

**EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN UN POLITETRAFLUORETILENO  
(TEFLON) EN CONTACTO CON MEZCLAS DE GASOLINA Y ETANOL  
(5%-20%), POR TÉCNICAS GRAVIMÉTRICA Y ELECTROQUÍMICA**

**CARLOS ALFREDO AYAZO BARÓN  
ARMANDO ROCCO SALGADO FILOMENA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2010**

**EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN UN POLITETRAFLUORETILENO  
(TEFLON) EN CONTACTO CON MEZCLAS DE GASOLINA Y ETANOL  
(5%-20%), POR TÉCNICAS GRAVIMÉTRICA Y ELECTROQUÍMICA**

**CARLOS ALFREDO AYAZO BARÓN  
ARMANDO ROCCO SALGADO FILOMENA**

**Trabajo De Grado, Presentado Como Requisito Para Optar Al Título de  
Ingeniero Metalúrgico**

**DIRECTOR  
PHD. DARÍO YESID PEÑA BALLESTEROS**

**UNIVERSIDAD DE INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2010**

## DEDICATORIA

*Primeramente a Dios, por ser mi razón de mi vida, mi camino, mi guía en todos estos años. Todo logro se lo debo a Él. Sin Él nada hubiera sido posible.*

*A mi hija Isabel Sofía y esposa Rossi Viviana por ser las mujeres más lindas del mundo, por ser mi soporte, mi ayuda idónea, por ser mis alegrías, las que me motivan a seguir adelante, por enseñarme el verdadero sentido del amor y por permitirme vivir con ellas a su lado.*

*A mis padres Emell W. e Isabel C. Por ser los mejores padres del mundo, en su ejemplo, dedicación, amor, perseverancia y constancia. Por su comprensión, por sus oraciones, por su apoyo y confianza. Gracias.*

*A mis hermanos Emell y Yamit por ser los mejores ejemplos en su capacidad, dedicación, y por todo el amor que nos ha unido toda la vida.*

*A las familias Barón Anaya, Ayazo Gómez, por ser un apoyo incondicional durante los últimos años.*

*A mis amigos y compañeros de la U con quienes viví momentos inolvidables.*

*Carlos A. Ayazo Barón.*

## **Dedicado**

A Dios por darme la vida, la familia que tengo y la fortaleza para culminar con éxito esta meta.

A mis padres, Armando Salgado <q.e.p.d> y Mary Filomena por darme la vida, el amor, su inmenso sacrificio y la confianza depositada.

A mi hermana Ginna Paola por su constante e incondicional apoyo.

A mi tío Rodolfo Filomena por su amor y solidaridad.

A mis demás familiares por su apoyo incondicional.

A mis amigos, por estar conmigo en las buenas y en las malas, compartiendo alegrías y tristezas.

Y a todos los que confiaron en mí.

**Armando Rocco Salgado Filomena**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la universidad industrial de Santander por haber sido el sitio de nuestra formación como profesionales.

A nuestro director de proyecto Ph.D Darío Yesid Peña Ballesteros por habernos permitido trabajar en este proyecto de investigación, por su colaboración y apoyo.

A nuestras familias por darnos la oportunidad de pertenecer a esta gran universidad.

A la escuela de ingeniería metalúrgica a sus profesores y técnicos por habernos colaborado en las dificultades que se presentaron en toda nuestra vida universitaria.

Al Grupo de Investigación en Corrosión GIC, por la capacitación, asesoría y ayuda financiera brindada.

Al profesor Custodio Vásquez Quintero y Hugo Estupiñan, por su inmensa colaboración y asesoría durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Orlando Aguirre por todas las oportunidades brindadas, porque aparte de ser un gran docente, amigo y director, es una gran persona siempre dispuesta a ayudar a sus estudiantes, por querer siempre lo mejor para la escuela y por permitirnos hacer parte de esta gran familia que es la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.

## CONTENIDO

<b>1. OBJETIVOS</b> .....	22
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	23
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	25
<b>3.1. DEGRADACIÓN EN POLÍMEROS</b> .....	25
<b>3.2. ABSORCIÓN</b> .....	26
<b>3.3. POLITETRAFLUORETILENO (TEFLÓN)</b> .....	27
<b>3.4. DEFINICIÓN DE BIOETANOL (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)</b> .....	28
<b>3.5. SEPARACIÓN DE FASES</b> .....	29
3.5.1 BIOETANOL COMO COMBUSTIBLE.....	31
<b>3.6. DETERIORO POLIMÉRICO POR ETANOL</b> .....	33
<b>3.7. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES CON ETANOL</b> .....	34
<b>3.8. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LA CORROSIÓN</b> .....	35
3.8.1. Método gravimétrico.....	35
3.8.2. Índice de hinchamiento.....	35
3.8.3. Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE).....	36
3.8.4. Espectroscopia Infrarroja por fotoacústica (PAS).....	38
3.8.5. Microscopio óptico.....	39
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	40
<b>4.1. ETAPA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	41

4.1.1. Recolección .....	41
4.1.2. Clasificación .....	41
4.1.3. Análisis .....	41
4.2. DETERMINACION DE VARIABLES .....	42
4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	42
4.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL ELECTROLITO .....	43
4.5. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS (ASTM D395).....	44
4.6. COMPOSICIÓN DEL POLIMERO (TEFLON).....	45
4.7. DUREZA.....	45
4.8. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES (ASTM D4806-09).....	46
4.9. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS .....	48
4.10. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE PARA LOS ENSAYOS .....	49
4.10.1. Montaje del ensayo gravimetrico.....	49
4.10.2. Montaje espectroscopia de impedancia (EIE). .....	50
4.11. PRUEBAS REALIZADAS .....	51
4.11.1. Ensayo método gravimétrico.....	51
4.11.2. Ensayo electroquímico (EIE) .....	52
4.11.2.1. Medidas de espectroscopia de impedancia electroquímica .....	52
4.11.3. Ensayo infrarrojo por fotoacústica .....	53
4.11.3.1. Medida de espectroscopia infrarroja por fotoacústica (PAS).....	53
4.11.4. Análisis de imágenes.....	54
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	55
5.1. Determinación de la velocidad de corrosión por ganancia de masa.....	55
5.2. Análisis de dureza e índice de hinchamiento .....	57

<b>5.3.</b>	<b>Análisis microestructural .....</b>	<b>61</b>
<b>5.4.</b>	<b>Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) .....</b>	<b>63</b>
<b>5.4.1.</b>	<b>Descripción del circuito equivalente .....</b>	<b>68</b>
<b>5.5.</b>	<b>Espectroscopia infrarroja por fotoacústica (PAS) .....</b>	<b>70</b>
<b>5.6.</b>	<b>Análisis termogravimétrico (TGA) .....</b>	<b>75</b>
<b>5.7.</b>	<b>Análisis calorimétrico de barrido diferencial (DSC) .....</b>	<b>77</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del teflón.....	27
Figura 2. Solubilidad de agua en mezclas gasolina-etanol.....	31
Figura 3. Diagrama de flujo de la técnica experimental.....	40
Figura 4. Ganancia de peso vs tiempo.....	57
Figura 5. Composición de la mezcla (gasolina-etanol) vs dureza [%] .....	59
Figura 6. % Diferencia de volumen vs tiempo .....	60
Figura 7. Diferencia de volumen vs composición mezcla. ....	60
Figura 8. Diagrama de Nyquist para el teflón en mezcla gasolina-etanol a 28 días .....	64
Figura 9. Diagrama de Nyquist para el teflón en mezcla gasolina-etanol a 28 días .....	64
Figura 10. Diagrama de Nyquist para el teflón en mezcla e20 a diferentes tiempos de inmersión.....	65
Figura 11. Diagrama de Nyquist para el teflón en mezcla e100 a diferentes tiempos de inmersión.....	65
Figura 12. Diagrama de Nyquist para la solución gasolina-etanol y etanol puro ....	67
Figura 13. Diagrama de Bode experimental para teflón e5.....	67
Figura 14. Diagrama de Bode experimental para teflón e20.....	68
Figura 15. Circuito eléctrico utilizado para describir el sistema electroquímico. ....	69
Figura 16. Espectro infrarrojo de la gasolina.....	71
Figura 17. Espectro infrarrojo del etanol .....	71
Figura 18. Espectro infrarrojo por fotoacústica al teflón puro .....	73
Figura 19. Espectro infrarrojo por fotoacústica al teflón expuesto a la mezcla e-5	73
Figura 20. Espectro infrarrojo por fotoacústica al teflón expuesto a la mezcla e-20 .....	74
Figura 21. Espectro de infrarrojo por fotoacústica al teflón expuesto a la mezcla e- 100.....	74
Figura 22. Diagrama termogravimétrico del teflón puro .....	76

Figura 23. Diagrama termogravimétrico del teflón expuesto a etanol por 28 días .77  
Figura 24. Diagrama calorimétrico de barrido diferencial para el teflón puro.....78  
Figura 25. Diagrama calorimétrico de barrido diferencial al teflón expuesto a etanol  
por 28 días .....78

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Electrodo de trabajo.....	35
Fotografía 2. Preparación de probetas.....	45
Fotografía 3. Montaje realización gravimetría, dureza e índice de hinchamiento ..	47
Fotografía 4. Montaje realización prueba electroquímica.....	47
Fotografía 5. Montaje en la celda plana .....	50
Fotografía 6. La celda plana conectada al potencióstato acm gill conectado a una computadora con software acm versión 5.0 .....	51
Fotografía 7. Fuente de corriente mas computador para medición de la impedancia electroquímica.....	52
Fotografía 8. equipo para la realización del ensayo infrarrojo por fotoacústica. ....	53
Fotografía 9. probeta inicial .....	62
Fotografía 10. E5/14 días.10x .....	42
Fotografía 11. E5/21 días.10x .....	62
Fotografía 12. E10/21 días.10x .....	42
Fotografía 13. E10/28 días.50x .....	62
Fotografía 14. E20/14 días.10x .....	42
Fotografía 15. E100/14 días.50x .....	63

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Velocidad de absorción de agua en polímeros.....	26
Tabla 2. Modificaciones requeridas para vehículos.....	30
Tabla 3. Durabilidad de materiales plásticos en bioetanol .....	34
Tabla 4. Regiones del espectro infrarrojo .....	39
Tabla 5. Variables utilizadas .....	42
Tabla 6. Distribución de probetas de acuerdo al número de ensayos. ....	43
Tabla 7. Propiedades de la gasolina y etanol.....	44
Tabla 8. Dureza promedio del politetrafluoroetileno (teflón) .....	45
Tabla 9. Materiales y equipos .....	48
Tabla 10. Parámetro del equipo. bruker tensor 27 .....	54
Tabla 11. Ganancia de peso con respecto al área. ....	56
Tabla 12. Variación de la dureza antes y después del ensayo. ....	58
Tabla 13. Valores de resistencia y capacitancia para el sistema teflón-mezcla (gasolina-etanol) y etanol puro .....	69
Tabla 14. Asignación de bandas de absorción relevantes del espectro del teflón .	75

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Esquema de la producción de azúcar y bioetanol de la caña de azúcar. .....	86
ANEXO B. Manejo del reactivo inflamable. ....	87
ANEXO C. Caracterización de las gasolinas base y la mezcla de gasolina con 10% en volumen de etanol .....	90
ANEXO D. Caracterización del bioetanol.....	91
ANEXO E. Propiedades mecánicas y eléctricas seleccionadas de teflón .....	92
ANEXO F. Análisis gravimétrico e índice de hinchamiento .....	95
ANEXO G. Diagrama de bode experimental para e100. ....	96

## RESUMEN

**TITULO: EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN UN POLITETRAFLUORETILENO (TEFLON) EN CONTACTO CON MEZCLAS DE GASOLINA Y ETANOL (5%-20%), POR TÉCNICAS GRAVIMÉTRICA Y ELECTROQUÍMICA.\***

**AUTORES: AYAZO BARON CARLOS ALFREDO, SALGADO FILOMENA ARMANDO ROCCO.\*\***

**PALABRAS CLAVES: Concentración de bioetanol-gasolina, Teflón, velocidad de corrosión, técnicas electroquímicas, espectroscopia infrarroja, análisis termogravimétrico (TGA), calorimetría diferencial de barrido (DSC).**

### **DESCRIPCIÓN:**

En la actualidad, en diversos países del mundo, el etanol que contiene bajas concentraciones de agua y de sustancias es utilizado principalmente como combustible de automoción. Sin embargo este combustible alternativo se encontró agresivo en aquellos materiales poliméricos que constituyen el sistema de combustible. En el presente trabajo se expuso un estudio para determinar la velocidad de corrosión del Politetrafluoretileno (Teflón) exponiéndolo a mezclas de bioetanol-gasolina en concentraciones del 5 al 20%, aplicando las técnicas de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE), espectroscopia infrarroja por Fotoacústica (PAS), calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis termogravimétrico (TGA), así como la técnica convencional de ganancia de masa. Los tiempos de exposición utilizados en ambas técnicas fueron 0, 7, 14, 21 y 28 días a temperatura ambiente. Algunos de los principales objetivos fue Determinar la morfología de daño por corrosión en el Politetrafluoretileno (Teflón), bajo las condiciones descritas. Los resultados de las curvas de impedancia expuestas en los diagramas de Nyquist Se demostró con los valores obtenidos de las impedancias real e imaginaria disminuyen con el aumento de la concentración de etanol, es decir que la mezcla 100% etanol es la más agresiva hacia la superficie del material. Por otro lado Se comprobó que el tiempo máximo de inmersión (28 días) en las pruebas EIE y espectroscopia infrarroja por Fotoacústica, que el deterioro del material es relativamente bajo, siendo la mezcla 100% etanol la más corrosiva sobre la superficie del material; donde se obtuvo la mayor degradación.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Director: Ph.D. Darío Yesid Peña Ballesteros.

## ABSTRACT

**TITLE:** CORROSION TESTING IN A POLYTETRAFLUOROETHYLEN (TEFLON) IN CONTACT WITH GASOLINE AND ETHANOL (5%-20%) MIXTURES BY GRAVIMETRIC AND ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES.\*

**AUTHORS:** AYAZO BARON CARLOS ALFREDO, SALGADO FILOMENA ARMANDO ROCCO.\*\*

**KEYWORDS:** Bio- ethanol concentration, Teflon, corrosion speed, electrochemical techniques, Infrared Spectroscopy, thermogravimetric analysis (TGA), differential scanning calorimetry (DSC).

### DESCRIPTION:

Nowadays, in different countries in the world ethanol with low water and substances concentration is mainly use as a self- propulsion fuel. However, this alternative type of fuel was founded aggressive in those polymeric materials which constitute the fuel's system. In this paperwork it is presented a study in order to determine polytetrafluoroethylene's corrosion's speed being exposed to bio-ethanol- gasoline mixtures in 5 to 20% concentrations, applying the electrochemistry impedance spectroscopic technique (EIS), photo acoustic infrared spectroscopy ( PAS), differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetric analysis (TGA), and also the conventional technique of mass winning. The exposure times used in both techniques were 0, 7, 14, 21 and 28 ambient temperature days. One of the main objectives was to determine the damage morphology by corrosion in the polytetrafluoroethylene under the conditions mentioned before. The results of the impedance curves are presented on the Nyquist diagram. It was proved that the curves values obtained from the real and imaginary impedances decreased with the increase of ethanol's concentration, this means that the 100% ethanol mixture is the most aggressive towards the material's surface. On the other hand it was proved with the maximum immersion time (28 days) on the EIS and PAS, that the deterioration's material is relatively low, being the 100% ethanol mixture the most corrosive over the material's surface, were it was obtained the biggest fading.

---

\* Work of Degree

\*\* Faculty of Physical-chemical Engineering School of metallurgical Engineering and Science of Materials. Director: Ph.D. Darío Yesid Peña Ballesteros.

## INTRODUCCIÓN

A partir del año 1995 en Resolución No 898 del 23 de agosto, el Ministerio del Medio Ambiente introdujo la especificación del oxígeno en las gasolinas; seguidamente la Ley 693 del 2001, implantó el uso de alcoholes carburantes en las gasolinas y posteriormente en junio del 2003 el Ministerio de Minas y energía expidió la reglamentación técnica previo un proceso de consulta pública a nivel nacional e internacional, la cual ha regido el tema del uso de los combustibles hasta ahora. Para el año 2012 ya esta implementado la utilización de la mezcla con un 20% de etanol en las gasolinas, según el decreto 2629 de julio del 2007.

El bioetanol, se proyecta como el más importante sustituto de estos combustibles y de mayor desarrollo actualmente debido a que presenta muchos beneficios mezclado con la gasolina como es el reemplazo parcial de combustibles fósiles, por su gran escasez y la generación de emisiones de monóxido de carbono a la atmosfera y su consecuente calentamiento global, sin embargo se ha comprobado que se aumenta la emisión de gases que afecta la capa de ozono, además el rendimiento del vehículo puede disminuir y el costo de materiales modificados para la fabricación de autopartes con nuevas especificaciones aumenta el costo del vehículo.

Los problemas que se presentan con el uso del bioetanol se basan primero que todo en su rápida evaporación, lo cual genera perdida de combustible, pérdida de potencia por la formación de bolsas de aire a lo largo de los conductos del automóvil y por la gran afinidad con el agua, la cual se separa de la gasolina y causa altos niveles de corrosión en las partes tanto metálicas como poliméricas del vehículo.

La alta corrosividad del bioetanol es un problema latente que afecta las propiedades de los materiales especificados actuales en los cuales se fabrican las

partes de los automóviles que se movilizan en Colombia, por su gran capacidad de conducir electricidad y la alta presencia de oxígeno (medio altamente resistivo), lo cual provoca que se acelere la corrosión y que aparezcan formas de corrosión que generalmente no se presentaban con el uso de 100% de gasolina.

Sin embargo, países como Brasil han empezado a fabricar sus vehículos con partes especificadas para el uso con mezclas de bioetanol, pero, la alta complejidad de los fenómenos de corrosión presentados, requiere de estudios específicos en los diferentes materiales, para determinar formas de corrosión, mecanismos y velocidades de corrosión, con el fin de seleccionar materiales, recubrimientos, inhibidores específicos y correctas mezclas de bioetanol.

Esto es lo que se pretende al realizar este proyecto, estudios utilizando técnicas gravimétricas, de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE), microscopia óptica, índice de hinchamiento entre otras para el caso del Politetrafluoretileno (teflón), en contacto con mezclas de gasolina-bioetanol.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar la corrosión en un Politetrafluoretileno (teflón) expuesto a diferentes mezclas de gasolina y etanol (5 al 20%).

