

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO DE
MEDIA DENSIDAD SOMETIDA AL MECANISMO DE PRENSADO**

EDGARDO MARIO VERGARA MONTES

RICARDO JOSE SIERRA POLANCO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA DE INDIAS, D.T. Y C.

2004

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO DE
MEDIA DENSIDAD SOMETIDA AL MECANISMO DE PRENSADO**

EDGARDO MARIO VERGARA MONTES

RICARDO JOSE SIERRA POLANCO

**Monografía de grado para otorgar el título de
ingeniero mecánico**

Asesor

CARLOS ANDRES RODRÍGUEZ GIRALDO

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA DE INDIAS, D.T. Y C.

2004

ARTICULO 107

La institución se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D. T. Y C.

Yo Edgardo Mario Vergara Montes identificado con cedula de ciudadanía número 92258758 de Sampúes Sucre autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catalogo on line de la biblioteca.

Edgardo Mario Vergara Montes.
C .C. # 92258758 de Sampúes Sucre

Nota de aceptación

presidente del jurado

jurado

jurado

Cartagena de indias, 28 de Mayo de 2004.

Cartagena de Indias, 28 de Mayo de 2004.

Señores

**COMITÉ CURRICULAR DE EVALUACIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

Ciudad

Apreciados señores:

Nos permitimos informarles que la monografía titulada **“evaluación del desempeño de la tubería de polietileno de media densidad sometida al mecanismo de prensado”** fue desarrollada de acuerdo a los objetivos establecidos. Como autores del proyecto consideramos que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

Edgardo Mario Vergara Montes
CC. 92258758 de Sampúes

Ricardo José Sierra Polanco
CC. 6797905 de Guaranda

AGRADECIMIENTOS

Toda la vida estaré agradecido con DIOS por todas las bendiciones recibidas.

A mis padres y hermana por la perseverancia, la fe, y el ejemplo de superación.

A la mujer que me inspira a seguir adelante y los Ángeles que me cuidan y apoyan.

A todos los profesores que tuve el placer de aprenderle parte de lo que soy.

A Surtigas S.A. E.S.P. por brindarme el apoyo y el conocimiento para realizar la investigación.

A las personas que me rodean en mi trabajo, por que con ellos convivo y aprendo muchas cosas para afrontar la vida.

A todas las personas que realmente me aprecian y quieren que sea un gran INGENIERO MECANICO.

EDGARDO MARIO VERGARA MONTES.

AGRADECIMIENTOS

Al creador por darme paciencia y sabiduría para afrontar mis problemas.

A la bondad, cariño y esfuerzo de mis padres la confianza de mis hermanas, el apoyo de mi esposa.

A mi hijo, lo que me motivó e inspiró a culminar mis estudios y poder brindarle todos mis afectos y conocimientos confiando en un futuro brillante.

RICARDO JOSE SIERRA POLANCO.

RESUMEN

TUTULO: Evaluación del desempeño de la tubería de polietileno de media densidad sometida al mecanismo de prensado.

AUTORES: Edgardo Mario Vergara Montes

Ricardo José Sierra Polanco

OBJETIVO: plasmar en un documento el proceso de obtención del polietileno, el proceso de fabricación de tubos de polietileno, la técnica de prensado de los tubos de polietileno y realizar conclusiones y recomendaciones acerca de la manipulación de la tubería de media densidad en el proceso de prensado.

METODOLOGÍA: se realizó una minuciosa investigación de los diferentes documentos y fuentes a los que se obtuvo acceso, catálogos e informes de investigación de proveedores de tubos, literatura técnica especializada, libros y páginas en Internet. Se recopiló y procesó la información más importante y que no estuviese repetida, se seleccionó y organizó de la manera más clara posible, obteniendo toda esta literatura en el presente documento, se realizaron ensayos en laboratorios, para luego estudiarlos y emitir juicios finales.

RESULTADOS: se obtuvo un documento que contiene una práctica y completa información sobre las características principales de el polietileno de media densidad y las técnicas de prensado. En forma adicional se dieron algunas recomendaciones a tener en cuenta para el procedimiento de prensado de tubería de polietileno.

ASESOR: Carlos Andrés Rodríguez Giraldo
Ingeniero químico.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades químicas del polietileno	31
Tabla 2. Dimensiones de los tubos de prensado	51
Tabla 3. Resultado de los ensayos	62

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	17
1.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
2. POLIETILENO (PE) MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA.	18
2.1 OBTENCION DEL POLIETILENO	18
2.2 TIPOS DE POLIETILENO	25
2.3 ESTRUCTURA DEL POLIETILENO. PESO MOLECULAR Y SU DISTRIBUCIÓN	27
2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS	29
2.5 EL PE EN LAS CANALIZACIONES DEGAS	34
2.6 IMPERMEABILIDAD	35
2.7 PROPIEDADES MECANICAS DE LA TUBERIA DE POLIETILENO	35
2.8 DURABILIDAD DE LOS TUBOS	43
2.9 DIMENSIONES	44
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ESTRANGULAMIENTO	45
3.1 INTRODUCCION	45
3.2 CALCULO DE LA TASA DE ESTRANGULAMIENTO	47
3.3 CALCULO DE LA FLUENCIA DEL MATERIAL	48
3.4 HERRAMIENTA DE ESTRANGULAMIENTO	49

3.4.1	CONFIGURACION DE LAS BARRAS DE ESTRANGULAMIENTO	50
3.4.2	MECANISMOS DE FUERZA	51
3.4.3	PROTECCION CONTRA ESTRANGULACIÓN EXCESIVA	51
3.4.4	PROCEDIMIENTO DE PRENSADO	54
4.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	56
5.	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	57
6.	ENSAYO A REALIZAR EN EL LABORATORIO	59
7.	DESCRIPCION DEL ENSAYO	60
8.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	62
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65

INTRODUCCIÓN

Por mas de 20 años el estrangulamiento de la tubería de gas natural ha sido utilizado para realizar mantenimiento en las redes de distribución y para cortar momentáneamente el flujo en casos de emergencias.

El estrangulamiento es una técnica utilizada para controlar el flujo de gas dentro de un tubo, por medio de la compresión ejercida por un dispositivo mecánico o hidráulico. Se puede utilizar para disminuir el flujo de gas a una tasa aceptable y bajo ciertas circunstancias se puede obtener el cese total del flujo de gas.

Si se emplean practicas apropiadas de estrangulamiento, se obtienen como resultados ahorros de tiempo significativos para la reducción del flujo de gas cuando se presente una urgencia en un sistema de distribución de gas, así como durante el mantenimiento u operación del sistema, o en ambos casos. Si se emplean practicas inapropiadas de estrangulamiento, se pueden ocasionar daños al tubo, o provocar riesgo para la seguridad, o ambos.

De acuerdo con las regulaciones para prevención de accidentes (VGB 50), este procedimiento es aceptado para el corte de flujo provisional.

La aplicación de este procedimiento fue basado en la experiencia realizada en la practica así como en ciertas pruebas adicionales echas a la mayoría de ellas por empresas de servicios públicos.

Surtigas S.A. E.S.P. instaló la primera tubería de polietileno en la red de distribución de gas natural de Cartagena en 1980, y a la fecha, se han enterrado más de 2'500.000 metros lineales en esta ciudad. Para aquella época, la experiencia a nivel nacional en el uso del polietileno de media densidad, MDPE, era casi nula, y a nivel internacional, se llevaba con él un poco más de 10 años, por lo que no había estudios contundentes que predijeran adecuadamente la vida útil y el comportamiento futuro de este material para la aplicación de distribución.

Recientemente en Inglaterra se han desarrollado investigaciones¹ sobre la variación de las propiedades del MDPE en el tiempo, concluyéndose que para el tipo de resina particular utilizada, la calidad de instalación, las condiciones operativas y ambientales específicas del área de estudio, no se detectaron deterioros significativos del MDPE recogido después de 24 años de servicio, confirmándose que las propiedades del material y su desempeño son muy similares a las de las instalaciones recientes. Igualmente existen estimaciones

técnicas que aseguran una vida útil de los plásticos superior a 50 años, debido a su muy baja biodegradabilidad.

Sin embargo, a pesar de lo satisfactorio del mencionado estudio, las condiciones particulares en las cuales se ha desarrollado la instalación de las redes en Cartagena, como son, la utilización de diferentes tipos de resinas durante los primeros años de la construcción de las redes, la escasa formación de los primeros instaladores, los recientes registros de las fallas de la tubería de MDPE, en especial de las pegas, y la acción agresiva del medio ambiente, obligan a la necesidad de revisar, de manera predictiva y preventiva, la confiabilidad a mediano y largo plazo de la red de polietileno, mediante la evaluación de las principales propiedades físico-mecánicas de muestras de diferente edad o fecha de instalación y posterior comparación con las especificadas por las normas técnicas para el material.

El presente informe busca dar respuesta al comportamiento de la tubería que presenta las edades mencionadas anteriormente cuando es sometida al mecanismo de prensado.

Este informe trata acerca del estrangulamiento de tubos de diferentes dimensiones hechos de PE 80.

Después de haber aplastado los tubos a una tasa de 0.7, Se ha determinado que hasta espesores de pared de tubería aproximadamente 10 mm los

materiales de tuberías examinadas pueden ser aplastados suficientemente manteniendo la impermeabilidad del aire. Para tuberías con espesores de pared mayor el punto de estrangulamiento no es hermético debido a la gran formación de surcos en el interior de la tubería resultando en un daño permanente de la tubería.

¹ Hill, T., Assessment of pipe systems, conditions and residual life, BG Technology, Gas Research & Technology, England, 1995.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer en el presente trabajo de investigación un estudio acerca de el polietileno, la fabricación de los tubos y la técnica y procedimiento para el estrangulamiento de tubería de polietileno de media densidad; así como también sugerir recomendaciones para el prensado óptimo de esta y conocer un poco acerca del comportamiento de la tubería cuando es prensada a través del tiempo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Estudiar el comportamiento de la tubería de polietileno a través del tiempo cuando es sometida al mecanismo de prensado.**
- **Realizar recomendaciones a empresas que distribuyen el gas natural acerca del tratamiento de las tuberías que poseen mas de 25 años de enterrada.**
- **Evitar posibles accidentes que ocasionaría la tubería de mas de 25 años por falta de conocimiento técnico acerca de su estado actual.**
- **Ofrecer una guía académica de consulta para los estudiantes de ingeniería e ingenieros , interesados en el tema.**

2 POLIETILENO (PE) MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA.

2.1 OBTENCIÓN DEL POLIETILENO

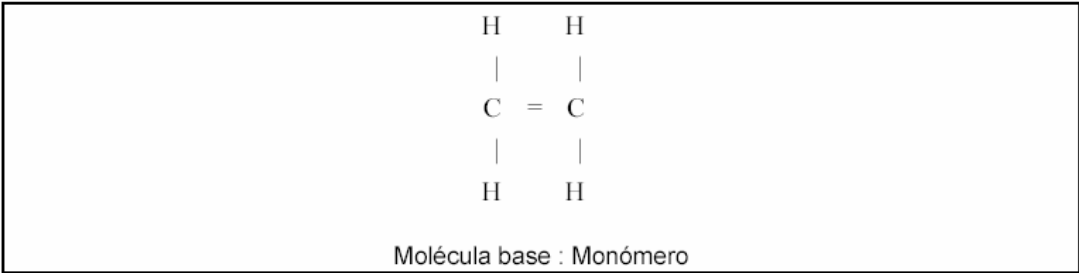
El polietileno utilizado en la industria del gas pertenece al grupo de los termoplásticos. Es una materia plástica fabricada por síntesis química a partir del etileno.

