



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**

**TEMA: ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS  
QUÍMICOS Y MECÁNICOS A PELÍCULAS DE POLIETILENO PARA  
ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN EL  
PROCESO DE FABRICACIÓN DE EMPAQUES PLÁSTICOS EN LA  
EMPRESA EDUPLASTIC**

**AUTOR: PRIETO SILVA, ALFONSO ISRAEL**

**DIRECTOR: ING. MANJARRÉS ARIAS, FÉLIX JAVIER, M.Sc.**

**LATACUNGA**

**2018**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA  
CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS QUÍMICOS Y MECÁNICOS A PELÍCULAS DE POLIETILENO PARA ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE EMPAQUES PLÁSTICOS EN LA EMPRESA EDUPLASTIC”** fue realizado por **ISRAEL ALFONSO PRIETO SILVA**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 12 de septiembre de 2018**

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Félix Manjarrés Arias".

Ing. Félix Manjarrés Arias, M.Sc  
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**

### **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **ISRAEL ALFONSO PRIETO SILVA**, con cedula de ciudadanía No. 0504186206 declaro que contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación, **“ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS QUÍMICOS Y MECÁNICOS A PELÍCULAS DE POLIETILENO PARA ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE EMPAQUES PLÁSTICOS EN LA EMPRESA EDUPLASTIC”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 12 de septiembre de 2018

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Israel Prieto Silva".

Israel Alfonso Prieto Silva  
C.C: 0504186206



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **ISRAEL ALFONSO PRIETO SILVA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS QUÍMICOS Y MECÁNICOS A PELÍCULAS DE POLIETILENO PARA ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE EMPAQUES PLÁSTICOS EN LA EMPRESA EDUPLASTIC**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 12 de septiembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Israel Alfonso Prieto Silva', is written over a horizontal line.

Israel Alfonso Prieto Silva  
C.C: 0504186206

## **DEDICATORIA**

**A mis Padres**

**Alfonso Prieto**

**Yessenia Silva**

**Y a mi querida familia.**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme dar este gran paso en mi vida, 1 Pedro 1: 6-7 dice: “Por eso, aun cuando por algún tiempo tengan que pasar por muchos problemas y dificultades, ¡alégrense! La confianza que ustedes tienen en Dios es como el oro: así como la calidad del oro se pone a prueba con el fuego, la confianza que ustedes tienen en Dios se pone a prueba con los problemas. Si ustedes pasan la prueba, su confianza será más valiosa que el oro, pues el oro se puede destruir.

A mis padres, por su incondicional apoyo durante todo este tiempo, por creer siempre en su hijo y sus sabios consejos.

A mi querida familia por ser un apoyo incondicional, tener siempre palabras de aliento para poder cumplir con esta meta.

Agradezco a la empresa Eduplastic y a su gerente el Ing. John Maldonado que abrió las puertas de su empresa y darme la confianza de realizar el proyecto con ellos.

Al Ing. Carlos Espinel por ser guía dentro de la empresa y sus sabios consejos.

A mi tutor de tesis el Ing. Félix Manjarrés, por estar pendiente y su disponibilidad para poder guiar en este proyecto, su conocimiento ha sido fundamental para el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Alex Cevallos, y al Ing. Víctor Zambrano amigos que no dudaron en brindar su ayuda, con contactos de empresas para poder cumplir con la tesis.

Israel Prieto

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## CARÁTULA

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTARCT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	<b>1</b>
1.2. Descripción del problema .....	<b>1</b>
1.3. Propuesta .....	<b>3</b>
1.4. Objetivos .....	<b>4</b>
1.4.1. Objetivo General .....	<b>4</b>
1.4.2. Objetivos Específicos .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Generalidades de los polímeros .....	<b>5</b>

2.2. Estructura de los polímeros .....	5
2.3. Plástico .....	5
2.4. Termoplástico.....	6
2.4.1. Propiedades mecánicas del termoplástico .....	7
2.5. Polietileno.....	7
2.5.1. Propiedades físicas .....	8
2.5.2. Propiedades químicas .....	9
2.6. Polietileno de baja densidad (LDPE) .....	9
2.6.1. Características de los polietilenos de baja densidad.....	9
2.6.2. Propiedades del polietileno de baja densidad .....	10
2.6.3. Aplicaciones del polietileno de baja densidad .....	10
2.7. Polietileno de alta densidad (HDPE).....	10
2.7.1. Características de los polietilenos de alta densidad.....	11
2.7.2. Aplicaciones del polietileno de alta densidad .....	11
2.8. Proceso de extrusión.....	11
2.8.1. Extrusión de película soplada.....	12
2.8.2. Descripción del proceso .....	13
2.9. Proceso de post-extrusión.....	13
2.9.1. Impresión.....	13
2.9.2. Sellado.....	14
2.10. Ensayo y caracterización de los materiales .....	15
2.11. Pruebas químicas de los polímeros .....	15
2.11.1. Tratamiento corona ASTM D-2578 .....	15
2.11.2. Pruebas ópticas de brillo ASTM D2457.....	16
2.11.3. Mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.....	17

2.11.4. Ensayo de migración norma NTC 5023 .....	17
2.12. Pruebas mecánicas de los polímeros .....	18
2.12.1. Prueba de impacto al dardo ASTM D-1709 .....	18
2.12.2. Prueba de tracción ASTM D-882 .....	19
2.12.3. Ensayo de transmisión de vapor de agua ASTM E-96.....	20
2.12.4. Ensayo coeficiente de fricción ASTM D-1894. ....	20
2.13. Características de la empresa .....	20
2.14. Control de calidad de la película .....	21

### **CAPÍTULO III**

METODOLOGÍA .....	22
3.1. Materiales y equipos.....	22
3.2. Métodos .....	22
3.3. Procedimientos de caracterización químicos .....	23
3.3.1. Tratamiento Corona ASTM D-2578. ....	23
3.3.2. Mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.....	24
3.3.3. Pruebas ópticas de brillo ASTM D2457.....	26
3.3.4. Ensayo de Migración Norma NTC 5023.....	27
3.4. Procedimientos de caracterización mecánicos .....	29
3.4.1. Prueba de Impacto al Dardo ASTM D-1709.....	29
3.4.2. Prueba de Tracción ASTM D-882.....	30
3.4.3. Ensayo de transmisión de vapor ASTM E-96.....	33
3.4.4. Ensayo Coeficiente de Fricción ASTM D-1894. ....	34
3.5. Procedimiento de control de calidad .....	36
3.6. Datos de control de calidad .....	37

### **CAPÍTULO IV**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Datos obtenidos de los ensayos.....	38
4.1.1. Tratamiento Corona ASTM D-2578.....	38
4.1.2. Mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.....	38
4.1.3. Pruebas ópticas de brillo ASTM D2457.....	39
4.1.4. Ensayo de Migración Norma NTC 5023.....	40
4.1.5. Prueba de Impacto al Dardo ASTM D-1709.....	41
4.1.6. Prueba de Tracción ASTM D-882.....	42
4.1.7. Ensayo WVTR ASTM E-96.....	44
4.1.8. Ensayo Coeficiente de Fricción ASTM D-1894.....	45
4.2. Cálculos.....	46
4.2.1. Cálculo de viscosidad para el ensayo de mezcla de solventes.....	46
4.2.2. Cálculo de peso para el ensayo de migración global.....	47
4.2.3. Cálculo del peso por falla por impacto.....	48
4.2.4. Cálculo para la relación de adelgazamiento.....	48
4.2.5. Cálculo del coeficiente de transferencia de vapor de agua.....	49
4.2.6. Cálculo para determinar la relación de estiramiento.....	52
4.2.7. Cálculo del ancho de la película.....	53
4.5. Cálculo estadístico.....	53
4.5.1. Prueba F para la comparación de desviación estándar.....	53
4.5.2. Prueba estadística paramétrica (Test chi-cuadrado).....	54
4.5.3. Prueba de hipótesis.....	54
4.6. Resultados.....	54
4.6.1. Resultado de ensayo tratamiento corona ASTM D-2578.....	54
4.6.2. Resultado del ensayo de mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.....	55

4.6.3. Resultado de pruebas ópticas de brillo ASTM D2457 .....	57
4.6.4. Resultado de pruebas de Impacto al Dardo ASTM D-1709.....	59
4.6.5. Resultados de la Prueba de Tracción ASTM D-882 .....	60
4.6.6. Resultados del Ensayo WVTR ASTM E-96 .....	67
4.6.7. Resultados de Ensayo Coeficiente de Fricción ASTM D-1894 .....	69
4.6.8. Ensayo de Migración Norma NTC 5023.....	73
4.7. Cumplimiento de parámetros de calidad establecidos por la empresa Eduplastic .....	77
4.7.1. Discusión de resultados .....	78
<b>CAPÍTULO V</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	79
<b>5.1. Conclusiones.....</b>	79
<b>5.2. Recomendaciones.....</b>	81
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	83
<b>ANEXOS.....</b>	87

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del LDPE	10
Tabla 2. Reactivos y equipos	22
Tabla 3. Ensayos químicos y mecánicos para las películas plásticas	22
Tabla 4. Simulantes de alimentos establecidos en la legislación actual	28
Tabla 5. Datos de las muestras	36
Tabla 6. Consignas de la empresa en el proceso de extrusión	37
Tabla 7. Consignas de la empresa en el proceso de impresión	37
Tabla 8. Datos de medición de tratamiento corona	38
Tabla 9. Datos de viscosidad cinemática de las tintas	39
Tabla 10. Datos de porcentaje de brillo para e1	39
Tabla 11. Datos de porcentaje de brillo para e2	40
Tabla 12. Datos de porcentaje de brillo para e3	40
Tabla 13. Datos de migración global	40
Tabla 14. Datos de resistencia al impacto para e1	41
Tabla 15. Datos de resistencia al impacto para e2	42
Tabla 16. Datos de resistencia al impacto para e3	42
Tabla 17. Datos de ensayo de tracción (MD) para e1	43
Tabla 18. Datos de ensayo de tracción (MD) para e2	43
Tabla 19. Datos de ensayo de tracción (MD) para e3	43
Tabla 20. Datos de peso ganado (gramos) por la transmisión de vapor de agua	44
Tabla 21. Datos de coeficiente de fricción para e1	45
Tabla 22. Datos de coeficiente de fricción para e2	45
Tabla 23. Datos coeficiente de fricción para e3	46
Tabla 24. Datos para el cálculo de la relación de adelgazamiento	49
Tabla 25. Resultado final obtenido en los empaques	55
Tabla 26. Viscosidad final obtenida en cada mezcla	56
Tabla 27. Resultados obtenidos ensayo de pruebas ópticas	57

Tabla 28. Resultado de los pesos de falla para cada espesor _____	59
Tabla 29. Resultado prueba de tracción para e1 _____	60
Tabla 30. Resultados prueba de tracción para e2 _____	62
Tabla 31. Resultados prueba de tracción para e3 _____	65
Tabla 32. Resultados ensayo WVTR _____	67
Tabla 33. Resultados coeficiente de fricción para e1 _____	69
Tabla 34. Resultados coeficiente de fricción para e2 _____	70
Tabla 35. Resultados coeficiente de fricción para e3 _____	72
Tabla 36. Resultados prueba de migración global _____	74
Tabla 37. Resultado Test chi-cuadrado _____	76
Tabla 38. Parámetros de calidad de la empresa Eduplastic _____	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea de Proceso	3
Figura 2. Estructura del polímero	5
Figura 3. Polímero termoplástico	6
Figura 4. Polímero termoendurecido	6
Figura 5. Línea de Extrusión	12
Figura 6. Sistema de Almacenamiento	13
Figura 7. Impresión Flexográfica	14
Figura 8. Selladora por presión y calor	15
Figura 9. Plumón de 38 Dinás	16
Figura 10. Brillómetro	16
Figura 11. Contacto de la película plástica con el Simulante	18
Figura 12. Impacto por caída de dardo	19
Figura 13. Prueba de Tracción	19
Figura 14. Equipo de medición de transmisión de vapor de agua	20
Figura 15. Aplicación del plumón sobre el plástico	23
Figura 16. Empaque tratado con la solución	24
Figura 17. Peso de las muestras	25
Figura 18. Mezcla de compuestos	25
Figura 19. Uso de la copa zahn	26
Figura 20. Equipo de medición de brillo	27
Figura 21. Probetas para ensayo de tracción	31
Figura 22. Mordazas para probetas plásticas	32
Figura 23. Máquina de Tracción	32
Figura 24. Peso de silicaguel	34
Figura 25. Sujeción del rollo con pesas	35
Figura 26. Panel de control del equipo	36
Figura 27. Curva Q/t para e1 a condiciones de la Sierra	50
Figura 28. Curva Q/t para e2 a condiciones de la Sierra	50

Figura 29. Curva Q/t para e3 a condiciones de la Sierra	51
Figura 30. Curva Q/t para e1 a condiciones de la Costa	51
Figura 31. Curva Q/t para e2 a condiciones de la Costa	52
Figura 32. Curva Q/t para e3 a condiciones de la Costa	52
Figura 33. Análisis comparativo del ensayo de mezcla de solventes y tintas	57
Figura 34. Análisis comparativo de prueba óptica ASTM D-2457	58
Figura 35. Análisis comparativo de resultados prueba de impacto ASTM D-1709	60
Figura 36. Análisis comparativo entre resultados del ensayo y criterio de aceptación	62
Figura 37. Análisis de módulo de elasticidad para e1	62
Figura 38. Análisis comparativo entre resultados del ensayo para e2 y criterio de aceptación	64
Figura 39. Análisis de módulo de elasticidad para e2	64
Figura 40. Análisis comparativo entre resultados del ensayo para e3 y criterio de aceptación	66
Figura 41. Análisis de módulo de elasticidad para e3	66
Figura 42. Análisis del coeficiente de permeabilidad para condiciones de Sierra y Costa	68
Figura 43. Análisis del coeficiente de fricción para e1	70
Figura 44. Análisis del coeficiente de fricción para e2	71
Figura 45. Análisis del coeficiente de fricción para e3	73
Figura 46. Análisis de datos de migración global y el criterio de la empresa	75



## RESUMEN

Después de cada operación unitaria (extrusión, impresión y sellado) se programará un sistema de muestreo aleatorio, donde se tendrá como datos principales, la composición de la película plástica, la cantidad de solvente ocupado en las tintas de impresión y el tiempo de elaboración. Para ello se utilizarán distintos métodos para el control de calidad de las películas, estos métodos son: la medición de espesores, la capacidad de adherencia de la tinta, la resistencia química de la tinta y de la película, la calidad de los solventes, los porcentajes de composición de las materias primas. Los ensayos se aplican a las muestras obtenidas después de cada operación; los ensayos mecánicos se deben realizar después de la operación de extrusión y los ensayos químicos se deben realizar después de la operación de impresión. Los principales ensayos que se realizan a películas de polietileno son los siguientes: Prueba de Impacto al Dardo ASTM D-1709, Prueba de Tracción ASTM D-882, Ensayo WVTR ASTM E-96, Ensayo Coeficiente de Fricción ASTM D-1894. Para la parte química son: Tratamiento Corona ASTM D-2578, Mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica., Ensayo de Migración Norma NTC 5023, Pruebas ópticas de brillo ASTM D2457. Se presentará un análisis comparativo entre de los datos obtenidos y las consignas de operación establecidas por la empresa, adicionalmente al estudio se entregará un formato para una lista chequeo de calidad en cada proceso.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CONTROL DE CALIDAD**
- **PELÍCULAS PLÁSTICAS-MUESTREO ALEATORIO**
- **ENSAYOS QUIMICOS**
- **ENSAYOS MECANICOS**
- **POLIETILENO**

## **ABSTARCT**

After each unit operation (extrusion, printing and sealing) a random sampling system will be programmed, where the main data will be the composition of the plastic film, the amount of solvent occupied in the printing inks and the processing time. For this, different methods for the quality control of the films will be used, these methods are: the thickness measurement, the adhesion capacity of the ink, the chemical resistance of the ink and the film, the quality of the solvents, the percentages of composition of raw materials. The tests are applied to the samples obtained after each operation; The mechanical tests must be carried out after the extrusion operation and the chemical tests must be carried out after the printing operation. The main tests performed on polyethylene films are as follows: ASTM D-1709 Dart Impact Test, ASTM D-882 Traction Test, ASTM E-96 WVTR Test, ASTM D-1894 Coefficient of Friction Test. For the chemical part they are: Crown Treatment ASTM D-2578, Mixing of solvents according to the flexographic printing process., Migration Test Standard NTC 5023, Optical brightness tests ASTM D2457. A comparative analysis will be presented between the data obtained and the operating slogans established by the company, additionally it will be present a format for the quality check in each process.

### **KEY WORDS:**

- **QUALITY CONTROL**
- **PLASTIC FILMS-RANDOM SAMPLING**
- **CHEMICAL TESTS**
- **MECHANICAL TESTS**
- **POLYETHYLENE**

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1. Introducción**

La industria petroquímica es una de las industrias que genera una gran cantidad de productos terminados de uso cotidiano o como materia prima para realizar otros productos; por lo que el polietileno se ha convertido en un producto esencial en la industria, tanto por su versatilidad y resistencia.

El crecimiento de la industria plástica, las regulaciones y normas impulsan a que constantemente se mejore la calidad de los productos y en la investigación de nuevos productos que sean amigables con el ecosistema. La empresa Eduplastic busca mejorar la fabricación de empaques plásticos asegurando la calidad de la película plástica en los procesos intermedios.

El estudio permite que la empresa implemente un departamento de control de calidad con el objetivo de cumplir con las normas establecidas por la entidad, optimizando el manejo de la materia prima. Llevando un control del uso de la materia prima, mejorando las propiedades físicas de los empaques plásticos y que permita la elaboración de materiales amigables con el ambiente.

Eduplastic sería la primera empresa en tener un departamento de control de calidad, que garantice la calidad de sus empaques.

Según un estudio realizado por el Ministerio de Industrias y Productividad (Mipro) y la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (Flacso), la industria del plástico es una de las más dinámicas de la economía. (El Telégrafo, 2015). La empresa comenzó la elaboración de empaques plásticos; debido a que la provincia de Cotopaxi es una zona agrícola ganadera en un 70% (El Productor, 2015), fabricando empaques plásticos sin pigmentación dirigido al mercado de lácteos.

#### **1.2. Descripción del problema**

En los últimos años la industria ecuatoriana del plástico ha tenido un constante desarrollo a nivel nacional, por lo que cada vez se hace necesario que las empresas locales evalúen y mejoren continuamente sus procesos de producción en los diversos productos a base de polietileno.

Los rollos y empaques plásticos deben ser de un material resistente, que permita almacenar objetos por largos periodos de tiempo, ahorrar costos de transporte por ser livianos y que sean factibles para innovar en alternativas biodegradables y reciclables.

Debido a la versatilidad del polietileno; la empresa Eduplastic elabora empaques plásticos que tienen una alta demanda en el sector alimenticio. Las empresas deben mantener un control adecuado en los procesos de extrusión, impresión y sellado, aún más cuando son empaques que tendrán contacto con alimentos.

Al mismo tiempo cada empaque debe cumplir con ciertas normas de calidad establecidas por la empresa, estas dependen del tipo de material (si es de alta o baja) densidad, las dimensiones del empaque, la calidad de la impresión, la resistencia en el proceso de sellado, las propiedades mecánicas, químicas, ópticas, entre otras.

La calidad es un factor determinante en la comercialización de los productos; la empresa Eduplastic tiene visión de ampliar su mercado y mejorando sus resultados económicos. Por todo esto, surge la necesidad de realizar un estudio para la implementación de un departamento de control de calidad en el cual se realizará los ensayos químicos y mecánicos a películas de polietileno.

Este estudio permitirá, encontrar las proporciones y porcentajes óptimos de composición de las resinas de polietileno, optimizar las variables específicas de proceso productivo y caracterizar la película de polietileno mediante la realización de ensayos según las normas correspondientes. Estos procesos ayudaran a mejorar las propiedades de las películas de polietileno (físicas, mecánicas, químicas, ópticas, entre otras) y por ende entregar un formato de lista de chequeo que avale la calidad de los productos.

