

Universidad de los Andes
Facultad De Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental



**TESIS DE ESPECIALIZACIÓN
INGENIERÍA DE SISTEMAS HÍDRICOS URBANOS**

**ANÁLISIS Y EVALUACION DE RIESGOS EN SISTEMAS
CONSTRUCTIVOS DE TUBERIAS DE POLIETILENO EN REDES DE
ACUEDUCTO**

Preparado por:
Ing. Johana León Castellanos

Asesor:
Ing. Luis Eduardo Yamín Lacouture

Informe Final Tesis

Bogotá, Febrero de 2012

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	6
1.1 ANTECEDENTES.....	6
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.2.1 <i>Objetivos Generales</i>	6
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	6
2 ESTUDIOS PREVIOS.....	7
2.1 GENERALIDADES DEL POLIETILENO	7
2.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS TUBERÍAS DE POLIETILENO	8
2.2.1 <i>Esfuerzos a la tracción de los tubos de PE</i>	8
2.2.2 <i>Módulo de Elasticidad</i>	9
2.2.3 <i>Alargamiento a la rotura</i>	9
2.2.4 <i>Flexibilidad</i>	10
2.2.5 <i>Resistencia a la abrasión</i>	10
2.2.6 <i>Resistencia a la propagación de fisuras</i>	11
2.2.7 <i>Color</i>	11
2.2.8 <i>Resistencia a la corrosión</i>	11
2.2.9 <i>Resistencia química y bacteriana</i>	11
2.2.10 <i>Estabilidad a la intemperie</i>	11
2.2.11 <i>Características hidráulicas</i>	12
2.3 PRODUCTOS COMERCIALES.....	12
2.3.1 <i>Tuberías para acueductos</i>	12
2.3.2 <i>Accesorios y complementos</i>	13
2.4 PROCESOS DE INSTALACIÓN	18
2.4.1 <i>Instalación de tuberías a través de accesorios mecánicos</i>	18
2.4.2 <i>Instalación de tuberías a través de electrofusión</i>	20
2.4.3 <i>Instalación de tuberías a través de termofusión</i>	22
3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS FRENTE A OTROS SISTEMAS DE INSTALACIÓN.....	26
4 METODOLOGIA PARA ANALISIS Y REDUCCION DE RIESGOS EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE TUBERIAS EN POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD EN REDES DE ACUEDUCTO.....	27
5 DETERMINACION DE RIESGOS EN LA TUBERIA DE PE INSTALADA EN SAN PEDRO DE LOS MILAGROS - ANTIOQUIA	29
5.1 PROPIEDADES DEL CASO A EVALUAR.....	29
5.2 REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	30
5.3 EVALUACIÓN DE RIESGO DE LA TUBERÍA	32
5.4 EVALUACIÓN DE RIESGO OPERACIONAL.....	34
5.5 EVENTOS DE MAYOR INFLUENCIA.....	35
5.6 CUANTIFICACIÓN DE LA PROBABILIDAD.....	35
5.7 CUANTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	36
5.8 ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS.....	37
5.9 CLASIFICACIÓN DE LOS RIESGOS	37
5.10 PLANES DE ACCIÓN PARA EL CASO EN ESTUDIO	39
6 NORMAS TÉCNICAS	40
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
8 BIBLIOGRAFÍA	42
	2

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del petróleo según sus aplicaciones.....	7
Figura 2 Curva esfuerzo – deformación para una tubería de PE.....	8
Figura 3. Accesorios de termofusión.....	14
Figura 4. Accesorios de electrofusión.....	15
Figura 5. Accesorios Mecánicos.....	16
Figura 6. Accesorios termoensambaldos.....	17
Figura 7. Accesorios complementarios.....	17
Figura 8. Instalación de tuberías a través de accesorios mecánicos de acometidas.....	18
Figura 9. Instalación de tuberías a través de accesorios mecánicos (75mm a 110mm).....	19
Figura 10. Instalación mediante bridas.....	20
Figura 11. Instalación de Tuberías por el Electrofusión.....	21
Figura 12. Instalación de tuberías a través de Termofusión.....	23
Figura 13. Proceso de Soldadura a Tope.....	25
Figura 14. Localización caso de análisis: San Pedro de los Milagros.....	29
Figura 15. Registro fotográfico.....	30
Figura 16. Registro fotográfico de instalación.....	31
Figura 17. Registro fotográfico de instalación.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1	Clasificación de las tuberías de polietileno de acuerdo a su densidad	7
Tabla No. 2	Comparación del valor del módulo de elasticidad del polietileno frente a materiales alternativos.....	9
Tabla No. 3	Valores de alargamiento a la rotura de materiales de tubería.....	9
Tabla No. 4	Radios máximos de curvatura, R, admisibles en tubos de Poliétileno	10
Tabla No. 5	Colores de los tubos de polietileno según aplicaciones.....	11
Tabla No. 6	Clasificación de tuberías de polietileno según al RDE.....	12
Tabla No. 7	Clasificación de tuberías según el PN.....	13
Tabla No. 8	Comparativo con otros materiales.....	26
Tabla No. 9	Probabilidad de ocurrencia de una situación de riesgo.....	28
Tabla No. 10	Características del caso en análisis.....	30
Tabla No. 11	Comportamiento de las Tuberías de Poliétileno frente a sustancias químicas.....	33
Tabla No. 12	Eventos de Mayor Influencia.....	35
Tabla No. 13	Definición Cualitativa y Cuantitativa de las Probabilidades.....	35
Tabla No. 14	Probabilidad de Ocurrencia de los Eventos.....	36
Tabla No. 15	Cuantificación de la Vulnerabilidad de cada Evento.....	36
Tabla No. 16	Estimación de consecuencias.....	37
Tabla No. 17	Determinación de riesgos.....	38
Tabla No. 18	Clasificación de riesgos de acuerdo a la probabilidad.....	38

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de una sociedad lleva consigo a conocer e implementar nuevas tecnologías ligadas al desarrollo sostenible del que se habla hoy día, donde, el principal objetivo es no comprometer los recursos naturales de generaciones futuras, concepción que implica evolución en el origen de los materiales principalmente en procesos industriales. En el tema de tuberías la tecnología conlleva al uso de sistemas plásticos que remplazan todo tipo de material que signifique un desgaste, contamine e incluso perjudique el bienestar de los seres humanos.

En la actualidad los sistemas de tuberías plásticas son soluciones que además de ser amigables con el medio ambiente, más económicas y de calidad, ofrecen mayor seguridad de transporte en los diferentes usos y aplicaciones, lo cual crea la necesidad de estudiar los beneficios y riesgos a los que se expone un diseño que se materializa acompañado de distintas situaciones reales tales como el impacto ambiental, social, geológico y demás aspectos que conllevan a una construcción satisfactoria para las partes involucradas.

En el presente estudio presenta una recopilación de los métodos constructivos de la tubería de polietileno para acueducto y un análisis de los factores de riesgo y vulnerabilidad de las distintas situaciones en las que se involucra dicho proceso para un caso particular.

1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1 ANTECEDENTES

El uso de tuberías plásticas se ha incrementado durante los últimos años debido al alto nivel de seguridad que exigen los fluidos a transportar como: gas, agua potable, agua de saneamiento, entre otros; razón que promueve el estudio en la evaluación de riesgos de los sistemas constructivos ya conocidos de instalación de tuberías en respuesta de las exigencias de la tecnología y evolución de las materias primas, específicamente de tuberías de polietileno de alta densidad.

Hoy día en el mercado son contados los materiales que se encuentran a la hora de definir el diseño, por tal motivo se pretende mostrar a los diseñadores los riesgos que se corren en la escogencia de los materiales y suministrar herramientas que permitan el argumentar el uso de determinado material propuesto.

Adicional a la diversidad de materiales también se encuentran distintas maneras de instalación de las tuberías, dado el material Poliétileno existen tres formas de instalación que son la tradicional mecánica, termofusión y electrofusión, siendo estas dos últimas las más utilizadas para nuevas tecnologías como instalación sin zanja y reparaciones.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Generales

- Aumentar el conocimiento frente a las instalaciones de las tuberías de Poliétileno de alta densidad.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Conocer y prevenir los riesgos que se presentan en una red de polietileno de alta densidad.
- Identificar la vulnerabilidad de los sistemas constructivos para instalaciones con tubería de polietileno de alta densidad.
- Proponer prácticas para reducir o eliminar las consecuencias de los riesgos asociados a los procesos constructivos de acuerdo al material.
- Incrementar los conocimientos del sector en el ejercicio profesional.
- Lograr una comparación de ventajas y desventajas con otros sistemas de instalación y materiales.