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar el deterioro de un Politetrafluoretileno (Teflón) en contacto con mezclas gasolina-etanol del 5, 10, 15, 20 y 100% etanol, por método gravimétrico, dureza e índice de hinchamiento.
- Evaluar el deterioro de un Politetrafluoretileno (Teflón) expuesto a la mezcla gasolina-etanol del 5, 20 y 100% etanol, mediante la técnica de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIE).
- Determinar la morfología de daño por corrosión en el Politetrafluoretileno (Teflón), mediante microscopia óptica, Espectroscopia Infrarroja, Análisis Termogravimétrico (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

## 2. ESTADO DEL ARTE

Se han realizado estudios enfocados en la problemática y beneficios en la utilización del bioetanol como biocombustible en los últimos años, en consideración trabajos realizados sobre los efectos corrosivos que tiene el etanol en las mezcla con gasolina sobre diversos materiales poliméricos que estarían en contactos con estas mezclas. Debido a esto se ha documentado con investigaciones realizadas sobre este efecto.

En el 2009 la NACE internacional A. Ertekin y S. Narasi<sup>1</sup> analizaron el rendimiento de los materiales elastómeros en mezcla de gasolina-etanol. Las principales conclusiones de este estudio fueron que a mayor viscosidad del líquido disminuye la velocidad de absorción y el nivel de equilibrio de masas, también el aumento de la temperatura puede incrementar la inflamación por una suma modesta, y la mayoría de elastómeros expuestos a una mezcla líquida inmiscible finalmente se van a hinchar.

En 2009, H. Jafari, y M.H. Idris<sup>2</sup>, realizaron un estudio del efecto del etanol como aditivo de la gasolina para combustible de vehículos utilizando diversos materiales entre ellos aleaciones de aluminio y aceros inoxidables inmersos en mezclas de etanol-gasolina a diferentes concentraciones de etanol, aplicando principalmente la técnica electroquímica de EIE, la técnica gravimétrica de pérdida de masa y análisis a las superficies por medio de microscopia de electrónica de barrido (MEB) después de 144 días de inmersión en la solución ensayada. Los resultados de los ensayos y análisis en conjunto, mostraron que al aumentar el porcentaje de etanol en las mezclas aumentaba la corrosión en los materiales expuestos a ellas. Sin embargo las aleaciones de aluminio presentaron menor corrosión en comparación con los demás materiales. Los autores también indicaron como principales productos de corrosión, cloruros y sulfuros, siendo necesario el control

de estos dos elementos en el sistema de suministro de combustible en caso de utilizar etanol como aditivo para el combustible en un futuro.

En 2009, S. Matthias y L. Thomas<sup>3</sup>, realizaron una investigación del comportamiento de la corrosión por picadura de aceros inoxidable en combustibles que contienen etanol, utilizando como técnica electroquímica EIE, reduciendo al máximo la distancia entre el electrodo de trabajo y el electrodo de referencia para evitar errores significativos en los resultados. Los resultados de las pruebas electroquímicas se compararon con las pruebas de inmersión obteniendo un comportamiento corrosivo similar del material en este medio.

En el 2010 la NACE<sup>4</sup> publicó un estudio que muestra los efectos de la mezcla etanol carburante con gasolina en el rendimiento de los materiales poliméricos sometidos a una carga estática a temperatura ambiente. La compatibilidad de cinco materiales de elastómeros y un material termoplástico como en el caso del teflón, Son evaluados por la hinchazón, medidas de dureza y por compresión.

Este estudio demostró que la hinchazón volumétrica de los elastómeros, es más pequeña en mezclas E-95, que en mezclas E-20. También se observó que el Politetrafluoretileno es el material más resistente de los evaluados en contacto con la mezcla gasolina-etanol.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. DEGRADACIÓN EN POLÍMEROS

La corrosión de materiales metálicos se realiza mediante una reacción electroquímica en una velocidad de corrosión específica, en consecuencia, la vida de un material metálico en un ambiente corrosivo en particular puede predecirse con exactitud. Estos materiales poliméricos no experimentan las tasas concretas de corrosión, son por lo general completamente resistentes a un ambiente corrosivo específico (dentro de específicos rangos de temperatura) o se deterioran rápidamente. Los polímeros son atacados ya sea por reacción química o solvatación. Solvatación es la penetración del polímero por un ambiente corrosivo que causa hinchazón, ablandamiento, y el fracaso final.

La corrosión de materiales poliméricos se puede clasificar en las siguientes modalidades y mecanismos:

- La desintegración o deterioro de la naturaleza física, debido a la absorción, la permeabilidad, la acción disolvente u otros factores.
- La oxidación, donde los enlaces químicos son atacados.
- La hidrólisis, en que los vínculos son atacados.
- Radiación.
- La degradación térmica.
- Deshidratación (poco frecuente).
- Cualquier combinación de los anteriores

Los resultados de este tipo de ataques van a aparecer en forma de ablandamiento, carbonización, agrietamiento, exfoliación, fragilidad, decoloración, disolución, o hinchazón.<sup>5</sup>

### 3.2. ABSORCIÓN

Los polímeros tienen el potencial de absorber diversas cantidades de componentes que entran en contacto, sobre todo líquidos orgánicos. Esto puede ocasionar hinchazón, grietas y la penetración de sustrato.

La hinchazón puede provocar el ablandamiento del polímero, la introducción de altas tensiones y causar la falla del enlace en componentes alineados. Si el polímero tiene una alta velocidad de absorción, impregnación, probablemente se llevará a cabo una penetración que puede basarse en la absorción de agua. Como se muestra en la tabla 1.<sup>5</sup>

**Tabla 1. Velocidad de absorción de agua en polímeros**

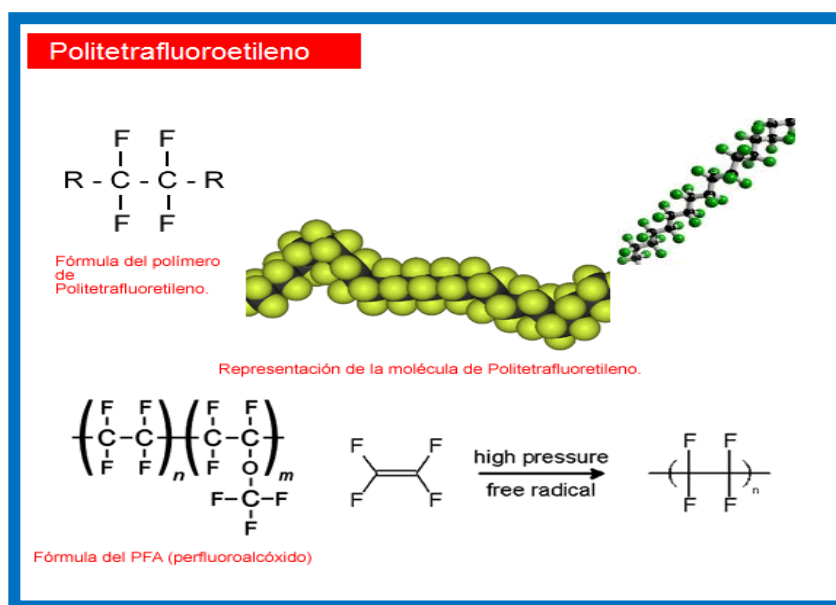
<b>Polímero</b>	<b>Absorción de agua 24h A 73°F/23°C (%)</b>
<b>PVC</b>	0.05
<b>CPVC</b>	0.03
<b>PP (Homo)</b>	0.02
<b>PP (Co)</b>	0.05
<b>EHMW PE</b>	<0.01
<b>ECTFE</b>	<0.01
<b>PVDF</b>	<0.04
<b>PVCP (Saram)</b>	0.00
<b>PFA</b>	<0.03
<b>ETFE</b>	0.029
<b>PTFE</b>	<0.01
<b>PEF</b>	<0.01

Fuente: Schweitzer Philip A. corrosión of polymers and elastomers, 2da ed.

### 3.3. POLITETRAFLUORETILENO (TEFLÓN)

Es un polímero similar al polietileno, en el que los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos de flúor. La fórmula química del monómero, tetrafluoretileno, es  $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ . También llamado TEFLON. En algunas regiones como se muestra en la Figura 1, la multinacional DuPont comercializa este y otros cuatro polímeros de semejante estructura molecular y propiedades.

Figura 1. Estructura química del teflón.



Fuente:[http://www.airflex.cl/El-politetrafluoretileno-\(P.T.F.E.\)-teflon-PFA-\(Perfluoroalcoxido\)-y-el-copolimero-FEP-\(Propileno-Etileno-Flurionado\)-llamados-teflon-PFA-y-Teflon-FEP.htm](http://www.airflex.cl/El-politetrafluoretileno-(P.T.F.E.)-teflon-PFA-(Perfluoroalcoxido)-y-el-copolimero-FEP-(Propileno-Etileno-Flurionado)-llamados-teflon-PFA-y-Teflon-FEP.htm)

El teflón es un material que ofrece facilidad de manipulación en su aplicación industrial. Las propiedades principales de este material es que resiste altas temperaturas aproximadamente  $300^{\circ}\text{C}$  por períodos prolongados y sin sufrir ninguna clase de daño. Además es resistente a gran parte de los ácidos y bases existentes, y resulta insoluble ante muchos de los disolventes orgánicos. Uno de

los grandes usos que se le ha dado es para una permanente "lubricación" de las partes móviles en las naves espaciales, ya que a la temperatura y condiciones a las que se opera, el aceite común no sirve.

Las características resistentes del teflón se deben a los átomos de flúor que presenta. Creando una barrera que dificulta y a veces impide el daño que los agentes químicos le podrían provocar a su estructura carbonada. Todas estas características del teflón lo convierten en un material muy versátil, que permite su uso en múltiples ámbitos. Es también un gran aislante eléctrico y sumamente flexible, no se altera por la acción de la luz. Su cualidad más conocida es la antiadherencia.<sup>6</sup>

### **3.4. DEFINICIÓN DE BIOETANOL (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)**

El etanol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón y celulosa. **(Ver Anexo A).**

Actualmente, el bioetanol es el biocombustible con mayor producción mundial. Para su fabricación se pueden utilizar una gran cantidad de materias primas. El etanol se usa actualmente en mezclas con la gasolina en concentraciones entre el 5 y el 20%, (E5 y E20) estas mezclas no requieren modificaciones en los motores actuales y pueden funcionar con estas mezclas de etanol deshidratado. Además proporcionan una reducción útil pero limitada de gases a la atmosfera.<sup>7</sup>

El etanol tiene un octanaje mucho mayor que la gasolina lo que hace que no se quemé de forma tan eficiente en los motores convencionales. El uso continuado de combustibles con una alta proporción de etanol como el E85, produce corrosión en el metal y en las piezas de goma.<sup>7</sup>

### 3.5. SEPARACIÓN DE FASES

La posibilidad de que suceda una separación de fases acuosas en una mezcla etanol/gasolina es, a menudo, mencionada como un problema al usarlo como combustible. Hay un temor que, de algún modo, el agua sea introducida con el etanol o se condense en el tanque de combustible de un vehículo, separándose del fondo y causando problemas para el funcionamiento normal del motor. En realidad, este problema tiende a ser tanto menor cuanto mayor sea el agregado de etanol (anhidro) a la gasolina. Mientras que la gasolina pura prácticamente no absorbe agua, el etanol anhidro tiene total afinidad con el agua, y las mezclas gasolina/etanol presentan una capacidad de disolver agua directamente proporcional a la concentración alcohólica, como se indica en el diagrama ternario presentado en la Figura 2.

Cuanto más elevada es la concentración de etanol en la gasolina, más ancha es la franja que define la región donde ocurre total solubilidad, como se observa en la parte superior del diagrama. En temperaturas muy bajas, este efecto es menos intenso, pero, de todos modos, el etanol siempre actúa como un co-solvente entre la gasolina y el agua, reduciendo los riesgos de separación de la fase acuosa de la gasolina.<sup>7</sup>

En la tabla 2 se observan las modificaciones que se le realizan a los vehículos para la implementación de estas nuevas mezclas, en los lugares donde ha tenido mayor evolución como son Brasil, Canadá y Estados Unidos.

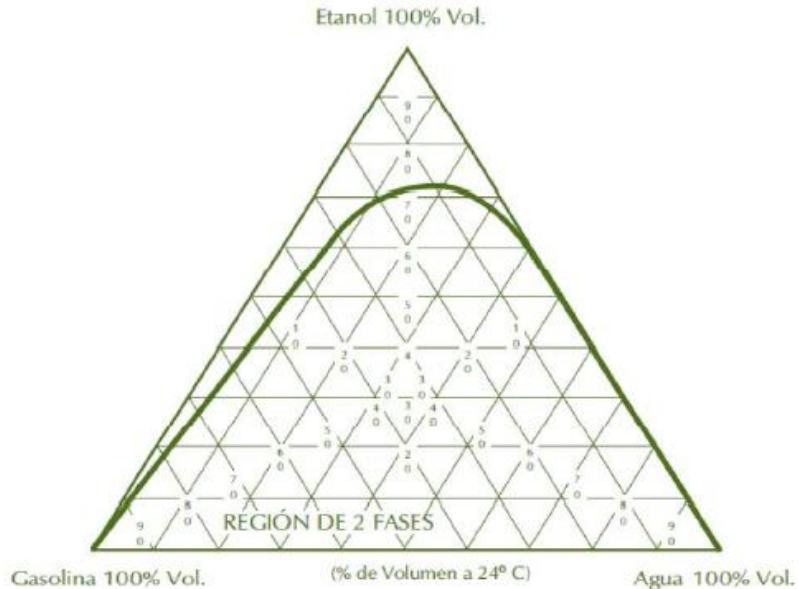
**Tabla 2. Modificaciones requeridas para vehículos**

Modificación en vehículos de gasolina pura												
% de bioetanol en la gasolina	Carburador	Inyección de combustible	Banda de combustible	Filtro de combustible	Sistema de inyección	Tanque de combustible	Convertor catalítico	Motor básico	Aceite de motor	Colector de admisión	Sistemas de escape	Sistema de arranque en frío
≤5%	Para cualquier Vehículo											
≤10%		Para vehículos producidos a partir de 1990										
≤25%	Vehículo a gasolina Brasileño											
≤85%	Vehículo flexible utilizado en los EE.UU. y en Canadá											
≥85%	Vehículo flexible utilizado en Brasil											
No son necesarias modificaciones						Posiblemente son necesarias modificaciones						

Fuente: Banco de desarrollo de Brasil y centro de gestión y estudios estratégicos.

En la figura 2 se muestran la solubilidad de agua en mezclas gasolina-etanol. El agua es el principal problema de los combustibles alternativos en base etanol esto debido a un proceso de envejecimiento y de separación de fases, descrito.

**Figura 2. Solubilidad de agua en mezclas gasolina-etanol**



Fuente: Banco de desarrollo de Brasil y centro de gestión y estudios estratégicos.

### 3.5.1 BIOETANOL COMO COMBUSTIBLE

El etanol puede utilizarse como único combustible, realizando modificaciones a los motores, o en mezclas con la gasolina desde un 10 % hasta mezclas mucho más altas como el E-85 (15 % de gasolina y 85 % de etanol), que puede utilizarse en los vehículos denominados FFV (Flexible Fuel Vehicle), equipados con un sensor de combustible que detecta la proporción etanol/gasolina, adaptando los sistemas de inyección e ignición a las características de la mezcla. Estos vehículos están disponibles en países como Estados Unidos, Brasil o Suecia. La utilización de etanol modifica la mezcla de aire y combustible tratando de mantener la potencia y el consumo del automóvil en un valor óptimo.<sup>8</sup>

Las mezclas con bioetanol han despertado gran interés ya no sólo por su carácter renovable si no que, al ser un combustible oxigenado, causa la reducción de emisiones. Desafortunadamente, el etanol contiene menor energía por litro que las gasolinas, con lo que su rendimiento es menor, pudiendo llegar hasta un 30% menos, principalmente en los modelos antiguos. Cuando se utiliza el E85, posee alta volatilidad y bajo punto de inflamación, baja lubricidad.

El etanol tiene un octanaje mucho mayor que la gasolina alrededor de 110 lo que hace que no se queme de forma tan eficiente en los motores convencionales. Por otra parte el uso de combustibles con alta proporción de etanol, produce corrosión en el metal y en las piezas de goma que se encuentran en contacto.<sup>9</sup>

La influencia de las impurezas comunes en el etanol puro como combustible y en mezclas con gasolina, han generado muchos estudios que se han centrado en el impacto de estos efectos en los componentes del sistema del combustible como carburadores y sistemas de inyección.<sup>10</sup> Los ácidos orgánicos son unas de las impurezas identificadas en los combustibles etanolicos. El ácido acético es una impureza común y un subproducto de la combustión del etanol. La presencia de ácido acético en el etanol tiende a aumentar la corrosión de materiales como el aluminio y sus aleaciones.

En Colombia el programa para etanol como combustible comenzó en el 2002, año en que el gobierno aprobó una ley que obligaba al enriquecimiento en oxígeno de la gasolina. Esto se hizo inicialmente para reducir las emisiones de monóxido de carbono de los vehículos. Regulaciones más recientes eximieron al etanol elaborado a partir de biomasa de algunos impuestos que gravan la gasolina, siendo así más barato el etanol que la gasolina. Esta tendencia se vio reforzada cuando los precios del petróleo subieron a principios de 2004, y con el interés en combustibles renovables (al menos para los vehículos).<sup>10</sup>

Al principio todo el interés en la producción del etanol vino de la industria de azúcar existente, ya que es relativamente fácil añadir un módulo para desarrollar etanol al final de una fábrica de azúcar, y las necesidades energéticas son similares a las que se necesitarían para producir el azúcar. El gobierno alienta a convertir gradualmente las fuentes de combustible de los vehículos a una mezcla del 10 por ciento de etanol y de 90 por ciento de gasolina. De esta forma, las plantas del etanol están siendo incentivadas por tratados fiscales. Ha habido interés en plantas de etanol de yuca (mandioca) y de nuevas plantaciones de la caña de azúcar, pero aún no se ha conseguido producir carbohidratos a bajo precio.<sup>10</sup>

La primera planta de etanol para uso como combustible en Colombia comenzó a producir en octubre de 2005, con la salida de 300.000 litros al día en Cauca. Hasta marzo de 2006 cinco plantas, todas en el valle del Río Cauca (departamentos de Valle, Cauca y Risaralda), están operativas, con una capacidad combinada de 1.050.000 litros por día, o de 357 millones de litros por año. En el Valle del Cauca el azúcar se cosecha durante todo el año, y las destilerías nuevas tienen una disponibilidad muy alta. La inversión total en estas plantas es de 100 millones de USD. Eventualmente, Colombia espera tener una capacidad de 2.500.000 litros por día, que es la cantidad necesaria para agregar el 10% de etanol a la gasolina.<sup>11</sup>

El etanol producido se utiliza actualmente en las principales ciudades cerca del Valle del Cauca, tales como Cali y Pereira, como también en la capital, Bogotá; donde se concentra el mayor consumo del país.<sup>11</sup>

### **3.6. DETERIORO POLIMÉRICO POR ETANOL**

El etanol es un alcohol que puede ser agresivo hacia los metales y polímeros por su propia acción, o bien por su cantidad de agua; normalmente, el etanol contiene

agua que puede afectar a la solubilidad de los contaminantes o ser una fuente de corrosión. De la producción del etanol puede surgir el ácido acético como contaminante, que es soluble en agua y corroe rápidamente diversos componentes del sistema del combustible.