El polietileno por definición es un plástico o resina preparado por polimerización de no menos de 85% en masa (peso) de etileno y no menos de 95% en masa (peso) total de olefinas.

El polietileno de media densidad es obtenido por procesos de fabricación llamados de baja presión alcanzándose densidades nominales comprendidas entre 0.926 y 0.940 g/cm³ según norma NTC 872 y NTC 2935.

La densidad de las resinas se rige por la Norma Técnica Colombiana NTC 1746 y la Norma Internacional ASTM 1248, ASTM 350 y cumple recomendaciones del Plastic Pipe Institute (P.P.I.)

El polietileno está constituido por moléculas orgánicas gigantes denominadas macromoléculas que se preparan industrialmente asociando las moléculas del constituyente básico denominado "monómero", es decir, el etileno.



La síntesis química consiste en la obertura por activación (presión, temperatura y catalizador) del doble enlace entre dos átomos de carbono.

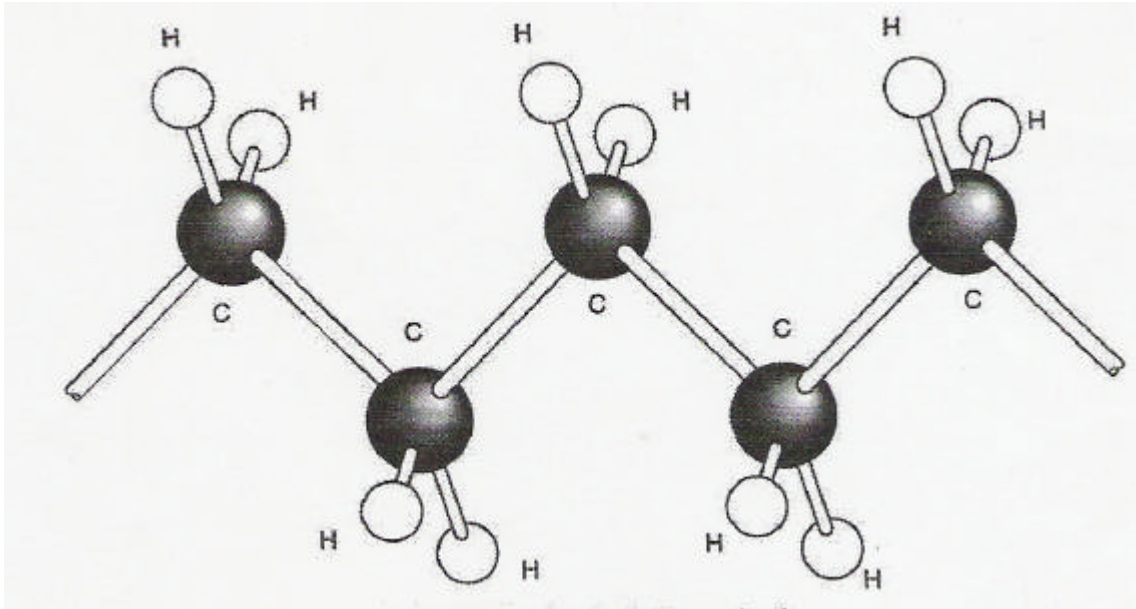
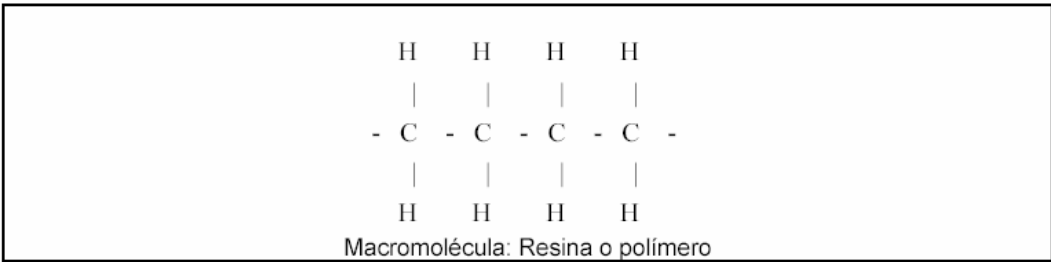


FIGURA 1. molécula de polietileno

Se denomina homopolímero cuando el producto se obtiene a partir de la polimerización de monómeros idénticos. Cuando se utilizan monómeros diferentes, etileno u otros (comonómeros), las macromoléculas contienen dos o más monómeros diferentes, tratándose por tanto de un copolímero. El proceso de copolimerización consiste en añadir uno o varios comonómeros sobre la cadena del monómero principal que es el etileno.

Los comonómeros más utilizados en concentraciones hasta el 6% en volumen con el polietileno son:

- ✓ Propileno 1 ($\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_3$)
- ✓ Buteno 1 ($\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$)
- ✓ Penteno 1 ($\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$)
- ✓ Exeno 1 ($\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$)

Cuando el comonómero se introduce en dos etapas sucesivas del proceso de obtención, se le denomina proceso bimodal.

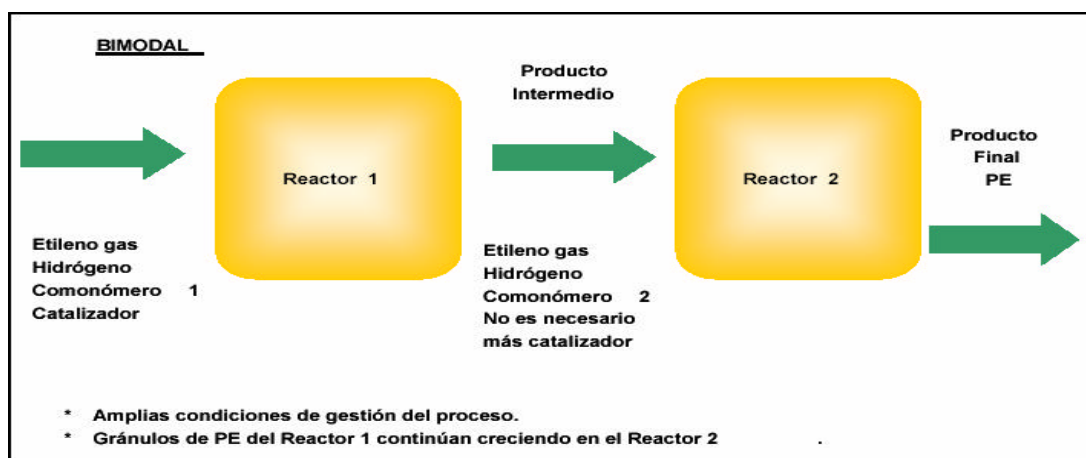


FIGURA 2. PROCESO DE OBTENCIÓN BIMODAL

Una vez obtenido el polímero base se debe completar la formación del polietileno con los aditivos de estabilización, los cuales son incorporados en el proceso de granulación, por tanto, los diferentes constituyentes de los gránulos de la granza de polietileno:

- ✓ Polvo de polietileno (resina o polímero)
- ✓ Antioxidantes
- ✓ Pigmentos y colorantes
- ✓ Estabilizantes
- ✓ Lubricantes

A la mezcla obtenida se le denomina compuesto.

En la siguiente grafica se describe el proceso de fabricación y transformación del polietileno detalladamente.

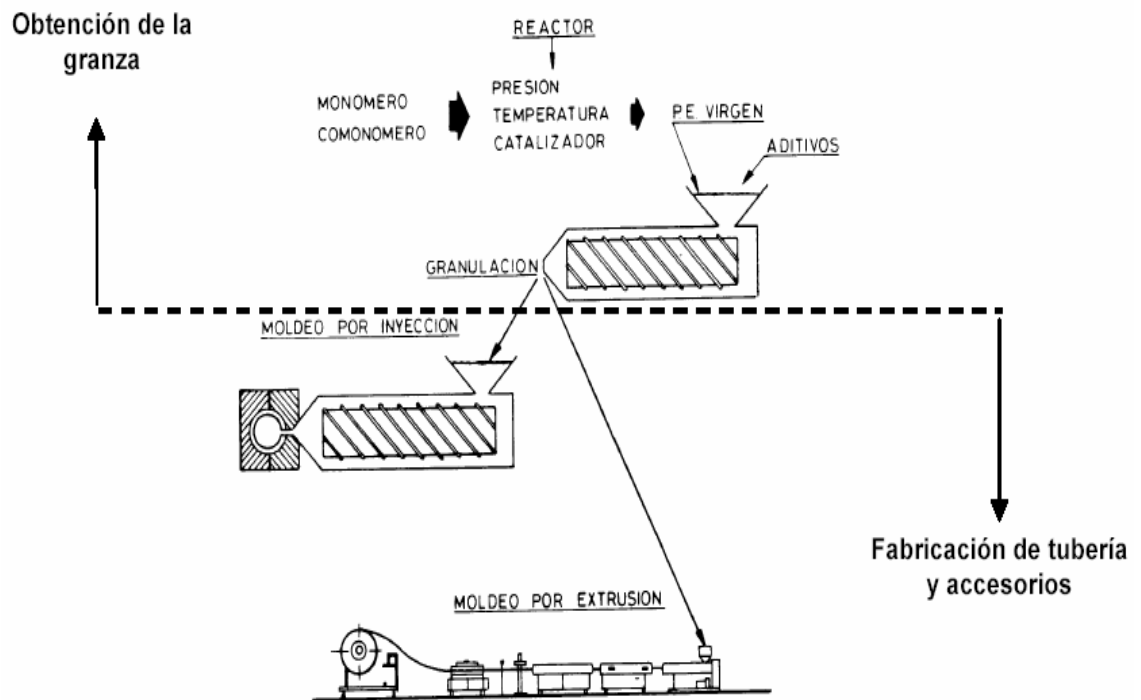


FIGURA 3. PROCESO DE FABRICACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL POLIETILENO

La fabricación a partir de granza de un tubo o accesorio necesita tres operaciones delicadas que son:

- ✓ Fusión de la materia
- ✓ Conformado por extrusión o inyección
- ✓ Enfriamiento

La fusión, en la cabeza de la extrusora o de la máquina de inyección, se debe realizar de tal manera que sea progresiva y homogénea. La temperatura alcanzada no debe ser demasiado elevada (para evitar el riesgo de degradar la

materia por oxidación o romper las cadenas o retículas) pero si lo bastante alta para que la materia esté suficientemente fluida.

El conformado por extrusión o inyección necesita de útiles y métodos operativos precisos para favorecer ciertas disposiciones macromoleculares que reduzcan las contracciones internas.

La operación de enfriamiento condensa la materia en un estado de contracción y de cristalinidad del que dependerá la calidad del tubo o accesorio.

La tubería de polietileno se obtiene por extrusión del polietileno. Este proceso consiste en transformar el granulo sólido (materia prima) en una masa fundida, mediante el suministro de energía térmica y mecánica para, finalmente, darle presentación en forma tubular.

