

**ESTUDIO DE ENVEJECIMIENTO NATURAL A LA INTEMPERIE DE LA
TUBERÍA DE POLIETILENO (PE) Y POLICLORURO DE VINILO (PVC)**

MÓNICA LILIANA ROJAS FLÓREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2013**

**ESTUDIO DE ENVEJECIMIENTO NATURAL A LA INTEMPERIE DE LA
TUBERÍA DE POLIETILENO (PE) Y POLICLORURO DE VINILO (PVC)**

MÓNICA LILIANA ROJAS FLÓREZ

**Tesis de grado optar el título de
Ingeniera Química**

Director

Ph. D. DIONISIO LAVERDE CATAÑO

Codirector

ING. QCO. JORGE ELEAZAR CASTELLANOS HERNÁNDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A dios por la fuerza que me da al afrontar el camino de la vida.

A mis padres por su constante apoyo en todas las etapas de mi vida y

a quienes les debo la persona que ahora soy.

A mis hermanos quienes con su sentido del humor me ayudan

siempre a relajarme en los momentos de gran tensión.

A toda mi familia por su comprensión y su apoyo incondicional.

A mis amigos por su apoyo y ánimo en cada momento.

Y sobre todo a Anamé que aunque no esté conmigo, siempre la

sentí a mi lado apoyándome y protegiéndome en cada momento.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Extrucol S.A. por la oportunidad de dejarme realizar este estudio.

Al Ing. Jorge Eleazar por su apoyo, colaboración y guía tanto en el estudio como en lo profesional.

A los niños y niñas de laboratorio, quienes están y los que se han ido pero que siempre me apoyaron en cada instante.

A toda la familia Extrucol por acogerme y dejarme ser un miembro más.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO CONCEPTUAL	16
1.1. ADITIVOS	16
1.2. ENVEJECIMIENTO DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS	18
2. METODOLOGÍA	20
2.1. MONTAJE	23
2.2. TIPOS DE ENSAYOS	25
2.3. EQUIPOS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS	25
2.3.1. Sustancias Químicas	25
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS	28
3.1. RADIACIÓN	28
3.2. ENSAYOS	29
3.2.1. Presión d Rotura	29
3.2.2. Densidad.	32
3.2.3. Resistencia	33
3.2.4. Elongación	36
3.2.5. Impacto.	38
3.2.6. Calidad Requerida.	38
3.2.7. Cambio en la Microestructura.	39
3.2.8. Fluidez	40
3.2.9. Estabilidad Térmica Y Cristalinidad Tuberías Gas	41
3.2.10. Estabilidad Térmica Oxidativa Y Cristalinidad Tubería Agua.	42
4. CONCLUSIONES	44

5. RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tubería utilizada para el estudio.	23
Tabla 2. Ensayos implementados en el estudio según el tipo de tubería.	27
Tabla 3. Ciclos de ensayo tubería PE agua potable, PVC y PVCO.	28
Tabla 4. Ciclos de ensayo tubería PE gas.	29

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Dispositivo implementado para la exposición de las probetas a la intemperie.	21
Figura 2. Radiación promedio diario multianual de la cantidad de radiación emitida en Colombia.	22
Figura 3. Montaje tubería 110mm RDE 17 PE100 AGUA, 20mm RDE 7,5 PE40, 4PULG PR-200 BIAxIAL y PVC 4PULG UNION Z RDE 21	24
Figura 4. Montaje de la tubería 110mm RDE11 PE100, 4PULG RDE11 PE100 y 2PULG RDE11 PE80.	24
Figura 5. Falla dúctil tipo pico de loro en tubería de PE.	30
Figura 6. Falla frágil tipo espina de pescado en tubería de PVC y PVCO.	30
Figura 7. Presión de rotura tubería agua	31
Figura 8. Presión de rotura tubería gas.	31
Figura 9. Cambio porcentual en la densidad tubería para agua.	32
Figura 10. Cambio porcentual en la densidad tubería para gas.	32
Figura 11. Método de ensayo de rigidez en compresión. Tubería 110mm RDE17 PE100 Agua	33
Figura 12. Cambio porcentual en el esfuerzo en compresión de la tubería para agua	34
Figura 13. Cambio porcentual en la deformación en compresión de la tubería para agua	34
Figura 15. Cambio porcentual en la deformación de la tubería para gas	35
Figura 16. Blanqueamiento lateral externo e interno y fisuras localizada tubería de PVC	36
Figura 17. Blanqueamiento lateral externo leve tubería 4PULG RDE11 PE100 Gas	36
Figura 18. Probetas tipo hueso de perro para el ensayo a la resistencia a la elongación. PE agua (a), PVC (b) Y PE gas (c).	37

Figura 19. Cambio en el módulo de elasticidad en tensión tubería para agua.	37
Figura 20. Cambio en el módulo de elasticidad en tensión tubería para gas.	38
Figura 21. Resistencia al impacto tubería (a) PE, (b) PVCO y (c) PVC.	38
Figura 22. Calidad requerida (a) PVC y (b) PVCO.	39
Figura 23. Cambio en la microestructura tubería 4PULG RDE11 PE100 Gas.	39
Figura 24. Cambio en la microestructura tubería 20mm RDE7,5 PE40 Agua.	40
Figura 25. Datos obtenidos mediante el ensayo de fluidez tubería agua.	40
Figura 26. Datos obtenidos mediante el ensayo de fluidez tubería gas.	41
Figura 27. Datos obtenidos mediante el ensayo de estabilidad térmica y cristalinidad para tuberías de gas	42
Figura 28. Datos obtenidos mediante el ensayo de estabilidad térmica oxidativa y cristalinidad para tuberías de agua.	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. RADIACIÓN SOLAR MUNDIAL	55
ANEXO B. EQUIPOS DE LABORATORIO.	56

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE ENVEJECIMIENTO NATURAL A LA INTEMPERIE DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO (PE) Y POLICLORURO DE VINILO (PVC).*

AUTORES: MÓNICA LILIANA ROJAS FLÓREZ**

PALABRAS CLAVES: Intemperismo, intemperie, envejecimiento, natural, polietileno (PE), polícloruro de vinilo (PVC), orientada, tubería, radiación solar, Extrucol S. A.

DESCRIPCIÓN

La empresa EXTRUCOL- Colombiana de Extrusión S.A. líder en fabricación de tuberías y accesorios de polietileno, buscando mejorar la calidad de sus productos, decidió realizar un estudio de interperismo natural de las tuberías de polietileno (PE), policloruro de vinilo (PVC) y policloruro de vinilo orientado (PVCO). El objetivo de estudio fue establecer e identificar los posibles daños que sufren dichas tuberías por efecto de la radiación incidida, igualmente determinar las posibles pérdidas de las propiedades mecánicas y químicas que presentan los materiales poliméricos expuestos de forma natural al ambiente. Para ello, este estudio se basó en diversas normas, NTC, ISO y ASTM. La selección de los diferentes ensayos se estableció bajo las normas de fabricación de cada tipo de tubería y otros por directivas propias de la empresa. Pruebas de densidad, cambio en la microestructura, resistencia al impacto, estabilidad térmica oxidativa, estabilidad térmica, rigidez de anillo, elongación a la rotura, índice de fluidez, presión de rotura, cristalinidad, calidad de extrusión, fueron efectuadas en cada una de las referencias de tubería mencionadas anteriormente. El tiempo de estudio fue dividido en 4 ciclos trimestrales, iniciando el día 31 de mayo de 2011 para tubería de agua y 5 de julio de 2011 para tubería de gas. Los resultados obtenidos mostraron que las tuberías de PVCO presentaron mayor variabilidad y deterioro en sus propiedades mecánicas y químicas, además se concluyó que las tuberías de PE para gas no son aptas para su uso en condiciones de exposición a la intemperie.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director
Ph. D. Dionisio Laverde Cataño. Codirector. Ing. Qco. Jorge Eleazar Castellanos Hernández

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF POLYETHYLENE AND POLYVINYL CHLORIDE PIPELINES OUTDOOR NATURAL AGING*

AUTHOR: Mónica Liliana Rojas Flórez**

KEYWORDS: Weathering, outdoor, aging, natural, polyethylene (PE), polyvinyl chloride (PVC), oriented, pipeline, sunlight, Extrucol S. A.

SUMMARY:

The EXTRUCOL Company –Colombiana de Extrusión S.A.-, a leader in pipelines manufacture and polyethylene accessories, looking for an improvement of its products, has decided to study the natural weathering of polyethylene pipelines (PE), polyvinyl chloride (PVC) and oriented polyvinyl chloride (PVCO). The objective of this study is to establish and identify the possible damages made to pipelines by influence radiation effect, as well as to determine the possible mechanical and chemist properties loss of polymeric materials exposed in a natural way to the environment. This study was based in several regulations such as NTC, ISO and ASTM. The choice between different trials was established according to fabrication standards for each kind of pipelines, and by company's own regulations. Density tests, microstructural changes, impact resistance, oxidative thermic stability, thermic stability, ring's rigidity, rupture elongation, fluency index, rupture pressure, cristalinity, extrusion quality, were made in each reference of the mentioned pipelines. The study timeline was divided into 4 trimestral cycles, beginning on May 31st of 2011 for water pipelines and on July 5th of 2011 for gas pipelines. The obtained results showed that PVCO pipelines presented a major variability and aging of their mechanical and chemist properties, also it was concluded that gas PE pipelines are not capable for their use in outdoors.

* Work degree

** Physicochemical Faculty of Engineering. School of Chemical Engineering. Director Ph. D. Dionisio Laverde Cataño. Co. Qco Ing. Jorge Hernandez Eleazar Castellanos

INTRODUCCIÓN

La empresa Extrucol – Colombiana de Extrusión S.A., situada en el Parque Industrial km 3 Café Madrid, Bucaramanga, Santander, Colombia. Dedicada principalmente a la fabricación y comercialización de tubería y accesorios de polietileno (PE) y tuberías multicapa polietileno-aluminio-polietileno (PEALPE) para las aplicaciones de conducción y transporte de gas natural, agua potable, minería, acueductos veredales y aplicaciones industriales¹, buscando siempre mejorar la calidad de sus productos y servicios. Extrucol también se preocupa por brindar una información amplia de sus productos, implementando diversos proyectos de investigación en la mayoría de los casos originados por las inquietudes manifestadas por los clientes. En esta oportunidad, existe la necesidad de determinar y predecir el comportamiento de las tuberías expuestas a la intemperie durante periodos de tiempo.