2 ESTUDIOS PREVIOS

2.1 Generalidades del Polietileno

Los materiales plásticos en los últimos años han presentado mayores ventajas frente a otros, razón por la cual se ha implementado su uso; estos derivados del petróleo representan solamente un 4% del total del recurso extraído, siendo el restante utilizado en la producción de combustibles, tal como se muestra en la siguiente figura.

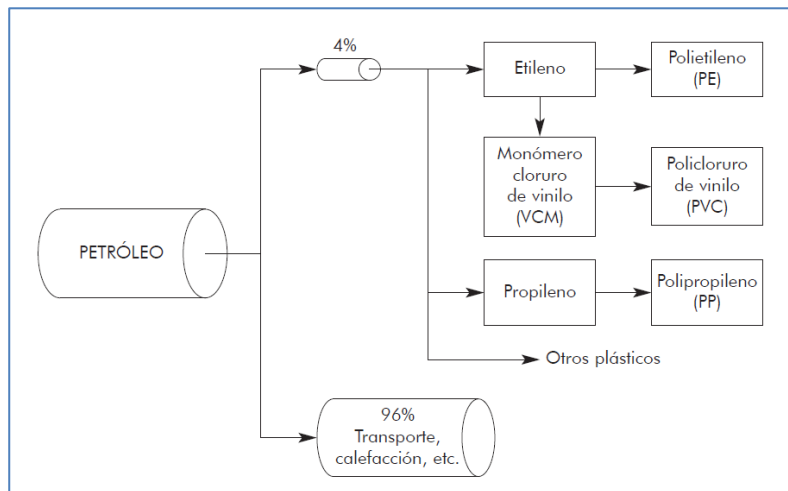


Figura 2. Distribución del petróleo según sus aplicaciones. (De la Cruz, 2008)

El desarrollo del material Polietileno PE se ha estudiado desde principios de los años sesenta, definiéndose referencias como baja densidad, y, a partir de los años ochenta es fortalecido el tema de polietileno de media y alta densidad para el desarrollo de ductos con distintos usos.

La clasificación de las resinas clasifica las tuberías de acuerdo a su densidad así:

Resina	Densidad (g/cm ³)	Clasificación
PE 40	0,93 – 0,94	Baja Densidad
PE 80	0,94 – 0,95	Media o Alta Densidad
PE 100	0,95 – 0,96	Alta Densidad

Tabla No. 1 Clasificación de las tuberías de polietileno de acuerdo a su densidad (De la Cruz, 2008)

A partir de esta generación de materiales plásticos se ha generado normatividad internacional con respecto a sus propiedades químicas, físicas, mecánicas y térmicas, derivando una serie de ensayos para evaluar estas características a los fabricantes de la materia prima y los transformadores de ésta, ofreciendo confiabilidad en los usuarios finales; Este avance en el

conocimiento, ha demandado al sector la regularización de procesos de fabricación y una vez controlados estos aspectos regular la instalación mediante procesos estudiados y aprobados internacionalmente, emitiéndose normas y manuales técnicos transcritos a cada país de acuerdo a sus interés y mercado.

Estos procesos de instalación definidos y normalizados para tuberías de polietileno, prácticamente se encuentran estandarizados por los países que adoptan su uso, de tal forma que la información encontrada es complemento una de la otra, facilitando su estudio e interpretación.
 Procesos de Instalación

2.2 Propiedades Físicas y Mecánicas de las Tuberías de Polietileno

En ésta sección se tratarán las propiedades más relevantes de los tubos de Polietileno, las cuales varían frente a comportamientos de temperatura y a lo largo del tiempo de uso.

2.2.1 Esfuerzos a la tracción de los tubos de PE

La composición de la tubería de Polietileno es en esencia materia prima plástica, por lo cual su comportamiento obedecerá a deformaciones plásticas y elásticas frente a esfuerzos de tracción. Cuando se aplica una carga progresiva a una tubería de Polietileno bajo condiciones de temperatura ésta comenzará a deformarse sin fallar hasta cierto valor de carga de acuerdo a las propiedades geométricas del tubo, luego de retirar el esfuerzo de tracción la tubería comenzará a recuperar su forma durante un tiempo determinado.

La deformación recuperable corresponde al rango elástico y la deformación permanente corresponde al rango plástico obedeciendo a la ley de Hook en la mayoría de los casos, en la siguiente figura se muestra la curva tensión – deformación producida a través del ensayo de tracción para una tubería de Polietileno:

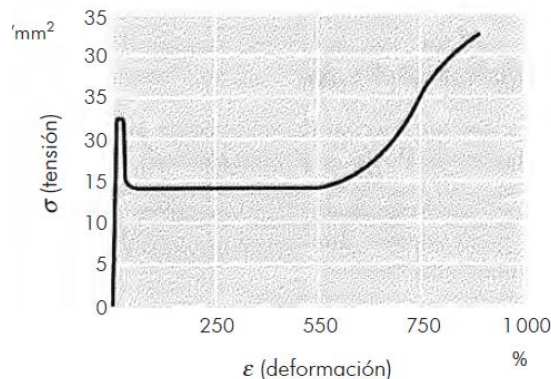


Figura 2 Curva esfuerzo – deformación para una tubería de PE (De la Cruz, 2008)

Por lo anterior es fácil deducir que las deformaciones de las tuberías plásticas dependerán de la magnitud de la carga, la temperatura y el tiempo en que es sometida a la tracción. Si una de las

condiciones inmediatamente mencionadas se encuentra fuera de los parámetros la tubería presentará una deformación plástica irreversible.

2.2.2 Módulo de Elasticidad

El valor mínimo del módulo de elasticidad a corto plazo se encuentra en un rango entre 800 a 1000 N/mm² y a largo plazo de 130 a 160 N/mm², de acuerdo al tipo de polietileno que se esté utilizando y a unas condiciones temperatura de 20°C. Este valor del Módulo de Elasticidad para el polietileno es el más bajo de las tuberías plásticas, lo que le permite tener ventaja en su comportamiento frente a eventuales tensiones como lo es el caso del golpe de ariete para redes operadas por bombeo.

En la siguiente tabla se encuentra valores de Modulo de Elasticidad para los distintos materiales comerciales utilizados en fabricación de tuberías:

		Módulo de elasticidad (N/mm ²)	
		Corto plazo	Largo plazo
Material	PE	800 a 1.100	130 a 160
	PVC	3.000	1.750
	PP	1.200 a 1.800	450 a 460
	PRFV	3,9 x 10 ⁴	10 ⁴
	Hormigón	2 x 10 ⁴ a 4 x 10 ⁴	
	Fundición	1,7 x 10 ⁵	
	Acero	2,1 x 10 ⁵	

Tabla No. 2 Comparación del valor del módulo de elasticidad del polietileno frente a materiales alternativos. (De la Cruz, 2008)

2.2.3 Alargamiento a la rotura

El alargamiento a la rotura de un tubo de polietileno dependerá de manera importante de la temperatura a la cual se vea sometido a por tensión, alcanzando valores superiores a un 350% de su longitud. A continuación se muestra en la siguiente tabla los valores de alargamiento en la rotura frente a otros materiales de tubería:

		Alargamiento en la rotura (%)
Material	PE	>350
	PVC	≥80
	Fundición	5 a 10
	Acero	10 a 24

Tabla No. 3 Valores de alargamiento a la rotura de materiales de tubería. (Asetub,2008)

2.2.4 Flexibilidad

La flexibilidad es una de las propiedades más características de los tubos de Polietileno debido a que facilita la instalación con curvas, eliminando accesorios y adaptándose fácilmente a las características del terreno.

