograr en los equipos hidráulicos regulando la presión de aplicada a los cilindros (gatos), o bien en los equipos manuales, aplicando un torque de palanca en el mecanismo de cierre para traducir éste en una presión entre los elementos a fusionar.

El valor de la presión interfacial es recomendado por el fabricante del producto, dependiendo de las características particulares del mismo, como son el tipo de resina usado en la fabricación del mismo, el diámetro y el RD del mismo como características físicas a considerar.

3.4. Pruebas Hidrostáticas

Una vez colocada la tubería, ó bien, antes de colocarse dentro de la cepa, deberá probarse. Conforme a la normatividad vigente de las diferentes dependencias y en las recomendaciones del los diferentes fabricantes, se recomienda probar a 1.5 veces la presión de trabajo del proyecto, difiriendo en el tiempo que se considera necesario, abarcando periodos desde una hora hasta de ocho horas. La presión recomendada, tiene una justificación empírica, aún cuando esta considerada como un parámetro confiable, para evitar daños permanentes a la tubería que pudiesen afectar su vida útil, ya que la presión de trabajo esta calculada en función de la presión de reventamiento de la tubería, con un factor de seguridad de cuatro, por lo cual se puede asegurar que a 1.5 veces la presión de trabajo se estará dentro de los límites elásticos de la tubería, por lo tanto el material se recuperará de las posibles deformaciones que le ocasionará la presión interna de prueba.

En cuanto al tiempo de duración de la prueba, la medida más recomendable si se puede aplicar, es probar durante el tiempo necesario en realizar un recorrido de inspección en todo el tramo que se esta probando, y tomando como mínimo un espacio de tiempo de 1.5 horas, siempre recordando, que a mayor duración se podrá afectar la vida útil de la tubería.

Así también en la mayoría de las normatividades y especificaciones, no esta contemplado el comportamiento elástico de la tubería, ya sea por el efecto mismo de la presión interna a que se somete, o bien debido a los cambios de temperatura ambiental que se registran a lo largo del desarrollo de la prueba, la tubería se expandirá, este hecho, deberá de verificarse que el responsable del organismo o el cliente este enterado de este fenómeno físico, que una vez alcanzada la presión de prueba, esta disminuirá, sin que esto signifique alguna fuga, el fabricante indicará si es necesario adicionar agua para recuperar la presión de acuerdo a la longitud del tramo probado, o bien, la caída de presión esperada. El comportamiento elástico de la tubería esta determinado por el tipo de resina con que es fabricada, siendo especifico para cada resina, y son las pruebas del fabricante, las que permitirán prever el comportamiento de la tubería ante las sollicitaciones.

Por otra parte, no se recomienda, estar continuamente inyectando presión, para mantenerla estable, ya que la caída de presión puede deberse al acomodamiento de aire atrapado en la tubería, y esto podría causar sobre presiones, que pueden dañar severamente la tubería. Por lo cual es necesario ser cuidadoso en la eliminación del aire que pudiese quedar en la tubería.

Esta prueba se podrá efectuar en tramos relativamente largos, determinado lo anterior, la experiencia del instalador, ya que si no es amplia esta experiencia, lo más conveniente es que de inmediato a la terminación de un tramo no mayor a quinientos metros, se pruebe este, sin embargo, una longitud recomendable para efectuar una prueba pueden ser 1,800 ó más metrosi. Para tramos cortos, la prueba se podrá efectuar dentro o fuera de la cepa, es conveniente dejar al descubierto las uniones durante la prueba para detectar con mayor rapidez cualquier falla y proceder a repararla. Lo anterior, queda a criterio del instalador, ya que personal con suficiente experiencia, controla con un grado optimo la calidad de la termofusión, proceso que garantiza, cuando es correctamente ejecutada que no habrá fugas en las uniones, con lo cual solo será necesario verificar las transiciones de la tubería de PAD con otros tipos de tuberías,

piezas especiales de PAD o elementos de control (válvulas, reguladores, etc.), los cuales, siempre se deberá corroborar con su fabricante la resistencia mínima a la presión hidráulica, sin permitir fugas.

El sistema de unión por termofusión y la tubería de polietileno, no consideran pérdidas por filtraciones o por saturación del material, pero como se indicó antes, si habrá una baja de presión debida a cambios de temperatura y a la elasticidad natural del polietileno.

Lo anterior, si esta contemplado en la normatividad americana como es el caso del método de prueba que se propone en el punto número 3.4.2.-Desarrollo de la prueba hidrostática de campo para tuberías de abastecimiento y conducción de agua presurizadas de polietileno de alta densidad. A continuación se describe el método general indicado en la mayoría de las normatividades nacionales, que se aplica a la generalidad de las tuberías, no importando el material de que están constituidas.

3.4.1.-Desarrollo de la prueba hidrostática de campo (prueba de estanqueidad), para tuberías de abastecimiento y conducción de agua (generalidades):

En general el procedimiento descrito a continuación, es un parámetro de información general de los lineamientos emitidos por las diferentes dependencias, que en algunos casos emitirán disposiciones particulares adicionales a estas, dependiendo del la obra y las solicitudes del proyecto.

a.- Alcance: Esta prueba es aplicable a líneas de abastecimiento de agua, conducción de productos industriales y, en general, para todos aquellos sistemas destinados a la conducción de líquidos a presión, ya sean con acoplamiento espiga campana, cementado , roscado, bridado, termo fusionado o cualquier otro tipo de acoplamiento.

b.- Propósito: El propósito de que se prueben las tuberías, es comprobar que no hay fugas de agua en la línea y que por tanto el acoplamiento de los tubos se hizo en forma correcta. Se recomienda probar tramos máximos de 500 m., y no menores a los existentes entre crucero y crucero (en redes). Cabe la observación que si la topografía lo permite y para el caso de tubería unida por termofusión efectuada por personal con adiestramiento y realizada la labor de junteo con el equipo adecuado, se pueden probar longitudes mucho más grandes, y la recomendación para longitudes menores a 500 m. cabe claramente para tuberías en las cuales por procedimiento constructivo como el uso de juntas y/o soldadura, será necesario revisar junta por junta, y en su caso, por proceso constructivo no es conveniente dejar sin cubrir una gran longitud de tubería.

c.- Llenado de la tubería: Esta se considera la primera parte de la prueba, y consiste en el llenado de la tubería con agua a muy baja presión (máximo 1 Kg/cm²), lo cual tiene por objeto eliminar lentamente el aire del sistema y detectar las posibles fugas graves en la instalación, cuando la topografía lo permite es conveniente aprovechar la gravedad para el llenado de la tubería, llenando la misma desde la parte más alta del sistema y vigilando cuidadosamente que por medio de las válvulas eliminadoras de aire , o algún dispositivo para este fin, este sea desplazado por el líquido en toda la longitud del sistema, una vez comprobado que el aire ha sido eliminado de la tubería, se procede al cierre de todos los dispositivos, que fueron utilizados para eliminar el aire, o bien a la

verificación del funcionamiento correcto de los mismos, para comprobar que no existan fugas de líquido por ellos.

d.- Aumento de la presión: como se mencionó anteriormente se recomienda elevar la presión del líquido contenido en la tubería en un rango de hasta 1.5 veces la presión de trabajo y como máximo de 2 veces la presión de trabajo, sosteniéndola durante dos horas continuas. Esto tiene por objeto comprobar la hermeticidad de la instalación a una presión superior a la que normalmente funcionará la línea

e.- Equipo necesario: Bomba hidráulica normal, equipada con manómetro de capacidad apropiada, válvula de retención (válvula check), y tubería flexible para acoplar la bomba a la tubería que se va a probar.

f.- Preparación de la prueba: Un tramo de tubería listo para probarse debe llenar los siguientes requisitos:

f.1.- Los atraques deben estar contruidos y endurecidos: se recomienda que la prueba se efectué como mínimo 3 días después de terminado el último atraque; como observación se puede comentar lo siguiente:

Debido al comportamiento estable de las condiciones físicas de la tubería, cuando el proveedor es confiable, y si el diámetro de la tubería es manejable, es permisible que se efectué la prueba hidrostática aún fuera de la cepa (claro, se debe considerar que la tubería deberá ser convenientemente cabeceada en sus extremos, con piezas adecuadas para resistir el empuje hidráulico axial), proponiéndose que la duración de la prueba, se reduzca a un máximo de una hora y se toleren desviaciones en la presión de prueba, principalmente debidas al comportamiento elástico del material que compone la tubería, ante las condiciones ambientales y los esfuerzos a que se encuentra sometida.

Es importante que se verifiquen la construcción de los atraques necesarios, que estos sean los necesarios y que ya se encuentren en condiciones de soportar las cargas a que serán expuestos en la prueba hidrostática.

f.2.- La tubería y sus piezas especiales deben estar sustentadas y confinadas: En general para las tuberías acopladas por medio de piezas ex profeso al sistema constructivo que se trate (coples, espiga-campana, juntas Gibault, etc.) se solicita se cumpla lo siguiente: La tubería debe estar correctamente apoyada y el relleno de la zanja debe ser parcial y a una altura mínima de 30 cm sobre el lomo del tubo, para mantener la tubería en posición y evitar que la presión interna del agua la levante. Todos los acoplamientos deben quedar visibles para comprobar su hermeticidad, y para efectuar cualquier reparación si fuese necesaria.

Para el caso de la tubería de PAD unida por el proceso de termofusión, y siendo redundantes, si el proveedor es confiable, la tubería se verificó que cumpliera correctamente con las especificaciones para las cuales fue diseñada, el instalador efectuó el proceso de con el equipo adecuado y está correctamente adiestrado en el proceso, se puede garantizar que no existirán fugas en las uniones, por lo cual, bajo la responsabilidad del contratista, que a la vez la delegará en el instalador, se podrá rellenar en su totalidad cubrir al 100 %, sin embargo, normalmente la tubería de polietileno se une a otros sistemas constructivos, por lo cual esta cláusula deberá de observarse para todas

las conexiones y juntas mecánicas que unen la tubería de polietileno con otros sistemas constructivos.

f.3.- La tubería. Normalmente para los casos en que la tubería es cementada, se pide que transcurra un lapso de por lo menos 24 horas después de que se efectuó el último cementado, pero para el caso de la tubería de PAD, solo será necesario que transcurra el tiempo necesario para que la unión por termofusión se enfríe hasta la temperatura ambiente (dentro de la normalidad).

f.4.- Las válvulas eliminadoras. Se deberá verificar el funcionamiento adecuado de las válvulas eliminadoras y de admisión de aire y estas deben estar en los puntos adecuados y funcionar correctamente, de acuerdo con el proyecto y la topografía por donde está ubicada la tubería a probar.

f.5.- Extremos. Los extremos del tramo por probar, deben estar cerrados, tomando en cuenta que el empuje en estos puntos puede alcanzar valores muy altos; por consiguiente, los accesorios que se usen en la prueba, deben ser lo suficientemente fuertes y estar colocados en forma adecuada para resistir dicho empuje sin que se dañe el tubo que está bajo prueba.

g.- Purga de aire en la tubería: Al llenar de agua una tubería vacía parte del aire que la ocupa, puede quedar atrapado. Este aire, debido a su gran compresibilidad, puede ocasionar problemas cuando no se expulsa de la tubería, aún cuando la presión de prueba o de trabajo sea pequeña. El aire puede provocar también obstrucciones y serias averías en el sistema, razón por la cual debe ser totalmente eliminado. Para lograr esto, es necesario que en los puntos más altos del tramo por probar, se coloquen válvulas de aire u otros dispositivos adecuados.

En las líneas de conducción para el abastecimiento de agua, deben preverse los puntos adecuados para colocar las válvulas de aire necesarias, a fin de obtener el funcionamiento adecuado del sistema.

El llenado del sistema debe hacerse lentamente y una vez eliminado todo el aire, se procede a cerrar la válvula o dispositivo y se aplica la presión de prueba.

h.- Procedimiento: La prueba consiste en dos etapas, la primera constituye el llenado lento de la tubería y la purga de aire. La segunda etapa inicia al comenzar a elevar la presión hasta 1.5 veces la presión de trabajo del sistema.

Durante los 15 minutos siguientes a la obtención de la presión de prueba, esta normalmente disminuye debido a la elasticidad de los tubos de PAD (la elasticidad aumenta cuando se incrementa la temperatura ambiente y el acomodamiento de la tubería).

En la práctica se recomienda dejar transcurrir otros 15 minutos como mínimo, después del descenso de la presión en el manómetro, para alcanzar de nuevo la presión de prueba, la cual debe mantenerse entre 1 1/2 a 2 horas.

Cuando no existen fugas las principales causas de disminución de la presión son las siguientes:

- elasticidad de los tubos.
- variaciones de la temperatura ambiente.
- manómetros(s) en mal estado.

- fallas en la bomba de presión o en la válvula de retención (válvula check)

Si se tiene la seguridad de que no existe ninguna de estas causas, la inestabilidad del manómetro nos indicará la existencia de fugas en la línea, en este caso se procede a recorrer la línea examinando todas las uniones hasta descubrir la mancha de humedad.

Las fugas más comunes en las tuberías de PAD se deben a las siguientes causas:

- Falla en el proceso de termofusión de alguna junta.
- Rotura en el tubo o en los accesorios, debido a maltrato mecánico durante el transporte, manejo ó arrastre.
- Perforación en la tubería durante el proceso de relleno de cepas.
- Válvula abierta en algún punto de la red.
- Válvulas ó accesorios defectuosos.

No es frecuente el reventamiento de la tubería, y en el caso de que este acontezca, deberá proceder a revisarse la tubería, con las tolerancias especificadas para el tipo de tubería de que se trate, en los capítulos correspondientes, primero en el tramo que falló y posteriormente en la demás tubería.

i.- Reparación: Si se detecta alguna junta de termofusión defectuosa, debe efectuarse la reparación correspondiente y, en este caso la tubería debe ser vaciada y la prueba repetida.

j.- Aceptación de la prueba. El responsable de la instalación debe aprobar los resultados de la prueba, si son satisfactorios, y recibir la instalación.

k.- Reporte: Debe hacerse un reporte completo de la prueba, aprobado y firmado por el comprador y los responsables de la instalación. Dicho documento debe incluir los siguientes datos:

- Equipo de prueba utilizado y sus datos.
- Situación de la instalación antes de la prueba.
- Purga de aire.
- Tipo y número de pruebas efectuadas.
- Tiempo utilizado en la prueba y hora del día en que ésta se efectuó.
- Temperatura ambiente.
- Descenso de la presión hidrostática.
- Tipo y número de fugas.
- Inspección.
- Reparaciones.
- Observaciones.

l.- lavado y desinfección de la tubería. Todos los sistemas de agua potable después de su instalación o reparación y antes de ser puestos en servicio, deben lavarse y desinfectarse.

Las causas de contaminación durante la instalación o reparación de una línea de PAD, pueden ser los siguientes:

- Infección por el fango y agua en la zanja.
- La aportada por los obreros durante dichas operaciones.
- La introducción de animales o materias extrañas.

Para el lavado de la tubería, se recomienda inyectar agua por un extremo, a una velocidad de 1.8 m/seg, y dejar abierto el extremo opuesto de la línea; esto hará remover y desalojar las posibles materias extrañas.

Para la desinfección se emplean diversos procedimientos; uno de los más sencillos y económicos es hacer circular una solución de 50 mg /l de hipoclorito de sodio en agua. Por ningún motivo debe colocarse en la tubería sodio o hipoclorito de calcio secos, puesto que puede ocasionarse una explosión cuando el tubo se llena con agua.

3.4.2.-Desarrollo de la prueba hidrostática de campo para tuberías de abastecimiento y conducción de agua presurizadas de polietileno de alta densidad (específica).

En este punto se busca exponer un método utilizado en los EE.UU. normalizado por el Plastic Pipe Institute (PPI), específico para las tuberías de polietileno de alta densidad, donde se señalan los puntos de atención necesarios para la preparación, las dificultades de este procedimiento y la interpretación de los resultados.

El procedimiento del PPI, consiste en presurizar hidrostáticamente no excediendo 1.5 veces la presión de diseño de la tubería considerando una vida útil de 50 años. La presión dentro de la tubería se mantiene por períodos de una a tres horas.

Debido a las características visco-elásticas del polietileno de alta densidad, y por las los altos niveles de esfuerzos y tensiones internas en la tubería, será necesario agregar cierta cantidad de agua (make-up), para mantener la presión interna de prueba. La aceptación de la prueba se determina por la cantidad de agua que es necesaria para restablecer y mantener la presión original de prueba, para aplicar este método, se deberá estar conciente de los posibles factores que alteran los resultados, con el fin de evitar confusiones y evitar desviaciones en la interpretación de los resultados. Y las principales son las siguientes:

3.4.2.1-Factores que intervienen en la variación de resultados del desarrollo de la prueba hidrostática.

a.- Longitud: La longitud determina la cantidad de agua que habrá de agregarse al sistema, no es la misma cantidad de agua a agregar para una sección de 100 m que a una sección de 500 m.

b.- Diámetro: Las cantidades de agua por agregar, también se determinan con base al diámetro nominal de la tubería, siendo diferentes para una tubería de 2" que para una de 24"

c.- Cambios de temperatura: Los cambios de temperatura también afectarán de manera determinante la cantidad de agua por adicionar, así como los ciclos de temperatura frío a caliente ó caliente a frío.

d.- Rango de la presión: El rango de presión a aplicar es determinado por los diferentes organismos reguladores y pueden ser:

- 1.0 x presión de operación.
- 1.5 x presión de operación.
- 1.0 x presión de diseño de la tubería.
- 1.5 x presión de diseño de la tubería.

Y con cada uno de los anteriores la cantidad de agua a agregar para recuperar o mantener la presión de prueba es diferente, lo cual debe considerarse en la interpretación de los resultados.

e.- Rango de intensificación de la presión: debe de tenerse en cuenta la velocidad con la cual se inyecta presión a la tubería, ya que cuando se inyecta con demasiada rapidez, la tubería no acepta instantáneamente los esfuerzos, teniéndose un cierto periodo en el cual la tubería alcanzará el equilibrio al distribuir en toda la longitud de la misma los nuevos esfuerzos provocados por la inyección de más presión.

f.- Presencia de aire en la tubería: La presencia de aire atrapado en el interior de la tubería provocará desviaciones en la aplicación de presión hidrostática, además de que el comportamiento de los gases es diferente ante los cambios de volumen, presión y temperatura, pudiéndose causar daños a la tubería debido a las sobre presiones ocasionadas por los cambios volumétricos de los gases atrapados.

g.- Tamaño de cualquier fuga en la línea: Es determinante el tamaño de las fugas en cualquier sitio de la tubería, ya que alguna pudiese ser tan pequeña, que la presión bajará con lentitud, pudiéndose confundir con los resultados esperados.

h.- Movimiento de accesorios: Es posible que por falta de soporte o atraque, algún accesorio o conexión mecánica pueda tener un movimiento axial o longitudinal, lo cual incrementará el volumen interior de la sección, y por consiguiente una baja de presión en el sistema, que puede no ser recuperable al fallar totalmente la unión con el accesorio, o bien, la cantidad de agua por agregar no corresponderá a la esperada para recuperar presión.

i.- Eficiencia de la cama y compactación del relleno: Cuando el relleno es efectuado con un alto grado de compactación y calidad, la tubería se ve confinada y trasmite los esfuerzos de deformación a los rellenos, por lo cual la tal vez disminuya la cantidad de agua a agregar, o bien, si se conjuga un relleno de mala calidad con un cambio positivo de temperatura, esa cantidad de agua puede aumentar.

j.- Eficiencia y calidad de los instrumentos de Prueba: cuando se realizan pruebas, se debe estar seguro de que el equipo e instrumental ocupado cumpla con la calidad y capacidad de resistencia necesarios para la ejecución de la misma, así como que los mismos se encuentren en perfecto estado de funcionamiento, de no cumplirse esto, se pueden recibir datos erróneos del resultado de la prueba.

Las anteriores son algunas de las posibles causas que pueden provocar variaciones de resultados que se pueden presentar durante el desarrollo de las pruebas hidrostáticas, los cuales deben ser interpretados usando un buen juicio y experiencia, además de seguir una buena programación en la ejecución de la misma y en la obtención de resultados

3.4.2.2-Precauciones y procedimientos de preparación de la prueba hidrostática.

a.- Probar la tubería en "longitudes razonables", basadas en el diámetro del tubo, condiciones del lugar de trabajo, la disponibilidad de agua para la prueba. Tuberías de 750 a 1,600 m de longitud, puede que sea necesario evaluarlas en varias secciones. En las pruebas siguientes, el agua de la sección previa puede ser canalizada a la siguiente, conectando las secciones entre sí, usando aire a presión, diferencia de niveles o cualquier otro método que no afecte a la tubería o a la seguridad de las personas.

b.- Las secciones a evaluar se sellan hidráulicamente para poder ser presurizadas, usando bridas mecánicas ciegas en los extremos, atornilladas a adaptadores tipo brida de PEAD y contrabridas metálicas. No se recomienda la realización de pruebas hidrostáticas usando válvulas cerradas, ya que existe un alto potencial de fugas o el riesgo de tener aire atrapado en las mismas. Si se tienen instaladas válvulas, se recomienda usar "comales" entre ellas. Se deberá "atracar" firmemente la tubería en los extremos y en los accesorios de la línea, para prevenir movimientos axiales o longitudinales. Un relleno parcial de la tubería es normalmente suficiente para " sujetar" la tubería. Las líneas sobre el piso deben soportarse y anclarse adecuadamente donde sea necesario, dependiendo de las condiciones del sitio.

c.- Considerar la posibilidad de dejar expuestas las juntas de la tubería durante la prueba. De esta manera será sencillo localizar cualquier termofusión defectuosa que presentara fuga, si la tubería esta totalmente enterrada será muy difícil localizar cualquier fuga. Cualquier termofusión, que ocasionalmente, sea necesario volver a fusionar puede o no justificar el trabajo adicional que se requiere para dejarla expuesta antes de la prueba hidrostática. Es recomendable rellenar y cubrir adecuadamente la tubería en las curvas para mantenerla en su posición durante la prueba. Las condiciones del terreno, el diseño de la zanja, las condiciones de prueba y la experiencia y criterio del contratista o el ingeniero determinarán si las juntas se dejan expuestas o no, esto incluye de ser posible cualquier unión mecánica existente en la línea.

d.- Cualquier sección expuesta de la tubería de PEAD deberá ser adecuadamente protegida contra cambios bruscos de temperatura durante el periodo de prueba. Se deberá de esperar a que la tubería, el agua y el terreno igualen su temperatura y se establezca. Regularmente se llena la línea y se deja llena durante la noche (si la temperatura es arriba de 0° C) para la estabilización térmica. Este periodo de estabilización es seguido por un purgado final del aire y la realización de la prueba por la mañana, posteriormente se realiza la despresurización y el drenado de la tubería por la tarde. El periodo de estabilización dependerá de la temperatura del agua, del tamaño de la tubería y de las condiciones ambientales.

e.- Para la estabilización térmica, seguridad, y para limitar la deflexión de la circunferencia del tubo, es importante proporcionar un buen relleno compactado, bajo, alrededor y sobre el lomo de la tubería, al menos en la sección de las uniones

f.- La lectura de la presión deberá realizarse en el punto mas bajo, con respecto a la posición horizontal, de la sección a evaluar.

g.- La presión de prueba nominal será 1.5 veces la presión máxima de trabajo proyectada a 50 años, según el RD de la tubería. La presión de prueba deberá ajustarse a la temperatura ambiente según la tabla de clasificación de presión contra temperatura, según la resina utilizada para la fabricación de la tubería, si esta es diferente a 23 grados Centígrados.

h.- Cuando sea posible, la ubicación de medidor de presión será en el punto mas bajo de la sección de prueba, para promover la expulsión del aire mientras se llena la tubería de agua. Se deberá contar con métodos y mecanismos seguros para la expulsión del aire en los puntos mas altos de la sección a probar (a menos que se cuente con un " diablo" (pig) sellado para el llenado de la línea). Este punto bajo registrará la máxima carga hidrostática. Además nos permite un fácil dren para desalojar el agua de ser necesario.

i.- Las cabezas de prueba de la tubería (entradas de las bridas ciegas) deberán diseñarse para permitir un flujo rápido de agua a baja presión para el llenado de la línea y posteriormente permitir un flujo bajo a alta presión, en la etapa de presurización y la despresurización final. Las entradas de las bridas ciegas (o tapones cachucha) deberán tener las perforaciones o válvulas adecuadas para la entrada/salida de agua y aire, indicadores y/o registradores de presión y cualquier otro instrumento de medición necesario para la prueba. Una válvula expulsora de aire se instalará también en el lomo de la tubería o en la brida ciega al final de cada sección a probar.

j.- El equipo y la bomba de agua para presurizar la línea puede ser de operación manual o mecánica. Estos se deberán calcular adecuadamente para manejar el gasto y la presión del agua a agregar (make-up) durante la prueba. Tanto el equipo como las conexiones deberán ser adecuadas para resistir el tiempo y las presiones involucradas en la prueba. Una revisión preliminar es recomendable para verificar que no existen fugas en los sellos de la bomba y las válvulas de sello (check) que permitan un regreso del agua de prueba.

k.- Los indicadores o registradores de presión deberán estar calibrados y ser de la capacidad adecuada para la prueba, de fácil lectura, además de tener la resolución y precisión de $+0.1 \text{ Kg/cm}^2$. Los dispositivos de registros y medición deben leerse con referencia a la elevación en la que están posicionados. Se considerarán los ajustes apropiados por la columna hidrostática del agua.

l.- Antes del llenado de la tubería, todos los sistemas de venteo o válvulas expulsoras de aire en los puntos mas elevados de la línea deberán ser abiertos. Se deberá realizar todos los esfuerzos necesarios para remover todo el aire atrapado. Se puede usar, en algunos casos, un "diablo" (pig) de espuma de poliuretano de tamaño adecuado que sea empujado por el agua de llenado, para la expulsión del aire de la tubería. Una vez que estamos seguros de que la tubería esta totalmente llena de agua, todos los venteos deben cerrarse. Las válvulas de venteo de operación automática cerrarán al escapar todo el aire, sin embargo deberán vigilarse periódicamente durante la prueba. La tubería deberá ser llenada lentamente para evitar que aire atrapado se quede en la línea. La bomba nunca deberá operar sin agua, mientras la línea esta parcialmente llena. La velocidad de llenado de la línea se rige por la capacidad del venteo y debe ser igual al volumen de agua agregado.

m.- Después de que todo el equipo para la prueba hidrostática ha sido instalado, deberá ser inspeccionado y evaluado para garantizar la seguridad y precisión de los componentes del sistema y que no existan fugas previas a la prueba.

n.- En toda la longitud del tramo a probar, todas las válvulas o comales de bloqueo deben estar en posición de ABIERTO, para permitir el paso del agua y la presión durante la prueba.

o.- Nuevamente, la presión de prueba debe ser sostenida por una duración de al menos una hora a la presión predeterminada de 1.5 veces la presión de diseño, o bien del accesorio con menor resistencia. Se deberá considerar la columna hidrostática y la temperatura de la prueba, para determinar dicha presión de prueba.