Para los polímeros el etanol es mucho menos agresivo que otros alcoholes como el Metanol. Ejemplos de buena aceptación son las siliconas fluorada, el Teflón y el Nylon.<sup>5</sup>

### 3.7. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES CON ETANOL

Algunos materiales plásticos más antiguos, utilizados en sellados, mangueras y filtros, como la goma natural y la sintética butílica, tienden a degradarse más rápidamente con el etanol. Sin embargo, desde 1980, estos materiales se están reemplazando por elastómeros fluorados, lo que solucionó este problema. La tabla 3 muestra los resultados de pruebas de durabilidad, confirmando la adecuación al etanol de la mayoría de los plásticos usados actualmente.<sup>7</sup>

**Tabla 3. Durabilidad de materiales plásticos en Bioetanol**

<b>PLÁSTICO</b>	<b>DURABILIDAD</b>
<b>Polietileno Convencional</b>	Aceptable
<b>Polipropileno</b>	Aceptable
<b>Polimetilpenteno (PMP)</b>	Aceptable
<b>Policarbonato</b>	Aceptable
<b>Cloruro de Vinilo (PVC)</b>	Aceptable
<b>Polietileno de alta densidad</b>	Excelente
<b>Politetrafluoretileno(Teflón)</b>	Excelente

Fuente: Banco de desarrollo de Brasil y centro de gestión y estudios estratégicos.

### **3.8. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LA CORROSIÓN**

#### **3.8.1. Método gravimétrico**

Esta técnica de ganancia de peso para el caso del material polimérico (Teflón), debido a que tiende a hincharse. Es la mas sencilla y conocida entre los métodos de monitoreo de corrosión por su facilidad. Se basa en la exposición por un tiempo determinado de una muestra (cupón) como se muestra en la fotografía 1.

**Fotografía 1. Electrodo de trabajo**



Fuente: Los autores.

La medición obtenida de los cupones al analizarse es la ganancia de peso que ocurre en la muestra durante el periodo de tiempo al que ha sido expuesto, expresado como tasa de corrosión. La simplicidad de esta medición es tal, que la técnica de monitoreo con cupones es el método básico utilizado en muchos programas de inspección de la corrosión. Esta técnica es extremadamente versátil.

#### **3.8.2. Índice de hinchamiento**

El hinchamiento es una de las características que diferencia a los polímeros o macromoléculas, de las moléculas individuales o simples, cuando son puestas en

contacto con algún solvente. Si los polímeros son lineales puede presentarse un hinchamiento ilimitado dando lugar a la disolución de estos, sin embargo, cuando los polímeros son reticulados como el caso del (teflón) solo presentan un hinchamiento limitado. El fenómeno del hinchamiento se presenta como un aumento de volumen que el polímero experimenta al ponerse en contacto con la solución. El grado de hinchamiento depende de la temperatura y de la calidad del solvente.

Las técnicas usadas para los experimentos de hinchamiento dependen del tipo de medición que se haga, esto es volumétrica o gravimétrica. En general se recomienda la técnica volumétrica ya que por la gravimétrica pueden existir errores por el material soluble extraído por el solvente y la pérdida de solvente por evaporación durante las mediciones.<sup>12</sup>

### **3.8.3. Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE)**

La técnica de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIE), es un método electroquímico utilizado en estudios de corrosión, el cual se basa en el uso de una señal de corriente alterna (CA) que es aplicada a un electrodo (metal en corrosión) y determinando la respuesta correspondiente. En el procedimiento experimental más comúnmente usado, se aplica una pequeña señal de potencial (E) a un electrodo y se mide su respuesta en corriente (I) a diferentes frecuencias. No obstante, en ciertas circunstancias, es posible aplicar una señal pequeña de corriente y medir la respuesta en potencial del sistema. Así, el equipo electrónico usado procesa las mediciones de potencial-tiempo y corriente – tiempo, dando como resultado una serie de valores de impedancia correspondientes a cada frecuencia estudiada. Esta relación de valores de impedancia y frecuencia se denomina (espectro de impedancia).

En el caso de los estudios de corrosión que utilizan la técnica de EIE, los espectros de impedancia obtenidos suelen ser analizados mediante circuitos

eléctricos, compuestos por componentes tales como resistencias (R), capacitancias (C), inductancias (L), etc. Combinados de tal manera, que reproduzcan los espectros de impedancia medidos. Estos circuitos eléctricos son denominados “circuitos eléctricos equivalentes”.

La impedancia es un término que describe la resistencia eléctrica (R), utilizada en circuitos de corriente alterna (CA). En un circuito de corriente directa (CD) la relación entre la corriente (I) y el potencial (E) esta dada por la ley de ohm.

$$E = IR$$

Donde E es en volts, I en amperes y R en ohms. En el caso de una señal alterna la expresión equivalente es la siguiente.

$$E = IZ$$

Donde Z representa la impedancia del circuito, con unidades de ohm y esta determinada por los resistores, capacitores e inductores, los cuales a su vez están en función de la frecuencia. Al trabajarse con corriente alterna, hay un desfase entre la corriente y el voltaje, pero estos operan bajo la misma frecuencia.

Tanto el potencial como la corriente, presentan una componente real como una imaginaria

$$E = E_{\text{real}} + E_{\text{imaginaria}} = E' + jE''$$

$$I = I' + jI''$$

$$Z = Z' + jZ'' = E / I$$

$$\tan \theta = Z'' / Z' \quad \text{mirar el teta}$$

$Z'$  Y  $Z''$  son medidos en función de la frecuencia y graficados  $Z''$  vs.  $Z'$ , que se conoce como grafica de Nyquist.

Esta técnica permite calcular la resistencia a la polarización,  $R_p$ , y el grado de corrosividad del medio ( $R_p$  es la diferencia entre el límite de baja y alta frecuencia).<sup>13</sup> De acuerdo al proceso controlante, ya sea corrosión simple, difusión o adsorción se presenta una variación en la forma de las curvas de impedancias; conociéndose como impedancia Warburg para el control por difusión y pseudoinductancia para el proceso por adsorción. Estos ensayos de EIE tienen la ventaja de determinar rápidamente la velocidad de corrosión y la habilidad de suministrar información sobre el mecanismo e influencia sobre los productos de corrosión.<sup>14</sup>

#### **3.8.4. Espectroscopia Infrarroja por fotoacústica (PAS)**

La espectroscopia fotoacústica no es como los otros métodos de infrarrojo, en los cuales se mide directamente la energía absorbida por la muestra. Todos los otros métodos dependen del grado en que disminuye la intensidad del rayo incidente a su paso por la muestra. El efecto fotoacústico depende de la absorción de energía radiante y su conversión en energía acústica y puede probar en un rango de profundidades de muestreo seleccionable de varios micrómetros de más de 100 micras. PAS tiene estas capacidades, ya que mide directamente de infrarrojos (IR) Esta técnica de espectroscopia Fotoacústica de infrarrojo se diferencia de la espectroscopia infrarroja tradicional en un aspecto importante: en su aplicación más común, un micrófono se utiliza para detectar las ondas acústicas que resultan de la absorción de radiación infrarroja por una muestra.

La magnitud de la señal de esta técnica varía linealmente con el aumento de Absorbencia, concentración o toma de muestras de profundidad, hasta que en los altos valores un despliegue gradual de la sensibilidad (saturación) se produce. La

fase de la señal de fotoacústica corresponde al tiempo de demora que lleva la transferencia de calor de la muestra, se señala que esta técnica se ha utilizado para la obtención de espectros en estudios cualitativos en la región del infrarrojo medio 15 como se muestra en la tabla 4.<sup>15</sup>

**Tabla 4. Regiones del espectro Infrarrojo**

<b>Región</b>	Intervalo de longitud de onda ( $\lambda$ ), $\mu\text{m}$	Intervalo de numero de onda ( $\tilde{\nu}$ ), $\text{cm}^{-1}$	Intervalo de frecuencias ( $\nu$ ), Hz
<b>Cercano</b>	0,78 a 2,5	12.800 a 4.000	$3,7 \times 10^{14}$ a $1,2 \times 10^{14}$
<b>Medio</b>	2,5 a 50	4.000 a 200	$1,2 \times 10^{14}$ a $6,0 \times 10^{12}$
<b>Lejano</b>	50 a 1.000	200 a 10	$6,0 \times 10^{12}$ a $3,0 \times 10^{11}$
<b>La más Utilizada</b>	2,5 a 15	4.000 a 670	$1,2 \times 10^{14}$ a $2,0 \times 10^{13}$

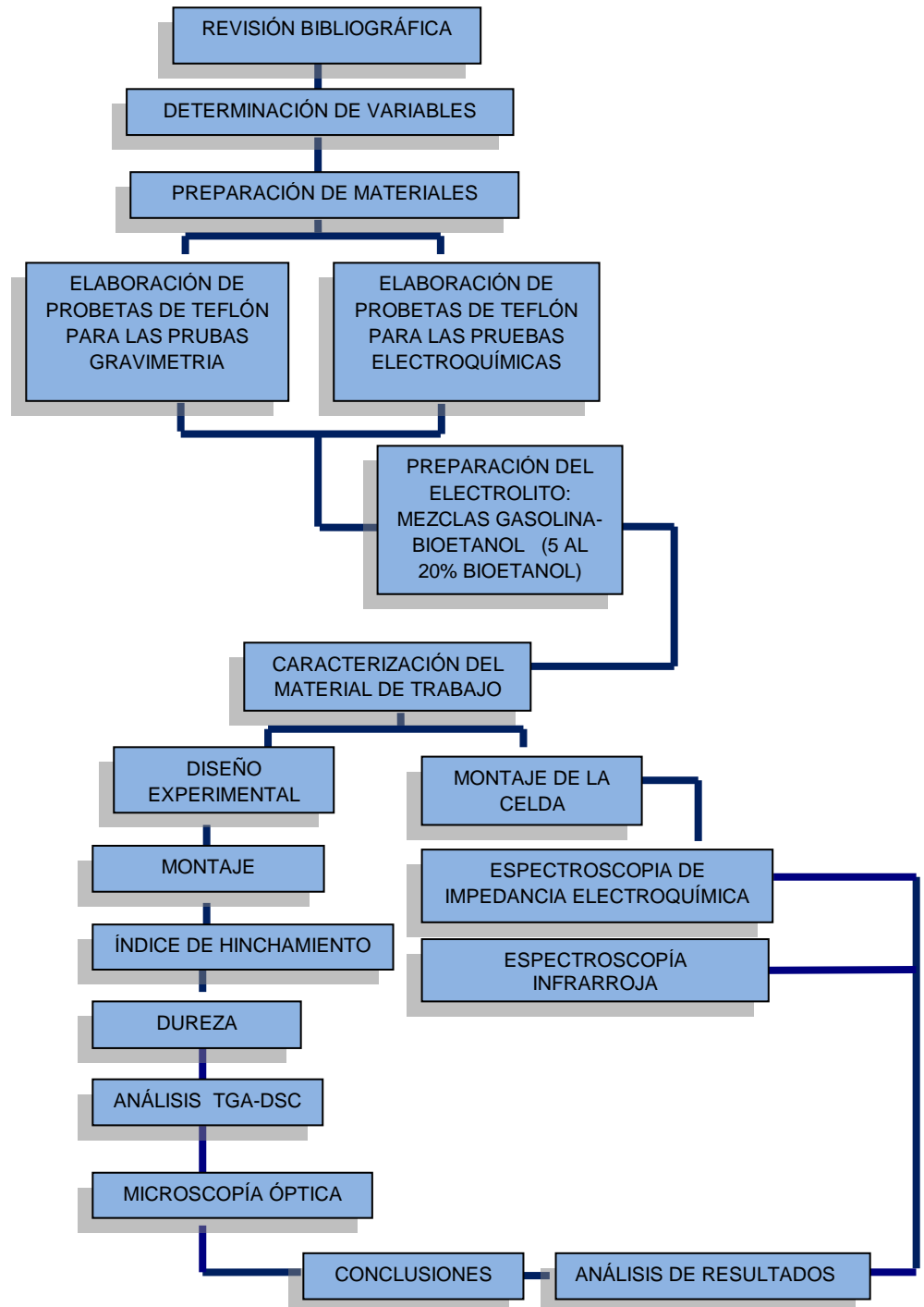
Fuente: Skoog koller Nieman. Principios de análisis instrumental, 5ta ed.

### 3.8.5. Microscopio óptico

Es el estudio directo de las superficies, el uso del microscopio no debería ignorarse a pesar de su baja profundidad de campo cuando se realizan observaciones en rangos considerables se puede localizar el origen, máxima longitud y perfil de los defectos y la aspereza relativa de las diferentes zonas de la superficie.<sup>14</sup>

## 4. METODOLOGÍA

Figura 3. Diagrama de flujo de la técnica experimental



Para la realización de este proyecto se trabajó la secuencia mostrada en la Figura 3, con el propósito de cumplir los objetivos mencionados sobre el estudio de un material polimérico (teflón) en una solución gasolina-etanol. Se debe rescatar antes de comenzar la experimentación las medidas de seguridad para el manejo de reactivos altamente peligrosos. Protocolo de seguridad del etanol. **(Ver Anexo B)**

#### **4.1. ETAPA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Se trabajaron tres ítems consecutivos en búsqueda de resultados eficientes.

##### **4.1.1. Recolección**

Se recopiló información de fuentes como libros, revistas, páginas Web, artículos, trabajos de grado, normas y la interacción e intercambio de información en el grupo de investigación en corrosión UIS (G.I.C), con el fin de obtener los fundamentos teóricos que permitieron culminar las diferentes etapas trazadas para el proyecto.

##### **4.1.2. Clasificación**

Se ordenó la información encontrada de acuerdo a los siguientes temas.

- Material (Politetrafluoretileno “TEFLÓN”).
- Características del teflón (físicas, químicas y mecánicas).
- Corrosión en materiales poliméricos (teflón).
- Técnicas para el monitoreo de la corrosión en polímeros.
- Normas técnicas.

##### **4.1.3. Análisis**

Se analizó y se plasmó la información considerada necesaria en el proyecto.

#### 4.2. DETERMINACION DE VARIABLES

Las variables que se trabajaron fueron la concentración y el tiempo de exposición de las probetas. Las concentraciones que se trabajaron son del (5-20%) etanol en la gasolina.

#### 4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

En la Tabla 5, se presenta un resumen de las variables que más influyeron en los ensayos propuestos, con sus respectivos niveles.

**Tabla 5. Variables utilizadas**

<i>Variable</i>	<i>Nivel</i>
<i>Temperatura</i>	<i>Constante</i>
<i>Concentración de bioetanol</i>	<i>Variable</i>
<i>Tiempo de exposición</i>	<i>Variable</i>
<i>Material</i>	<i>Constante</i>

Fuente: Los autores

Para evaluar la influencia de cada variable independiente y la interacción entre ellas y la variable dependiente (Velocidad de corrosión), se elaboró un diseño experimental para los ensayos de corrosión, lo cual permitió con un número mínimo de ensayos obtener la máxima información posible sobre el proceso estudiado, y así poder realizar la experimentación requerida.

La Tabla 6, muestra la forma en la cual se distribuyeron las probetas para cada uno de los ensayos.

**Tabla 6. Distribución de probetas de acuerdo al número de ensayos.**

	<b>PRUEBA</b>	<b>E0</b>	<b>E5</b>	<b>E10</b>	<b>E15</b>	<b>E20</b>	<b>E100</b>
<b>DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS</b>	Prueba de Inmersión		4	4	4	4	4
	EIE		1	1	1	1	1
	PAS		1	0	0	1	1
	TGA	1					1
	DSC	1					1

Fuente: Los autores

#### **4.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL ELECTROLITO**

- Características y caracterización química del etanol (ASTM D4806-09).
- Características de la gasolina de distribución Colombiana. Sin mezclar (NTC 5585).
- Características de la gasolina regular de distribución nacional **(Ver Anexo C)**.
- Características y caracterización química según proveedor del etanol **(Ver Anexo D)**.

En la Tabla 7, se muestran las propiedades de la gasolina y el etanol.

**Tabla 7. Propiedades de la gasolina y etanol.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>GASOLINA</b>	<b>ETANOL</b>
<b>Poder calorífico</b>	Kj/kg	43.500	28.225
<b>Densidad</b>	Kg/litro	0.75	0.792
<b>Octanaje</b>	-	90-100	102-130
<b>Calor de vaporización</b>	Kj/kg	330-400	842-930
<b>Aire/combustible</b>	-	14.5	9.0
<b>Presión de vapor</b>	Kpa	40-65	15-17
<b>Temp de ignición</b>	oC	220	420
<b>Solubilidad en agua</b>	% en vol	-0	100

Fuente: Banco de desarrollo de Brasil y centro de gestión y estudios estratégicos.

#### **4.5. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS (ASTM D395)**

Las probetas fueron elaboradas por medio de un torno a partir de una barra cilíndrica de teflón hasta obtener las dimensiones adecuadas, de 1 pulgada de diámetro y 6 milímetros de espesor según Norma (ASTM D395) como se muestra en la fotografía 2. La superficie de las probetas no necesitó preparación metalográfica, debido a que el corte con el torno dejó una superficie lisa. Posteriormente se desengrasaron en un baño ultrasónico en acetona durante 15 minutos y se pesaron con buena precisión utilizando una balanza analítica.

## Fotografía 2. Preparación de Probetas



Fuente: Los autores

### 4.6. COMPOSICIÓN DEL POLIMERO (TEFLON)

El Anexo E, muestra las propiedades mecánicas y eléctricas que se pueden encontrar en nuestro material en estudio (Teflón).

### 4.7. DUREZA

Se tomó la dureza en 3 puntos de la sección transversal de las probetas utilizando Un durómetro SHORE tipo A que trabaja con una escala de [0 – 100%], en la tabla 8, se muestran las diferentes medidas de dureza obtenidas para el Teflón.

**Tabla 8. Dureza promedio del politetrafluoroetileno (TEFLÓN)**

Probeta	Tiempo	Dureza [%]
1	T1	82
2	T1	84
3	T1	82
4	T1	83
5	T1	81
6	T1	84
7	T1	81

<b>8</b>	T1	82
<b>9</b>	T1	84
<b>10</b>	T1	84
<b>11</b>	T1	84
<b>12</b>	T1	82
<b>13</b>	T1	82
<b>14</b>	T1	84
<b>15</b>	T1	81
<b>16</b>	T1	81
<b>17</b>	T1	84
<b>18</b>	T1	81
<b>19</b>	T1	83
<b>20</b>	T1	84

Fuente: Los autores

#### **4.8. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES (ASTM D4806-09)**

Las soluciones se preparan según la norma ASTM D4806-09 que obedecen a las características de las mezclas de combustible que se comercializan en el país y en el mundo; se prepararon 5 diferentes mezclas gasolina-etanol con porcentajes de 5, 10, 15, 20 y 100% etanol en recipientes de 300 ml con sus respectivos seguimientos para corroborar algún resultado ineficiente, y así realizar las pruebas gravimétricas, dureza, índice de hinchamiento y electroquímica (EIE) dichos montajes pueden ser observados en las Fotografías 3 y 4.