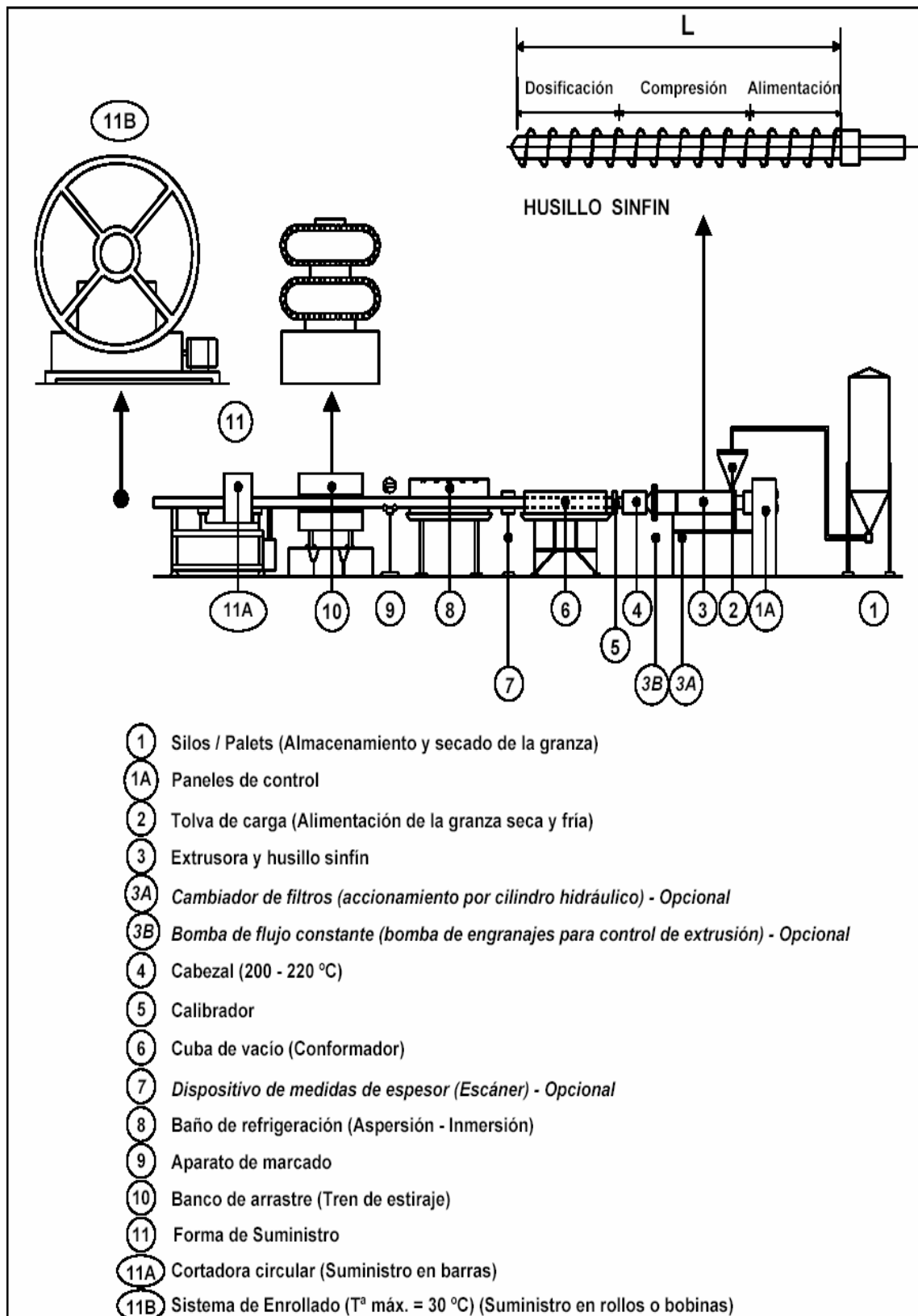


FIGURA 4. PROCESO DE EXTRUSION DE LA TUBERIA.

2.2 TIPOS DE POLIETILENO.

Las propiedades más características del polietileno son su densidad y su índice de fluidez, que indica el grado de polimerización bajo unas condiciones de presión y temperatura determinadas.

La estructura de los polímeros puede ser de:

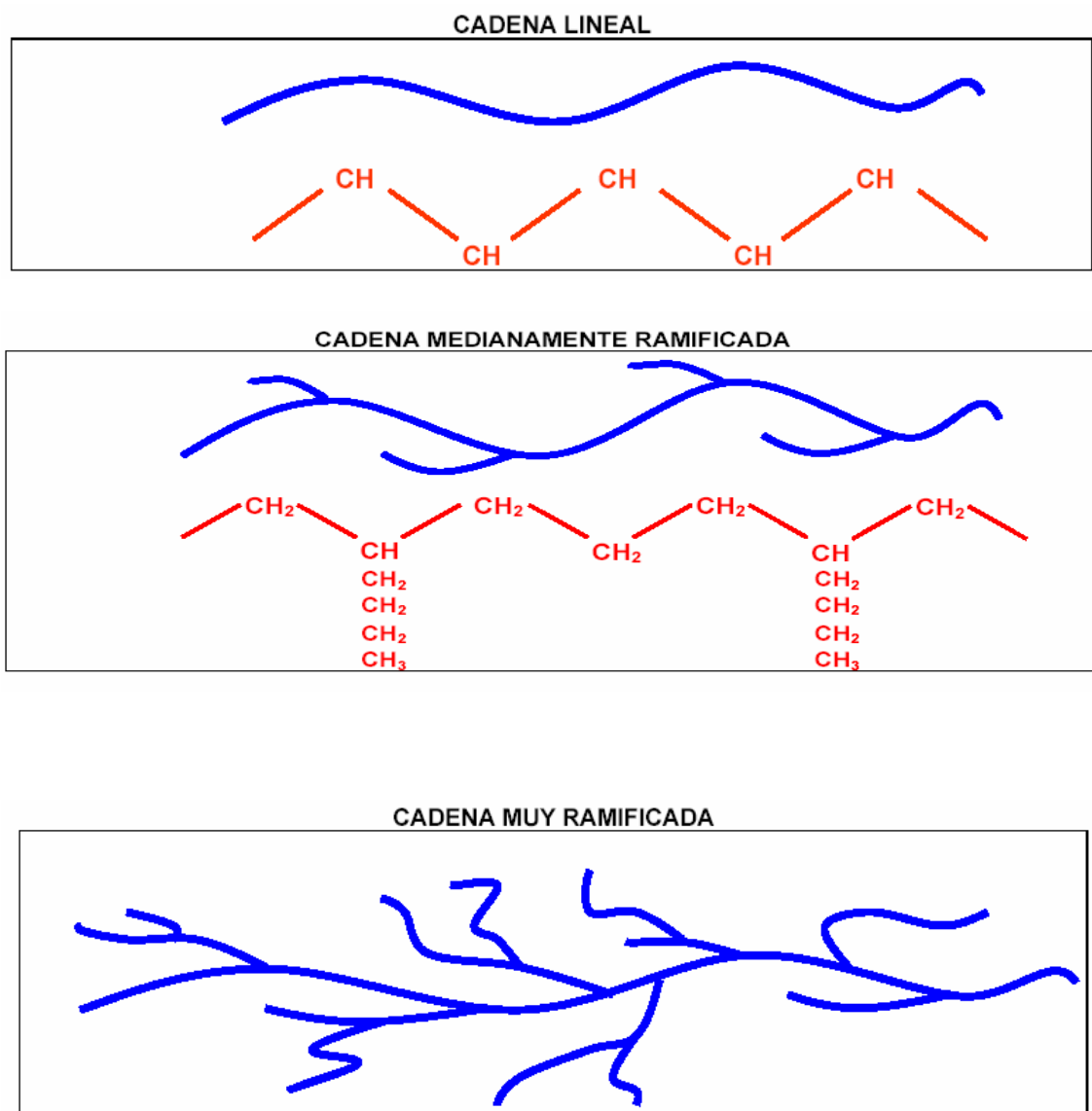


FIGURA 5. ESTRUCTURA DE LOS POLIMEROS

Las cadenas lineales se utilizan para fabricar materia prima de alta densidad, son de estructuras mas compactas (estructura molecular mas ordenadas).

Las cadenas medianamente ramificadas se utilizan para fabricar materia prima de media densidad, son copolímeros en los que a la cadena de etileno se han insertado hexeno, buteno, etc.

Las cadenas muy ramificadas se utilizan para fabricar materia prima de baja densidad, tienen propiedades mecánicas muy débiles, no se utilizan en redes de distribución de gas como material base de fabricación de tuberías.

Por su gran influencia en el comportamiento del tubo fabricado, es muy importante conocer la estructura del polímero.

Dada la extrema dificultad de conocer la estructura de cada macromolécula, se intenta llegar a su conocimiento a través de las características globales del polímero.

Destacamos por su interés:

- ✓ Peso molecular.
- ✓ Distribución del peso molecular.
- ✓ Índice de fluidez.

2.3 ESTRUCTURA DEL POLIETILENO. PESO MOLECULAR Y SU DISTRIBUCIÓN.

En los polímeros lineales o ramificados, el peso molecular es función del grado de polimerización, es decir:

- ✓ De la longitud de las cadenas.
- ✓ Del número de elementos unitarios que las integran.

2.3.1 Capacidad de absorción de cargas.

Esta propiedad depende de la densidad y del peso molecular del material utilizado.

Las cargas puntuales van a ser absorbidas cuanto mayor sea la proporción cristalina del polímero y finalmente del tubo.

2.3.2 Propiedades de la tubería en función de su peso molecular.

Cuando el peso molecular aumenta:

- ✓ Disminuye el flujo del polímero (procesabilidad; soldabilidad).
- ✓ Mejoran las propiedades mecánicas.
- ✓ Aumenta la capacidad de absorción de cargas.

- ✓ Aumenta la resistencia química.
- ✓ Disminuye la soldabilidad.
- ✓ Aumenta la resistencia a la fisuración manteniendo constantes todas las demás propiedades.

2.3.3 Propiedades de la tubería variando su distribución de pesos moleculares.

Cuando la distribución de pesos moleculares se ensancha:

- ✓ Aumenta el flujo del polímero (procesabilidad; soldabilidad).
- ✓ Aumenta la resistencia al impacto a bajas temperaturas.
- ✓ Aumenta la resistencia a la fisuración manteniendo constantes todas las demás propiedades.

2.3.4 Estructura del polietileno. Índice de fluidez (MFR).

Es una técnica para profundizar en el conocimiento de la estructura del polietileno y se determina como los gramos de polietileno fundido que durante 10 minutos pasan por una boquilla normalizada, bajo un peso y una temperatura determinada.

A mayor índice de fluidez menor peso molecular y:

- ✓ Menor resistencia al impacto. Dureza
- ✓ Menor módulo de elasticidad

- ✓ Menor resistencia a la corrosión por tensión
- ✓ Mayor permeabilidad

2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS.

El PE es una materia inerte, cuya resistencia química a los productos agresivos corrientes (ácidos, bases...) es buena, incluso en concentraciones elevadas y en caliente. Los odorizantes y los disolventes utilizados con el gas natural son prácticamente inactivos para el polietileno, en las concentraciones usuales y de una forma general mientras que están en fase de vapor. Los gases: gas natural y GLP, son también, mientras se encuentren en estado gaseoso, prácticamente inactivos para el PE.

Sin embargo dos familias de productos pueden llegar a atacarlo. Estas son los agentes tensoactivos tales como los detergentes, jabones y potasa, y los hidrocarburos pesados, parafinas, y aromáticos en estado líquido. Con los hidrocarburos se constatan algunos de los fenómenos de disolución puntuales y de hinchado por absorción de líquido. El PE es debilitado mecánicamente favoreciéndose de este modo los mecanismos de ruptura.

La utilidad del polietileno en redes de distribución de gas radica en sus propiedades físicas y físico-químicas, como flexibilidad y soldabilidad, muy

diferentes en otros materiales. El comportamiento del polietileno en presencia de elementos químicos esta dado por la siguiente tabla.