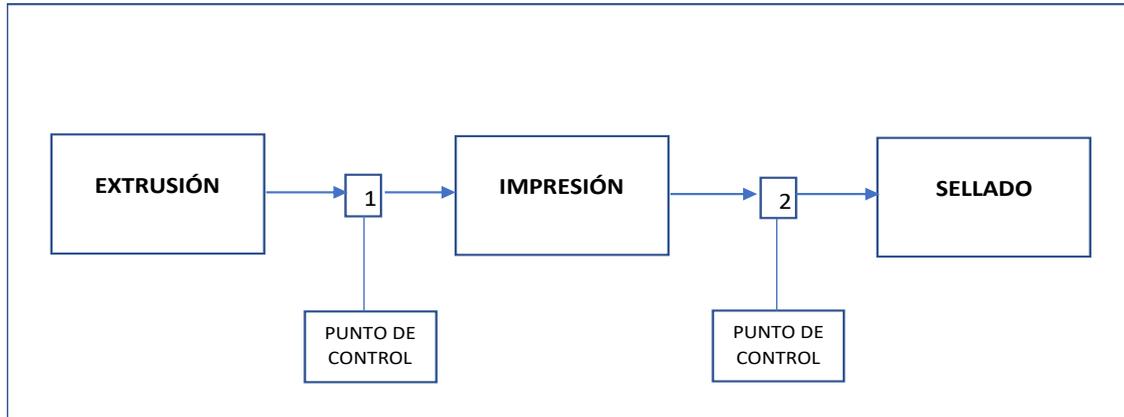
En comparación con un laboratorio de control de calidad el cual tiene un costo de 100 dólares por análisis, con la implementación de este departamento de control de calidad se espera que se pueda ahorrar costos de análisis.

La viabilidad técnica del proyecto es el estudio que permitirá implementar un departamento de control de calidad el cual cuente con los equipos necesarios, según la capacidad y la factibilidad técnica de la empresa Eduplastic. Dando así solución a una necesidad por parte de la empresa Eduplastic al producir empaques de calidad.

### 1.3. Propuesta

En el presente proyecto se realizará un estudio de los ensayos fisicoquímicos y mecánicos que se utilizan para hacer control de calidad de las fundas de polietileno TALES, con la finalidad de seleccionar e implementar los más factibles o viables para la empresa Eduplastic.

La fabricación de empaques plásticos consta de tres procesos, los cuales son:



*Figura 1.* Línea de Proceso

Como se observa en la línea de proceso para la fabricación de empaques plásticos, después de cada proceso se desea realizar los ensayos químicos y mecánicos; con el fin de asegurar la calidad.

En cada proceso se programará un sistema de muestreo aleatorio. Las muestras serán sometidas a los distintos ensayos que se detallarán de mejor manera en la metodología.

Se presentará un informe a la empresa, que contendrá los ensayos que se deben aplicar conforme a la factibilidad técnica de la empresa y los resultados de las muestras analizadas.

Por medio del estudio la empresa implementará un departamento de control de calidad el cual contará con los equipos necesarios para realizar los ensayos químicos y mecánicos. Adicionalmente para el control de la calidad se adjuntará un formato de lista de chequeo para el cumplimiento de los parámetros establecidos por la empresa.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Realizar un estudio de factibilidad técnica para la ejecución de ensayos químicos y mecánicos bajo las normas ASTM correspondientes, aplicadas a películas de polietileno (LDPE y HDPE) que se fabrican en la empresa Eduplastic.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Programar un sistema de muestreo aleatorio que se realizará en cada punto de control de calidad.
- Recopilar información sobre las proporciones y especificaciones para la fabricación de empaques plásticos.
- Aplicar los ensayos químicos y mecánicos a las películas de polietileno.
- Realizar una comparación de las muestras analizadas con las consignas de operación de la empresa.
- Elaborar un formato de lista de chequeo de control de calidad, el cual se entregará en cada empaque plástico.

## CAPÍTULO II

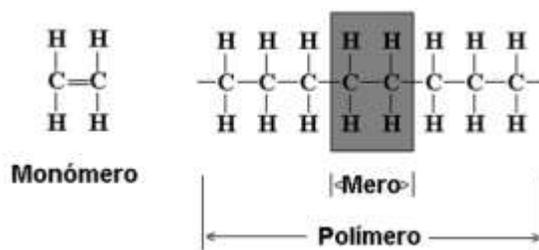
### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1. Generalidades de los polímeros

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. Los polímeros forman largas cadenas compuestas por moléculas pequeñas llamadas monómeros.

#### 2.2. Estructura de los polímeros

La estructura básica de un polímero es el monómero, la cual es una molécula pequeña que se repite dentro de la cadena polimérica. La obtención de los polímeros es por medio de la polimerización de sus monómeros los cuales se van enlazando por enlaces covalentes.



*Figura 2.* Estructura del polímero

#### 2.3. Plástico

Un plástico es una resina sintética, es decir, hecha por la mano del hombre, similar en muchos aspectos a las resinas naturales que se encuentran en árboles y otras plantas. Un plástico es un sólido en su estado virgen o manufacturado, pero mientras es procesado, se lo ablanda mediante la aplicación simultánea de calor, presión y trabajo mecánico, para darle diversas formas, tales como películas plásticas. (Salamanca, 2009)

Los resultados que se obtuvieron incentivaron a los químicos a realizar experimentos con otras moléculas sencillas mediante la reacción de polimerización para obtener nuevos polímeros.

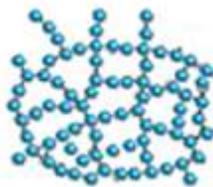
Existen dos tipos de plásticos:

- Plásticos con moléculas lineales o ramificadas (Figura 3): Son aquellos que, por medio de la acción del calor, se reblandecen para adoptar la forma del molde. También es conocido como polímero termoplástico.



*Figura 3.* Polímero termoplástico

- Plásticos con macromoléculas tridimensionales reticuladas (Figura 4): Son plásticos termoendurecido; no pueden ser moldeados de manera reversible. Se introducen químicos en las macromoléculas originales, las cuales actuaran como grapas entre las cadenas.



*Figura 4.* Polímero termoendurecido

#### **2.4. Termoplástico**

Un polímero termoplástico es aquel que se compone de largas moléculas de polímeros que se encuentran unidos mediante fuerzas intermoleculares o fuerzas de Van der Waals, formando estructuras lineales o ramificadas. El mismo que al ser expuesto a un cambio de temperatura sus propiedades cambian.

Cuando se eleva la temperatura el plástico se ablanda logrando llegar a fundirse obteniendo una forma amorfa, mientras que al ser expuesto a bajas temperaturas usualmente forman una estructura cristalina dando como resultado un acabado duro y liso.

Las propiedades de un material compuesto por polímeros termoplásticos se pueden ajustar, logrando la forma que se pretende adquirir mediante la mezcla de resina termoplástica con diferentes componentes.

Un ejemplo de lo explicado anteriormente es cuando un polímero con memoria de forma se puede mezclar con un polímero termoplástico para crear un material que posea características de recuperar su forma, pero conserva las propiedades básicas del termoplástico.

Los polímeros termoplásticos tienen una mayor resistencia al impacto, resistencia a los solventes orgánicos y a las temperaturas extremas, son frágiles, rígidos, poseen una gran estabilidad física y mecánica y a su vez son muy difíciles de soldar. En cuanto a sus propiedades se puede clasificar en mecánicas y físicas.

### **2.4.1. Propiedades mecánicas del termoplástico**

Los termoplásticos amorfos son rígidos y vítreos si se encuentran por debajo de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y son flexibles, de consistencia ahulada justamente cuando se encuentran por arriba de dicha temperatura.

Conforme se incrementa la temperatura por encima del punto de transición vítrea ( $T_g$ ) el polímero empieza a hacerse cada vez más suave, hasta que finalmente se convierte en un fluido viscoso nunca se convierte en un líquido delgado debido a su alto peso molecular. (Valle, 2011)

- Comportamiento elástico: es el resultado de dos mecanismos; un esfuerzo aplicado que estira y distorsiona los enlaces covalentes de las cadenas, permitiendo que el material se alargue elásticamente. Al eliminar el esfuerzo recuperan su forma de manera instantánea.
- Comportamiento plástico: es el resultado de un exceso al esfuerzo de cadencia; las cadenas se estiran, y estas se deslizan bajo la carga, causando una deformación permanente.
- Viscoelasticidad: es un esfuerzo que provoca el deslizamiento de cadenas y la deformación plástica; tiene relación con el tiempo y la rapidez de deformación.

### **2.5. Polietileno**

El polietileno es un material termoplástico blanquecino y translúcido, es fabricado comúnmente en finas láminas transparentes. La polimerización de etileno permite obtener productos con propiedades físicas muy variadas.

Estos productos tienen en común la siguiente estructura química fundamental  $(-CH_2-CH_2-)_n$  conocido como etileno, y en general tienen propiedades químicas de un alcano de peso molecular

elevado. Este tipo de polímero se creó para usarlo como aislamiento eléctrico, pero después ha encontrado muchas aplicaciones en otros campos, especialmente como película y para envases (texto científico, 2005).

Este material es mayormente utilizado por las fábricas para el consumo masivo, utilizado para el envasado de alimentos de forma de botellas, bolsas, potes, vasos, entre otros. Particularmente el polietileno de alta densidad se lo utiliza para los sistemas de tuberías gracias a su rigidez, a la facilidad de manejo y montaje.

El polietileno puede pasar por varios procesos para llegar a su forma deseada, entre los cuales se destacan los procesos de inyección, soplado, extrusión, termoformado y roto moldeó.

En ciertos casos suele ser extraído en planchas y barras para llegar a su punto final mediante el proceso de torneado y fresado.

El polietileno también sufre una contracción, esto significa que luego de ser moldeado puede variar sus dimensiones alcanzando sus medidas finales después de las 48 horas debido al acomodamiento que sufren sus moléculas como la cristalización.

La resistencia del material puede ser afectada por las distintas variables del proceso, como también por las distintas resinas utilizadas y la cantidad de recuperado utilizado. El polietileno se dilata o se contrae dependiendo de la temperatura ambiente o de trabajo; en un ambiente caluroso se expande y en un ambiente frío se contrae. Esta dilatación o contracción se puede verificar midiendo distintas piezas de polietileno a diferentes temperaturas.

Por otro lado, los agentes climáticos pueden afectar las propiedades de los polímeros a largo plazo modificando su peso molecular, su distribución, la cristalinidad y la existencia de ramificaciones en la cadena polimérica y las dimensiones de las piezas plásticas llegan a sufrir variaciones.

Uno de los agentes que más afecta a los plásticos es la luz UV, por lo que suele agregarse protectores UV.

### **2.5.1. Propiedades físicas**

- Posee varias cadenas de hidrocarburos que varía según su cristalinidad y su peso molecular.
- Punto de fusión que está especificado en el rango de 120 a 130°C.

- El punto de fusión promedio de polietileno del comercial es de 105 a 115°C.

### **2.5.2. Propiedades químicas**

- Alta resistencia a ácidos fuertes y ácidos débiles.
- Baja resistencia a la interperie, afectando a su estructura física.
- Posee una viscosidad intrínseca de 1.0 cP.

## **2.6. Polietileno de baja densidad (LDPE)**

El polietileno de baja densidad es aquel que está compuesto por un número mayor de etileno y pertenece a la familia de los polímeros olefinicos.

Su proceso de polimerización se lo realiza bajo presiones de 1500 a 2000 kg cm<sup>2</sup> a partir de etileno gaseoso puro. El mayor uso que se le da a este material es para la realización de bolsas, botellas, envases industriales, laminaciones, tuberías de riego, sistemas de irrigación, entre otras.

Cuenta con un rango de densidad de 0,910-0,940 g/cm<sup>3</sup>; tiene un alto grado de ramificaciones en la cadena polimérica, y las cadenas no se empaquetan muy bien en la estructura cristalina.

### **2.6.1. Características de los polietilenos de baja densidad**

Posee varias características entre ellas se encuentra que el polietileno de baja densidad cuenta con una alta resistencia al trabajo, una resistencia térmica y química.

Se procesan por inyección o extrusión, tiene una mayor flexibilidad a diferencia con el polietileno de alta densidad; su color es transparente y se puede oscurecer a medida que cambia su espesor.

A temperatura ambiente no se deforma ni se puede estirar con facilidad mientras que a menos 80° C se vuelve quebradizo; es insoluble en agua, pero se ablanda o se hincha en la mezcla de solventes hidrocarbonados.

### 2.6.2. Propiedades del polietileno de baja densidad

**Tabla 1.**

*Propiedades del LDPE (tecnología de plásticos, 2011)*

QUÍMICAS	FÍSICAS	MECÁNICAS
Muy buena resistencia a los ácidos débiles y ácidos fuertes.	Densidad de 0-92 g/cm <sup>3</sup> .	Posee un porcentaje de rango de 100-700 de alargamiento a la rotura.
Baja resistencia a la oxidación a 500°C.	Índice refractivo de 1,51.	Baja resistencia al desgarro inicial en un rango de 1,2-10,3 g/um.

### 2.6.3. Aplicaciones del polietileno de baja densidad

- Es comúnmente utilizado para la fabricación de juguetes, recubrimientos y aislamiento de cables.
- Su mayor uso es en la fabricación de objetos desechables como platos, vasos y cubiertos.
- En la fabricación de películas plásticas para el recubrimiento de invernaderos.
- Películas estirables para el proceso de empaque y embalaje o producción de bolsas de plástico.

## 2.7. Polietileno de alta densidad (HDPE)

El polietileno de alta densidad es un homopolímero el cual posee una estructura lineal que dispone de pocas ramificaciones que son muy cortas.

Tiene la característica física de ser incoloro, inodoro y no ser tóxico. Además, posee una mayor resistencia que el polietileno de baja densidad y es cuatro veces menos permeable. Por su composición tanto física como química posee una alta resistencia a los golpes y a productos químicos.

El polietileno de alta densidad, cuando se recicla por medio de un reciclaje mecánico, tiene una calidad regular y sólo se lo puede reutilizar para procesos de extrusión.

### **2.7.1. Características de los polietilenos de alta densidad**

Posee alta resistencia al impacto, es muy ligero y es flexible incluso cuando está expuesto a temperaturas bajas. Cuenta con una resistencia química y térmica que le impide ser atacado por los ácidos y es resistente al agua a 100°C.

Tiene una elevada vida útil por lo que su costo de adquisición e instalación es sumamente reducido y se lo procesa en grandes láminas. Cuenta con una resistencia a movimientos sísmicos y resiste ácidos o elementos químicos altamente corrosivos y bacterias. Frente a la oxidación térmica, la incorporación de antioxidantes puede reducir su tiempo de vida útil.

Respecto a la conductividad eléctrica, en el caso de este termoplástico es bajo. Tiene además una alta resistencia dieléctrica y un factor de potencia bajo 9.15. Es reciclable y respetuoso con el medio ambiente. (Ariestegui, 2015)

### **2.7.2. Aplicaciones del polietileno de alta densidad**

Más de la mitad de su uso es para la fabricación de recipientes, tapas y cierres, así mismo para utensilios domésticos y juguetes. Otro uso también importante es para la fabricación de tuberías y conductos. Su uso para empaquetar se ha incrementado debido a su bajo costo, flexibilidad, durabilidad y su capacidad para a muchas sustancias químicas.

## **2.8. Proceso de extrusión**

Es un método muy común para la fabricación de películas o laminas plásticas. Este proceso se usa por lo general con polietileno de baja y alta densidad para una producción de forma continua de productos de sección transversal constante; se denomina película cuando el espesor es de 10 a 250 micrones.

El proceso de extrusión es el proceso de transformación primario, donde el material termoplástico se funde y plastifica por la acción de temperatura que proviene normalmente de las resistencias eléctricas y la fricción de un elemento giratorio denominado huesillo y además es impulsado a salir bajo presión a través de un dado, el cual confiere una forma útil, para finalmente

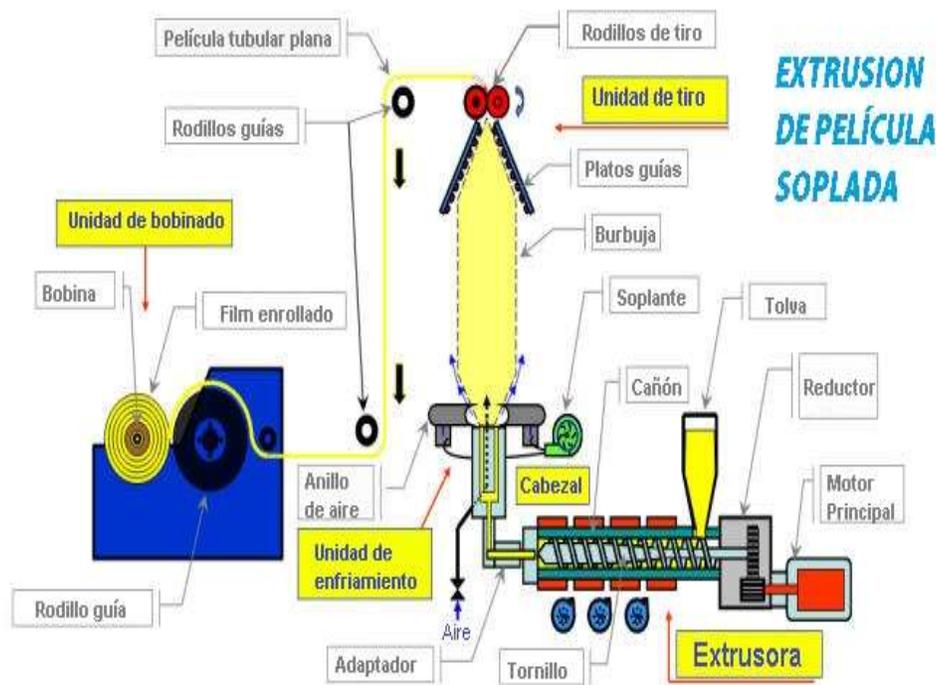
recibir un enfriamiento que provoca su solidificación y proporciona estabilidad a la figura obtenida. (Machado, 2017)

Entre más largo y pequeño sea el orificio de paso, mayor será la resistencia y a su vez mayor será la potencia necesaria para empujar el material fundido a través del dado. (Machado, 2017). En la fabricación de empaques plásticos se usa la extrusión de películas soplada.

### 2.8.1. Extrusión de película soplada

La extrusión de película soplada ofrece una eficiencia óptima además de otras ventajas como: variabilidad en el ancho y espesor de la película, y excelentes propiedades mecánicas producto de la bio-orientación que se le da al material.

Como se observa en la Figura 5, este proceso consiste en hacer pasar el polímero fundido a través de un cabezal circular de donde se deja salir una corriente de aire, la cual permite la formación de una burbuja que luego se enfría y se colapsa. Generalmente la burbuja se extruye en dirección vertical hacia arriba, aunque existen maquinarias que lo hacen hacia abajo. (Frados, 1976)



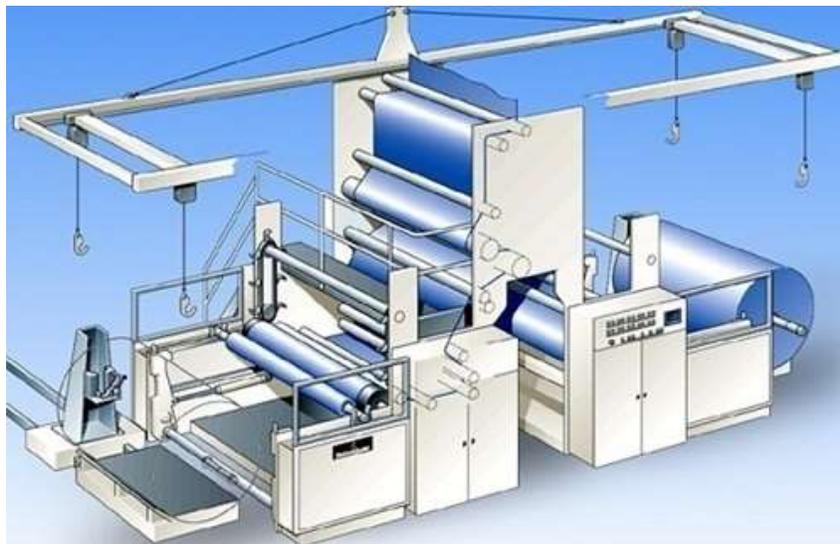
**Figura 5.** Línea de Extrusión

### 2.8.2. Descripción del proceso

La extrusora cuenta con una boquilla anular, la que está dirigida hacia arriba, por el interior de la boquilla se inyecta aire, este aire queda encerrado en el interior del material que sale por la boquilla, como si se tratara de una gran burbuja. La boquilla dispone de unos orificios, estos orificios permiten que el aire circule para poder enfriar el material. Un dato muy importante en el proceso de extrusión se llama la proporción de explosión y suelen estar en el intervalo de 2.0 a 2.5.