3.4.2.3- Consideraciones de la Presurización Hidrostática:

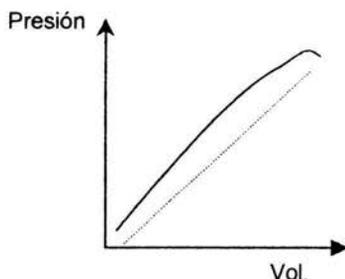
a.- La prueba hidrostática de tuberías tipo " campana y espiga" no busca evaluar la tubería en sí misma, sino más bien al sello del empaque de hule. En la tubería de PEAD la unión por termofusión es " monolítica y homogénea" , por lo que la prueba es mucho mas severa ya que la tubería y las uniones se someten a un esfuerzo de aproximadamente el 33% del esfuerzo mínimo en este material visco-elástico. Este alto porcentaje en la intensidad de este esfuerzo, rara vez se alcanza en pruebas de tubo metálico.

b.- La velocidad a la que se alcanza la presión es muy importante (por ejem. el tiempo en el que se alcanza la presión de prueba seleccionada). La presión debe incrementarse de manera uniforme bombeando un determinado volumen en cierto tiempo. El volumen bombeado puede ser determinado por medición directa o por la medición de un determinado número de golpes de una bomba de pistón calibrada.

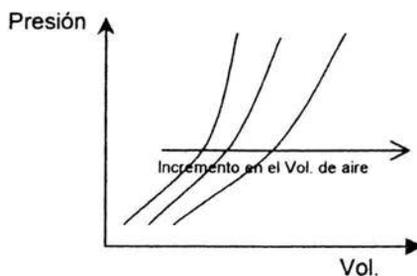
c.- Durante la prueba. Una vez que la presión ha alcanzado el valor de operación normal, se puede realizar una inspección de toda la línea y sus conexiones. Se revisa el funcionamiento, y que no existan fugas en las válvulas, que deberán estar en posición ABIERTA durante la prueba. Una vez realizada la inspección, se puede incrementar la presión al valor especificado, según los parámetros predeterminados.

d.- El incremento teórico en la presión con respecto al volumen en un cierto periodo de tiempo, sin entrada de aire, se muestra como una línea punteada en la gráfica " A" . Esta relación de presión/flujo rara vez se presenta. Para una tubería normal de PEAD, la línea adopta más bien la forma de una curva, como se muestra en la misma figura con una curva sólida (esto se debe a un estiramiento elástico originado por un incremento en la presión y dado el comportamiento diametral visco-elástico se requiere mayor volumen para mantener la presión creciente y el esfuerzo en la circunferencia del tubo). La forma de la curva de la gráfica " B" es un indicador de la presencia de aire dentro de la sección de prueba.

Características Típicas Presión / Volumen



(A) Tubería conteniendo muy poco aire



(B) Aire residual atrapado en la tubería

3.4.2.4- Prueba a presión hidrostática: Método

La velocidad inicial de presurización debe ser suficiente para alcanzar la presión objetivo dentro de un periodo de tiempo mayor de 5 mins. y menor de 10 mins. aproximadamente. Esto será seguido de una expansión diametral del PEAD, al intensificarse el esfuerzo perimetral al alcanzar 1.5 veces la presión de diseño.

a.- Prueba de Presión fuera de la Zanja.

Si se especifica por el ingeniero, la prueba de presión puede ser realizada antes de la instalación de la tubería. Después de unir la tubería se llena de agua, teniendo cuidado de purgar todo el aire atrapado en el interior. Después se somete a una prueba hidrostática de presión a 1.5 veces la presión de diseño por un periodo máximo de 3 horas. Durante este tiempo, el tubo se mantiene a la presión de prueba mediante la adición de agua (make-up) para compensar el estiramiento inicial del tubo. La resistencia de la línea a la presión se determina visualmente. No es necesario mantener un registro de la cantidad de agua adicionada a la tubería (make-up). Cada unión debe ser examinada y si alguna presenta fuga, esta debe ser reparada y posteriormente revalidada.

NOTA: Será responsabilidad del contratista tomar todas las precauciones necesarias y ver que se cumplan en la prueba fuera de zanja, ya que una prueba de este tipo almacena una gran cantidad de energía, que puede liberarse bruscamente.

b.-Prueba de Presión dentro de la Zanja.

Después de que la tubería ha sido colocada en la zanja, se llenará con agua, teniendo cuidado de desalojar todo el aire atrapado dentro de la tubería. Se deberá, entonces, someter la tubería a la presión de la prueba hidrostática, incrementando la presión desde el punto mas bajo del sistema; la presión será 1.5 veces la presión de diseño del sistema, ajustada a la temperatura a la que se realizará la prueba. Recuerde

que se tendrá una pequeña pérdida de presión debida a la expansión, pero también a los cambios de temperatura durante la prueba. Al incrementarse la temperatura la presión del manómetro decrecerá. Cuando, en la opinión del ingeniero, las condiciones locales se requiera rellenar inmediatamente después de colocar la tubería en la zanja, la prueba de presión puede realizarse después de realizar el relleno. Cualquier elemento de concreto que se coló, deberá fraguar antes de realizar la prueba hidrostática. Típicamente esto requerirá de al menos 36 horas para alcanzar su resistencia " temprana" y 7 días para su resistencia normal. El procedimiento de prueba consiste en dos pasos: La expansión inicial y la fase de prueba. Para realizar la expansión inicial de la tubería bajo prueba, se deberá agregar suficiente agua (make-up) sistema cada hora, por un periodo de 3 horas, para mantener la tubería a la presión de prueba.

Después de concluir la primera fase, aproximadamente 4 horas después de iniciar la prueba, es cuando realmente inicia la prueba hidrostática. Después de las 4 horas de la primera etapa, se adiciona agua a la tubería para estabilizar la presión al valor seleccionado de prueba. La bomba de alto volumen se retira y la presión final de prueba se sostiene por lo menos una hora (1 a 3 hrs.), inyectando agua (make-up) para compensar la tensión diametral a estos valores elevados de esfuerzo perimetral.

La fase de prueba no deberá exceder de 3 horas. Durante este tiempo, se debe medir la cantidad de agua que se inyecta a la línea (make-up) para mantener el valor de presión determinado para la prueba. La cantidad de agua adicionada y medida en esta fase de la prueba no debe exceder los valores señalados en la tabla I.

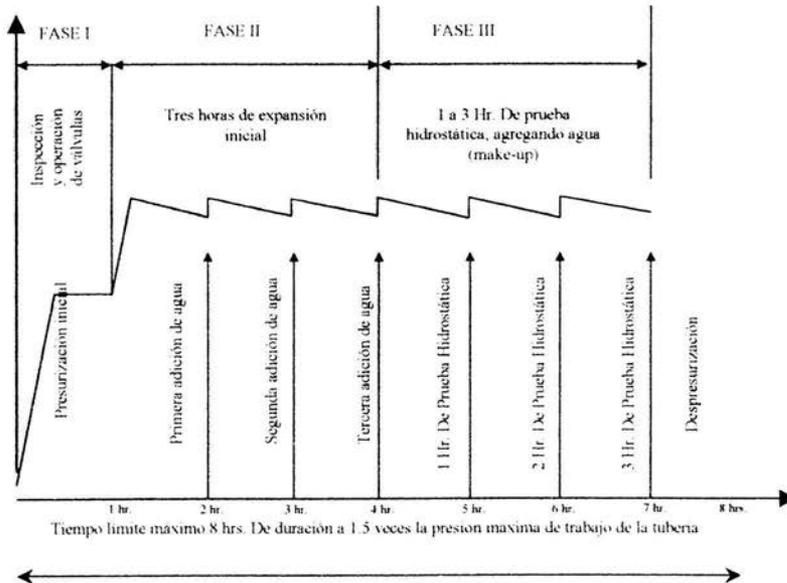
NOTA: Bajo ninguna circunstancia el tiempo total de la prueba debe exceder ocho (8) horas a 1.5 veces la presión de diseño de la tubería Si la prueba no se termina por causa de alguna fuga, falla de equipo, etc., la sección de tubería deberá dejarse "relajar" por un periodo mínimo de ocho (8) horas, antes de iniciar una nueva evaluación.

*Tabla 1.- Tolerancia para expansiones bajo Tensión.
(Litros por 100 m de tubería a 23° C)*

Diámetro Nominal		1 hora de	2 horas de	3 horas de
Mm	pulg.	prueba	prueba	prueba
100	4	1.61	3.09	4.95
150	6	3.72	7.43	11.14
200	8	6.19	12.38	18.57
250	10	8.67	16.09	25.99
300	12	13.61	28.48	42.09
350	14	17.33	33.42	51.99
400	16	21.04	40.85	61.90
450	18	27.23	53.23	80.47
500	20	33.42	58.09	99.04
550	22	43.33	86.66	129.99

600	24	55.71	110.18	164.65
650	26	63.00	130.18	286.00
700	28	68.09	137.41	206.74
750	30	76.75	155.98	236.45
800	31.5	80.00	167.00	260.00
810	32	86.66	177.03	278.55
850	34	98.00	200.00	310.00
900	36	111.40	222.84	334.26
1000	40	136.60	272.76	409.15
1200	48	185.98	334.94	533.13
1350	54	272.76	433.94	681.91

Si no existen fugas visibles o pérdidas de presión significativas durante el período final de la prueba (1 a 3 horas), la tubería pasa la prueba hidrostática. Si se detecta alguna falla o fuga, esta debe ser corregida y la prueba deberá reiniciarse después de un periodo de recuperación para la tubería de 8 a 24 horas.



3.4.2.5- Arranque y desinfección:

Los pasos adecuados para el arranque de una línea nueva o reparada deben ser los siguientes, de acuerdo con las circunstancias.

- Se deberá de limpiar la tubería interiormente, para eliminar objetos extraños, animales, piedras ó lodos que pudiesen introducirse a la misma durante la instalación, esto se logrará mediante la introducción y circulación de agua a una velocidad aproximada de 1.8 m/seg por un extremo, dejando abierto el extremo opuesto de la línea.
- Desinfectar la tubería interiormente, esto se logra haciendo circular por la misma una solución de 50 mg/l de hipoclorito de sodio en agua, ó algún otro método que cumpla con el fin.
- Drenar, purgar y/o neutralizar el contenido de gases que pudiesen existir dentro de la tubería.
- Reapretar la tubería.
- Muestrear y analizar bacteriológicamente.
- Certificar y aceptar la línea.
- Iniciar el servicio con la nueva tubería

Esta secuencia es básica para iniciar el servicio con una nueva tubería de PEAD, pero puede ser adaptada para cumplir con los requerimientos particulares de cada proyecto. En todos los casos se debe cumplir con los procedimientos gubernamentales requeridos por las autoridades locales, o bien con los requerimientos del propietario de la línea.

Es necesario hacer la observación de que cuando la tubería es desinfectada, es necesario drenar la solución desinfectante y volver a drenar la tubería con suficiente agua potables antes de ponerla en servicio.

3.4.3. Pruebas hidrostáticas y de hermeticidad en Tuberías de PEAD utilizadas en drenaje.

Con fecha 20 de marzo de 1996, la Comisión Nacional del Agua, expide la Norma Oficial Mexicana NOM-001-CNA-1995 "Sistema de Alcantarillado Sanitario Especificaciones de Hermeticidad", que en los capítulos 6 y 7 emite la reglamentación que deben de cumplir los diferentes tipos de drenaje en cuanto a hermeticidad, sin embargo como se vera más adelante, la prueba propuesta por PPI descrita en el párrafo anterior, es mas rigurosa y provee de mas elementos para asegurar la calidad de la instalación, de hecho algunos fabricantes la sugieren para la prueba de campo de las tuberías ya instaladas, haciendo consideraciones particulares según cada fabricante, pero apegándose en lo básico a las indicaciones del PPI.

3.4.3.1. Pruebas hidrostáticas y de hermeticidad de acuerdo a la NOM-001-CNA-1995.

Esta norma es de observancia obligatoria para los responsables de diseño e instalación de los sistemas de alcantarillado sanitario y para los fabricantes de los

componentes de los mismos de manufactura nacional y extranjera que se comercialicen dentro del territorio nacional.

Se debe probar en campo la hermeticidad de la tubería instalada sometiéndola a una presión hidrostática de 0.5 MPa (o 5 Kgf/cm²), cuando se trate de tuberías con un diámetro nominal menor a los 630 mm y considere factible la ejecución de la misma, se podrá efectuar una prueba de hermeticidad neumática a una presión de 0.03 MPa (0.3 Kgf/cm²) como sigue:

a).- prueba hidrostática:

la prueba se debe de llevar a cabo en la tubería y en tramos comprendidos entre dos pozos de visita, asegurando su posición, esto es, cubriendo la tubería con material de relleno (centros) dejando descubiertas sus juntas.

- Equipo y Material. Se debe contar como mínimo con el equipo y material siguiente:
- Agua (de preferencia no potable)
- Tapones herméticos para los extremos del tubo a probar, del diámetro adecuado.
- Bomba provista de manómetro de capacidad apropiada para esta prueba (amplitud de escala de 0 a 0.1 MPa (0 a 1 Kgf/cm²) y división mínima de escala de 0.001 MPa (0.01 Kgf/cm²)).
- Cronómetro.
- Dispositivo para medir volumen (división mínima de escala de 0.5 litros).
- Dispositivo para purga de aire.

Todas las incorporaciones a la línea por probar, incluyendo las descargas sanitarias (cuando existan), deben ser selladas herméticamente y aseguradas de tal manera que no se tengan deslizamientos durante la prueba.

Las tuberías deben ser llenadas lentamente con agua, de manera que se pueda expulsar el aire acumulado en la parte superior, por lo que el llenado debe ser a partir de los puntos más bajos de la tubería, para asegurar que el aire contenido sea expulsado por el punto más alto.

La norma indica un tiempo de prellenado que difiere según el tipo de material con que este construida la línea, que para el caso del PEAD es de una hora. Después del tiempo de prellenado y quince minutos antes de iniciar la medición del tiempo de prueba, se debe alcanzar la presión manométrica de 0.05 MPa (0.5 Kgf/cm²). La lectura estará referida al centro del diámetro de la tubería y en el punto más bajo del tramo de prueba.

La presión de prueba de 0.05 MPa, debe ser mantenida durante 15 min, en este punto la norma indica que para mantener esta presión se podrá agregar agua a razón de 0.02 l/m² de superficie interna mojada, para sustituir el volumen de agua absorbida por las paredes de la tubería, sin embargo las indicaciones de los fabricantes de tuberías de PEAD marcan que la tubería no presenta absorción de líquidos, y a la presión de 0.05 MPa, realmente la tubería de polietileno aún con un RD alto, es difícil que se deforme, por lo cual se deberá revisar este punto de acuerdo con el fabricante de la tubería en cuestión, ya que la absorción o la baja de presión por deformación de la tubería puede ser mínima.

La prueba se acepta si la cantidad de agua agregada durante los 15 minutos del período de prueba, no exceden el valor mencionado anteriormente.

El informe de la prueba debe incluir lo siguiente:

- Identificación completa del tramo probado.
- Resultado obtenido de la prueba y comentarios relevantes.
- Referencia del método de prueba.
- Nombre y firma del responsable.

b).- Pruebas de Aire a baja presión.

La prueba se puede llevar a cabo en tuberías con diámetro nominal de hasta 63 cm., asegurando su posición con material de relleno y dejando descubiertas las juntas (centros), la prueba deberá desarrollarse entre tramos comprendidos entre dos pozos de visita.

Se debe de contar con el siguiente material y equipo:

- Tapones herméticos para los extremos a probar, del diámetro adecuado.
- Una válvula de cierre, una válvula de regulación de presión y una válvula de alivio.
- Manómetro con amplitud de escala de 0 a 0.1 MPa (0 a 1.0 kgf/cm²) y una división mínima de escala de 0.001 MPa (0.01 kgf/cm²).
- Compresor de 1000 litros de capacidad.
- Cronómetro.

En esta prueba se deben guardar ciertas condiciones de seguridad, como el que los tapones deben de ser instalados de manera que se prevengan los reventamientos, ya que la expulsión repentina de una conexión mal instalada es peligrosa; por ello se recomienda que todas las conexiones se instalen y atraquen adecuadamente contra la pared del pozo y registro y no se utilicen presiones mayores de 0.06 MPa (0.6 kgf/cm²).

Todo equipo de presión utilizado en la prueba debe tener un regulador y una válvula de alivio calibrada a 0.06 MPa (0.6 kgf/cm²) para evitar sobre presiones y con ello el desplazamiento de los tapones o el reventamiento de la tubería. Como medida precautoria la presión del tramo debe monitorearse para asegurar que en ningún momento se exceda dicha presión.

Después de que la tubería ha sido asegurada por medio de centros, los tapones serán colocados y asegurados en cada pozo y registro, se recomienda colocar primero el tapón de aguas arriba, para evitar la introducción y acumulación de agua en la línea, esto es importante sobre todo cuando existen altos niveles de aguas freáticas.

El aire se introduce lentamente hasta alcanzar una presión de 0.03 MPa (0.3 kgf/cm²) por encima de la carga de agua producida por el nivel freático sobre la tubería en su caso, pero no mayor de 0.06 MPa (0.6 kgf/cm²).

Una vez alcanzada la presión establecida, se regula el suministro de aire para mantener la presión interna por lo menos dos minutos; este tiempo permite que la temperatura del aire que entra se iguale con la de las paredes de la tubería.

Cuando la temperatura se ha igualado y la presión se ha estabilizado, la manguera del suministro de aire se desconectará, o la válvula de control se cerrará y se iniciará el conteo del tiempo con un cronómetro.

Para determinar la aceptabilidad de la prueba se usa un tiempo predeterminado para una caída de presión especificada, generalmente de 0.007 MPa (0.07 kgf/cm²); no obstante se pueden especificar otros valores, siempre que los tiempos requeridos se ajusten adecuadamente.

Se puede aceptar una caída de presión de 0.0035 MPa (0.035 kgf/cm²) en lugar de 0.007 MPa (0.07 kgf/cm²), entonces los tiempos de prueba requeridos para ésta deben ser divididos entre dos.

Si el tiempo transcurrido para la caída de presión de 0.007 MPa (0.07 kgf/cm²) o 0.0035 MPa (0.035 kgf/cm²), es mayor a la mostrada en las tablas A.1 o A.2, para el diámetro y longitud de tubería que se trate, el tramo de prueba habrá pasado y se considerará libre de defectos. La prueba puede ser suspendida una vez que el tiempo mostrado en las tablas A.1 o A.2 ha transcurrido, aún cuando la caída de presión de 0.007 MPa (0.07 kgf/cm²) o 0.0035 MPa (0.035 kgf/cm²) no halla ocurrido.

En este último párrafo, se toca lo concerniente a la tubería de PEAD termofusionada, ya que esta no presenta pérdidas, aún cuando es necesario vigilar que tal vez se produzcan cambios en la presión, debidos a los cambios de temperatura de la tubería, aumento de la misma al aumentar la temperatura ambiental y disminución si disminuye la temperatura, ya que el plástico de color negro, absorbe con facilidad la radiación solar, provocando un rápido aumento de temperatura en la tubería y que por contacto incrementará o disminuirá la temperatura de los gases contenidos en la tubería.

Para calcular el tiempo de prueba, se propone la siguiente expresión (sistema métrico):

$$T_{sm} = 0.025908 DK / Q$$

Donde :

- Tsm = Tiempo de prueba (en seg.) permisible para una caída de presión de 0.007MPa (0.07 kgf/cm²).
- D = Diámetro nominal en pulgadas.
- Q = 0.000457 m³/min/m² de superficie interna.
- K = 0.0013747 DL, pero no menor a 1.0
- L = Longitud de tubo bajo presión (m).

Tabla A.1 Tiempo requerido para una caída de presión de 0.007 MPa. (0.07 kgf/cm²) para las longitudes y diámetros de tubería indicados y Q = 0.000457 m³/min/m²

Diámetro Nominal del Tubo	Tiempo Mínimo	Long. Max. Para Tiempo Mínimo	Tiempo para otras Long.	Tiempo en Min:Seg para otras longitudes (L)						
				(mm)	(min:seg)	(m)	(seg)	25 m	50 m	75 m
150	5:40	121.3	2.803 L	150	5:40	5:40	5:40	5:40	5:50	7:00
200	7:34	90.8	5.000 L	200	7:34	7:34	7:34	8:20	10:25	12:30
250	9:26	72.8	7.775 L	250	9:26	9:26	9:43	12:57	16:12	19:26
300	11:20	60.7	11.203 L	300	11:20	11:20	14:00	18:40	23:20	28:00
350	13:13	52.0	15.250 L	350	13:13	13:13	19:03	25:25	31:46	38:07
400	15:07	45.5	19.934 L	400	15:07	16:36	24:55	33:13	41:31	49:50
450	17:00	40.5	25.111 L	450	17:00	20:55	31:23	41:51	52:19	62:46
500	18:53	36.3	31.212 L	500	18:53	26:00	39:00	52:00	65:00	78:00
600	22:40	30.2	45.033 L	600	22:40	37:31	56:17	75:03	93:49	112:35

Tabla A.2 Tiempo requerido para una caída de presión de 0.0035 MPa. (0.035 kgf/cm²) para las longitudes y diámetros de tubería indicados y Q = 0.000457 m³/min/m²

Diámetro Nominal del Tubo	Tiempo Mínimo	Long. Max. Para Tiempo Mínimo	Tiempo para otras Long.	Tiempo en Min:Seg para otras longitudes (L)						
				(mm)	(min:seg)	(m)	(seg)	25 m	50 m	75 m
150	2:50	121.3	1.402 L	150	2:50	2:50	2:50	2:50	2:55	3:30
200	3:47	90.8	2.500 L	200	3:47	3:47	3:47	4:10	5:13	6:15
250	4:43	72.8	3.888 L	250	4:43	4:43	4:52	6:29	8:06	8:43
300	5:40	60.7	5.602 L	300	5:40	5:40	7:00	9:20	11:40	14:00
350	6:37	52.0	7.625 L	350	6:37	6:37	8:32	12:43	15:53	19:04
400	7:34	45.5	9.967 L	400	7:34	8:18	12:28	16:37	20:46	24:55
450	8:30	40.5	12.556 L	450	8:30	10:28	15:42	20:56	26:09	31:23
500	9:27	36.3	15.606 L	500	9:27	13:00	19:30	26:00	32:30	39:00
600	11:20	30.2	22.517 L	600	11:20	18:46	28:09	37:32	46:55	56:18

El informe de la prueba deberá ser similar al de la prueba normal.

3.4.3.2.- Pruebas de hermeticidad en campo para Descargas sanitarias.

Para estos dispositivos, se establecen los mismos lineamientos que para la línea de alcantarillado, si bien, es necesario comentar, que si las descargas son termofusionadas por el método de adición de material, es conveniente ceñirse al método de prueba indicado por la norma NOM-001CNA-1995, ya que no esta recomendado el sistema de termofusión por adición de material para resistir presiones altas.