TABLA 1. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL POLIETILENO.

E= EXCELENTE B=BUENO R= REGULAR NR=NO RECOMENDABLE I=INFORMACIÓN NO COMPLETA

Químicos	73°F	140°F	Químicos	73°F	140°F	Químicos	73°F	140°F
ACIDO ACETICO (10%)	E	E	GASOLINA	B	NR	ACIDO PICRICO 1% AGUA	E	NR
ACIDO ACETICO (100%)	B	NR	GLICERINA (GLICOL)	E	E	CLORATO DE POTASIO	E	E
ACETONA	B	I	GLICOL	E	E	CLORURO DE POTASIO	E	E
ALCOHOLES ALIFATICOS	B	B	HEPTANO	NR	NR	HIDROXIDO DE POTASIO(30%)	E	E
ESTERES ALIFATICOS	NR	NR	HEXAMINA(EN SOLUCION H2O)	B	B	PERMANGANATO DE POTACIO	E	E
AMONIACO (SECO Y ACUOSO)	E	E	ACID. HIDROCARBONICO(50%)	E	E	AGUA DE MAR	E	E
AMINAS AROMATICAS	E	I	ACID. HIDROCARBONICO	E	E	ACEITES DE SILICON	B,R	B,R
HIDROCARBU. AROMATICOS	NR	NR	(En todas sus concentraciones)			JABONES	ER	ER
BENZENO	NR	NR	PEROXIDO de hidrógeno(30%)	E	NR	CARBONATO DE SODIO	E	E
ACIDO BORICO	E	E	PEROXIDO de hidrógeno(100%)	E	NR	CLORURO DE SODIO	E	E
FLUIDO DE FRENOS	BR	NR,R	TINTAS	E	E	HIDROXIDO DE SODIO(30%)	E	E
SALMUJERA	E	E	ISO OCTANO	NR	NR	HIPOCLORITO DE SODIO	E	E
BROMO (LIQUIDO)	NR	NR	ISOPROPANOL	E	E	NITRATO DE SODIO	E	E
ACETATO BUTILICO	NR	NR	QUETONAS	NR	NR	SILICATO DE SODIO	E	E
ALCOHOL BUTILICO	B	B	LATEX	E	E	SULFATO DE SODIO	E	E
CLORURO DE CALCIO	E	E	ACIDO MALEICO	E	E	SULFATOS DE:		
ACIDO CARBONICO	E	E	(En todas sus concentraciones)			AMONIACO	E	E
CLORUROS DE SODIO	E	E	ACIDO MALEICO (50%)	E	E	CALCIO	E	E
POTASIO Y MAGNESIO			CLORURO MERCURIO Y	E	E	COBRE (CUPRICO)	E	E
CLOROBENZANO	NR	NR	MERCUROSO			COBRE (CUPROSO)	E	E
ACIDO CITRICO	E	E	MERCURIO (AZOGUE)	E	E	HIERRO (FERRICO)	E	E
CICLOHEXANO	NR	NR	ALCOHOL METILICO	E,R	E,R	HIERRO (FERROSO)	E	E
DETERGENTES SINTETICOS	R	R	GLICOL METILICO	E	E	MAGNESIO	E	E
DESTROSA	E	E	ACEITES MINERALES	B	NR	NIQUEL	E	E
DEXTRINA	E	E	NAFTA	B	NR	POTASIO	E	E
DIBUTIL FTALANO	B	B, NR	SALES DE NIQUEL	E	E	SODIO	E	E
ACEITE DIESEL	B	NR	ACIDO NITRICO (25%)	E	-	SULFITOS	E	E
EMULSIFICACIONES	R	R	ACIDO NITRICO (100%)	NR	NR	AZUFRE (COLOIDAL)	E	E
(En todas sus concentraciones)		ER	GASES NITROGENADOS	E	E	DIOXIDO DE AZUFRE	E	E
ALCOHOL ETILICO	ER	NR	ACEITES VEGET. Y ANIMALES	B,R	NR,R	(Húmedo o seco)		
CLORURO DE ETILENO	NR	B	ACIDO OLEICO	B,R	B,R	ACIDO SULFURICO (10%)	E	E
GLICOL ETILENO	B	B,R	ACIDO OXALICO	E	E	ACIDO SULFURICO (98%)	NR	NR
ACIDOS GRASOS	BR	E	PARAFINA	B	NR	ACIDO TASICO	E	E
FERTILIZANTES (LIQUIDOS)	E	NR	CERA DE PARAFINA	E	NR	AGUARRAS	NR	NR
FLUOR	NR		ACIDO PERCLORICO (20%)	E	E	ACEITES VEGETALES	NR,R	NR,R
ACIDO FLOCILISICO(40%)	E	E	ACIDO PERCLORICO (70%)	E	NR	AGUA (SUAVE O DURA)	E	E
FORMALDEHIDO(40%)	E	E	FOSFATOS	E	E	OXIDO DE ZINC	E	E
ACIDO FORMICO	E	E	ACIDO FOSFORICO (50%)	E	E	ACIDO SULFURICO	E	E
(En todas sus concentraciones)			ACIDO FOSFORICO (95%)	E	NR			

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 1746, los tubos sometidos al ensayo de resistencia química, no deberán presentar un incremento en su masa mayor del 0.5%. Además pueden ser sometidos con excelentes resultados a la mayoría de los agentes químicos típicamente encontrados en la conducción y el manejo del gas.

El PE es un buen aislante eléctrico. Su resistividad a 20 °C es del orden de 10^{16} Ω .m. Esta propiedad confiere a las canalizaciones de PE la ventaja de ser perfectamente insensibles a la corrosión electroquímica suprimiendo de este modo toda protección pasiva o catódica. El PE, mal conductor, puede dar lugar a la acumulación localmente de cargas electrostáticas creadas, por ejemplo, por el paso de gas cargado de polvo. En estas condiciones es necesario tomar ciertas precauciones en el momento de las intervenciones en carga, para evitar la formación de chispas en presencia de una mezcla de gases combustibles.

El PE tiene un coeficiente de dilatación lineal de aproximadamente 130 μ m/m °C a 200 μ m/m °C.

Con este valor, aproximadamente 10 veces superior al coeficiente de dilatación del acero, necesita en algunos casos ciertas precauciones para su instalación. Una vez enterrado el tubo, las variaciones de temperatura son fuertemente atenuadas y solo dan lugar a débiles desplazamientos. El aumento de la

temperatura acelera el envejecimiento del material disminuyendo sus propiedades mecánicas.

Durante la explotación y funcionamiento de las redes de PE se podrán trabajar u operar a temperaturas comprendidas entre -20°C y 40°C . Sin embargo, durante la instalación de las redes de PE, no se podrán realizar uniones entre tubos o tubos y accesorios a temperaturas por debajo de 0°C ni superiores a 300°C .

Las propiedades mecánicas de los materiales plásticos varían con el tiempo en función de la temperatura y las condiciones mecánicas a las que esté sometida. La prueba comúnmente utilizada para determinar el comportamiento a largo plazo de los tubos de PE, es la de resistencia a la presión hidráulica interior. El tubo es sometido a una presión interna con agua manteniéndolo en un baño de agua a una temperatura constante. El ensayo se realiza hasta la rotura del tubo. Estos ensayos se efectúan a presiones y temperaturas relativamente elevadas para obtener tiempos razonables de ruptura. Por extrapolación, estos resultados dan una estimación de la duración del material y su resistencia a la presión a una temperatura determinada.

En resumen:

- ✓ Material químicamente muy estable.

- ✓ Flexibilidad y a la vez tenacidad.
- ✓ Buenas propiedades mecánicas y eléctricas.
- ✓ Se puede extrusionar, inyectar y fabricar tubería y accesorios.
- ✓ Baja rugosidad que minimiza las pérdidas de carga de los tubos.
- ✓ Permite ser enrollado.

Las fuentes bibliográficas conocidas, permiten establecer que, ante la eventualidad de riesgo sísmico, el transporte de gas a presión por tuberías de polietileno ofrece la mejor garantía de prevención de desastres ocasionados por rotura del material y fugas de combustible, dada su capacidad de elongación.

2.5 EL PE EN LAS CANALIZACIONES DE GAS.

2.5.1 Razones de uso.

El PE se ha impuesto como material básico en las canalizaciones para gas, debido principalmente a las siguientes razones:

Donde:

- ✓ El uso del PE resuelve los problemas que se derivan de la corrosión y de la fragilidad de otros tipos de tuberías, resistiendo los ataques químicos casi en su totalidad y las agresiones medioambientales.
- ✓ El PE presenta una gran facilidad de manejo y de instalación en tramos no rectilíneos. Permite aplicar las técnicas de entubamiento y de interrupción del paso de gas por pinzamiento.
- ✓ Ofrece mejores características de soldadura y excelente resistencia a las agresiones del medio ambiente.
- ✓ Para las instalaciones de PE se prevé un tiempo de vida mínimo de 50 años, a temperaturas de 20 °C.

2.6 IMPERMEABILIDAD.

Esta propiedad se relaciona directamente con la densidad del tubo, ya que cuanto más elevada es esta, mayor es la impermeabilidad.

2.7 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO.

El cálculo y diseño de redes se efectúa sobre la base de la resistencia a la presión interna de la tubería.

Los recipientes a presión de pared delgada, caso de las tuberías que transportan un fluido (gas o líquido), ofrecen poca resistencia a flexión. La presión del fluido en el interior de la tubería origina un esfuerzo tangencial a la superficie de la tubería.

Para una tubería de radio R y espesor de pared e, sometida en su interior a una presión P, los esfuerzos normales que aparecen son el esfuerzo tangencial o circunferencial σ_1 y el esfuerzo longitudinal σ_2 .

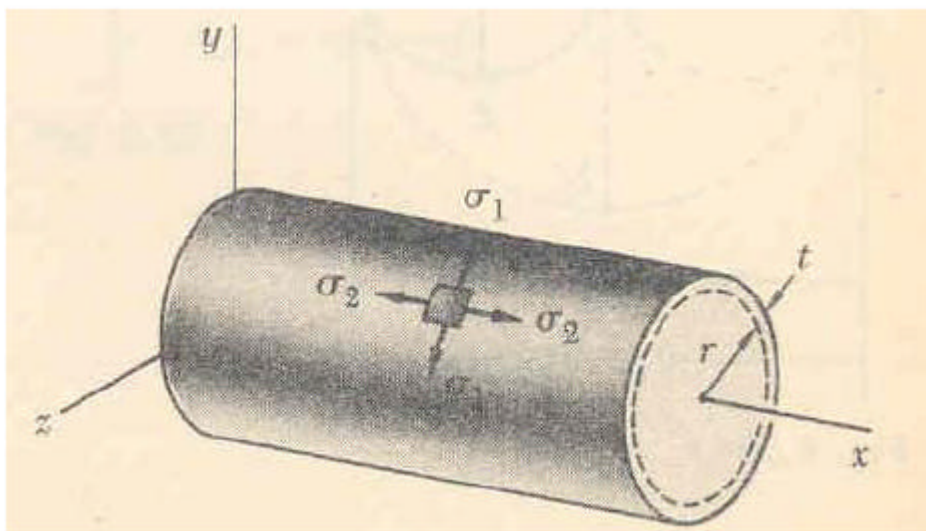


FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA TUBERIA

El calculo de estos esfuerzos viene dado por las siguientes formulas:

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot D_m}{2e} ; \text{Tensión circunferencial}$$

$$\sigma_2 = \frac{P \cdot D_m}{4e} ; \text{Tensión longitudinal}$$

Donde :

σ_1 = Tensión circunferencial.