Esta burbuja llega a unos rodillos situados en la parte superior; estos determinan el espesor de la película por medio de la separación de los rodillos. La película pasar por un sistema de tratamiento eléctrico, que carga a la película permitiendo que la pintura se impregne en el plástico.

La película pasa a un sistema de almacenamiento provisto de rodillos que permiten bobinar la película. (Figura 6)



*Figura 6.* Sistema de Almacenamiento

## 2.9. Proceso de post-extrusión

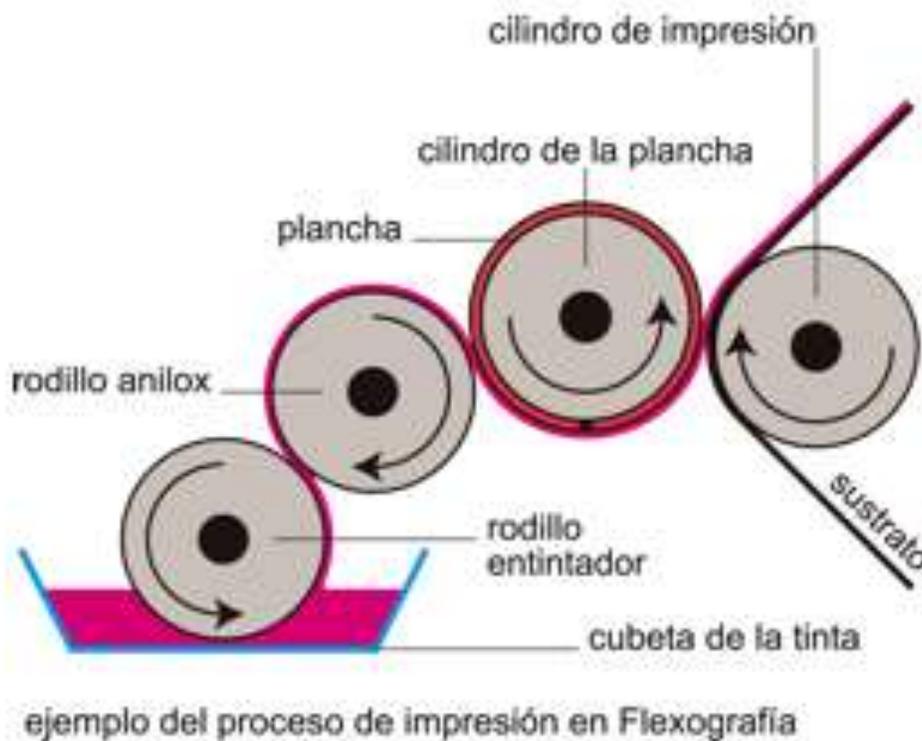
### 2.9.1. Impresión

Una vez extruida la película se procede a imprimirlas, para ello cada rollo plástico es llevado a una máquina de impresión que puede ser de 4 colores, 6 colores o de 8 colores.

La película pasa por unos rodillos en los cuales se coloca los cyreles; los cyreles son las plantillas de diseño, cada rodillo actúa como un sello.

El cyrel pasa por la cubeta de tinta donde se impregna la tinta en el cyrel; a medida que pase la película, el rodillo actúa como un sello impregnando su marca en la película plástica. (Figura 7)

Cada rodillo es un color, por lo que la película pasará por todos los rodillos y cada uno impregnará un color diferente, dependiendo del diseño.



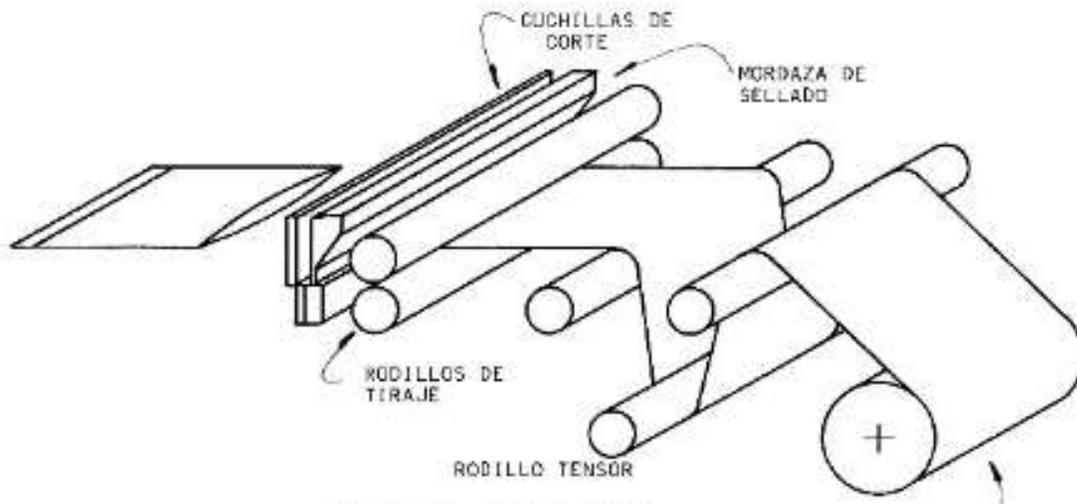
**Figura 7.** Impresión Flexográfica

### 2.9.2. Sellado

El proceso final de la producción de empaques plásticos es el proceso de sellado, este proceso puede realizarse de dos maneras: la primera es sellar por presión y calor y la segunda es por la fusión de dos películas por un sello-corte.

Por lo general se ocupa el de presión y calor, se ocupa un fotosensor al cual se le calibra para determinar la separación de cada corte que se realizara; a medida que la película avanza esta pasa

por el fotosensor, este dará la orden a una cuchilla que descienda y corte la película, esto lo logra ya que en la parte inferior de la cuchilla se encuentra elevada a una temperatura de 160°C.



**Figura 8.** Selladora por presión y calor

## 2.10. Ensayo y caracterización de los materiales

La garantía de la calidad de los productos se debe a los resultados positivos de ensayos fiables. La ASTM “American Society for Testing and Materials”, ha desarrollado ensayos normalizados a los cuales todo fabricante y usuario de polímeros debería referirse para el aseguramiento de la calidad de su producto. Estos ensayos permitirán evaluar la deformación que sufre la película plástica bajo un esfuerzo o deformación constante en función del tiempo.

## 2.11. Pruebas químicas de los polímeros

### 2.11.1. Tratamiento corona ASTM D-2578

Es un proceso por el cual se realiza una descarga de alta frecuencia que se realiza a la película de polietileno, aumentando la adhesión de una superficie de plástico; dentro de este proceso se habla de humedad, pero se refiere a la relación entre las energías de la superficie del líquido y el sustrato.

Si la energía superficial del sustrato es mayor a la energía superficial de líquido; la película de plástico está en óptimas condiciones para entrar al proceso de impresión.

Para verificar que la película de plástico está en óptimas condiciones, se realiza la evaluación por medio de un marcador de 38 Dinis.

Este plumón (Figura 9) posee una tinta especial que, al momento de pasar por la película plástica, la tinta se impregna estará en óptimas condiciones para ser usado, caso contrario si la tinta no se impregna significa que la película deberá ser tratada nuevamente.



*Figura 9.* Plumón de 38 Dinis

### **2.11.2. Pruebas ópticas de brillo ASTM D2457.**

La capacidad que tiene un material para reflejar la luz sin dispersarla es el brillo, el equipo que se ocupa es un brillómetro de un rango de (0-199,9 GS).



*Figura 10.* Brillómetro

### **2.11.3. Mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.**

Para el proceso de impresión; la tinta es mezclada con acetileno y propanol. Para determinar la pureza de cada componente químico es importante que, el cálculo de la viscosidad de la mezcla sea la correcta para el proceso de impresión. El uso de un viscosímetro es la principal solución para este proceso.

### **2.11.4. Ensayo de migración norma NTC 5023**

Se extraen tres muestras del empaque plástico, cada una de los distintos procesos que se realizan en la empresa Eduplastic.

El ensayo consiste en colocar en un matraz Erlenmeyer, una cantidad de alcohol a un 3%, en la parte superior del Erlenmeyer se coloca la muestra de la película plástica, se debe sellar, de tal manera que no exista ninguna fuga como en la Figura 11.

Se tara el Erlenmeyer con la muestra y la película de plástico; los especímenes de ensayo obtenidos se colocaron en contacto con la sustancia patrón, bajo las condiciones de 10 días a 49°C de temperatura establecidas para productos, estas muestras son guardadas en una incubadora o un desecador, para evitar la evaporación de las muestras.

Posteriormente el Erlenmeyer se lleva nuevamente a pesar; y se lo coloca en una incubadora elevando la temperatura de grado en grado, evitando que la muestra llegue a su punto de ebullición.

Cuando el alcohol se haya evaporado, la muestra de la película de plástico se retira, limpiándola con agua oxigenada y luego dejándola secar.

El Erlenmeyer se lleva a pesar determinando la cantidad de residuos que se tienen, esto permite determinar la cantidad de migración global que se realiza entre la película de plástico y el producto.



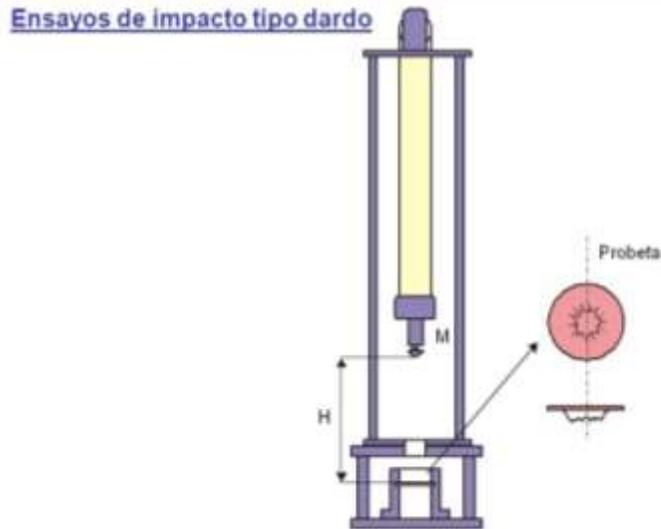
*Figura 11.* Contacto de la película plástica con el Simulante

## **2.12. Pruebas mecánicas de los polímeros**

### **2.12.1. Prueba de impacto al dardo ASTM D-1709**

El ensayo consiste en obtener una probeta de forma cuadrada o rectangular de la película plástica y colocarla sobre un soporte, luego se eleva el dardo hasta una altura deseada y luego por efecto de la gravedad ese dardo impactara la probeta.

Cuando ocurre una rotura en la película plástica; se disminuye la altura o la masa del dardo por un incremento estándar, hasta que la energía es insuficiente para realizar la rotura; y luego que se aumenta la altura o el peso hasta volver a producir la rotura. Se observa la superficie de la fractura de la probeta permitiendo proporcionar información sobre qué tipo de rotura se ha producido.



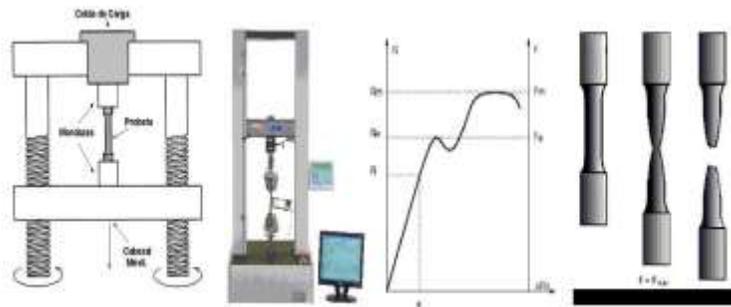
**Figura 12.** Impacto por caída de dardo

### 2.12.2. Prueba de tracción ASTM D-882

El ensayo de tracción mide la fuerza necesaria para realizar la ruptura de la probeta y la elongación que sufre la película de plástico antes de lograr llegar al punto de ruptura.

El equipo consta con un brazo fijo en la parte inferior y otro brazo móvil en la parte superior, ambos poseen una mordaza donde se sujetan las probetas. A una velocidad constante las abrazaderas se separan, mientras se determina la carga y la extensión de la probeta plástica.

Los datos de esta prueba permiten realizar un chequeo de control de calidad a la película y especificar un material.



**Figura 13.** Prueba de Tracción

### 2.12.3. Ensayo de transmisión de vapor de agua ASTM E-96

La prueba de transmisión de vapor de agua (WVTR), es una medida de cantidad de vapor de agua que pasa a través de un material por unidad de área y unidad de tiempo. Consiste en sellar una muestra en la boca, colocando en su interior desecante, a esta muestra se la ira pensando periódicamente en función del tiempo.

Esta prueba se realiza debido a que distintos polímeros los gases, vapores y otras sustancias se disuelven o se difunden logrando tener contacto con otras sustancias.



*Figura 14.* Equipo de medición de transmisión de vapor de agua

### 2.12.4. Ensayo coeficiente de fricción ASTM D-1894.

Este ensayo se aplica cuando roza una película con una superficie, esto se produce cuando la película esta enrollada en una bobina y luego se desbobina (el rozamiento de la cara interna de la película con la cara externa). Está relacionada con la rugosidad de las superficies, o el contacto con los rodillos.

## 2.13. Características de la empresa

Eduplastic es una empresa dedicada a la elaboración de rollos y fundas plásticas con y sin impresión de la mejor calidad, teniendo como principal compromiso ofrecer a sus clientes un producto que satisfaga sus requerimientos y necesidades basados en la utilización de los mejores materiales con un personal altamente calificado y en constante capacitación (Eduplastic, 2010).

Busca posicionarse como empresa líder en la industria de la elaboración de fundas, en la zona centro del país, mediante la utilización de materia prima de excelente calidad, el compromiso ético y la eficiencia del talento humano cumpliendo así con la exigencia de nuestra base primordial nuestro cliente (Eduplastic,2010).

#### **2.14. Control de calidad de la película**

En la empresa Eduplastic se utilizarán distintos métodos para el control de calidad de las películas, estos métodos son: la medición de espesores, la capacidad de adherencia de la tinta, la resistencia química de la tinta y de la película, la calidad de los solventes, los porcentajes de composición de las materias primas.

Posteriormente se extrae las probetas de las películas plásticas, las que serán sometidas a los ensayos químicos y mecánicos. Otro proceso que es importante dentro del control de calidad es la verificación de la calidad de la tinta y del solvente.

Para la capacidad de adherencia de la tinta, se ocupa el plumón de tratamiento corona y una cinta adhesiva. También se realiza la aprobación de colores por medio de una base datos llamada Pantone<sup>R</sup>, y la estandarización de colores mediante el uso de un espectrofotómetro.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Materiales y equipos

**Tabla 2.**

*Reactivos y equipos*

MATERIALES	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido acético (3%)</li> <li>• Alcohol Etílico (10%)</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Plumón 38 Dinás</li> <li>• Flexómetro</li> <li>• Viscosímetro (Copa Zahn)</li> <li>• Matraz Erlenmeyer</li> <li>• Desecante Silicaguel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Horno</li> <li>• Microscopio</li> <li>• Máquina de tracción.</li> <li>• Máquina caída de dardo</li> <li>• Brillómetro</li> <li>• Máquina de extrusión</li> <li>• Selladora</li> </ul>

#### 3.2. Métodos

**Tabla 3.**

*Ensayos químicos y mecánicos para las películas plásticas*

Ensayos químicos	Ensayos mecánicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pruebas ópticas de brillo ASTM D2457.</li> <li>• Tratamiento Corona ASTM D-2578.</li> <li>• Mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.</li> <li>• Ensayo de Migración Norma NTC 5023.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prueba de Impacto al Dardo ASTM D-1709.</li> <li>• Prueba de Tracción ASTM D-882.</li> <li>• Ensayo WVTR ASTM E-96.</li> <li>• Ensayo Coeficiente de Fricción ASTM D-1894.</li> </ul>

### 3.3. Procedimientos de caracterización químicos

#### 3.3.1. Tratamiento Corona ASTM D-2578.

Condiciones para poder realizar el ensayo:

- El ensayo se debe realizar a condiciones ambientales y en una zona ventilada.

Requerimientos que se necesitan:

- Realizar el ensayo en un área libre de polvo o tierra.
- Limpiar la zona de aplicación con un algodón.

Procedimiento a seguir:

1. Destapar el marcador de 38 dinas.
2. Aplicar la solución del marcador sobre la muestra a medir; deslizar el marcador aproximadamente 5 cm, como se lo puede observar en la Figura 15.



*Figura 15.* Aplicación del plumón sobre el plástico

3. Observar y estimar el tiempo requerido para que la solución rompa en forma de pequeñas gotas.
4. Si la solución se mantiene por 2 segundos como se muestra en la Figura 16, significa que la película se encuentra tratada con el tratamiento corona y está lista.

5. Caso contrario si la solución se descompone en gotitas, significa que la película plástica no se encuentra tratada.



**Figura 16.** Empaque tratado con la solución

### **3.3.2. Mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.**

Condiciones para poder realizar el ensayo:

- Trabajar a temperatura ambiente.
- Realizar la prueba en un lugar con abundante ventilación.

Requerimientos que se necesitan:

- Ocupar materiales plásticos o de acero inoxidable para la obtención de muestras de propanol, acetato y tintas.

Procedimiento a seguir:

1. La relación de mezcla del alcohol propanol y el acetato es de 70% y 30% respectivamente.
2. Pesar las muestras obtenidas de alcohol propanol y acetato, como se observa en la Figura 17.



*Figura 17.* Peso de las muestras

3. En una probeta mezclar las muestras de cada producto, Figura 18.
4. Agitar levemente por 5 segundos.



*Figura 18.* Mezcla de compuestos

5. En un vaso de precipitación colocar la tinta que se desea probar.

6. Añadir 5 ml de solvente a la tinta; al instante se debe realizar la prueba de viscosidad ocupando un viscosímetro llamado copa zahn #2, Figura 19.
7. Tomar el tiempo que se demora en pasar toda la tinta por el orificio.
8. Seguir añadiendo 5 ml de solvente a la tinta hasta obtener la viscosidad requerida para la aplicación en la película plástica.



*Figura 19.* Uso de la copa zahn

### **3.3.3. Pruebas ópticas de brillo ASTM D2457.**

Condiciones para poder realizar el ensayo:

- Trabajar a condiciones ambientales.

Requerimientos que se necesitan:

- Realizar el ensayo en un lugar donde no exista demasiada irradiación de luz.
- La película plástica se debe encontrar libre de polvo o contaminada.

Procedimiento a seguir:

Calibrar el equipo glossmeter (brillómetro) según el ángulo de la luz que se refleja.

Obtener muestras de 75x100 mm, cada muestra se debe colocar debajo del equipo.

Esperar por 3 segundos, anotar el valor obtenido por el equipo, Figura 20.

Realizar 5 mediciones a cada tipo de película plástica.



*Figura 20.* Equipo de medición de brillo

### 3.3.4. Ensayo de Migración Norma NTC 5023.

Condiciones para poder realizar el ensayo:

- Trabajar a condiciones ambientales.
- La temperatura general para trabajar en el horno es de 49°C, este valor puede variar dependiendo del simulante a trabajar.

Requerimientos que se necesitan:

- Las muestras deben estar exentas de toda traza de polvo, por lo que se deben lavar de manera adecuada.
- Se debe realizar un sello hermético para evitar la evaporación del simulante o el ingreso de agentes contaminantes.

Procedimiento a seguir:

1. Las muestras se deben sumergir en el simulante el cual será colocado en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
2. El simulante a elegir depende del tipo de alimentos que se van a guardar en el empaque plástico. La siguiente tabla explica los distintos simulantes que se pueden ocupar.

**Tabla 4.**

*Simulantes de alimentos establecidos en la legislación actual (Norma NTC 5023).*

Abreviatura	Simulante Nuevo	Simulante Actual	Tipo de Alimentos
Simulante A	Etanol 10%	Agua destilada	Alimentos Hidrofílicos
Simulante B	Ac. Acético 3%	Ac. Acético 3%	Alimentos Hidrofílicos con pH<4.5
Simulante C	Etanol 20%	Etanol 10%	Alimentos Hidrofílicos con alcohol <20%
Simulante D1	Etanol 50%	Etanol 50%	Alimentos lipofílicos, alimentos con alcohol> 20% y aceites en emulsiones acuosas
Simulante D2	Aceite Vegetal	Aceite de oliva rectificado	Alimentos lipofílicos con grasas libres en la superficie
Simulante E	Tenax	-	Alimentos secos (solo migración específica)

3. Sumergir la muestra en el Simulante y sellarlo herméticamente, para evitar ingreso de agentes contaminantes.
4. Pesar el Erlenmeyer antes de colocarlo en el horno, colocar la temperatura del horno a 49°C.
5. Dejar las muestras dentro del horno por 10 días.