Por tal razón la empresa decidió realizar un estudio de intemperismo natural de las diversas tuberías que ofrecen así como las de la competencia para brindar un soporte técnico que beneficie a las partes interesadas.

El objetivo del estudio es establecer e identificar los posibles daños y pérdidas de propiedades mecánicas y químicas que presentan los materiales poliméricos durante el tiempo de exposición natural bajo condiciones ambientales en el área geográfica del municipio de Bucaramanga, Santander, Colombia.

1. MARCO CONCEPTUAL

Los polímeros son unidades repetitivas de la síntesis de su monómero base, puede ser natural o sintética. Los polímeros sintéticos se forjan dependiendo de su polimerización ya sea por radicales libres o condensación, y por adición o crecimiento de cadenas. [1]

El polietileno (PE) es un polímero por adición termoplástico, donde su monómero base es el etileno. Debido a las cualidades físico-mecánicas y físico-químicas del polietileno, la industria ha optado por la utilización de este material para la fabricación de tubería con fines de transporte de agua potable, gas y otros productos industriales. [1,2]

Otro polímero por adición es el policloruro de vinilo. La tubería de poli cloruro de vinilo orientado o biaxial (PVCO), es un tipo especial de PVC en el cual una vez horneado es sometido al redireccionamiento de sus ejes por fuerzas externas, disminuyendo el espesor de pared y aumentando el diámetro externo de la tubería. [3]

1.1. ADITIVOS

Dependiendo del servicio de la tubería de PE, ésta debe cumplir con unos mínimos requisitos de calidad. Para esto, es requisito la implementación de diversos aditivos químicos que modifican las propiedades de los plásticos, para obtener un óptimo rendimiento y ofrecer un mejor servicio.

Los aditivos se pueden clasificar en:

- Antioxidantes: su implementación se basa en el retardo o detención de la oxidación. Entre los principales oxidantes se encuentran el ácido fenólico, las aminas, los fosfitos y los tioésteres.
- Agentes antiestáticos: hacen que la superficie sea más conductora de electricidad disipando cargas estáticas y descargándolas a la atmósfera por medio de la humedad.
- Colorantes: la implementación de pigmentos contribuye a un fácil reconocimiento del servicio del producto.
- Agentes de copulación: optimizan la unión interfacial, mejorando la adherencia de refuerzos u otros sustratos.
- Agentes de curado: forman cadenas largas de polímeros y reticulaciones. Usualmente también se emplean inhibidores (prolonga la vida en almacenamiento), catalizadores (favorecen la unión de monómeros y/o reticulación), entre otros.
- Retardadores de llama: son combinaciones de bromo, cloro, antimonio, boro y fósforo, que emiten un gas que sofoca el fuego. Ningún polímero se puede volver no inflamable en su totalidad.
- Agentes de espumado/soplado.
- Estabilizadores: retardan los efectos dañinos provocados por la temperatura, calor, energía luminosa. El tiempo de inducción es el tiempo en el cual los estabilizadores brindan protección al material.
- Modificadores de impacto: aumentan la resistencia al impacto, índice de fusión, entre otras.
- Lubricantes: minimiza la fricción entre la resina y el equipo de proceso, lo que favorece la adición de otros aditivos.
- Plastificantes: aumenta la flexibilidad del material y reduce la temperatura de deformación del material.
- Conservantes: evitan ataques de microorganismos, insectos o roedores.
 - [1, 3]

1.2. ENVEJECIMIENTO DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS

Los materiales poliméricos difieren mucho dependiendo de su estructura molecular, de ahí la gran importancia de determinar el envejecimiento de los materiales debido a diversos factores que afectan dicha estructura. Hay diversos tipos de envejecimiento, esto difiere del ambiente en el cual se encuentra el material.

Además, existen algunos factores más representativos que inducen el envejecimiento:

- Luz solar
- Temperatura
- Humedad
- Agentes contaminantes
- Oxígeno
- Efecto de iones metálicos
- Fatiga dinámica
- Ozono

El envejecimiento de un material se puede obtener de tres maneras

- **Natural:** Cuando un material es sometido a la intemperie o cuando tiene un desgaste por causa de sus condiciones normales de trabajo.
- **Acelerado:** Aplica algún mecanismo de aumento en algún factor que difiera en la estructura del material.
- **Artificial:** Por medio de equipos y/o cabinas que simulen el efecto del medio ambiente.

Tipos de envejecimiento

- **Químico:** se caracteriza por la acción de alguna anomalía en la estructura química en condiciones ambientales.
- **Termoquímico:** Temperatura altas.
- **Termo-oxidativos:** Temperaturas moderadas en presencia de oxígeno provocando gran exotermicidad.
- **Fotoquímico:** Radiaciones ópticas + oxígeno.
- **Radioquímico:** Radiaciones ionizantes + oxígeno.
- **Bioquímico:** Medios biológicamente activos.
- **Físico:** se basa principalmente en la transferencia de masa, no implica cambios químicos.

Las principales propiedades físico-mecánicas y fisicoquímicas afectadas por el envejecimiento son:

- Rigidez
- Cristalinidad
- Densidad
- Decoloración o manchas
- Estado físico
- Estabilidad química
- Fluidez

2. METODOLOGÍA

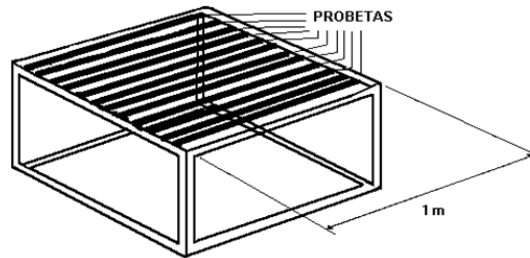
Con el fin de determinar y predecir el comportamiento de las tuberías expuestas a la intemperie durante largos periodos de tiempo, se ha decidido realizar un estudio de intemperismo natural de las diversas tipos de tuberías. Esto mediante la evaluación de los cambios producidos debido al envejecimiento natural de tuberías plásticas.

Para ello, se analizaron diversas normas referentes a este tipo de producto. Entre estas normas se encuentran las normas de producto NTC, las ISO y las ASTM, además de otros procedimientos internos, establecidos por la empresa Extracol S. A. para dar cumplimiento a cada una de éstas, referidas a la elaboración del estudio de envejecimiento, especificaciones del producto y ensayos a realizar.

De la misma manera, se tuvieron en cuenta los criterios evaluados por la empresa que no se encuentran estipulados bajo norma [4], los cuales ofrecen información importante y se retiran otros que son irrelevantes para el estudio.

La norma ISO 1435 especifica el montaje para la exposición a la intemperie de tuberías plásticas y el tipo de dispositivo que se utilizó para el estudio (Figura 1).

Figura 1 Dispositivo implementado para la exposición de las probetas a la intemperie.



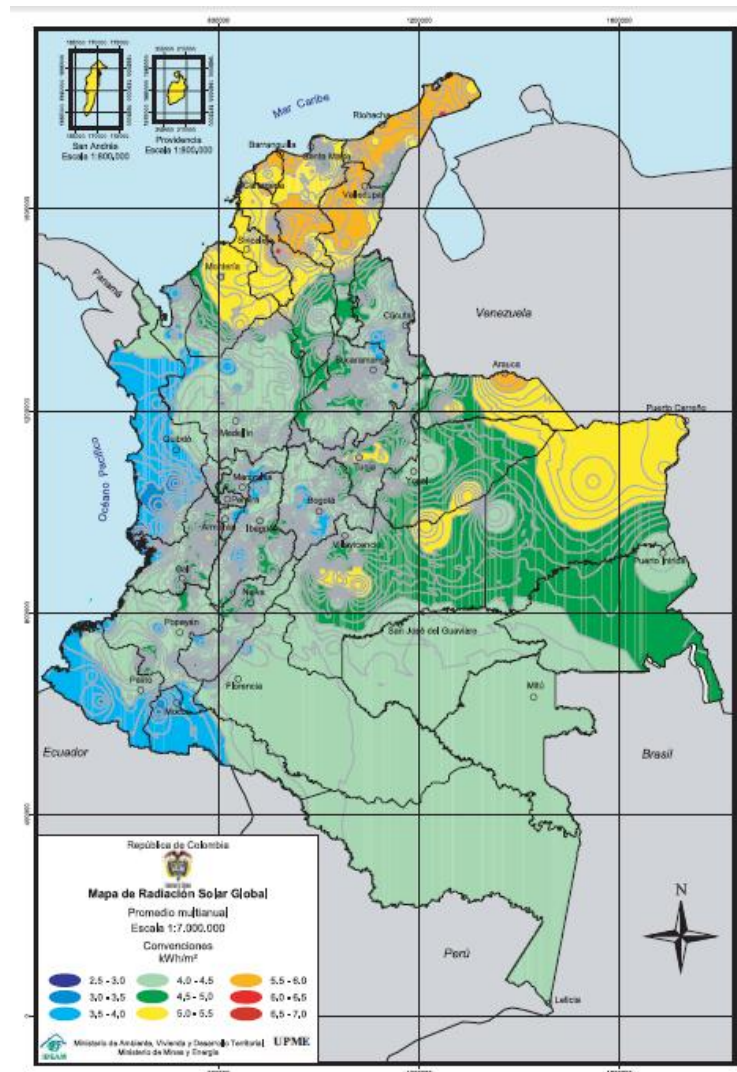
Fuente: Norma ASTM D1435

Para garantizar una exposición total y permanente, las estructuras se localizaron en sitios altos y desprotegidos, de tal forma que las probetas queden orientadas en sentido de oriente a occidente, de forma horizontal con respecto a la línea del ecuador y siempre expuesta a la intemperie.

La determinación de los ciclos de ensayos y otras consideraciones del estudio estuvieron determinados bajo la norma ASTM D1435 [5]. Esta norma determina las propiedades que se deben tener en cuenta, como el índice de radiación solar, información suministrada por el Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en el cual se utiliza el mapa de radiación solar como se muestra en la figura 2, corroborando los datos con la estación meteorológica del aeropuerto Palonegro desde el año 2005 hasta el 2011.