σ_2 = Tensión Longitudinal.

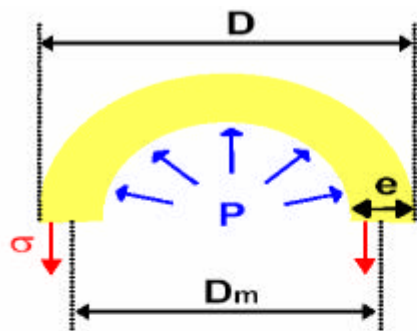
P = presión del fluido en bar o MPa.

Dm. = diámetro medio del tubo en mm.

e = espesor de la pared en mm

En el diseño de una tubería, el esfuerzo más importante es el tangencial o circunferencial y su valor debe ser siempre inferior a la tensión característica del material que se trate.

En el caso de los materiales plásticos como el polietileno, la tensión características varía con el tiempo y la temperatura. Para determinar esta tensión característica, denominada resistencia mínima requerida (MRS), es preciso establecer curvas de resistencia en función del tiempo. De acuerdo con estas curvas los tubos se calculan de forma que fijado un valor de la tensión tangencial de trabajo ó el tubo tenga una vida útil de al menos 50 años con un factor de seguridad (Coeficiente global de diseño) adecuado.



σ = Tensión Circunferencial (MPa)

P = Presión Interna (MPa)

D = Diámetro Exterior (mm)

D_m = Diámetro Medio (mm)

e = Espesor (mm)

$$\sigma \cdot 2 \cdot e = P \cdot D_m$$

Si : $D_m = D - e$

Sustituyendo : $\sigma \cdot 2 \cdot e = P \cdot (D - e)$

Despejando

$$\sigma = P \frac{(D - e)}{2 \cdot e}$$

$$\sigma = \frac{P \cdot (D - e)}{2e}$$

σ y P :

D y e :

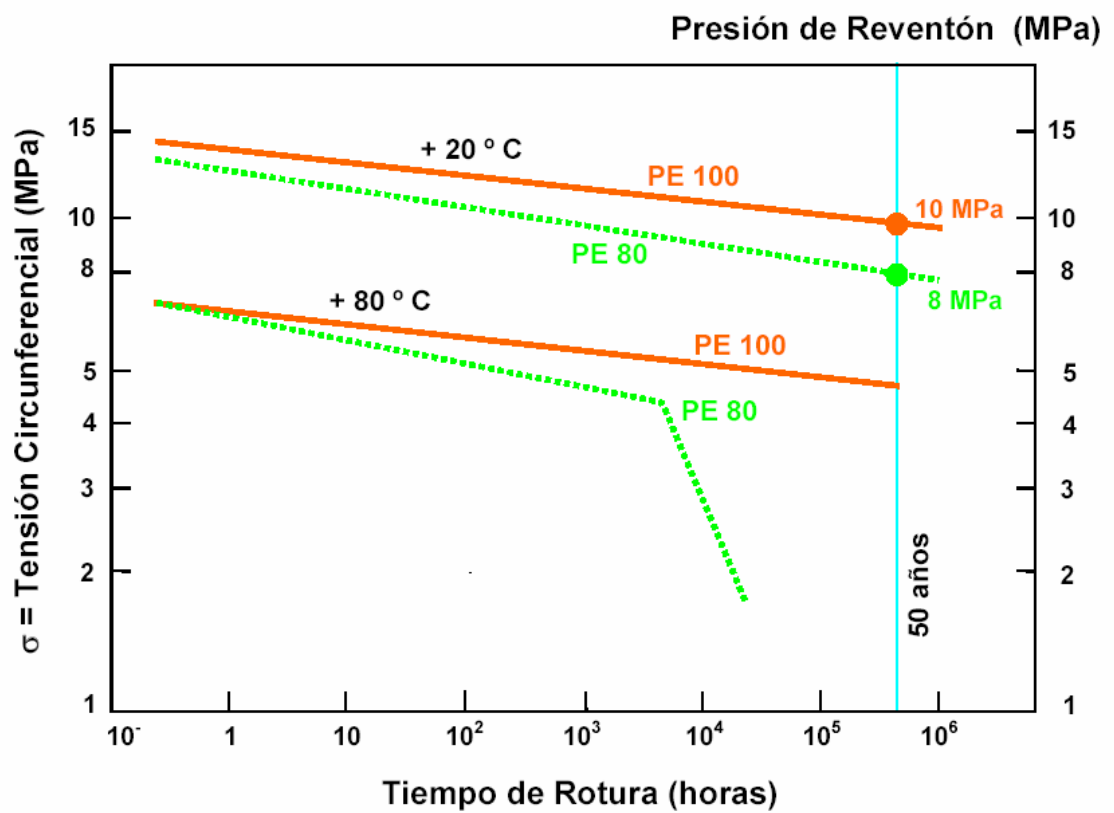
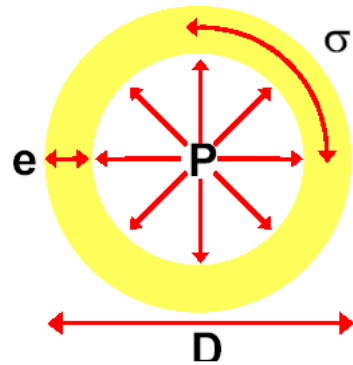


FIGURA 7. RESISTENCIA A LA PRESION INTERNA.

Para los tubos de polietileno, la expresión para el cálculo de la tensión circunferencial se adapta como se indica a continuación.

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot D_m}{2e} \longrightarrow MRS = \frac{P(D-e)}{2e}$$

σ_1 = Tensión circunferencial

MRS = Mínima resistencia requerida

P = Presión

p = presión de diseño

D_m = Diámetro medio

D = Diámetro nominal

E = Espesor

e = Espesor nominal

teniendo en cuenta que:

$$SDR = D/e$$

sustituyendo, la expresión queda como sigue:

$$MRS = \frac{P(SDR-1)}{2}$$

Los SDR más utilizados son: SDR 11 y SDR 17,6. Como puede deducirse, a igual diámetro, un valor mayor de SDR equivale a un menor espesor del tubo y, un valor menor del SDR corresponde un mayor espesor del tubo.

Para el cálculo mecánico de los tubos con unas condiciones de presión determinadas, el valor característico de la tensión del material, debe estar afectado por un factor de seguridad (coeficiente global de diseño. Este factor varía en función del material y fluido que circule por el tubo. En el caso que el

fluido sea gas, el factor de seguridad mínimo que debe emplearse para el diseño mecánico es de **2**.

Por ello, la fórmula final para el cálculo mecánico de tubos de polietileno será:

$$\frac{MRS}{C} = \frac{P(SDR-1)}{2} \quad \text{de donde} \quad P = \frac{2 \cdot MRS}{(SDR-1) \cdot C}$$

de donde:

MRS: Mínima resistencia requerida (MPa, bar)

P: Presión de diseño (MPa, bar)

SDR: Relación dimensional normalizada

C: Factor de seguridad (*Coeficiente global de diseño*)

Cuando el MRS se utiliza en MPa y la P se quiere obtener en bar, dado que un MPa es igual a 10 bar, la relación queda como sigue:

$$P = \frac{2 \cdot 10 \cdot MRS}{(SDR-1) \cdot C}$$

Por ello, la elección del espesor mínimo de la tubería debe estar de acuerdo con la siguiente relación:

$$SDR = 1 + \frac{20 \cdot MRS}{MOP \cdot C \cdot D_f}$$

donde:

SDR : Es la relación entre el diámetro exterior del tubo y su espesor.

$$SDR = \frac{D}{e}$$

MRS : Es la resistencia mínima exigida expresada en MPa.

MOP : Es la presión máxima de operación expresada en bar.

Presión efectiva máxima del fluido en el sistema de canalización, permitida en funcionamiento continuo.

C : Factor de Seguridad (Coeficiente global de diseño), cuyo valor debe ser siempre igual o superior a **2**.

Df : Es el factor de influencia de la temperatura de operación (Temperatura media del gas), siendo el valor a asignar el siguiente:

Temperatura (°C)	10	20	30	40
D _f	0,9	1	1,1	1,3

Con base a todo lo anterior y atendiendo exclusivamente a criterios mecánicos la Presión Máxima de Operación (MOP) en bar de una red de gas en polietileno, se calcularía empleando la siguiente ecuación:

Sí MRS en MPA

sí MRS en bar, como un MPA = 10bar

$$MOP = \frac{20 \cdot MRS}{(SDR - 1) \cdot C \cdot D_f}$$

$$MOP = \frac{2 \cdot MRS}{(SDR - 1) \cdot C \cdot D_f}$$

2.8 DURABILIDAD DE LOS TUBOS.

El paquete de aditivos que se incorpore al polímero, tiene gran influencia en esta propiedad.

Como consecuencia de lo anterior, se puede decir que los tubos fabricados con polietileno de media densidad poseen las características siguientes.

- ✓ Fáciles de codificar para su identificación.
- ✓ Ligeros, económicos y fáciles de transportar e instalar.
- ✓ Flexibles, fáciles de enrollar y de adaptar al trazado.
- ✓ De elevada resistencia química.
- ✓ Resistentes a las presiones de trabajo.
- ✓ De elevada resistencia mecánica, térmica y eléctrica.
- ✓ De alta capacidad de elongación.
- ✓ Fiables y de larga duración bajo carga.
- ✓ De baja pérdida de carga.
- ✓ De dimensiones estables, de acuerdo con las exigencias de aspecto, forma y dimensión.

2.9 DIMENSIONES

Las especificaciones en cuanto a las dimensiones y tolerancias, se rigen por la Norma Técnica Colombiana NTC 1746 en lo referente a:

- ✓ Diámetro exterior
- ✓ Espesor de pared
- ✓ Variación del espesor de pared.

3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ESTRANGULAMIENTO.

3.1 INTRODUCCION

Para obtener un estrangulamiento apropiado, es necesario considerar el diámetro, es necesario considerar el diámetro del tubo, su espesor de pared, el material con que está hecho el tubo, su presión interna, y las condiciones del medio ambiente. El usuario debe solicitar al fabricante del tubo que le suministre recomendaciones específicas para el estrangulamiento del producto.

Una tubería es aplastada con la ayuda de dos barras paralelas móviles hasta que el flujo medio se reduce o se detiene como se muestra en la figura. Los términos de la tasa de estrangulamiento y la compresión del espesor de pared describen que tanto es aplastado el tubo como se ve en la figura

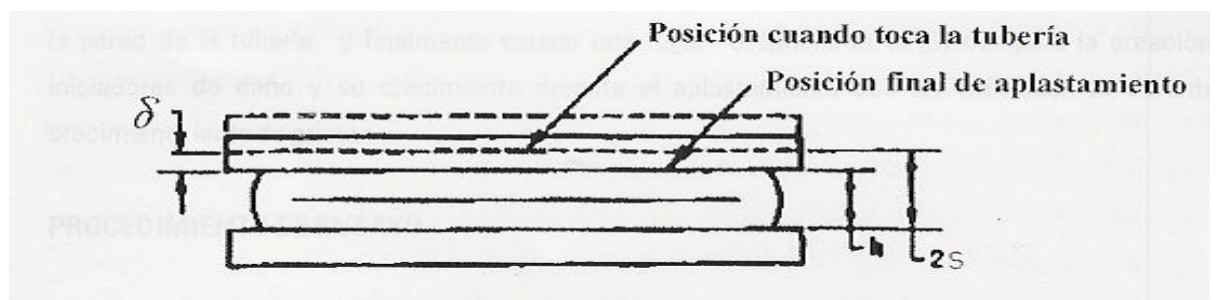


FIGURA 8. PROCESO DE APLASTAMIENTO.