6. Sacar las muestras del Simulante, las muestras deben ser lavadas con el mismo Simulante, el que luego será recogido y llevado a secar en el horno evitando la ebullición.
7. Una vez seco, llevar a pesar el Erlenmeyer.
8. La diferencia entre las dos medidas, será la cantidad de migración que se ha producido.

### **3.4. Procedimientos de caracterización mecánicos**

#### **3.4.1. Prueba de Impacto al Dardo ASTM D-1709.**

El alcance de esta prueba cubre la determinación de la energía que causa el fallo en una película plástica bajo condiciones específicas de impacto de un dardo en caída libre. Esta energía se expresa por lo que se refiere al peso (la masa) del proyectil que cae de una altura especificada que produciría 50% fracaso de especímenes probado.

Condiciones para poder realizar el ensayo:

- Las condiciones ambientales para realizar el ensayo son de 23°C y 50% HR

Requerimientos que se necesitan:

- Seguir los parámetros por la norma ASTM D-1709, se utilizará un dardo con cabeza semiesférica.
- El dardo debe tener una medida de 38 mm de diámetro y la altura de caída del dardo de 0.66 m.
- Obtener muestras de 0.2x1 m de cada tipo de película plástica.
- Revisar cada muestra al momento de colocarla en la maquina evitando irregularidades: templar la película evitando dobladuras al colocarlas en las abrazaderas.
- La resistencia al impacto debe ser reportada en J/m.

Procedimiento a seguir:

1. En cada muestra se debe marcar 5 zonas de 0.2 x 0.2 m.
2. Colocar cada muestra en las abrazaderas de la maquina evitando dobladuras, la zona marcada debe coincidir con la abrazadera anular.

3. Se designa un peso inicial del dardo para dejarlo caer sobre la muestra.
4. El ensayo se debe realizar de manera progresiva, se aumenta el peso sobre el dardo hasta alcanzar la ruptura de la muestra de la película plástica.
5. Observar detenidamente la muestra y anotar el lugar y forma de la ruptura, anotando el peso del dardo que ocasiono la ruptura.
6. Realizar un número considerable de ensayos marcando aquellos que tengan un porcentaje de falla, aumentando el peso hasta alcanzar un 100% de falla.
7. Anotar el espesor y profundidad bajo la hendidura de cada espécimen probado.

### **3.4.2. Prueba de Tracción ASTM D-882**

Los datos de esta prueba sirven para especificar un material, para diseñar partes, y como chequeo de control de calidad.

Es recomendable realizar las pruebas a una temperatura promedio del ambiente donde se desempeñará el material, también es recomendable trabajar con el valor de temperatura máxima de exposición para obtener valores críticos por razón de que las propiedades físicas de muchos materiales (en especial los termoplásticos), pueden variar con respecto a la temperatura.

Para obtener mayor grado de fidelidad en los datos se recomienda realizar varias probetas de un mismo espécimen para posteriormente seleccionar aquellas que sean más regulares en su espesor y de mayor paralelismo en sus bordes laterales y al colocar las probetas en las mordazas de la máquina comprobar que estas no estén en ángulo a la dirección de movimiento de las mordazas.

Para el ensayo de tensión, la velocidad de la prueba y la separación de la mordaza se basan en el alargamiento que se necesita para romper el material. Se puede calcular el alargamiento y el módulo de tensión con el desplazamiento del cabezal.

Condiciones para poder realizar el ensayo:

- El ensayo debe realizarse a condiciones ambientales, libre de polvo o agente contaminante.

Requerimientos que se necesitan:

- La obtención de las muestras debe ser de dos formas, la primera cortada en dirección longitudinal (dirección de la maquina DM) y la segunda en el sentido transversal (dirección de la extrusión de la película plástica TD).
- Las muestras deben tener una medida especifica el ancho debe estar entre 5 y 25.4 mm; el largo debe ser de al menos 10 mm más largo que la distancia entre las mordazas, observar la Figura 21.
- Evitar alteraciones en la superficie de las muestras, es decir obtener cortes limpios de las películas plásticas.

Procedimiento a seguir:

1. Dependiendo del tipo de maquina se puede asignar el rango de fuerza que ocupara la maquina esta puede oscilar entre 0 y 50 kN, otro tipo de máquinas ya tiene programado el rango de trabajo.
2. Medir el espesor de cada muestra.



**Figura 21.** Probetas para ensayo de tracción

3. Seleccionar la distancia entre mordazas para poder colocar cada muestra se puede ocupar una distancia de separación de 50 mm o 100 mm.
4. La velocidad de la maquina puede ser entre 80 a 500 mm/min para materiales plásticos.
5. Colocar las muestras en las mordazas, evitando deformaciones de la muestra en las mordazas.



*Figura 22.* Mordazas para probetas plásticas

6. Para orientación del material se deben tomar 10 muestras, eliminando los valores incoherentes en la elongación y carga.



*Figura 23.* Máquina de Tracción

### 3.4.3. Ensayo de transmisión de vapor ASTM E-96.

La transmisión de vapor de agua (WVTR - Water Vapor Transmission Rate) es una medida de cantidad vapor de agua que pasa a través de un material por unidad de área y por unidad de tiempo, es decir su velocidad de transmisión. La prueba se realizó mediante el Método del Pouch sellando una muestra en la boca abierta de un plato de prueba que contiene desecante, y colocando el conjunto en una atmósfera controlada. La medición en la prueba es pesar periódicamente el conjunto en función del tiempo.

Las moléculas de gas, vapor y otras sustancias es posible que se disuelvan en los polímeros y entonces viajar a otra sustancia en contacto. La velocidad de estos acontecimientos depende de la estructura química y física del polímero y de la naturaleza de la molécula. La fuerza de traslado para transferencia de moléculas permeantes desde un lugar a otro es una tendencia natural donde su actividad química debe equilibrarse.

Condiciones para poder realizar el ensayo:

- Se deben recrear dos ambientes para realizar este ensayo, uno simulará el ambiente de la costa a 34.6°C y 42,75 HR, mientras que para la sierra será de 21°C y 47.83 HR.

Requerimientos que se necesitan:

- Las muestras deben ser de forma rectangular con medidas de 22 cm de largo y 12 cm de ancho.
- La cantidad de desecante (alcohol, aceite, silicaguel) debe estar entre 20 y 25 gramos.  
Figura 24
- Se debe colocar un sello hermético para cada muestra.
- El tiempo utilizado para tomar las mediciones no deberá ser mayor al 1% de intervalos de tiempo entre cada medición, es decir si realizamos las mediciones cada 2 días, el tiempo máximo para realizar la medición será de 30 minutos. (Norma ASTM E-96)
- El desecante no debe pasar del 10% de su peso original.



**Figura 24.** Peso de silicaguel

Procedimiento a seguir:

1. Se debe sellar cada lado de la muestra dejando un solo lado para colocar el desecante.
2. Por cada material se debe colocar 2 muestras en cada clima simulado; identificar cada muestra con una letra y un número.
3. Una vez colocado el desecante se debe sellar herméticamente, se registrará cada 2 o 3 días la ganancia de peso.
4. Graficar la ganancia de peso del desecante en gramos vs tiempo en horas para obtener la pendiente de la misma.
5. Finalmente utilizar la ecuación para obtener la transferencia de vapor de agua (WVTR), donde A es el área de transferencia en cada material:

$$WVTR = \frac{Q/t}{A}$$

#### **3.4.4. Ensayo Coeficiente de Fricción ASTM D-1894.**

Condiciones para poder realizar el ensayo:

- El ensayo se debe realizar a condiciones ambientales, evitando siempre la exposición a zonas con polvo.

Requerimientos que se necesitan:

- Cortar probetas de 100 x 250 mm y 100 x100 mm en dirección máquina y dirección transversal de la película, teniendo en cuenta cual es la cara exterior e interior de la lámina.

Procedimiento a seguir:

1. Colocar la probeta de 100 x 250 mm sobre la superficie de fricción y sujetarla con el seguro para fijar la probeta, Figura 25.



*Figura 25.* Sujeción del rollo con pesas

2. Sujetar la probeta de 100 x 100 mm con cinta adhesiva al bloque mecánico.
3. Colocar el bloque encima de la lámina, el equipo genera una velocidad de desplazamiento constante de 60mm/min que arrastra el bloque a lo largo de la superficie de la probeta de 100 x 250, la velocidad se debe ajustar en el panel de control Figura 26.
4. Repetir este procedimiento con 2 probetas de diferentes puntos de la muestra de la lámina.



*Figura 26.* Panel de control del equipo

### 3.5. Procedimiento de control de calidad

Para el proceso de control de calidad que se aplicara al estudio se realizó un muestreo aleatorio, teniendo en cuenta que se estudiaran tres tipos de empaques que produce la empresa, dentro de cada tipo se escogerá al azar dos ejemplares para su estudio. La tabla 5 muestra, el tipo de empaque y su composición.

Cada muestra será sometida a los distintos ensayos químicos y mecánicos, cada resultado será comparado con las consignas de la empresa para su evaluación.

**Tabla 5.**

*Datos de las muestras.*

Simbología	Espesor	Tipo	Nombre	Composición	
				LDPE linear	LDPE baja
e1	1.3	B/D	Empaque para quesos	60	40
e2	2	B/D	Empaque para embutidos	60	40
e3	2.5	B/D	Cementina	70	30

### 3.6. Datos de control de calidad

**Tabla 6.**

*Consignas de la empresa en el proceso de extrusión.*

OPERACIÓN DE EXTRUSIÓN		
Ensayo	Rango de aceptación	Valor esperado
Prueba de tracción	(7-50) N	20 N
Prueba de impacto al dardo	(200- 1600) Kg	1399.7
Ensayo wvtr	(9.075E <sup>-07</sup> - 1.00E-02) g/h- cm <sup>2</sup>	1.056 <sup>-06</sup>
Coefficiente de fricción	(0-30)	0.11
Tratamiento corona	38 dinas	38 dinas

**Tabla 7.**

*Consignas de la empresa en el proceso de impresión.*

OPERACIÓN DE IMPRESIÓN		
Ensayo	Rango de aceptación	Valor esperado
Prueba de migración global	max 10 mg/dm <sup>2</sup>	6.1 mg/dm <sup>2</sup>
Pruebas ópticas	(min.73-max 3.5) %	80%
Mezcla de solventes	25"-30" zh#2 (25°c)	24.2"zh#2 (22°c)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Datos obtenidos de los ensayos.

##### 4.1.1. Tratamiento Corona ASTM D-2578

La tabla 8 muestra las mediciones que se realizaron a los tres tipos de muestras de empaques plásticos e1, e2, e3 con sus diferentes tipos.

**Tabla 8.**

*Datos de medición de tratamiento corona*

	TIPO	Tratamiento (Dinas)
e1	Empaque tipo 1	38
	Empaque tipo 2	38
e2	Empaque tipo 1	38
	Empaque tipo 2	38
e3	Empaque tipo 1	38
	Empaque tipo 2	38

##### 4.1.2. Mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.

Para este ensayo se escogió tres colores de tintas debido a su mayor uso en el proceso de impresión flexográfica, la tabla 9 muestra la viscosidad obtenida y los mililitros de solvente que se ocuparon para llegar la viscosidad deseada.

**Tabla 9.***Datos de viscosidad cinemática de las tintas*

	N°	Volumen Solvente (ml)	Segundos Zahn inicial	Segundos Zahn final
Tinta Blanca	1	15	45	30
	2	12	45	29
	3	15	45	30
Tinta Amarilla	4	10	35	27
	5	10	35	26
	6	15	35	25
Tinta Roja	7	12	32	28
	8	10	32	30
	9	12	32	28

**4.1.3. Pruebas ópticas de brillo ASTM D2457**

Las tablas 10,11 y 12 muestran el porcentaje de brillo obtenido para cada uno de los espesores y sus tipos.

**Tabla 10.***Datos de porcentaje de brillo para el*

N°	Empaque tipo 1	Empaque tipo 2
1	50.1	65.7
2	58.2	65.2
3	60.1	68.2
4	60.9	67.5

**Tabla 11.***Datos de porcentaje de brillo para e2*

N°	Empaque tipo 1	Empaque tipo 2
1	63.1	59.3
2	53.2	58.1
3	62.8	58
4	63.8	57.6

**Tabla 12.***Datos de porcentaje de brillo para e3*

N°	Empaque tipo 1	Empaque tipo 2
1	68.3	59.4
2	65.2	59.8
3	66.3	60.5
4	60.4	61.2

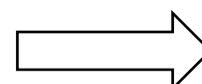
**4.1.4. Ensayo de Migración Norma NTC 5023**

La tabla 13 muestra los datos obtenidos en peso del ensayo de migración global, solo para este ensayo se ocupó tipo de empaque debido a que se estaba realizando un nuevo producto.

**Tabla 13.***Datos de migración global*

	Tipo	Tiempo					
		0,00	30 minutos	1 hora	1 hora y 30 min	2 horas	2 horas y 30 min
e1	Empaque tipo 1	113.980	113.980	113.980	113.9803	113.980	113.9804
		0	0	2		5	

CONTINUA



	Empaque tipo 2	113.980 0	113.980 1	113.980 2	113.9804	113.980 5	113.9806
e2	Empaque tipo 1	113.986 1	113.986 3	113.986 5	113.9866	113.986 6	113.9868
	Empaque tipo 2	113.986 1	113.986 2	113.986 2	113.9864	113.986 4	113.9866
e3	Empaque tipo 1	113.980 2	113.980 2	113.980 3	113.9805	113.981 0	113.9820
	Empaque tipo 2	113.980 2	113.980 2	113.980 6	113.9810	113.981 2	113.9817
e4	Empaque tipo 1	113.980 0	113.980 2	113.980 6	113.9813	113.981 4	113.9818
	Empaque tipo 2	113.980 0	113.980 5	113.980 9	113.9810	113.981 3	113.9820

#### 4.1.5. Prueba de Impacto al Dardo ASTM D-1709

Las tablas 14,15 y 16 muestran los datos de la resistencia al impacto de cada tipo de empaque.

**Tabla 14.**

*Datos de resistencia al impacto para e1*

TIPO	PESAS (gr)	$\Delta p$ (gr)	ni
Empaque tipo 1	115	10	4
	105		5
	95		6
Empaque tipo 2	115	10	3
	105		3
	90		5

**Tabla 15.***Datos de resistencia al impacto para e2*

<b>TIPO</b>	<b>PESAS (gr)</b>	<b><math>\Delta p</math> (gr)</b>	<b>ni</b>
<b>Empaque tipo 1</b>	130	15	5
	115		4
	110		2
<b>Empaque tipo 2</b>	115	10	6
	105		4
	90		3

**Tabla 16.***Datos de resistencia al impacto para e3*

<b>TIPO</b>	<b>PESAS (gr)</b>	<b><math>\Delta p</math> (gr)</b>	<b>ni</b>
<b>Empaque tipo 1</b>	145	10	6
	135		5
	125		4
<b>Empaque tipo 2</b>	145	10	6
	135		6
	125		2

#### **4.1.6. Prueba de Tracción ASTM D-882**

Las tablas 17,18 y 19 muestran los datos tabulados del ensayo de tracción aplicado a los tres tipos de materiales, las siglas (MD) significa que las probetas fueron cortadas en dirección de la máquina.

**Tabla 17.***Datos de ensayo de tracción (MD) para e1*

N°	Empaque tipo 1		Empaque tipo2	
	Resistencia a la ruptura (N)	Desplazamiento (mm)	Resistencia a la ruptura (N)	Desplazamiento (mm)
1	11.04	127.4	11.04	126.2
2	7.89	175.25	7.89	170.6
3	9.47	125.2	9.47	120.25
4	7.89	86.6	7.89	108.5
5	9.47	100.6	9.47	89.4

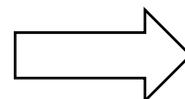
**Tabla 18.***Datos de ensayo de tracción (MD) para e2*

N°	Empaque tipo 1		Empaque tipo2	
	Resistencia a la ruptura (N)	Desplazamiento (mm)	Resistencia a la ruptura (N)	Desplazamiento (mm)
1	11.04	175.25	11.04	180.25
2	9.47	169.5	9.47	168.34
3	9.47	170.5	9.47	169.85
4	9.47	170.2	9.47	172.8
5	6.31	171.3	6.31	167.24

**Tabla 19.***Datos de ensayo de tracción (MD) para e3*

N°	Empaque tipo 1		Empaque tipo2	
	Resistencia a la ruptura (N)	Desplazamiento (mm)	Resistencia a la ruptura (N)	Desplazamiento (mm)
1	15.78	366.4	15.78	370.67
2	14.2	336.83	14.2	338.6

CONTINUA



3	18.93	330.74	18.93	287.7
4	14.20	390.9	14.20	387.45
5	20.51	280.77	20.51	285.23

#### 4.1.7. Ensayo WVTR ASTM E-96

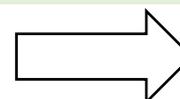
La tabla 20 muestra el peso ganado por la permeación de vapor de agua, según las dos condiciones ambientales que se trabajaron, Sierra 20° y Costa 34°.

**Tabla 20.**

*Datos de peso ganado (gramos) por la transmisión de vapor de agua*

		Área de transferencia (cm <sup>2</sup> )	Número de horas					
			15	30	45	60	75	
Condiciones Sierra	e1	Empaque tipo 1	194	0.0027	0.0168	0.021	0.0287	0.0548
		Empaque tipo 2	198	0.0029	0.0145	0.0223	0.0271	0.0525
	e2	Empaque tipo 1	195	0.0052	0.0222	0.0317	0.0423	0.0645
		Empaque tipo 2	202.1	0.0034	0.0341	0.0355	0.044	0.0696
	e3	Empaque tipo 1	200	0.0013	0.0275	0.0308	0.0329	0.0541
		Empaque tipo 2	198.2	0.0065	0.0233	0.0331	0.0422	0.0566
Condiciones Costa	e1	Empaque tipo 1	203.58	0.0007	0.02667	0.0322	0.3031	0.761
		Empaque tipo 2	205.26	0.0003	0.0254	0.0382	0.0436	0.697

CONTINUA



e2	Empaque tipo 1	189.78	0.0017	0.0315	0.0795	0.1114	0.155
	Empaque tipo 2	206.45	0.0013	0.0287	0.0678	0.133	0.1467
e3	Empaque tipo 1	210.08	0.015	0.059	0.0714	0.0913	0.1367
	Empaque tipo 2	210	0.021	0.049	0.0656	0.085	0.128

#### 4.1.8. Ensayo Coeficiente de Fricción ASTM D-1894

Las tablas 21, 22 y 23 muestran los valores obtenidos del coeficiente de fricción para tipo de empaque.

**Tabla 21.**

*Datos de coeficiente de fricción para e1*

Tipo	Pesos (Kg)	COF
Empaque tipo 1	2	0.0609
	4	0.0684
	6	0.0624
Empaque tipo 2	2	0.065
	4	0.0647
	6	0.0617

**Tabla 22.**

*Datos de coeficiente de fricción para e2*

Tipo	Pesos (gr)	COF
Empaque tipo 1	2	0.0724
	4	0.0526
	6	0.0517
Empaque tipo 2	2	0.0687
	4	0.0655
	6	0.0656

**Tabla 23.**

*Datos coeficiente de fricción para e3*

Tipo	Pesos (gr)	COF
Empaque tipo 1	2	0.0768
	4	0.0722
	6	0.0806
Empaque tipo 2	2	0.0795
	4	0.0761
	6	0.0703

## 4.2. Cálculos

### 4.2.1. Cálculo de viscosidad para el ensayo de mezcla de solventes

Para el cálculo de la viscosidad se debe tomar el tiempo que se demora en pasar toda la tinta por la copa Zahn #2, luego se debe aplicar la siguiente fórmula para transformar los segundos Zahn en centistokes; para ver el valor de las constantes se ocupó la norma ASTM D4212.

$$V = K (t - c)$$

$$V = 3.5 (45 - 14)$$

$$V = 108.5 \text{ cSt}$$

La relación de mezcla entre el alcohol propanol y acetato es de 75% y 25% respectivamente, y la relación de mezcla entre tintas y solventes es de 80% y 20%.