De acuerdo a la literatura encontrada se podrá curvar la tubería un número indicado de veces de su diámetro nominal teniendo en cuenta las presiones nominales y la clasificación de la tubería (PE 40, PE 80 y PE100), tal como lo indica la siguiente tabla:

		PE 40	PE 80	PE 100
PN	4,0	20 x DN	30 x DN	50 x DN
	6,0	20 x DN	20 x DN	30 x DN
	10,0	20 x DN	20 x DN	20 x DN
	16,0		20 x DN	20 x DN
	20,0		20 x DN	20 x DN
	25,0		20 x DN	20 x DN

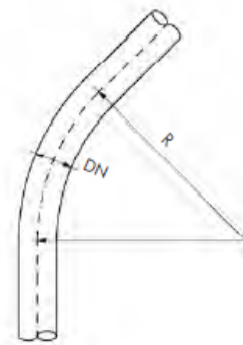


Tabla No. 4 Radios máximos de curvatura, R, admisibles en tubos de Polietileno (De la Cruz, 2008)

Esta propiedad de curvatura debido a la flexibilidad permite a los fabricantes ofrecer la presentación de la tubería en rollos, esta situación es manejable para diámetros de hasta 110 mm, en longitudes de 50 a 200 metros y para el caso de diámetros más pequeños se logran rollos de hasta 1.000 metros de longitud.

2.2.5 Resistencia a la abrasión

La tubería de polietileno se puede ver expuesta a dos tipos de situaciones, una resistencia a la abrasión interna generada por las partículas en suspensión del líquido transportado y una resistencia a la abrasión externa causada por raspaduras y golpes generados durante el transporte y la instalación de las mismas.

La resistencia a la abrasión interna se mide mediante ensayos en laboratorio que determinan el desgaste de la superficie después de movimientos lentos de vaivén mientras que la abrasión externa estará en función de no sobrepasar el 10% del espesor del tubo ya que se verían afectadas las propiedades mecánicas de éste.

2.2.6 Resistencia a la propagación de fisuras

La resistencia a la propagación de fisuras está relacionada a la capacidad que tiene la materia prima de fabricación de las tuberías de absorber los golpes de forma puntual y no permitir que un golpe que haya generado una fisura en la tubería se trasmita a lo largo de ésta.

Esta propiedad se hace más débil en las tuberías de mayor diámetro o cuando son sometidas a presiones a las que no fueron diseñadas para soportar.

2.2.7 Color

Las tuberías de polietileno se fabrican de colores de acuerdo a las aplicaciones o usos, los colores permitidos de acuerdo a normas son los indicados en la siguiente tabla:

Aplicación	Abastecimiento agua	Azul Negro con bandas azules
	Saneamiento o drenaje	Negro Negro con bandas marrones
	Reutilización de aguas	Negro Negro con bandas marrones o moradas
	Agricultura	Negro con bandas verdes
	Gas	Amarillo Amarillo-anaranjado Negro con bandas amarillo-anaranjadas
	Canalizaciones eléctricas	Amarillo Naranja Rojo, etc.

Tabla No. 5 Colores de los tubos de polietileno según aplicaciones (De la Cruz, 2008)

2.2.8 Resistencia a la corrosión

Las tuberías de polietileno no se ven afectadas ante la exposición de terrenos corrosivos es decir terrenos con bajo nivel de PH o alto contenido en sulfatos; por tal motivo no requieren protección contra la corrosión ni recubrimientos contra la aparición de moho, algas, bacterias y hongos.

2.2.9 Resistencia química y bacteriana

Las tuberías de Polietileno tienen una gran resistencia química debido a su composición molecular, siendo débiles únicamente a agentes como los peróxidos y ácidos a alta concentración, además no se ven afectados por agua de mar y vertimientos industriales. Y la resistencia bacteriana de las tuberías de polietileno corresponde a la no formación de hongos ni laminas bacterianas.

2.2.10 Estabilidad a la intemperie

Esta característica de los tubos de PE está atacada por la exposición a los rayos ultravioleta de la luz solar y al oxígeno del aire, sin embargo cuando la composición del tubo posee un carbono de

negro de humo (para el caso de las tuberías de color negro) más un compuesto fotooxidante que contra restan la degradación frente a los estos efectos degradantes.

Este contenido de negro de humo permite mantener las tuberías almacenadas a la intemperie sin alterar las propiedades; para las tuberías con otras aplicaciones cuyos colores no incluyen el negro de humo se hace necesario tener precauciones de almacenamiento.

2.2.11 Características hidráulicas

La tubería en PE posee un coeficiente de rugosidad bajo en comparación con otros materiales, y ésta característica le permite transportar mayor caudal.

De acuerdo a la fórmula utilizada de diseño se recomienda el uso de los siguientes valores:

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

$n = 0,008$ (fórmula de Manning)

$C = 150$ (fórmula de Hazen Williams)

2.3 Productos Comerciales

A continuación se presenta la clasificación de las tuberías y accesorios existentes en el mercado mundial, que dan lugar a una gama de referencias con el propósito de suministrar alternativas tanto de instalación como de elegir las características que más se acoplen a las necesidades del diseño.

2.3.1 Tuberías para acueductos

La tubería de polietileno para transporte de agua potable se clasifica de acuerdo a su relación diámetro espesor RDE, su diámetro nominal DN y su presión nominal PN, estas características del tubo son especiales de acuerdo a la materia prima con que ha sido fabricada PE 40, PE 63, PE 80 Y PE 100.

Las siguientes tablas explican la clasificación de los tubos y están dadas a la fácil interpretación de los diseñadores a la hora de escoger la tubería que más se ajuste a las condiciones del proyecto:

	RDE	6	7,4	9	11	13,6	17	17,6	21	26	33	41
PN	PE 40		10	8	6	5	4		3,2	2,5		
	PE 63		16	12,5	10	8		6	5	4	3,2	2,5
	PE 80	25	20	16	12,5	10	8		6	5	4	3,2
	PE 100		25	20	16	12,5	10		8	6	5	4

Tabla No. 6 Clasificación de tuberías de polietileno según al RDE (Asetub,2008)

La relación de las PN con el RDE se indican en la siguiente tabla, de igual forma muestra la relación con la materia prima y el coeficiente de seguridad C (factor con el que se fabrican las tuberías con el fin de soportar sobrepresiones a lo largo de la vida útil del tubo).

C en función del tipo de PE				PN en función del parámetro RDE								
PE 40	PE 63	PE 80	PE 100	RDE 21	RDE 33	RDE 26	RDE 21	RDE 17	RDE 13,6	RDE 11	RDE 9	RDE 7,4
3,2				0,6						2,5	3,2	4,0
2,5				0,8					2,5	3,2	4,0	5,0
2,0	3,2			1,0				2,5	3,2	4,0	5,0	6,3
1,6	2,5	3,2		1,3			2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0
1,3	2,0	2,5	3,2	1,6		2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0
	1,6	2,0	2,5	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5
	1,3	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0
		1,3	1,6	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
			1,3	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0





Tabla No. 7 Clasificación de tuberías según el PN (De la Cruz, 2008)

2.3.2 Accesorios y complementos

Los accesorios en una instalación de tuberías son fundamentales ya que éstos permiten el cambio de dirección, reducción de diámetro, transiciones entre diferentes RDE (Relación Diámetro Espesor), distintos materiales y conexiones a válvulas.

Se clasifican en tres grandes grupos de acuerdo al sistema de instalación:

- Accesorios fabricados por inyección para termofusión
 - Accesorios fabricados por inyección para electrofusión
 - Accesorios Mecánicos
- a. Accesorios fabricados por inyección para termofusión

Tipo de Accesorio	Figura 3. Accesorios de termofusión		
Codos	 <p data-bbox="532 737 1110 768">Codo 30° Codo 45° Codo 90°</p>		
Tees	 <p data-bbox="532 1171 1295 1203">Tee salidas iguales Tee reducida Tee 45°</p>		
Reducciones y portaflanches	 <p data-bbox="581 1493 1149 1524">Reducción Portaflanche o Portabrida</p>		
Tapones y Válvulas	 <p data-bbox="532 1801 922 1833">Tapón Válvula</p>		

b. Accesorios fabricados por inyección para electrofusión (De la Cruz, 2008)

Tipo de Accesorio	Figura 4. Accesorios de electrofusión
Codos y Tee	 <p>Codo 30° Codo 45° Tee</p>
Reducciones	 <p>Reducción Reducción con pernos</p>
Uniones y tapones	 <p>Reducción Tapón</p>
Collarín y Transición	 <p>Collarines Transiciones</p>

c. Accesorios Mecánicos (De la Cruz, 2008)