Por otra parte, será conveniente realizar esta prueba junto con la de la línea, para evitar el doble trabajo de llenado de la línea , es necesario recordar que siempre se deberán colocar los dispositivos necesarios para la eliminación total del aire contenido en el sistema.

3.4.4.- Pruebas de hermeticidad en Tomas domiciliarias.

La Norma Oficial Mexicana NOM-002-CNA-1995 "TOMA DOMICILIARIA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE – EPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA" publicada el 14 de Octubre de 1996,estableces los siguientes parámetros:

5.2.5 Hermeticidad

Una vez instalada la toma domiciliaria, ésta debe resistir, durante tres minutos, una presión hidrostática de 0.75 MPa (7.5 kgf/cm²)+/- 10% sin presentar fugas o fallas en los elementos uniones y conexiones.

6.2 Muestreo de la toma domiciliaria

Para valorar el cumplimiento de esta Norma, el organismo operador o dependencia local responsables debe verificar cada una de las tomas domiciliarias que se instalen.

7.2.5 Hermeticidad

La evaluación de la hermeticidad de las tomas domiciliarias requiere, por su construcción, que se realice en dos etapas: la primera consiste en verificar solamente el conjunto de abrazadera y válvula de inserción directa, acoplados sobre la tubería de la red de distribución; la segunda etapa consiste en verificar el ramal y el cuadro.

El material y equipo solicitado para la ejecución de la prueba es el siguiente:

- Bomba de prueba de operación manual.
- Manómetro con amplitud de escala de 0 a 1.4 MPa con división mínima de la escala de 0.02 MPa.
- Accesorios para el cierre y conexión tanto ala toma como a la bomba de prueba.

Para la ejecución de la primera parte, se procede como sigue: una vez instalados al abrazadera o silleta y la válvula de inserción, sin perforar el tubo de distribución, se conecta la bomba a la válvula de inserción y se procede a su llenado por medio de la bomba, drenando adecuadamente el aire contenido en el interior, se presuriza gradualmente en un intervalo hasta alcanzar la presión de prueba especificada, a continuación se cierra la válvula de seccionamiento del equipo de bombeo para independizar la toma del equipo de presión y se mantiene la toma presurizada por el tiempo especificado, corroborando que no existan fugas o fallas.

Posterior a la aprobación de la prueba de hermeticidad de la silleta y la válvula de inserción, se desconecta el equipo de prueba y se procede a perforar la tubería de distribución a través de la válvula de inserción con ayuda de las herramientas adecuadas, y se instala el ramal y el cuadro de medición de la toma, cerrando la válvula de inserción.

Antes de rellenar la zanja se deberá proceder a la segunda parte de la prueba para corroborar la hermeticidad de la toma, presurizando con agua y purgando adecuadamente el aire contenido en el ramal y en el cuadro, hasta alcanzar la presión de prueba durante el tiempo especificado, corroborando que no existan fugas o fallas. Reportando si la toma domiciliaria presenta alguna, para posteriormente efectuar el reporte de la prueba, que debe contener por lo menos la siguiente información:

- Identificación completa de la toma domiciliaria.
- Resultado obtenido durante la prueba.
- Referencia a este método de prueba.
- Nombre y firma del supervisor de la prueba.
- Nombre y firma del responsable de la prueba.
- Fecha de ejecución de la prueba.

¹ Manual Técnico Extrumex "AGUA", México 1999, pp 82-84

3.5. Conexión con otros sistemas constructivos.

Además de la termofusión, existen otros medios para construir juntas entre los tramos de tubería de polietileno y unir este tipo de tubería con otros sistemas constructivos y como en los métodos de fusión de calor, existen muchos tipos de métodos de conexión que están disponibles, principalmente mecánicos. Cada uno de los tipos de conexiones mecánicas tiene ventajas particulares y también presenta sus limitaciones de actuación en algunas aplicaciones. Esta sección no se dirige a pormenorizar estas ventajas o limitaciones; es, más bien, una descripción general de éstos tipos de uniones y cómo podrían utilizarse.

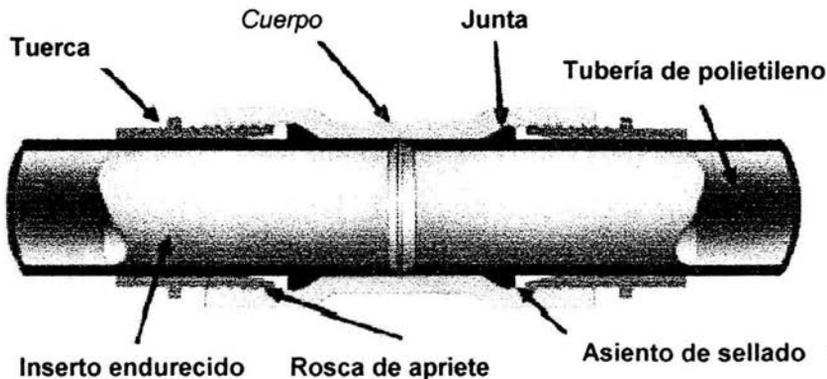


Figura 8 Típica Conexión de compresión Tipo Tuerca, conexión mecánica constituida principalmente por plástico para unir polietileno a polietileno

El IPP recomienda que el usuario se informe bien sobre las limitaciones de cada tipo de conector mecánico en el uso particular que pretenda utilizarse.

Conexiones mecánicas de compresión

El funcionamiento de este tipo de conexiones, está basado en el principio de compresión a un sello que al transmitir este esfuerzo a las paredes que lo contienen forma por esta acción un obstáculo que sella herméticamente, proporcionando además de acuerdo al diseño, una resistencia a las fuerzas de separación (jalones, presión hidrostática, etc.). Este tipo de conexión se encuentra en muchos estilos y diversos materiales. Los componentes generalmente son un cuerpo, una tuerca de compresión con guía roscada o un seguidor con dispositivo de cierre, una junta de elastómero como sello, un inserto endurecido y algunas veces un anillo de agarre. Normalmente el diseño de este concepto de junteo, incluye un sello de elastómero en el ensamble. Este sello cuando es comprimido por la tuerca guía, o por el dispositivo de compresión, aprieta la parte exterior del tubo, efectuando una doble acción de agarre y sello, y en algunos diseños proporcionando resistencia a la separación por jalón o fuerzas axiales. Es importante que el interior de la tubería sea apoyado por el inserto endurecido cuando se provea compresión, de otra manera, la pared de la tubería podría ceder, y provocar con esto

fugas, o bien que la resistencia a la separación se vea notablemente disminuida, este tipo de conexión se usa normalmente en líneas de servicio para gas o agua en tubería 2" de diámetro y menores. También es importante considerar que son dos las categorías de este tipo de unión en que los dispositivos están disponibles, un tipo se recomienda para sólo proporcionar una junta hermética, y el otro se recomienda para proporcionar la junta, más la resistencia a la separación de las tuberías provocada por fuerzas interiores o exteriores, en las figura 8 y 9 se describen dos de estos tipos de acoplamiento.

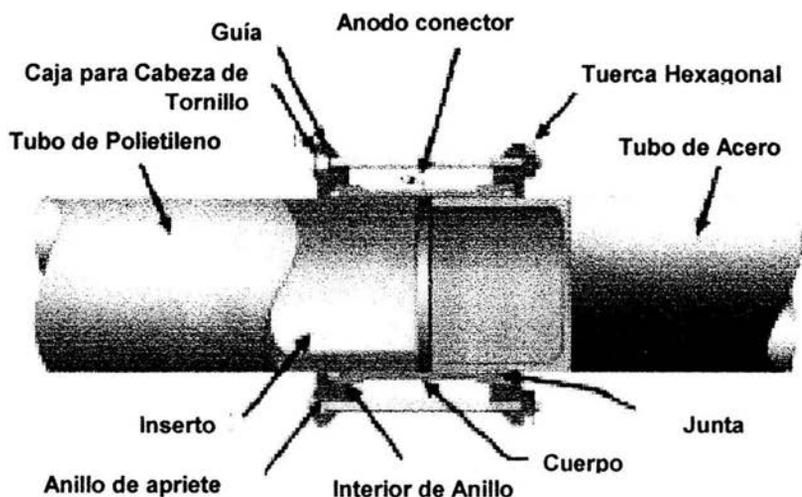


Figura 9.- Acoplamiento mecánico tipo "Dressert" para acoplar tubería de polietileno a polietileno ó a tubería de acero

Conexiones Mecánicas De Tipo Penetración

En este tipo de conexiones existen muchas variante de diseños, pero los materiales están limitados a solo ser usadas las resina "Grado Gas" PE2406 y PE3408. El concepto de diseño es similar en la mayoría de los estilos y componentes, internamente el diseño incluye un sello de elastómero como un "O ring", y un dispositivo de apriete para efectuar presión sobre el sello para hacer hermética la conexión y obtener capacidades de resistencia a las fuerzas de separación. Los insertos endurecidos son incluido en este diseño. Estas conexiones son más recomendables de usar en los tamaños de ½" CTS hasta de 2" IPS y todos están diseñados de acuerdo a la norma ASTM D2513¹ la cual indica la capacidad del sello y la restricción a la aplicación de fuerzas de separación.

¹ ASTM D2513-90. Standard Specifications for Thermoplastic Gas Pressure Pipe, Tubing, and Fittings, Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials (AS1M), Philadelphia, PA, 1991.

Uniendo Secciones De Tubería

Las tuberías de polietileno también se pueden unir por medio de coples, este procedimiento puede usarse en aplicaciones de flujo por gravedad y en situaciones en que se manejen presiones bajas, estos métodos son alternativos a la unión recomendada por termofusión, ya que implican más costos al requerir piezas adicionales. Estos tipos de uniones también utilizan los denominados "espiga y campana", los cuales pueden ser partes independientes o formar parte misma de los tubos construidas monolíticamente en su extremos, estos métodos de unión necesitan obligadamente un medio de empaquetadura que funcione al mismo tiempo como sello hermético, generalmente de algún material tipo elastómero ubicado entre las dos superficies interior y exterior de los extremos de los tubos ó entre el cople y el tubo, si se juzga necesario, también se puede utilizar un equipo portátil de extrusión y con el formar un collar de soldadura exterior alrededor de la unión. Información más detallada de la unión de tuberías por este método puede encontrarse en ASTM F894 II.

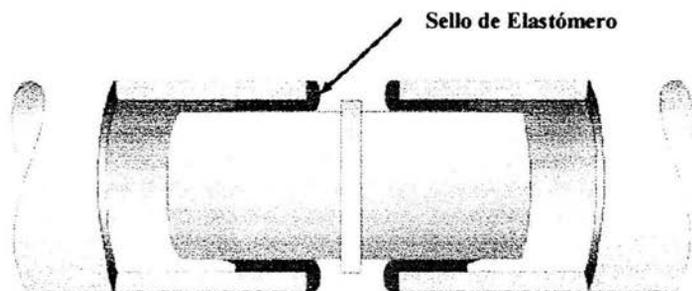


Figura 10.- Cople de doble espiga



Figura 11.- Acoplamiento de campana y espiga con y sin soldadura térmica

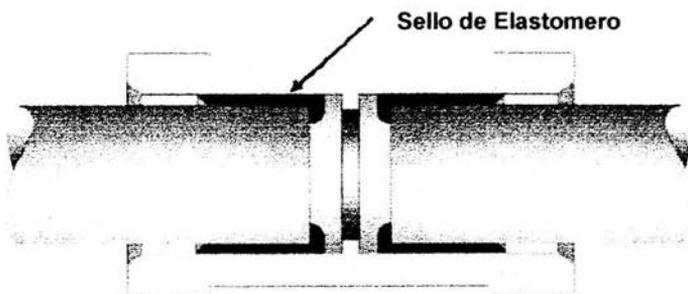


Figura 12.- Cople de doble campana

Conexiones Bridadas

Para unir la tubería de polietileno a tubería de metal ó a otros tipos de tubería, o bien, si se requiere que una sección de tubería pueda ser desmontada, se requiere de este tipo de adaptadores, los cuales están disponibles en dos versiones las bridas "Long Neck" y su versión más corta las bridas "Stub End", estas últimas, dependiendo de su diámetro se pueden fabricar para unión a tope ó para unión tipo socket, y ambas están diseñadas con las mismas clasificaciones de dimensiones de las tuberías para poderlas integrar al sistema mediante la unión de termofusión, esto en un extremo, en el otro, esta construida una brida de plástico que es reforzada con un anillo metálico en su parte posterior, de tal manera que se permita por medio de tornillos aplicar la fuerza de cierre necesaria entre la brida de plástico y la brida de otros materiales, para garantizar la completa hermeticidad de la sección, así como su resistencia a las fuerzas que puedan interactuar en la misma.

Estas conexiones constan principalmente de tres partes, la primera, esta formada por un tramo de tubería con las mismas construido con las mismas especificaciones de medidas, resistencia y material que la tubería misma, la segunda, que es una pestaña gruesa fundida junto con el tramo de tubería y que es la parte adopta la forma de brida para adosarse a las bridas de metal ó de otros materiales, esta podrá tener forma precisa de una brida (con sus perforaciones para el paso de tornillos), o bien puede ser solo un disco superior en diámetro al del tubo a que viene adosado con la perforación interna de acuerdo a las especificaciones de la tubería a la que se integrará, y por último un anillo metálico que es el que se encargará de reforzar la resistencia del plástico para permitir el apriete y la repartición de esfuerzos por medio de los conjuntos de tornillos, rondana y tuerca con los cuales son integrados estos tipo de conexiones.

Este tipo de unión es la más usada en los sistemas de agua potable y tratada a presión, los procedimientos para su instalación pueden ser los siguientes:

1. El anillo de metal se ubicara hacia la sección de tubería de plástico, lejos del extremo de la misma, para no interferir con funcionamiento del equipo de termofusión.
2. Si se utiliza un stub end, será conveniente primero termofusionar a el mismo una longitud corta de tubería, antes de colocar definitivamente el adaptador a la tubería, en algunos equipos de termofusión es posible manejar estos adaptadores para integrarlos

directamente a la tubería sin este paso preliminar, si se utiliza un long neck, no será necesario este paso.

3. Termofusione el extremo del adaptador al segmento de tubería de plástico.

4. Con en la anillo metálico que previamente ha sido colocado en la tubería antes de la termofusión, haga coincidir los orificios de el anillo con los de orificios de la brida a la que se conectará la tubería de polietileno, introduzca los tornillos de medida adecuada al tipo y diámetro de la tubería utilizada, dentro del proceso de colocación de tornillería, se colocará entre las dos bridas el empaque adecuado según las recomendaciones del fabricante.

5. coloque en su posición definitiva y alternativamente de apriete normal a los conjuntos de tuerca y tornillo usados con este tipo de conexiones.

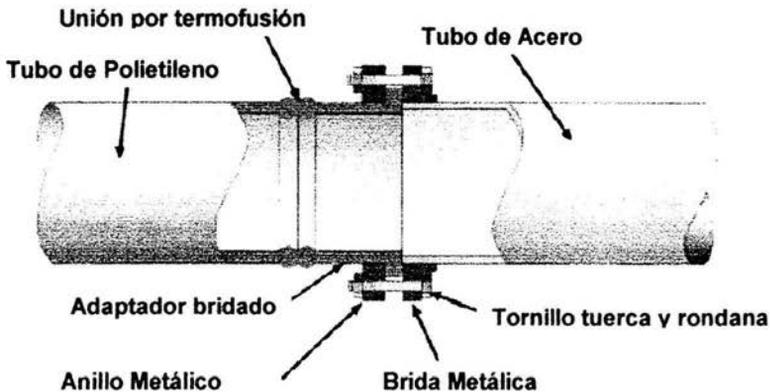


Figura 13.- Típica conexión bridada usando Stub End

Coples de Transición

Este es otros de los métodos que están disponibles para permitir unir tubería de plástico a tuberías de metal. Este tipo de adaptadores de transición están disponibles preensamblados por los fabricantes. Éstos, generalmente son resistentes a las fuerzas de separación y proporcionan una hermeticidad mayor que la tubería de polietileno con que esta formado el sistema. Sin embargo, el usuario debe obtener la información del fabricante para confirmar las capacidades de diseño o sus limitaciones. Los coples de transición están normalmente disponibles con un segmento corto de tubería de plástico para unir a la sección de tubería de plástico. El extremo de metal está disponible con un chafán, en el extremo, soldado, con cuerda exterior, o, es acanalado para soportar un sello tipo Victaulic², o con una collarín metálico para ser conectado a uno tipo ANSI 150 de 150 libras³.

² Victaulic General Catalog on Mechanical Piping Systems, Victaulic Company of America, Easton, PA, 1988.

³ ASME/ANSI B16.5-1988. American National Standard on Pipe Flanges and Flanged Fittings, American National Standards Institute, New York, NY, 1988.

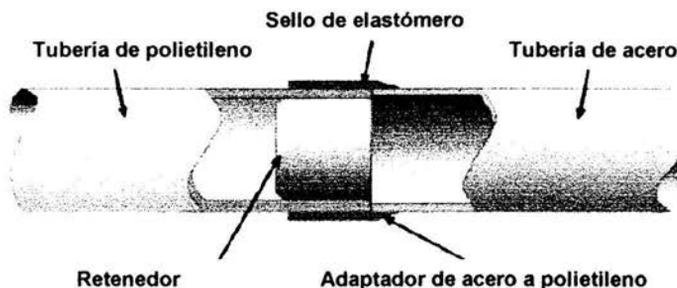


Figura 14.- Transición estándar de tubería de plástico a tubería de acero

Conexiones Roscadas De Plástico

Pueden roscarse las tuberías de polietileno igual que las tuberías de metal, un NPT (niple terminal) adelgazado por la fabricación de la rosca puede ser unido a los hilos de la rosca de un NPT hembra, enroscando (enhebrados) ambos. Debe procederse con cautela en este tipo de aplicación. Los materiales del polietileno son sujetos a deslizamiento y a fenómenos de flujo frío en condiciones de tensión a largo plazo. La vida de este tipo de unión depende de las fuerzas a que es sometida la misma y la regulación de la presión dentro de la tubería, estos valores variarán de acuerdo a los materiales con que este fabricada la tubería. Es necesario contactar al fabricante de la tubería antes de hacer este tipo de instalación para que él indique las posibles limitaciones. En Estados Unidos muchas reglamentaciones federales y códigos locales no permiten conexiones de plástico roscadas para la contención y conducción de ciertos productos.

Conexiones “Flameadas”

La práctica de fabricación de juntas de polietileno por “flameado” es uno de los métodos de unión que tienden gradualmente a ser usado cada vez menos. El proceso es efectuado por una “Cone Flaring” (cono flameante) por medio de la cual se aplica el calor producido por una fuente térmica externa, o por un “Spin Flaring” (hélice flameante) donde el calor se produce a través de fricción. Estos procedimientos son usados junto con coples y piezas especiales para formar la junta propiamente, recientes cambios en la AWWA C901 y otras reglamentaciones suscritas por la PPAF⁴ y la IAPMO⁵ han desaconsejado ó específicamente prohibido el proceso de flameado en la tubería de

⁴ AWWA C901-88. Polyethylene (PE) Pressure Pipe and Tubing, 1/2 in. Through 3 in., for Water Service, American Water Works Association, Denver, CO, 1988.

⁵ APMO, International Association of Plumbing and Mechanical Officials, Walnut, CA.

polietileno, ya que la posibilidad de que se efectúe una junta insatisfactoria, es mucho mayor que con cualquier otra técnica de junteo recomendada, el IPP previene que el fabricante sea contactado para determinar bajo que circunstancias y particularmente que tipo de material para tuberías puede ser considerado para utilizar este tipo de junteo. La referencia completa de este proceso puede ser encontrada en la ASTM D3140⁶.

Uso De Adhesivos En La Unión De Tuberías De Polietileno

Hasta este momento, no hay ningún adhesivo conocido o cementante de solvente que sea adecuado para sellar ó unir con suficiente fuerza y con las características del polietileno las tuberías de este material, por lo cual no es recomendable el uso de ningún tipo de pegamento, adhesivo o solvente que pueda ser usado para este fin.

Torniquete o Prensa

Sin tener en cuenta el método de la unión aplicado en la instalación de la tubería de polietileno, puede ser necesario disminuir o cortar el flujo dentro del sistema, existe herramienta especialmente diseñada de uso común, que permite por medio de la aplicación de un torniquete exterior a la tubería, conseguir el cierre del flujo dentro de la misma, es necesario consultar con el fabricante de tubería para obtener las recomendaciones particulares para la aplicación de este método de cierre de tuberías, los procedimientos generales del mismo pueden ser consultados en ASTM F1041⁷.

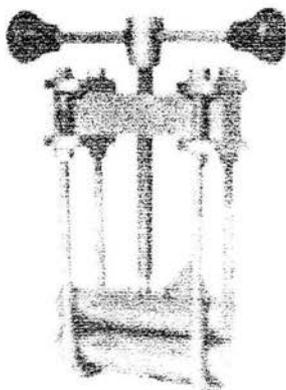


Figura 15.- Prensa mecánica tipo torniquete

⁶ ASTM D3140-85. Standard Practice for Flaring Polyolefin Pipe and Tubing, Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, PA, 1990.

⁷ AASTM F104 1-87. Standard Guide for Squeeze-Off of Polyolefin Gas Pressure Pipe and Tubing, Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, PA, 1990.

Resumen

Las aplicaciones para los productos elaborados con polietileno continúan extendiéndose aceleradamente. La distribución de gas por medio de líneas, sistemas de agua potable, instalaciones sumergidas, marinas, drenajes por gravedad y bombeo, y varios tipos de sistemas expuestos sobre tierra son unos cuantos de los diferentes tipos de instalaciones para los cuales se ha utilizado la tubería de polietileno, y sobre estos se han hecho ajustes, desarrollando los diferentes tipos de tecnología necesaria para cada uso específico.

Un elemento importante que ha contribuido a este éxito continuo es la diversidad de métodos disponibles para unir la tubería de polietileno y su piezas especiales. La integridad de método de unión por termofusión ya sea a tope ó tipo socket ha sido probado por la con el paso del tiempo en una gran variedad de aplicaciones.

Los fabricantes de tubería de polietileno y conexiones han hecho esfuerzos para hacer los sistemas de unión tan comprensivos y versátiles como es posible, produciendo una variedad de soluciones de montajes y componentes para asegurar la compatibilidad con otros materiales alternativos y que pueden pertenecer al sistema.

El propósito de este capítulo ha sido proporcionarle una apreciación global al lector de la existencia de varios métodos por los que la tubería de polietileno puede unirse a tuberías de otros tipos de materiales. Como resultado, se espera, que el lector desarrolle una comprensión de la flexibilidad, integridad y otras cualidades útiles que apoyarán en el diseño, instalación y desarrollo de los sistemas de tubería de polietileno y sus componentes.

4.- comparativo de costos con otros procesos constructivos.

Como ha señalado en otras partes de esta obra, la tubería de Polietileno de Alta Densidad ha presentado grandes conveniencias para adoptarse como material de construcción respecto a otros tipos de materiales, por sus ventajas de manejabilidad, duración, facilidad de instalación, etc., no obstante la comparativa de costos de construcción con respecto a otros sistemas es el factor que en una gran mayoría de veces es argumento para determinar el tipo de material a utilizar. Para tomar esta decisión, es conveniente analizar que no únicamente debe perseguirse la obtención del beneficio a corto plazo, que generalmente es conseguido con una inversión menor, dejando atrás el estudio de largo alcance, que debe incluir el mantenimiento y operación del proyecto a mediano y largo plazo, siendo esto último lo más recomendable, incluso debe perseguirse el contemplar las posibilidades de crecimiento, tanto del sistema como de la población a beneficiar ó el fin económico buscado .

En general, el contexto económico de costo del sistema debe incluir no únicamente el costo propio de la tubería, insumos propios, conexiones y elementos de control, que es lo que generalmente se compara entre los diferentes sistemas, en los sistemas de tuberías construidos con tubería de polietileno, la diferencia de costos inicia desde el trazo de la excavación, la excavación y los rellenos, además de que por su facilidad de manejo e instalación es fácil reducir los tiempos constructivos, con lo cual se producirá un ahorro sustancial en los costos derivados por las administraciones de obra, vigilancia y supervisión.

En los párrafos siguientes se establece una comparación de volúmenes de obra producidos por la instalación de diferentes sistemas constructivos, idealizando que pudiesen utilizarse bajo las mismas condiciones y siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y de los Organismos Directores en este tipo de sistemas, con lo cual se puede establecer la diferencia de costos de instalación de la tubería de polietileno con otros sistemas.