La tubería seleccionada abarca diferentes referencias para alcanzar diversas presentaciones de producción de PE y poder compararse con referencias de PVC y PVCO. La caracterización e individualización de la tubería depende de su utilidad. Por ejemplo, la tubería de PE para gas se rige bajo la norma NTC 1746, la tubería para agua potable de PE según la norma NTC 4585 [4], la de PVC según la NTC 1341 [4] y el PVCO según la NTC 5425 [4].

Figura 2. Radiación promedio diario multianual de la cantidad de radiación emitida en Colombia.



Fuente: Atlas de Radiación Solar en Colombia, IDEAM

Según la figura 2, la mayor incidencia de radiación en Colombia está dada en las regiones del norte como la Guajira y al oriente hacia Arauca. La región de Santander cuenta con 4 a 4,5 GJ de radiación promedio multianual.

También se tuvo en cuenta información de algunas otras fuentes como proyectos de grado realizados por estudiantes de la Universidad Industrial de Santander. De

igual manera se revisó estudios, artículos y revistas. La bibliografía clásica para información teórica o definiciones del proyecto, que permitieron tener mayor conocimiento del comportamiento, cambios y resultados esperables y que pudieran analizarse en la ejecución del proyecto.

Tabla 1. Tubería utilizada para el estudio.

TIPO	REFERENCIA
Gas naranja	110mm RDE 11 PE100
Gas naranja	4PULG RDE11 PE100
Gas amarilla	2PULG RDE11 PE80
Agua potable	20mm RDE 7,5 PE40
Agua potable	110mm RDE 17 PE100
PVCO	4PULG PR-200 BIAxIAL
PVC	PVC 4PULG UNION Z RDE21

Fuente: Autora

2.1. MONTAJE

El día 31 de Mayo de 2011 se ubicaron las probetas en los dispositivos previamente situados en el sitio asignado de las referencias 110mm RDE 17 PE 100 agua potable, 20mm RDE 7,5 PE40 potable, PVC rígido 4PULG y PVC Biaxial 4PLG. La tubería estuvo ubicada en el techo correspondiente al área del cuarto de equipos de termo fusión de la empresa como lo muestra la figura 3. Se destinaron 10 m de tubería de 20mm PE40 RDE 7,5, 30 m de tubería de 110 mm PE100 RDE17, 18 m de tubería de PVC 4PULG UNION Z RDE21 PVC RIGIDO y 18 m de tubería 4PULG PR-200 BIAxIAL PVC. Al mismo tiempo se dejaron probetas disponibles para estudios posteriores de largo plazo.

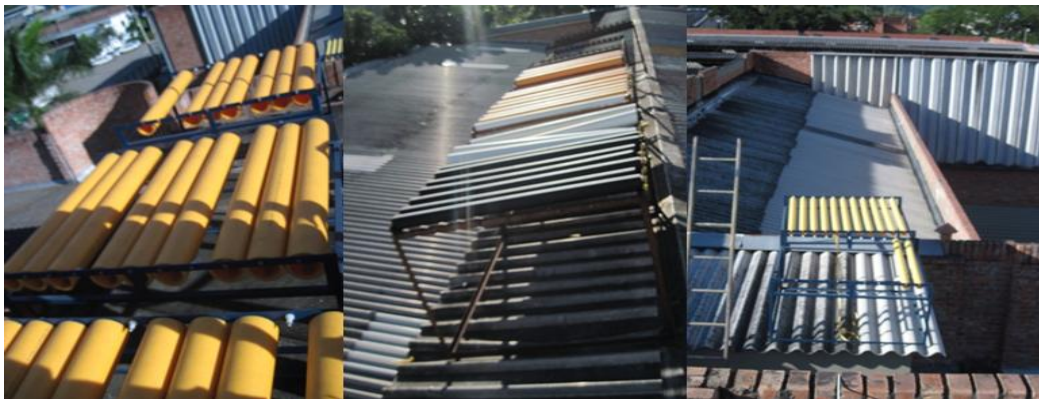
El día 05 de Julio de 2011 se ubicaron las probetas en los dispositivos previamente situados en el sitio asignado de las referencias 110mm RDE 11 PE 100 gas Naranja, 4PULG RDE 11 PE 100 gas Naranja y 2PULG RDE 11 PE 80 gas Eltex tub.172. La tubería se ubicó en el techo correspondiente al área de la zona refrescante de la empresa EXTRUCOL S. A. como lo muestra la figura 4. Se destinaron 17 m de tubería 2PULG PE 80 ELTEX TUB.172 amarilla, 19 m de tubería 110mm RDE11 PE100 naranja, 19 m de tubería 4PULG RDE11 PE 100 naranja. Por lo cual, se dio inicio al primer ciclo de ensayo para cada referencia.

Figura 3. Montaje tubería 110mm RDE 17 PE100 AGUA, 20mm RDE 7,5 PE40, 4PULG PR-200 BIAxIAL y PVC 4PULG UNION Z RDE 21



Fuente: Autora

Figura 4. Montaje de la tubería 110mm RDE11 PE100, 4PULG RDE11 PE100 y 2PULG RDE11 PE80.



Fuente: Autora

En los meses de octubre de 2011, enero y abril de 2012, se recolectaron las probetas concernientes a cada ciclo y sus respectivas pruebas, así mismo también se realizaron pruebas al inicio (es decir, antes de exponer las probetas a la intemperie) y cuando el índice de radiación alcanzara el 3,5 GJ/m² según lo especifique el tipo de ensayo. Cada probeta tenía una longitud de 1 m para su montaje, según lo descrito en la norma ISO 16871 de intemperismo. Se dejaron probetas expuestas a la intemperie indefinidamente para continuar el estudio a largo plazo.

2.2. TIPOS DE ENSAYOS

Cada tipo de ensayo se rige bajo una norma específica de acuerdo a la fabricación de tuberías de PE de agua potable, gas, PVC y PVCO. Las normas base del estudio a la intemperie para las tuberías plásticas y otros ensayos seleccionados se exponen en la tabla 2.

2.3. EQUIPOS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS

Los equipos empleados para la realización del estudio fueron los del laboratorio de Extrucol S. A. Este laboratorio se encuentra acreditado por el Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación (ICONTEC). Anexo 2.

2.3.1. Sustancias Químicas

- Aceite mineral.
- Metanol grado analítico.
- Tolueno al 15% en metanol grado analítico.

- Terbutil Mecaptano al 5% en aceite mineral grado analítico.
- Acetona grado analítico.

Las sustancias químicas utilizadas fueron implementadas para el ensayo de resistencia química para tuberías de PE gas, con excepción de la acetona que fue utilizada para la prueba de calidad requerida al PVC y PVCO.

Tabla 2. Ensayos implementados en el estudio según el tipo de tubería.

ENSAYOS	NORMA	REFERENCIA						
		2PULG RDE 11 PE80 GAS	4PULG RDE11 PE100 GAS	110mm RDE11 PE100 GAS	20mm RDE7,5 PE100 AGUA	110mm RDE17 PE100 AGUA	4PULG PR-200 BIAXIAL PVCO	4PULG UNION Z RDE21 PVC
Dimensiones	NTC 3358	X	X	X	X	X	X	X
Densidad	NTC 907	X	X	X	X	X		
Cambio en la microestructura	ISO 18553	X	X	X	X	X		
Resistencia al impacto	NTC 1125 – NTC 4908					X	X	X
Estabilidad térmica oxidativa	ISO/TR 10837- NTC2435				X	X		
Estabilidad térmica	ASTM D3350	X	X	X				
Rigidez de anillo	NTC 3254	X	X	X	X	X	X	X
Negro de Humo	ISO 6964				X	X		
Elongación a la rotura	ISO 6259 1-3 NTC 5095	X	X	X	X	X	X	X
Índice de fluidez	NTC 667	X	X	X	X	X		
Presión de rotura	NTC 3579	X	X	X	X	X		
Cristalinidad	Interna Extrucol	X	X	X	X	X		
Resistencia química	ASTM D543 – NTC 1746	X	X	X				
Resistencia a la tensión de anillo	NTC 4392	X	X	X				
Calidad de extrusión	NTC 2983						X	X

Fuente: autora

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1. RADIACIÓN

Se analiza la información suministrada por la estación de meteorología Palo Negro del IDEAM ubicada en el aeropuerto internacional Palo Negro de Bucaramanga desde el año 2005 a 2011 y la radiación registrada en el atlas de radiación dólar del IDEAM [4], con el fin de determinar la relación actual de la cantidad de radiación inducida sobre el área de Bucaramanga.

Los ciclos de ensayo fueron determinados por el tiempo de exposición de la tubería y la cantidad de radiación emitida (ver tabla 3 y 4). Por otra parte, la acumulación de sustancias químicas debida a la contaminación ambiental es despreciada dado que la zona de exposición tiene una alta incidencia de corrientes de aire que arrastran por convección las partículas que puedan depositarse sobre la superficie de la tubería.

El ciclo 1 hace referencia a la fecha en la cual se somete la tubería a la intemperie, por ende, la radiación total es 0 GJ/m².

Tabla 3. Ciclos de ensayo tubería PE agua potable, PVC y PVCO.

CICLO	FECHA	RADIACIÓN MIN-MAX (GJ/m ²)
1	31 Mayo 2011	0
2	20 Octubre 2011	1,86-2,12
3	21 Enero 2012	3,01-3,44
4	18 Mayo 2012	4,52-5,16
5	31 Mayo 2013	9,34-10,66
6	31 Mayo 2015	18,65-21,28

Fuente: autora

Tabla 4. Ciclos de ensayo tubería PE gas.

CICLO	FECHA	RADIACIÓN MIN-MAX (GJ/m²)
1	05 Julio 2011	0
2	20 Octubre 2011	1,40 - 1,59
3	21 Enero 2012	2,55 - 2,91
4	18 Mayo 2012	4,06 - 4,63
5	05 Julio 2013	9,33 - 10,64
6	05 Julio 2015	18,64 - 21,27

Fuente: autora

Según la información suministrada por el IDEAM los meses con el mayor índice de radiación son el mes de enero y el mes de julio, por el contrario, el mes con el menor índice de radiación es el mes de mayo. Como se demuestra en la tabla 3 y 4 la radiación en los ciclos es acumulativa, en donde los 3,5 GJ/m² registró entre los ciclo 3 y 4 de cada una de las referencias

3.2. ENSAYOS

La evaluación de la tubería en los diversos ciclos de ensayos bajo las mismas condiciones, ofrece la capacidad comparativa entre resultados.