Tipo de Accesorio	Figura 5. Accesorios Mecánicos		
Codos	 <p data-bbox="537 737 688 806">Codo a 90° Macho</p>	 <p data-bbox="948 737 1195 768">Codo Rosca Hembra</p>	 <p data-bbox="1276 737 1435 768">Codo Rosca Macho</p>
Tees	 <p data-bbox="561 1083 873 1115">Tee salida rosca hembra</p>	 <p data-bbox="1003 1083 1256 1115">Tee Salidas Iguales</p>	
Reducción, Tapón y Válvula	 <p data-bbox="537 1398 883 1430">Reducción Rosca-Hembra</p>	 <p data-bbox="932 1398 1019 1430">Tapón</p>	 <p data-bbox="1208 1398 1312 1430">Válvula</p>
Uniones	 <p data-bbox="537 1709 708 1740">Unión Rosca</p>	 <p data-bbox="818 1709 1084 1740">Unión Rosca - Brida</p>	 <p data-bbox="1140 1709 1425 1740">Unión Rosca - Macho</p>

d. Complementos

Existen otros tipos de accesorios que son utilizados en las instalación de redes de polietileno como es el caso de accesorios fabricados in situ o ensamblados de la misma tubería y de acuerdo a la necesidad del proyecto; éstos accesorios son termofundidos dando forma a tees, uniones, y codos de diferentes ángulos tal como se observa en la siguiente figura:



Figura 6. Accesorios termoensambaldos

Otros accesorios que hacen parte de la red son válvulas, bridas metálicas, uniones de transición de materiales, entre otros, mostradas en la siguiente figura:



Figura 7. Accesorios complementarios

2.4 Procesos de instalación

La construcción de sistemas de tuberías de polietileno de alta densidad cuenta con una estructura de métodos: termofusión tope – tope, termofusión socket, electrofusión y sistemas mecánicos; ésta tecnología ha avanzado en equipos más livianos, variedad de accesorios, técnicas sencillas, equipos de última gama y mayor acceso a información.

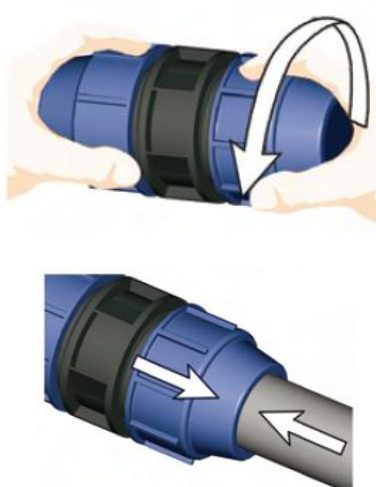
La documentación actual que se encuentra está muy ligada a normas técnicas de procedimientos de ensayos y de pruebas de evaluación a métodos de instalaciones; ésta normatividad generara confiabilidad en los constructores y proporciona soporte a los productores de estas tecnologías.

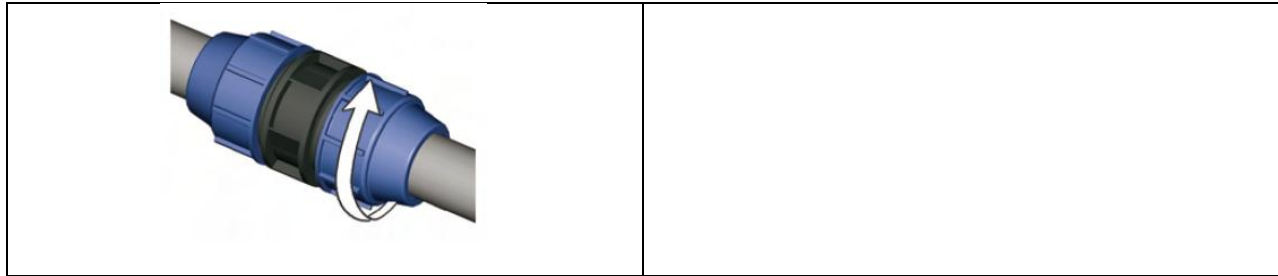
2.4.1 Instalación de tuberías a través de accesorios mecánicos.

Este procedimiento consiste en el uso de accesorios mecánicos que pueden ser roscados, atornillados con el uso de bridas metálicas y accesorios de garra de tigre.


Los accesorios roscados son de uso habitual de pequeños diámetros (hasta 110mm), pueden ser de tipo plástico o metálico, cuya restricción para este dependerá del tipo de suelo en que será instalado, y su proceso consiste básicamente en la unión de un tubo.

El siguiente procedimiento se emplea para accesorios pequeños de acometidas domiciliarias:

<p>Figura 8. Instalación de tuberías a través de accesorios mecánicos de acometidas.</p> 	<ol style="list-style-type: none"> a) Se debe cortar el tubo de forma perpendicular y realizar un chaflán conservando 1/3 del espesor. b) Soltar la tuerca del accesorio controlando una posición adecuada sin desajustar por completo el accesorio. c) Insertar el extremo del tubo sin roscar la tuerca y empujar el accesorio hasta que el tubo llegue al tope. d) Roscar manualmente la tuerca y apretar con la llave adecuada.
---	---



El siguiente procedimiento se emplea para accesorios de diámetro superior a 75mm:

<p>Figura 9. Instalación de tuberías a través de accesorios mecánicos (75mm a 110mm)</p> 	<ol style="list-style-type: none"> a) Insertar el accesorios en la tubería, y soltar talmente las partes del accesorio (la tuerca de apriete, la mordaza de tracción y el calibrador de profundidad, tal como se indica en la imagen). b) Ajustar el tubo dentro del accesorio hasta que alcance el tope. c) Trasladar el calibrador de profundidad y la mordaza de tracción empujando hasta llegar al cuerpo del accesorio. d) Apretar la tuerca primero con la mano y después con una herramienta adecuada
---	--

La instalación mediante bridas se realiza para todo diámetro desde 50mm hasta 1600mm, y es una unión práctica para accesorios especiales como válvulas, bombas e incluso entre tuberías de difícil acceso.

El procedimiento requiere de una termofusión del accesorio a la tubería simultáneamente con la instalación de la brida metálica tal como se indica en la siguiente figura:



Figura 10. Instalación mediante bridas.

Esta unión mecánica consta de una termofusión previamente realizada entre la tubería y un portaflanche con su respectiva brida metálica. Ésta terminación permite la conexión con otros extremos bridados de válvulas, transiciones con otras tuberías de distintos materiales.

2.4.2 Instalación de tuberías a través de electrofusión.

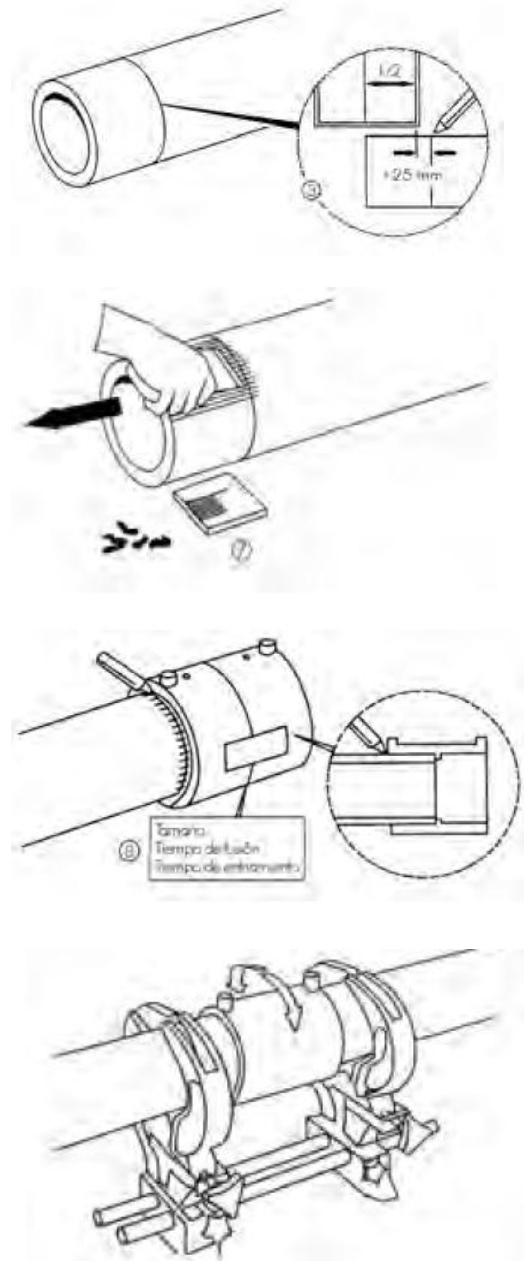
El proceso de instalación mediante electrofusión se realiza para tubos de polietileno de PE 80 o PE 100, y es llamado soldadura por electrofusión por fundir completamente los materiales a través de una corriente eléctrica de baja tensión por medio de espiras metálicas que poseen los accesorios que realizan la unión, en las cuales se genera un calentamiento que funde dichos materiales. Este procedimiento es uno de los más seguros