La tasa de estrangulamiento (AG) es definida como el cociente de la distancia entre la barra de presión del aparato de estrangulamiento (h) y el doble del espesor de pared del tubo ($2S$)

$$AG = h / 2s.$$

La compresión del espesor de pared (WK) describe el cociente resultante del desplazamiento de las barras del aparato de estrangulamiento después de haber tocado las paredes ($2s - h$) y el doble del espesor de pared.

$$WK = \delta / 2s = (2s - h) / 2s = 1 - (h / 2s) = 1 - AG.$$

Consecuentemente la tasa de estrangulamiento es la porción complementaria de la compresión del espesor de pared.

Si una tubería es aplastada, las superficies internas opuestas del tubo se tocan en la mitad por primera vez en el área también llamada “oreja de estrangulamiento” las superficies superior e inferior del tubo no se tocan a la tasa de estrangulamiento de 1.

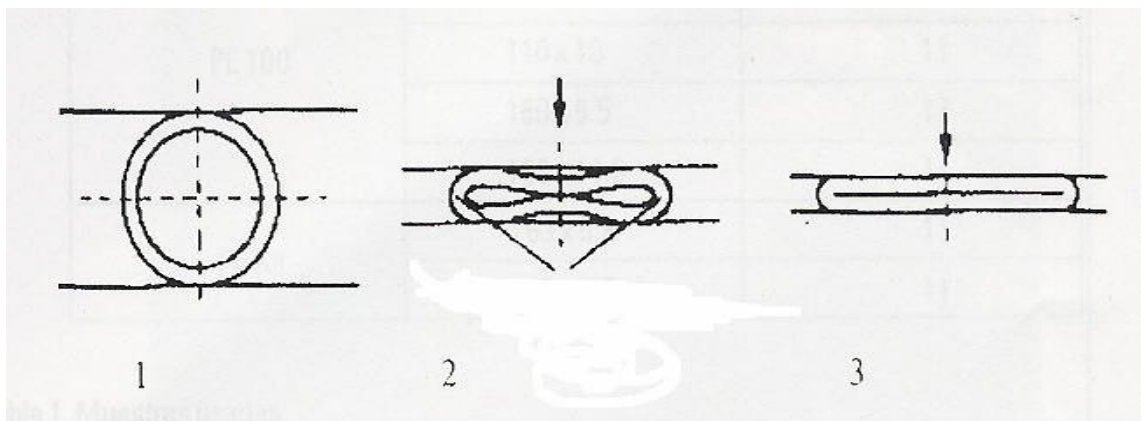


FIGURA 9. PROCESO DE APLASTAMIENTO ESQUEMATICO

Por lo tanto para cerrar la oreja de estrangulamiento del tubo y de este modo detener el flujo medio el centro de la tubería debe ser aplastado mas intensamente. Si la compresión en la pared del tubo se incrementa el material debe fluir entre las dos barras de compresión. Como resultado el tubo es adelgazado permanentemente en este punto.

Después de haber descargado o separado las herramientas de estrangulamiento se crea un campo de esfuerzo triaxial en la superficie interna del tubo aplastado, ya que el material desplazado es parcialmente arrastrado dentro de la zona de la pared del tubo sellado nuevamente, y la deformación viscoelástica del tubo ha sido reformada nuevamente.

Debido a esta carga pueden aparecer vacíos dentro del tubo y en el área de la oreja defectos (marcas de defectos) pueden aparecer en la superficie interna del tubo. El esfuerzo resultante del proceso de estrangulamiento dentro del tubo así como las cargas resultantes por la carga de presión interna puede contribuir a incrementar los vacíos y defectos. Esto puede crear el crecimiento de grietas a través de la pared de la tubería y finalmente causar alguna fuga.

1.2 CALCULO DE LA TASA DE ESTRANGULAMIENTO

Para la tubería de ½" los datos obtenidos durante el estrangulamiento de los tubos fueron:

$$H = 3 \text{ mm}$$

$$2S = 4 \text{ mm}$$

por lo tanto:

$$AG = h / 2s.$$

$$AG = 3/4$$

$$AG = 0.75$$

Para la tubería de $\frac{3}{4}$ " los datos obtenidos durante el estrangulamiento de los tubos fueron:

$$H = 4 \text{ mm}$$

$$2S = 5.5 \text{ mm}$$

por lo tanto:

$$AG = h / 2s.$$

$$AG = 4/5.5$$

$$AG = 0.7$$

3.1 CALCULO DE LA FLUENCIA DEL MATERIAL.

La teoría dice que si el diámetro del tubo prensado sobrepasa el 0.5 % del diámetro del tubo sin prensar el material cedió y no volverá a su forma original.

Para la tubería de $\frac{1}{2}$ ":

Dext del tubo sin prensar = 16 mm

Dext del tubo prensado = 23 mm

En este caso se obtuvo un 0.43 % del diámetro del tubo por lo tanto el tubo no presentó fluencia alguna volviendo a su forma normal.

Para la tubería de $\frac{3}{4}$ ":

Dext del tubo sin prensar = 26 mm

Dext del tubo prensado = 38 mm

En este caso se obtuvo un 0.46 % del diámetro del tubo por lo tanto el tubo no presentó fluencia alguna volviendo a su forma normal.

3.2 HERRAMIENTA DE ESTRANGULAMIENTO.

Una herramienta de estrangulamiento debe tener las siguientes características:

- ✓ Configuración de las barras de compresión.
- ✓ Mecanismo de fuerza.
- ✓ Protección contra estrangulamiento excesivo.
- ✓ Protección para soltar prematuramente el estrangulamiento.

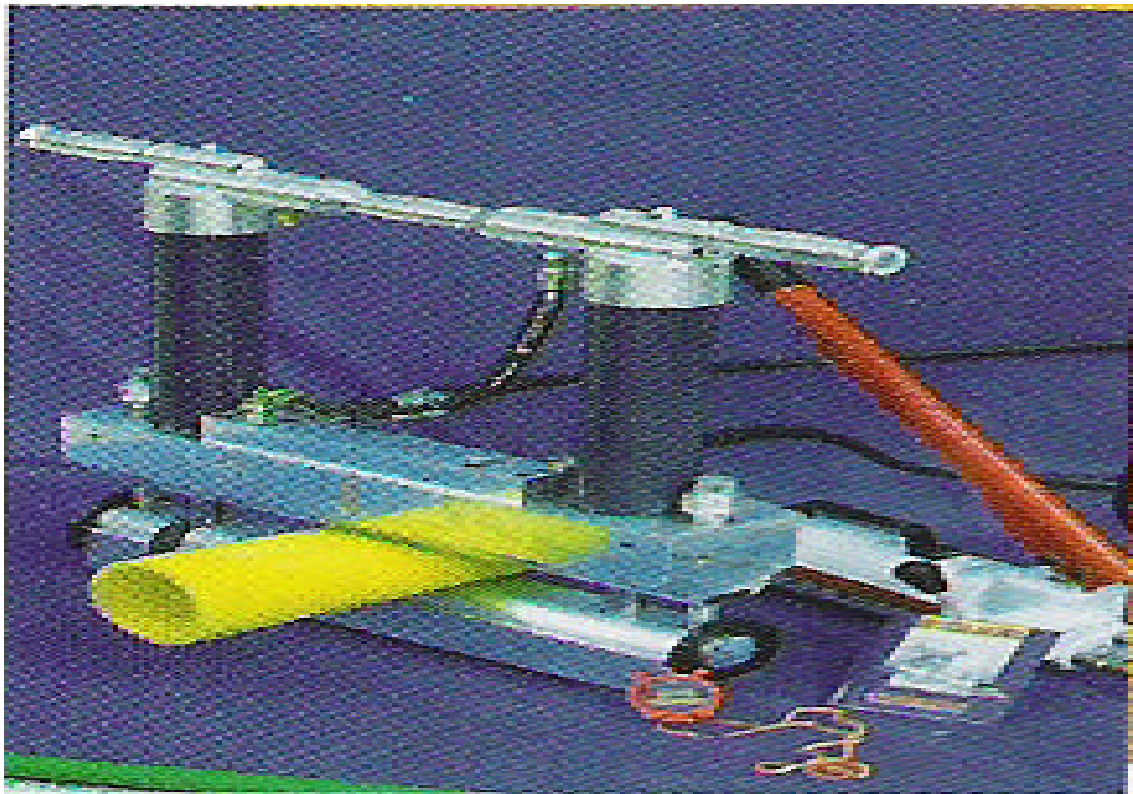


FIGURA 10. HERRAMIENTA DE APLASTAMIENTO

3.2.1 Configuración de las barras de estrangulamiento.

Las barras de estrangulamiento deben tener una configuración que permita comprimir la pared del tubo que permita comprimir la pared del tubo para reducir o parar el flujo de gas, pero sin dañar el tubo. Como consecuencia de esto, las barras de estrangulamiento generalmente tienen forma redonda, o plana con bordes redondeados, o son dos barras redondas lado a lado. Las barras redondas generalmente tienen:

TABLA 2. DIMENSIONES DE LOS TUBOS DE PRENSADO.

Tamaño nominal del tubo, pulgadas	Diámetro mínimo	
	mm	pulgadas
½ – ¾	25.4	1
1 - 2	31.75	1.25
3 – 4	38.10	1.5
6 – 8	50.80	2
10 – 12	76.20	3
14 - 16	88.90	3.5

3.2.2 Mecanismo de fuerza

El mecanismo de fuerza debe ser capaz de estrangular el tubo por intervalos de determinada abertura o hasta que se detenga el flujo de gas. Generalmente la fuerza es aplicada en forma mecánica para tubería hasta de 4 pulg. de diámetro e hidráulica para tubería de diámetro > 4 pulg.

3.2.3 protección contra estrangulación excesiva.

A la herramienta de estrangulamiento se debe incorporar una protección contra el estrangulamiento excesivo. Se debe obtener del fabricante de la tubería el límite de seguridad a la cual se puede estrangular el tubo sin que este sufra

daño. El límite de seguridad se expresa en términos del intervalo mínimo. (IM) como sigue:

$$IM = (2) (0.7)(t \text{ max});$$

Donde:

2 = dos partes del tubo;

0.7 = estrangulamiento de 30%;

t max = espesor de pared máximo del tubo.

La protección al estrangulamiento excesivo se proporciona generalmente mediante trinquetes mecánicos.



FIGURA 11. PROCESO DE ESTRANGULAMIENTO. TUBO NUEVO 3/4IN.