4.1. Trazo y nivelación para estructuras hidráulicas.

Este concepto corresponde generalmente al ancho de la cepa necesaria para instalar la tubería, multiplicado la longitud de la línea a construir, mas el área de las instalaciones especiales, para el caso de las tuberías diferentes a las de PAD, los procesos tradicionales, implican que la tubería se "arme" dentro de la cepa, por lo cual es necesario aumentar al diámetro exterior del tubo un espacio suficiente para trabajar e inspeccionar las piezas especiales ó coples por medio de los cuales se interconecta la tubería, no siendo el caso de la tubería de PAD, que es recomendable de termofusionar fuera de la cepa.

En la tabla siguiente 4.1 se muestran los anchos de cepa más comunes recomendados para la instalación de diferentes tipos de tubería.

Tabla 4.1.- Anchos de cepa recomendados para la instalación de diferentes tipo de tubería.						
Diámetro de tubería	Tubería de polietileno (recomendación de fabricante)		Tubería de Asbesto Cemento, fierro fundido, fibra de vidrio ó plástico rígido (Especificaciones DGCOH)		Tubería de polietileno (Especificaciones DGCOH)	
	Zona Sub-urbana (en m.)	Zona Urbana (en m.)	Zona Sub-urbana (en m.)	Zona Urbana (en m.)	Zona Sub-urbana (en m.)	Zona Urbana (en m.)
100	0.30	0.30	0.60	0.60	0.25	0.40
150	0.35	0.35	0.60	0.60	0.30	0.40
200	0.40	0.40	0.65	0.65	0.30	0.40
250	0.45	0.45	0.70	0.70	0.40	0.50
300	0.50	0.50	0.75	0.75	0.50	0.50
350	0.55	0.55	0.80	0.80		
400	0.60	0.60	0.85	0.85		
450	0.65	0.65	0.90	0.90		
600	0.80	0.80				
900	1.10	1.10				

En este caso se indican los de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Gobierno del Distrito Federal, que para el caso de las tuberías diferentes al polietileno, son las recomendadas por los diferentes fabricantes y para las tuberías de polietileno, debido a que la mayoría de sus obras son construidas en zona urbana, son un poco más conservadoras y puede tomarse como ejemplo para la generalidad de ciudades del país, en cuanto a desarrollos fuera de zonas urbanas, es más económico seguir las indicaciones de fabricante para el caso del polietileno. Considerando que el volumen del concepto puede referirse como unitario se puede construir la siguiente tabla:

Tabla 4.2.- Comparativa en por ciento utilizando tubería de Polietileno de Alta Densidad (PAD) contra el uso de otros tipos de tubería, siguiendo las recomendaciones del fabricante para los anchos de cepa necesarios para la instalación de diferentes tipos de tuberías:

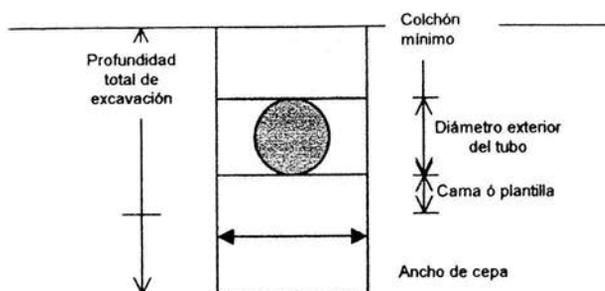
Diámetro de tubería	Tubería de polietileno (recomendación de fabricante)				Tubería de Asbesto cemento, plástico rígido, fibra de vidrio, fierro fundido (DGCOH)			
	Zona Sub-urbana (en m.)		Zona Urbana (en m.)		Zona Sub-urbana (en m.)		Zona Urbana (en m.)	
Hasta 100	0,3	50,00%	0,30	50,00%	0,60	100,00%	0,60	100,00%
150	0,35	58,33%	0,35	58,33%	0,60	100,00%	0,60	100,00%
200	0,40	61,54%	0,40	61,54%	0,65	100,00%	0,65	100,00%
250	0,45	64,29%	0,45	64,29%	0,70	100,00%	0,70	100,00%
300	0,50	66,67%	0,50	66,67%	0,75	100,00%	0,75	100,00%
350	0,55	68,75%	0,55	68,75%	0,80	100,00%	0,80	100,00%
400	0,60	70,59%	0,60	70,59%	0,85	100,00%	0,85	100,00%
450	0,65	72,22%	0,65	72,22%	0,90	100,00%	0,90	100,00%
600	0,80		0,80					
900	1,10		1,10					

Como se observa en la tabla 4.2 porcentualmente la diferencia de volumen unitario necesario en este concepto es significativo, pero, debido a que este concepto es económicamente mínimo (barato), provoca desviaciones pequeñas en el costo total de la obra, por lo cual este concepto por sí solo poco influye en la decisión de elección de tubería, sin embargo es la base para los conceptos siguientes del proceso constructivo.

4.2. Excavaciones.

Como se percibe en el párrafo anterior, el ahorro puede alcanzar hasta un 50% en volúmenes unitarios, pero debido a que la tubería de PAD, tiene una gran resistencia comparativamente a otros materiales para soportar cargas de tránsito, en los conceptos de excavaciones, se pueden incrementar estos porcentajes.

Para todos los tipos de tuberías se maneja el concepto "colchón mínimo", que es la profundidad mínima a que se encontrará el lomo de la tubería por instalar, y que será relleno con material recomendado para proteger la tubería y confinarla dentro de la cepa, por lo cual a la profundidad indicada como colchón mínimo deberá incrementarse con el diámetro exterior de la tubería, según el tipo que se trate, más, si se indica, el espacio que ocupará una cama ó plantilla de material inerte para hacer una transición entre el material natural y la tubería, se manera que esta se encuentre perfectamente soportada en toda su longitud.



Así de esta manera tendremos la profundidad mínima necesaria para proceder a la excavación. Es importante señalar que cuando las características de los materiales donde se excavan las cepas para alojar la tuberías, se tornan hacia la dureza, la inversión necesaria se vuelve cada vez más importante, ya que al encontrar estratos más duros o roca, es más conveniente no profundizar en los mismos, siendo la tubería de PAD altamente recomendable para este fin, ó bien otra posible solución al proyecto es el estudio de la factibilidad de costo permitiendo la instalación de tuberías sobre el nivel del terreno natural, construyendo sus adecuados sistemas de atraque, no siendo esto posible con la mayoría de los sistemas tradicionales, a excepción de la tubería de acero, que comparativamente presenta una gran diferencia en el costo del material de tubería contra los otros sistemas

En la tabla 4.3. se muestran los volúmenes de excavación obtenidos por unidad de longitud a partir de las recomendaciones de los fabricantes de tubería de polietileno, suponiendo que la excavación se presenta homogénea en toda su profundidad, también se puede considerar esta tabla como el área de la sección de la cepa, con lo cual no se entraría a volúmenes.

Tabla 4.3.- volúmenes de excavación , de acuerdo a los anchos y profundidades Recomendados por el fabricante de tuberías de polietileno

Diámetro (mm)	Zona Sub – Urbana			Zona Urbana		
	Ancho (m)	prof. (m)	Vol. X m. (m ³)	Ancho (m)	prof. (m)	Vol. X m. (m ³)
25-100	0,30	0,30	0,0900	0,30	0,60	0,1800
150	0,35	0,35	0,1225	0,35	0,65	0,2275
200	0,40	0,40	0,1600	0,40	0,70	0,2800
250	0,45	0,45	0,2025	0,45	0,75	0,3375
300	0,50	0,50	0,2500	0,50	0,80	0,4000
350	0,55	0,55	0,3025	0,55	0,85	0,4675
400	0,60	0,60	0,3600	0,60	0,90	0,5400
450	0,65	0,65	0,4225	0,65	0,95	0,6175
600	0,80	0,80	0,6400	0,80	1,10	0,8800
900	1,10	1,10	1,2100	1,10	1,40	1,5400

Debido a que existen diferencia entre las nominaciones para los diverso tipos de tubería en la tabla siguiente 4.4. se toma como base los diámetros nominales en pulgadas de cada tipo de tubería, estando concientes, de que existen diferencias en las diámetros exteriores entre los diversos tipos de tuberías de acuerdo a su clasificación, pero que para los fines ilustrativos que se persiguen estas diferencias no son representativas, no existiendo en la mayoría de ellas la posibilidad de disminuir la profundidad de la cepa en zonas suburbanas, al igual que en la tabla 4.3. se conserva el principio de volumen unitario, o sección de la cepa.

Tabla 4.4.-Volúmenes a excavar en cepas para instalar tuberías de Asbesto Cemento, Fierro Fundido, fibra de vidrio y plástico rígido.

Diámetro (mm)	Ancho (m)	Prof. (colchón mínimo) (m)	Diámetro nominal del tubo (m)	Plantilla recomendada (m)	Prof. a excavar (m)	Vol. X m. (m ³ / m)
102	0,60	1,10	0,10	0,10	1,30	0,7812
152	0,60	1,10	0,15	0,10	1,35	0,8112
203	0,65	1,10	0,20	0,10	1,40	0,9120
250	0,70	1,20	0,25	0,10	1,55	1,0850
305	0,75	1,20	0,31	0,10	1,61	1,2038
356	0,80	1,20	0,36	0,10	1,66	1,3248
406	0,85	1,20	0,41	0,10	1,71	1,4501
457	0,90	1,20	0,46	0,10	1,76	1,5813
508	0,90	1,20	0,51	0,10	1,81	1,6272

Comparando la última columna de las dos anteriores tablas, y tomando como base el volumen necesario para instalar a la mayoría de tuberías "tradicionales", establecemos una relación entre los volúmenes necesarios de excavación para los dos diferentes sistemas, como 100% consideraremos las cantidades obtenidas para los sistemas de tubería tradicionales, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.5 comparación de volúmenes de excavación

Diámetro nominal	Sistemas tradicionales	Tubería de PAD	Comparativa PAD / tradicional
En pulg.	m ³ /m	m ³ /m	%
2"-4"	0.7812	0.1800	23.04%
6"	0.8112	0.2275	28.04%
8"	0.9120	0.2800	30.70%
10"	1.0850	0.3375	31.11%
12"	1.2038	0.4000	33.23%
14"	1.3248	0.4675	35.29%
16"	1.4501	0.5400	37.24%
18"	1.5813	0.6175	39.05%

Lo cual permite apreciar que los volúmenes de excavación necesarios son notablemente menores para la instalación de tubería de PAD, y ya que los conceptos de excavación integran una parte importante del presupuesto necesario para la instalación de tuberías, este ahorro puede conducir a una decisión dirigida a la aceptación del proceso constructivo a base de tubería de PAD.

4.3 Otros conceptos inherentes a las excavaciones para la instalación de Tubería de PAD.

Entre otros conceptos que se ven afectados por la disminución de volúmenes de excavación son los siguientes:

- **Ruptura de pavimentos**, en la generalidad, al disminuir el ancho de cepa, disminuye el volumen a desarrollar de este concepto, independientemente del espesor del mismo, en las mismas condiciones para los otros tipos de tubería.
- **Acarreos de demoliciones de pavimentos**, al disminuir el volumen de demoliciones, se disminuye el volumen de acarreos a retirar del sitio de la obra.
- **Cama o plantilla de material inerte**, la tubería de PAD, solo lo requiere si el fondo de la cepa es roca.
- **Relleno de cepas con materiales de banco**. La tubería de PAD se comporta aceptablemente cuando se rellenan las cepas con material producto de la excavación, evitando en lo posible que estos rellenos incluyan rocas y que estas estén en contacto directo con la tubería.
- **Rellenos de cepas**, al disminuir los volúmenes de excavación, los volúmenes de relleno disminuyen directamente en el mismo porcentaje.
- **Reposición de pavimentos**, esto es comprensivamente claro, si se toma en cuenta que en la mayoría de los casos disminuye el ancho de la cepa, y por lo cual el área de pavimento a reponer será menor.

Consideraciones generales:

A todos los conceptos anteriores conviene hacer algunas aclaraciones: Es conveniente revisar las profundidades de excavación en todas las zonas, debido a que la profundidad a la cual se debe instalar la tubería puede estar normada por otras características que no corresponden a las propuestas por el fabricante, como puede ser que en las áreas de cultivo se tenga que alcanzar una profundidad que no alcancen las cuchillas de la maquinaria de siembra y cosecha, o bien tomar en cuenta a futuro la erosión de los terrenos, o la conformación de los mismos para la construcción de caminos. En las áreas urbanas y sub-urbanas, se deberá tener en cuenta los niveles de conformación de las calle cuando no existen pavimentos, el cruce con diversas instalaciones presentes ó futuras, y en particular en algunos casos se solicita rellenar las cepas con material de banco para diferenciar el terreno donde existe una instalación de infraestructura.

Por otra parte en terrenos con pendientes pronunciadas, es conveniente hacer un análisis de esfuerzos para prever estabilidad de la tubería durante su vida útil, con el fin

de evitar que se presenten levantamientos de la tubería ocasionados por los esfuerzos internos de los fluidos que conduce la misma, que no puedan ser compensados por un relleno disminuido por las condiciones geométricas del sitio de la instalación.

Si aún después de efectuada la minuciosa revisión anterior, no existe condicionante en contrario, se pueden adoptar las recomendaciones del fabricante, es conveniente recordar en este punto, que si existe alguna restricción al efectuar la revisión propuesta anteriormente, es posible que a otros tipos de sistemas de tubería les afecte más profundamente y se encarezca el sistema constructivo aún más que con el polietileno.

4.4. Suministro e instalación de sistemas de tuberías.

Para el análisis de costos de la instalación de la tubería en si misma, deberemos remitirnos a los costos de los insumos de los materiales, propiamente, al costo de las tuberías, más el costo de la mano de obra y equipos necesarios para la instalación, que a mayor diámetro, incrementa la necesidad de equipo para el movimiento de la tubería.

4.4.1. Costo de los materiales.

En este primer apartado, y ante la gran cantidad de productos existentes para la construcción de redes hidráulicas, será necesario que como primer paso a la toma de decisión del tipo de material a utilizar en el proyecto, se deberá efectuar una consulta completa para cada uno de los distintos materiales que el proyectista por su capacidad y experiencia determine que pueden ser los más viables a utilizar, actualmente, el costo de los materiales es el factor que determina la toma de decisión del proceso constructivo, lo cual se traduce en que en algunos casos, el proyecto a mediano y largo plazo sea inoperante, debido a los altos costos de mantenimiento y operación de algunos sistemas, sin embargo con la apertura económica que se ha tenido en el país, el costo de los materiales que conforman los productos de polietileno, que en su mayor parte son importados, se han vuelto cada vez más accesibles y competitivos con los otros materiales, y en algunos casos, el polietileno no tiene competencia económica, por lo menos en lo referente al costo de la tubería, como lo podrían ser las redes de riego por goteo, en las cuales se puede utilizar un polietileno de baja densidad que es barato, y que además en diámetros de 2 ½" y menores, se surte en rollos de tubería continua de hasta 150 m, lo cual reduce el costo de la instalación.

Como se menciona anteriormente, la mayor parte de los insumos para la fabricación de las tuberías de polietileno, son de procedencia extranjera, y actualmente, se han vuelto económicas, por lo menos en diámetros menores a 20" ya que para la fabricación de tuberías de mayor diámetro existen muy pocas plantas productoras de tubería en el país, por lo cual para diámetros mayores la tubería tiene que ser importada en gran parte, esto tiene la desventaja, de que los movimientos económicos mundiales afectan directamente los costos de la tubería y estos pueden variar en un gran porcentaje en un corto tiempo.

Por otra parte, y como consecuencia de la gran competencia para el otorgamiento de contratos de obra pública principalmente, la venta de tubería de polietileno ha pasado del distribuidor tradicional a la venta directa de parte de las fábricas productoras, con lo cual los costos ha disminuido aún más.

Otro aspecto importante del proyecto es el costo de los materiales de interconexión entre las mismas tuberías de polietileno y los otros sistemas constructivos a los que se puede ó debe unirse, sin embargo, normalmente es mas barato el proceso

constructivo de la tubería de polietileno, ya que cuando la unión es entre elementos de polietileno, existe una gran diversidad de piezas especiales, que permiten la unión de estas tuberías utilizando el proceso de termofusión, como se puede apreciar en la siguiente tabla en la cual se enlistan las piezas necesarias para efectuar una conexión lateral de una tubería de 6" a otra de 3" de diámetro con una válvula de control.

Tubería de PVC (espiga campana)	Tubería de Asbesto cemento	Tubería de P.A.D.
1 pza. Tee de PVC de 6"	1 pza. Tee de Fo.Fo. 6" X 2" brid.	1 pza. Silleta de ramaleo de 6" X 3"
1 pza. Reducción de PVC de 6" X 4"	2 pza. Junta gibault de 6"	2 Jgo. Brida y contra brida 3"
1 pza. Reducción de PVC de 4" X 3"	2 pza. Extremidad bridada 6"	2 pza. Empaque de neopreno 3"
2 pza. Espiga bridada de 3"	1 pza. Junta gibault 3"	8 pza. Tornillo 5/8" X 2 1/2"
2 pza. Empaque de neopreno 3"	1 pza. Extremidad bridada 3"	1 pza. Válvula bridada 3"
8 pza. Tornillo 5/8" X 2 1/2"	2 pza. Empaque de plomo 6"	
1 pza. Válvula bridada 3"	2 pza. Empaque de plomo 3"	
3 pza. Empaque 6"	16 pza. Tornillo 3/4" X 3 1/2"	
1 pza. Empaque 4"	8 pza. Tornillo 5/8" X 2 1/2"	
2 pza. Empaque 3"	1 pza. Válvula bridada 3"	

Como se puede observar, la cantidad de piezas a manejar en el caso del polietileno es menor, y el costo del los elementos de transición (bridas y contra bridas) es equivalente en los tres sistemas, teniéndose un ahorro en los otros elementos, lo cual conlleva a otro parámetro en el cual es comparativamente mejor la utilización del la tubería de Polietileno a la de otros tipos de tubería.

4.4.2. Costo de la mano de obra y equipo para la instalación.

Las especificaciones particulares de cada tipo de sistema constructivo indica los requerimientos mínimos de calidad en la instalación del mismo, por lo cual, en cada uno de los casos se debe de contar con personal calificado, con la experiencia y capacidad necesaria para la correcta instalación de los diferentes elementos que conforman cada uno de los sistemas, con el fin de minimizar errores en la colocación de los mismos que puedan ocasionar el mal funcionamiento del sistema ó bien que posteriormente a la instalación del elemento sean necesarias reparaciones costosas.

En todos los sistemas constructivos, el costo de la mano de obra y del equipo necesario para la instalación, es proporcional al diámetro de la tubería a instalar y a la capacidad de resistencia a la presión hidráulica de la misma, siendo esto aplicable también a la tubería de Polietileno, es difícil comparar el costo de la mano de obra y del equipo para la instalación para los diferentes sistemas constructivos, ya que para cada caso se debe establecer el precio unitario correspondiente, dependiendo de las diferentes variables que puedan intervenir en el mismo de acuerdo a las particularidades de cada obra, en general, el equipo para termo fusionar la tubería de polietileno, así como sus operarios tienen un costo mayor que en algunos otros sistemas constructivos, pero el personal calificado puede proporcionar rendimientos mayores, con lo cual es posible compensar estas diferencias económicas.

Es necesario comentar que cada sistema presenta su propia problemática para la instalación de tubería, por ejemplo, la tubería de acero representa un gran peso por unidad de longitud, y necesita un personal altamente calificado para realizar el junteo de tuberías, además del equipo necesario para efectuar la soldadura que normalmente es de

arco eléctrico, y el costo se incrementa aún más con el costo de la supervisión del junteo, que requiere estadísticamente de la revisión por radiografía de campo .

4.4.3. Otros insumos.

Otra parte representativa del costo de la instalación de sistemas de redes hidráulicas, lo representa la transportación, el almacenaje y el manejo de las diferentes partes del mismo, los cuales se ven minimizados con la utilización de tubería de polietileno, por sus ventajas de manejo y almacenaje aún en comparación con otro tipo de tuberías plásticas.

5. Información técnica para el diseño de redes hidráulicas basándose en tuberías de PAD.

Cada proyecto tiene su propio conjunto de variables y condiciones particulares, la debida interpretación de estas es importante, el calculista debe aplicar un criterio de ingeniería adecuado cuando se diseñan e instalan sistemas de tubería de polietileno, siendo conveniente acercarse a los distintos fabricantes de tubería para obtener de cada uno de ellos las especificaciones particulares tanto físicas como químicas de los diferentes productos, así como las condicionantes de uso y diseño particular para cada marca y tipo de resina usadas en la fabricación de las tuberías y sus accesorios.

En algunos casos existe alguna razón para seleccionar un tamaño de tubo ó espesor de la pared distinto a los determinados durante un análisis de ingeniería, por ejemplo una tubería de pared más gruesa es frecuentemente especificada en una aplicación de transporte de sólidos en suspensión, para mantener el rango de presión requerido a pesar del desgaste producido por los sólidos.

El incrementar el espesor de pared puede ser una medida contra imprevistos como: condiciones de operación variables, abuso del sistema, condiciones sospechosas del suelo, etc., el uso de una pared más gruesa reducirá la tensión perimetral del tubo e incrementará el factor de seguridad. En situaciones donde el riesgo de daño es alto, o cuando serias consecuencias económicas pueden resultar de una falla, el ingeniero debe proveer un factor de seguridad adicional en el diseño de la línea.

En este capítulo solo se plantean algunas variables que deben ser revisadas durante el cálculo de los sistemas de tuberías, pero, se insiste nuevamente en que es necesario acercarse a cada fabricante en particular, para obtener toda la información necesaria, y en algunos casos, hasta el software de cálculo susceptible de aplicarse para el proyecto en cuestión.

Uso de la tubería.

Aún cuando no es tema de este trabajo, ya que se supone que el fluido a conducir, será normalmente agua en sus diferentes usos, como agua potable, agua tratada ó aguas servidas, es conveniente que en primera instancia, se revise el fluido que será conducido por medio del sistema de tuberías, podrá contener partículas abrasivas en suspensión ó sustancias químicas que pueden afectar la resistencia de la tubería por lo cual deberán de revisarse estos parámetros.

Resistencia a la abrasión.

Los fabricantes de tubería generalmente disponen de datos o tienen estudios comparativos del comportamiento de su material con respecto a otros materiales comúnmente usados como pueden ser acero, fierro fundido, etc. que nos permite darnos una idea del comportamiento futuro de la tubería ante la acción de agentes abrasivos, normalmente todos los fabricantes coinciden en que el polietileno probado comparativamente con otras tuberías (de acero principalmente), tiene una resistencia superior para la conducción de sólidos en suspensión; será necesario que dependiendo de la importancia del proyecto, se pida al fabricante se realice una prueba específica de comportamiento ó resistencia al ataque agresivo de sólidos en suspensión esperados en nuestro proyecto, en general, las tuberías de polietileno se han usado para el manejo de

desechos de minas, cenizas volátiles, fango, lodos y rocas de dragado y otros materiales abrasivos, lo cual no indica que este material sea el más indicado económicamente para usarse en todos los casos, ya que es importante categorizar que es la importancia del proyecto la que deberá regir el criterio de la selección del tipo de tubería, siendo en algunos casos el polietileno .

La superficie tersa de la tubería de polietileno de alta densidad, resiste la formación de incrustaciones y la corrosión, minimizando también las pérdidas por fricción, lográndose propiedades de flujo superiores a las de muchos otros sistemas de tuberías.

Resistencia Química.

La tubería de polietileno es adecuada para el manejo de diversas soluciones químicas, además de que los químicos que se encuentran normalmente en la tierra, no degradarán la tubería, no es un conductor eléctrico , no se pudre, enmohece ó corroe por acción electrolítica, así también no favorece el crecimiento de algas, bacteria u hongos y es resistente al ataque biológico marino.

Es importante que se conozca el que los hidrocarburos líquidos permearán a través de las paredes de la tubería y reducirán su resistencia hidrostática, y que cuando el hidrocarburo se evapora, la tubería recuperará sus propiedades físicas originales, esto no ocurre con los hidrocarburos gaseosos los cuales no tienen efecto alguno sobre la tubería en su vida útil esperada.

Algunos químicos afectarán la tubería de polietileno, el ataque químico puede presentarse con uno o varios de los siguientes efectos: Dilatación, decoloración, fragilidad ó pérdida de resistencia; los fabricantes de tubería, apoyados por los productores de las resinas básicas, presentan cada uno tablas de clasificación de los resultados de la exposición de la tubería a una diversidad de sustancias químicas, en las cuales se observa un muy buen comportamiento, que sin embargo será necesario revisar para el caso de cada diferente uso que se le pueda dar al sistema de tuberías a proyectar, recordando que el comportamiento de la tubería también depende de la temperatura a la que se expone la misma.

Factores de flujo.

En general la tubería fabricada a base de polietileno, tiene una superficie interior lisa, se recomienda un factor de "C" de 150 en la fórmula de Hazen – Williams, y para Manning, normalmente se recomienda un valor de "n" igual a 0.009. El factor de rugosidad ϵ de 2.13386×10^{-5} metros, las paredes lisas y las características de repeler el agua propias del material, permiten una capacidad mayor de flujo y una pérdida de fricción reducida.

Expectativa de Vida.