Como primer paso es necesario contar con los siguientes elementos antes de iniciar el procedimiento:

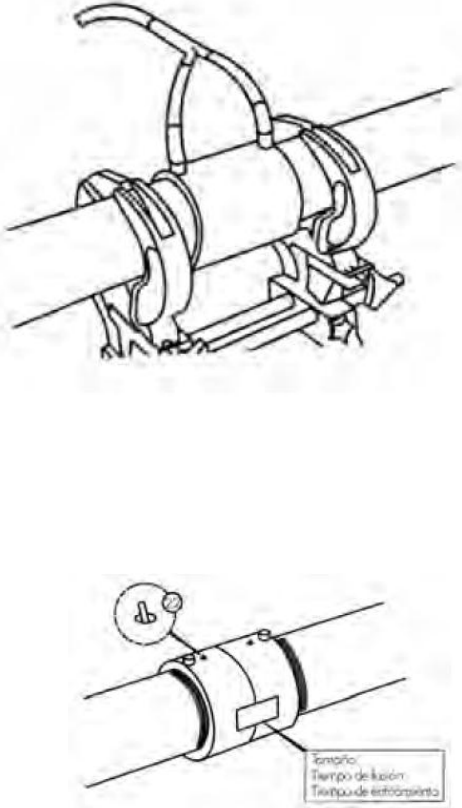
- Máquina de soldadura por electrofusión
- Alineador
- Redondador
- Rascador

El procedimiento se describe a continuación:

Figura 11. Instalación de Tuberías por el Electrofundición. (De la Cruz, 2008)



- a) Como primer paso se debe cortar la tubería perpendicularmente (este corte se puede garantizar utilizando la refrentadora).
- b) Realizar una limpieza de los tubos de acuerdo a la longitud de los accesorios, utilizando el raspador y dejándolo libre de cualquier contaminación.
- c) Se debe asegurar de que el raspado sea homogéneo alrededor de todo el diámetro y con la longitud adecuada de acuerdo a la distancia media del accesorio tal como se indica en la imagen.
- d) Marcar con exactitud la distancia a la que quedara ubicado el manguito, con el fin de controlar la longitud de penetración del tubo.
- e) Utilizar el refrentador para asegurar el ajuste de los tubos dentro del accesorio.
- f) Asegurarse de que la salida de voltaje a la que se va a conectar la máquina de electrofundición posea el voltaje y frecuencia adecuada.
- g) Retirar los tapes que protegen los terminales del manguito.
- h) Conectar los cables a los terminales del manguito.
- i) Corroborar el tiempo de fusión al que estará conectado el accesorio y proceder a programar el equipo o lectura del código de barras del accesorio con el fin de almacenar los datos de procedimiento.

	<p>j) Oprimir el botón de inicio de la máquina y esperar que se cumplan los tiempos de electrofusión de acuerdo las tablas de los diámetros y presión nominal de la tubería.</p> <p>k) Una vez finalizado el trabajo de la máquina de electrofusión retirar los terminales y dejar enfriar sin mover el accesorio. Posteriormente retirar del carro alineador.</p> <p>l) Inspeccionar visualmente la unión y comprobar que han salido los testigos de fusión.</p>
--	---

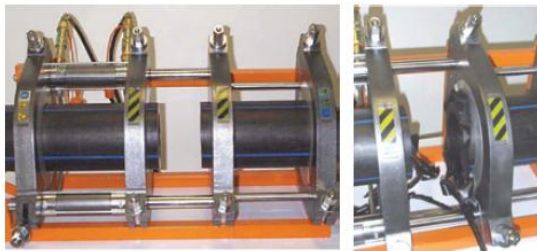
2.4.3 Instalación de tuberías a través de termofusión.

Este procedimiento de instalación se utiliza para unir tuberías de polietileno de PE 80 Y PE 100, para espesores de pared superiores a 3mm y tuberías de diámetro superior a 75mm.

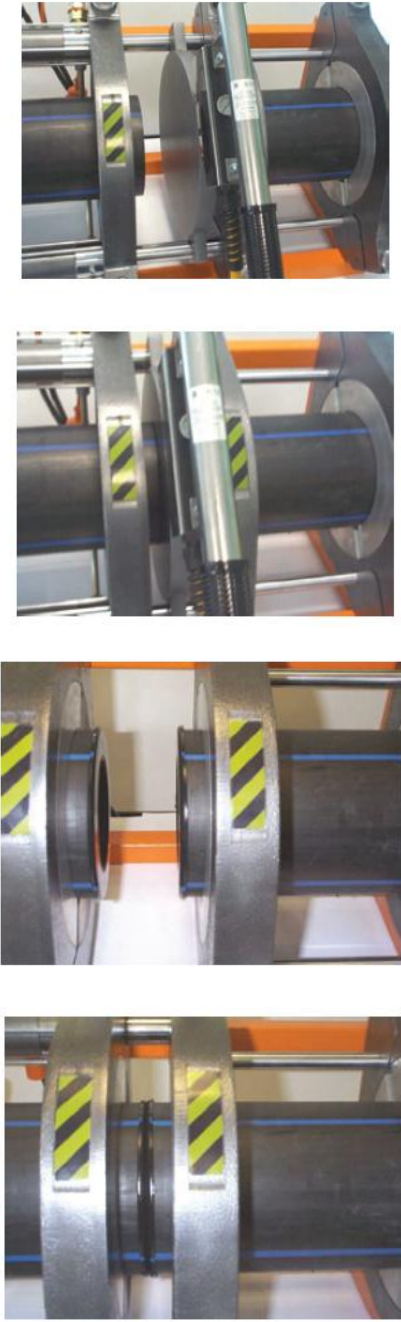
Es necesario contar con los siguientes elementos para proceder a la instalación:

- Mordazas adecuadas al diámetro a soldar.
- Refrentador.
- Placa calefactora eléctrica.
- Fuente de energía (red o grupo electrógeno)

Figura 12. Instalación de tuberías a través de Termofusión. (De la Cruz, 2008)



- a) Listar todos los elementos necesarios protegidos de la humedad.
- b) Colocar los tubos en el carro alineador y proceder con el refrentador a emparejar los extremos de los tubos.
- c) Inspeccionar la homogeneidad de los extremos sin superar un 10% de desalineación, esto se logra con el equipo refrentador y la corro alineador.
- d) Verificar la presión de arrastre del equipo hidráulico y calcular la presión que se debe aplicar para formar el reborde, P_1 (presión de soldadura tabulada más presión de arrastre).
- e) Comprobar que la placa calentadora se encuentre en perfecto estado de teflonado y comprobar la temperatura de $210\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.

	<p>f) Poner la placa calentadora en medio de los tubos y proceder a colocar la presión P_1 calculada. Calcular $P_2 = 10\% P_1$. Una vez formado el primer reborde reducir la presión a P_2 y pasado el tiempo de calentamiento establecido por tabla T2 se procede a retirar la placa.</p> <p>g) Enfrentar los extremos de los tubos un tiempo máximo de T3 y aumentar progresivamente la presión desde 0 hasta alcanzar P_1 durante un tiempo T4 y mantenerla durante un tiempo T5</p> <p>h) Dejar enfriar la soldadura en esta posición. Pasado el tiempo de enfriamiento, aflojar las abrazaderas y retirar la máquina.</p>
--	---

El anterior procedimiento se debe controlar de acuerdo a los diámetros y presiones nominales establecidas en tablas que son suministradas por los fabricantes de los equipos, estas fases corresponden al siguiente diagrama:

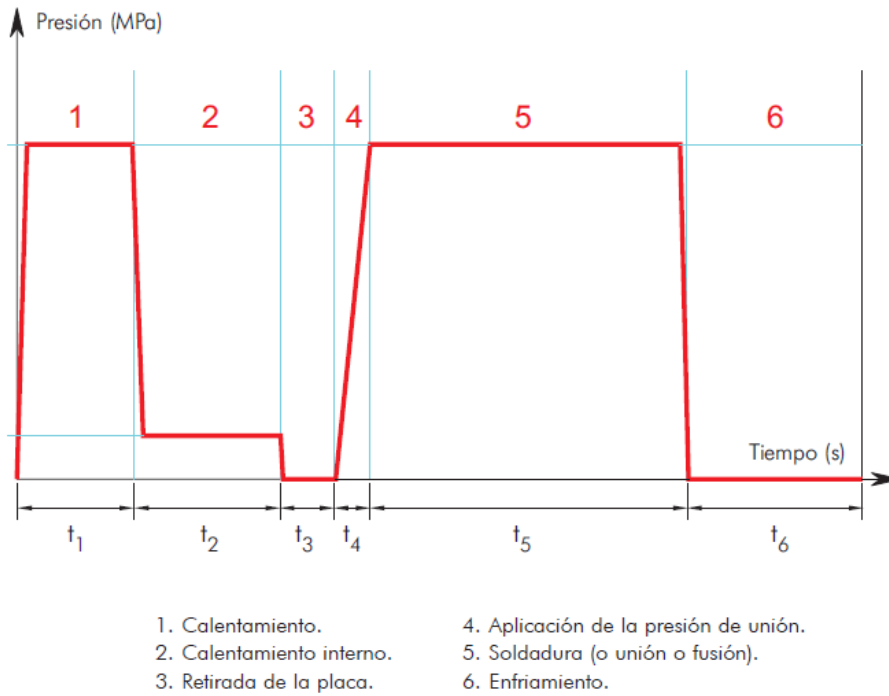


Figura 13. Proceso de Soldadura a Tope. (De la Cruz, 2008)

3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS FRENTE A OTROS SISTEMAS DE INSTALACIÓN

De acuerdo a las características propias del material expuestas anteriormente se desarrolla una serie de ventajas y desventajas de las tuberías de Polietileno frente a otros materiales tal como se ilustra en la siguiente tabla:

Propiedad	PE (Negra)	PVC	PP	HORMIGON	HIERRO DUCTIL	ACERO
Fabricación	extrusión	extrusión	extrusión	Vaciado en seco/ empaquetado / premezclado	fundición	fundición
Almacenamiento	Intemperie	Cubierta	Intemperie	Intemperie	Cubierta	Cubierta
Máx. Temperatura	45°	50°	70°	95°	90°	
Módulo de Elasticidad (N/mm²) Corto Plazo	800 a 1100	3000	1200 a 1800	2 x 10 ⁴ a 4 x 10 ⁴	1,7 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁵
Módulo de Elasticidad (N/mm²) Largo plazo	130 a 160	1750	450 a 460	2 x 10 ⁴ a 4 x 10 ⁴	1,7 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁵
Alargamiento a la rotura	> 350	≥ 80	-	-	5 a 10	10 a 24
Densidad (g/cm³)	0,93 a 0,96	1,35 a 1,46	-	2,3	7,15	7,85
Coefficiente de Rugosidad	150	150	-	128	130	130
Fácil transporte	Si	Si	Si	No	No	No
Fácil montaje	Si	Si	Si	No	No	No
Resistencia a suelos y agentes agresivos	Alto	Alto	Alto	Medio	Bajo	Bajo
Sedimentos	Nulo	Nulo	Nulo	-	-	-
Incrustaciones	No	-	-	-	-	-
Costos de Mantenimiento	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto
Sistemas de unión	Termofusión Electrofusión Mecánico	Espigo- Campana	Termofusión Electrofusión	-	-	-

Tabla No. 8 Comparativo con otros materiales

4 METODOLOGIA PARA ANALISIS Y REDUCCION DE RIESGOS EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE TUBERIAS EN POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD EN REDES DE ACUEDUCTO.

La metodología empleada se basa en la técnica Hazop – Hazan (Trevor, 2009), utilizada para cuantificar los riesgos de acuerdo a los eventos que intervinieron durante la instalación del proyecto.

Pasos:

- a. Selección de todos los posibles eventos que tengan mayor influencia o el mayor porcentaje de riesgo:

Los eventos se determinarán de acuerdo a los riesgos hallados tanto para las tuberías como los riesgos operacionales y tomando los de mayor impacto para todo el sistema de instalación.

- b. Cuantificación de la probabilidad que se produzca de cada evento.
La probabilidad de ocurrencia está dada por:

$$P = H \times V$$

Donde:

P = Probabilidad de Ocurrencia de la Situación de Riesgo

H = Probabilidad de Ocurrencia del Evento Independiente (es la probabilidad de ocurrencia de un evento sin considerar la sucesión de eventos que pueda generar). Para su hallazgo se hace necesario conocer información sobre los fenómenos que afecten el proyecto.

V = Factor de Vulnerabilidad (es la capacidad de respuesta de la estructura involucrada; este factor no mide la magnitud ni sus consecuencias).

Para efectos de cálculo se estima una escala de 1 a 5 para el factor de vulnerabilidad; ésta escala está dada por la máxima o mínima vulnerabilidad del sistema respectivamente.

De igual forma se define una escala para el valor de probabilidad de ocurrencia en la escala de 1 a 100.

- c. Estimación de las consecuencias de cada evento riesgoso después de producirse.

Las consecuencias de los eventos simbolizan la gravedad provocada, en éste análisis se enfoca en 4 clases de consecuencias que son: el impacto al medio ambiente, a la intranquilidad de la gente, las consecuencias legales y el impacto a la salud.

- d. Clasificación de los riesgos en alto, moderado y bajo de acuerdo a la combinación de consecuencia y probabilidad.

Los riesgos se podrán clasificar de acuerdo al resultado de la probabilidad de ocurrencia: altos, moderados y bajos.

Consecuencia	CATEGORÍA DE PROBABILIDAD				
	A	B	C	D	E
I	H	H	H	M	M
II	H	H	M	M	M
III	H	M	L	L	L
IV	M	L	L	L	L

Tabla No. 9 Probabilidad de ocurrencia de una situación de riesgo.

Donde:

- Alto (H) Eventos con una alta probabilidad de ocurrencia y alta consecuencia, y para los cuales se adoptarán medidas mitigantes para el diseño y construcción del sistema.
- Moderado (M) Eventos en el rango medio de probabilidad de ocurrencia y consecuencia, y para los cuales se adoptarán medidas mitigantes para disminuir el perfil del riesgo.
- Bajo (L) Eventos con una baja hasta moderada probabilidad de ocurrencia y consecuencia, para los cuales no son necesarias acciones en este momento.

- e. Definición de planes de acción para disminuir la posibilidad de ocurrencia.

Posteriormente a realizar una evaluación de los riesgos se procede a realizar un plan de acción con el fin de mejorar los controles de riesgos y sobre todo presentar buenas prácticas de lo anteriormente citado con el fin de que se apliquen durante los procedimientos.

Las medidas de acción deben tener en cuenta que originan los riesgos, mejorar las condiciones del trabajador frente a las situaciones de riesgo, preparación correcta de los trabajadores que operan y manipulan equipos de instalación y atenuar las prácticas repetitivas con el fin de reducir efectos en la salud.

5 DETERMINACION DE RIESGOS EN LA TUBERIA DE PE INSTALADA EN SAN PEDRO DE LOS MILAGROS - ANTIOQUIA

5.1 Propiedades del caso a evaluar

El siguiente análisis se desarrollará para el caso puntual de una red de acueducto instalada en San Pedro de Los Milagros en el Departamento de Antioquia – Colombia.



Figura 14. Localización caso de análisis: San Pedro de los Milagros

La red de acueducto en análisis trata de la línea de aducción de agua cruda desde la obra de captación de un efluente del Río Cauca hasta la planta de tratamiento de la Empresa de Servicios Públicos del Municipio, compuesta por tubería, accesorios y demás elementos de la Red. La tipología del terreno es ondulada y escarpada por lo que durante la instalación se atravesó por cambios bruscos de pendiente y accesos difíciles, a continuación se describen las características principales del sistema:

Ítem	Descripción
Tipo de Tubería	Polietileno de alta densidad (PEAD) PE 100 RDE 17 PN 10 bares
Longitud	2.5 km
Diámetro	315mm (14")
Proceso de Instalación	Termofusión
Accesorios	Portaflanches y bridas para los empalmes a válvulas
Terreno	Escarpado
Duración	3 Meses
Personal	Ingeniero Residente (1) - Cuadrilla (2x4) Asesor Técnico de Termofusión (1)

Tabla No. 10 Características del caso en análisis

Los siguientes apartes enfocarán principalmente a la evaluación de riesgos en los que las tuberías y el personal de operación pueden estar expuestos ante posibles escenarios en los que se instaló la red de acueducto. Lo anterior con el fin de identificar daños y reducir los riesgos que representan pérdidas económicas y humanas de las partes involucradas, iniciando con la evaluación de los riesgos del proceso de instalación que permitirán identificar los riesgos del área operacional.