FIGURA 12. PROCESO DE ESTRANGULAMIENTO . TUBO DE ½ IN



FIGURA 13. PROCESO DE ESTRANGULAMIENTO.TUBO DE ¾ IN

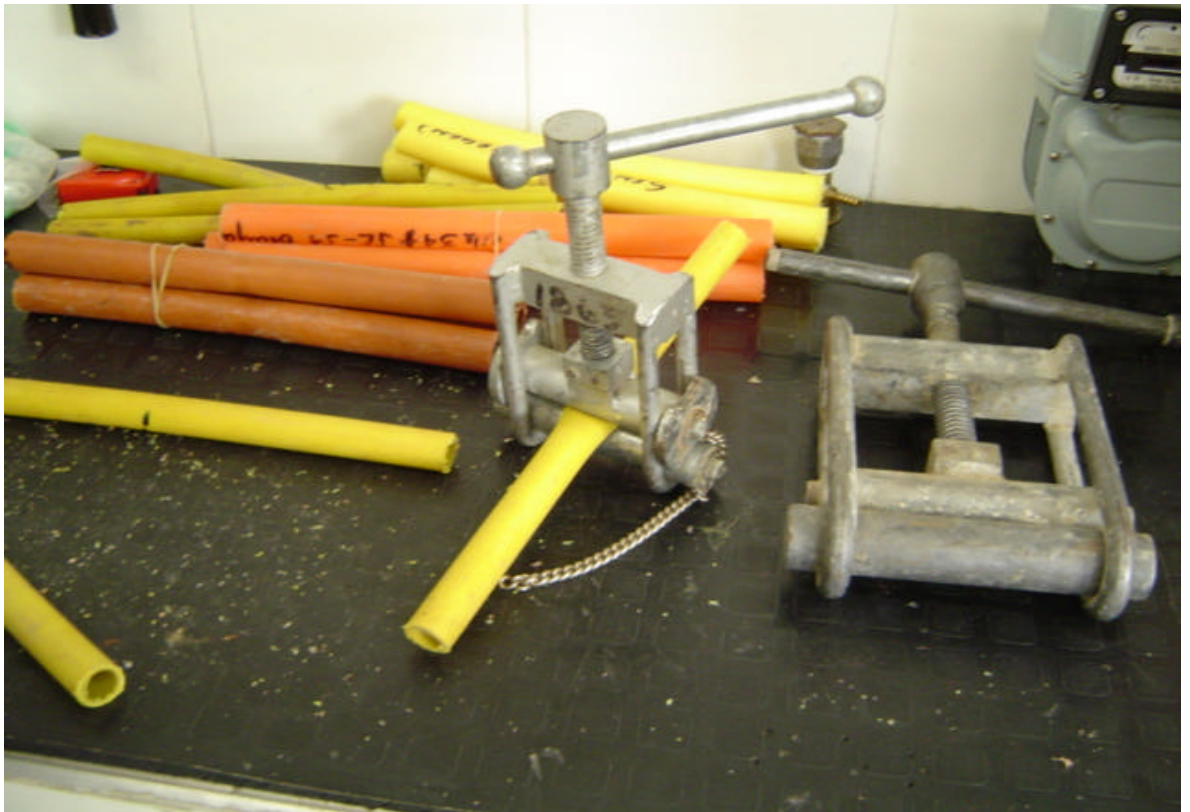


FIGURA 14. PROCESO DE ESTRANGULAMIENTO . TUBO DE ½ IN

3.2.4 Procedimiento de prensado.

Se coloca la herramienta sobre el centro del tubo y perpendicular a este. Esto permitirá que el tubo se aplaste libremente sin que se atasque contra el armazón de la herramienta o los rebordes. Se localiza la herramienta mínimo a tres diámetros del tubo o 305 mm (12 pulgadas), cualquiera que sea mayor, de cualquier unión por fusión o fusión mecánica.

La herramienta de estrangulamiento se opera a una velocidad suficientemente lenta que permita el alivio de las tensiones que la acción de compresión imparte al tubo. Esto resulta particularmente útil cuando, en ambientes fríos, el

tubo se vuelve rígido. Se continua el estrangulamiento del tubo hasta que cese el flujo de gas o se entre en contacto con un tapón mecanizo (trinquete de retención), cualquiera que ocurra primero. En algunas herramientas, cuando se llega a la máxima posición de estrangulamiento permitida, se debe activar manualmente el cerrojo de seguridad.

Se remueve la herramienta de estrangulamiento de una manera controlada. Si la herramienta tiene un dispositivo de cierre mecánico, se desconecta. Se debe evitar liberar súbitamente la presión mecánica o hidráulica. Él alivio controlado es necesario para establecer rápidamente el control del flujo de gas, si así se desea. Se debe mantener una tasa de alivio de 13 mm/min (0.5 pulgada/min) o menor, para minimizar el daño al tubo. Después de aliviar la presión de estrangulamiento, se redondea el tubo.

Después de la remoción se inspecciona la sección que se estrangulo, para detectar cualquier daño. Los procedimientos deben incluir las medidas que se deben tomar si se encuentra un daño, no debe permitir que se estrangule una determinada área mas de una vez.

4 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA.

Decidimos tomar una muestra de tuberías de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " por ser las mas utilizada por Surtigas S.A. E.S.P. para transportar el gas natural en toda la extensión de las poblaciones donde distribuye y comercializa el gas natural.

Tomamos muestras en diferentes sitios de la ciudad de Cartagena de Indias de 1 metro de longitud de la siguiente manera:

- ✓ Alto bosque transversal 53 # 53, tubo de $\frac{1}{2}$ ", edad 25 años.
- ✓ Manga esquina Kra 21 # 28 – 06, edad 24 años.
- ✓ Caracoles manzana 18 # 1, tubo de $\frac{3}{4}$ ", edad 18 años.
- ✓ Olaya calle 34 # 52 - 54, tubo de $\frac{3}{4}$ ", edad 8 – 10 años.
- ✓ Tubería nueva, tubo de $\frac{3}{4}$ ".



FIGURA 15. MUESTRA DE LA TUBERIA ANALIZADA.

5 PREPARACION DE LA MUESTRA.

La muestra es prensada de la forma descrita anteriormente y luego es llevada a la maquina universal para realizar el ensayo.

Para elaborar una sección reducida en la probeta sin afectar el objetivo del experimento, se elaboró un agujero de 5.5 mm perpendicular al eje del tubo y a 90° del Angulo de doblez.



FIGURA 16. PRENSADO DE TUBERIA

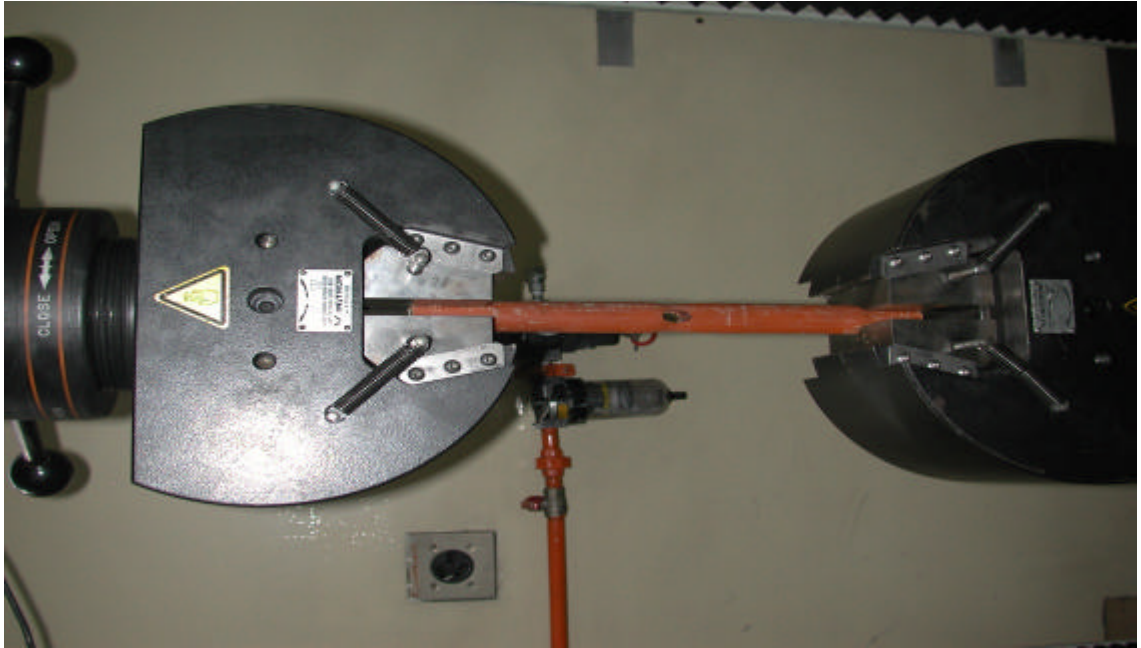


FIGURA 17. ENSAYO EN EL LABORATORIO

6 ENSAYO A REALIZAR EN EL LABORATORIO.

En el laboratorio de **La Universidad de los Andes** localizado en la ciudad de Bogota y **Acreditado por la Superintendencia de Industria y Comercio** para realizar ensayos de tensión, se realizaron los ensayos de tensión utilizados en esta monografía.

En las figuras 17, 18, 19 y 20 se demuestran los ensayos realizados.

7 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.

Los tubos de polietileno son sometidos al proceso de prensado según la norma técnica Colombiana NTC 3624 PLASTICOS. RECOMENDACIONES PARA EL ESTRANGULAMIENTO DE TUBOS DE POLIOLEFINAS PARA LA CONDUCCIÓN DE GASES A PRESION.

El ensayo consiste en montar la muestra de la tubería en una maquina universal y someterla a tensión hasta la rotura.

Comparando los datos obtenidos con probetas que no se les realizo el prensado.



FIGURA 18. MAQUINA UNIVERSAL.



FIGURA 19. PROBETA EN EL ENSAYO



FIGURA 20. PROBETA DESPUÉS DEL ENSAYO



FIGURA 21. FINAL DEL ENSAYO

8 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Estos resultados son tabulados de acuerdo a los resultados de los ensayos que se encuentran en el anexo.

TABLA 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

tubería nueva 3/4"	carga máxima	estado	prom prensado	porcentaje de carga
# 1	2,743	prensada	2,613	
#2	2,608	prensada	prom sin prensado	68,39
#3	2,487	prensada		
#4	3,82	sin prensado	3,82	
tubería olaya 8 años 3/4"	carga máxima		prom prensado	
# 1	3,024	prensada	2,786	
#2	2,547	prensada	prom sin prensado	80,00
#3	3,482	sin prensado		
			3,482	
tubería caracoles 18 años 3/4"	carga máxima		prom prensado	
# 1	2,727	prensada	2,732	
#2	2,736	prensada	prom sin prensado	67,48
#3	4,031	sin prensado		
#4	4,065	sin prensado	4,048	
tubería manga 23 años 1/2"	carga máxima		prom prensado	
# 1	2,344	prensada	2,375	
#2	2,406	prensada	prom sin prensado	90,20
#3	2,614	sin prensado		
#4	2,652	sin prensado	2,633	
tubería alto bosque 25 años 1/2"	carga máxima		prom prensado	
# 1	2,439	prensada	2,38	
#2	2,321	prensada	prom sin prensado	88,28
#3	2,674	sin prensado		
#4	2,718	sin prensado	2,696	