**Fotografía 3. Montaje realización gravimetría, dureza e índice de hinchamiento**



Fuente: Los autores

**Fotografía 4. Montaje realización prueba electroquímica**









Fuente: Los autores

#### 4.9. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS

Equipos y materiales empleados en la experimentación, se ilustran en la siguiente tabla 9, siendo estos de gran utilidad y los que brindaron mayor eficiencia, obteniendo unos resultados confiables.

**Tabla 9. Materiales y equipos**

MATERIALES Y EQUIPOS	
 <p>Electrodo de platino</p>	 <p>Electrodo Ag/AgCl</p>
 <p>Balanza</p>	 <p>Baño ultrasónico</p>
 <p>Espectroscopio infrarrojo Bruker</p>	 <p>Microscopio Olympus BX 51</p>

 <p data-bbox="505 510 654 541">Calibrador</p>	 <p data-bbox="919 497 1398 583">Potenciostato/ Galvanostato ACM GILL</p>
 <p data-bbox="391 875 768 907">Plancha de Calentamiento</p>	 <p data-bbox="956 888 1359 919">Cabina Extractora de Gases</p>

Fuente: Los autores

#### 4.10. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE PARA LOS ENSAYOS

##### 4.10.1. Montaje del ensayo gravimetrico.

El ensayo de gravimetría se realizó dejando las probetas de Teflón expuestas en frascos de 300 ml con las mezclas de bioetanol-gasolina a diferentes concentraciones (5 al 20% de bioetanol) (Fotografía 3) de acuerdo al estándar ASTM G-31-90 "Practica estándar para pruebas de corrosión por inmersión para un tiempo de 28 días, monitoreando la evaporación del electrolito, y así evitar que cambiara la concentración del medio.

#### 4.10.2. Montaje espectroscopia de impedancia (EIE).

Los ensayos electroquímicos se realizaron en una celda plana de vidrio (Fotografía 5), utilizando como electrodo de referencia Ag/AgCl y dos contra-electrodos; un lámina de platino y un electrodo auxiliar de platino de alta pureza (99.9%).

Como el platino es muy estable y reproducible se usó de contra-electrodo para mayor eficacia en los resultados, el teflón fue el material en estudio con un área de exposición al electrolito de 1 cm<sup>2</sup>. La celda plana se conectó al Potenciostato ACM GILL conectado a una computadora con software ACM versión 5.0 y secuenciador basado en la norma ASTM G-109 (Fotografía 6).

**Fotografía 5. Montaje en la celda plana**



Fuente: Los autores

**Fotografía 6. La celda plana conectada al potenciostato ACM GILL conectado a una computadora con software ACM versión 5.0**



Fuente: Los autores

#### **4.11. PRUEBAS REALIZADAS**

##### **4.11.1. Ensayo método gravimétrico**

Estas prácticas describen los procedimientos y factores que influyen en la corrosión por ensayos de inmersión en pruebas de laboratorio, en particular ganancia de peso debido a que el material absorbe líquido. Las probetas fueron dejadas en inmersión a un tiempo de exposición de 28 días monitoreadas cada 7 días. Las probetas utilizadas para este ensayo, después de haber estado inmersas en el electrolito (gasolina-bioetanol), fueron sometidas a un proceso de limpieza ultrasónica en un baño de acetona por un tiempo de 15 minutos, para eliminar cualquier suciedad, teniendo en cuenta que la acetona no interactuó con el material. Posteriormente se secaron al ambiente y con ayuda de un secador de cabello, luego fueron llevadas a un desecador por un tiempo de 20 minutos, para ser pesadas en la balanza analítica digital que se usó para las pesadas iniciales.

#### **4.11.2. Ensayo electroquímico (EIE)**

En esta etapa se pretende evaluar el deterioro en la superficie del teflón, al igual que su comportamiento al ser expuestos a diferentes concentraciones; por medio de la técnica electroquímica EIE; Para la realización de las pruebas fue necesaria la utilización del software utilizado por el equipo Potenciostato/Galvanostato ACM GILL.

##### **4.11.2.1. Medidas de espectroscopia de impedancia electroquímica**

Los ensayos de todas las probetas se realizaron en el rango de frecuencia de barrido de 30.000 Hz a 0.01 Hz, una amplitud de 90 mV y con un tiempo de estabilización de 300 segundos. Todas las pruebas se hicieron por duplicado; El equipo utilizado para estas pruebas se muestra en la fotografía 7, Potenciostato/Galvanostato ACM GILL.

**Fotografía 7. Fuente de corriente mas computador para medición de la impedancia electroquímica**



Fuente: Los autores

### **4.11.3. Ensayo infrarrojo por fotoacústica**

Para efectuar el siguiente ensayo las probetas de teflón del 5, 20 y 100% etanol fueron llevadas a un tamaño muy reducido de 7mm de diámetro y 3mm de espesor debido a que la cubeta donde se realizaba el ensayo requiere estas medidas como muestra la siguiente fotografía 8, y así obtener información sobre el efecto de la mezcla en el material con la ayuda del espectroscopio Bruker Tensor 27.

**Fotografía 8. Equipo para la realización del ensayo infrarrojo por fotoacústica.**



Fuente: Los autores

#### **4.11.3.1. Medida de espectroscopia infrarroja por fotoacústica (PAS)**

Los ensayos de todas las probetas se realizaron en el equipo que posee los parámetros que se mencionan en la tabla 10. Teniendo como fundamental el numero de scan o barridos y la frecuencia de modulación del haz.

**Tabla 10. Parámetro del Equipo. BRUKER TENSOR 27**

<b>Frecuencia de Modulación del Haz</b>	2.2 KHz
<b>Resolución</b>	8
<b>Ganancia</b>	16
<b>Numero de Scan o Barrido</b>	128

Fuente: Los autores

Esto con el fin de obtener mejores resultados. Todas las pruebas todas se hicieron por duplicado.

#### **4.11.4. Análisis de imágenes**

La observación de las superficies de las probetas se realizó en el microscopio Olympus BX51, mostrado en la tabla 9. Con el fin de determinar los cambios superficiales que presentaron las probetas al estar expuestas en el electrolito a diferentes tiempos.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de los datos obtenidos, se realizó el correspondiente análisis de resultados, para valorar el deterioro obtenido en cada técnica utilizada; para cada una de las soluciones estudiadas, y por último se llevó a cabo un análisis de las imágenes obtenidas en el microscopio óptico Olympus B 51 x, ver tabla 10. Con el fin de determinar la forma y las características de la superficie en contacto.

En esta componente se presentan los resultados más significativos obtenidos en el desarrollo de la investigación, de acuerdo con las actividades propuestas en la metodología.

### 5.1. Determinación de la velocidad de corrosión por ganancia de masa

Para determinar la ganancia de peso del material en estudio, se siguió como se describe en la siguiente ecuación, calculando el aumento de masa por unidad de área de cada una de las probetas, calculando así el deterioro de esta con relación a la ganancia de peso que presentó. Como se muestra en la tabla 11.

$$\text{Ganancia de Peso} = \frac{W_f - W_i}{A_i}$$

Siendo  $W_i$  y  $W_f$  Peso inicial y final de la probeta respectivamente; el área inicial de la probeta se calculó como:

$$A_i = 2\pi \frac{D_i}{2} E_i + 2\pi \left(\frac{D_i}{2}\right)^2$$

Siendo  $D_i$  y  $E_i$ , diámetros promedio y espesores promedio de las respectivas muestras de teflón. En el **Anexo F**, se presentan los resultados de análisis

gravimétricos e índice de hinchamiento que obtuvo el material durante el proceso de inmersión en los distintos porcentajes de mezcla.

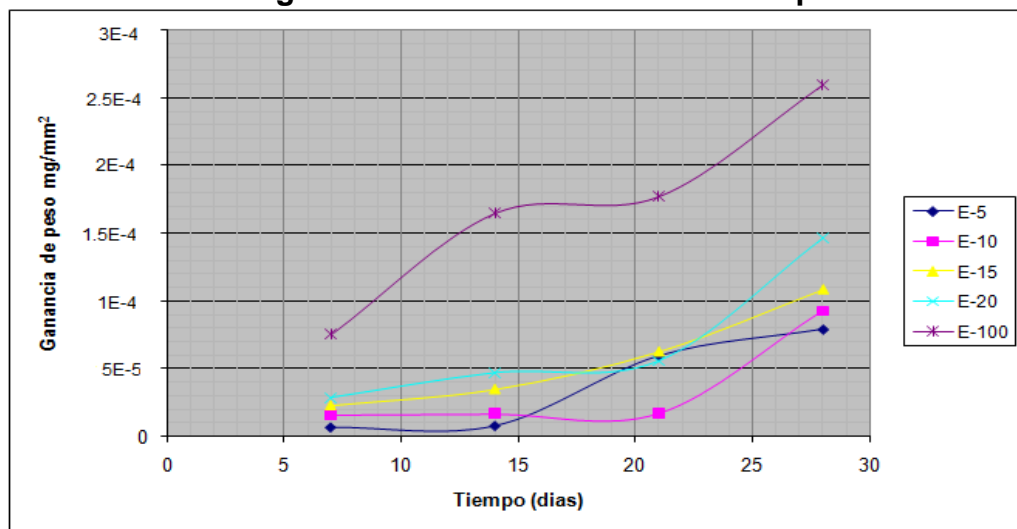
**Tabla 11. Ganancia de peso con respecto al área.**

Probeta	Tiempo	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	$\Delta W$ (g)	Área (mm <sup>2</sup> )	Ganancia de Peso en g/mm <sup>2</sup>
E5	T2	25,07	6,17	0,01	1467,69	7,01E-06
E5	T3	25,09	5,99	0,01	1471,22	8,15E-06
E5	T4	25,23	6,15	0,08	1487,36	5,92E-05
E5	T5	25,29	6,12	0,11	1494,87	7,88E-05
E10	T2	25,06	6,10	0,02	1452,54	1,61E-05
E10	T3	25,15	6,11	0,02	1464,47	1,67E-05
E10	T4	25,26	5,92	0,02	1486,35	1,73E-05
E10	T5	25,33	5,96	0,13	1494,84	9,25E-05
E15	T2	25,19	6,19	0,03	1486,85	2,27E-05
E15	T3	25,25	6,34	0,05	1494,09	3,47E-05
E15	T4	25,32	5,87	0,09	1511,36	6,25E-05
E15	T5	25,36	6,21	0,16	1555,17	0,000108
E20	T2	25,12	6,11	0,04	1462,33	2,85E-05
E20	T3	25,29	6,18	0,07	1495,93	4,69E-05
E20	T4	25,33	5,97	0,08	1509,17	5,57E-05
E20	T5	25,44	5,91	0,22	1535,30	0,000146
E100	T2	25,21	5,98	0,11	1471,92	7,54E-05
E100	T3	25,26	6,07	0,24	1490,32	0,000164
E100	T4	25,3	6,10	0,26	1503,80	0,000177
E100	T5	25,37	6,08	0,39	1525,10	0,000259

DONDE: T1= 0 días; T2=7 días; T3=14 días; T4=21 días; T5=28 días; E5= 5% Etanol en la Mezcla; E10= 10%; E15= 15%; E20= 20%; E100=100%.

Fuente: Los autores

**Figura 4. Ganancia de Peso Vs Tiempo.**



Fuente: Los autores

Se puede observar en la figura 4, que a mayor concentración de bioetanol existe un aumento de masa significativa experimentada a medida que aumenta el tiempo de inmersión en especial a los 21 días y 28 días. Este moderado aumento de masa, puede ser debido a la absorción de la mezcla gasolina etanol sobre la superficie de Teflón.

## 5.2. Análisis de dureza e índice de hinchamiento

A partir del análisis de dureza realizado a las probetas sumergidas en las diferentes mezclas de solución durante 7, 14, 21, y 28 días y al compararlas con la dureza inicial del polímero, es posible deducir que el polímero tuvo cambios substanciales en la microestructura o en sus propiedades mecánicas. en la Tabla 12, se encuentra el valor de dureza del polímero blanco, y los valores de durezas realizados a las probetas.

Los resultados de la tabla 12, muestran una variación de la dureza entre ambos ensayos, y permite concluir que el material sufre cambios microestructurales

durante las pruebas. Esto quiere decir de otra manera que se pueden presentar debilitamiento de los enlaces presentes dentro del material por causa de la penetración de grupos OH y CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub> de la mezcla, sobre la superficie del material. Y con el tiempo de exposición el material tiende a absorberlos, por lo que se produce dicho efecto.

**Tabla 12. Variación de la dureza antes y después del ensayo.**

<b>Probeta</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Dureza Inicial</b>	<b>Dureza Final</b>
<b>E5</b>	T2	84	56
<b>E5</b>	T3	83	55
<b>E5</b>	T4	82	54
<b>E5</b>	T5	82	53
<b>E10</b>	T2	84	54
<b>E10</b>	T3	82	52
<b>E10</b>	T4	81	51
<b>E10</b>	T5	81	50
<b>E15</b>	T2	84	58
<b>E15</b>	T3	84	57
<b>E15</b>	T4	84	56
<b>E15</b>	T5	82	55
<b>E20</b>	T2	82	58
<b>E20</b>	T3	84	57
<b>E20</b>	T4	81	57
<b>E20</b>	T5	81	56
<b>E100</b>	T2	84	58
<b>E100</b>	T3	84	57
<b>E100</b>	T4	83	56
<b>E100</b>	T5	81	55

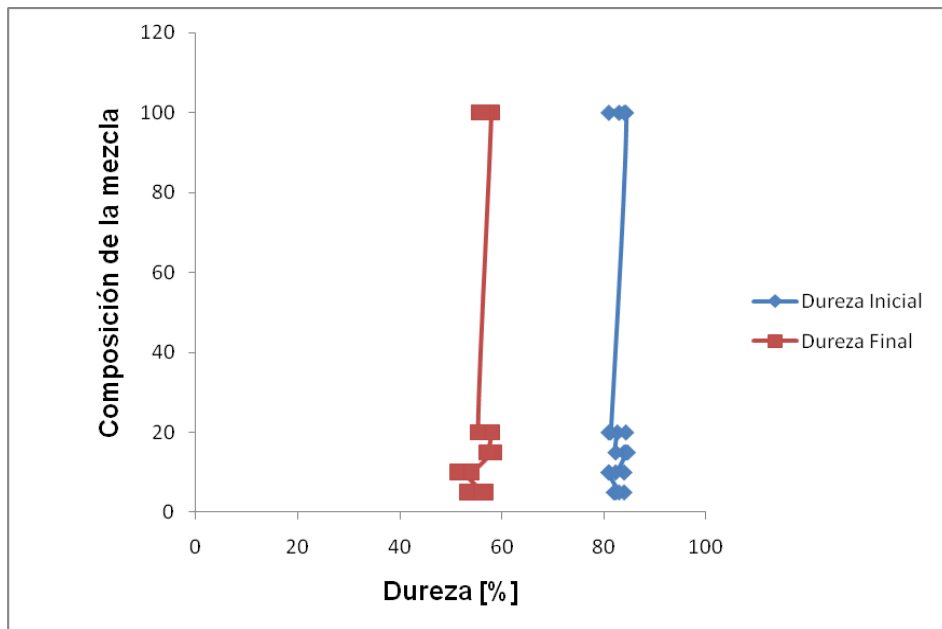
DONDE: T1= 0 días; T2=7 días; T3=14 días; T4=21 días; T5=28 días;

E5= 5% Etanol en la Mezcla; E10= 10%; E15= 15%; E20= 20%; E100=100%.

Fuente: Los autores

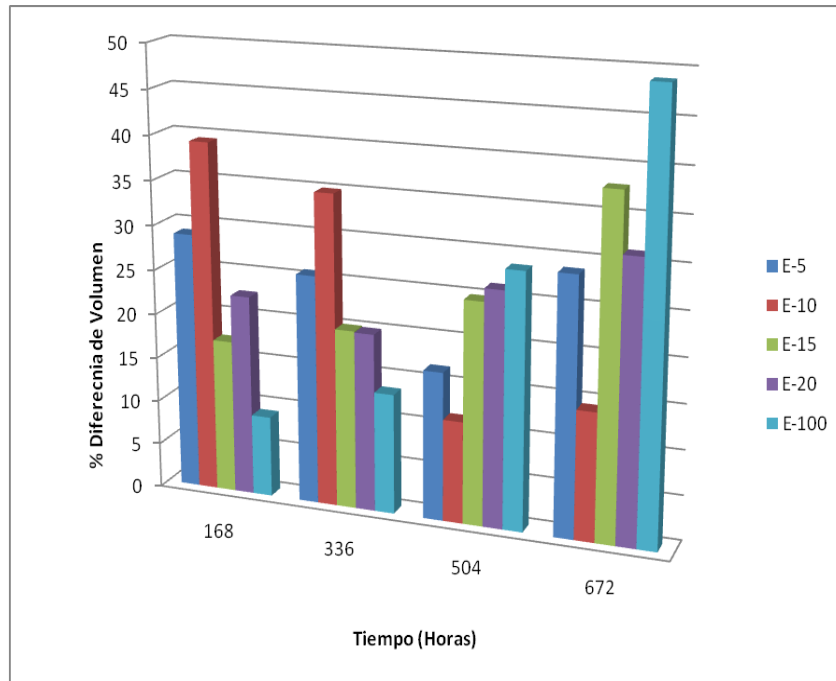
Los datos anteriormente mostrados en la tabla indican que el material pierde dureza como se puede observar en la figura 5; esto se debe a que el material en contacto con la mezcla gasolina-etanol empieza a sufrir un ablandamiento superficial. Este fenómeno ocurre ya que el teflón después de cierto tiempo comienza a absorber parte de la mezcla permitiendo un nuevo dimensionamiento del material. Este cambio se puede observar en la figura 6, que muestra como varia el porcentaje de la diferencia de volumen con el tiempo.