5.2 Registro fotográfico



Figura 15. Registro fotográfico de instalación



Figura 16. Registro fotográfico de instalación



Figura 17. Registro fotográfico de instalación

5.3 Evaluación de Riesgo de la Tubería

En referencia a la instalación de los sistemas de tuberías se ha identificado riesgos que han complementado los procesos constructivos a través de manuales que estandarizan los pasos con el único objetivo de que éstos no ocurran.

A continuación se enuncian los riesgos de tubería identificados durante la instalación a los que estuvieron expuestos en la aducción de San Pedro de los Milagros:

a. Daños Mecánico:

Éste daño se presenta cuando las tuberías han sido sometidas mecánicamente a un esfuerzo que sobrepasa las características de la materia prima. El polietileno a pesar de estar compuesto de un material viscoelástico que le permite deformarse frente a distintas cargas a las que podría exponerse y recuperarse. Si la carga a la que ha sido sometida sobrepasa sus características mecánicas saldrá de su rango elástico y convertirá el daño en permanente o irreversible. Por ejemplo un golpe producido por maquinaria pesada durante excavación o una sobrepresión por mala escogencia del RDE (Relación Diámetro Espesor) de la tubería.

b. Daño Químico:

Cuando las tuberías han sido expuestas a condiciones de terreno contaminadas con derivados de petróleo, se corre gran riesgo de corrosión. Por lo demás como suelos ácidos con bajo nivel de PH o altos contenidos de sulfatos no presenta daños en su estructura externa.

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento de las tuberías PEAD frente a distintas sustancias químicas:

		Comportamiento	
		PE 40	PE 80 PE 100
Medio	Ácido sulfúrico 50%	S	S
	Ácido sulfúrico 98%	L	S
	Ácido fosfórico 50%	S	S
	Ácido nítrico 25%	S	S
	Ácido clorhídrico 30%	S	S
	Cianuro de cobre (II)	S	S
	Ácido fórmico 50%	S	S
	Sosa cáustica 40%	S	S
	Zumo de naranja	S	S
	Acetona	L	L
	Benceno	NS	L

(S: Resistencia satisfactoria; L: Resistencia limitada;
 NS: Resistencia no satisfactoria)

Tabla No. 11 Comportamiento de las Tuberías de Polietileno frente a sustancias químicas.

c. Daño por condiciones ambientales:

Cuando la tubería ha sido expuesta a la intemperie y se ve enfrentada a los cambios de temperatura y es expuesta directamente a los rayos ultra violeta y al oxígeno del aire.

d. Pérdida de estabilidad en el terreno:

Cuando el terreno en el que ha sido instalada la tubería se ve sometida a movimiento telúricos, inundaciones y deslizamientos. En este caso las tuberías instaladas con accesorios mecánicos son las más expuestas a estos daños a comparación de los sistemas por termofusión o electrofusión explicados en el capítulo 2.2.

e. Daño por materia prima y proceso de extrusión de las tuberías:

Cuando las tuberías son extruidas bajo procesos sin control de calidad de materia prima y de producto terminado.

f. Daño intencional:

Este daño ocurre cuando terceras personas ajenas a las obras de instalación u operación de las tuberías las afectan directamente mediante golpes, perforaciones, derivaciones y otros.

5.4 Evaluación de Riesgo Operacional

La siguiente determinación de riesgos está basada en el análisis de los procesos constructivos y los posibles eventos que se pudieron dar afectando la vida de los seres humanos y el medio ambiente.

- a. Inadecuada elaboración de diseños: ocurre cuando los proyectos son contemplados desde su inicio erróneamente, sin cálculos ni planos correctos y posteriores errores durante la construcción por la falta de detalles.
- b. Falta de preparación del operador durante la instalación: esto ocurre cuando no ha recibido una adecuada capacitación de manipulación de los equipos de termofusión y de electrofusión.
- c. Destreza del operador: cuando las redes han sido instaladas y durante su operación requiere de un mantenimiento el cual no es aún aprendido o instruido por una persona conocedora.
- d. Falta de conocimiento de los materiales: este caso ocurre cuando el operario no posee la suficiente comprensión de lo materia prima con que fueron fabricados los accesorios y tuberías.
- e. Fenómenos naturales: movimientos de tierra por deslizamientos que colocan en peligro la vida de los seres humanos y éstos pueden ocurrir durante la instalación y operación de los sistemas.

5.5 Eventos de Mayor Influencia

Los siguientes eventos se obtuvieron de la observación del terreno y las características propias del caso en análisis:

EVENTOS	
1	Daño mecánico en tubería sobrepasar los radios de curvatura máxima.
2	Defectos en fabricación de las tuberías por bajo control de calidad.
3	Falla geológica del Terreno.
4	Intervención de terceros por golpes, derivaciones y ralladuras.
5	Lluvias que afectan las condiciones de humedad de las tuberías para las termofusiones.
6	Fallas de diseño en niveles de profundidad que no corresponden a la topografía real del terreno.
7	Fallas operacionales por falta de adiestramiento en manipulación de equipos.

Tabla No. 12 Eventos de Mayor Influencia

5.6 Cuantificación de la Probabilidad

Esta calificación permite evaluar los riesgos a los que el proyectos se sometió durante su instalación:

Categoría de Probabilidad	Definición Cualitativa	Definición Cuantitativa
A	Existe una alta probabilidad de ocurrencia del evento durante la vida útil del proyecto.	> 10%, importante
B	El evento podría producirse esporádicamente. Podría haber eventos aislados.	5%-10%, significativo
C	Existe una razonable probabilidad de que se produzca el evento en algún punto.	1%-5%, moderado
D	Es poco probable que se produzca el evento en algún punto.	0,1-1,0%, bajo
E	Es casi imposible que se produzca el evento	< 0,1%, insignificante

Tabla No. 13 Definición Cualitativa y Cuantitativa de las Probabilidades

EVENTOS		PROBABILIDAD
1	Daño mecánico en tubería sobrepasar los radios de curvatura máxima.	D
2	Defectos en fabricación de las tuberías por bajo control de calidad.	E
3	Falla geológica del Terreno.	D
4	Intervención de terceros por golpes, derivaciones y ralladuras.	B
5	Lluvias que afectan las condiciones de humedad de las tuberías para las termofusiones.	B
6	Fallas de diseño en niveles de profundidad que no corresponden a la topografía real del terreno.	D
7	Fallas operacionales por falta de adiestramiento en manipulación de equipos.	D

Tabla No. 14 Probabilidad de Ocurrencia de los Eventos

5.7 Cuantificación de la Vulnerabilidad

Los valores asignados a cada evento son el resultado de una evaluación donde la escala de 1 a 5 corresponde a máxima y mínimo factor de vulnerabilidad, para efecto del caso en análisis se estimaron valores dados por la experiencia del equipo técnico del proyecto:

EVENTOS		FACTOR DE VULNERABILIDAD
1	Daño mecánico en tubería sobrepasar los radios de curvatura máxima.	4
2	Defectos en fabricación de las tuberías por bajo control de calidad.	5
3	Falla geológica del Terreno.	3
4	Intervención de terceros por golpes, derivaciones y ralladuras.	3
5	Lluvias que afectan las condiciones de humedad de las tuberías para las termofusiones.	3
6	Fallas de diseño en niveles de profundidad que no corresponden a la topografía real del terreno.	1
7	Fallas operacionales por falta de adiestramiento en manipulación de equipos.	1

Tabla No.15 Cuantificación de la Vulnerabilidad de cada Evento

5.8 Estimación de consecuencias

Consecuencia Evento	Impacto al medio ambiente	Tranquilidad de la gente	Consecuencias Legales	Impacto a la salud
Daño Mecánico en Tubería	Si	Si	Si	No
Defectos en fabricación de las tuberías	No	Si	Si	Si
Falla geológica del Terreno	Si	Si	Si	No
Intervención de Terceros	No	Si	Si	Si
Lluvias	No	Si	No	No
Fallas de Diseño	Si	Si	Si	No
Fallas operacionales por falta de adiestramiento en manipulación de equipos	No	No	No	Si

Tabla No. 16 Estimación de consecuencias

5.9 Clasificación de los Riesgos

De cada evento evaluado se procede a determinar el riesgo y clasificarlo de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia así:

Evento	Riesgo
Daño mecánico en tubería sobrepasar los radios de curvatura máxima.	Daño permanente e irreversible en la tubería, posible punto de falla y rotura.
Defectos en fabricación de las tuberías por bajo control de calidad.	Rotura por presión mayor a la de diseño de la tubería.
Falla geológica del Terreno.	Elongación de la tubería.
Intervención de terceros por golpes, derivaciones y ralladuras.	Fugas en el Sistema
Lluvias que afectan las condiciones de humedad de las tuberías para las termofusiones.	Defectuosa termofusión.
Fallas de diseño en niveles de profundidad que no corresponden a la topografía real del terreno.	Rotura por capacidad de presión.
Fallas operacionales por falta de adiestramiento en manipulación de equipos.	Lesiones en el operador (quemaduras)/ errada instalación.