#### 4.2.2. Cálculo de peso para el ensayo de migración global

Se debe realizar una diferencia del peso neto de la respectiva muestra ( $M_f$ ) y el peso neto blanco ( $M_i$ ).

$$m = M_f - M_i$$

Donde:

$m$  = es el residuo seco en miligramos.

Para reportar el valor final de la migración global, se debe aplicar la siguiente fórmula la cual toma en cuenta el área de la superficie de contacto y el residuo seco.

$$M = \frac{m}{s}$$

Donde:

$M$  = Migración global expresada en  $\text{mg}/\text{dm}^2$

$m$  = es el residuo seco en miligramos.

$s$  = superficie del material en contacto con el simulante en  $\text{dm}^2$

$$m = 113.98 \text{ g} - 113.9785 \text{ g}$$

$$m = 0.0015 \text{ g}$$

$$M = \frac{1.5 \text{ mg}}{(0.5 * 0.5)^2}$$

$$M = 6 \text{ mg}/\text{dm}^2$$

### 4.2.3. Cálculo del peso por falla por impacto

Para calcular el peso de falla por impacto se utiliza la siguiente ecuación.

$$Wf = Wl + \left[ \Delta W * \left( \frac{S}{100} - \frac{1}{2} \right) \right]$$

Donde:

Wf= Peso para fallar por impacto

Wl= Peso más bajo del proyectil

$\Delta W$ = Incremento uniforme utilizado en el peso

S= Suma de los porcentajes de ruptura con cada peso del proyectil

$$Wf = 95 + \left[ 10 * \left( \frac{239}{100} - \frac{1}{2} \right) \right]$$

$$Wf = 113.9 \text{ gr}$$

### 4.2.4. Cálculo para la relación de adelgazamiento

Para calcular este valor se ocupa la siguiente ecuación.

$$R_a = \frac{e_o}{e * z}$$

Donde:

Ra= Relación de adelgazamiento

e<sub>o</sub>= Abertura de la boquilla

e= Espesor de la película

z= Relación de soplado

La empresa proporciono los datos para el cálculo de la relación de adelgazamiento, el cual existen tres tipos de espesores, cada uno con una relación de soplado diferente.

**Tabla 24.**

*Datos para el cálculo de la relación de adelgazamiento*

Simbología	Espesor	Z	eo (mm)
e1	1.3	3	
e2	2	2.5	2
e3	2.5	1.62	

$$e_o = 2 \text{ mm} * \frac{1 \text{ mils}}{0.0254 \text{ mm}} = 78.7401 \text{ mils}$$

$$R_a = \frac{78.7401 \text{ mils}}{1.3 * 3}$$

$$R_a = 20.18$$

Repetir el cálculo para cada espesor variando la relación de soplado.

#### 4.2.5. Cálculo del coeficiente de transferencia de vapor de agua.

Graficar el peso ganado por el desecante vs el tiempo para obtener la pendiente la cual se ocupará en la siguiente formula.

$$WVTR = \frac{Q/t}{A}$$

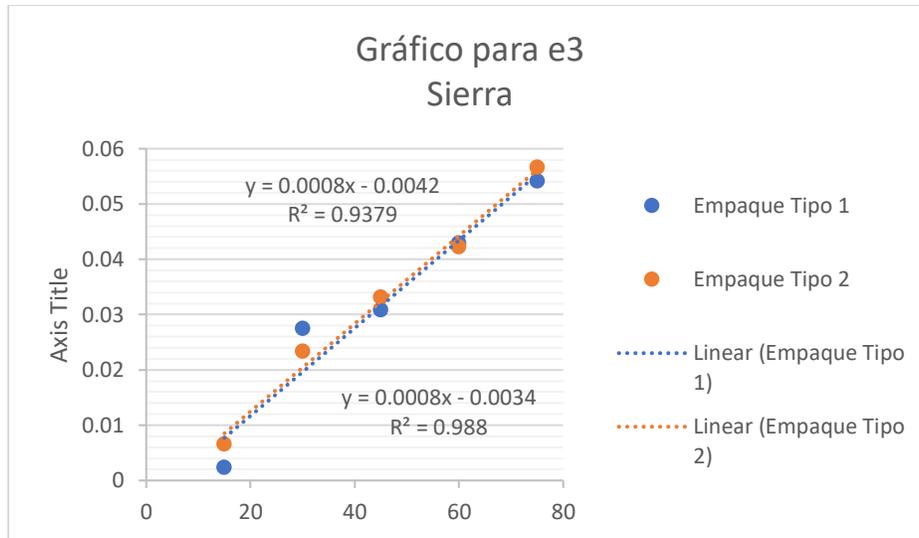
Dónde:

WVTR=Coeficiente de transferencia de vapor

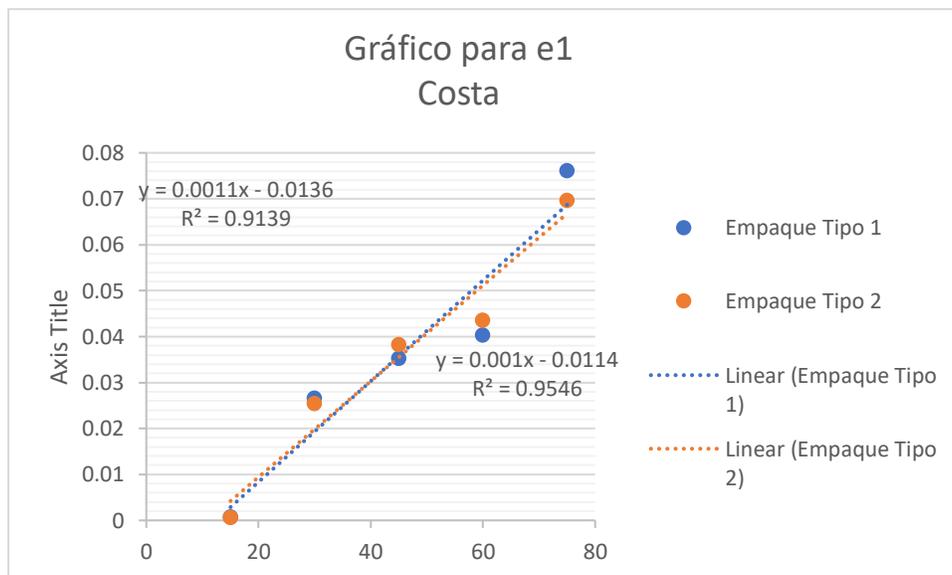
Q/t= Equivale a la pendiente (m) al graficar el peso ganado vs el tiempo

A= Área de transferencia de cada material

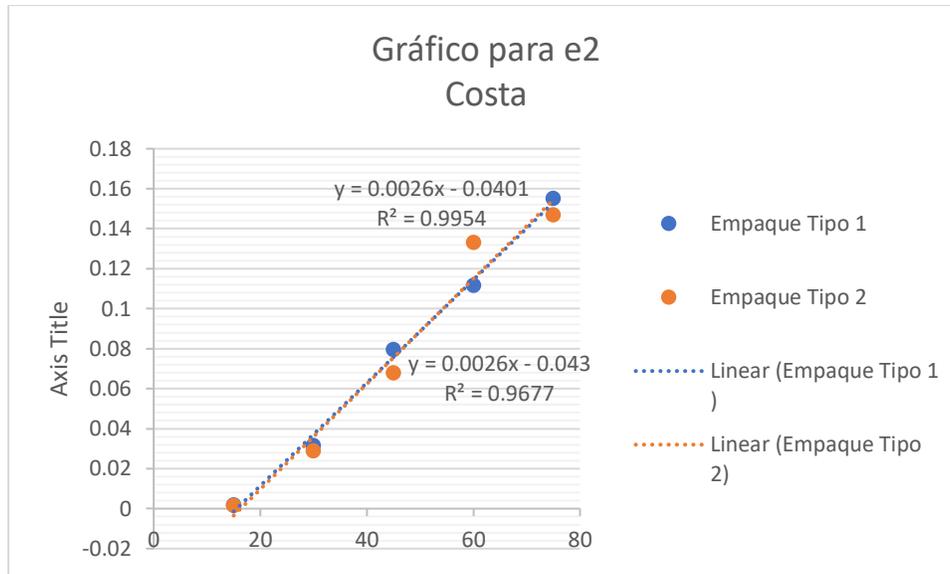




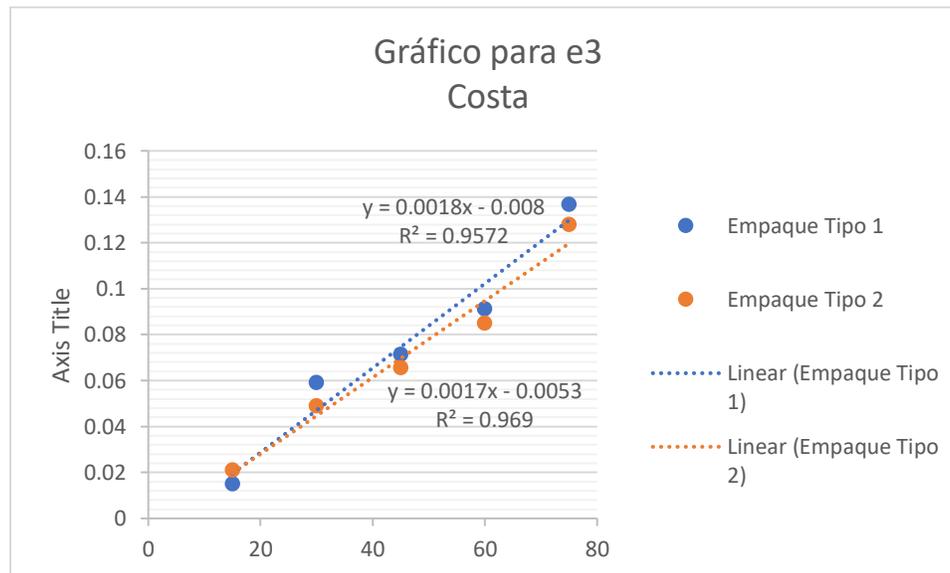
**Figura 29. Curva Q/t para e3 a condiciones de la Sierra**



**Figura 30. Curva Q/t para e1 a condiciones de la Costa**



**Figura 31. Curva Q/t para e2 a condiciones de la Costa**



**Figura 32. Curva Q/t para e3 a condiciones de la Costa**

#### 4.2.6. Cálculo para determinar la relación de estiramiento

$$R_e = \frac{R_a}{z}$$

$$R_e = \frac{20.18}{3}$$

$$R_e = 6.725$$

#### 4.2.7. Cálculo del ancho de la película

$$a = \frac{z * \phi_c}{0.637}$$

Donde:

a= Ancho de la película (pulg)

z= Relación de soplado

$\phi_c$ = Diámetro cabezal de extrusión (mm)

$$a = \frac{3 * 160 \text{ mm}}{0.637}$$

$$a = 753.5321 \text{ mm} * \frac{1 \text{ pulg}}{25.4 \text{ mm}} = 29.666 \text{ pulg}$$

### 4.5. Cálculo estadístico

#### 4.5.1. Prueba F para la comparación de desviación estándar

Se comparan las desviaciones estándar del método patrón y el método realizado en laboratorio, entre cada tipo de empaque y el espesor de cada producto.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Donde:

$S_1^2$ = Desviación estándar método patrón

$S_2^2$ = Desviación estándar método experimental

El planteamiento de las hipótesis es el siguiente: La hipótesis nula establece que las mediciones son iguales y que no existe diferencia significativa en los datos, mientras que la hipótesis alternativa establece que los datos no son iguales al método patrón.

#### 4.5.2. Prueba estadística paramétrica (Test chi-cuadrado)

Se utiliza para contrastar si las frecuencias observadas difieren significativamente de las que cabría esperar.

$$X^2 = \sum_j \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}$$

Donde:

$O_j$ = Frecuencia observada (resultado del ensayo)

$E_j$ = Frecuencia esperada (valor máximo)

#### 4.5.3. Prueba de hipótesis

$H_0$ :  $h_1=h_2$ : No hay diferencia esencial entre los valores de cada ensayo.

$H_1$ :  $h_1 \neq h_2$ : Hay diferencia significativa entre los valores de cada ensayo.

$H_i$ : No todas las mediciones no son iguales.

### 4.6. Resultados

#### 4.6.1. Resultado de ensayo tratamiento corona ASTM D-2578

Los valores obtenidos sobre el ensayo se muestran en la Tabla 25, donde se expresa el valor en días que se ocupó en los distintos tipos de empaques plásticos.

**Tabla 25.***Resultado final obtenido en los empaques*

	<b>TIPO</b>	<b>Tratamiento (Dinas)</b>
<b>e1</b>	Empaque tipo 1	38
	Empaque tipo 2	38
<b>e2</b>	Empaque tipo 1	38
	Empaque tipo 2	38
<b>e3</b>	Empaque tipo 1	38
	Empaque tipo 2	38

#### **4.6.2. Resultado del ensayo de mezcla de solventes según el proceso de impresión flexográfica.**

En la Tabla 26, se muestra la viscosidad final obtenida luego de haber mezclado el solvente y la tinta virgen.

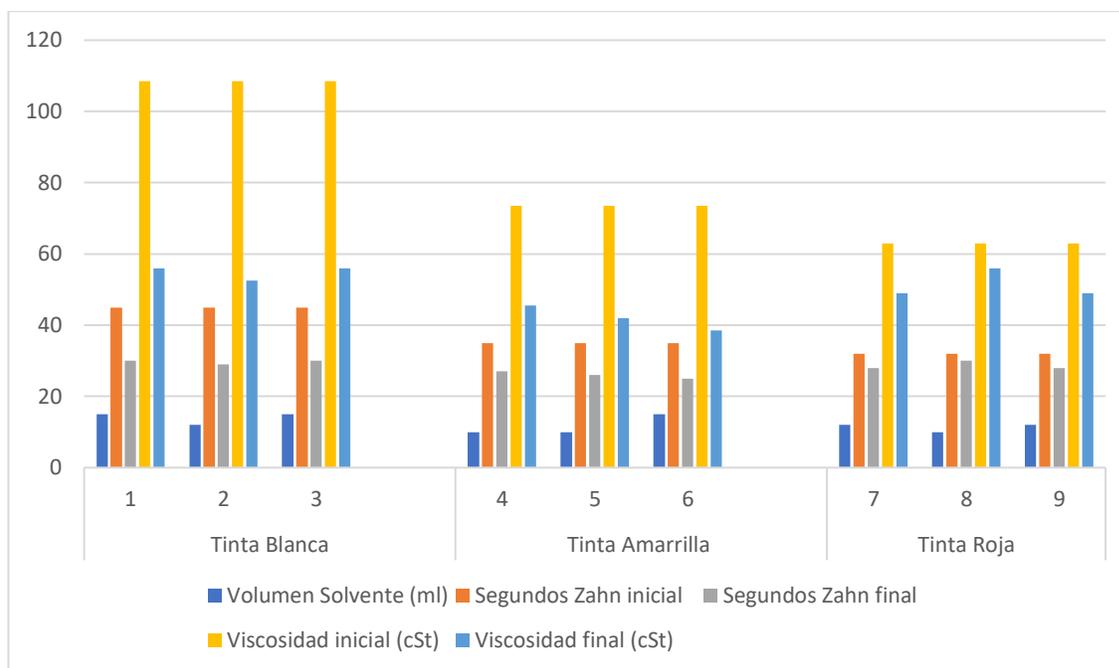
**Tabla 26.***Viscosidad final obtenida en cada mezcla*

	N°	Volume n Solvente (ml)	Segundo s Zahn inicial	Segundo s Zahn final	Viscosida d inicial (cSt)	Viscosida d final (cSt)	Desv
<b>Tinta Blanca</b>	1	15	45	30	108.5	56	2.0207259 4
	2	12	45	29	108.5	52.5	
	3	15	45	30	108.5	56	
<b>Tinta Amarrilla</b>	4	10	35	27	73.5	45.5	3.5
	5	10	35	26	73.5	42	
	6	15	35	25	73.5	38.5	
<b>Tinta Roja</b>	7	12	32	28	63	49	4.0414518 8
	8	10	32	30	63	56	
	9	12	32	28	63	49	

 $F_{cal} < F_{tab}: H_0$ 
 $F_{cal} > F_{tab}: H_1$ 

El valor obtenido de  $F_{cal}$  es de 1.088 y el valor de  $F_{tab}$  es de 15.44 (Anexo C), por lo que se acepta la hipótesis nula, debido a que los valores obtenidos en los ensayos no difieren de los parámetros aplicados por la empresa en el ensayo de mezcla de solventes.

En la Figura 33, se realiza una comparación entre la viscosidad de cada tinta donde y el volumen del solvente que se ocupa, la tinta blanca al tener un valor alto en viscosidad se necesita ocupar un volumen de 15 ml de solvente, la relación de mezclado es de 80 % tinta y 20 % solvente permitiendo un secado rápido en el momento de ser aplicado en la película plástica.



**Figura 33. Análisis comparativo del ensayo de mezcla de solventes y tintas**

#### 4.6.3. Resultado de pruebas ópticas de brillo ASTM D2457

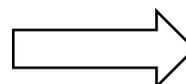
La Tabla 27, muestra los resultados obtenidos por el brillómetro, cada prueba se realizó para cada espesor de película plástica con un numero de cuatro repeticiones.

**Tabla 27.**

*Resultados obtenidos ensayo de pruebas ópticas*

		N°			
		1	2	3	4
<b>e1</b>	Empaque tipo 1	50.1	58.2	60.1	60.9
	Empaque tipo 2	65.7	65.2	68.2	67.5
<b>e2</b>	Empaque tipo 1	63.1	53.2	62.8	63.8
	Empaque tipo 2	59.3	58.1	58	57.6

CONTINÚA



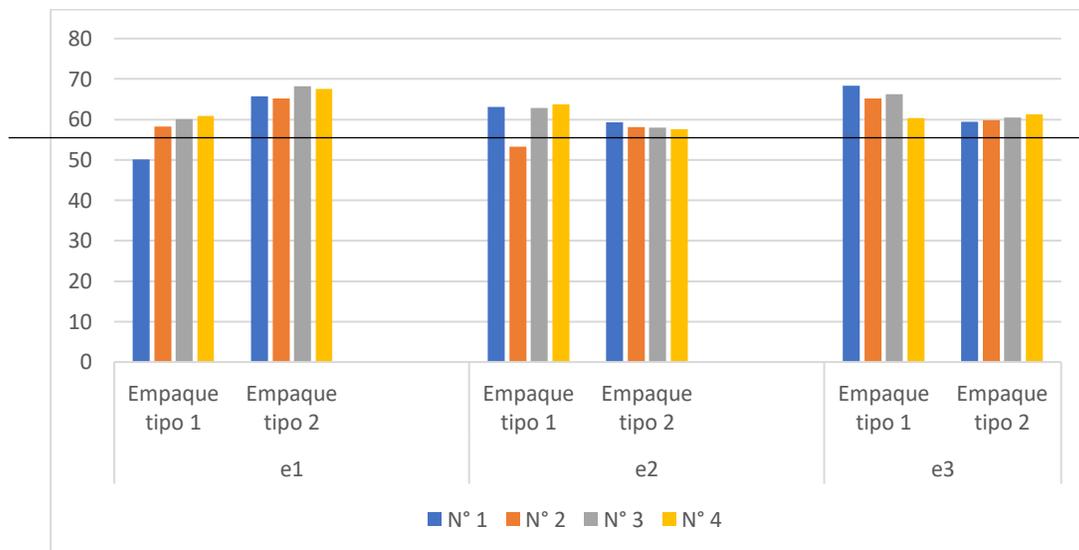
<b>e3</b>	Empaque tipo 1	68.3	65.2	66.3	60.4
	Empaque tipo 2	59.4	59.8	60.5	61.2

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

El valor obtenido de  $F_{cal}$  para cada espesor es: 8.3944, 17.0757 y 2.01714 respectivamente y el valor obtenido de  $F_{tab}$  es de 9.605 (ver valor Anexo C), para los empaques de espesor e1 y e3 la hipótesis nula se acepta por lo que los valores no difieren de los parámetros establecidos por la empresa. Mientras que los empaques de espesor e2 se rechaza las hipótesis nulas y se acepta la alternativa, porque los valores difieren de los parámetros de la empresa, pero se aceptan ciertos valores debido a que están dentro del rango de aceptación establecido por la empresa  $\geq 60\%$  de brillo.

En la Figura 34, muestra los datos que se encuentran dentro del rango de aceptación, la línea de color negro es el valor del criterio de aceptación asumido por la empresa que es del 60% de brillo, existe un criterio de aceptación del  $\pm 5\%$  que asume la empresa en cada ensayo. En los resultados obtenidos se demuestra que los empaques de espesor e2 se encuentran dentro del rango de aceptación establecidos por la empresa.