Cada fabricante de tubería dispone de un método en el cual prevé la vida útil de su producto, normalmente estos están apoyados en las curvas de regresión basadas en ASTM D2837, sin embargo, los datos obtenidos generalmente no prevén las condiciones ambientales internas y externas a que será expuesta la tubería, por lo cual será conveniente revisar dichas condiciones para cada aplicación determinada, comúnmente, el fabricante nos proporcionará una vida útil de 30 a 50 años, dependiendo de las condiciones de trabajo de la tubería, por ejemplo los fabricantes indican que para una

tubería presurizada, su vida será mayor si la presión normal es menor a la sugerida como presión normal de trabajo, o que no se presenten golpes hidráulicas en la misma, o bien que el líquido conducido no rebase ciertos límites de temperatura, etc.

Diseño de sistemas

El diseño de un sistema es un proceso basado en premisas, pero las condiciones de operación pueden ser de una gran diversidad, por lo cual se recomienda seleccionar la tubería con la capacidad de presión correcta con base en los requerimientos de operación del proyecto, después se escoge un tamaño designado para transportar el flujo requerido y el diseño se completará evaluando la capacidad del sistema para funcionar cuando es instalado correctamente.

En primera instancia se pueden aplicar las siguientes premisas para diseñar un sistema:

- Determinar el espesor de la pared del tubo para (RD) para cumplir con los requerimientos del sistema (presión del proyecto).
- Si es necesario reevaluar la tubería (RD) en base a las condiciones de operación del sistema.
- Evaluar los requerimientos de flujo del sistema para determinar el diámetro de la tubería .
- Verificar las la capacidad de la tubería para funcionar bajo las condiciones de instalación planeadas, por ejemplo , calcular la profundidad a enterrar el tubo, efectos térmicos, etc.
- Ajustar el espesor de la pared de la tubería de acuerdo a las cargas externa.
- Revisar el tamaño y espesor de pared de la tubería para cumplir con los requerimientos de flujo, presión y carga externa cuando el sistema esta instalado y operando como se diseño.

Los anteriores pueden no seguir el orden expuesto, esto lo determinará los requerimientos del proyecto.

Requerimientos de presión del sistema.

La mayoría de sistemas de tuberías están diseñadas para uno de los tres tipos de servicio que siguen:

- Flujo presurizado.
- Flujo por gravedad.
- Flujo al vacío.

Cuando se diseña un sistema de tubería presurizado, la tubería seleccionada debe contener la presión interna de una manera segura. En un sistema no presurizado, como un drenaje de flujo por gravedad, la selección de tubería depende de factores de flujo y estructurales. Los sistemas de tubería de vacío deben resistir colapsos. Para cada instalación el diseñador debe utilizar criterios y cálculos diferentes.

Radio Dimensional ó Relación de Dimensiones (RD, SDR ó DR).

En el capítulo 2 del presente trabajo, contenida dentro de las Normas Oficiales Mexicanas, se establece la clasificación de los diferentes tipos de tubería basándose en la relación que existe entre el diámetro exterior de la tubería y el espesor mínimo de la misma, esto quiere decir que para por ejemplo un tubo con un RD igual a 17, el diámetro exterior del tubo, es 17 veces el espesor mínimo de la pared del mismo tubo, es decir que para valores de RD altos, la pared de la tubería es delgada y al contrario, si el RD es bajo, la pared es gruesa en comparación con el diámetro exterior de la tubería.

Esta característica dimensional, correlacionada al tipo de resina con la que es fabricada la tubería, permite de acuerdo a diferentes normatividades internacionales como son la ISO (Organización Internacional de Estándares), la ASTM (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) y el PPI (Instituto de Tuberías Plásticas) establecer el esfuerzo hidrostático de diseño teniendo como base los datos siguientes:

	PE 3456 (Sistema Métrico) (Alta densidad)	PE 3408 (Sistema Ingles) (Alta densidad)
Base de Diseño Hidrostático A 73.4 °F (23 °C) a 100,000 hrs.	112 Kg/cm ²	1600 lb/plg ²
Esfuerzo hidrostático de diseño	56 Kg/cm ²	800 lb/plg ²
Factor de seguridad	2.0	2.0

El uso de una presión de diseño mayor puede reducir el factor de seguridad y acortar la vida de servicio del sistema de tubería, se recomienda revisar el esfuerzo hidrostático de diseño de acuerdo a la fórmula aceptada definida en el ASTM D 2837

Presión de Trabajo de la Tubería

$$P = \frac{2 S e}{D - e}$$

Donde:

- P = Presión de Trabajo.
- S = Esfuerzo hidrostático de diseño
- D = Diámetro exterior del tubo.
- e = Espesor mínimo de pared.
- RD = D/e

5.1. Tuberías para presión positiva.

Determinación del espesor de pared del tubo

Como se indicó anteriormente, se debe seleccionar el tipo de tubería a utilizar de acuerdo a la presión hidrostática que nuestro proyecto indique, esta presión obtenida de acuerdo a la diferencia de cotas entre las diversas ubicaciones de nuestro sistema, o bien por cualquier otro sistema reconocido, al conocer inicialmente esta presión se seleccionará el ó los RD necesarios para cumplir con las sollicitaciones iniciales.

Es necesario recordar que todos los diámetros de tubería con el mismo número de RD, resisten la misma presión hidrostática, existiendo formulas aceptadas por los organismos

internacionales mencionados anteriormente que relacionan el RD (DR ó SDR) a la presión hidrostática de trabajo. Así también conviene verificar la clasificación de resina del tipo de tubería elegida para reasegurar las características de resistencia de la tubería.

Estas características podrán ser proporcionadas por el fabricante, ó bien consultadas en las normas oficiales expuestas en el capítulo 2 de este trabajo y sus anexos. Recordando que estas presiones de trabajo son calculadas para temperaturas de 23°C ó menores, y que si es incrementada esta temperatura, habrá de ajustarse la resistencia y/o la vida útil de la tubería

Las fórmulas son:

$$P = \frac{2 S e}{D - e} \quad \text{ó} \quad P = \frac{2 S}{RD}$$

Donde:

- P = Presión de Trabajo, psi o kg/cm²
- S = Esfuerzo hidrostático de diseño, psi o kg/cm²
- D = Diámetro exterior del tubo, pulgadas ó centímetros.
- e = Espesor mínimo de pared, pulgadas ó centímetros.
- RD = D/e

Golpe de Ariete (Onda de presión)

Otro factor importante para ponderar el espesor de la pared de la tubería lo determinan las sobre presiones a que puede verse expuesta la tubería, como lo es el golpe de ariete, que se produce cuando el flujo tiene una variación importante en su estado de reposo ó movimiento, ya que al variar este estado, la inercia de la masa del líquido, se convierte en una onda de choque, algunas de las causas más comunes de este fenómeno hidráulico son abrir ó cerrar (total ó parcialmente) válvulas, arranque y paro de bombas, variaciones de velocidad en turbinas, oleaje en depósitos, separación de líquidos en una columna y el aire atrapado en la línea.

Las ondas de presión rápidas son conocidas como "martillo de agua" ó "golpe de ariete". Estas ondas de choque recorren la tubería de un lado a otro haciéndose más débiles progresivamente, perdiendo energía con cada martilleo, la presión de onda máxima resulta cuando el tiempo requerido para cambiar la velocidad de flujo es menor ó igual a 2L/S como se muestra en la siguiente fórmula:

$$t \leq 2L / S$$

Donde:

- L = Longitud de la tubería en metros.
- S = Velocidad de presión de la ola en metros en cada segundo.
- t = Tiempo en segundos

S se puede determinar por medio de la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{K E}{(w / g) (E + (K RD))}} / 100$$

Donde:

S = Velocidad de la presión de la ola, m/seg.

K = módulo de masa del líquido, Kg/cm² = 21,000 Kg/cm² para el agua.

E = módulo de elasticidad del material de la tubería, Kg/cm² = 7,000 Kg/cm²
(corto plazo), se deberá consultar al fabricante, para corroborar este dato.

RD = radio dimensional de la tubería, adimensional.

w = peso unitario del fluido, Kg/cm³.

g = Aceleración de la gravedad, 981 cm/seg².

El exceso de presión originado por el golpe de ariete es :

$$P_s = \frac{w S V_c}{g}$$

Donde:

P_s = Cambio en la presión, Kg/cm²

V_c = Cambio en la Velocidad, cm/seg, durante un tiempo crítico 2L/S

S = Velocidad de la presión de la ola, cm/seg.

w = peso unitario del fluido, Kg/cm³.

g = Aceleración de la gravedad, 981 cm/seg².

El golpe de ariete, tiene una serie de consideraciones particulares, que dependiendo de la importancia de la obra, deberá de considerarse un estudio exhaustivo del mismo, con el fin de proteger convenientemente la vida útil de las tuberías, en la última fórmula, la velocidad puede ser propuesta de acuerdo a alguna de las expresiones que en el los párrafos siguientes se mencionan.

Tensión Longitudinal de la Presión Interna.

Cuando una tubería esta totalmente presurizada, se desarrollan tensiones longitudinales en la pared del tubo, esta tensión longitudinal se puede calcular con la siguiente expresión.

$$S_L = \frac{\mu P (OD - t)}{2 t}$$

Donde:

- μ = Radio de Poisson (= 0.45 para HDPE)
- P = Presión interna de operación, Kg/cm².
- OD = Diámetro exterior, cm.
- t = espesor de la pared del tubo, cm.
- S_L = Esfuerzo de presión longitudinal, Kg/cm².

La mayoría de los sistemas de tubería presurizada operan bajo un doble estado de tensión perimetral y tensión longitudinal. El factor de tensión longitudinal ya está incluido en la clasificación de presión de la tubería.

Estimación del flujo Inicial

Una vez evaluados los parámetros de presión de trabajo y la posibilidad de la existencia de sobre presiones en el interior de la tubería, con los cuales podremos definir en primera instancia el RD de la tubería, y consecuentemente podemos conocer el diámetro interior de la tubería, podemos para una velocidad nominal propuesta, el gasto puede ser calculado utilizando alguna de las siguientes expresiones:

$$Q = 0.785 V DI^2 \quad V = 1.273 Q / DI^2 \quad DI = 1.128 (Q / V)^{1/2}$$

Donde:

- Q = gasto en metros cúbicos en cada segundo, m³/seg.
- V = Velocidad en metros en cada segundo, m/seg.
- DI = diámetro interior de la tubería en metros.

Los anteriores valores dimensionales, podrán variar de acuerdo con las necesidades del ingeniero diseñador.

Utilizando las anteriores se puede calcular un diámetro interior aproximado, el rango del gasto, ó la velocidad del flujo cuando las otras dos variables son conocidas ó propuestas.

Flujo presurizado

Existen varias ecuaciones que muestran la relación entre el flujo del fluido y la caída de la presión en una tubería determinada, las ecuaciones generalmente tienen un factor de fricción basado en el material de la tubería.

La ecuación de Darcy - Weisbach es comúnmente utilizada, esta ecuación requiere del diagrama de factor de fricción de Moody ó de una ecuación para calcular el factor de fricción de la tubería basado en su rugosidad relativa, normalmente el factor de rugosidad del polietileno es de 2.13×10^{-5} m hasta 2.56×10^{-4} m

La ecuación de Darcy - Weisbach y la expresión Colebrook - White para el factor de fricción se muestran a continuación, el diagrama de Moody se encuentra en un gran número de libros de referencia.

Darcy - Weisbach :
$$H_f = f \frac{L}{d} \frac{V}{2g}$$

Colebrook - White :
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{\epsilon / d}{3.7} \right]$$

Donde:

- hf = Pérdida de fricción.
- d = Diámetro interior.
- V = Velocidad.
- g = Aceleración de la gravedad.
- f = factor de fricción.
- ϵ = *Factor de rugosidad.*
- Re = Número de Reynolds.
- L = Longitud.

Las anteriores expresiones se deben analizar dimensionalmente antes de su aplicación, con el fin de evitar errores.

Una solución más simple es la aplicación de la fórmula de Hazen - Williams que a partir de una ecuación inicial podemos llegar a una aplicación para usar por longitud previamente considerada ó como lo proponen diferentes fabricantes obtener las pérdidas por fricción por cada 100 m ó por cada 100 pies, como sigue:

$$V = 0.355 C_H D^{0.63} S_f^{0.54}$$

Si $V = Q / A$ y $A = \pi D^2/4$, entonces:

$$V = 4Q/\pi D^2 \text{ y además } S_f = h_f/L$$

Obtenemos: $h_f = 10.62 L Q^{1.85} / (D^{4.86} C_H^{1.85})$

Ó bien por cada 100 m, la expresión es:

$$h_{f100} = 1062 Q^{1.85} / (D^{4.86} C_H^{1.85})$$

Donde:

h_{f100} = Pérdida por fricción, m por cada 100 m de tubería

h_f = Pérdida por fricción, m.

V = Velocidad del flujo m/seg.

C_H = Coeficiente de la tubería, factor de fricción, 150 para el polietileno.

S_f = Pendiente de la línea de perdidas por fricción.

A = Área interior de la tubería. M^2 .

Q = Flujo ó gasto dentro de la tubería, m^3/seg .

D = Diámetro interior de la tubería, m.

Aplicando algún método numérico como Cross y con la expresión anterior se pueden solucionar los diferentes sistemas ó arreglos de tuberías, sin embargo el criterio definitivo para la selección de tubería, sus diámetros y sus resistencias a la presión hidrostática es primordialmente decisión del diseñador y esta basada en la experiencia particular.

Conviene recordar los siguientes principios.

- La tubería con mayor diámetro tendrá una velocidad más baja y una menor caída de presión a un gasto ó rango de flujo dado.
- Una tubería de menor diámetro tendrá una velocidad mayor y una caída de presión mayor a un gasto dado.
- Las pérdidas por fricción son menores en tuberías de mayor diámetro que en las de menor diámetro para flujos con la misma velocidad.

Caídas de Presión por accesorios.

Las ecuaciones aplicadas a el flujo en las tuberías, consideran el flujo como uniforme y unidireccional, sin embargo en realidad, son normales los cambios de dirección en cualquier tubería, así como la instalación de dispositivos y accesorios tales como conexiones y válvulas entre otros, estos cambios de dirección y conexiones incrementan las perdidas de presión en el sistema, para calcular estas pérdidas estos dispositivos son comúnmente convertidos a longitudes equivalentes de tubería, y estos valores son agregados al total de longitud de la línea para conocer las pérdidas totales, ó bien a los tramos en los cuales se ubiquen estos dispositivos; cuando sea necesario el análisis puntual de algún dispositivo se podrá efectuar este por los métodos tradicionales. Estas

longitudes equivalentes pueden ser consideradas como una aproximación aceptable para la mayoría de las instalaciones, siendo algunas las que siguen:

Conexión fabricada	Longitud equivalente
Tee recta	20 D
Tee ramal (con silleta)	50 D
Codo de 90°, fabricado	30 D
Codo de 60°, fabricado	25 D
Codo de 45°, fabricado	18 D
Yee de 45°, fabricada	60 D
Válvula convencional de globo (abertura total)	350 D
Válvula convencional en ángulo (abertura total)	180 D
Válvula para compuerta de entrada (abertura total)	15 D
Válvula mariposa (abertura total)	40 D
Válvula convencional check	100 D

Las conexiones fabricadas son aquellas que se fabrican a partir de tramos de tubo unidas por medio de termofusión, en las cuales por medio de cortes y uniones en diferentes al corte recto (90°) se van formando los codos y conexiones; debido a que estas piezas pueden ser objeto de esfuerzos diferentes al resto de la tubería, algunos fabricantes consideran que normalmente solo resistirán un 75% de los esfuerzos de trabajo de la tubería con la que se fabrican estas conexiones, por lo cual es conveniente fabricarlas con tubería de un RD más resistente (RD menor) que considere esta disminución de resistencia.

Pérdida de presión para fluidos viscosos.

Los fluidos con base de agua con viscosidad diferente al la del agua pura, presentan un comportamiento del flujo diferente a la misma, pero, se puede obtener un estimado de las pérdidas aceptable, multiplicando la pérdida de presión por fricción obtenida por la expresión Hazen – Williams por la gravedad específica del fluido.

5.2. Tuberías para flujo por gravedad.

Los sistemas de flujo por gravedad transportan fluidos sin bombeo, son sistemas típicos sin presión, en algunos casos se pueden presentar presiones debidas a columnas de agua formadas dentro de la misma tubería, pueden operar a tubo lleno ó bien operar a tubo parcialmente lleno

Flujo con tubo lleno.

Cuando se selecciona una tubería de polietileno para la conducción de un fluido por gravedad a tubo lleno, es conveniente que se conozcan los siguientes parámetros:

- El rango de gasto que fluirá por la tubería.
- La pendiente de la tubería.
- Un diámetro interno adecuado.

Basados en una situación de flujo a tubo lleno, el rango del gasto puede ser calculado con la fórmula de Manning como sigue:

$$V = 1/n R_h^{2/3} S_f^{1/2}$$

Si $Q = VA$, entonces $V = Q/A$

$$Q = 1/n A R_h^{2/3} S_f^{1/2}$$

Y si $R_h = DI/4$ para tubo lleno, y $n = 0.009$, entonces:

$$Q = 11.023 DI^{8/3} S_f^{1/2}$$

Y entonces:

$$DI = (Q / 11.023 S_f^{1/2})^{1/2.67}$$

Ó bien:

$$S_f = 0.0082 Q^2 / DI^{5.34}$$

Donde:

- R_h = Radio hidráulico $ID/4$ para tubo lleno.
- V = Velocidad del flujo m/seg.
- n = Coeficiente de la tubería, 0.009 para el polietileno.
- S_f = Pendiente de la línea de perdidas por fricción.
- A = Área interior de la tubería. m^2 .
- Q = Flujo ó gasto dentro de la tubería, $m^3/seg.$
- DI = Diámetro interior de la tubería, m.

Una línea de conducción por gravedad, permite un flujo más eficiente y un gasto mayor cuando trabaja entre el rango del 85% al 95% de su capacidad que cuando lo hace al 100%.

Comúnmente, la tubería que funcionará por gravedad a flujo parcial, se evalúa como una tubería a flujo lleno de un diámetro equivalente diferente, pero más pequeño. El diámetro equivalente cumple con todas las características hidráulicas de una tubería a gravedad de flujo parcial más grande. La velocidad, el rango de gasto y la pendiente son idénticas en cada caso. El diámetro equivalente es cuatro veces el radio hidráulico ($D_E = 4 R_h$). El radio hidráulico para tuberías de flujo a gravedad parcialmente lleno se define como el radio del área de flujo de la sección transversal dividido entre el perímetro húmedo.

En los sistemas que funcionan por gravedad, la tubería no soporta presiones internas, sin embargo, la tubería debe ser capaz de soportar cualquier carga transmitida por el nivel freático a largo plazo. Si existen áreas donde se prevén efectos de sifón (vacío), el vacío interno debe añadirse a la columna hidrostática externa como una presión externa

aparente . Cuando la línea principal opera bajo presión, frecuentemente la presión interna excede cualquier columna hidrostática.

5.3. Tuberías para vacío ó succión.

Las tuberías de polietileno pueden estar sujetas a presión negativa ó vacío interno, y pueden prestar servicio dentro de las categorías de líneas de vacío sobre el suelo, líneas de vacío submarinas (sumergidas) y líneas subterráneas (enterradas), para las primeras los usos más comunes son: líneas de succión removedoras de humedad (secadoras) en fábricas de papel, líneas de succión para barcos de dragado y la parte colina debajo de una línea de sifón de una línea de diámetro grande que funciona a gravedad.

Cuando existen condiciones de vacío en una línea, la pared de la tubería debe ser seleccionada para resistir las fuerzas de colapso, el RD de la tubería gobierna la cantidad de vacío que una línea puede soportar con bases de largo ó corto plazo. La selección de una tubería de pared más gruesa permitirá que el sistema opere bajo condiciones de vacío más altas.

Normalmente los grandes fabricantes de tubería con el objeto de abrir más mercado para sus productos, dedican parte de sus esfuerzos de investigación en la prueba de resistencia de los mismos para variados tipos de solicitudes. A continuación se exponen los datos obtenidos por Driscopipe en la medición de la capacidad para soportar la presión diferencial sobre la tubería de diferentes RD, con presión interna de vacío

Vida de servicio	Unid.	RD							
		7	9.3	11	17	19	21	26	32.5
1 Día	Kg/cm ²	13.29	10.26	6.12	1.97	1.48	1.12	0.56	0.28
1 Mes	Kg/cm ²	7.59	5.84	4.50	1.05	0.84	0.77	0.28	0.14
1 Año	Kg/cm ²	7.03	5.48	3.37	0.98	0.63	0.56	0.28	0.14
50 Años	Kg/cm ²	6.19	4.85	2.95	0.91	0.70	0.49	0.28	0.14

En la anterior tabla se extrapolan los datos de pruebas de colapso crítico obtenidos de tuberías fabricadas actualmente, y se hace hincapié en que los valores mostrados representan los valores de presiones diferenciales máximos que pueden ser aplicados a la tubería de polietileno sin que esta se doble ó colapse, es conveniente recordar que el vacío total esta representado por una presión de aproximadamente 1.0335 Kg/cm² (negativo), además es conveniente tener presente que la temperatura afecta a largo y corto plazo la resistencia de la tubería, por lo cual Driscopipe propone los siguientes valores de reclasificación que afectan la resistencia de la tubería según la temperatura de la misma.

10°C	23°C	38°C	49°C	60°C
1.14	1.00	0.79	0.62	0.50

El que se entierre ó cubra directamente la tubería proporcionará a está una resistencia adicional a la misma y puede incrementar su resistencia estructural a la presión diferencial hasta cuatro veces, aún cuando es difícil de cuantificar el grado de incremento de la resistencia, y se deben de tomar precauciones si el diseño de resistencia se basa en esta premisa. Si se exceden los anteriores rangos de vacío se presenta la falla o colapso de la tubería, que no siempre es el cierre inmediato, pero se puede presentar una deflexión oval progresiva; se puede considerar que ocurre una falla en la línea de vacío cuando el diámetro máximo de una tubería deformada es del 120% del diámetro original de la tubería, en este límite de deflexión, el área de la sección transversal de la tubería se ve reducida al 98% y el flujo se ve ligeramente disminuido, la deformación que vaya más allá de este límite puede ocurrir muy rápido, dando como resultado el colapso y cerramiento de la línea.

5.4. Tuberías insertadas en líneas existentes.

La inserción de tubería de polietileno se presenta como una alternativa para reparar sistemas de tuberías deteriorados, aún cuando el tubo insertado deslizado dentro de la línea existente, es de un diámetro menor, las propiedades de flujo de la tubería de polietileno pueden restaurar la capacidad del sistema, libre de infiltraciones gracias a la unión por termofusión, que garantiza la hermeticidad del sistema, y que gracias a la eliminación de estas infiltraciones en el caso de drenajes, se logra disminuir la cantidad de aguas negras que deben ser transportadas y tratadas.

Cuando se utiliza la tubería de polietileno como forro interior de otra tubería en un sistema no presurizado, el diseñador debe tomar en consideración todos los parámetros de fuerzas hidrostáticas que se puedan presentar al exterior de esta tubería a largo y corto plazo, sin considerar el apoyo del la tubería en el subsuelo, ya que es común que el manto freático se infiltre entre el espacio existente entre la tubería dañada y la nueva tubería ó el arrastre de materiales del subsuelo hacia este espacio y que puede provocar esfuerzos que deben ser tomados en cuenta.

Generalmente el uso de forros interiores con tubería de polietileno se orienta hacia la rehabilitación de drenajes en los cuales normalmente el flujo es provocado por gravedad y construidos con tuberías de concreto, y que gracias a las características de flujo que se dan en la tubería de polietileno es fácilmente sustituible con un diámetro menor. Una regla empírica para determinar el diámetro del forro a introducir, es que se debe de permitir un claro de aproximadamente el 10% entre la tubería existente y la pared exterior del forro.

Es conveniente hacer hincapié en que el espacio que existirá entre la tubería vieja y el forro interior de polietileno, deberá de ser convenientemente sellada, ya sea con una lechada que elimine los espacios, ó con cualquier otro método que impida la saturación de este espacio y se deberá de tomar en cuenta que para el diseño del forro interior podrán existir fuerzas ocasionadas por esta saturación que podrían colapsar la tubería de polietileno, sine embargo, aún tomado en cuenta esta situación, siempre será más conveniente anclar la tubería a los registros existentes por medio de gomas,

5.5. Consideraciones Térmicas.

La tubería de polietileno al estar fabricada a partir de una resina plástica, es altamente influenciada por los cambios de temperatura que modifican grandemente sus características físicas, por lo cual los diferentes fabricantes proponen varios métodos alternativos, para considerar estos cambios de propiedades.