**Figura 5. Composicion de la mezcla (gasolina-etanol) Vs dureza [%]**



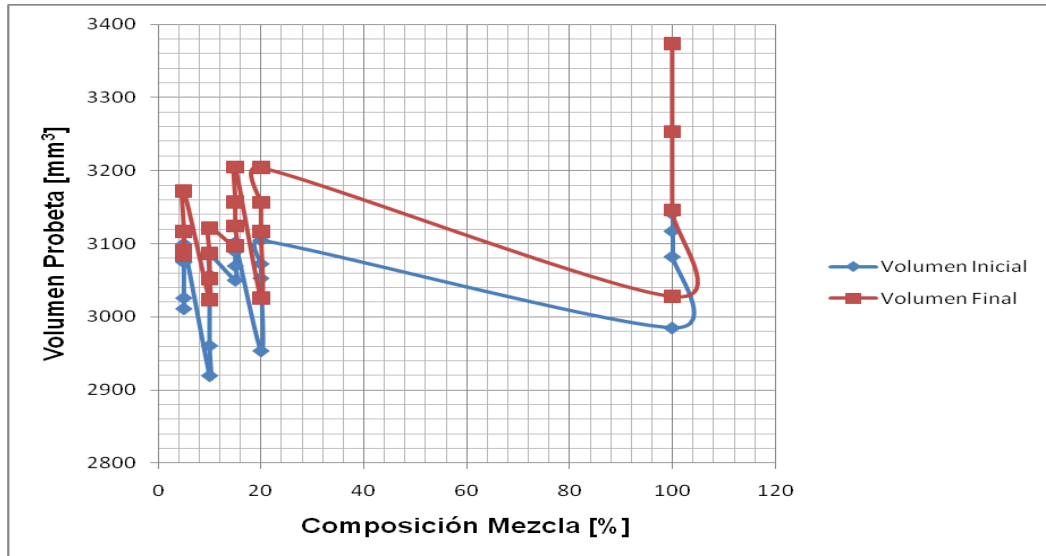
Fuente: Los autores.

**Figura 6. % Diferencia de volumen Vs tiempo de exposición**



Fuente: Los autores

**Figura 7. Diferencia de volumen Vs composición de la mezcla**



Fuente: Los autores

El hinchamiento del teflon expuesto a la mezcla de gasolina-etanol, es especialmente importante debido a que sus componentes tienden a absorber los fluidos con los cuales entran en contacto. En la figura 7 se observa los diferentes picos que corresponden a los límites de absorbancia que presenta el polímero sometido a las diferentes composiciones de la mezcla; una mayor absorbancia contribuye al aumento de hinchamiento del teflón, por ende aumentando posibilidades de causar extrusión o desgaste excesivo.

Otro aspecto a resaltar es que en las mezclas de gasolina-etanol E-5, E-10 la ganancia de masa es poco significativa comparada con las mezcla E-20 y E-100 debido a la baja presencia de OH y por ende poca agresividad hacia el material, esto se puede observar de manera representativa en la figura 6. A mayor concentración de etanol en la mezcla la absorbancia del teflón aumenta generando un hinchamiento mayor en el material.

### **5.3. Analisis microestructural**

Como se puede observar en las fotografías 10 a la 14, la microestructura muestra unas irregularidades de una posible absorción de la mezcla y futuro rompimiento del material; Además se observa dentro del mismo material fases de un color oscuro situados en las partes en estudio, dando indicios de deterioro con respecto a la muestra inicial de teflón que se puede ver en la fotografía 9. Este ensayo no es suficiente para revelar en que mezcla se presenta el mayor deterioro del teflón, solo nos muestra una idea general de los posibles daños.

**Fotografía 9. Probeta inicial**



**Fotografía 10. E5/14 días.10X**



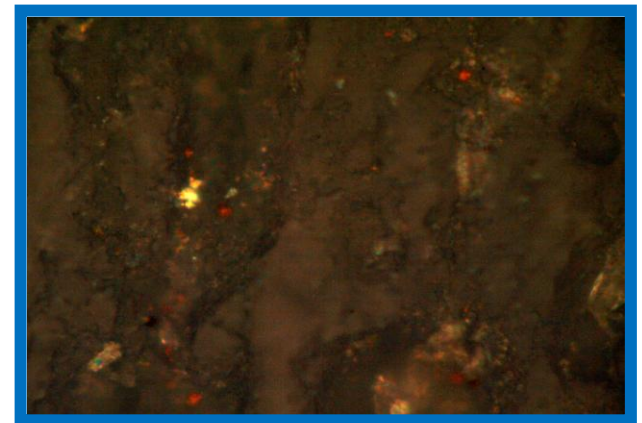
**Fotografía 11. E5/21 días.10X**



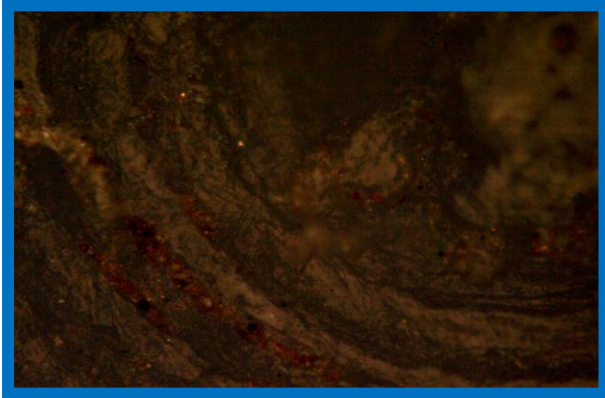
**Fotografía 12. E10/21 días.10X**



**Fotografía 13. E10/28 días.50X**



**Fotografía 14. E20/14 días.10X**



**Fotografía 15. E100/14 días.50X**

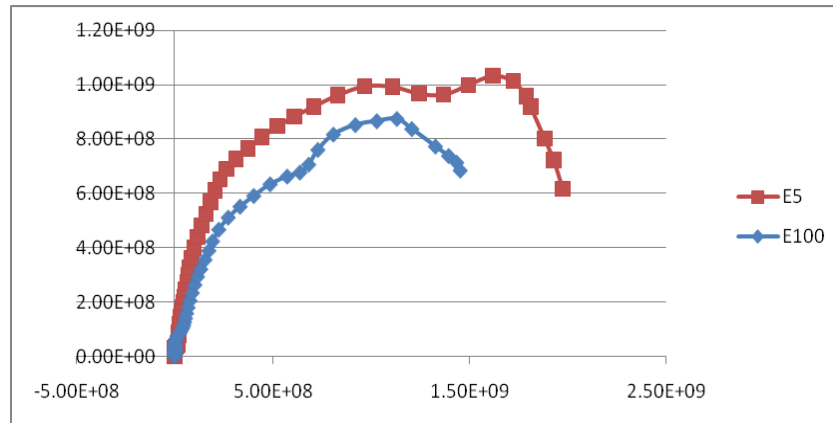


Fuente: *Microscopio Olympus bx 51 (tamaño: x100).Grupo Investigación En Corrosión G.I.C.*

#### **5.4. Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE)**

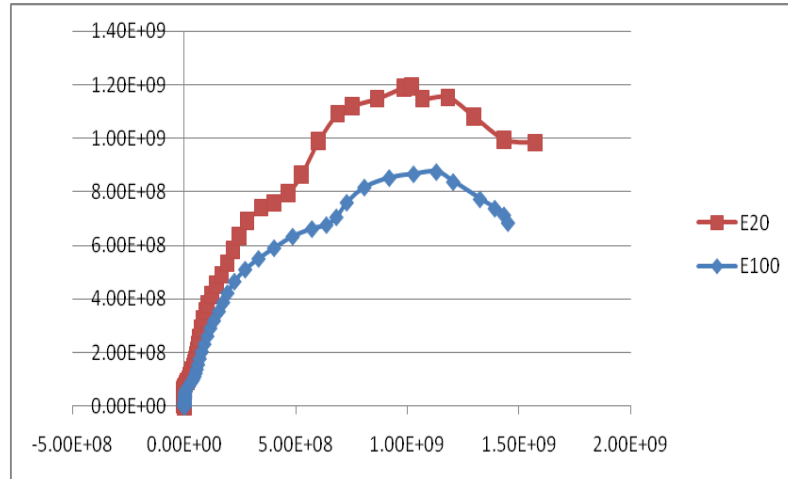
Las siguientes gráficas muestran los diagramas de Nyquist a diferentes concentraciones de gasolina-etanol y tiempos de inmersión. Se observa con los valores obtenidos de las impedancias real e imaginaria las cuales disminuyen con el aumento de la concentración de etanol, es decir que el diámetro del semicírculo tiende a disminuir de manera significativa siendo la mezcla 100% etanol la más agresiva hacia la superficie del material mostrando el semicírculo más pequeño como se muestra en la figuras 8 y 9.

**Figura 8. Diagrama de Nyquist para el Teflón en mezcla Gasolina-Etanol a 28 días**



Fuente: Los autores

**Figura 9. Diagrama de Nyquist para el Teflón en mezcla Gasolina-Etanol a 28 días**

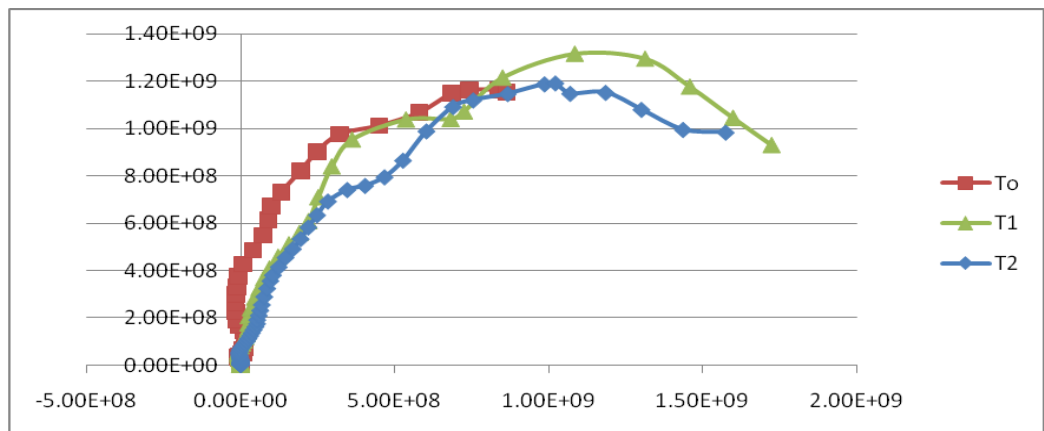


Fuente: Los autores

En la figura 10 y 11 se observa el comportamiento del teflón en los diferentes tiempos de inmersión  $T_0= 7$  días,  $T_1= 14$  días,  $T_2= 28$  días. Se muestra que a medida que transcurre el tiempo hay una disminución leve en el semicírculo,

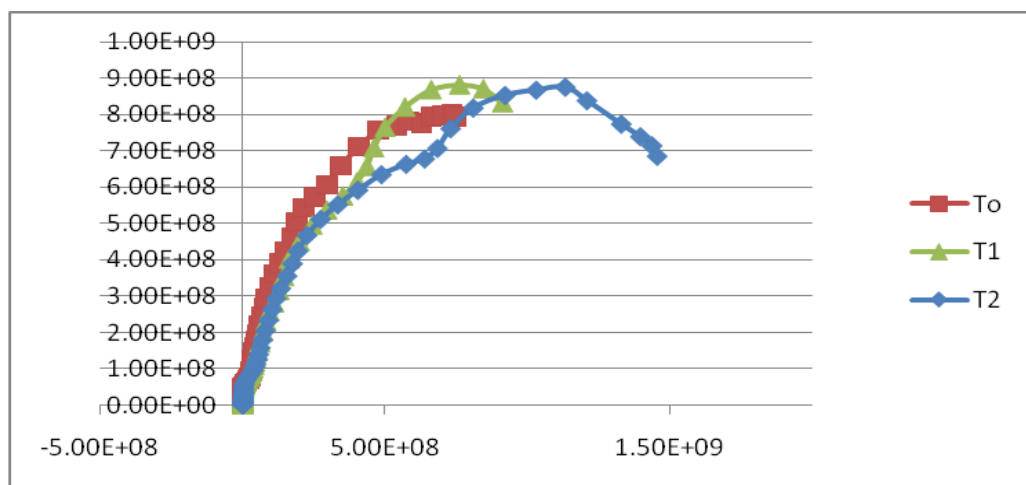
asociado a un bajo deterioro en la superficie del material, lo cual se evidencia con la técnica de espectroscopia infrarroja que no presenta cambios significativos en los enlaces carbono-flúor.

**Figura 10. Diagrama de Nyquist para el teflón en mezcla E20 a diferentes tiempos de inmersión**



Fuente: Los autores

**Figura 11. Diagrama de Nyquist para el teflón en mezcla E100 a diferentes tiempos de inmersión**



Fuente: Los autores

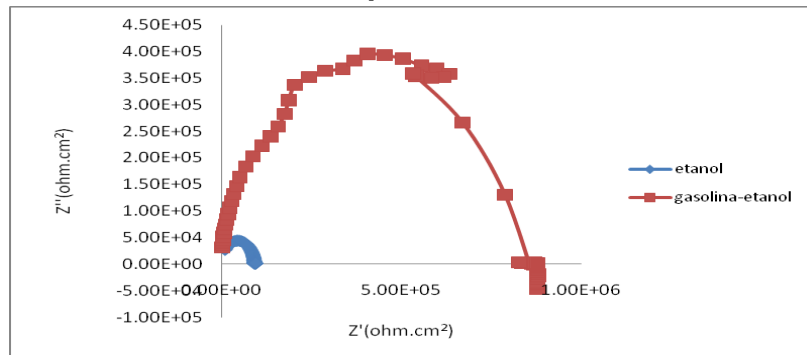
En los diagramas de Nyquist mostrados anteriormente se evidencia que a frecuencias altas, al comienzo de la curva hace referencia a la resistencia de la solución ( $R_s$ ), mostrando un semicírculo pequeño el cual es mayor para la mezcla gasolina-etanol que el etanol puro afirmando así la agresividad del etanol como se observa en la figura 12, posteriormente se presenta a frecuencias más bajas la resistencia del material que va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo y aumenta la concentración de etanol.

Como se observa en las anteriores figuras el material expuesto a las mezclas gasolina-etanol y etanol puro, es controlado por un proceso de transferencia de carga debido a que calculó un  $n > 0.75$  asociado a este fenómeno.

Verificando los diagramas de bode para el teflón se observa que en la región de bajas frecuencias el ángulo de fase disminuye gradualmente alejándose de los  $90^\circ$  valor que corresponde a un comportamiento capacitivo puro, como se muestra en las figuras 13 y 14. Ocurriendo de igual manera para la mezcla E-100 (**Ver Anexo F**)

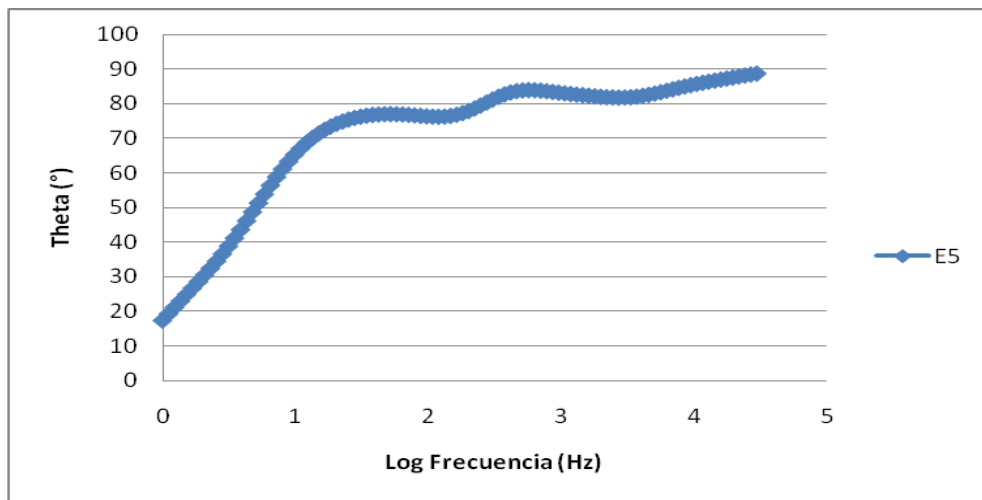
Se observa entre  $10$  y  $10^2$  Hz un comportamiento de fase alta para el polímero ( $>55^\circ$ ), propio de un material de muy baja conductividad y capacitancia. Una inestabilidad en el diagrama de impedancia se muestra a bajas frecuencias ( $10$  Hz y  $0,01$  Hz), debido probablemente a la influencia del soporte metálico de aluminio utilizado en el montaje de la celda plana.<sup>22</sup>

**Figura 12. Diagrama de Nyquist para la solución gasolina-etanol y etanol puro**



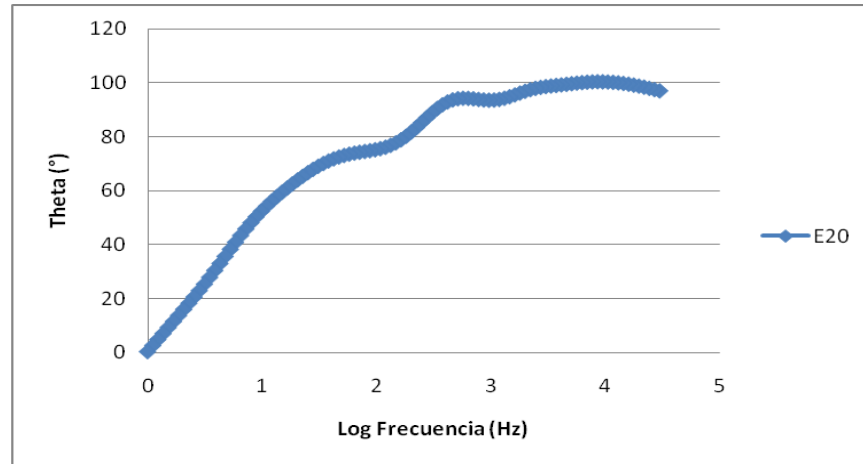
Fuente: Los autores

**Figura 13. Diagrama de Bode Experimental para Teflón E-5**



Fuente: Los autores

**Figura 14. Diagrama de Bode Experimental para Teflón E-20**



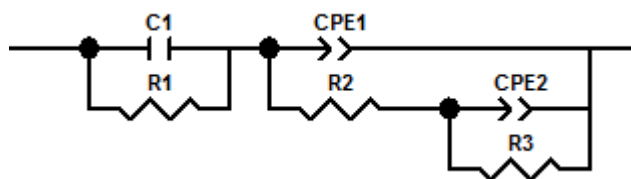
Fuente: Los autores.

#### **5.4.1. Descripción del circuito equivalente**

Se realizaron simulaciones para diferentes tipos de interfases electrodo de trabajo – electrolito (5%, 20% y 100%) utilizando el software Zview (Scribner Associates, Inc), además del ajuste de datos experimentales. Los datos experimentales se analizaron a través de un circuito equivalente compuesto por elementos simples como resistencias, condensadores y elementos complejos como los elementos de fase constante (CPE), Zview se utiliza como una herramienta para la generación de los espectros de los circuitos equivalente en diagramas de Nyquist y bode, y para una rápida variación de las propiedades de cada elemento en el circuito eléctrico.