3.2.1. Presión d Rotura. Se tiene una falla dúctil para tuberías de PE tipo pico de loro (ver figura 5), por otra parte, para las probetas de PVC y PVCO el tipo de falla es frágil con forma de espina de pescado (ver figura 6).

Figura 5. Falla dúctil tipo pico de loro en tubería de PE.



Fuente: Autor

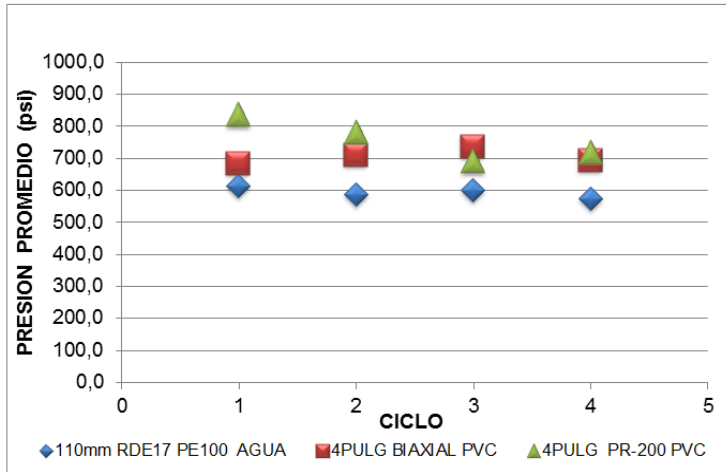
Figura 6. Falla frágil tipo espina de pescado en tubería de PVC y PVCO.



Fuente: Autora

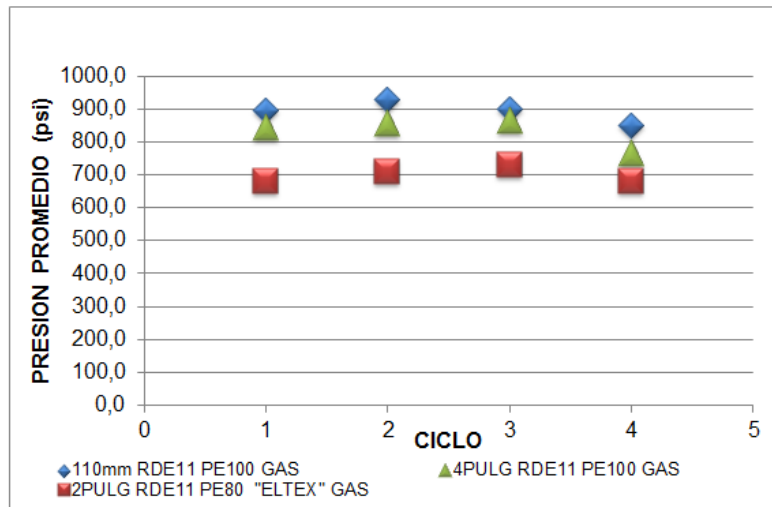
Las tuberías de PE, PVC y PVCO presentan leves cambios en los resultados de presión de rotura como se puede comparar en la figura 7 y 8.

Figura 7. Presión de rotura tubería agua



Fuente: Autora

Figura 8. Presión de rotura tubería gas.

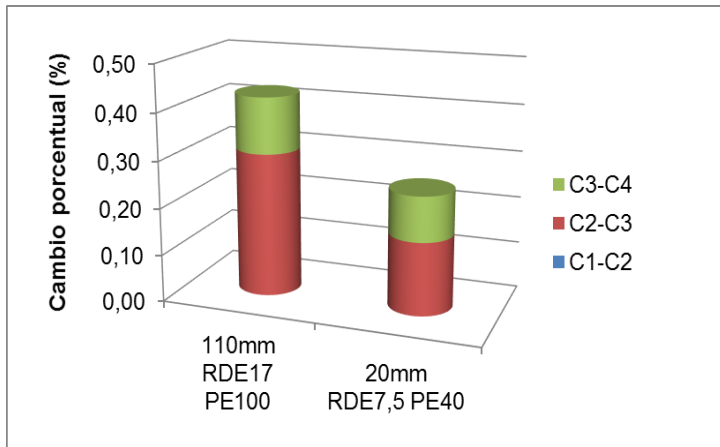


Fuente: Autora

El cambio presente en los registros de cambio de presión, se consideraron como un efecto de la diferencia del espesor de pared de cada referencia que al efecto emitido por el envejecimiento natural.

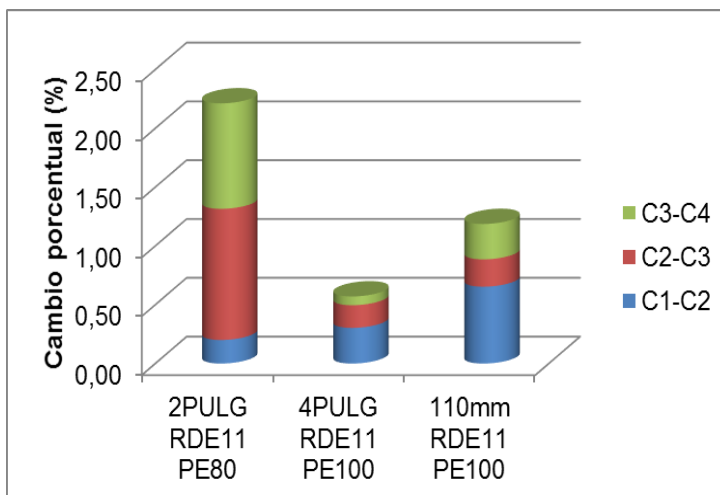
3.2.2. Densidad. En la figura 9 muestra el cambio porcentual de la densidad de la tubería de PE negra para agua, el cual permite determinar un cambio en la densidad no significativo, donde se destaca que el mayor cambio para este tipo de tubería se realiza en el tiempo transcurrido entre el ciclo 2 y el ciclo 3.

Figura 9. Cambio porcentual en la densidad tubería para agua.



Fuente: Autora

Figura 10. Cambio porcentual en la densidad tubería para gas.

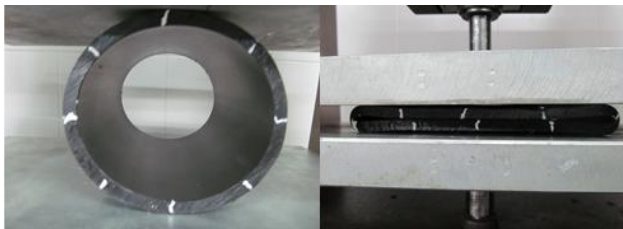


Fuente: Autora

La tubería para gas muestra un cambio en su densidad más notable como se puede apreciar en la figura 10. La referencia PE80 gas se observa un cambio brusco entre el ciclo 2 y el ciclo 3, mientras que la tubería PE100 gas registra principalmente el cambio entre el ciclo 1 y el ciclo 2.

3.2.3. Resistencia A La Rigidez. Se aplican las condiciones según la norma NTC 3254 para el cálculo de la resistencia a la rigidez de anillo. Se toma como criterio de parada el contacto de las caras del diámetro interno (figura 11) para todas las referencias.

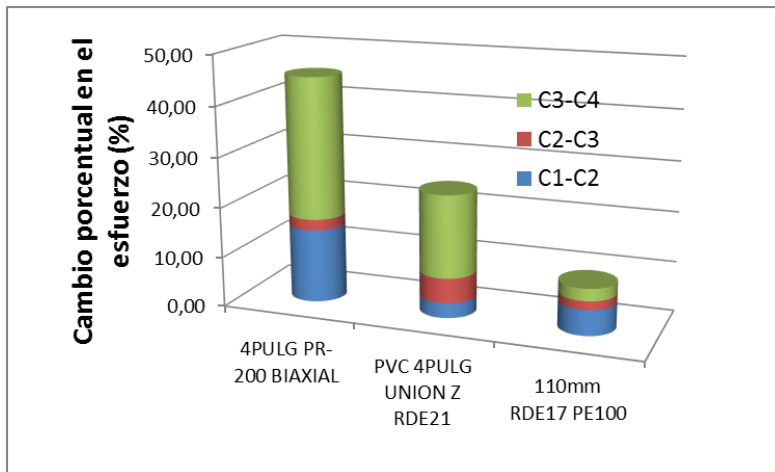
Figura 11. Método de ensayo de rigidez en compresión. Tubería 110mm RDE17 PE100 Agua



Fuente: Autora

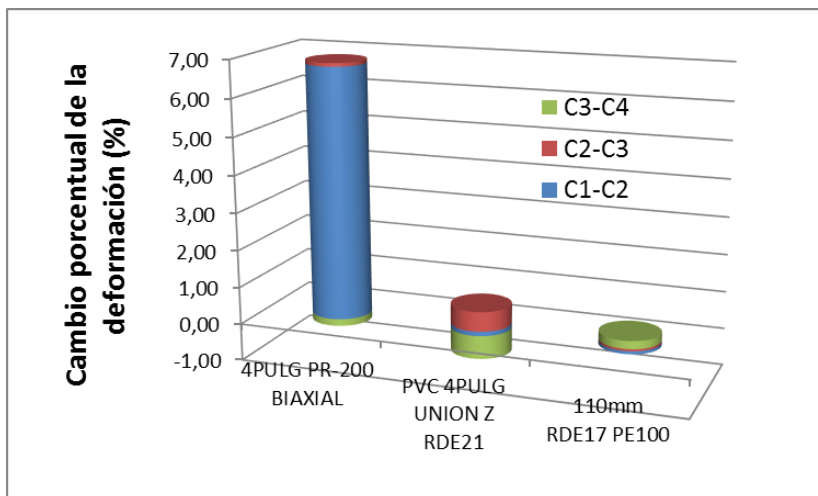
La tubería de PVCO para suministro de agua es la que sufre mayor cambio en el esfuerzo (figura 12) y en la deformación (figura 13), registrando una mayor rigidez en compresión a velocidad constante que las referencias de PVC y PE negra