Factor de Diseño de Servicio Según Temperatura

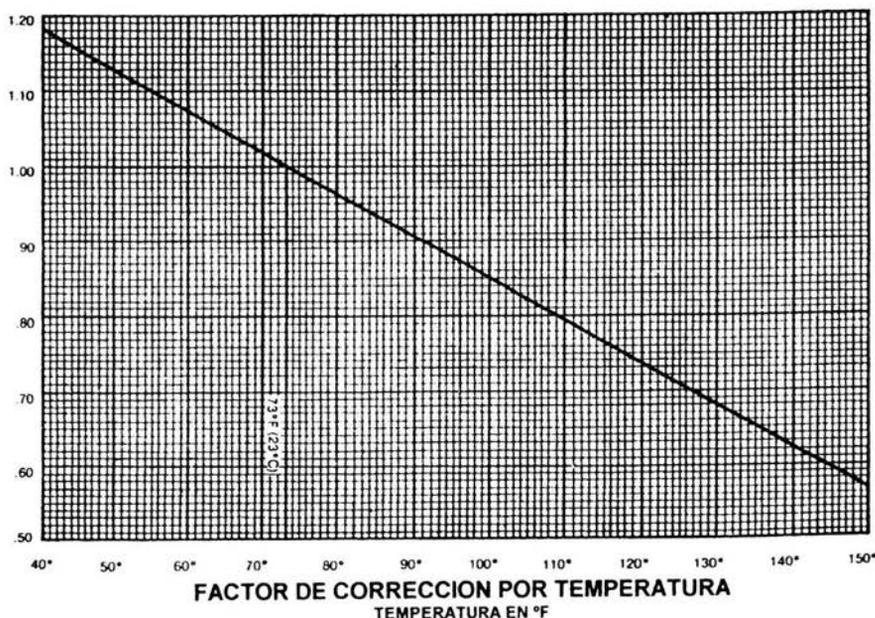
Considerando que la temperatura de trabajo de las tuberías en el campo no es la de laboratorio, de 23 °C (73.4 °F), sino que puede tener variantes hacia abajo o hacia arriba de este valor, la modificación de las fórmulas anteriores, por efecto de la temperatura, se presentan:

$$P = (2S / RD - 1) \times F \quad \text{ó} \quad P = (2Se / D - e) \times F$$

Donde:

- F = Factor de diseño de servicio según temperatura.
- RD = Relación de dimensiones. D/e.
- P = Presión de Trabajo, psi o kg/cm²
- S = Esfuerzo hidrostático de diseño, psi o kg/cm²
- D = Diámetro exterior del tubo, pulgadas ó centímetros.
- e = Espesor mínimo de pared, pulgadas ó centímetros.
- RD = D/e

Para la obtención del Factor F nos podemos apoyar en la siguiente gráfica:



Se indica en la gráfica que a los 73.4 °F (23 °C) cuando la tubería tiene el factor de 1.0 que equivale al 100 % de su capacidad.

Ó bien algunos fabricantes proporcionan datos específicos que pueden ser interpolados para diferentes temperaturas y distintos tipos de RD de tubería como la tabla que a continuación se describe proporcionada por Driscopipe

Temperatura °C	Diseño Hidrostático Base, Kg/cm ²	RD de la Tubería									
		32.5	26	21	19	17	15.5	13.5	11	9	7
10.0	127.96	4.08	5.13	6.40	7.10	8.02	8.86	10.26	12.80	16.03	21.30
15.6	121.63	3.87	4.85	6.12	6.75	7.59	8.37	9.70	12.16	15.19	20.25
23.0	112.49	3.59	4.50	5.62	6.26	7.03	7.73	9.00	11.25	14.06	18.77
26.7	106.87	3.37	4.29	5.34	5.91	6.68	7.38	8.58	10.69	13.36	17.79
32.2	97.73	3.09	3.94	4.92	5.41	6.12	6.75	7.80	9.77	12.23	16.31
37.8	88.59	2.81	3.52	4.43	4.92	5.55	6.12	7.10	8.86	11.11	14.76
43.3	79.45	2.53	3.16	4.01	4.43	4.99	5.48	6.33	7.94	9.91	13.22
48.9	70.31	2.25	2.81	3.52	3.94	4.43	4.85	5.62	7.03	8.79	11.74
54.4	63.28	2.04	2.53	3.16	3.52	3.94	4.36	5.06	6.33	7.94	10.55
60.0	56.25	1.76	2.25	2.81	3.09	3.52	3.87	4.50	5.62	7.03	9.35

Como se observa en ambos casos, las propiedades de resistencia del la resina de polietileno disminuyen rápidamente al incrementarse la temperatura de trabajo de la tubería, lo cual debe de ser tomado en cuenta por el proyectista, así también se observa que algunas resinas incrementan su resistencia al disminuir la temperatura con un límite de hasta casi los 100°C bajo cero, por lo cual este tipo de tubería no es afectada por la congelación de líquidos dentro de ella, claro, teniendo atención en una completa descongelación antes de ser usadas nuevamente las tuberías.

También algunos fabricantes proporcionan módulos instantáneos de elasticidad (Kg/cm²) contra la temperatura como en la siguiente tabla, estos datos pueden ser usados para calcular resistencia instantáneas del material.

Temperatura °C	Módulo de elasticidad instantáneo (Kg/cm ²)
60.0	3515.40
37.8	7030.81
23.0	9140.05
10.0	11600.84
00.0	14061.62
-17.8	18280.11
-28.9	21092.44

Apreciando el notable incremento de la resistencia del material al disminuir la temperatura del mismo.

Conductividad Térmica

La conductividad térmica del polietileno es baja comparada con la de los metales, normalmente es los fabricantes la proporcionan en unidades inglesas siendo esta de 2.7 BTU pulg/pies²hr°F.

Expansión y contracción térmica.

Todos los materiales se expanden y se contraen como resultado de los cambios de temperatura. El polietileno tiene un cociente de expansión más alto que la mayoría de los materiales usados en la fabricación de tubería, aún así posee características particulares que le permiten que la fuerzas generadas por las tensiones térmicas son mucho más bajas debido al bajo modulo de elasticidad del polietileno y su capacidad de relajar tensiones. Las características de expansión y contracción del polietileno deben ser consideradas en el diseño e instalación de los sistemas.

El coeficiente de expansión térmica lineal variará de acuerdo a la resina utilizada en la fabricación de la tubería, y va de 10 a 12 X 10⁻⁵ pulg/pulg/°F; ya en forma de tubería, el polietileno también presentará una coeficiente de expansión de la circunferencia el cual será aproximadamente de la mitad del coeficiente de expansión lineal.

La expansión y contracción lineal para una tubería de polietileno sin restricción puede ser calculado con la siguiente ecuación.

$$\Delta L = a (T_2 - T_1)L$$

Donde:

ΔL	=	Cambio teórico de longitud en pulgadas.
a	=	coeficiente de expansión lineal (de 1.0 a 1.2 X10 ⁻⁴ Pulg/pulg/°F)
T_2	=	Temperatura final °F.
T_1	=	Temperatura inicial °F.
L	=	Longitud de la tubería, pulgadas a T ₁ .

En el Capitulo 3 de este trabajo dentro del proceso constructivo se presenta un procedimiento para calcular los atraques necesarios para fijar la tubería tomando en cuenta los posibles cambios de longitud debida a los cambios de temperatura.

Disipación de la tensión Térmica

El polietileno es un material viscoelástico que neutraliza los esfuerzos internos producidos por los cambios de temperatura realineando lentamente su estructura molecular por lo cual absorbe gran parte de los esfuerzos producidos por las expansiones y contracciones debidas a los mismos cambios de temperatura esto hasta lograr el equilibrio, siendo esta propiedad de gran utilidad en las diferentes aplicaciones de la ingeniería.

Consideraciones Térmicas para tubería enterrada.

Cuando una tubería es enterrada, la fricción existente entre el relleno y la tubería restringe el movimiento longitudinal de la misma ocasionado por los cambios de temperatura consecuencia de los variantes estacionales, los requerimientos de anclaje se minimizan debido a la relajación de tensión que ocurre en la tubería, un método común para proporcionar una mayor integración al suelo trasmitiéndole a este la energía térmica, es la de construir atraques de concreto en los cuales se cimientan silleas de ramaleo fundidas a la tubería o anillos del mismo material. Cuando se instala tubería de 4" ó menores, esta se serpentea dentro de la cepa naturalmente, y esto basta para compensar la contracción térmica.

Siempre que sea posible se instalará la tubería lo más cerca posible de la temperatura de operación normal a que trabajará, teniendo cuidado con los extremos finales de la misma (transiciones o conexiones a otro tipo de elementos), ya que será conveniente que si se esta instalando la tubería en invierno se deberá utilizar la longitud exacta de tubería, mientras que si se instala la tubería más caliente que el suelo, se deberá proporcionar una longitud ligeramente mayor para compensar la contracción térmica.

Es conveniente no tensionar excesivamente un adaptador tipo brida al conectar este con otro elemento, ya que se puede presentar una falla.

Cuando los rellenos no proporcionan una suficiente fuerza de fricción para restringir el movimiento, como lo pueden ser en un pantano o en el fondo de los ríos, la tensión en la tubería se trasmite a los extremos, pudiendo dañarse las conexiones más débiles, por lo cual es recomendable instalar atraques inmediatamente después de la terminación de la tubería para proteger la conexión.

En la mayoría de las aplicaciones marinas, la temperatura del agua es relativamente constante, los cambios de la temperatura en el agua se dan gradualmente en el transcurso de meses, por lo cual normalmente la tensión térmica es disipada y también absorbida por las deflexiones verticales de la tubería.

5.6. Diseño de Tuberías de Polietileno Enterradas.

Las tuberías enterradas están sujetas a cargas externas, el sistema de cargas exteriores es más complejo que la presión interior solamente, para diseñar una tubería se hace la distinción entre tuberías rígidas y tuberías flexibles, las tuberías como las de concreto se consideran rígidas, por lo cual deben ser diseñadas para soportar todas las cargas externas así como la interna; la tubería de polietileno al ser flexible, solo se considera como un componente de diseño la "tubería-suelo", que es entre otros un método de diseño de las tuberías.

En la tubería de polietileno enterrada, el RD de la tubería y la resistencia del terreno envolvente deben ser especificados para evitar las tres principales fallas de diseño que son:

- Fractura de costilla (wall crushing), que aparece cuando la presión vertical externa causa un esfuerzo de compresión en la pared de la tubería y excede la resistencia a compresión a largo plazo del material de la tubería.
- Colapso de pared (wall buckling), que es una arruga longitudinal de la pared de la tubería, y que puede ocurrir en un largo plazo sobre una tubería no presurizada, si la presión externa del terreno excede la presión de colapso crítica del sistema tubería-suelo.
- Deflexión anular (ring deflection), es cuando la sección transversal de la tubería bajo el efecto de las cargas se deforma pasando de circular a oval.

El diseño está basado en dos parámetros clave:

- Que el espesor de la pared soporte la presión externa del suelo.
- Por medio de un análisis determinar cómo la tubería de polietileno y el relleno que la rodea, aceptan la carga del mismo relleno y la transfieren al terreno base de la ceca que no fue alterado.

Cuando se entierra una tubería de polietileno, el material que rodea la tubería (tierra por lo general) se comprime y deflexiona ligeramente bajo las cargas estáticas y dinámicas, estas cargas incluyen el peso del relleno sobre la tubería, el peso del manto freático que satura el suelo, el tráfico vehicular, las estructuras cercanas o cualquier combinación de estas. En un sistema flexible de tubería-suelo, se asume que la deflexión de la tubería sea la misma que la del suelo.

Después de que se pone la tubería en la ceca, el relleno se coloca en capas a una elevación sobre el lomo superior de la tubería, este relleno se compacta a una densidad Proctor específica. Cuando se colocan capas adicionales, el peso del suelo sobre el relleno primario compactado se incrementa. Esto comprime ligeramente el material alrededor de la tubería, como este material no es elástico la compresión por este esfuerzo es permanente. En su estado más denso, el relleno desarrolla una mayor resistencia a la presión vertical hasta que alcanza un equilibrio estático sin ningún esfuerzo o compresión adicional futuros.

La deflexión anular de la tubería puede ser calculada utilizando las propiedades de la tubería y la capacidad de compresión del terreno. Como la tubería sufre una deflexión con el terreno forma una elipse muy ligera al decrecer en su diámetro vertical una cantidad ΔY , y al incrementar en el diámetro horizontal una cantidad casi igual (pero un poco menor) ΔX . El incremento del diámetro horizontal compacta el relleno a los lados de la tubería desarrollando presión vertical del terreno y fuerza al suelo a soportar la mayor parte de la carga vertical al ejercer una acción de arco o bóveda sobre la tubería.

No existen reglas firmes referentes a una profundidad mínima de enterrado, las variables pueden cambiar para cada instalación y el diseñador debe revisar cada diseño para prevenir la fractura de costilla, el colapso de la pared o la excesiva deflexión anular, pero como un inicio pueden seguirse las siguientes directrices:

- Considerar una profundidad por debajo de la línea de congelación local (para climas fríos).
- Cuando no existe tráfico superficial, el diseñador puede considerar un relleno de 45 cm o un diámetro, lo que sea mayor.

- En los sitios donde existe tráfico de camiones, el diseñador puede considerar una profundidad de 90 cm o un diámetro, lo que sea mayor.
- Donde exista un tráfico de camiones pesados tipo fuera de camino o tráfico de locomotoras, el diseñador puede considerar una cobertura mínima de 1.50 m o más.

Lo anterior se contrapone en parte a las recomendaciones generales de los fabricantes como se ve en el capítulo 4 de este trabajo, ya que por ejemplo para diámetros de 4" se recomienda un relleno mínimo de 30 y 60 cm para zona suburbana y urbana respectivamente por lo cual como se indico es conveniente la revisión particular de cada caso.

Cálculo por componentes de la presión total del terreno

El diseño adecuado del sistema de "suelo tubería" de polietileno debe balancear la respuesta del terreno circundante a la tubería y la tubería misma, contra la presión externa total del terreno, por lo cual como primer paso debemos conocer la presión total del terreno en la parte alta de la tubería (lomo), existen varios tipos de acciones que inciden en determinar la presión total del terreno sobre la tubería:

$$P_T = P_S + P_L + P_I$$

Donde:

- P_T = Presión total del terreno sobre la tubería.
 P_S = Presión total de "carga estática" o presión de la carga muerta.
 P_L = Presión total de carga viva.
 P_I = Presión externa efectiva total debido a la presión de operación Interna (vacío).

Presión total de carga estática P_S .

La presión total estática proviene principalmente de tres fuentes:

$$P_S = P_{DE} + P_{WE} + P_B$$

Donde:

- P_S = Presión total de carga estática.
 P_{DE} = Presión estática de la tierra seca o ligeramente húmeda.
 P_{WE} = Presión de la carga estática del terreno mojado y saturado bajo el manto freático.
 P_B = Presión de carga estática debido a las estructuras estacionarias en la superficie como edificios o cimentaciones.

Presión del terreno seco, P_{DE} .

El peso del terreno seco varía de acuerdo a su composición granular y al tipo de sus componentes desde 1.6 hasta más de 1.95 toneladas por cada metro de profundidad, por lo cual cada 10 cm de relleno corresponderá de 160 a 195 kg por cada metro cuadrado de

corona. La presión del terreno seco es el producto de la densidad de la tierra seca y la profundidad del terreno, desde la superficie de suelo hasta la parte más alta del manto freático sobre la tubería.

Presión del terreno saturado de agua, P_{DE} .

El componente del terreno saturado de agua de la presión de carga estática es el producto de la densidad de la tierra mojada, que es aproximadamente de 1900 a 2300 kg por cada metro cuadrado y a la altura de la misma sobre la tubería.

Presión estática del terreno por estructuras, P_B .

En algunas aplicaciones la tubería debe ser instalada debajo, cerca de un edificio o de cualquier otra estructura, en estos casos el análisis de transmisión de esfuerzos mediante el suelo, desde el lugar donde se asienta la estructura hasta la tubería, está ampliamente estudiada por las materias de mecánica de suelos, y es de considerar que la teoría de Boussinesq, es de las más aceptadas para el análisis de esfuerzos. De acuerdo a esta teoría, la distribución de esfuerzos transmitida por una carga concentrada hacia el subsuelo, corresponde a la forma de un bulbo ó campana invertida, en la cual el esfuerzo transmitido será mayor cuanto más cerca este el punto a analizar del lugar de aplicación del esfuerzo, disminuyendo siguiendo una curva de esfuerzos definida por la fórmula:

$$P_B = \frac{3WZ^3}{2\pi R^5}$$

Donde:

- P_B = Presión estática del terreno por estructuras, lbs/pies².
- W = Carga superficial superpuesta al terreno, lbs.
- Z = Distancia vertical desde el punto de carga al lomo de tubo, pies.
- R = Distancia en línea recta desde el punto de carga hasta el lomo de la tubería, pies.

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

Las graficas de distribuciones de esfuerzos producidas por cargas superficiales bajo los resultados de las anteriores ecuaciones, es fácil de consultar en textos adecuados de mecánica de suelos como por ejemplo en *Mecánica del Suelo en la Ingeniería Práctica* por Terzaghi y Peck.

Presión total de carga viva, P_L .

El movimiento de vehículos sobre o cerca de las líneas enterradas ocasiona que la tierra se mueva ligeramente, debido a su peso. Las cargas vivas también son evaluadas por la teoría de Boussinesq. El peso de una rueda ó de un eje debe de ser incrementado un 50% para proveer un diseño de tubería con una fuerza y resistencia extras contra el impacto de estas fuerzas dinámicas, por lo cual la carga en el lomo de tubo causada por una carga dinámica superpuesta en un punto dado, se evalúa con:

$$P_L = \frac{3WZ^3}{2\pi R^5}$$

Donde:

- P_L = Presión dinámica sobre el terreno por tráfico, lbs/pies².
- W = 1.5 veces carga por tráfico superpuesta al terreno, lbs.
- Z = Distancia vertical desde el punto de carga al lomo de tubo, pies.
- R = Distancia en línea recta desde el punto de carga hasta el lomo de la tubería, pies.

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

Donde X y Y son las distancias horizontales a 90° de cada una desde el punto de carga hasta el lomo de la tubería en pies.

Existe una profundidad óptima debajo de la cual la presión sobre la tubería aumenta como resultado de la presión del terreno, es decir, es posible encontrar una profundidad en la cual la combinación de esfuerzos debida a cargas vivas y cargas estáticas es la mínima.

Si la presión de carga viva excede la capacidad del RD de una tubería específica para una situación de tráfico especial, se debe de considerar algún método de protección para proteger la línea.

Presión externa aparente debida al vacío interno, P_i .

El vacío genera una tensión de compresión en la periferia de la pared de la tubería y actúa para colapsar la línea. Bajo condiciones de vacío el valor de P_i es positivo, P_i se suma a los otros dos componentes de presión externa P_s y P_L , para obtener la presión externa total, P_T , que esta actuando sobre la tubería. Un vacío interno genera una presión igual al valor absoluto del vacío. La máxima presión externa aparente debido al vacío dentro de la tubería es de 1.0335 Kg/cm² (14.7 lbs/pulg²).

DISEÑO POR FRACTURA EN LA COSTILLA (WALL CRUSHING).

Como se menciona anteriormente, la fractura en las costillas aparece cuando la presión vertical externa causa el esfuerzo de compresión en la pared de la tubería y excede la resistencia de compresión a largo plazo del material de la tubería. Para diseñar un sistema y evitar la fractura en las costillas, se debe hacer la siguiente revisión:

$$S_A = \frac{RD - 1}{2} P_T$$

Donde:

- S_A = Esfuerzo de compresión actual.
 RD = Relación de diámetros estándar.
 P_T = Presión externa total en el lomo de la tubería.

El Factor de Seguridad será igual a el esfuerzo de compresión de la tubería dividido por S_A , este esfuerzo de compresión será determinado por el fabricante de la tubería, ya que depende de la resina con que se fabrique la misma.

DISEÑO POR COLAPSO DE LA PARED (WALL BUCKLING).

El colapso local de una pared, es una arruga longitudinal de la pared de la tubería. El colapso puede ocurrir en un plazo largo sobre una tubería no presurizado si la presión externa total del terreno, P_T , excede la presión de colapso crítica del sistema tubería-suelo, P_{cb} . Sin embargo, el colapso de pared, es raramente el factor limitante en el diseño de un sistema de polietileno, se puede hacer una revisión de las líneas no presurizadas de acuerdo a los siguientes pasos para asegurar que $P_T < P_{cb}$ todos los diámetros de tubería con el mismo RD , en las mismas condiciones de enterrado tienen la misma resistencia al colapso ó pandeo críticos

- 1.-Calcular o estimar la presión total del terreno, P_T , en la parte superior de la tubería.
- 2.-Calcular el esfuerzo, S_A , en la pared de la tubería:

$$S_A = \frac{RD - 1}{2} P_T$$

- 3.- Con base en el esfuerzo S_A y en el tiempo estimado de no presurización, encontrar el valor del módulo de elasticidad de la tubería, E , que es de aproximadamente 35000 lib/pulg², o de 2460 Kg/cm².

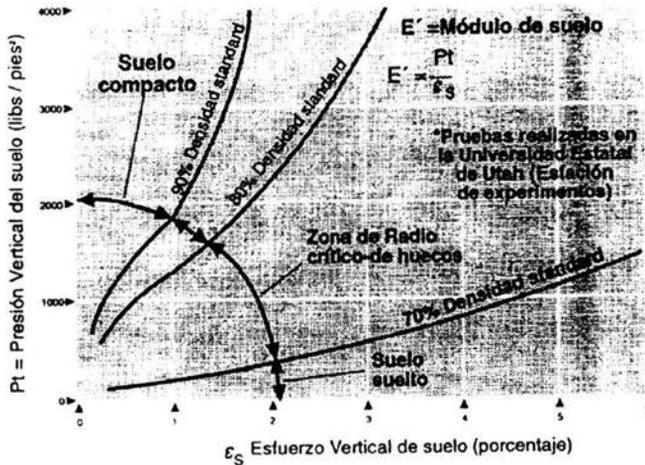
- 4.- Calcular la presión hidrostática diferencial crítica de colapso de la tubería P_c .

$$P_c = \frac{2E(t/D)^3 (D_{MIN}/D_{MAX})^3}{(1 - \mu^2)} \quad P_c = \frac{2.32(E)}{RD^3}$$

Donde:

- D_{MIN}/D_{MAX} = 0.95
 μ = Radio de Poission = 0.45 para tuberías de polietileno.
 E = Tensión y tiempo dependiente del módulo de tensión de elasticidad = 2460 Kg/cm² aproximadamente (35000 lib/pulg²)
 D = Diámetro externo en cm (o pulg).
 T = espesor, cm (o pulg).

5.-Calcular el módulo de terreno E' , representado de acuerdo a la siguiente gráfica por las curvas representativas de la presión total del terreno contra una densidad específica del mismo.



por ejemplo para una carga de 2000 libras/pie² y una densidad estándar de 80%(Proctor) el módulo del suelo será:

$$E' = 2000 \text{ libras/pie}^2 / (0.018 * 144) = 771 \text{ lib/pulg}^2 .$$

En la gráfica están representadas las curvas para un suelo granular, si se utiliza otro tipo de relleno se deberá utilizar una gráfica desarrollada para ese tipo específico de material.

6.- Calcular la presión crítica de colapso de la pared en la parte superior de la tubería con la fórmula:

$$P_{cb} = 0.8 \sqrt{(E')(P_c)}$$

Donde:

- P_{cb} = Presión crítica de colapso del terreno en la parte superior de la tubería, lib/pulg².
- E' = Módulo del terreno, lib/pulg².
- P_c = Presión diferencial hidrostática crítica de colapso, lib/pulg².

7.- Calcular el factor de seguridad $SF = P_{cb} / P_T$

8.- El procedimiento anteriormente descrito puede ser invertido para calcular el RD mínimo de la tubería requerido para una presión de terreno dada y una densidad de terreno estimada.

Cuando se entierra una línea presurizada, la presión interna es generalmente, lo suficientemente alta como para exceder la presión crítica de colapso ejercida por el terreno. Cuando una línea presurizada va a ser cerrada por algún tiempo, se debe examinar el pandeo de la pared.

DISEÑO POR DEFLEXIÓN ANULAR.

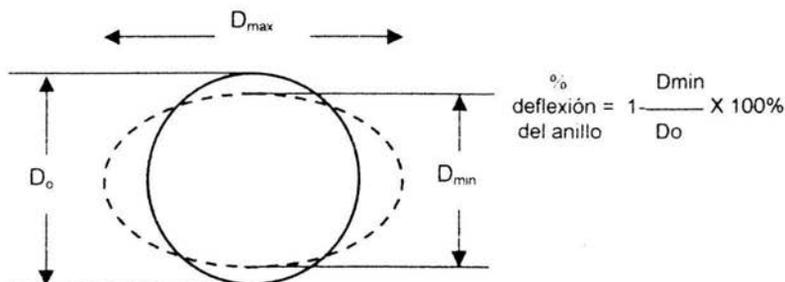
La deflexión anular, por definición, es el radio del cambio vertical en el diámetro contra el diámetro original de la tubería, es normal expresarla como un porcentaje del diámetro original.