Para hacer el ajuste se propuso el modelo de la **figura 15**, pero como la distribución real de las cargas no es totalmente de tipo condensador, se cambio por un elemento CPE.

**Figura 15. Circuito eléctrico utilizado para describir el sistema electroquímico**



Fuente: Los autores

**Tabla 13. Valores de resistencia y capacitancia para el sistema teflón-mezcla (gasolina-etanol) y etanol puro**

	C1 (F)	R1 (Ohm*cm <sup>2</sup> )	Cpet (F)	R2 (Ohm*cm <sup>2</sup> )	Cpet (F)	R3 (ohm*cm <sup>2</sup> )
<b>E5</b>	3.7010E <sup>-11</sup>	7.7879E <sup>8</sup>	3.7042E <sup>-11</sup>	2.7687E <sup>8</sup>	1.6039E <sup>-11</sup>	1.25E <sup>9</sup>
<b>E20</b>	2.777E <sup>-11</sup>	1.1286E <sup>9</sup>	1.8136E <sup>-12</sup>	1.5436E <sup>8</sup>	2.1839E <sup>-11</sup>	1.24E <sup>9</sup>
<b>E100</b>	2.2783E <sup>-11</sup>	2.1523E <sup>6</sup>	2.0878E <sup>-13</sup>	7.7934E <sup>6</sup>	2.695E <sup>-11</sup>	1.51E <sup>9</sup>

Fuente: Los autores

En el modelo a bajas frecuencias se aprecian los elementos correspondientes a la interfase polímero/soporte metálico, la cual no es de estudio en este proyecto. El rango de altas e intermedias frecuencias corresponde al comportamiento del polímero/electrolito.

En el modelo a frecuencias intermedias en paralelo se aprecian los elementos correspondientes a la doble capa electroquímica, su capacitancia (CPE1) y su resistencia a la polarización Rp (R2).

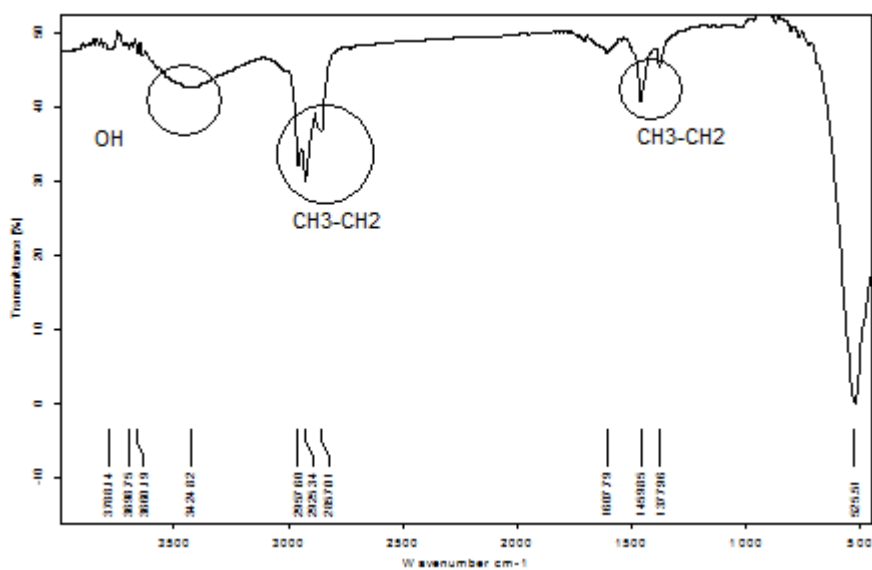
Una vez obtenidos los barridos de frecuencia, se exportan los datos hasta el programa Zview 2.6 de Scribner Associates Inc., donde se procede a ajustarlos con el anterior circuito (figura 15), el comportamiento a altas frecuencias del sistema es simulado únicamente por una resistencia pura, puesto que como se verá más adelante en los diagramas de impedancia, en general no se tiene resolución para separar el arco producido por esta región, y se debe tener en cuenta la estimación de su resistencia. Por el contrario a frecuencias menores se observan las contribuciones procedentes de los procesos electroquímicos, estos serán descritos mediante combinaciones R – CPE. El cual predice que la capacitancia de la doble capa estará en paralelo con la impedancia debido a la reacción de traslado de iones. Los valores de R2 van disminuyendo conforme se aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla de biocombustible. Estos valores se observan en la **Tabla 13**.

En la mezcla de 100% etanol se puede ver una agresividad más representativa debido a la alta concentración de iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ), presente en el electrolito, lo cual se ve reflejado en los espectros de impedancia electroquímica, donde para 28 días de exposición, se obtuvo un  $R_p$  de  $7,7934\text{E}^6 \text{ Ohm.cm}^2$ , comparado con el valor obtenido para 20% etanol de  $1,5436\text{E}^8 \text{ Ohm.cm}^2$ , y  $2,7687\text{E}^8 \text{ Ohm.cm}^2$  para 5% etanol.

### **5.5. Espectroscopia infrarroja por fotoacústica (PAS)**

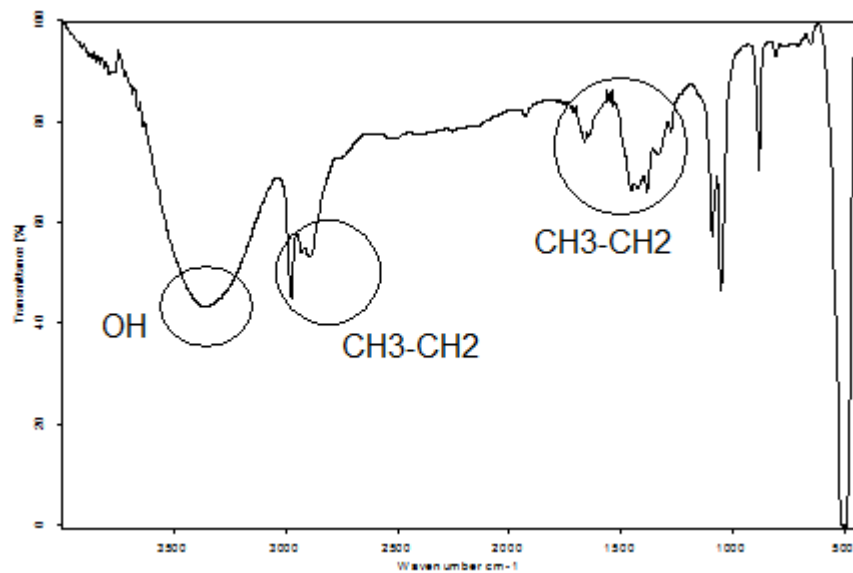
En las figura 16 y 17 se muestra los espectros de infrarrojos de la gasolina y el etanol, se observa que la gasolina solo presenta tensiones y flexiones simétricas y antisimétricas de  $\text{CH}_3\text{-CH}_2$  asociada a los enlaces carbono hidrógeno de la mezcla y una banda de OH pequeña que puede estar asociada a agua absorbida, en cambio en el etanol se observa una banda de OH intensa asociado a la clase de los alcoholes, también se presenta tensiones y flexiones  $\text{CH}_3$  y  $\text{CH}_2$  simétricos y antisimétricos.

Figura 16. Espectro infrarrojo de la gasolina



Fuente: Los autores

Figura 17. Espectro infrarrojo del etanol

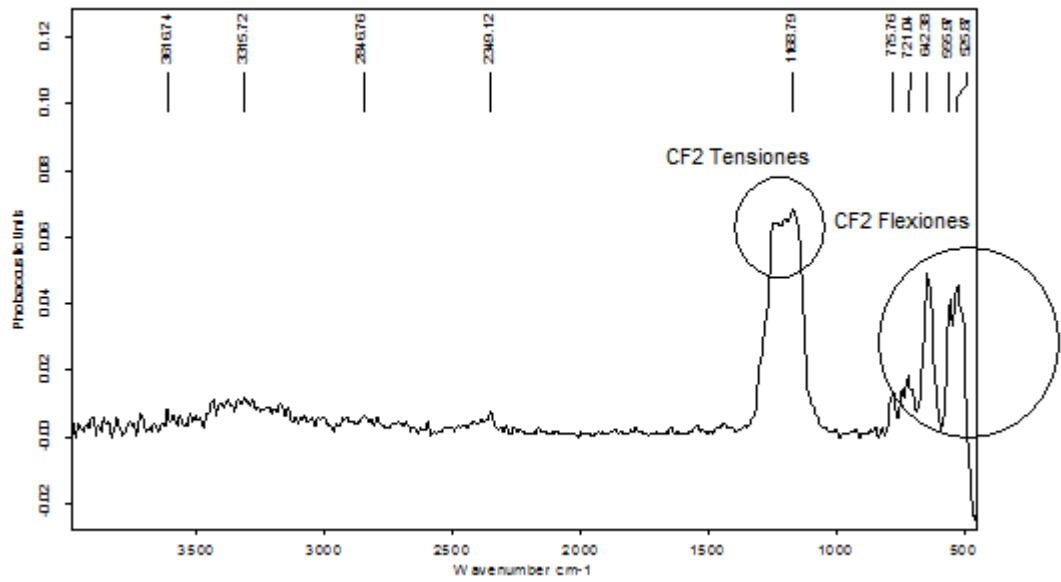


Fuente: Los autores

Las figuras 18 a la 21 muestran los espectros obtenidos para el teflón puro y los que fueron expuestos a las diferentes mezclas del 5%,20% y 100% etanol, y la asignación de bandas de absorción infrarroja por fotoacústica asociada a los grupos químicos característicos del polímero. Se observa que hay una adherencia de la mezcla hacia la superficie del Teflón debido a que el material ha absorbido parte del combustible. Esta adherencia se refleja en la banda de OH que aparece en un rango de número de onda alrededor de  $3200\text{cm}^{-1}$ , y en las tensiones y flexiones de CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub> simétricas y anti simétricas que se refleja en los rangos de número de onda menores a  $3000\text{cm}^{-1}$  asociado a CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub> alifáticos, además, se observa en los espectros que la estructura del Teflón ( $n\text{-CF}_2=\text{CF}_2\text{-n}$ ) en las mezclas de 5, 20 y 100% etanol no es alterada significativamente vs el Teflón puro como se evidencia en las graficas, no presentan cambio notorio debido a que el enlace carbono Flúor es muy resistente ,solo presenta una atenuación en las tensiones y flexiones CF<sub>2</sub>, como se muestra en las graficas 19 y 20, presentando una disminución de la intensidad de la señal, asociada a la agresividad y absorción de la mezcla en el material, dejando una película de combustible delgada adherida a la superficie.<sup>15</sup>

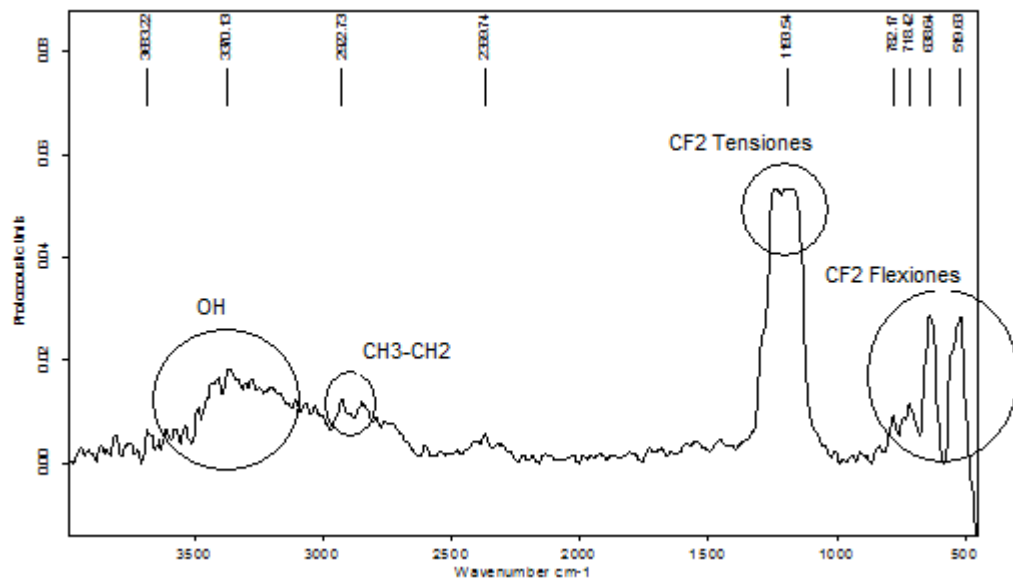
En la gráfica para E100 (figura 21), se muestra que el material absorbe etanol de manera significativa por lo descrito en las bandas OH.

Figura 18. Espectro infrarrojo por fotoacústica al teflón puro



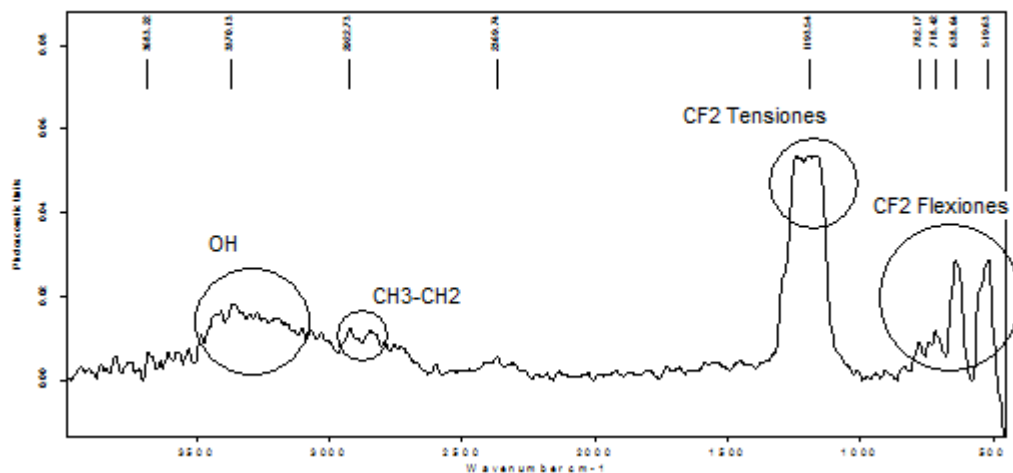
Fuente: Los autores

Figura 19. Espectro infrarrojo por fotoacústica al teflón expuesto a la mezcla E5 por 28 días



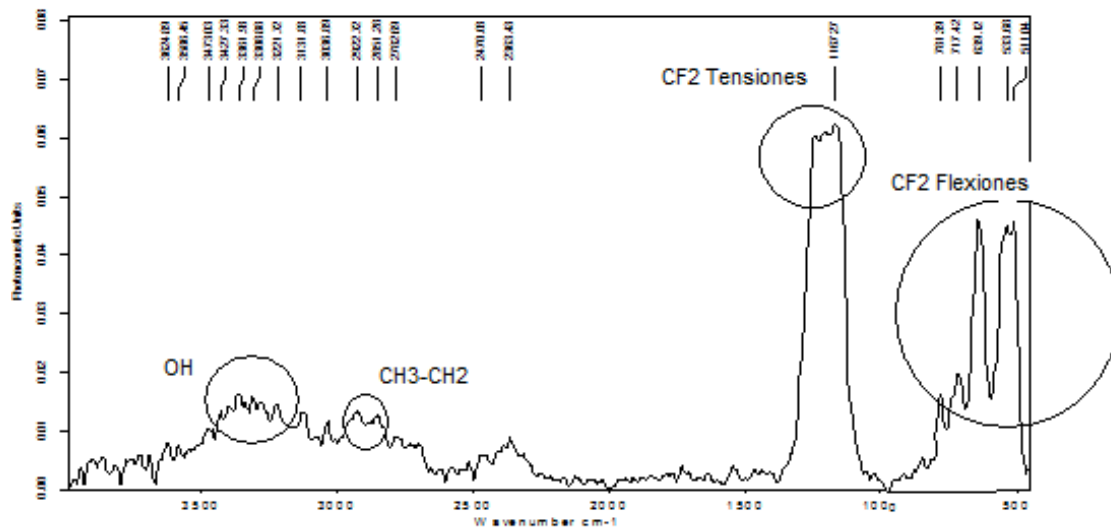
Fuente: Los autores

**Figura 20. Espectro infrarrojo por fotoacústica al Teflón expuesto a la mezcla E20 por 28 días**



Fuente: Los autores

**Figura 21. Espectro de infrarrojo por fotoacústica al teflón expuesto a la mezcla E100 por 28 días**



Fuente: Los autores

**Tabla 14. Asignación de bandas de absorción relevantes del espectro del teflón**

<b>NÚMERO DE ONDA CM<sup>-1</sup></b>	<b>ASIGNACIÓN</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>Señales Características</b>		
<b>3500-3200</b>	Enlaces O-H asociado de alcoholes	Se encuentra formando puentes de hidrógeno, tiende a ser ancha y en polímeros se manifiesta en múltiples bandas.
<b>3000-2900</b>	Grupos CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub>	Múltiples señales, vibraciones Simétricas y antisimétricas.
<b>1200-1100</b>	Grupos CF <sub>2</sub>	Vibraciones simétricas y antisimétricas (tensión y flexión).

Fuente: Los autores

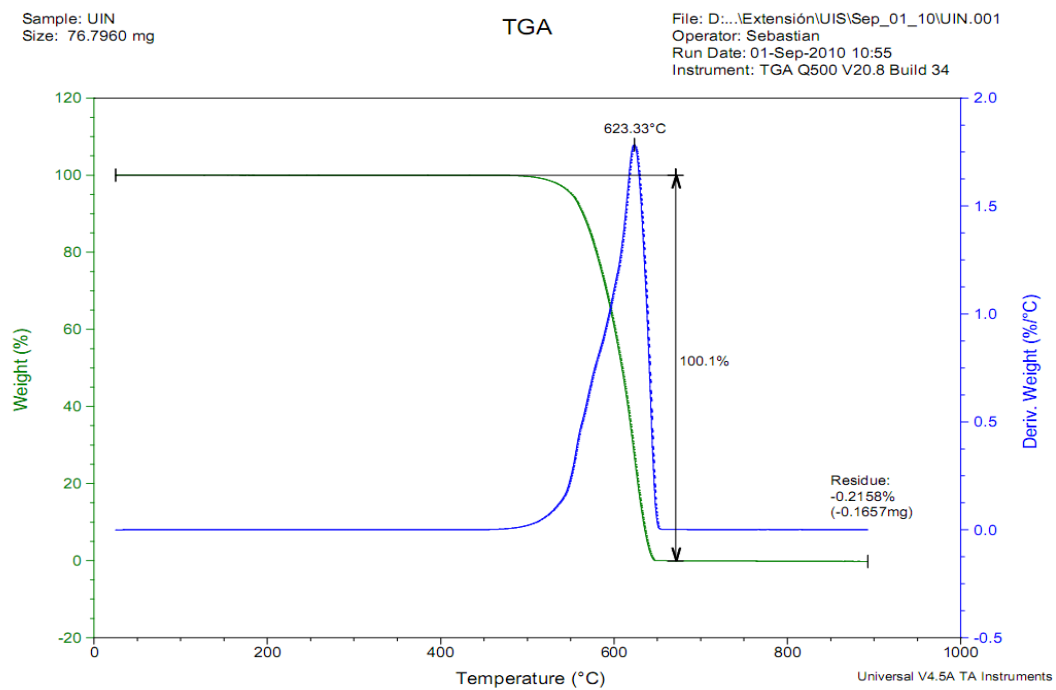
La degradación del material no es notoria con el tiempo de exposición al electrolito (28 días), pero si se puede observar una diferencia del comportamiento electroquímico del polímero en las mezclas de 5%, 20% y 100% etanol. Lo cual es contrastado con los resultados obtenidos de los ensayos de espectroscopia infrarroja por fotoacustica.