Figura 12. Cambio porcentual en el esfuerzo en compresión de la tubería para agua



Fuente: Autora

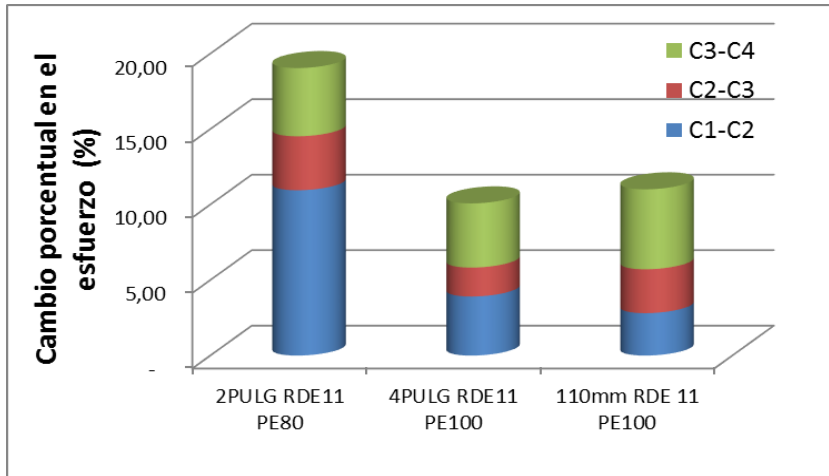
Figura 13. Cambio porcentual en la deformación en compresión de la tubería para agua



Fuente: Autora

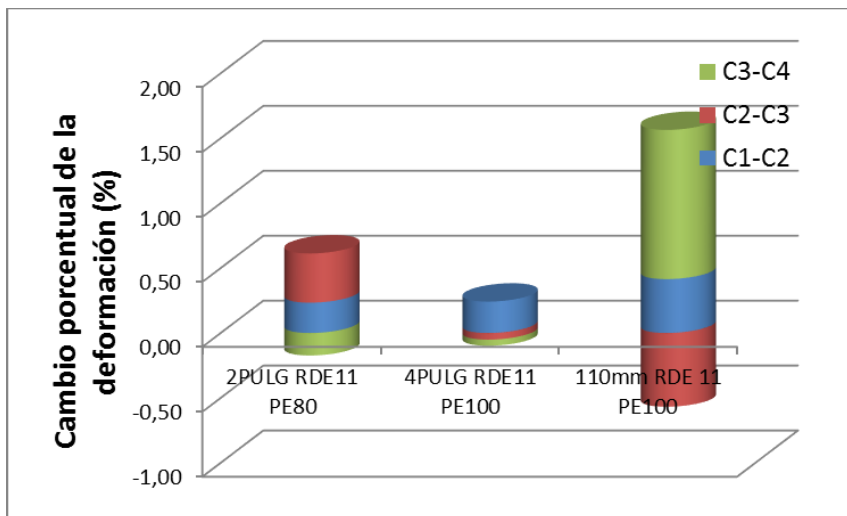
En las referencias para gas, la tubería PE80 es la que sufre mayores cambios en su esfuerzo y deformación en compresión como se demuestra en las figuras 14 y 15 respectivamente.

Figura 14. Cambio porcentual en el esfuerzo de la tubería para gas.



Fuente: Autora

Figura 15. Cambio porcentual en la deformación de la tubería para gas



Fuente: Autora

La tubería de PVC y PVCO presenta zona de blanqueamiento interno y externo y fisuras como se puede apreciar en la figura 16 a partir del ciclo 2 de ensayo como se puede observar en la figura 16.

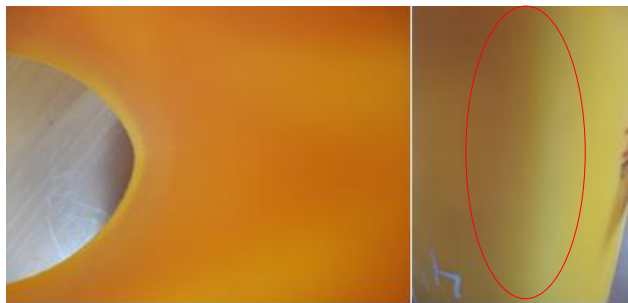
Figura 16. Blanqueamiento lateral externo e interno y fisuras localizada tubería de PVC



Fuente: Autora

En la figura 17 se puede observar una zona con leve blanqueamiento lateral externo de la tubería para gas en cada una de sus referencias presentes a partir del ciclo 2 de ensayo.

Figura 17. Blanqueamiento lateral externo leve tubería 4PULG RDE11 PE100 Gas



Fuente: Autora

La presencia del blanqueamiento en las probetas se considera como el desgaste del material por el envejecimiento causado por la radiación.

3.2.4. Elongación A La Rotura. Las probetas utilizadas en el ensayo de elongación a la rotura mediante tiraje axial fue la tipo hueso de perro (figura 18) descrita en la norma NTC595.

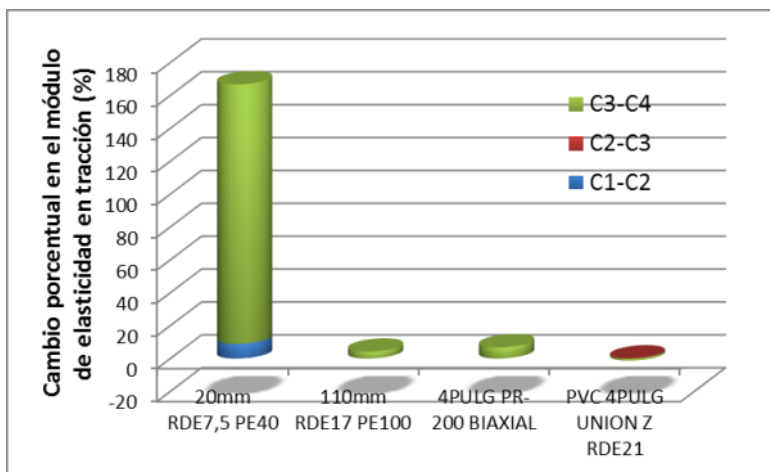
Figura 18. Probetas tipo hueso de perro para el ensayo a la resistencia a la elongación. PE agua (a), PVC (b) Y PE gas (c).



Fuente: Autora

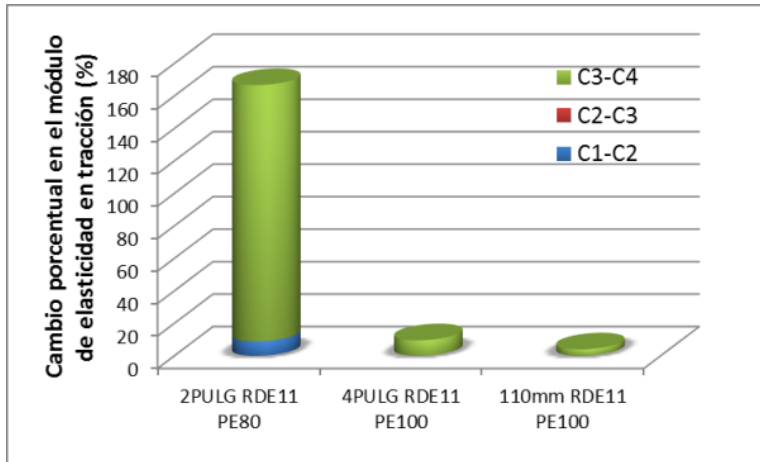
Las figuras 19 y 20 muestran el aumento de la rigidez de las referencias de baja y media densidad (PE40 y PE80) en las tuberías de PE. La radiación emitida entre el ciclo 3 y 4, es la que afecta en mayor proporción el módulo de elasticidad en cada una de las referencias de PE, PVC y PVCO.

Figura 19. Cambio en el módulo de elasticidad en tensión tubería para agua.



Fuente: Autora

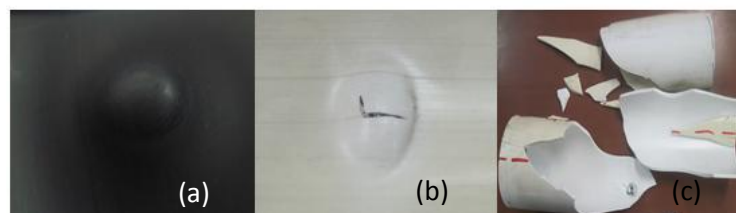
Figura 20. Cambio en el módulo de elasticidad en tensión tubería para gas.



Fuente: Autora

3.2.5. Impacto. La tubería de PE no registra ningún tipo de falla en ninguno de los cuatro ciclos de ensayo como lo demuestra la figura 21(a), la tubería de PVCO registra falla localizada en la zona de impacto a partir del ciclo 2 y la tubería de PVC registra falla localizada a partir del ciclo 2 y en el ciclo 3 rotura total de la probeta según la figura 21(b) y 21(c) respectivamente.

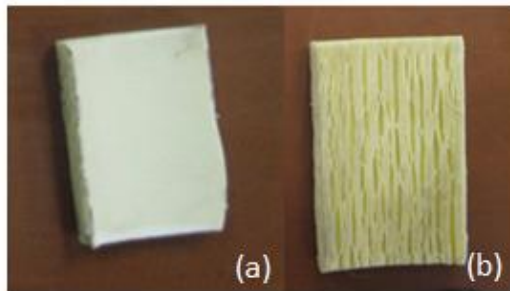
Figura 21. Resistencia al impacto tubería (a) PE, (b) PVCO y (c) PVC.



Fuente: Autora

3.2.6. Calidad Requerida. La inmersión en acetona determina la calidad requerida de la fusión inadecuada que contribuye a la falla de los tubos de PVC en otros ensayos físicos y químicos. Se considera inadecuada un ataque de por lo menos el 50% de la superficie interior, exterior o en la pared medio o un registro $\geq 10\%$ en más de una superficie.

Figura 22. Calidad requerida (a) PVC y (b) PVCO.