**Figura 34. Análisis comparativo de prueba óptica ASTM D-2457**

#### 4.6.4. Resultado de pruebas de Impacto al Dardo ASTM D-1709

La Tabla 28, muestran los resultados del ensayo de impacto realizados para los espesores estudiados, para este ensayo se aplicó tres tipos de cargas máximas, 115 gr para e1, 120 gr para e2 y 145 gr para e3.

**Tabla 28.**

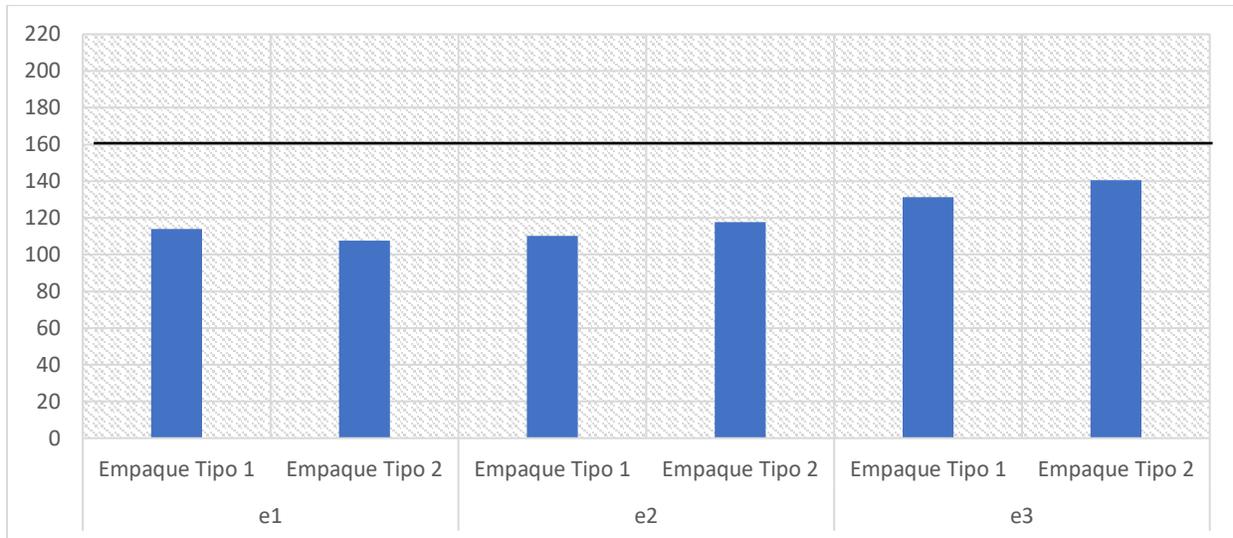
*Resultado de los pesos de falla para cada espesor*

	Tipo	WF (gr)	desv
e1	Empaque Tipo 1	113.9	4.38406204
	Empaque Tipo 2	107.7	
e2	Empaque Tipo 1	110.25	5.30330086
	Empaque Tipo 2	117.75	
e3	Empaque Tipo 1	131.2	6.68215908
	Empaque Tipo 2	140.65	

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

El valor de  $F_{cal}$  para cada tipo de espesor es: 6.9396, 5.7322 y 4.5494 respectivamente, el valor de  $F_{tab}$  para este ensayo es de 15.44 (ver Anexo C), por lo tanto se acepta la hipótesis nula, los valores obtenidos en el ensayo están dentro del criterio de aceptación de la empresa, como se observa en la Figura 35, los empaques de espesor e3 son los que poseen una mayor resistencia al impacto soportando un peso de 145 gr.



**Figura 35. Análisis comparativo de resultados prueba de impacto ASTM D-1709**

#### 4.6.5. Resultados de la Prueba de Tracción ASTM D-882

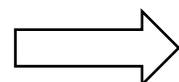
Para esta prueba se realizó un total de 15 de ensayos, tomando en cuenta la temperatura y la humedad. Las pruebas se realizaron para cada tipo de espesor como se muestra en las Tablas 29, 30 y 31.

**Tabla 29.**

*Resultado prueba de tracción para e1*

Probetas	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad calculado (MPa)	% Elongación (Calculado)
			Ancho	Espesor				
1	24.1	45.4	21	1.3	11.04	0.4	0.38	106.27
2	24.1	45.4	19.6 6	1.3	7.89	0.31	0.2	153.5

CONTINUA



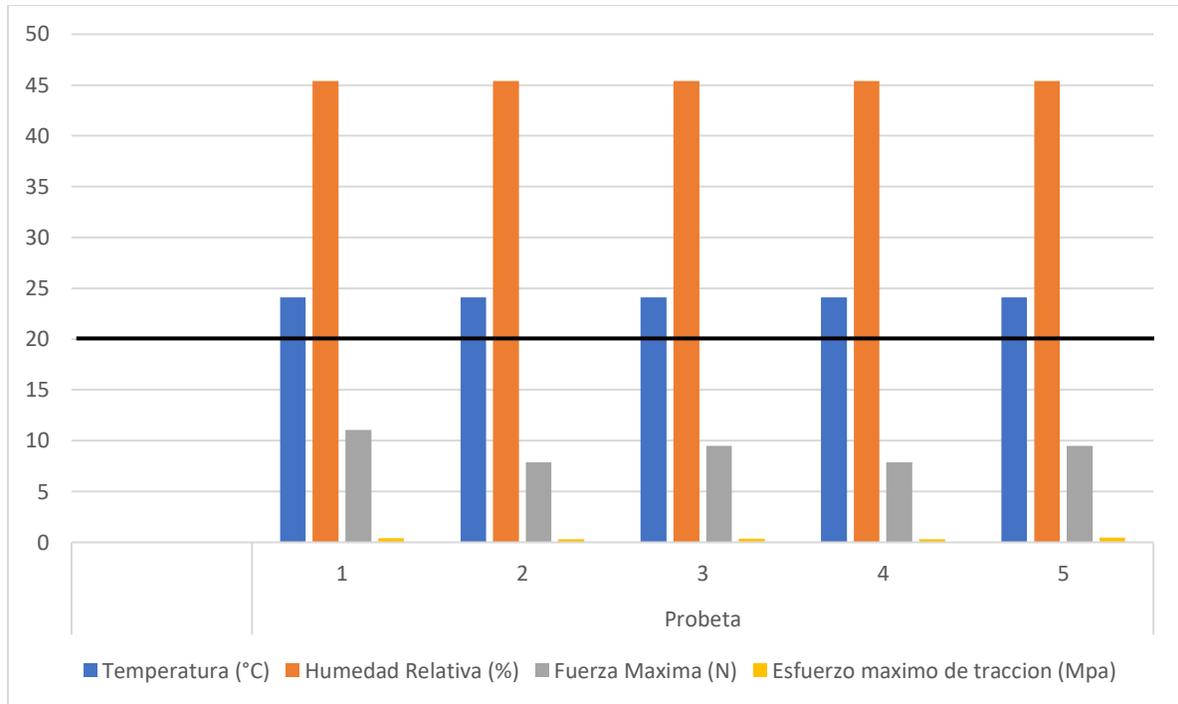
<b>3</b>	24.1	45.4	19.4 7	1.3	9.47	0.37	0.35	106.39
<b>4</b>	24.1	45.4	19.9 7	1.3	7.89	0.3	0.41	73.69
<b>5</b>	24.1	45.4	20.0 2	1.3	9.47	0.46	0.55	84.07
Promedio					9.152	0.37	0.378	104.782
Desviación estándar					1.318	0.066	0.124	30.717

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

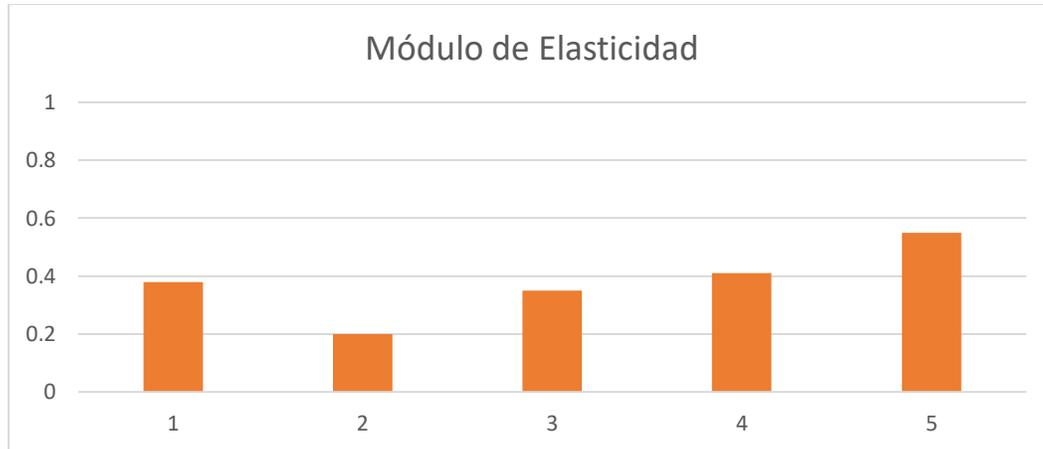
$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

En el ensayo de tracción aplicado a las 5 probetas con un espesor de 1.3 (e1) muestra una desviación estándar de 1.318 por lo que  $F_{cal}$  es: 1.130 y el  $F_{tab}$  es: 7.146 (ver Anexo C) por lo que se acepta la hipótesis nula los valores obtenidos de fuerza están dentro de los parámetros establecidos por la empresa.

En la Figura 36, se muestra los valores obtenidos de cada probeta plástica donde se toma como referencia la fuerza máxima que es 20 N, los valores se encuentran dentro del rango de aceptación establecido por la empresa; la Figura 37 representa el módulo de elasticidad calculado para cada probeta plástica, como se observa en la imagen existe una gran variación y no se encuentra una linealidad en los datos.



**Figura 36. Análisis comparativo entre resultados del ensayo y criterio de aceptación**



**Figura 37. Análisis de módulo de elasticidad para e1**

**Tabla 30.**

*Resultados prueba de tracción para e2*

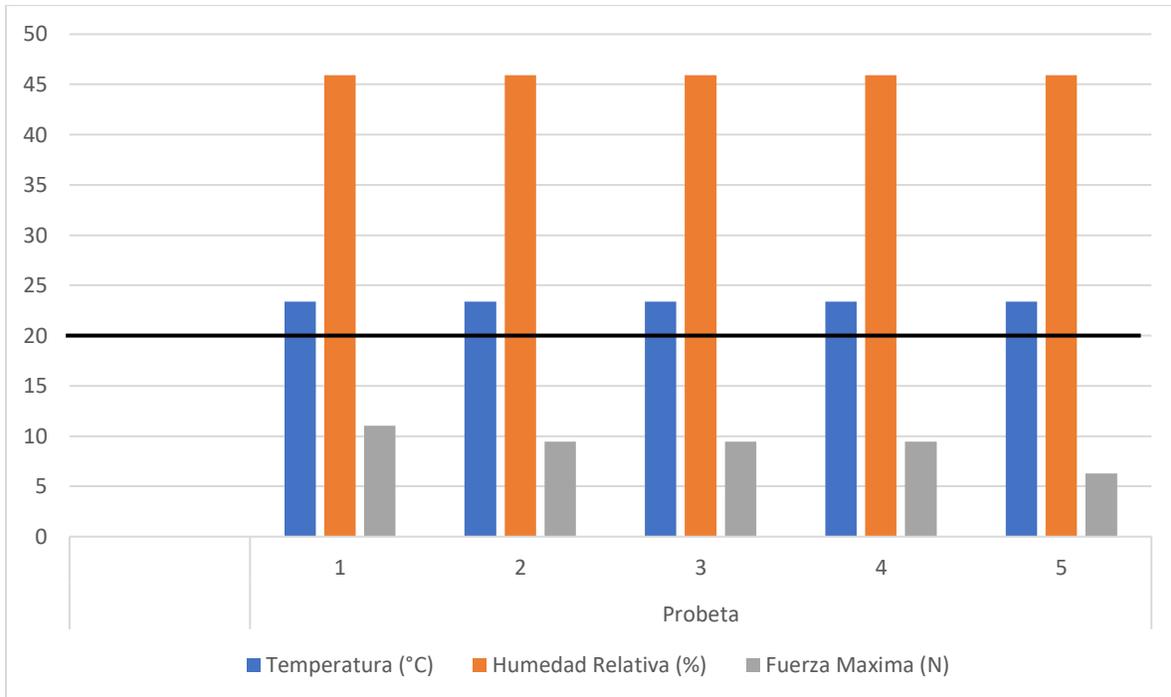
Probetas	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad calculado (MPa)	% Elongación (Calculado)
			Ancho	Espesor				
1	23.4	45.9	20.49	2	11.04	0.27	0.08	322.58
2	23.4	45.9	20.02	2	9.47	0.24	0.08	310.92
3	23.4	45.9	19.84	2	9.47	0.24	0.05	480.07
4	23.4	45.9	20.16	2	9.47	0.23	0.05	520.75
5	23.4	45.9	19.37	2	6.31	0.16	0.07	241.81
			Promedio		9.152	0.228	0.064	375.288
			Desviación estándar		1.728	0.039	0.017	119.21

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

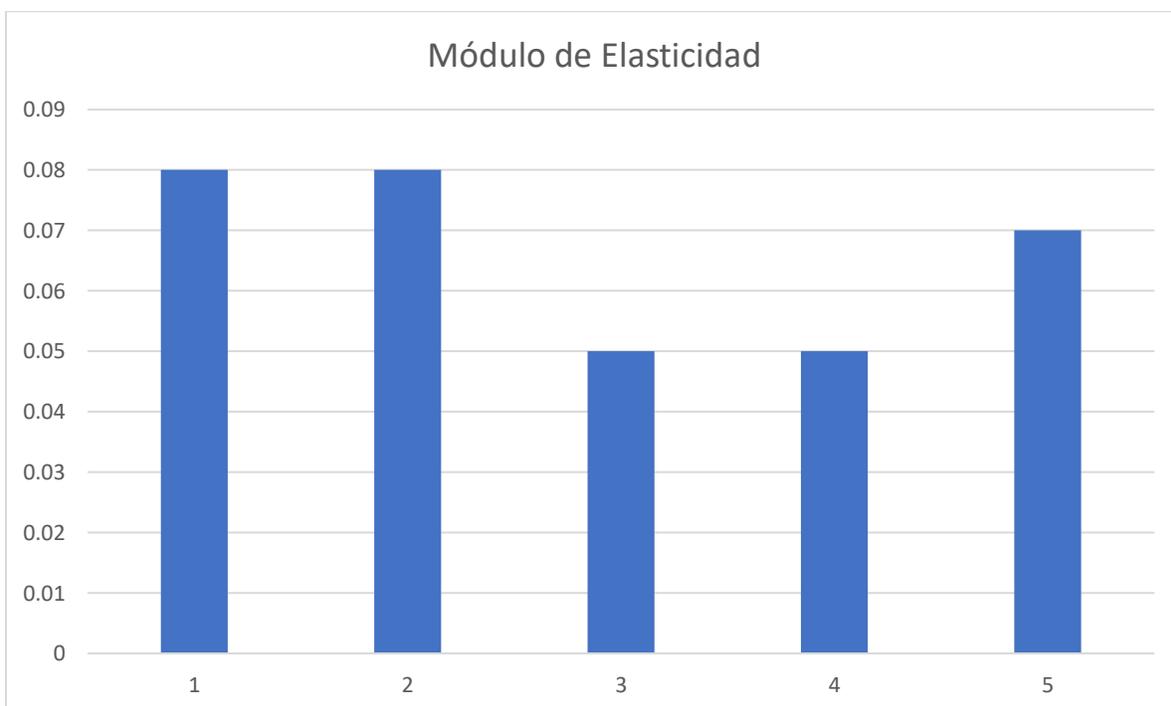
$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

En el ensayo de tracción aplicado a las 5 probetas con un espesor de 2.0 (e2) muestra una desviación estándar de 1.728 por lo que  $F_{cal}$  es: 1.9820 y el  $F_{tab}$  es: 7.146 (ver Anexo C) por lo que se acepta la hipótesis nula los valores obtenidos de fuerza están dentro de los parámetros establecidos por la empresa.

En la Figura 38, se muestra los valores obtenidos de cada probeta plástica donde se toma como referencia la fuerza máxima que es 20 N, los valores se encuentran dentro del rango de aceptación establecido por la empresa; la Figura 39 representa el módulo de elasticidad calculado para cada probeta plástica, como se observa en la imagen no existe una gran variación entre los valores.



**Figura 38. Análisis comparativo entre resultados del ensayo para e2 y criterio de aceptación**



**Figura 39. Análisis de módulo de elasticidad para e2**

**Tabla 31.***Resultados prueba de tracción para e3*

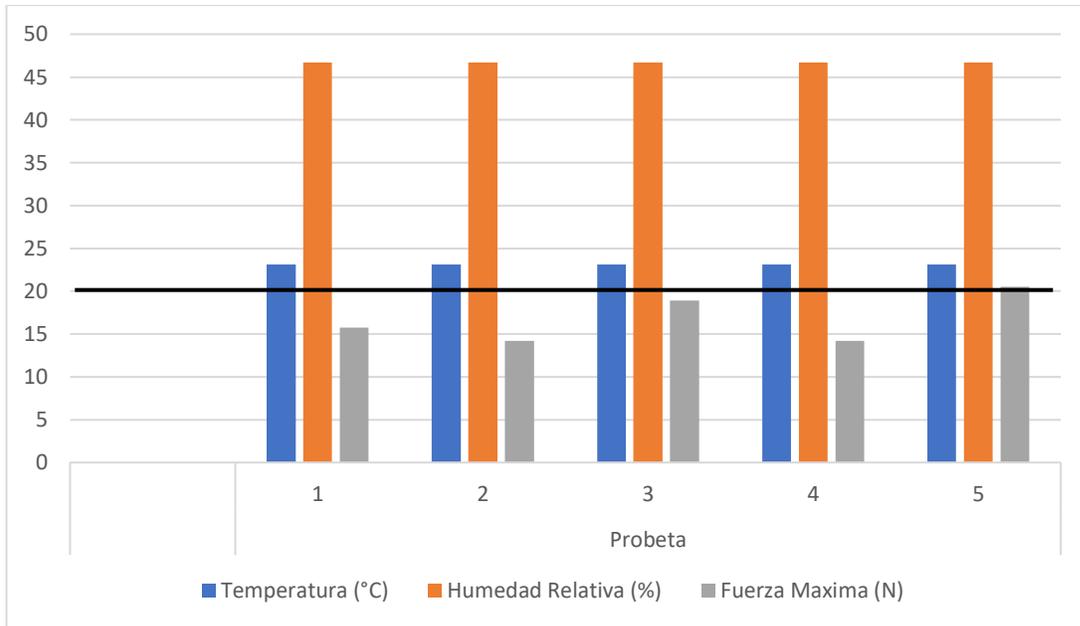
Probetas	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad calculado (MPa)	% Elongación (Calculado)
			Ancho	Espesor				
1	23.1	46.7	19.59	2.5	15.78	0.32	0.14	225.43
2	23.1	46.7	19.86	2.5	14.2	0.29	0.27	105.45
3	23.1	46.7	19.47	2.5	18.93	0.39	0.13	296.25
4	23.1	46.7	19.91	2.5	14.2	0.29	0.18	159.33
5	23.1	46.7	20.91	2.5	20.51	0.39	0.12	339.73
			Promedio		16.724	0.335	0.168	225.239
			Desviación estándar		2.865	0.053	0.062	95.972

$F_{cal} < F_{tab}$ : Ho

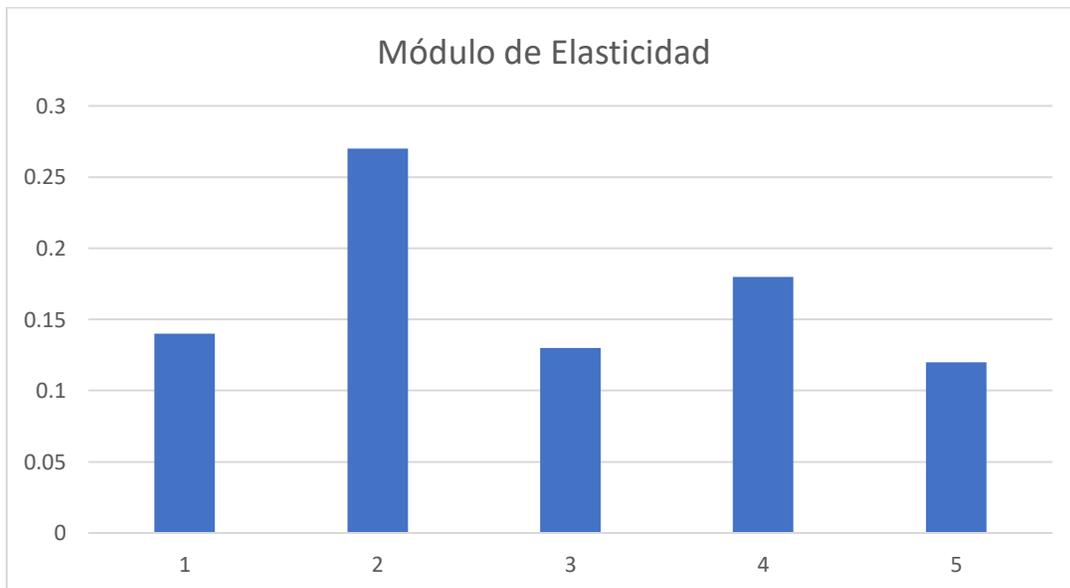
$F_{cal} > F_{tab}$ : Hi

En el ensayo de tracción aplicado a las 5 probetas con un espesor de 2.5 (e3) muestra una desviación estándar de 2.865 por lo que  $F_{cal}$  es: 1.1954 y el  $F_{tab}$  es: 7.146 (ver Anexo C) por lo que se acepta la hipótesis nula los valores obtenidos de fuerza están dentro de los parámetros establecidos por la empresa.