### **5.6. Análisis termogravimétrico (TGA)**

En las figuras 22 y 23 se observa el análisis termogravimétrico realizado al teflón puro y al expuesto a bioetanol, se muestra diferencias en el mecanismo de degradación porque se presentan dos picos en la derivada de la señal, esta

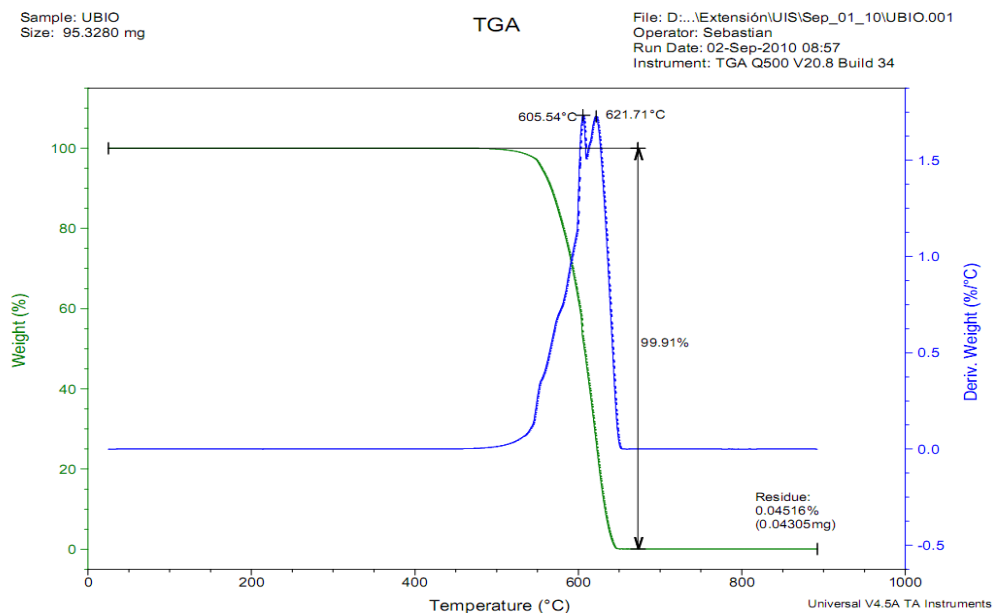
diferencia puede estar asociada a diferencias estructurales. Se observa un pico a una temperatura de 605.54 y otro a una temperatura de 621.71 asociados a una pérdida de masa debido a que la muestra tiende a absorber etanol y por consiguiente agua físicamente con facilidad. Corroborando con los datos de pérdida de dureza que presentó el material, obtenidos en la tabla 13. Resaltando que la mezcla de 100% etanol es la más agresiva con la superficie del teflón.

**Figura 22. Diagrama termogravimétrico del teflón puro**



Fuente: Universidad de Antioquia

**Figura 23. Diagrama termogravimétrico del teflón expuesto a etanol por 28 días**

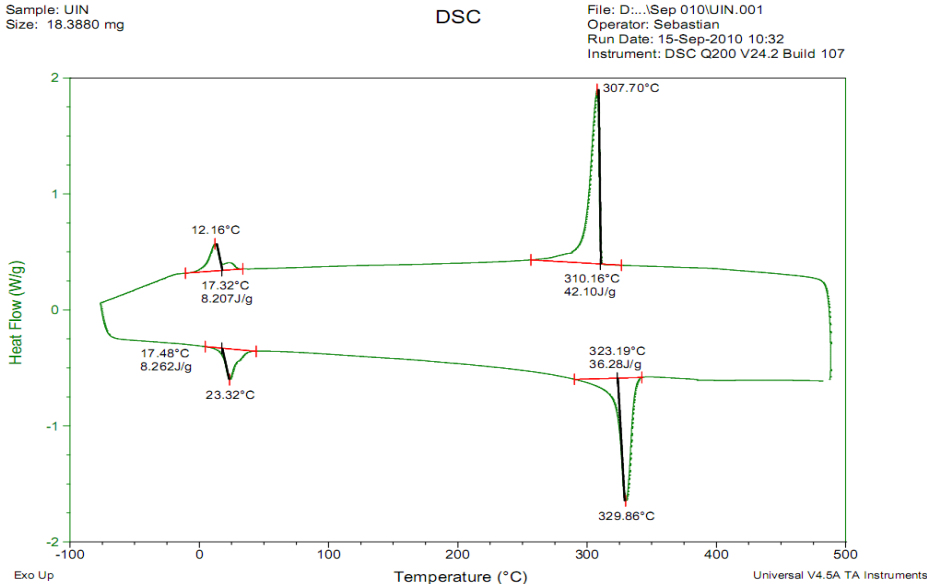


Fuente: Universidad de Antioquia

### 5.7. Análisis calorimétrico de barrido diferencial (DSC)

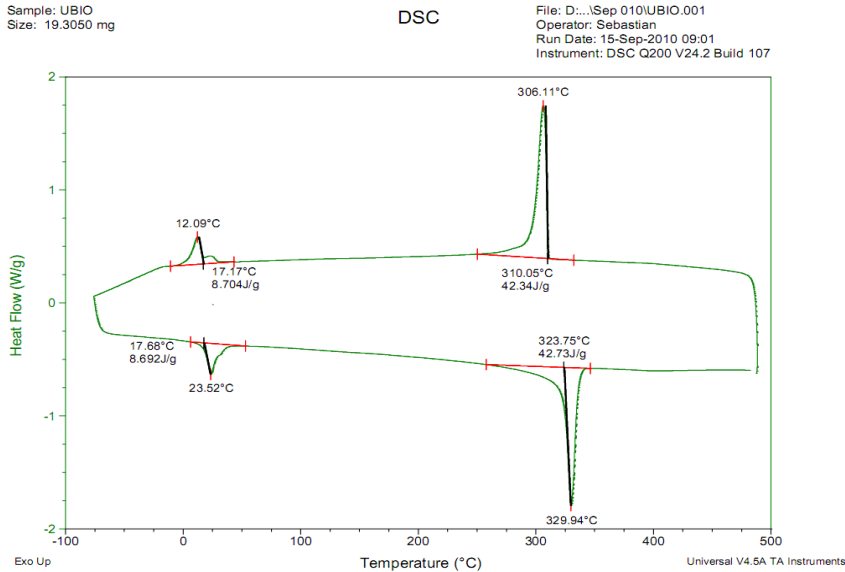
Los resultados de calorimetría de barrido diferencial realizados al teflón puro y al expuesto a etanol, no mostraron cambios significativos como se observa en las Figuras 24 y 25, debido a que el efecto de la mezcla en la superficie del teflón en los 28 días no fue lo suficiente para notar diferencias en la cristalinidad o fusión del material, solo presentó cambios estructurales pequeños como se observó en el TGA. Esto puede estar asociado al poco tiempo que permaneció el material expuesto al etanol y la resistencia de dicho material, corroborando con el ensayo de espectroscopia infrarroja que no presentó cambio notorio en los enlaces carbono-flúor debido a la resistencia de dichos enlaces al combustible.

**Figura 24. Diagrama calorimétrico de barrido diferencial para el Teflón puro**



Fuente Universidad de Antioquia

**Figura 25. Diagrama calorimétrico de barrido diferencial al teflón expuesto a etanol por 28 días**



Fuente: Universidad de Antioquia

## 6. CONCLUSIONES

- Se observó en el tiempo máximo de inmersión (28 días) en las pruebas EIE y espectroscopia infrarroja por Fotoacústica, que el deterioro del material es relativamente bajo, siendo la mezcla 100% etanol la más corrosiva sobre la superficie del material; donde se obtuvo la mayor degradación.
- Mediante el ensayo gravimétrico la máxima ganancia de peso alcanzada fue en la mezcla 100% etanol, en los tiempos de inmersión 21 y 28 días, corroborado con el índice de hinchamiento.
- Con el ensayo de dureza se comprobó que el material presenta ablandamiento o pérdida en las propiedades mecánicas al estar expuesto en la mezcla gasolina-etanol y etanol puro.
- Mediante la técnica TGA se comprobó que el material en contacto con etanol presenta diferencias microestructurales pequeñas, pero no lo suficiente para cambiar la estructura del material.
- Se observó con las pruebas de espectroscopia infrarroja por fotoacústica (PAS), que el combustible se adhiere en la superficie del material, en forma de una película delgada.
- Debido a la ausencia de investigaciones anteriores del sistema de interés, los resultados de las pruebas de índice de hinchamiento, espectroscopia infrarroja, espectroscopia de impedancia electroquímica, TGA y DSC sirvieron solamente para generar observaciones cualitativas importantes de la mecánica de degradación del polímero, que dan una idea general del proceso ocurrido durante el tiempo de ensayo.

## 7. RECOMENDACIONES

- Evaluar el deterioro Microestructural que presenta el material por la técnica de resonancia magnética nuclear.
- Incluir la variable temperatura para determinar su efecto en la degradación del teflón.
- Utilizar tiempos de inmersión superiores a los desarrollados en este proyecto.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. A. ERTEKIN y S. Narasi DNV investigación y desarrollo – EEUU. Rendimiento de materiales elastómeros en mezcla gasolina-etanol. NACE 2009. Vol.09533.
2. H. JAFARI\*, M. H. Idris, A. Ourdjini, H. Rahimi and B. Ghobadian. Effect of ethanol as gasoline additive on vehicle fuel delivery system corrosion. Materials and Corrosion 2009. Vol. 61; pag. 432-440.
3. S. MATTHIAS y L. Thomas. Investigation of the pitting Corrosion behaviour of stainless steels in ethanol containing fuels. 2009, Vol.09535, p 1-8. Revista Biological Chemistry.
4. A. ERTEKIN y S. Narasi DNV investigación y desarrollo – EEUU. Efectos de la transición de mezcla de combustible etanol NACE 2010. Vol. 10071
5. Schweitzer Philip A. corrosion of polymers and elastomers, 2da ed. Engineering Handbook. 2007, New York.
6. <http://www.iq.com.ar/Imagenes/Productos/Teflon/Virgen/propiedades.htm>
7. Bioetanol de caña de azúcar, energía para el desarrollo sostenible [en línea]. Rio de Janeiro: banco de desarrollo de Brasil y centro de gestión e estudios estratégicos, 2008. Disponible en internet: <http://www.bioetanoldecanadeazucar.org/>
8. NÚÑEZ G., José. GARCÍA T. Pablo. Biocombustibles: Bioetanol y Biodiesel Dpto de Ingeniería Química, ETSE, Universidad de Santiago de Compostela. 2009

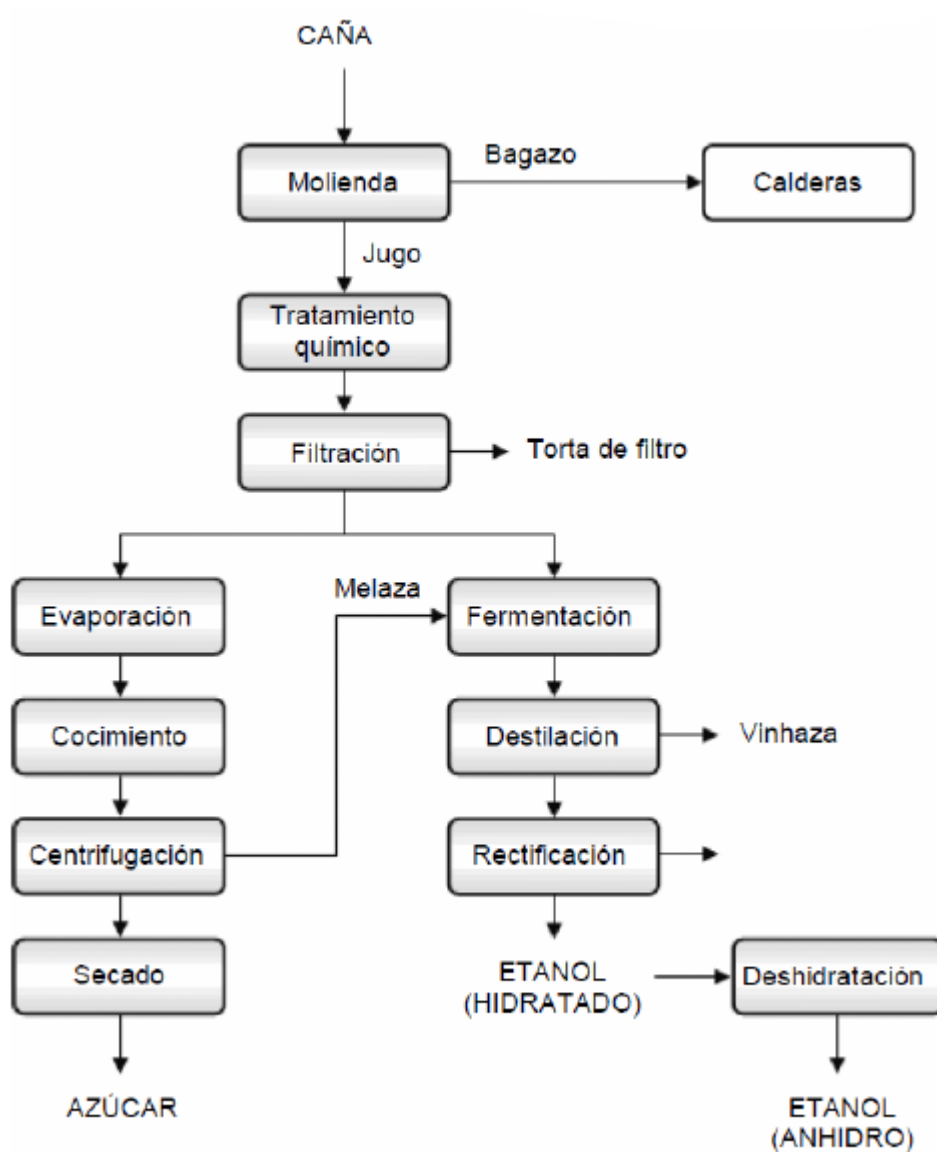
9. FERNANDEZ, Quenta; PEREZ, Jorge Luis; LEDEZMA, Ronald; PINAYA GUTIERREZ, Henry; VERGARA MONTALVO, Luis Alfredo; ZABALA VEGA, José Alejandro. Producción y consumo de bioetanol, Universidad de Aquino Bolivia facultad de ingeniería en gas y petróleo. 2007.
  
10. COLON José.; Biocombustibles una solución para el futuro energético pág. 26-27, 2009. [consultado en mayo del 2010]. disponible en <http://www.scribd.com/doc/17310333/Bio-Combustibles-Libro-Final>.
  
11. CALA Hederich, D.F. Bioetanol carburante solución y oportunidades de negocio para el país. En: Colombia, Ciencia y Tecnología. v.23 no.2, p.12-20. Disponible en B.D. CENICAÑA. 2005
  
12. GONZALEZ-NUÑEZ, Gonzalez-Romero , V. M. y Castillas , S.N. Hinchamiento de polímeros reticulados; Universidad de Guadalajara, facultad de ciencias químicas; Vol. 1, pág. 675-685; 1987
  
13. FLÓREZ, M. Juan. Espectroscopia de impedancia electroquímica en corrosión [artículo de internet]. <http://depa.pquim.unam.mx/labcorr/libro/Manual-EIS-IMP-UNAM.PDF> > [consultado:19/07/2009].
  
14. OVIEDO Carlos y Gómez Javier. Evaluación de la corrosión por  $\text{CO}_2$  de un acero AISI-SAE 1020 protegido con recubrimientos epóxicos mediante técnicas electroquímicas. Proyecto de grado UIS; Bucaramanga, 2003.
  
15. SKOOG KOLLER Nieman. principios de análisis instrumental, 5ta ed. 2001.

16. ASTM D4806 - 09 Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark-Ignition Engine Fuel1.
17. ASTM D471 Standard Test Method for Rubber Property – effect of liquids
18. ASTM G1-90(1999) e1 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.
19. MARTIN, Martin Francisca; Sala Gomez Vanessa; Estudios del funcionamiento de motores alternativos de combustión interna mediante la utilización de combustibles alternativos. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC); Vol. 1; 2009.
20. A. KUMAR; Biofuels alcohol and biodiesel applications as fuels for internal combustion engines; Progress in energy and combustion Science. 33, 2007: 233-271.
21. COTTIS Robert, Stephen Turgoose B.C. Syrett, series editor electrochemical impedance and noise. Manual NACE; 1999.
22. HERNÁNDEZ-ESPEJEL, Antonio, Adán Ramírez-López, investigación del efecto de productos de películas de corrosión en el comportamiento electroquímico del acero api-x52 para tubería en medios ácidos. Avance en ciencias e ingenierías, Pág. 45-57. México.
23. ORNL Ethanol Pipeline Corrosion Literature Study Final Report; Oak Ridge. National Laboratory, Brasil, 2008.

24. TORRES Jaime, MOLINA Daniel. Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. Revista VirtualPRO, Bucaramanga, Colombia ECOPETROL, 2006.
25. A. ALBÍSTUR Goñi, C. Berlanga Labari, J. Fernández Carrasqui corrosión bajo tensión de un acero al carbono en mezclas de bioetanol y gasolina. Dialnet; 2008.
26. JONES, Denny A. Principles and Prevention of Corrosion. Second edition. Prentice Hall, Inc; 1996. p 9-162.
27. Manual para el manejo y disposición de los residuos peligrosos de la sede guatiguara; Universidad Industrial de Santander UIS; 2010
28. Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Decreto 1135 de 2009, Marzo 31, Por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento.

# ANEXOS

**Anexo A. Esquema de la producción de Azúcar y Bioetanol de la Caña de azúcar.**



Fuente: Seabra (2008).

## Anexo B. Manejo del Reactivo Inflamable.

### RIESGOS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN

Punto de inflamación (°C): 17 c.c.

Temperatura de autoignición (°C): 422 Limites de

inflamabilidad (%V/V): 3.3 - 19

Peligros de incendio y/o explosión:

Inflamable. Se evapora fácilmente. Sus vapores se depositan en las zonas bajas y pueden formar mezclas explosivas con el aire si se concentran en lugares confinados.