Tabla No. 17 Determinación de riesgos

Riesgo	Categoría de Probabilidad
Daño permanente e irreversible en la tubería, posible punto de falla y rotura.	L
Rotura por presión mayor a la de diseño de la tubería.	L
Elongación de la tubería.	H
Fugas en el Sistema	M
Defectuosa termofusión.	M
Rotura por capacidad de presión.	H
Lesiones en el operador (quemaduras)/ errada instalación.	H

Tabla No. 18 Clasificación de riesgos de acuerdo a la probabilidad

- Alto (H) Eventos con una alta probabilidad de ocurrencia y alta consecuencia, y para los cuales se adoptarán medidas mitigantes para el diseño y construcción del sistema.
- Moderado (M) Eventos en el rango medio de probabilidad de ocurrencia y consecuencia, y para los cuales se adoptarán medidas mitigantes para disminuir el perfil del riesgo.
- Bajo (L) Eventos con una baja hasta moderada probabilidad de ocurrencia y consecuencia, para los cuales no son necesarias acciones en este momento.

5.10 Planes de acción para el caso en estudio

Para este caso específico de San Pedro de los milagros se presentaron varios factores que fueron de gran impacto y que a pesar de existir eventos que podrían generar riesgos, estos se controlaron de forma adecuada.

Para evitar los daños mecánicos fue de gran utilidad la capacitación que otorgó el proveedor de la tubería, facilitando información del material: su instalación, los anchos de zanja recomendados, profundidades y demás aspectos técnicos que fueron aplicados y generaron practicidad durante la instalación.

Otro aspecto relevante es que durante la instalación y las pruebas hidrostáticas no se sufrió de ninguna sobrepresión que pudiera sobrepasar las presiones nominales de las tuberías escogidas por el diseñador.

La elongación de la tubería se presentó en varios tramos a lo largo de todo el proyecto sin embargo éste no sobrepaso los límites, permitiendo una instalación que se adaptara al terreno, esto fue acorde con tipo de material pues ningún otro tiene esta capacidad de instalarse en la intemperie y acomodarse a la topografía tal como si lo consiguió el polietileno.

La inducción adecuada acerca de la operación de los equipos fue primordial al momento de realizar las termofusiones, además de evitar cualquier evento de lluvia bajo protección de las tuberías, el equipo y el operador. Por lo anterior se recomienda el uso constante de capacitaciones.

Para las zonas de deslizamientos se identificarán y se prestará mayor atención en una futura inspección y en lo necesario se reforzará el terreno suministrando mayor soporte estructural al terreno.

6 *NORMAS TÉCNICAS*

Existen normas internacionales que se han ajustado a cada país de acuerdo a sus necesidades y aplicables a tuberías, accesorios, procedimientos de fabricación, procedimientos de instalación entre otros.

- ISO 4427: 1996 / NTC 4585, Tubos de Polietileno para distribución de agua. Especificaciones Técnicas:

Esta norma específica las propiedades exigidas a los tubos fabricados en polietileno (PE) usadas para redes de distribución, suministro de agua y acometidas exteriores e interiores de las edificaciones, además especifica algunas propiedades generales del material de fabricación de los tubos e incluye una clasificación.

- NTC 3742, Práctica normalizada para instalación subterránea de tubos termoplásticos de presión:

Esta norma comprende procedimientos y especificaciones para instalaciones subterráneas de tuberías termoplásticas, dependiendo al detalle procedimientos según el material, el tamaño, espesor de las paredes, tipo de suelo y uso.

- Resolución Número 1166 del 20 de Junio de 2006

Esta resolución señala los requisitos técnicos que deben cumplir los tubos de acueducto, alcantarillado, los de uso sanitario y los de aguas lluvias y sus accesorios que adquieran las personas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado.

- ASTM F2164:2002/ NTC 5560, Método de ensayo para la detención de fugas en campo de sistemas de tuberías a presión de polietileno usando presión hidrostática:

Esta norma presenta un procedimiento del ensayo para obtención de fugas, información sobre los aparatos o instrumentos a utilizar, la seguridad, la preparación y puesta en marcha. El fin del ensayo es descubrir y corregir las fugas que se presenten antes de que el sistema opere.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a. Es necesario la escogencia adecuada del RDE y PN de las tuberías durante el diseño de la red, ya que ésta debe soportar sobrepresiones superiores a las de flujo normal, es decir que hayan sido fabricadas con factores de seguridad que admitan un rango de seguridad durante su operación que no afecte la vida útil de la misma.
- b. Es importante conocer el terreno en el que se va a instalar el proyecto, definir una correcta ruta o trazado adecuado que no involucre terrenos de posible eventos naturales o siniestros.
- c. Capacitación de los operadores con respecto a materiales a utilizar durante las obras hace parte fundamental de la instalación de la tubería de polietileno.
- d. Es necesario contar con programas de seguridad que contribuyan a los correctos procedimientos de las instalaciones de las tuberías.
- e. Acertar en el tipo de material que se emplee en el diseño es pieza clave durante la construcción facilitando la instalación y demás programación de la obra.
- f. Se conoció y se profundizó en los procesos constructivos de las tuberías de polietileno.
- g. Se identificaron riesgos en la instalación de la tubería de polietileno en el proyecto de la línea de aducción de San Pedro de Los Milagros en Antioquia.
- h. Se identificaron los eventos más vulnerables a los que está expuesta la tubería de polietileno en el caso específico de análisis.
- i. Se conocieron las propiedades de las tuberías de polietileno frente a otros materiales.
- j. Para el caso en análisis de la instalación de la aducción de San Pedro de los Milagros se identificaron que los riesgos que generan mayor impacto son la elongación de la tubería y la maniobra de los operadores.
- k. Los eventos de menor riesgo identificados fueron los daños mecánicos y fallas por fabricación de la tubería.
- l. Se afianzó el conocimiento de las prácticas de la instalación de las tuberías, fortaleciendo las bases del ejercicio profesional en asesoría técnica de instalación de tuberías en polietileno.

8 BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACION ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE TUBOS Y ACCESORIOS PLASTICOS, Las Tuberías Plásticas y el Desarrollo Sostenible. Informe Técnico. Madrid: Asetub, 2009. 12p.
- ASOCIACION ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE TUBOS Y ACCESORIOS PLASTICOS, PVC y el Agua, Sistema de Tuberías de PVC. Manual Técnico. Madrid: Asetub, 2009. 6p.
- ASOCIACION ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE TUBOS Y ACCESORIOS PLASTICOS, Soldadura térmica en tuberías de Polietileno. Informe Técnico. Madrid: Asetub, 2010. 39p.
- BALIRÓN, Luis. Tuberías de Polietileno. Manual Técnico. Madrid: Asetub, 2008. 402p.
- DE LA CRUZ, Mónica. Manual de Instalación de Tuberías Plásticas. Madrid: Asetub, 2010. 460p.
- OFICINA NACIONAL DE FORMALIZACION, Seguridad y Salud en el Trabajo. Seguridad de la Maquinas. Principios para la Evaluación de Riesgos. ISO 14121. Cuba. NC 2002. 27p.
- TREVOR A., Kletz. Identifying and Assessing Process Industry Hazards, Tercera Edición, Hardcover, 2009. 389p.