En la Figura 40, se muestra los valores obtenidos de cada probeta plástica donde se toma como referencia la fuerza máxima que es 20 N, los valores se encuentran dentro del rango de aceptación establecido por la empresa; la Figura 41 representa el módulo de elasticidad calculado para cada probeta plástica, como se observa en la imagen no existe una gran variación entre los valores como lo muestra la probeta 1, 3 y 5, en cambio las probetas 2 y 4 tiene la misma fuerza máxima pero difieren en sus módulos de elasticidad.



**Figura 40. Análisis comparativo entre resultados del ensayo para e3 y criterio de aceptación**



**Figura 41. Análisis de módulo de elasticidad para e3**

#### 4.6.6. Resultados del Ensayo WVTR ASTM E-96

**Tabla 32.**

*Resultados ensayo WVTR*

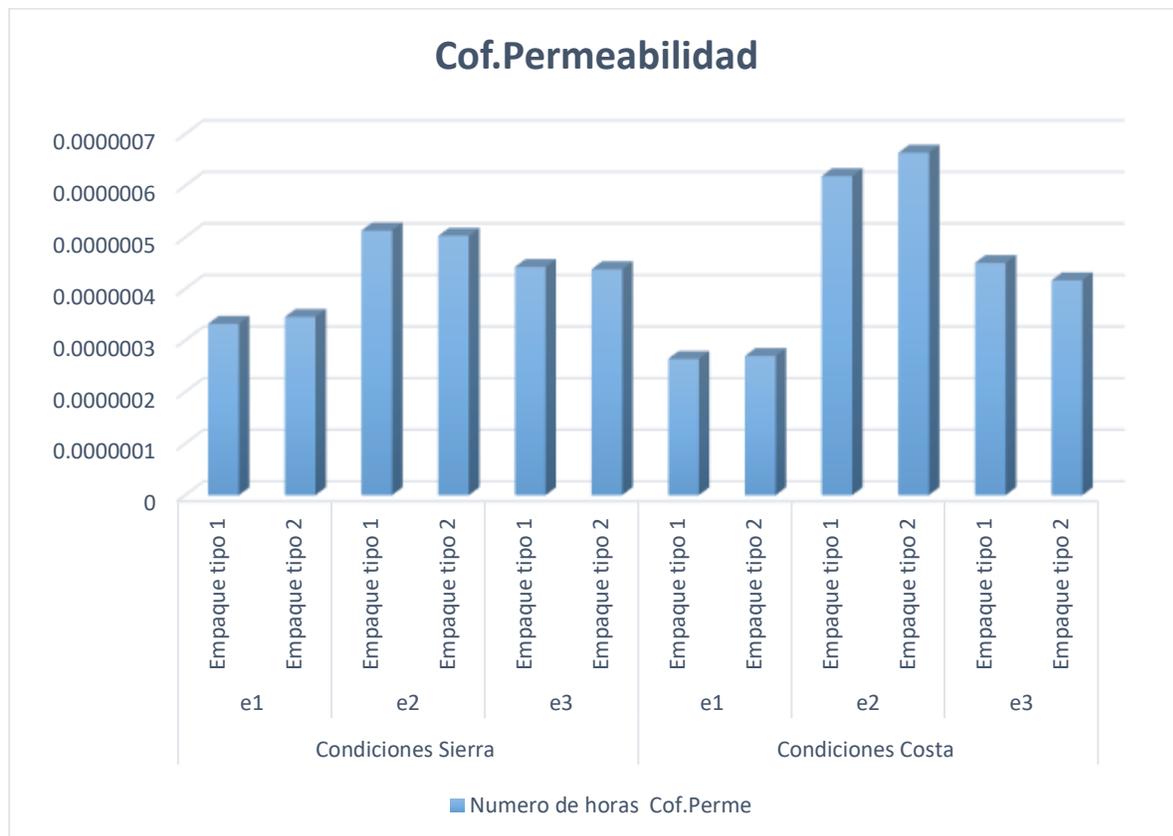
		Área de transferencia (cm <sup>2</sup> )	Número de horas							WVTR	Cof.Perme
			15	30	45	60	75	Q/t			
Condiciones Sierra	e1	Empaque tipo 1	193.83	0.0027	0.0168	0.026	0.0297	0.0448	0.0006	3.0955E-06	3.32E-07
		Empaque tipo 2	186.24	0.0029	0.0145	0.0223	0.0281	0.0425	0.0006	3.2216E-06	3.46E-07
	e2	Empaque tipo 1	188.16	0.0052	0.0222	0.0317	0.0423	0.0645	0.0009	4.7832E-06	5.13E-07
		Empaque tipo 2	192.08	0.0034	0.0251	0.0305	0.044	0.0596	0.0009	4.6855E-06	5.03E-07
	e3	Empaque tipo 1	194.04	0.0023	0.0275	0.0308	0.0429	0.0541	0.0008	4.1229E-06	4.42E-07
		Empaque tipo 2	196	0.0065	0.0233	0.0331	0.0422	0.0566	0.0008	4.0816E-06	4.38E-07
Condiciones Costa	e1	Empaque tipo 1	199.98	0.0007	0.0266	0.0352	0.04031	0.0761	0.0011	5.5006E-06	2.64E-07
		Empaque tipo 2	196	0.0006	0.0254	0.0382	0.0436	0.0697	0.0011	5.6122E-06	2.7E-07
	e2	Empaque tipo 1	202	0.0017	0.0315	0.0795	0.1114	0.155	0.0026	1.2871E-05	6.18E-07
		Empaque tipo 2	188.16	0.0013	0.0287	0.0678	0.133	0.1467	0.0026	1.3818E-05	6.64E-07
	e3	Empaque tipo 1	192.08	0.015	0.059	0.0714	0.0913	0.1367	0.0018	9.3711E-06	4.5E-07
		Empaque tipo 2	196	0.021	0.049	0.0656	0.085	0.128	0.0017	8.6735E-06	4.17E-07

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

En el ensayo de transmisión de vapor de agua (WVTR - Water Vapor Transmission Rate) muestra los valores obtenidos tanto para condiciones de la Sierra y condiciones de la Costa, por lo existen dos  $F_{cal}$ : 9.3200 y 20.8130 respectivamente y el  $F_{tab}$  es: 39.30 (ver Anexo C) por lo que se acepta la hipótesis nula los valores obtenidos están dentro de los parámetros establecidos por la empresa según el uso de cada empaque.

En la Figura 42, se muestra los valores del coeficiente de permeabilidad para cada empaque a distintas condiciones; los empaques que están en las condiciones de la región Costa han tenido un aumento en el coeficiente de permeabilidad debido a que existe un aumento en la tasa de transmisión de vapor de agua.



**Figura 42. Análisis del coeficiente de permeabilidad para condiciones de Sierra y Costa**

#### 4.6.7. Resultados de Ensayo Coeficiente de Fricción ASTM D-1894

Las Tablas 33, 34 y 35 muestran los resultados finales del ensayo para el cálculo del coeficiente de fricción, para esta prueba se ocuparon solo 3 pesos de 2, 4 y 6 Kg.

**Tabla 33.**

*Resultados coeficiente de fricción para e1*

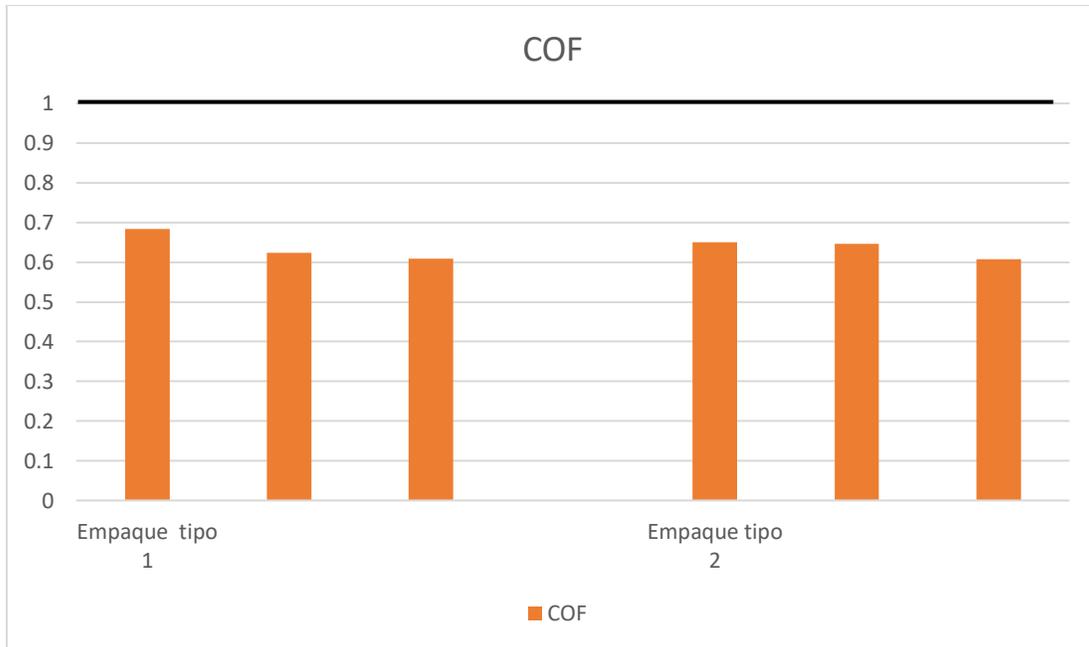
Tipo	Pesos (Kg)	COF	desv
<b>Empaque tipo 1</b>	2	0.684	0.03968627
	4	0.624	
	6	0.609	
<b>Empaque tipo 2</b>	2	0.651	0.02433105
	4	0.647	
	6	0.607	

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

El  $F_{cal}$  para e1 es: 3.4019 y 5.5487 respectivamente para cada empaque y el  $F_{tab}$  es: 15.44 (ver Anexo C) por lo que se acepta la hipótesis nula los valores obtenidos están dentro de los parámetros establecidos por la empresa.

La Figura 43, muestra que los coeficientes de fricción se encuentran dentro del criterio de aceptación propuesto por la empresa.



**Figura 43. Análisis del coeficiente de fricción para el**

**Tabla 34.**

*Resultados coeficiente de fricción para e2*

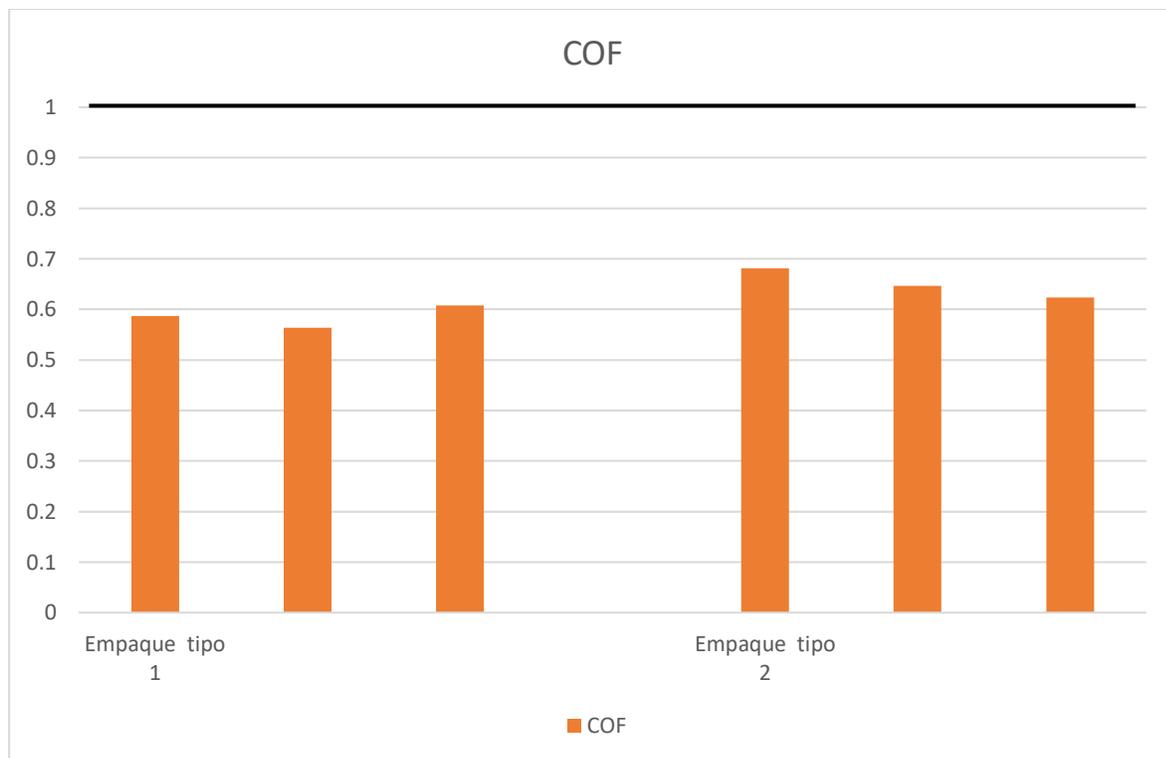
Tipo	Pesos (Kg)	COF	desv
<b>Empaque tipo 1</b>	2	0.587	0.02200757
	4	0.564	
	6	0.608	
<b>Empaque tipo 2</b>	2	0.681	0.02914332
	4	0.647	
	6	0.623	

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

El  $F_{cal}$  para  $e_1$  es: 6.1363 y 4.632 respectivamente para cada empaque y el  $F_{tab}$  es: 15.44 (ver Anexo C) por lo que se acepta la hipótesis nula los valores obtenidos están dentro de los parámetros establecidos por la empresa.

La Figura 44, muestra que los coeficientes de fricción se encuentran dentro del criterio de aceptación propuesto por la empresa.



**Figura 44. Análisis del coeficiente de fricción para  $e_2$**

**Tabla 35.***Resultados coeficiente de fricción para e3*

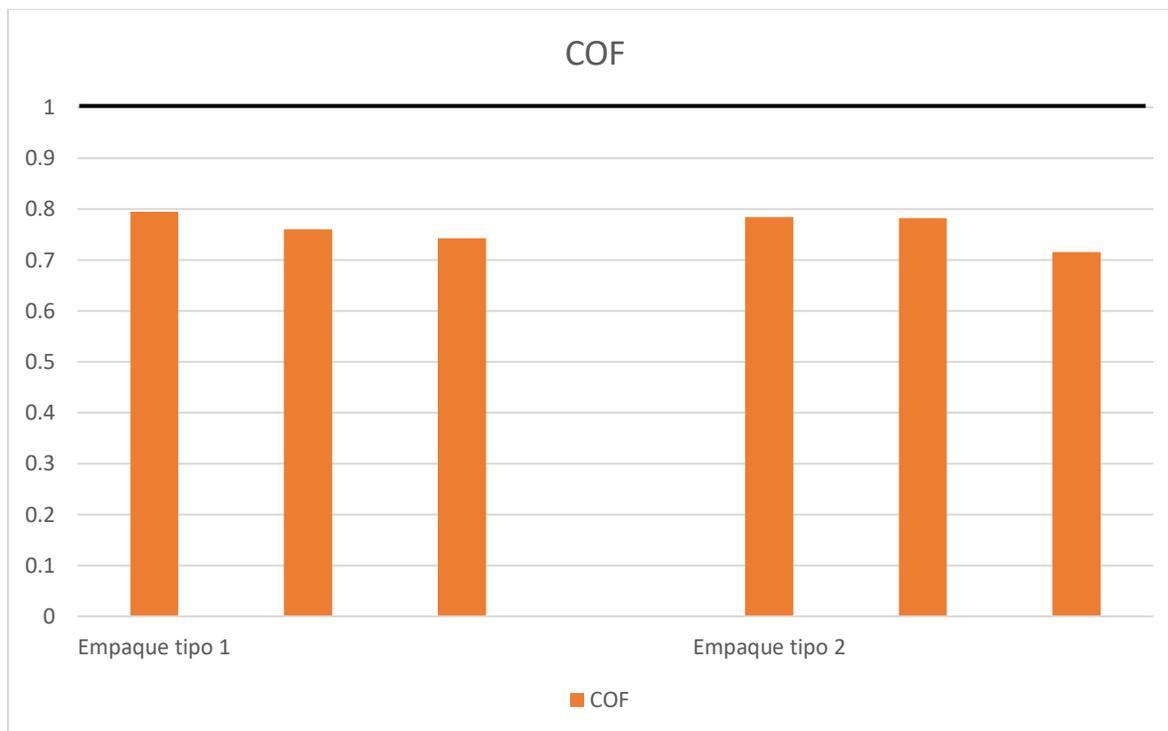
<b>Tipo</b>	<b>Pesos (gr)</b>	<b>COF</b>	<b>desv</b>
<b>Empaque tipo 1</b>	2	0.795	0.02640707
	4	0.761	
	6	0.743	
<b>Empaque tipo 2</b>	2	0.784	0.03869539
	4	0.782	
	6	0.716	

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

El  $F_{cal}$  para e1 es: 5.1136 y 3.4892 respectivamente para cada empaque y el  $F_{tab}$  es: 15.44 (ver Anexo C) por lo que se acepta la hipótesis nula los valores obtenidos están dentro de los parámetros establecidos por la empresa.

La Figura 45, muestra que los coeficientes de fricción se encuentran dentro del criterio de aceptación propuesto por la empresa, para e3 los valores del coeficiente de fricción son más altos debido a la composición de la película plástica ya que posee un porcentaje mayor de polietileno de alta densidad.



**Figura 45. Análisis del coeficiente de fricción para e3**

#### **4.6.8. Ensayo de Migración Norma NTC 5023**

La tabla 36, muestra el tiempo y el resultado del ensayo de migración global los valores de migración se encuentran en mg/ dm<sup>2</sup>, en este ensayo se realizó un estudio de un nuevo tipo de empaque al vacío dentro del cuadro de resultados tendrá el símbolo de (e1), los empaques e2, e3 y e4 son los tipos de empaques previamente estudiados.