Productos de la combustión:

Se liberan óxidos de carbono.

Precauciones para evitar incendio y/o explosión:

Evitar toda fuente de ignición o calor. Separar de materiales incompatibles. Conectar a tierra los contenedores para evitar descargas electrostáticas. Mantener buena ventilación y no fumar en el área de trabajo. Los equipos de iluminación y eléctricos deben ser a prueba de explosión.

Procedimientos en caso de incendio y/o explosión:

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Retirar los contenedores del fuego si no hay riesgo, en caso contrario, enfriarlos usando agua en forma de rocío desde una distancia segura.

Agentes extintores del fuego:

Polvo químico seco, espuma para alcohol, dióxido de carbono o agua en forma de rocío.

### ALMACENAMIENTO Y MANIPULACION

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición.

Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente.

Depositar en contenedores herméticamente cerrados. Los equipos eléctricos y de iluminación deben ser a prueba de explosión.

Tipo de recipiente:

Manipulación:

Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente.

Fuente: Manuelita S.A.

## EFFECTOS PARA LA SALUD

Límites de exposición ocupacional:

<b>TWA:</b>	1000 ppm
<b>STEL:</b>	N.R.
<b>TECHO (C):</b>	N.R.
<b>IPVS:</b>	N.R.
<b>Inhalación:</b>	Altas concentraciones del vapor pueden causar somnolencia, tos, irritación de los el tracto respiratorio, dolor de cabeza dolor de cabeza y síntomas similares a la ingestión.
<b>Ingestión:</b>	Sensación de quemadura. Actúa al principio como estimulante seguido de depresión, dolor de cabeza, visión borrosa, somnolencia e inconsciencia. Grandes cantidades afectan el aparato gastrointestinal. Si es desnaturalizado con metanol, puede causar ceguera.
<b>Piel:</b>	Resequedad.
<b>Ojos:</b>	Irritación, enrojecimiento, dolor, sensación de quemadura.
<b>Efectos Crónicos:</b>	A largo plazo produce efectos narcotizantes. Afecta el sistema nervioso central, irrita la piel (dermatitis) y el tracto respiratorio superior. La ingestión crónica causa cirrosis en el hígado.

## PRIMEROS AUXILIOS

<b>Inhalación:</b>	Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.
<b>Ingestión:</b>	Lavar la boca con agua. Inducir al vómito. No administrar eméticos, carbón animal ni leche. Buscar atención médica inmediatamente (puede tratarse de alcohol desnaturalizado).
<b>Piel:</b>	Lavar la piel con abundante agua. Retirar la ropa contaminada y lávela con abundante agua y jabón.
<b>Ojos:</b>	Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

Fuente: Manuelita S.A.

## PROCEDIMIENTOS EN CASO DE ESCAPE Y/O DERRAME

Evacuar o aislar el área de peligro. Eliminar toda fuente de ignición. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. No permitir que caiga en fuentes de agua y alcantarillas. Si el derrame es pequeño dejarlo evaporar, también se puede absorber con toallas de papel. Si es grande recolectar el líquido con equipos que no desprendan chispas para evitar que se encienda. Lavar el residuo con abundante agua.

## EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL/CONTROL EXPOSICIÓN

Uso Normal: Guantes largos, monogafas. Si es muy concentrado se puede usar máscara con filtro para vapores, botas y overol.

Control de Emergencias:

Ropa de protección total que incluya gafas de seguridad, guantes, respirador para vapores. Si no se conocen las concentraciones o son muy altas use equipo de respiración autónomo (SCBA).

Controles de Ingeniería:

Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional. Debe disponerse de duchas y estaciones lavaojos.

## INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

DL50 (oral, ratas) = 7.06 g/kg

## INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Es biodegradable. Nocivo para peces y plancton a concentraciones mayores de 9000 mg/l en 24 h. Toxicidad para peces: LC50 mayor de 10 g/l.

## ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales.

Incompatibilidades o materiales a evitar:

Agua: No Aire: No Otras: Reacciona violentamente con agentes oxidantes fuertes, ácido nítrico, ácido sulfúrico, nitrato de plata, nitrato mercúrico, perclorato de magnesio, cromatos, peróxidos. Reacciona ligeramente con hipoclorito de calcio, óxido de plata y amoníaco.

Fuente: Manuelita S.A.

## Anexo C. Caracterización de las Gasolinas base y la mezcla de gasolina con 10% en volumen de Etanol

Parámetros	Unidad	ASTM	Etanol	Gasolinas		Gasolinas+10% EtOH	
				Regular	Extra	Regular	Extra
Densidad (15 °C)	kg/l	D-4052	0,79	0,75	0,74	0,74	0,75
Gravedad API (15,6°C)		D-4052	46,55	57,51	53,1	58,20	55,60
índice de refracción (20°C)		D-1218	1,3577	1,4282	1,4402	1,4114	1,423
Contenido de agua	ppm	D-1744	4083,60	201,00	320,00	518,00	565,00
% v/v de etanol	%	D-5845	99,96	0	0	10,28	10,16
Presión de vapor reid (37,8°C)	kPa	D-323	18,33	55,14	55,14	54,38	56,24
% p/p de azufre	%	D-4294	0	0,07	0,07	0,02	0,03
Corrosión en lamina de cobre (50°C)	dosificación	D-130	1a	1a	1a	1a	1a
RON		D-2699	120	84,80	93,40	84,30	93,30
MON		D-2700	96	78,00	82,00	77,80	80,80
índice antidetonante (RON+MON)/2			108	81,40	87,80	81,05	87,05
índice de cierre de vapor ICV(*)	kPa			77,65	75,83	98,58	102,81
Herrumbre	clasificación	D-665	R1	R5	R5	R1	R1
Poder calorífico	MJ/kg	D-240	29,62	46,10	46,55	44,61	44,20
Destilación		D-86					
Punto inicial de ebullición	K			313,30	315,20	317,60	313,40
10%	K			333,40	335,40	330,00	327,60
50%	K			381,60	387,90	371,20	371,80
90%	K			450,50	461,10	432,20	444,80
Punto final de ebullición	K			493,20	505,90	480,10	494,20
%v/v a 70°C)	%			19,90	18,30	39,10	41,20
%v/va100°C)	%			44,00	41,60	51,10	50,50
% v/v o 190°C)	%			93,60	90,50	96,50	93,90
Pérdidas	ml			0,70	1,00	1,00	1,00
Residuo	ml			0,70	1,00	1,00	0,80
Cromatografía % v/v	%	D-6623					
Parafinas			0	12,37	5,86	15,82	10,61
Isoparafinas			0	30,90	26,12	29,09	25,85
Aromáticos			0	22,07	30,66	16,24	22,76
Benceno			0	0,66	0,66	0,75	0,70
Naftenos			0,02	10,54	7,52	12,-0	9,61
Olefinas			0,01	18,19	22,15	11,83	15,93
Oxigenados			99,97	0,37	0,52	10,41	10,82
No identificados			0	1,74	1,61	1,38	1,16
C12+			0	3,78	5,57	1,92	3,27

(\*)ICV= Presión de vapor reid (kPa) + (1,13 \* % vol. Evaporado a 70°C)

Fuente: TORRES Jaime; MOLINA Daniel. Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. Junio, 2002 p.

## Anexo D. Caracterización del Bioetanol.



**Manuelita S.A.**  
 NIT 8913000241  
 ÁREA LABORATORIO PA

**No. 65824**

### RESULTADO DE ANÁLISIS

PRODUCTO	: ALCOHOL CARBURANTE
CLIENTE	: TERPEL S.A.
LOTE No	: 0110002711
No. CÍE DESPACHO	: 92409119
PLACAS VEHÍCULO	: TKHG16 - REMOLQUE: R37142
FECHA DE PRODUCCIÓN	: Febrero 15 DE 2.010
FECHA DE CERTIFICACIÓN	: Febrero 15 DE 2.010
FECHA DE DESPACHO	: Febrero 16 DE 2.010
CANTIDAD	: 11,209.292 GALONES A 60 °F

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	RESULTADO DEL ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (RESOLUCIÓN 1566 DEL 27)		MÉTODO PRUEBA
<b>ETANOL ANHIDRO EN TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>			<b>TABLA 1A</b>		
COLOR PARA EL ALCOHOL		INCOLORO	Incoloro	Incoloro	VISUAL
ASPECTO		NOTA 1	Nota 1	Nota 1	VISUAL
ACIDEZ TOTAL (ACIDO ACÉTICO)	mg/L	24.40		56	ABNT/NBR 2600
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	uS/m	78		500	ABNT/NBR 10547
DENSIDAD A 20 °C	Kg/L	789.70		791.5	ASTM D4052
% ALCOHÓLICO A 20°C	%Vol	99.90		99.5	Método Fraj
% ALCOHÓLICO A 20°C	%Masa	99.79		99.2	Método Fraj
ALCALINIDAD		NEGATIVA	Negativo	Negativo	ABNT/NBR 9698
MATERIAL NO VOLÁTIL A 105°C	mg/L	0.20000		30	NSR 8911
<b>ETANOL ANHIDRO DESNATURALIZADO EN CARROTANQUE</b>			<b>TABLA 1B</b>		
DENSIDAD A 20 °C (VEHÍCULO)	Kg/L	789.00		791.5	ASTM D4052
% ETANOL (VEHÍCULO)	%Vol	97.87	96.3		
CONTENIDO DE AGUA	%Vol	0.0899		07	ASTM E 1064-05
CONTENIDO DE DESNATURALIZANTE	%Vol	2.04	2	3	NOTA 3
TEMPERATURA ALCOHOL CARBURANTE	°F	78.9	Nota 2	Nota 2	
PH		8.09	6.5	9.0	ASTM 5423
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (VH.)	uS/m	79			ABNT/NBR 10547

NOTA: La Empresa certifica que el Producto denominado en este Documento cumple con los requisitos de calidad que se especifican. Los resultados de análisis corresponden al lote analizado en el Laboratorio, no se debe reproducir parcialmente el informe de ensayo sin la aprobación escrita del Laboratorio.

NOTA 1: Limpio, claro, libre de impurezas y de materiales en suspensión.

NOTA 2: Calculado a partir del registro de volumen de los surtidores de alcohol y gasolina

NOTA 3: Calculado a partir del registro de volumen y peso de los surtidores de alcohol y gasolina

JORGE F. CASAS D.

ADRIA ESCOBAR A.

Fuente: Manuelita S.A.

**Anexo E. Propiedades mecánicas y eléctricas seleccionadas de teflón**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>CONDICIONES</b>	<b>METODO DE PRUEBA ASTM</b>	<b>TFE</b>
<b>Peso específico</b>		D792-50	2.132.20
<b>Conductividad térmica</b>	-200° a -300°F		1.7
<b>BTU/hr/pie<sup>2</sup>/F/pulg</b>	-423°F		0.9
<b>Absorción de agua</b>	24 hrs.; espesor de 1/8	D 570-547	0.01
<b>Porcentaje de aumento de peso</b>	pulg.; 73°F	D 570-547	0.01
<b>Cambio dimensional</b>		D 570-547	Ninguno
<b>pulg/pulg</b>			
<b>Coeficiente de expansión térmica 10<sup>-5</sup> pulg/pulg/F</b>	73°F	D 696-44	5.5
	73°F	D 696-44	4.7
<b>Calor Específico, BTU/lb/°F</b>	78°F		0.23
	212°F		0.25
	500°F		0.28
<b>Distorsión térmica, temp., °F</b>	66p.s.i.	D648-56	250
	264p.s.i.	D648-56	132
<b>Resistencia elástica en tensión, lb/pulg<sup>2</sup>promedio</b>	-420°F	D638-527	19.000
	-320°F		16.000
	-200°F		11.000
	-100°F		7.700
	-68°F		3.800
	32°F		1.800
	73°F		1.300
	158°F		800

	250°F		500
<b>Modulo de tensión, lb/pulg<sup>2</sup></b>	-420°F		0.60
	-320°F		0.50
	-200°F		0.37
	-100°F		0.26
	73°F		0.05
	212°F		0.01
<b>Elongación de tensión, %</b>	-420°F	D638-52T	2
	-320°F		6
	-200°F		90
	-100°F		160
	73°F		275
<b>Modulo de flexión, lb/pulg<sup>2</sup>X10<sup>-6</sup></b>	-420°F	D747-50	0.75
	-320°F		0.72
	-150°F		0.47
	73°F		0.090
	131°F		0.058
	212°F		0.028
<b>Resistencia a la compresión lb/pulg<sup>2</sup>X10<sup>-3</sup></b>	-420°F	D695	32.5
	-320°F		21.0
	73°F		1.7
	131°F		1.3
	212°F		0.7
<b>Impacto de tensión pie- lb/pulg<sup>3</sup></b>	73°C	D256	320
<b>Resistencia al impacto, pie- lb/pulg de muesca</b>	Izod, muestreo, 73°F	D256-56	3.0
<b>Dureza Rockwell</b>	73°C	D 785-51	R58
<b>Abrasión de Taber, mg/1000</b>	Carga de 100g; rueda CS-		8.9

<b>ciclos</b>	17		
<b>Resistividad de volumen, ohm-cm</b>	50% R.H.: 23°C	D257	$>10^{18}$
<b>Constante eléctrica</b>	60 Ciclos 10 <sup>6</sup> Ciclos	D150	2.2 2.2
<b>Resistencia dieléctrica, volts por milipulgadas</b>	Paso a paso, espesor de 1/8 pulg.	D149-59	480
<b>Resistencia de arco, segundo</b>	Electrodos de tira SS. Electrodos de Wo	D495-56T	No Registra

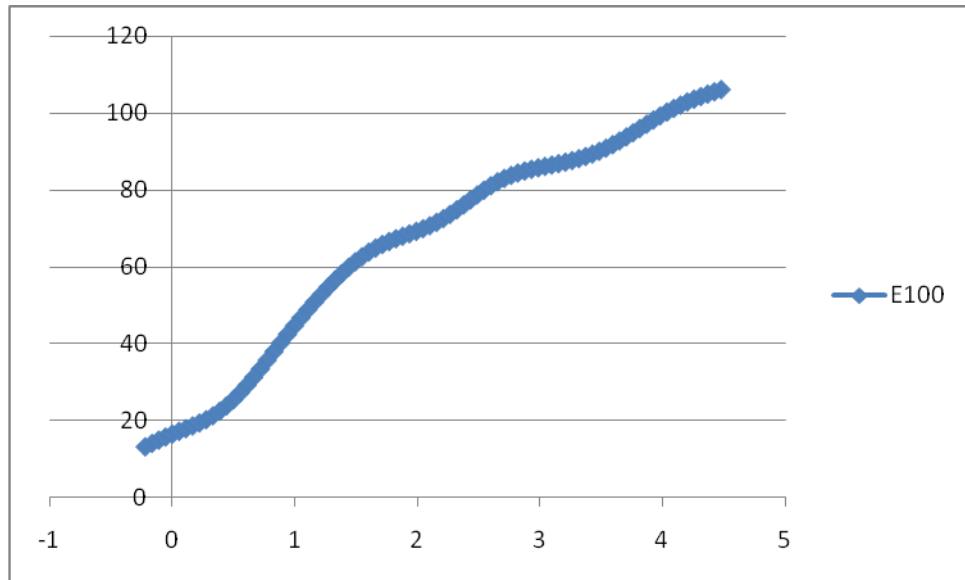
FUENTE: Representaciones Industriales R.D.V. LTDA. IMPORT – EXPORT;  
Instrumentación y Suministros Técnicos Industriales.

### Anexo F. Análisis gravimétrico e índice de hinchamiento

MEZCLA	Peso inicial	Peso Final	Diferencia de Peso	Espesor Promedio	Diametro Promedio	Espesor Promedio Final	Diametro Promedio Final	AREA		VOLUMEN		Velocidad de Corrosión
BIOETANOL-GASOLINA	(g)	(g)	(g)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )		(mm <sup>3</sup> )		(g/cm <sup>2</sup> )
	Wi	Wf	W*	Epi	Dpi	Epf	Dpf	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	
5%	6.66	6.67	0.01	6.10	25.07	6.12	25.33	1467.69	1494.85	3011.13	3083.99	7.01783E-06
	6.49	6.50	0.01	6.12	25.09	6.13	25.35	1471.23	1496.89	3025.82	3090.57	8.15646E-06
	6.67	6.76	0.09	6.15	25.23	6.17	25.36	1487.36	1501.80	3074.68	3116.55	5.92996E-05
	6.56	6.67	0.12	6.17	25.29	6.24	25.44	1494.87	1515.33	3099.37	3171.83	7.88027E-05
10%	6.60	6.63	0.02	5.92	25.06	6.10	25.12	1452.54	1472.59	2919.95	3023.15	1.61097E-05
	6.55	6.58	0.02	5.96	25.15	6.12	25.20	1464.47	1482.03	2960.83	3052.41	1.67978E-05
	6.38	6.40	0.03	6.10	25.26	6.15	25.28	1486.35	1492.30	3056.94	3086.88	1.73579E-05
	6.44	6.58	0.14	6.12	25.33	6.18	25.36	1494.85	1502.59	3083.99	3121.60	9.25177E-05
15%	6.62	6.65	0.03	6.12	25.19	6.18	25.26	1481.05	1492.70	3049.99	3097.03	2.27326E-05
	6.78	6.83	0.05	6.13	25.25	6.20	25.33	1487.75	1501.21	3069.55	3124.30	3.47368E-05
	6.36	6.46	0.09	6.14	25.32	6.25	25.36	1495.05	1508.17	3089.11	3156.96	6.25926E-05
	6.62	6.78	0.17	6.14	25.36	6.31	25.43	1499.41	1519.92	3101.40	3204.89	0.000108541
20%	6.58	6.63	0.04	5.96	25.12	6.00	25.34	1461.54	1486.28	2953.77	3025.91	2.85845E-05
	6.67	6.74	0.07	6.14	25.16	6.16	25.38	1479.68	1502.98	3052.67	3116.41	4.69941E-05
	6.49	6.58	0.08	6.16	25.20	6.20	25.46	1485.20	1514.12	3072.36	3156.45	5.57259E-05
	6.45	6.67	0.23	6.20	25.25	6.25	25.55	1493.30	1527.10	3104.60	3204.44	0.00014655
100%	6.50	6.61	0.11	5.98	25.21	6.00	25.35	1471.93	1487.27	2984.95	3028.29	7.54793E-05
	6.61	6.85	0.25	6.15	25.26	6.18	25.46	1490.32	1512.52	3082.00	3146.27	0.000164931
	6.63	6.90	0.27	6.20	25.30	6.36	25.52	1498.24	1532.92	3116.91	3253.19	0.000177217
	6.59	6.99	0.40	6.21	25.37	6.56	25.59	1506.22	1556.02	3140.75	3373.92	0.000259326

Fuente: Los autores

**Anexo G. Diagrama de Bode experimental para E100.**



Fuente: Los autores