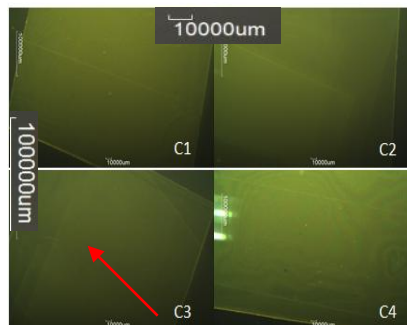


Fuente: Autora

La tubería de PVC rígida no presenta ataque en ninguna de sus superficies en los cuatro ciclos de ensayo como lo demuestra la figura 22 (a). Por otro lado, la tubería de PVCO presenta un ataque mayor al 50% en la pared interna a partir del ciclo 2 de ensayo como se muestra en la figura 22(b).

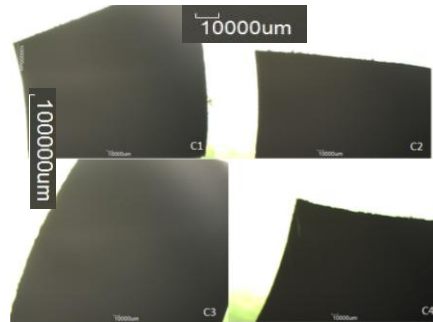
3.2.7. Cambio en la Microestructura. Se extrajeron pequeñas muestras de las tuberías de PE expuestas a la intemperie mediante el micrótopo de rotación para posteriormente ser examinados en el microscopio estereoscópico (anexo 2), para ser comparados con la clasificación de la norma ISO 18553.

Figura 23. Cambio en la microestructura tubería 4PULG RDE11 PE100 Gas.



Fuente: Autora

Figura 24. Cambio en la microestructura tubería 20mm RDE7,5 PE40 Agua.

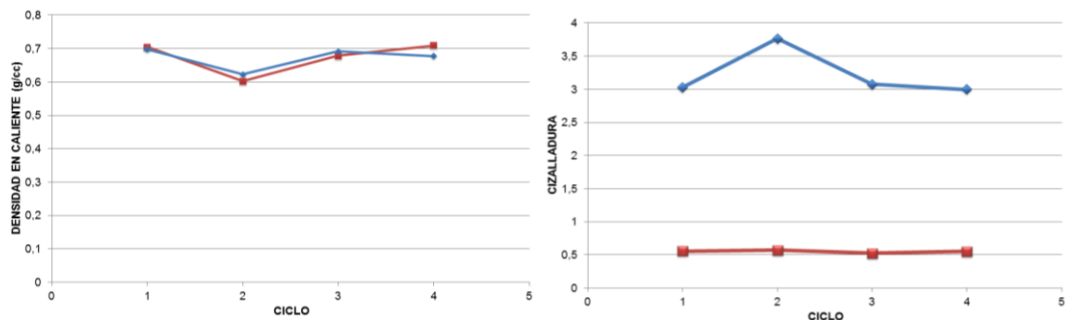


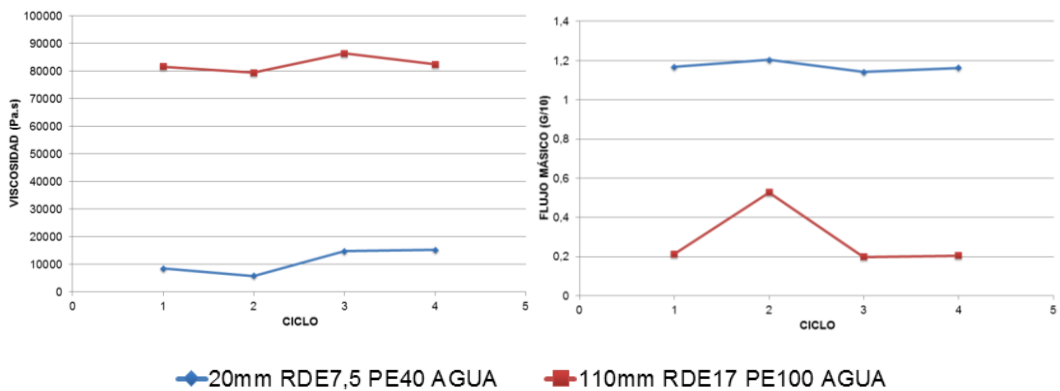
Fuente: Autora

Como se muestra en la figura 23, para las referencias de tubería de PE gas se determina una serie de ondas en el ciclo 4. La tubería de PE agua no se determinó cambio alguno para ninguna referencia en ningún ciclo de ensayo.

3.2.8. Fluides. Las variaciones de densidad en caliente, la cizalladura, la viscosidad y el flujo másico para la tubería de PE según la figura 25 y 26, registran una leve tendencia de aumento no significativa para este estudio.

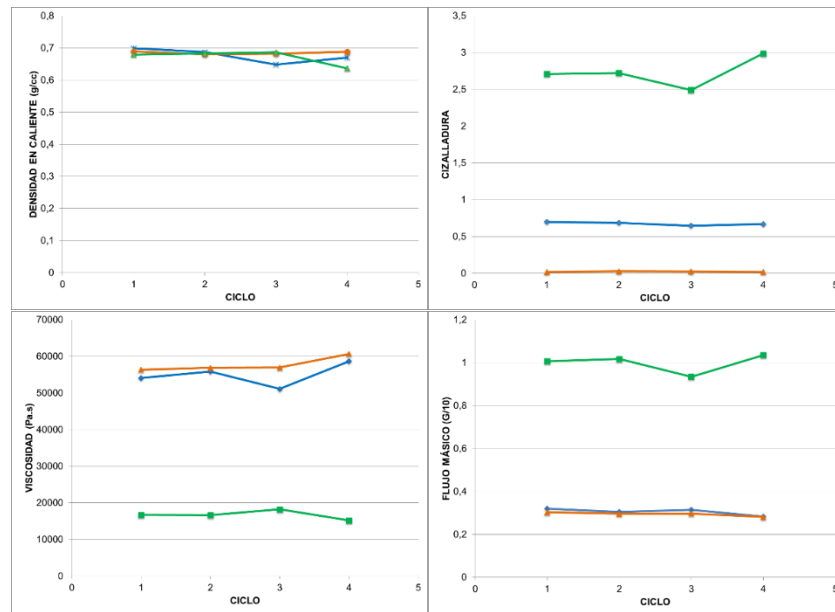
Figura 25. Datos obtenidos mediante el ensayo de fluidez tubería agua.





Fuente: Autora

Figura 26. Datos obtenidos mediante el ensayo de fluidez tubería gas.



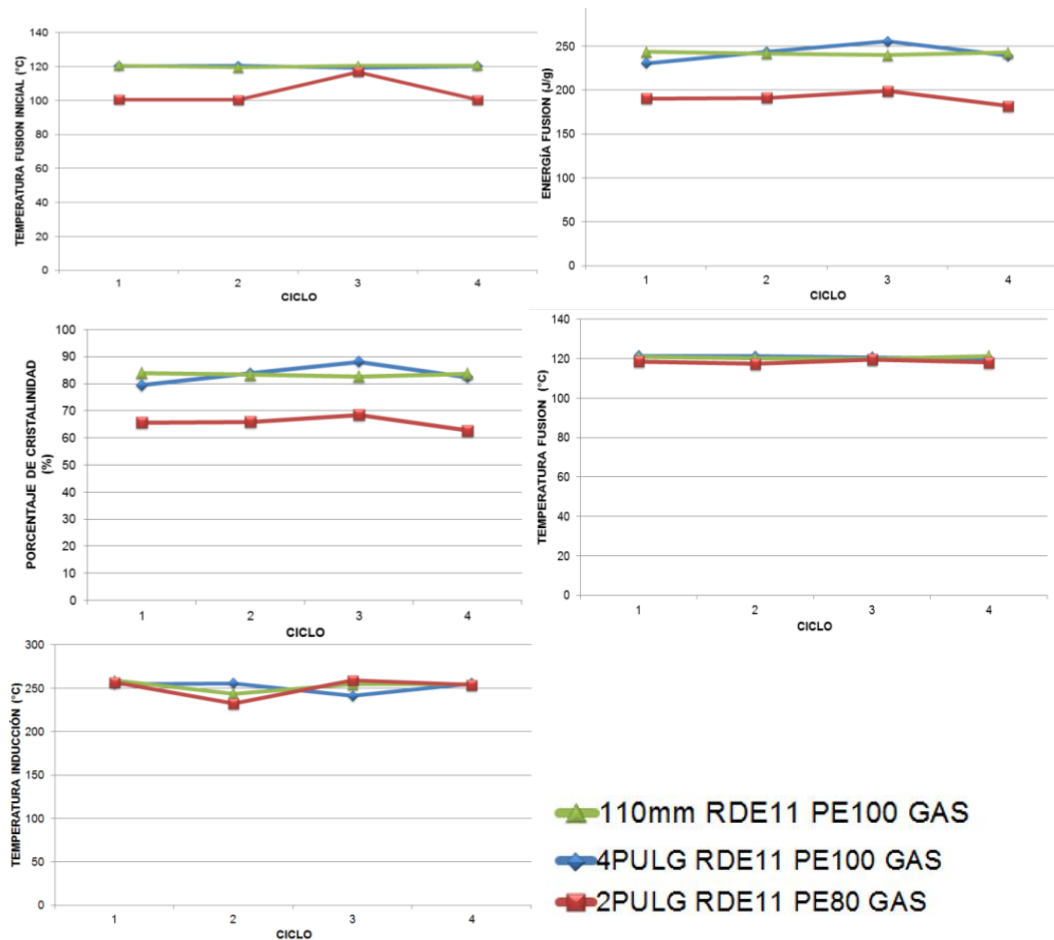
◆ 110mm RDE11 PE100 GAS ▲ 4PULG RDE11 PE100 GAS ■ 2PULG RDE11 PE80 GAS

Fuente: Autora

3.2.9. Estabilidad Térmica Y Cristalinidad Tuberías Gas. Se puede observar en la figura 27 la temperatura inicial de fusión, la energía de fusión, cristalinidad y temperatura de fusión una tendencia de aumento de forma lineal para los ciclos del 1 al 3; en el ciclo 4 las tuberías de gas presentan una disminución considerable

de la cristalinidad en todas las referencias pero a su vez un aumento en las demás propiedades.