Todas las tuberías de polietileno están diseñadas para ser flexibles, tanto en el sentido longitudinal como transversalmente, así que cuando es enterrada, esta se flexionará en igual grado que el terreno circundante a la misma se comprimirá. El diseño por deflexión anular iguala la capacidad de la tubería de acomodarse a la compresión vertical del terreno circundante sin sufrir esfuerzos estructurales. El diseño por deflexión anular calcula el esfuerzo vertical del terreno y lo compara con la deflexión anular permitida de la tubería.

Normalmente, cada fabricante especifica la deflexión permitida para su producto, por ejemplo a continuación se lista la deflexión permitida por Driscopipe.

RD	Deflexión permitida del anillo
32.5	8.1%
26	6.5%
21	5.2%
19	4.7%
17	4.2%
15.5	3.9%
13.5	3.4%
11	2.7%

La deflexión anular permitida por la tubería de polietileno, esta limitada para crear no más de 1 a 1.5% de esfuerzo tangencial en la superficie externa de la pared de la tubería. Cuando la pared de la tubería se hace más gruesa, se incrementa la distancia desde el eje neutro a la superficie exterior. Como resultado se requiere una menor deflexión para general la tensión tangencial permitida. La deflexión del sistema tubería-suelo se controla por medio de las especificaciones adecuadas de la compactación del terreno.



El porcentaje de la deflexión anular basado en la tensión para un RD de tubería dado puede ser calculado de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta Y}{D} = (0.25) (\varepsilon) (RD)$$

Donde:

- ΔY =Deflexión vertical, pulgadas
- D =Diámetro exterior, pulgadas
- ε =Esfuerzo tangencial en la superficie del anillo de la tubería, pulg/pulg
- RD =Relación de diámetros.

Se recomienda limitar la tensión tangencial de la superficie a 0.01, ya que este valor, esta basado en los siguientes criterios:

- La mayor parte de la deflexión de una tubería ocurre a los pocos de que el relleno se termina. El desarrollo de un arco de tierra sobre la tubería la libera de gran parte de la carga vertical del terreno envolvente y por el desarrollo de resistencia del terreno a los lados de la tubería.
- Un valor permitido de esfuerzo de 0.01 permitirá una deflexión adicional razonable debido al movimiento del terreno por temblores, fluctuaciones del manto freático, etc.
- Un valor de esfuerzo de 0.01 permitido en el diseño permite una desviación normal de la temperatura encontrada durante la instalación.

Con lo anterior, se puede especificar una densidad para el material de la cama y el relleno inicial para que la presión total del relleno en la parte superior de la tubería, PT, no cause que el RD de tubería dado exceda su máxima deflexión anular permitida.

6. Proceso de fabricación de la tubería de Polietileno.

6.1. Antecedentes.

El plástico es una sustancia sintética de estructura macromolecular, ya que está constituido por gran cantidad de moléculas de hidrocarburos, alcoholes y demás compuestos orgánicos, es decir el plástico es una sustancia orgánica dada su cantidad de carbono entre sus numerosas moléculas.

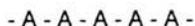
El plástico puede ser constituido, y suele ser constituido, por la acción del calor y la presión, ya sean calor y presión natural como artificial, este último es el caso más común de fabricación de plástico ya que el plástico natural no es muy abundante y el que existe no suele ser el apropiado para la fabricación de la mayoría de los productos plásticos que hoy en día se producen. Por el hecho de necesitar calor o presión para que se produzca, el plástico es una sustancia realizada mediante reacciones endotérmicas. El proceso por el cual los reactivos se convierten en producto, en este caso el plástico consiste en que las moléculas se enlacen entre sí formando cadenas de eslabones. La formación del plástico, mediante polimerización, sería de la siguiente manera:



Siendo H hidrógeno y C carbono los elementos primarios constituyentes de los plásticos. El reactivo de la anterior reacción sería el eteno o etileno, un compuesto del grupo de los hidrocarburos y clasificado como alqueno por tener todos sus enlaces dobles; y el producto de la reacción es el polieteno un plástico alcano ya que sus enlaces son simples o sencillos.

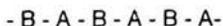
Según como se formen puede haber plásticos de dos tipos distintos:

HOMOPOLÍMEROS: Que son aquellos en los que la estructura base (llamada A y la secundaria llamada B) están constituidas por repetición, es decir, siguiendo un esquema de este tipo:



En los homopolímeros solo aparece la estructura base A ya que también tienen estructura monómera.

COPOLÍMEROS: Que son aquellos plásticos en las que las estructuras (A y B) se encuentran encadenadas, siendo su síntesis en la mayoría de los casos de la siguiente manera:



Dependiendo de como se encuentren encadenadas las moléculas surgen estructuras en tres tipos distintos de dimensiones.

A. ESTRUCTURA LINEAL : Estas estructuras son posibles en dos casos:

A.1 En el caso de un homopolímero, ya que al solo tener la base A se daría una estructura lineal del tipo visto anteriormente, en el que solo aparece el un elemento, en este caso el elemento A.

A.2 En el caso de un copolímero de A y B la estructura lineal puede ser de tres aspectos diferentes pero pertenecientes todos al mismo elemento:

A.2.a ESTRUCTURA LINEAL ALTERNADA: en esta estructura, los motivos A y B se suceden alternativamente:

- B - A - B - A - B - A - B -

A.2.b ESTRUCTURA LINEAL DE SECUENCIA: en este tipo estructural plástico a largas secuencias del motivo o elemento A siguen a otras secuencias iguales del motivo B:

- A - A - A - B - B - B - A - A - A -

Poliétileno, cada uno de los polímeros del etileno. Es uno de los materiales plásticos de mayor producción. Se designa como PE. Según el proceso seguido en su polimerización, se distinguen varios tipos de polietilenos: de baja densidad, de alta densidad y lineales de baja densidad.

El polietileno de baja densidad es un polímero ramificado que se obtiene por polimerización en masa del etileno mediante radicales libres, a alta presión. Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico; presenta además una gran resistencia mecánica y química. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo coste se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías. A partir del polietileno de baja densidad se obtiene el polietileno reticulado (con enlaces entre cadenas vecinas), rígido y más resistente a la tracción y al cambio de temperatura, que se utiliza para proteger y aislar líneas eléctricas de baja y media tensión.

El proceso de polimerización del polietileno de alta densidad se lleva a cabo a baja presión y con catalizadores en suspensión. Se obtiene así un polímero muy cristalino, de cadena lineal muy poco ramificada. Su resistencia química y térmica, así como su opacidad, impermeabilidad y dureza son superiores a las del polietileno de baja densidad, aunque este último es más resistente al agrietamiento y los impactos. Se emplea en la construcción y también para fabricar prótesis, envases, bombonas para gases y contenedores de agua y combustible.

El polietileno lineal de baja densidad se obtiene polimerizando el etileno con un alqueno (especialmente 1-buteno) a baja presión, en disolución, suspensión o fase gaseosa, en presencia de catalizadores. Se trata de un polímero lineal con ramificaciones cortas que hacen que su temperatura de fusión y su resistencia a la tracción y al agrietamiento sean superiores a las del polietileno de baja densidad. Se utiliza en el recubrimiento de cables y en la fabricación de objetos moldeados por extrusión o soplado. De las cuales la Extrusión, es el proceso mediante el cual se obliga a una sustancia, especialmente un

metal o un termoplástico, a pasar por un troquel, creando así distintas formas de sección uniforme utilizadas en la industria, la construcción y la fabricación de distintos tipos de utensilios y aparatos. La extrusión en caliente es más habitual que la extrusión en frío. El aluminio, el cobre, el plomo, el magnesio y el estaño se someten con frecuencia a este proceso. En ocasiones también se tratan de esta forma el acero y el hierro.

Industrialmente al Polietileno se le denomina con las siglas PE. Existen tres tipos de polietileno fundamentalmente:

a) PE de Alta Densidad: Es un polímero obtenido del etileno en cadenas con moléculas bastantes juntas. Es un plástico incoloro, inodoro, no tóxico, fuerte y resistente a golpes y productos químicos. Su temperatura de ablandamiento es de 120° C. Se utiliza para fabricar envases de distintos tipos de fontanería, tuberías flexibles, prendas textiles, contenedores de basura, papeles, etc... Todos ellos son productos de gran resistencia y no atacables por los agentes químicos.

b) PE de Mediana Densidad: Se emplea en la fabricación de tuberías subterráneas de gas natural los cuales son fáciles de identificar por su color amarillo.

c) PE de Baja Densidad: Es un polímero con cadenas de moléculas menos ligadas y más dispersas. Es un plástico incoloro, inodoro, no tóxico, más blando y flexible que el de alta densidad. Se ablanda a partir de los 85 °C. Por tanto se necesita menos energía para destruir sus cadenas, por otro lado es menos resistente. Aunque en sus más valiosas propiedades se encuentra el ser un buen aislante. Lo podemos encontrar bajo las formas de transparentes y opaco. Se utiliza para bolsas y sacos de los empleados en comercios y supermercados, tuberías flexibles, aislantes para conductores eléctricos (enchufes, conmutadores), juguetes, etc... que requieren flexibilidad.

6.2. Proceso de fabricación de las tuberías de Polietileno.

En general la resina del polietileno es producida en las grandes plantas de la industria petroquímica secundaria, la cual por manejabilidad para los distintos usos que tiene el polietileno, la surte en forma granular, incolora y uniforme.

Esta resina al llegar a la planta de producción de tubería, se somete a un proceso de secado en un precalentador, con lo cual se elimina la humedad que el material pudiese haber adquirido durante su transporte y almacenaje, con este paso se consigue que el producto final sea más homogéneo, ya que es posible que alguna cantidad de agua permanezca en el grano de resina y produzca discontinuidades en el producto final, como lo podrían ser burbujas ó discontinuidades en el material cuando esto es excesivo. Este paso no siempre es necesario, ya que muchas veces el manejo adecuado de la materia prima permite que no se incorpore humedad a la resina.

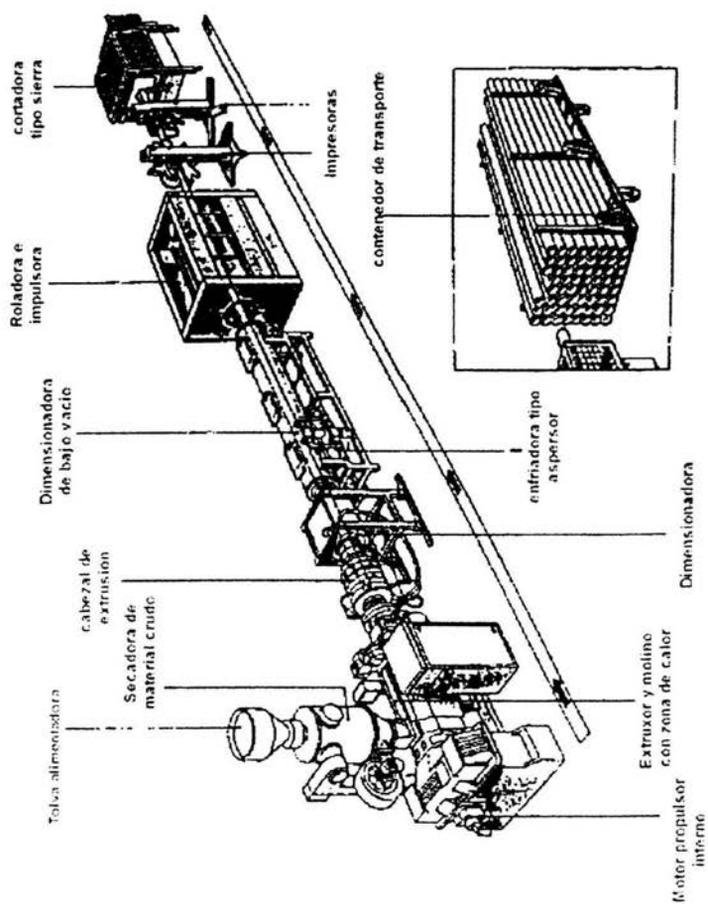
Una vez seca la resina en forma granular, se alimenta con esta un molino, en el cual se podrá agregar a la resina las cantidades necesarias de colorantes ú otros elementos necesarios en el producto final, que para el caso de la tubería de polietileno, se agrega el negro de humo necesario de acuerdo a las especificaciones de fabricación de la tubería, en este molino, se homogeniza la mezcla y por medio de una compuerta, se alimenta a una serie de hornos continuos que van adicionando calor a la resina, a la vez

que la continúan mezclando, hasta alcanzar la temperatura necesaria para tener un fluido plástico manejable. Debido a la alta calidad necesaria en la fabricación de tuberías, existe una gran cantidad de maquinaria, que incorpora tecnología "de punta", con lo cual, el sistema de adición de colorante, aditivos y otros, se hace en forma automática y de acuerdo a las necesidades programadas de producción.

Para el movimiento del material dentro del horno continuo, se utiliza una serie de aditamentos en forma de tornillo, los cuales por medio de las álabes y de un sentido de giro adecuado a la forma de esta, atrapan a la resina y la forzan dentro de un ducto, que continuando con el calentamiento hacen que la resina se fusione, hasta permitir su manejo como material semisólido, el cual es conducido por la presión del torno antes mencionado hasta un dispositivo dosificador de volumen en un tiempo determinado, que alimenta hacia la salida de material que es donde se ubica una boquilla determinada, que es la que da forma cilíndrica al material que sale por esta boquilla.

De el anterior dispositivo, sale el "tubo" propiamente ya con dimensiones, que son reguladas por un dispositivo colocado inmediatamente el cual por medio de un movimiento uniforme horizontal combinado con un enfriamiento primario, permite regular las dimensiones del tubo, ya que en este paso, el tubo es altamente deformable por la temperatura a la que se encuentra, una vez dimensionado correctamente el tubo, este es sometido a una serie de enfriamientos graduales, calculados para evitar las deformaciones.

Posterior al enfriamiento, el tubo pasa a una serie de dispositivos donde se le puede marcar, pintar, rotular, etc.. dependiendo de las necesidades solicitadas por el cliente ó bien de la normatividad de la empresa productora, una vez ejecutado esto, el tubo pasa a una sección donde se corta en tramos longitudinales, de acuerdo a las necesidades de manejo ó se enrolla si es necesario para las tuberías menores de hasta 2 ½", para proceder a su manejo para almacenamiento y embarque a su lugar de disposición final.



7. Conclusiones.

Las aplicaciones para los productos elaborados con polietileno continúan extendiéndose aceleradamente. La distribución de gas por medio de líneas, sistemas de agua potable, instalaciones sumergidas, marinas, drenajes por gravedad y bombeo, y varios tipos de sistemas expuestos sobre tierra son unos cuantos de los diferentes tipos de instalaciones para los cuales se ha utilizado la tubería de polietileno, y sobre estos se han hecho ajustes, desarrollando los diferentes tipos de tecnología necesaria para cada uso específico.

Un elemento importante que ha contribuido a este éxito continuo es la diversidad de métodos disponibles para unir la tubería de polietileno y su piezas especiales. La integridad de método de unión por termofusión ya sea a tope ó tipo socket ha sido probado por la con el paso del tiempo en una gran variedad de aplicaciones.

Los fabricantes de tubería de polietileno y conexiones han hecho esfuerzos para hacer los sistemas de unión tan comprensivos y versátiles como es posible, produciendo una variedad de soluciones de montajes y componentes para asegurar la compatibilidad con otros materiales alternativos y que pueden pertenecer al sistema.

El propósito de este trabajo ha sido proporcionarle una apreciación global al lector de la existencia de varios métodos por los que la tubería de polietileno puede utilizarse con mejores rendimientos que otros sistemas constructivo, existiendo para esto también limitaciones particulares, que sin embargo aventajan a la mayoría de sistemas constructivos que se utilizan actualmente. Como resultado, se espera, que el lector desarrolle una comprensión de la flexibilidad, integridad y otras cualidades útiles que apoyarán en el diseño, instalación y desarrollo de los sistemas de tubería de polietileno y sus componentes.

- ANEXO "A"

Normas que regulan los procedimientos para obtener las características físico químicas y mecánicas de las tuberías y accesorios (REFERENCIAS).

NORMA	FCH EXP.	Título
NMX-AA-051		Análisis del agua – determinación de metales pesados – Método espectrofotométrico de absorción atómica.
NMX-BB-093		Equipo Para uso médico – Contenido de metales pesados – Método espectrofotométrico de absorción atómica.
NMX-E-004		Industria de Plástico – Densidad Relativa y Absoluta – Método de Prueba.
NMX-E-013-1990	21-dic-90	Resistencia a la Presión Hidráulica Interna Sostenida por Largo Periodo. Método de Prueba
NMX-E-014-1990	14-nov-90	Resistencia al Aplastamiento. Método de Prueba
NMX-E-016-1993-SCFI	06-jul-93	Resistencia a la Presión Hidráulica Interna a Corto Periodo. Método de Prueba.
NMX-E-021-1993-SCFI	07-jul-93	Dimensiones. Métodos de Prueba. (Cancela a La NMX-E-021-1990).
NMX-E-025-1993-SCFI	27-jul-93	Combustibilidad de los Plásticos. Método de Prueba.
NMX-E-028		Industria del Plástico, - Tubos y conexiones – Extracción de metales pesados por contacto con agua – Método de Prueba.
NMX-E-029-1993-SCFI	07-jul-93	Resistencia al Impacto. Método de Prueba.
NMX-E-032-1969	13-may-69	Método de Prueba Para la Determinación de Resistencia de los Plásticos a los Reactivos Químicos.
NMX-E-034-1990	21-dic-90	Contenido de Negro de Humo en Materiales de Polietileno. Método de Prueba.
NMX-E-035-1990	14-nov-90	Resistencia al Envejecimiento Acelerado de Tubos de Polietileno. Método de Prueba.
NMX-E-061		Industria del plástico - Dispersión del negro de humo en polietileno _ Método de prueba.
NMX-E-129-1990	21-dic-90	Hermeticidad de la Unión en Tubos y Conexiones. Método de Prueba.
NMX-E-130-1990	21-dic-90	Resistencia a la Presión Interna a Corto Periodo en Tubo Completo. Método de Prueba.
NMX-E-131-1993-SCFI	11-jun-93	Resistencia al Cloruro de Metileno de los Tubos de Plástico. Método de Prueba.
NMX-E-135		Plásticos – Velocidad de flujo de polímeros termoplásticos – Determinada con un plastómetro extrusor – Método de prueba.
NMX-E-142-1991	21-ene-92	Resistencia al Horno. Método de Prueba.
NMX-E-166		Plásticos – Materias primas – Densidad por columna de gradiente – Método de prueba.
NMX-E-185		Industria del plástico – Resinas sólidas – Densidad – Método del picnómetro.
NMX-E-203-1993	27-jul-93	Resistencia al Desacoplamiento de Conexiones Unidas con Tubo de Polietileno. Método de Prueba.
NMX-E-204-1993-SCFI	27-jul-93	Hermeticidad de La Unión con Tubo de Polietileno Curvado en Frío. Método de Prueba.
NMX-E-208-1993-SCFI	27-jul-93	Determinación de la Rigidez de Tubos Plásticos. Método de Prueba.
NMX-E-214-1996-SCFI	16-oct-96	Resistencia al Impacto en Tubos para Alcantarillado, Sene Métrica. Método de Prueba.
NMX-Z-012/1		Muestreo para la inspección por atributos - Parte 1 : Información general y aplicaciones.
NMX-Z-012/2		Muestreo para la inspección por atributos - Parte 2 : Métodos De muestreo, tablas y gráficas.
NMX-Z-012/3		Muestreo para la inspección por atributos - Parte 3 : Regla de cálculo para la determinación de planes de muestreo.

Tablas de la Norma Oficial Mexicana NOM-E-144-1991

TABLA 2.- DIMENSIONES DE LOS TUBOS DE POLIETILENO

Dimensiones en mm.

Diámetro Nominal	Tolerancia (+)	Ovalidad Máxima		Diámetro interior mínimo del rollo
		Tubos rectos	Tubos en rollo	
12	0.3	-	0.8	500
16	0.3	-	1.0	500
20	0.3	-	1.2	600
25	0.3	-	1.5	600
32	0.3	-	2.0	700
40	0.4	-	2.4	800
50	0.5	-	3.0	1000
63	0.6	-	3.8	1300
75	0.7	1.5	4.5	1300
90	0.9	1.8	-	-
110	1.0	2.2	-	-
160	1.5	3.2	-	-
200	1.8	4.0	-	-
250	2.3	5.0	-	-
315	2.9	6.3	-	-
400	3.6	8.0	-	-
500	4.5	10.0	-	-
560	5.0	11.2	-	-
630	5.1	12.6	-	-
710	5.1	14.2	-	-
900	5.1	18.0	-	-
1000	5.1	20.0	-	-

TABLA 3.- DIMENSIONES DE LOS TUBOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD PARA LA CONDUCCIÓN DE LÍQUIDOS A PRESIÓN CON UN ESFUERZO DE DISEÑO DE 2.45 MPa (25 Kgf/cm²).
Dimensiones en mm.

Dn	CLASE									
	2.5		4.0		6.0		8.0		10.0	
	Esp. Min.	Tol. (+)								
12.0	-	-	1.0	0.3	1.3	0.3	1.7	0.4	2.0	0.4
16.0	1.0	0.3	1.2	0.3	1.7	0.4	2.2	0.4	2.7	0.5
20.0	1.0	0.3	1.5	0.3	2.1	0.4	2.8	0.5	3.3	0.5
25.0	1.2	0.3	1.	0.4	2.7	0.5	3.4	0.5	4.2	0.6
32.0	1.5	0.4	2.4	0.4	3.4	0.5	4.4	0.6	5.3	0.7
40.0	1.9	0.4	3.0	0.5	4.3	0.6	5.5	0.8	6.7	0.
50.0	2.4	0.4	3.7	0.6	5.4	0.7	6.9	0.9	8.3	1.0
63.0	3.0	0.5	4.7	0.7	6.8	0.9	8.7	1.1	10.5	1.3
75.0	3.6	0.6	5.6	0.8	8.0	1.0	10.3	1.2	12.5	1.5
90.0	4.3	0.6	6.7	0.9	9.6	1.2	12.4	1.4	15.0	1.7
110.0	5.2	0.7	8.1	1.0	11.8	1.4	15.2	1.7	18.3	2.0
160.0	7.6	1.0	11.9	1.4	17.1	1.9	22.1	2.4	26.7	2.9
200.0	9.5	1.2	14.8	1.7	21.4	2.3	27.6	3.0	33.3	3.5
250.0	11.9	1.4	18.5	2.1	26.8	2.9	34.5	3.6	41.7	4.4
315.0	15.0	1.7	23.3	2.5	33.8	3.6	43.4	4.5	52.5	5.5
400.0	19.0	3.1	29.6	4.6	42.9	6.6	55.2	8.5	-	-
500.0	23.8	3.8	37.0	5.8	53.6	8.2	-	-	-	-
560.0	26.7	4.2	41.5	6.4	-	-	-	-	-	-
630.0	30.0	4.7	46.7	7.2	-	-	-	-	-	-
710.0	33.8	5.3	52.6	8.1	-	-	-	-	-	-
900.0	42.9	6.6	-	-	-	-	-	-	-	-
1000.0	47.6	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-

Notaciones : Esp. Min.- Espesor mínimo; Tol.- Tolerancia; Dn.- Diámetro Nominal

TABLA 4.- DIMENSIONES DE LOS TUBOS DE POLIETILENO DE MEDIA DENSIDAD PARA LA CONDUCCIÓN DE LÍQUIDOS A PRESIÓN CON UN ESFUERZO DE DISEÑO DE 3.13 MPa (32 Kgf/cm²).
Dimensiones en mm.