**Tabla 36.***Resultados prueba de migración global*

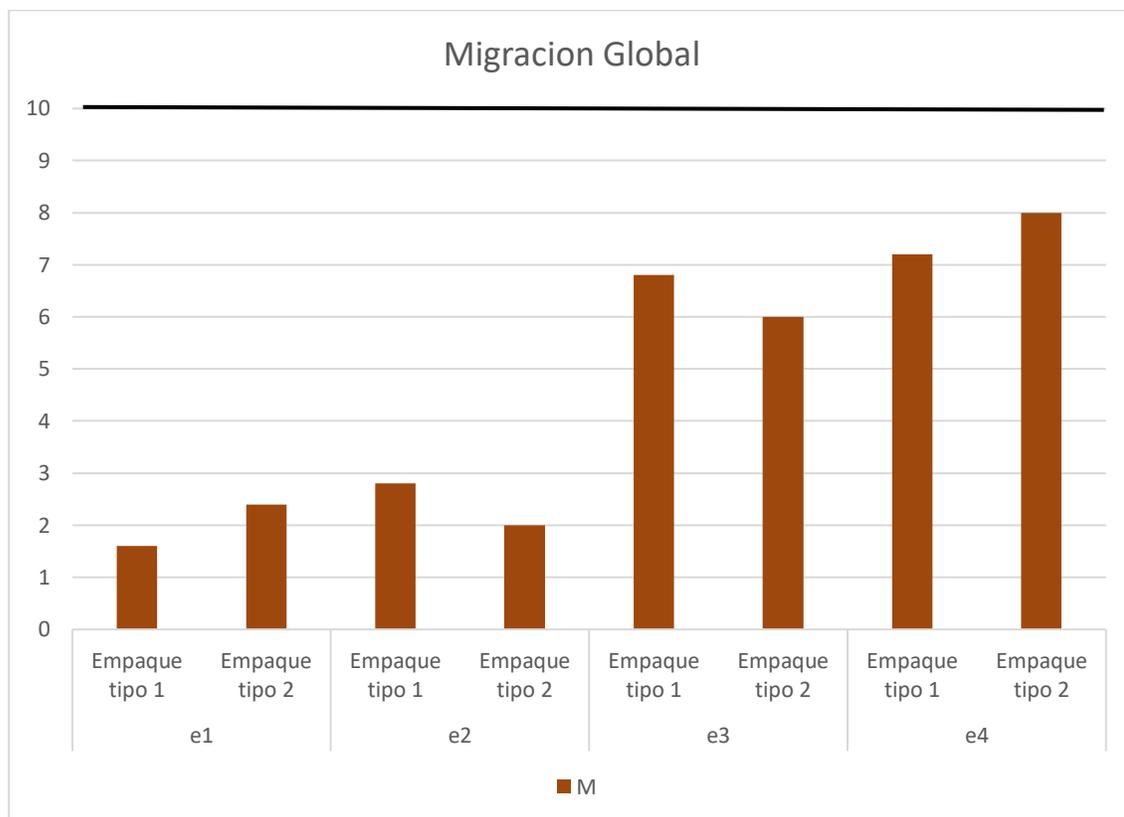
	Tipo	Tiempo						m	M
		0,00	30 minutos	1 hora	1 hora y 30 min	2 horas	2 horas y 30 min		
<b>e1</b>	Empaque tipo 1	113.9800	113.9800	113.9802	113.9803	113.9805	113.9804	0.0004	1.6
	Empaque tipo 2	113.9800	113.9801	113.9802	113.9804	113.9805	113.9806	0.0006	2.4
<b>e2</b>	Empaque tipo 1	113.9861	113.9863	113.9865	113.9866	113.9866	113.9868	0.0007	2.8
	Empaque tipo 2	113.9861	113.9862	113.9862	113.9864	113.9864	113.9866	0.0005	2
<b>e3</b>	Empaque tipo 1	113.9802	113.9802	113.9803	113.9805	113.9810	113.9819	0.0017	6.8
	Empaque tipo 2	113.9802	113.9802	113.9806	113.9810	113.9812	113.9817	0.0015	6
<b>e4</b>	Empaque tipo 1	113.9800	113.9802	113.9806	113.9813	113.9814	113.9818	0.0018	7.2
	Empaque tipo 2	113.9800	113.9805	113.9809	113.9810	113.9813	113.9820	0.002	8

$F_{cal} < F_{tab}$ :  $H_0$

$F_{cal} > F_{tab}$ :  $H_1$

El  $F_{cal}$  es: 1.2080 y el  $F_{tab}$  es: 5.988 (ver Anexo C) por lo que se acepta la hipótesis nula los valores obtenidos están dentro de los parámetros establecidos por la empresa.

La Figura 46, muestra que los valores de migración en los empaques plásticos, como se observa en el gráfico los empaques e4 tiene un valor alto de migración al igual que los empaques e3, pero aun así están dentro de criterio establecido por la empresa que es de 10mg/dm<sup>2</sup>.



**Figura 46. Análisis de datos de migración global y el criterio de la empresa**

**Tabla 37.***Resultado Test chi-cuadrado*

<b>oj</b>	<b>ej</b>	<b>oj-ej</b>	<b>(oj-ej)<sup>2</sup></b>	<b>(oj-ej)<sup>2</sup>/ej</b>
<b>1.6</b>	1	0.6	0.36	0.36
<b>2.4</b>	1	1.4	1.96	1.96
<b>2.8</b>	1	1.8	3.24	3.24
<b>2</b>	1	1	1	1
<b>6.8</b>	1	5.8	33.64	33.64
<b>6</b>	1	5	25	25
<b>7.2</b>	1	6.2	38.44	38.44
<b>8</b>	1	7	49	49
			suma	152.64

El nivel que presenta la tabla de valores para la distribución del test chi-cuadrado, para 7 grados de libertad es de 14.07 (ver Anexo D).

En esta prueba la hipótesis nula muestra que los materiales poliméricos cumplen con la norma NTC 5023 y la hipótesis alterna muestra que por lo menos uno de los materiales poliméricos no cumple con la norma NTC5023.

La tabla 37, muestra que el test chi-cuadrado es de 164,34, lo cual indica que su nivel se encuentra por fuera del intervalo ya mencionado para 7 grados de libertad, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

#### 4.7. Cumplimiento de parámetros de calidad establecidos por la empresa Eduplastic

**Tabla 38.**

*Parámetros de calidad de la empresa Eduplastic*

OPERACIÓN DE EXTRUSIÓN							
ENSAYO	RANGO DE ACEPTACIÓN	e1		e2		e3	
		Empaque tipo 1	Empaque tipo 2	Empaque tipo 1	Empaque tipo 2	Empaque tipo 1	Empaque tipo 2
Prueba de tracción	(5-20) N	√	√	√	√	x	x
Prueba de impacto	(50- 300) Kg	√	√	√	√	√	√
Ensayo wvtr	(9.075E <sup>-07</sup> - 1.00E-02) g/h-cm <sup>2</sup>	√	√	√	√	√	√
Coefficiente de fricción	(0-1)	√	√	√	√	√	√
Tratamiento corona	38 dinas	√	√	√	√	√	√
OPERACIÓN DE IMPRESIÓN							
ENSAYO	RANGO DE ACEPTACIÓN	e1		e2		e3	
		Empaque tipo 1	Empaque tipo 2	Empaque tipo 1	Empaque tipo 2	Empaque tipo 1	Empaque tipo 2
Prueba de migración global	max 10 mg/dm <sup>2</sup>	√	√	√	√	x	x
Pruebas ópticas	(min.73-max 3.5) %	√	√	x	x	√	√
Mezcla de solventes	25"-30" zh#2 (25°C)	√	√	√	√	√	√

#### **4.7.1. Discusión de resultados.**

El análisis estadístico permite la comparación de desviaciones estándares para dos muestras, en los valores obtenidos por los ensayos y las consignas establecidas por la empresa y las normas ASTM., donde se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) si no existe diferencia significativa y sobre todo que cumpla con las consignas de la empresa Eduplastic, o en tal caso aceptar la hipótesis alternativa si existe diferencia significativa entre las mediciones obtenidas, estos análisis permitirán seleccionar que empaques cumplen con las consignas de la empresa Eduplastic.

Los resultados obtenidos en la prueba de mezcla de solventes (Tabla 26) muestran los segundos Zahn finales al mezclar la tinta virgen y los mililitros de solvente, como se muestra en la Gráfica 7, la viscosidad difiere del tipo de tinta que se trabaje. Pero los segundos Zahn están dentro del rango de aceptación entre 25-30 segundos Zahn.

En la prueba óptica de brillo se realizaron cuatro pruebas con un brillómetro para determinar el porcentaje de brillo de cada empaque plástico (Tabla 27) se observó que la hipótesis alternativa fue aceptada para los empaques con un espesor de 2 mm ( $e_2$ ) pero ciertos valores obtenidos en la prueba se aceptan debido a que están dentro del rango de aceptación que es de  $\geq 60\%$ , mientras que los empaques con espesor de 1.3mm y 2.5mm están dentro de los rangos de aceptación.

La Figura 35, muestra los pesos de falla por impacto, como se observa en el gráfico los empaques con un espesor de 2.5mm tienen una mayor resistencia al impacto soportando un peso de 160 gr, este tipo de empaques son ocupados para almacenar resinas para construcción, este análisis permite demostrar que las formulaciones de este tipo de empaques son óptimas.

De los resultados obtenidos en los ensayos de tracción (Tabla 29, 30 y 31) se observó que los módulos de elasticidad en cada prueba difieren uno del otro exceptuando los empaques con un espesor de 2mm sus módulos de elasticidad no poseen una gran diferencia. Este es un parámetro característico de cada material, mientras más grande sea el módulo de elasticidad más rígido es un material, como muestran las Figuras 37,39 y 41, los módulos no superan la unidad por lo que están comportándose como un material plástico, la diferencia entre sus módulos depende de la composición de cada empaque como de su espesor.

Las tablas 33,34 y 35 muestran que la mayoría de los empaques poseen coeficientes de fricción aceptables de acuerdo a los criterios de aceptación de la empresa, esto permite determinar que existe un bajo rozamiento, esto permite que la lámina y los empaques plásticos puedan deslizarse fácilmente sobre otras capas de material plástico o sobre algún metal.

La prueba de transmisión de vapor permitió determinar que los empaques no se resecan por efecto de cambios ambientales, como se observa en el Grafico 42, los empaques con un espesor de 2mm (e2) son los que poseen los más altos valores de permeabilidad, esto significa que estos tipos de empaques son más susceptibles a los cambios ambientales influenciando en la transferencia de agua y afectando la composición del material que será sellado en ese tipo de empaque.

En el ensayo de migración global demuestra que el nuevo empaque al vacío (e1) como se muestra en la tabla 36, es el que posee una menor transferencia de sustancias, esto es importante debido al uso que tiene este tipo de empaques, lo mismo sucede con los empaques que poseen un espesor 1.3mm (e2). Los empaques con un espesor de 2 y 2.5 mm poseen valores altos de migración, pero estos están dentro de los parámetros establecidos tanto por la norma como por la empresa, estos empaques son ocupados para almacena productos no comestibles por tal razón es aceptable su nivel de migración.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- Mediante la prueba de tratamiento corona se permitió conocer que cada película plástica está siendo tratada, esto permite que una adhesión de las tintas en la superficie de cada empaque. Se demostró que el plumón de 38 dinas es el adecuado para el uso dentro de la empresa Eduplastic.
- Para evitar el desprendimiento de la tinta de los empaques plásticos, se determinó que la mejor relación de mezcla entre el propileno y el acetileno es de 75% y 25% respectivamente, esto permitirá un secado rápido de la tinta en la línea de impresión flexográfica. Conjuntamente se determinó que la relación de mezcla entre tinta y

solvente sea de 80% y 20% respectivamente, este porcentaje se ajusta con la consigna de la empresa de obtener una viscosidad de 25-30 segundos Zahn.

- La determinación del porcentaje de brillo en los empaques plásticos permite conocer si las proporciones de mezcla son correctas, la empresa al considerar que un 60% de brillo como valor máximo en los empaques plásticos permite conocer que el porcentaje de mezcla del polietileno lineal es el correcto. Esto se debe a que este material da la característica de brillo dentro de la composición de empaques plásticos.
- La prueba de resistencia al impacto permitió conocer que los empaques con un espesor de 1.3mm (e1) y 2mm (e2), poseen una resistencia al peso por fallo de 50 a 120 gr, mientras que los empaques con un espesor de 2.5mm (e3) cuentan con una capacidad de soportar un peso de falla 100 160 gr. Esto se debe a la composición de cada empaque plástico, los empaques con espesor e3 poseen un porcentaje mayor de polietileno de alta densidad, este le da la característica de resistencia al empaque. Los empaques e1 y e2 poseen mayor porcentaje de polietileno de baja densidad lineal.
- El ensayo de tracción es uno de los más importantes dentro del estudio de películas plásticas, en el ensayo se debe tomar en cuenta el módulo de elasticidad y la fuerza máxima de ruptura. Las tablas 29,30 y 31 muestran los valores obtenidos en cada ensayo, debido a que estos empaques plásticos están formados por distintos porcentajes de polietileno de baja densidad lineal, general y polietileno de alta densidad no se encuentra un punto de comparación en sus módulos de elasticidad debido a que es un parámetro característico de cada material; pero según la teoría si el módulo de elasticidad es alto el material es rígido, mientras que si el módulo de elasticidad es bajo el material es plástico. En el anexo D se observa los diagramas de tensión de las probetas plásticas, demostrando su deformación ante una tensión aplicada.

Dentro del ensayo de tracción de determino que la fuerza máxima de ruptura es de 20 N en los empaques plásticos y su porcentaje de elongación no supera el 300%, cumpliendo con las consignas de la empresa.

- El estudio permitió determinar que las películas plásticas poseen coeficiente de fricción que no superan la unidad, esto permite un rápido movimiento entre capas y entre los cyreles, favoreciendo a la línea de impresión flexográfica.
- Mediante los ensayos de transmisión de vapor y migración global, se determinó que las composiciones de los empaques con un espesor de 2mm (e2) están fallando, debido a que en las dos pruebas tuvieron un alto valor de migración de sustancias; el residuo obtenido en ambas pruebas es tinta, por lo que existe una falla en la composición de los empaques o la mezcla de tintas. El valor máximo de migración global que debe tener un empaque es de 10 mg/dm<sup>2</sup>, si se trabaja con alimentos la migración no debe superar más de 2 mg/dm<sup>2</sup>.
- Los análisis estadísticos permitieron determinar que los empaques pasaron las distintas pruebas con un nivel de confianza del 95% a excepción de ciertos casos como se observa en la tabla 38.
- Se concluye que los empaques con espesor 1.3mm (e1), poseen una mejor composición de polietileno de lineal y general, la relación de soplado (z) favorece a sus propiedades (tabla 24), este tipo de empaques están aptos para el uso en alimentos.
- Los ensayos de tracción y migración global son los de mayor importancia dentro de la fabricación de películas plásticas, debido a que están relacionados con su composición.
- Los empaques e2 y e3 deben cambiar su composición adicionando material aglutinado permitiendo disminuir sus valores de transmisión de vapor y migración global, además mejora la resistencia del material.
- 

## **5.2. Recomendaciones**

- Realizar los ensayos mecánicos sobre las películas justo en el proceso de extrusión para poder determinar si la película plástica cumple con los requisitos establecidos por la empresa.

- En el caso del ensayo de migración, se debe realizar un ensayo más a fondo utilizando un equipo de cromatografía el cual permita realizar una determinación específica de las sustancias que migran.
- Realizar un registro de control de calidad, donde se muestren los valores obtenidos en los ensayos y las fallas obtenidas, para su pronta corrección.
- Establecer un procedimiento estándar para el aseguramiento de la calidad de las películas y los empaques.
- Una propuesta para un proyecto de investigación sería la determinación de la calidad de la materia prima que llega a la empresa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### ARTÍCULOS CIENTÍFICOS.

- Dilara, P., Briassoulis, D. (1997). Standard Testing Methods of Mechanical Properties and Degradation of Low Density Polyethylene (LDPE) Films used as Greenhouse Covering Materials: a Critical Evaluation.
- Frados, J. (1976). *Plastics Engineering Handbook*. New York: Society of Plastics Industry Inc.
- Omais, B., Courtiade, M., Charon, N., Rouillet, C., Ponthus, J., & Thiébaud, D. (2012). Using gas chromatography to characterize a direct coal liquefaction naphtha. *Journal of Chromatography A*, 1226, 61-70.
- Lanauze, J., Myers, D.(1990). Ink adhesion on corona-treated polyethylene studied by chemical derivatization of surface functional groups. *Journal of Applied Polymer Science*. 40,595-611.
- Rennert, M., Nase, M., Lach, R., Reincke, K., Arndt, S., Androsch, R., Grellmann, W. (2013). Influence of low-density polyethylene blown film thickness on the mechanical properties and fracture toughness.
- Yury, V. (2008). Dart impact testing of polyethylene film: mechanical interpretation and model. *Journals Macromolecular*, 293,66-77.

### TESIS.

- Bonilla, A. (2014). *Fabricación de láminas de polietileno de baja densidad para empaques de alimentos cárnicos*. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Bravo, A. (2007). *Evaluación de polietileno de alta densidad reciclados para aplicaciones en mobiliario urbano*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Godoy, D. (2007). *Análisis de películas utilizadas en invernadero*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador.

- Gómez, O. (2015). Caracterización mediante pruebas de tensión, relajación de esfuerzos y tenacidad del UHMWPE. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F, México.
- Kannan, A. (2015). Structure property relationships in polyethylene blown films. Georgia Institute of Technology. Georgia, United States of America.
- Machado, J. (2017). Optimización del proceso de extrusión y sellado películas de mezclas de poliolefinas. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- Reyes, A. (2012). Obtención de los parámetros de sellado de un empaque resellable. Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, México.
- Santaella, D. (2012). Estudio de la Deformabilidad a tracción de películas plásticas: Norma ASTM D638 vs. ASTM D882. Universidad Simón Bolívar. Sartanejas, Venezuela.
- Velasco, A. (2013). Análisis de las propiedades mecánicas del polietileno reprocesado. Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, México.

#### LIBRO

- ASTM D1709. Standard test methods for impact resistance of plastic film by the free-falling dart method. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.1991.p.378.
- ASTM D. 1922. Standard Test Method for Propagation Tear Resistance of Plastic Film and Thin Sheeting by Pendulum Method. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.1994. p.497.
- ASTM D1709. Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.1991. p.378.

- ASTM D1894. Standard Test Method for Static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Film and Sheeting. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.1993. p.439.
- ASTM D1003. Standard Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.1992. p.258.
- ASTM D2457. Standard Test Method for Specular Gloss of Plastic Films and Solid Plastics. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.1992. p.220.
- ASTM F88. Standard Test Method for Specular Gloss of Plastic Films and Solid Plastics. Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.1992. p.68.
- ASTM D882. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.1993. p.59.
- MILLER, J.C. y MILLER, J.N. Estadística para Química Analítica, Segunda edición, Editorial Addison – Wesley Iberoamericana, Wilmington. 1998. pp. 40-44.
- SKOOG-HOLLER-NIEMAN, Principios de Análisis Instrumental, Quinta edición 2001, Mc Graw Hill, p. 731.
- YOUNG, R and LOVELL A. Introduction to Polymers, Tercera edición, Editorial Taylor y Francis Group, FL.2011. pp. 18-20.

#### PAGINAS DE INTERNET

- Ariestegui. (Recuperado el 6 de Agosto de 2015). Obtenido de <https://www.aristegui.info/usos-y-ventajas-del-hdpe/>
- Francisco, A. (2015). Universidad Anahuac. Recuperado el 25 de Marzo de 2018, de <http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ciencia-de-los-materiales-y-metalurgia/ciencia-de-los-polimeros/tema-2.-polimeros-termoplasticos-y-termoestables>

- plastiductos. (2014). Recuperado el 10 de julio 2018 Obtenido de <http://plastiductos.com.mx/specs/tabla-de-resistencias-mecanicas.pdf>
- Salamanca. (2009). Universidad de Salamanca. Recuperado el 01 de Marzo de 2018, de <tp://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/materiales-ii/materiales-de-clase/plasticos.pdf>.
- tecnologia de plasticos. (Recuperado el 1 de Junio de 2011). Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-baja-densidad.html>
- texto científico. (Recuperado el 15 de Agosto de 2005). Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno>
- Universidad de Barcelona. (2015). Recuperado el 30 de agosto de 2018 Obtenido de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polietileno-de-baja-densidad>
- Valle, V. (2011). Recuperado el 12 de septiembre de 2018 Obtenido de <https://es.scribd.com/document/245274277/Que-Son-Los-Polimeros-Termoplasticos>

# ANEXOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

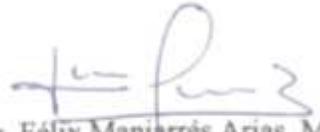
**CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por el estudiante, **ISRAEL ALFONSO PRIETO SILVA**. En la ciudad de Latacunga a los doce días del mes de septiembre del año dos mil dieciocho.

Aprobado por:

Latacunga, 12 de septiembre del 2018

  
Ing. Félix Manjarrés Arias, Mtr

**DIRECTOR DEL PROYECTO**



  
Ph.D Román Rodríguez

**DIRECTOR DE LA CARRERA**



  
Dr. Santiago Alban Y.

**SECRETARIO ACADEMICO**