Figura 27. Datos obtenidos mediante el ensayo de estabilidad térmica y cristalinidad para tuberías de gas



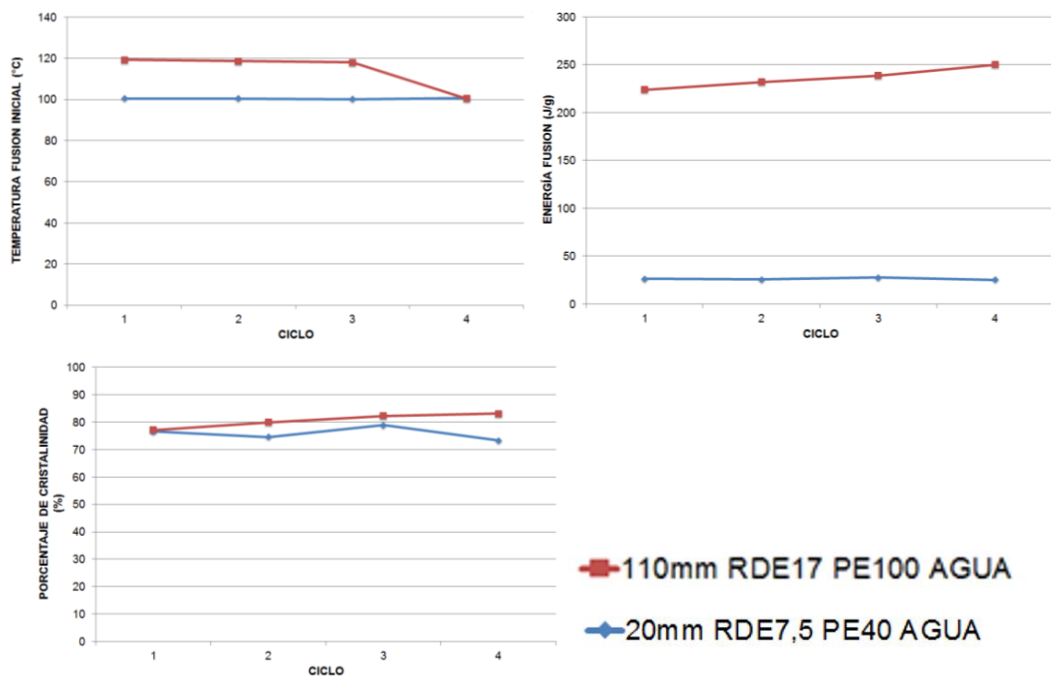
Fuente: Autora

3.2.10. Estabilidad Térmica Oxidativa Y Cristalinidad Tubería Agua.

Analizando la figura 28, la tubería 110mm RDE17 PE100 registra un leve aumento en la energía de fusión y cristalinidad, la temperatura inicial de fusión permanece constante en los tres primeros ciclos y una disminución importante en el ciclo 4. La tubería de 20mm RDE 7,5 PE40 no muestra variaciones representativas en la

temperatura de fusión y energía, los picos en el perfil de la cristilidad se consideran debido al choque térmico al que fue sometida la tubería una vez retirado de la intemprie a la zona de acondicionamiento del laboratorio por ser una referencia menor.

Figura 28. Datos obtenidos mediante el ensayo de estabilidad térmica oxidativa y cristalinidad para tuberías de agua.



Fuente: Autora

4. CONCLUSIONES

En todas las referencias estudiadas de PE hay un aumento de la densidad del material, siendo las referencias de 2PULG RDE11 PE 80 para gas y 20mm RDE7,5 PE40 para agua la que más sufre cambios, debido al cambio en su microestructura por la compactación de los enlaces del material.

La densidad de las referencias aumenta considerablemente en el ciclo 2 de ensayos, tanto para la tubería de gas como de agua.

La tubería de gas registra un descenso del porcentaje de cristalinidad relacionada directamente con el cambio de la temperatura de fusión y la energía de fusión.

Los aditivos de protección contra los rayos UV estabilizan el comportamiento del material brindando resistencia al cambio.

El módulo de Young en elongación aumenta en cada uno de los ciclos en las referencias de PE de baja densidad (PE40 Y PE80) en comparación del comportamiento de las demás referencias.

El aumento del esfuerzo en compresión de la tubería PVC rígida aumenta aproximadamente un 23,5%, PVC biaxial un 42% mientras que la tubería de PE su aumento es un 4,2%, este aumento debido al envejecimiento que sufre la tubería.

Aunque hay un aumento en las propiedades físico químicas y físico mecánicas de todas las referencias de PE, estas cumplen con lo estipulado en cada una de las normas establecidas para cada ensayo.

La radiación UV afecta notablemente a las referencias de Gas, no es recomendable para usos industriales en condiciones de exposición a la intemperie.

5. RECOMENDACIONES

La continuidad de los ciclos de ensayos establecidos bajo la norma ISO 16871, por ende, deberán ser realizados teniendo en cuenta la fecha del ciclo 1 montaje de las probetas a la intemperie según tabla 3 y 4 (después del ciclo 6 el periodo de prueba podrá ser establecido cada 3 a 5 años).

En cada uno de los ciclos se debe reportar la cantidad de radiación emitida acumulada.

Verificar la radiación emitida año a año para tener un control más exacto de los cambios de las propiedades de las tuberías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Laverde. Degradación de los materiales plásticos y principios de estabilización. Simposio Internacional sobre agentes de protección para materiales poliméricos. Medellín. 1994.
- [2] T. Osswald; G. Menges; J Flórez; L. Flórez. Ciencia de Polímeros para ingenieros. Ed. Fuaduales. Colombia. 2010.
- [3] Richardson & Lokensgard. Industria del plástico. Plástico industrial. Ed. Paraminfo. España. 2000. P. 113-122.
- [4] Atlas de radiación solar de Colombia. IDEAM. 2005. P. 25-40.
- [5] Plastics piping and ducting systems-plastics pipes and fiyyings - method for exposure to direct (natural) weathering. ISO16871
- [6] Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics. ASTM D1435.
- [7] Plastics -- Methods of exposure to direct weathering, to weathering using glass-filtered daylight, and to intensified weathering by daylight using Fresnel mirrors. ISO877.
- [8] Greiff. M. El envejecimiento ambiental de los materiales poliméricos. Características para la evaluación. Departamento del Caucho. ICIPC.1994.
- [9] Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en plásticos. NTC595. 2007-08-29 ASTM D638: 2003.
- [10] Polietileno. Preparación de muestras de ensayo moldeadas por compresión. NTC615. Junio 13-73. ASTM D1928-68.
- [11] Polietileno. Determinación del índice de fluidez. NTC667.
- [12] Plásticos. Determinación de las dimensiones de tubos y accesorios termoplásticos. NTC3358. 2000-08-30 segunda actualización. ASTM D2122.
- [13] Plásticos. Determinación de la densidad de plásticos por la técnica del gradiente de densidad. NTC3577. Primera actualización. 2000-12-15. ASTM D1505-1998.

- [14] Plásticos. Determinación de la tasa de flujo de termoplásticos por medio de un plastómetro de extrusión. NTC3576. 1997-06-25. ASTM D1238-95.
- [15] Plásticos. Determinación del peso específico y de la densidad. Método de desplazamiento. NTC907. Primera actualización 98-06-21 ASTM 792-66.
- [16] Plastics - compression moulding test specimens of thermoplastic materials. ISO293. second edition 1986-10-01.
- [17] Plastics. Polyethylene (PE) and ethylene copolymer thermoplastics. Part 2. Preparation of test specimens and determination of properties. ISO1872-2. First edition 1989-11-01.
- [18] Plastics - preparation of test specimens by machining. ISO2818. Third edition.1994-08-15.
- [19] Método de prueba para la resistencia de los plásticos a los reactivos químicos. ASTM D543-95.
- [20] Plastics pipes and fittings - bending - tensile cycle test for PE/steel transition fittings and PE tapping tees. ISO/DIS 13924.1996-08-28.
- [21] Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión aparente del anillo o de plásticos tubulares y de plásticos reforzados mediante el método de disco muescado. NTC4392. 2003-04-23. Primera actualización. ASTM D2290.
- [22] Plastics - determination of the melt mass - flow rate (mfr) and the melt volume - flow rate (mvr) of thermoplastics, ISO1133. 1997.
- [23] Plásticos. Determinación del tiempo de falla de tubería plástica bajo presión interna constante. 5494. 2007-06-20. ASTM D1598:02.
- [24] Plastics piping and ducting systems - plastics pipes and fittings - method for exposure to direct (natural) weathering. March 1996.
- [25] Tubos de polietileno para distribución de agua. Especificaciones. Serie métrica. 2008-09-24 (segunda actualización) NTC4585. ISO4427:1996.
- [26] Method for the assessment of the degree of pigment or carbon black dispersion in polyolefin pipes, fittings and compounds. ISO18553. 2002-03-01.

- [27] Plásticos. Accesorios de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido para tubería sanitaria-aguas lluvias y ventilación, NTC1241. Séptima actualización 2006-06-28. ASTM D2665.
- [28] Plásticos. Tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido para ventilación y aguas lluvias. NTC1260. Tercera revisión. 1994 - 02 - 16.
- [29] Plásticos. Tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido utilizados en sistemas de riego. NTC 3317. Tercera actualización 2002-03-11.
- [30] Tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido para uso sanitario, aguas lluvias y ventilación. NTC1087. 2011-04-13 quinta actualización.
- [31] Especificaciones para tubos de presión de poli (cloruro de vinilo) orientado, PVCO. NTC5425. 2006-06-28. ASTM-f 1483.
- [32] Plásticos. Determinación de la resistencia al impacto. NTC943. 1961. ASTM D256.
- [33] Determinación de la calidad requerida de la fusión de los tubos extruidos de PVC y de los accesorios moldeados, mediante inmersión en acetona. NTC2983. 1999-05-19 primera actualización. ASTM D2152-95.
- [34] Plásticos. Tubos y accesorios termoplásticos para conducción de gases a presión (quinta actualización). NTC1746. 2008-10-29. ASTM D2513-04a.
- [35] Determination of the thermal stability of polyethylene (PE) for use in gas pipes and fittings. ISO/tr – 10837. 1991.
- [36] Plásticos. Materiales de polietileno (pe) para tubería y accesorios. NTC2935. 2004-12-16. ASTM D3350-2002.
- [37] Standard specification for polyethylene plastics pipe and fittings materials. ASTM D3350.
- [38] Polyolefin pipes and fittings. Determination of carbon black content by calcination and pyrolysis. Test method and basic specification. 1986. ISO 6964.