Dn	CLASE									
	2.5		4.0		6.0		8.0		10.0	
	Esp. Min.	Tol. (+)								
12.0	-	-	-	-	-	-	1.5	0.4	1.6	0.4
16.0	-	-	-	-	1.5	0.4	1.8	0.4	2.2	0.4
20.0	-	-	1.5	0.3	1.7	0.4	2.2	0.4	2.7	0.5
25.0	-	-	1.5	0.3	2.1	0.4	2.8	0.5	3.4	0.5
32.0	1.5	0.4	1.9	0.4	2.7	0.5	3.6	0.6	4.3	0.6
40.0	1.5	0.4	2.4	0.4	3.4	0.5	4.4	0.6	5.4	0.7
50.0	1.9	0.4	2.9	0.5	4.3	0.6	5.6	0.8	6.8	0.9
63.0	2.4	0.4	3.7	0.6	5.4	0.7	7.0	0.9	8.5	1.1
75.0	2.8	0.5	4.4	0.6	6.4	0.8	8.3	1.0	10.1	1.2
90.0	3.4	0.5	5.3	0.7	7.7	1.0	10.0	1.2	12.2	1.4
110.0	4.1	0.6	6.5	0.8	9.4	1.1	12.2	1.4	14.9	1.7
160.0	6.0	0.8	9.4	1.1	13.7	1.6	17.8	2.0	21.6	2.4
200.0	7.5	1.0	11.8	1.4	17.1	1.9	22.2	2.4	27.0	2.9
250.0	9.4	1.1	14.7	1.7	21.4	2.3	27.8	3.0	33.8	3.6
315.0	11.8	1.4	18.5	2.1	27.0	2.9	35.0	3.7	42.6	4.5
400.0	15.0	2.5	23.5	3.7	34.3	5.3	44.4	6.9	54.1	5.6
500.0	18.8	3.0	29.4	4.6	42.9	6.6	55.6	8.5	-	-
560.0	21.1	3.4	32.9	5.1	48.0	7.4	-	-	-	-
630.0	23.7	3.8	37.1	5.8	54.0	8.3	-	-	-	-
710.0	26.7	4.2	41.8	6.5	-	-	-	-	-	-
900.0	33.8	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-
1000.0	37.6	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-

Notaciones : Esp. Min.- Espesor mínimo; Tol.- Tolerancia; Dn.- Diámetro Nominal

TABLA 5.- DIMENSIONES DE LOS TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PARA LA CONDUCCIÓN DE LÍQUIDOS A PRESIÓN CON UN ESFUERZO DE DISEÑO DE 4.9 MPa (50 Kgf/cm²). Dimensiones en mm.

Dn	CLASE									
	2.5		4.0		6.0		8.0		10.0	
	Esp. Min.	Tol. (+)								
12.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	0.3
20.0	-	-	-	-	-	-	1.5	0.3	1.8	0.4
25.0	-	-	-	-	1.5	0.4	1.9	0.4	2.3	0.4
32.0	-	-	1.5	0.4	1.8	0.4	2.4	0.4	2.9	0.5
40.0	-	-	1.5	0.4	2.3	0.4	3.0	0.5	3.6	0.6
50.0	1.5	0.4	1.9	0.4	2.8	0.5	3.7	0.6	4.5	0.7
63.0	1.5	0.4	2.4	0.4	3.6	0.6	4.7	0.7	5.7	0.8
75.0	1.8	0.4	2.9	0.5	4.2	0.6	5.6	0.8	6.8	0.9
90.0	2.2	0.4	3.5	0.5	5.1	0.7	6.7	0.9	8.2	1.0
110.0	2.7	0.5	4.2	0.6	6.2	0.8	8.1	1.0	10.0	1.2
160.0	3.9	0.6	6.2	0.8	9.1	1.1	11.1	1.4	14.5	1.7
200.0	4.9	0.7	7.7	1.0	11.3	1.3	14.8	1.7	18.2	2.0
250.0	6.1	0.8	9.8	1.2	14.2	1.6	18.6	2.1	22.7	2.5
315.0	7.7	1.0	12.1	1.4	17.8	2.0	23.3	2.5	28.6	3.1
400.0	9.8	1.7	15.4	2.5	22.6	3.6	2.6	4.6	36.4	5.7
500.0	12.2	2.0	19.2	3.1	28.3	4.4	37.0	5.8	45.5	7.0
560.0	13.7	2.2	21.6	3.4	31.7	5.0	41.5	6.4	50.9	7.8
630.0	15.4	2.5	24.2	3.8	35.7	5.5	46.7	7.2	57.3	8.8
710.0	17.3	2.8	27.3	4.3	40.2	6.2	52.6	8.1	-	-
900.0	22.0	3.5	34.6	5.4	50.9	7.8	-	-	-	-
1000.0	24.4	3.9	38.5	6.0	56.6	8.7	-	-	-	-

Notaciones : Esp. Min.- Espesor mínimo; Tol.- Tolerancia; Dn.- Diámetro Nominal

TABLA 6.- PRESIÓN SOSTENIDA POR 1 h.

Esfuerzo de diseño		Clase	Temperatura		Tol.	Tiempo mínimo	Presión de prueba	
MPa	Kgf/cm ²		°K	°C			±	h
2.45	25	2.5	296	23	2	1	0.7	7.1
		4	296	23	2	1	1.1	11.2
		6	296	23	2	1	1.7	17.3
		8	296	23	2	1	2.2	22.4
		10	296	23	2	1	2.8	28.6
3.13	32	2.5	296	23	2	1	0.6	6.1
		4	296	23	2	1	1.0	10.2
		6	296	23	2	1	1.5	15.3
		8	296	23	2	1	2.0	20.4
		10	296	23	2	1	2.4	24.5
4.90	50	2.5	296	23	2	1	0.6	6.1
		4	296	23	2	1	1.0	10.2
		6	296	23	2	1	1.4	14.3
		8	296	23	2	1	1.9	14
		10	296	23	2	1	2.4	24.5

TABLA 7.- ESPECIFICACIÓN SANITARIA.

Sustancia	Contenido ppm	Método de prueba
Plomo	0.05	NOM-AA-1 o NOM-BB-3
Cadmio	0.01	NOM-AA-1 o NOM-BB-3
Estaño	0.02	NOM-BB-3
Mercurio	0.001	NOM-AA-1
Bario	1.0	NOM-AA-1
Antimonio	0.05	NOM-AA-1
Cromo	0.05	NOM-AA-1
Arsénico	0.05	NOM-AA-1

TABLA 8.- NIVELES DE INSPECCIÓN.

ESPECIFICACIÓN		NIVEL DE INSPECCIÓN	
6.1	Dimensiones	General	- 1
6.2	Especificación sanitaria	Especial	S - 2
6.3	Resistencia al envejecimiento	Especial	S - 4
6.4	Contenido de negro de humo	Especial	S - 2
6.5	Dispersión de negro de humo	Especial	S - 2
6.6	Resistencia a la tensión	Especial	S - 2
6.7	Alargamiento	Especial	S - 2
6.8	Densidad del tubo	Especial	S - 2
6.9	Reversión térmica	Especial	S - 4
6.10	Resistencia a la presión interna por corto periodo	Especial	S - 4
6.11	Resistencia a la presión interna por corto periodo en tramo completo.	Especial	S - 2
6.12	Aspecto superficial	General	- HI

- ANEXO "C" Norma NMX-E-018-1996-SCFI

Tabla 4 .- Diámetros interiores y sus tolerancias para la tubería tipo I

Dimensiones en mm

Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Tolerancia (mm)	
		(+)	(-)
(Dn)	(di)		
10	12.5	0.2	0.2
13	15.8	0.3	0.3
19	20.9	0.3	0.4
25	26.6	0.3	0.5
32	35.1	0.3	0.5
38	40.9	0.4	0.5
50	52.5	0.4	0.5
60	62.7	0.4	0.6
75	77.9	0.4	0.8
100	102.3	0.4	0.9
150	154.1	0.5	0.9

- ANEXO "C" Norma NMX-E-018-1996-SCFI

TABLA .- Espesores mínimos de pared y sus tolerancias para la tubería tipo I

Dimensiones en mm

Diámetro Nominal	Diámetro Interior	Espesor mínimo de pared (e)							
		Subtipo 1 RD 7		Subtipo 1 RD 9		Subtipo 1 RD 11.5		Subtipo 1 RD 15	
		(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)
(Dn)	(Di)								
10	12.5	1.8	0.5	1.4	0.5				
13	15.8	2.3	0.5	1.8	0.5	1.5	0.5		
19	20.9	3.0	0.5	2.3	0.5	1.8	0.5	1.5	0.5
25	26.6	3.8	0.5	3.0	0.5	2.3	0.5	1.8	0.5
32	35.1	5.0	0.6	3.9	0.5	3.1	0.5	2.3	0.5
38	40.9	5.8	0.7	4.5	0.5	3.6	0.5	2.7	0.5
50	52.5	7.5	0.9	5.8	0.7	4.6	0.6	3.5	0.5
60	62.7	9.0	1.1	7.0	0.9	5.5	0.6	4.2	0.5
75	77.9	11.1	1.4	8.7	1.1	6.8	0.8	5.2	0.5
100	102.3	14.6	1.8	11.4	1.4	8.9	1.1	6.8	0.8
150	154.1	22.0	2.4	17.1	2.1	13.4	1.6	10.3	1.2

*Nota: tol. Es igual a tolerancia

- ANEXO "C" Norma NMX-E-018-1998-SCFI

TABLA 6.- Diámetros exteriores y sus tolerancias para las tuberías tipo II

Dimensiones en mm

Diámetro nominal (Dn)	Diámetro exterior (De)	Tolerancia (+, -)
13	21.3	0.2
19	26.7	0.2
25	33.4	0.2
32	42.2	0.3
38	48.3	0.3
50	60.3	0.3
60	73.0	0.3
75	88.9	0.4
100	114.3	0.5
150	168.3	0.8
200	219.1	1.0
250	273.1	1.2
300	323.9	1.4
350	355.6	1.6
400	406.4	1.8
450	457.2	2.1
500	508.0	2.3
550	558.8	2.5
600	609.6	2.7
650	660.4	3.0
700	711.2	3.2
750	762.0	3.4
800	800.1	3.6
810	812.8	3.7
850	863.6	3.9
900	914.4	4.1

- ANEXO "C" Norma NMX-E-018-1998-SCFI

TABLA 7.- Espesores mínimos de pared y sus tolerancias para la tubería tipo II
Dimensiones en mm

Diámetro nominal	Espesor mínimo de pared (e)															
	Subtipo 1 RD 9		Subtipo 2 RD 11		Subtipo 3 RD 13.5		Subtipo 4 RD 17		Subtipo 5 RD 21		Subtipo 6 RD 26		Subtipo 7 RD 32.5		Subtipo 8 RD 41	
	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)	(e) min.	Tol. (+)
13	2.4	0.5														
19	3.0	0.5	2.4	0.5												
25	3.7	0.5	3.1	0.5	2.5	0.5										
32	4.7	0.6	3.8	0.5	3.1	0.5	2.5	0.5								
38	5.4	0.6	4.4	0.5	3.6	0.5	2.8	0.5								
50	6.7	0.8	5.5	0.7	4.5	0.5	3.6	0.5	2.9	0.5	2.3	0.5				
60	8.1	1.0	6.6	0.8	5.4	0.6	4.3	0.5	3.5	0.5	2.8	0.5				
75	9.9	1.2	8.1	1.0	6.6	0.8	5.2	0.6	4.2	0.5	3.4	0.5	2.7	0.5		
100	12.7	1.5	10.4	1.2	8.5	1.0	6.7	0.8	5.4	0.7	4.4	0.5	3.5	0.5	2.8	0.3
150			15.3	1.8	12.5	1.5	9.9	1.2	8.0	1.0	6.5	0.8	5.2	0.6	4.1	0.5
200			19.9	2.4	16.2	2.0	12.9	1.6	10.4	1.2	8.4	1.0	6.7	0.8	5.3	0.6
250			24.8	3.0	20.2	2.4	16.1	1.9	13.0	1.6	10.5	1.3	8.4	1.0	6.7	0.8
300			29.4	3.5	24.0	2.9	19.1	2.3	15.4	1.9	12.5	1.5	10.0	1.2	7.9	0.9
350			32.3	3.9	26.3	3.2	20.9	2.5	16.9	2.0	13.7	1.7	11.0	1.3	8.7	1.0
400			37.0	4.5	30.1	3.6	23.9	2.9	19.4	2.3	15.6	1.9	12.5	1.5	9.9	1.2
450			41.6	5.0	33.9	4.1	26.9	3.2	21.8	2.6	17.6	2.1	14.1	1.7	11.2	1.3
500					37.6	4.5	29.9	3.6	24.2	2.9	19.5	2.3	15.6	1.9	12.4	1.5
550					41.4	5.0	32.9	3.9	26.6	3.2	21.5	2.6	17.2	2.1	13.6	1.6
600					45.2	5.4	35.9	4.3	29.0	3.5	23.4	2.8	18.8	2.3	14.9	1.8
650							38.8	4.7	31.4	3.8	25.4	3.1	20.3	2.4	16.1	1.9
700							41.8	5.0	33.9	4.1	27.4	3.3	21.9	2.6	17.3	2.0
750							44.8	5.4	36.3	4.4	29.3	3.5	23.4	2.6	18.6	2.2
800							47.1	5.7	38.1	4.6	30.8	3.7	24.6	3.0	19.5	2.3
810							47.8	5.7	38.7	4.6	31.3	3.8	25.0	3.0	19.8	2.3
850							50.8	6.1	41.1	4.9	33.2	4.0	26.6	3.2	21.1	2.5
900							53.8	6.5	43.5	5.2	35.2	4.2	28.1	3.4	22.3	2.7

- ANEXO "C" Norma NMX-E-018-1996-SCFI

TABLA 8.- Presión hidráulica interna a corto periodo para tubería tipo I

RD	Presión mínima de prueba. Tubería tipo I					
	PE 3 456		PE 2 344 PE 3 244 PE 3 344		PE 2 335	
	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)
7	5.60	(56.0)	4.40	(44.0)	3.52	(35.2)
9	4.48	(44.8)	3.52	(35.2)	2.80	(28.0)
11.5	3.60	(36.0)	2.80	(28.0)	2.24	(22.4)
15	2.80	(28.0)	2.20	(22.0)	1.76	(17.6)

TABLA 9.- Presión hidráulica interna a corto periodo para tubería tipo II.

RD	Presión mínima de prueba. Tubería tipo II					
	PE 3 456		PE 2 344 PE 3 244 PE 3 344		PE 2 335	
	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)
9	5.60	(56.0)	4.40	(44.0)	3.52	(35.2)
11	4.48	(44.8)	3.52	(35.2)	2.80	(28.0)
13.5	3.60	(36.0)	2.80	(28.0)	2.24	(22.4)
17	2.80	(28.0)	2.20	(22.0)	1.78	(17.8)
21	2.24	(22.4)	1.76	(17.6)	1.40	(14.0)
26	1.80	(18.0)	1.40	(14.0)	1.12	(11.2)
32.5	1.44	(14.4)	1.12	(11.2)	0.88	(8.8)
41	1.12	(11.2)	0.88	(8.8)	0.72	(7.2)

TABLA 10. Presión hidráulica interna por largo periodo durante 1,000 horas para tubería tipo I.

RD	Presión mínima de prueba. Tubería tipo I					
	PE 3 456		PE 2 344 PE 3 244 PE 3 344		PE 2 335	
	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)
7	2.80	(28.0)	2.20	(22.0)	1.76	(17.6)
9	2.24	(22.4)	1.76	(17.6)	1.40	(14.0)
11.5	1.79	(17.9)	1.40	(14.0)	1.12	(11.2)
15	1.40	(14.0)	1.10	(11.0)	0.88	(8.8)

TABLA 11.- Presión hidráulica interna por largo período durante 1,000 horas para tubería tipo II.

RD	Presión mínima de prueba. Tubería tipo II					
	PE 3 456		PE 2 344 PE 3 244 PE 3 344	PE 2 335		
	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)	MPa	(Kg/cm ²)
9	2.80	(28.0)	2.20	(22.0)	1.76	(17.6)
11	2.24	(22.4)	1.76	(17.6)	1.40	(14.8)
13.5	1.80	(18.0)	1.40	(14.0)	1.12	(11.2)
17	1.40	(14.0)	1.10	(11.0)	0.88	(8.8)
21	1.12	(11.2)	0.88	(8.80)	0.70	(7.0)
26	0.90	(9.0)	0.70	(7.0)	0.56	(5.6)
32.5	0.72	(7.2)	0.56	(5.6)	0.44	(4.4)
41	0.56	(5.6)	0.44	(4.4)	0.36	(3.6)

TABLA 12.- Especificación sanitaria

Clase	Contenido Ppm	Método de prueba (ver referencias)
Plomo	0.05	NMX-AA-051 o NMX-BB-093
Cadmio	0.01	NMX-BB-093 o NMX-BB-093
Estaño	0.02	NMX-BB-093
Mercurio	0.001	NMX-AA-051
Bario	1.00	NMX-AA-051
Antimonio	0.05	NMX-AA-051
Cromo	0.05	NMX-AA-051
Arsénico	0.05	NMX-AA-051

TABLA 13.- Densidad

Clase	Densidad de la resina virgen en g/cm ³	
	mínima	Máxima
2	0.926	0.940
3	0.941	0.965

- ANEXO "D" Norma NMX-E-216-1994-SCF

TABLA 1.- Diámetros exteriores y sus tolerancias

Dimensiones en milímetros

Diámetro nominal (Dn)	Diámetro exterior (De)	Tolerancia (+ , -)
100	114.3	0.5
150	168.3	0.8
200	219.1	1.0
250	273.0	1.2
300	323.8	1.4
350	355.6	1.6
400	406.4	1.8
450	457.2	2.0
500	508.0	2.3
550	558.0	2.5
600	609.6	2.7
650	660.4	2.9
700	711.2	3.1
750	762.0	3.4
800	800.1	3.6
810	812.8	3.7
850	863.0	3.8
900	914.4	4.1
1050	1066.8	4.8
1200	1219.2	5.5

- ANEXO "D" Norma NMX-E-216-1994-SCF

TABLA 3.- Resistencia a la presión sostenida por 1000 h a 23 °C ± 2 °C.

RD	Presión mínima interna sostenida por 1000 h	
	MPa	(Kg/cm ²)
21	1.10	(11.0)
26	0.90	(9.0)
32.5	0.70	(7.0)
41	0.60	(6.0)

Nota 2.- Se considera que 10 Kg/cm² es igual a 1 MPa.

TABLA 4.- Rigidez del tubo.

RD	Rigidez del tubo	
	MPa	(Kgf/cm ²)
21	0.35	(3.5)
26	0.18	(1.8)
32.5	0.09	(0.9)
41	0.04	(0.4)

- ANEXO "D" Norma NMX-E-216-1994-SCF

TABLA 7.- Espesores mínimos de pared y sus tolerancias.
Dimensiones en mm

NOTA 1.- Los RD32.5 y RD41 se recomiendan únicamente en donde las cargas vivas y muertas son menores (para límites permisibles de cargas vivas y muertas, consultar al fabricante de al tubería

Diámetro nominal	RD 21		RD 26		RD 32.5		RD 41	
	(e) min.	Tol. (+)						
100	5.4	0.7	4.4	0.5	3.5	0.4	2.8	0.3
150	8.0	1.0	6.5	0.7	5.2	0.7	4.1	0.6
200	10.4	1.3	8.4	1.0	6.7	0.8	5.3	0.6
250	12.9	1.6	10.5	1.1	8.4	1.0	6.6	0.8
300	15.3	1.9	12.5	1.2	9.9	1.2	7.6	0.9
350	16.9	2.0	13.7	1.3	10.9	1.3	8.6	1.0
400	19.3	2.3	15.6	1.6	12.5	1.5	9.9	1.2
450	21.8	3.2	17.6	1.7	14.0	1.6	11.1	1.3
500	24.8	3.6	19.5	2.0	15.6	1.6	12.4	1.5
550	26.6	3.6	21.5	2.1	17.2	2.0	13.6	1.6
600	29.0	3.6	23.4	2.3	18.7	2.2	14.8	1.8
650	31.4	3.7	25.4	3.5	20.3	2.4	16.1	1.9
700	33.8	4.0	27.3	2.7	21.8	2.8	17.3	2.0
750	36.2	4.3	29.3	2.9	23.4	3.0	18.6	2.2
800	38.1	4.6	30.8	3.1	24.6	3.0	19.5	2.3
810	38.7	4.6	31.3	3.7	25.0	3.0	19.8	2.3
850	41.1	4.9	33.2	4.0	26.5	3.1	21.1	2.5
900	43.5	5.2	35.2	4.0	28.1	3.3	22.3	2.7
1050	50.8	6.9	41.0	5.6	32.8	4.4	26.0	3.6
1200	58.1	7.9	46.9	6.4	36.5	5.0	29.7	4.1

Bibliografia

- | | | |
|--|---|----------------|
| 1 Chapter 6, Polyethylene Joining Procedures, | The Plastics Pipe Institute, a Division of The Society of the Plastics Industry, Inc. 1801 K St. N. W., Suite 600K Washington, D.C. 20006 | March, 1998 |
| 2 Above-Ground Applications for Polyethylene Pipe | The Plastics Pipe Institute a Division of The Society of the Plastics Industry, Inc. 1801 K St. N. W., Suite 600K Washington, D.C. 20006 | April, 1998 |
| 3 Chapter 4.- Polyethylene Pipe and Fittings Manufacturing | The Plastics Pipe Institute, Inc. www.plasticpipe.org 1-888-314-6774 | 2000 |
| 4 Chapter 3 Engineering Properties | The Plastics Pipe Institute, Inc. www.plasticpipe.org 1-888-314-6774 | 2000 |
| 5 Underground Installation of Polyethylene Piping | The Plastics Pipe Institute, a Division of The Society of the Plastics Industry, Inc. 1801 K St. N. W., Suite 600K Washington, D.C. 20006 | February, 1998 |
| 6 Polyethylene Pipe and Fittings Manufacturing The Plastics Pipe Institute, Inc. www.plasticpipe.org 1-888-314-6774 | The Plastics Pipe Institute, Inc., | 2000 |

- | | | |
|---|--|-----------------------------------|
| 7 Norma Mexicana
NMX-E-018-1996-SCFI
Industria del Plástico-Tubos de
Poliétileno (PE) para la conducción de
fluidos a presión-Especificaciones | Secretaría de Comercio y
Fomento Industrial
Dirección General de
Normas | Exp. 19
marzo 1997 |
| 8 Norma Mexicana
NMX-E-216-1994-SCFI
Industria del Plástico-Tubos de
Poliétileno de Alta Densidad (PEAD)
para sistemas de alcantarillado-
Especificaciones | Secretaría de Comercio y
Fomento Industrial
Dirección General de
Normas | Exp. 3
Agosto 1994 |
| 9 Norma Mexicana
NMX-E-148-1998-SCFI
Industria del Plástico-Tubos y
Conexiones-tubos de polietileno de alta
densidad (PEAD) para toma domiciliaria
de agua- Especificaciones | Secretaría de Comercio y
Fomento Industrial
Dirección General de
Normas | Exp. 27 Nov
1998 |
| 10 Norma Mexicana
NMX-E-144-1991-SCFI
Industria del Plástico-tubos de
Poliétileno (PE) para conducción de
líquidos a presión –serie métrica-
Especificaciones | Secretaría de Comercio y
Fomento industrial
Dirección General de
Normas | Exp. 18
Diciem. 1991 |
| 11 Hidráulica General, Volumen 1
Fundamentos. | Gilberto Sotelo Ávila | Ed. Limusa
1976 |
| 12 Manual de Especificaciones Generales
y Técnicas de Construcción de
Sistemas de Agua Potable y
Alcantarillado | Secretaría de Desarrollo
Urbano y Ecología.
Dirección General de
Infraestructura Urbana | 1986 |
| 13 Manual del Ingeniero Civil
Volumen III | Frederick S. Merritt | 2ª Edición
1988
McGraw-Hill |
| 14 ASTM-D-1248 Polyethylene Moulding
and Extrusion Materials | Sociedad Americana de
Prueba de Materiales | |
| 15 ASTM-D-22399-65 Polyethylene Pipe
SDR-PR Design | Sociedad Americana de
Prueba de Materiales | |

16	Especificaciones Generales y Técnicas de Construcción,	Departamento del Distrito Federal Secretaría de Obras y Servicios DGCOH.	Abril 1982
17	Manual Técnico "Agua" Extrupac	Extrumex, S.A. de C.V.	México 2000
18	Manual Técnico de Tuberías Drisco Pipe	Drisco Pipe de México, S.A.. de C.V.	México 200
19	ASTM D2513-90. Standard Specifications for Thermoplastic Gas Pressure Pipe, Tubing, and Fittings, Annual Book of Standards. ASME/ANSI B16.5-1988. American National Standard on Pipe Flanges and Flanged Fittings Victaulic General Catalog on Mechanical Piping Systems, AWWA C901-88. Polyethylene (PE) Pressure Pipe and Tubing, 1/2 in. Through 3 in., for Water Service ASTM D3140-85. Standard Practice for Flaring Polyolefin Pipe and Tubing, Annual Book of Standards AASTM F104 1-87. Standard Guide for Squeeze-Off of Polyolefin Gas Pressure Pipe and Tubing, Annual Book of Standards, American	American Society for Testing and Materials (AS1M) American National Standards Institute Victaulic Company of America, American Water Works Association American Society for Testing and Materials (ASTM) Society for Testing and Materials (ASTM)	Philadelphia, PA, 1991. New York, NY, 1988. Easton, PA, 1988. Denver, CO, 1988. Philadelphia, PA, 1990. Philadelphia, PA, 1990.
20	Otras Normas Mexicanas NMX-AA-051 NMX-BB-03 NMX-E-004 NMX-E-013-SCFI NMX-E-016-SCFI NMX-E-021-SCFI NMX-E-028 NMX-E-034 NMX-E-035 NMX-E-061 NMX-E-082 NMX-E-179-SCFI NMX-E-185 NMX-Z-012/1 NMX-Z-012/2 NMX-Z-012/3	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial Dirección General de Normas	