tub nueva	68,39
8 años	80
18 años	67,48
23 años	90,2
25 años	88,28

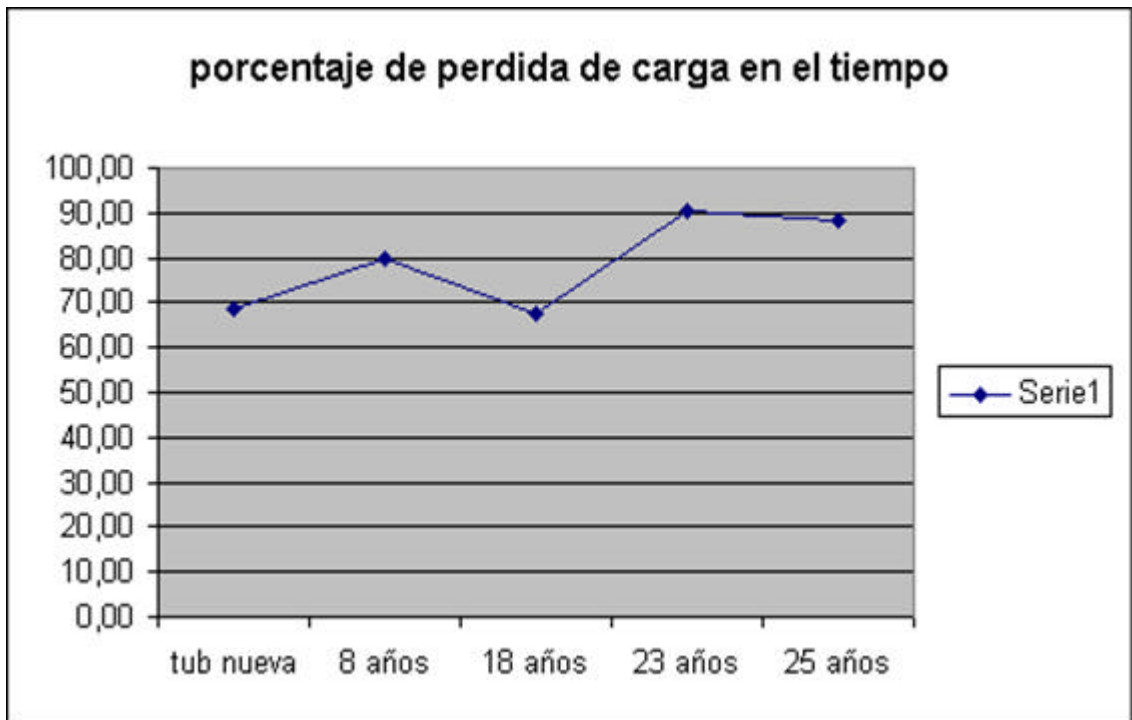


FIGURA 22. PORCENTAJE DE PERDIDA DE CARGA EN EL TIEMPO

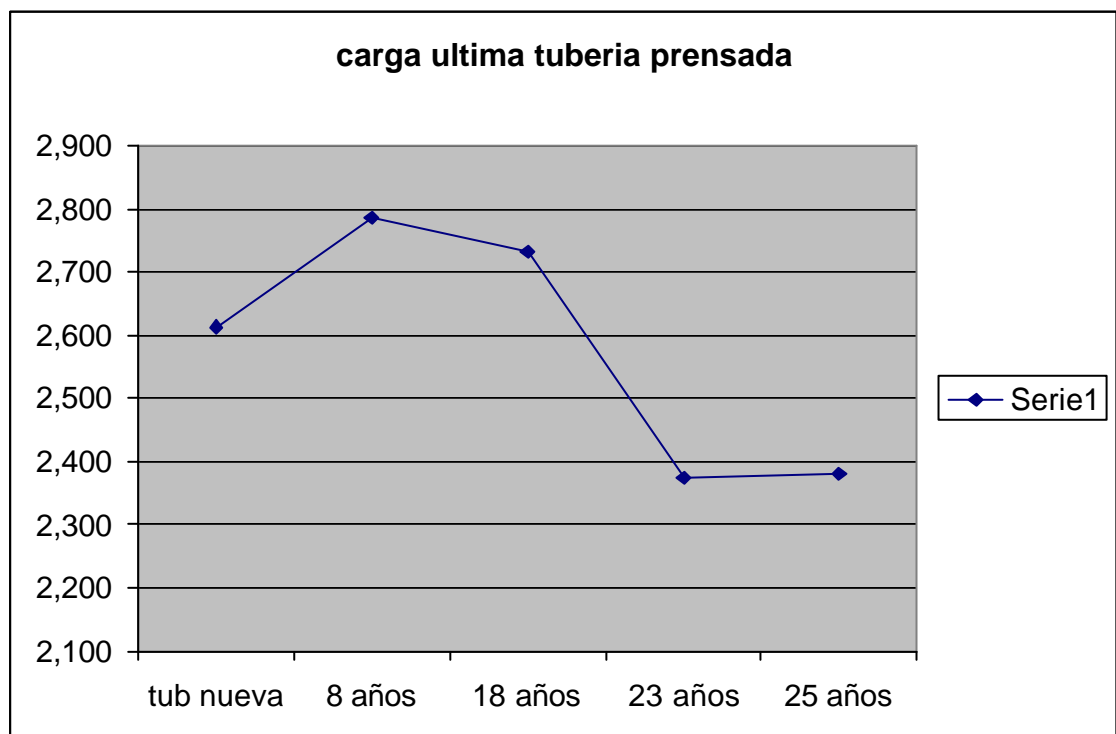


FIGURA 23. CARGA ULTIMA TUBERIA PRENSADA

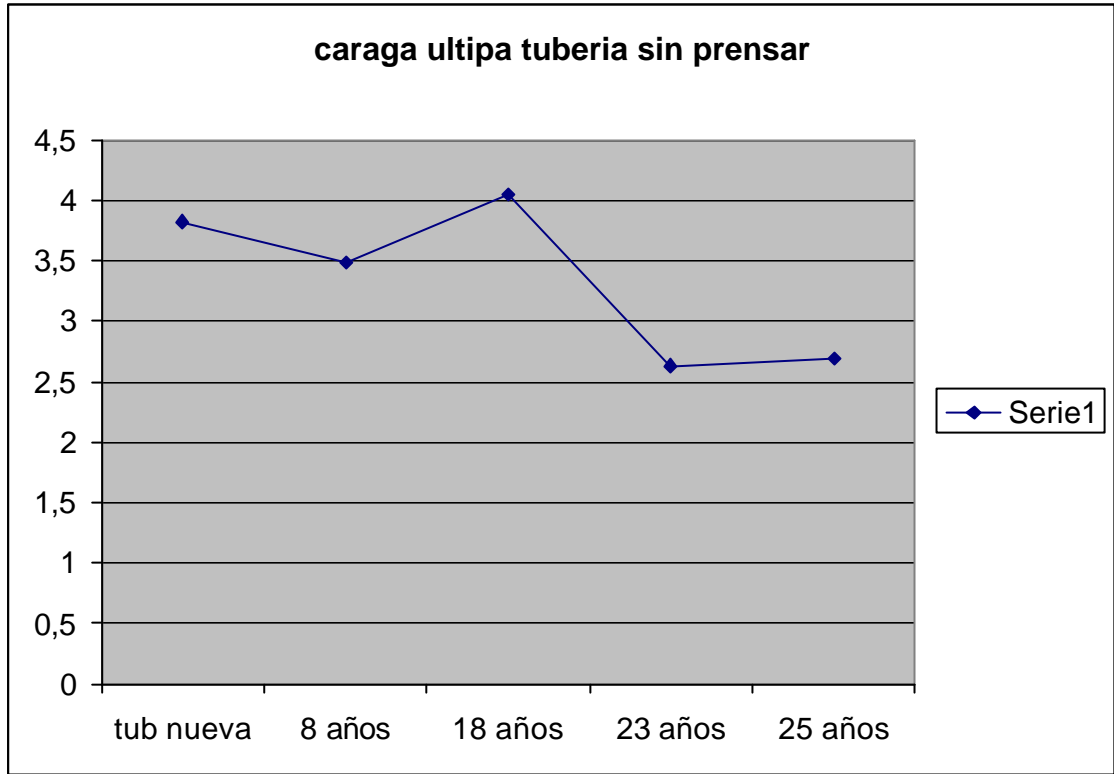


FIGURA 24. CARGA ULTIMA TUBERIA SIN PRENSAR

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Después de estudiar y analizar literatura respecto a este tema, analizar los resultados de los ensayos y escuchar a personas que posee experiencia en el tema, hemos llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- ✓ La pérdida de la carga no es por el mecanismo de prensado, se debe analizar otros ensayos para analizar porque se pierde la capacidad de carga.

Por lo tanto la tubería de polietileno de media densidad después de ser prensada, esta no pierde las propiedades físicas desde el punto de vista de la carga última.

- ✓ La influencia de las dimensiones de la barra en el estrangulamiento no ha sido examinada. El radio relativamente grande de las barras usadas (25mm), sin embargo, parece influenciar positivamente el comportamiento de estrangulamiento. Si se usan barras más grandes la superficie que contacta la pared del tubo es más grande y también la efectividad durante el estrangulamiento. Además de acuerdo con la teoría usando una fuerza definida el esfuerzo de compresión y de corte directamente creado bajo la herramienta de estrangulamiento decrece mientras el diámetro de las barras aumenta. Este esfuerzo es proporcional a $(1/(D^{0.5}))$. D es el diámetro exterior de la barra. Si durante el estrangulamiento el esfuerzo es más

pequeño, en la pared del tubo el daño probablemente será más pequeño. Pero las grandes barras son desventajosas porque se requieren fuerzas mas altas para estrangular tubos grandes (mas de 100 Kn para tubos de un diámetro exterior de 160mm).

- ✓ En la mayoría de los casos una tasa de estrangulamiento de 0.7 es suficientemente pequeña para realizar u estrangulamiento efectivo y es lo suficientemente alta para evitar el daño permanente del material del tubo. Si usted considera que en el sitio que la tasa de estrangulamiento en el aparato esta ajustada al espesor de pared nominal del tubo también lograra una gran tasa de estrangulamiento manteniendo la tolerancia del espesor de pared. Esto significa que usted alcanzará una menor compresión del espesor del espesor de pared previniendo de este modo el daño del tubo por una compresión muy alta.

BIBLIOGRAFÍA

Plásticos. tubos y accesorios termoplásticos para conducción de gases a presión (norma NTC 1746). ICONTEC, Bogota, 1999.

Plásticos, recomendaciones para el estrangulamiento de tubos para la conducción de gases a presión (norma NTC 3624). ICONTEC, 1994

Manual de uso de polietileno en redes de distribución de gas. SEDIGAS. Bogota.

Informe del estudio del estrangulamiento de tubos de polietileno. EXTRUCOL, Bucaramanga.

Paginas web:

www.extrucol.com.co

www.sedigas.com.co

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Molécula de polietileno	19
Figura 2. Proceso de obtención bimodal	21
Figura 3. proceso de fabricación y transformación del polietileno	22
Figura 4. Proceso de extrusión de la tubería	24
Figura 5. Estructura de los polímeros	25
Figura 6. Distribución de los esfuerzos en la tubería	36
Figura 7. Resistencia a la presión interna	39
Figura 8. Proceso de aplastamiento	45
Figura 9. Proceso de aplastamiento esquemático	46
Figura 10. Herramienta de aplastamiento	50
Figura 11. Proceso de estrangulamiento. Tubo 3/4in	52
Figura 12. Proceso de estrangulamiento. Tubo 1/2in	53
Figura 13. Proceso de estrangulamiento. Tubo 3/4in	53
Figura 14. Proceso de estrangulamiento. Tubo 1/2in	54
Figura 15. Muestra de la tubería analizada	56

Figura 16. Prensado de tubería	57
Figura 17. Ensayo de laboratorio	58
Figura 18. Máquina universal	60
Figura 19. Probeta en el ensayo	61
Figura 20. Probeta en el ensayo	61
Figura 21. Fin del ensayo	61
Figura 22. Porcentaje de pérdida de carga	63
Figura 23. Carga última tubería prensada	63
Figura 24. Carga última tubería sin prensar	64