BIBLIOGRAFÍA

- Atlas de radiación solar de Colombia. IDEAM. 2005. P. 25-40.
- Especificaciones para tubos de presión de poli (cloruro de vinilo) orientado, PVCO. NTC5425. 2006-06-28. ASTM-f 1483.
- Determinación de la calidad requerida de la fusión de los tubos extruidos de PVC y de los accesorios moldeados, mediante inmersión en acetona. NTC2983. 1999-05-19 primera actualización. ASTM D2152-95.
- Determination of the thermal stability of polyethylene (PE) for use in gas pipes and fittings. ISO/tr – 10837. 1991.
- Greiff. M. El envejecimiento ambiental de los materiales poliméricos. Características para la evaluación. Departamento del Caucho. ICIPC.1994.
- L. Laverde. Degradación de los materiales plásticos y principios de estabilización. Simposio Internacional sobre agentes de protección para materiales poliméricos. Medellín. 1994.
- Method for the assessment of the degree of pigment or carbon black dispersion in polyolefin pipes, fittings and compounds. ISO18553. 2002-03-01.
- Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en plásticos. NTC595. 2007-08-29 ASTM D638: 2003.

- Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión aparente del anillo o de plásticos tubulares y de plásticos reforzados mediante el método de disco muescado. NTC4392. 2003-04-23. Primera actualización. ASTM D2290.
- Método de prueba para la resistencia de los plásticos a los reactivos químicos. ASTM D543-95.
- Plastics - determination of the melt mass - flow rate (mfr) and the melt volume - flow rate (mvr) of thermoplastics, ISO1133. 1997.
- Plastics - compression moulding test specimens of thermoplastic materials. ISO293. second edition 1986-10-01.
- Plastics -- Methods of exposure to direct weathering, to weathering using glass-filtered daylight, and to intensified weathering by daylight using Fresnel mirrors. ISO877.
- Plastics piping and ducting systems-plastics pipes and fittings - method for exposure to direct (natural) weathering. ISO16871
- Plastics piping and ducting systems - plastics pipes and fittings - method for exposure to direct (natural) weathering. March 1996.
- Plastics pipes and fittings - bending - tensile cycle test for PE/steel transition fittings and PE tapping tees. ISO/DIS 13924.1996-08-28.
- Plastics. Polyethylene (PE) and ethylene copolymer thermoplastics. Part 2. Preparation of test specimens and determination of properties. ISO1872-2. First edition 1989-11-01.

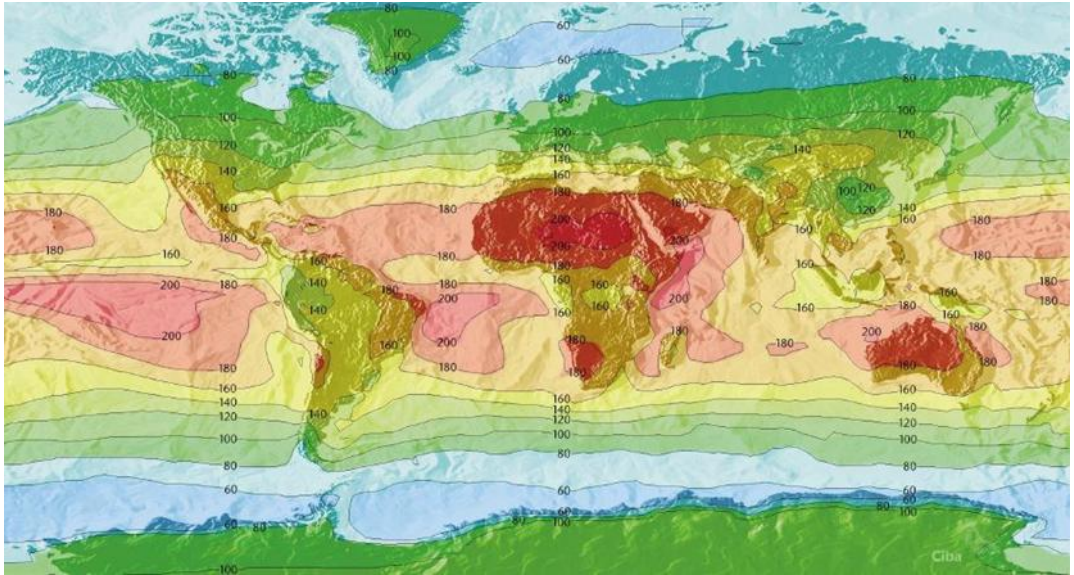
- Plastics - preparation of test specimens by machining. ISO2818. Third edition.1994-08-15.
- Plásticos. Accesorios de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido para tubería sanitaria-aguas lluvias y ventilación, NTC1241. Séptima actualización 2006-06-28. ASTM D2665.
- Plásticos. Determinación de la resistencia al impacto. NTC943. 1961. ASTM D256.
- Plásticos. Determinación de la densidad de plásticos por la técnica del gradiente de densidad. NTC3577. Primera actualización. 2000-12-15. ASTM D1505-1998.
- Plásticos. Determinación de las dimensiones de tubos y accesorios termoplásticos. NTC3358. 2000-08-30 segunda actualización. ASTM D2122.
- Plásticos. Determinación del peso específico y de la densidad. Método de desplazamiento. NTC907. Primera actualización 98-06-21 ASTM 792-66.
- Plásticos. Determinación de la tasa de flujo de termoplásticos por medio de un plastómetro de extrusión. NTC3576. 1997-06-25. ASTM D1238-95.
- Plásticos. Determinación del tiempo de falla de tubería plástica bajo presión interna constante. 5494. 2007-06-20. ASTM D1598:02.
- Plásticos. Tubos y accesorios termoplásticos para conducción de gases a presión (quinta actualización). NTC1746. 2008-10-29. ASTM D2513-04a.

- Plásticos. Tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido utilizados en sistemas de riego. NTC 3317. Tercera actualización 2002-03-11.
- Plásticos. Tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido para ventilación y aguas lluvias. NTC1260. Tercera revisión. 1994 - 02 - 16.
- Plásticos. Materiales de polietileno (pe) para tubería y accesorios. NTC2935. 2004-12-16. ASTM D3350-2002.
- Polietileno. Preparación de muestras de ensayo moldeadas por compresión. NTC615. Junio 13-73. ASTM D1928-68.
- Polyolefin pipes and fittings. Determination of carbon black content by calcination and pyrolysis. Test method and basic specification. 1986. ISO 6964
- Polietileno. Determinación del índice de fluidez. NTC667.
- Richardson & Lokensgard. Industria del plástico. Plástico industrial. Ed. Paraminfo. España. 2000. P. 113-122.
- Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics. ASTM D1435.
- Standard specification for polyethylene plastics pipe and fittings materials. ASTM D3350.
- T. Osswald; G. Menges; J Flórez; L. Flórez. Ciencia de Polímeros para ingenieros. Ed. Fuaduales. Colombia. 2010.
- Tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido para uso sanitario, aguas lluvias y ventilación. NTC1087. 2011-04-13 quinta actualización.

- Tubos de polietileno para distribución de agua. Especificaciones. Serie métrica. 2008-09-24 (segunda actualización) NTC4585. ISO4427:1996.

ANEXOS

ANEXO A. RADIACIÓN SOLAR MUNDIAL



Radiación solar mundial expresado en kLys / año.

[Fuente: INEOS Services Belgium NV/SA]

ANEXO B. EQUIPOS DE LABORATORIO.



Figura 29. Plastómetro de extrusión.
Tinius Olsen. [Fuente: Autora]



Figura 32. Cámara extractora de Gases. [Fuente: Autora]



Figura 30. Equipo Universal de Ensayos. Tinius Olsen.
[Fuente: Autora]



Figura 33. Horno tubular eléctrico de laboratorio. LINDBERG/BUE.
[Fuente: Autora]



Figura 31. Equipo para pruebas de presión de Rotura. Applied Test Systems. [Fuente: Autora]



Figura 34. Micrótopo de rotación. LEICA. [Fuente: Autora]



Figura 29. Balanza analítica Mettler AJ100. [Fuente: Autora]

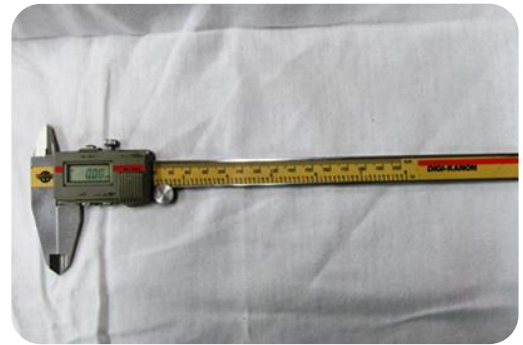


Figura 32. Calibrador pie de rey digital. [Fuente: Autora]



Figura 30. Microscopio estereoscópico de cámara incorporada. COLE PARMER. [Fuente: Autora]

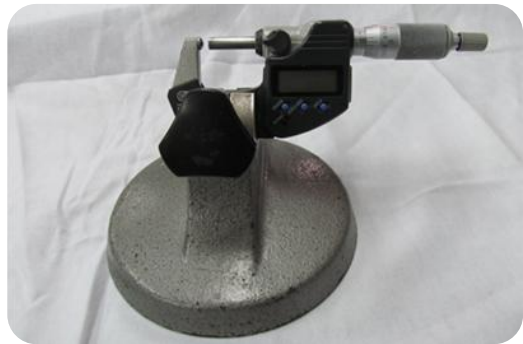


Figura 33. Micrometro de alta precisión. [Fuente: Autora]



Figura 31. DSC Q20 TA. [Fuente: Autora]



Figura 34. Reloj comparador. Absolute Difimatic ID-C. [Fuente: Autora]



Figura 35. CINTA π METALICA para diámetros externos. [Fuente: Autora]



Figura 36. Picnómetro Blaubrand con termómetro y capilar lateral.

[Fuente: Autora]



Figura 37. Equipo de Impacto. [Fuente: Autora]