

**EVALUACIÓN DE ADITIVOS EN EL PROCESO EXTRUSIÓN-SOPLADO DE
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD POS-CONSUMO, EN LA EMPRESA
COLFOPLAS S.A.**

**CRISTIAN GONZALO CORTES ZABALA
CHRISTIAN AUGUSTO RAMÍREZ ALFONSO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2017**

**EVALUACIÓN DE ADITIVOS EN EL PROCESO EXTRUSIÓN-SOPLADO DE
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD POS-CONSUMO, EN LA EMPRESA
COLFOPLAS S.A.**

**CRISTIAN GONZALO CORTES ZABALA
CHRISTIAN AUGUSTO RAMÍREZ ALFONSO**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
ANGÉLICA DEL PILAR BAQUERO FRANCO
Ingeniera Química**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2017**

Nota de aceptación

ING. ELIZABETH TORRES

ING. JAIME ARTURO CALVACHE

ING. EDUBIEL SALCEDO

Bogotá, 16 de Agosto de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humano

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano de Facultad de Ingeniería:

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

I. Q. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

DEDICATORIA

Primero que todo al Todo Poderoso, ya que él me ha dado la oportunidad y la bendición de cumplir con esta gran meta.

A mi madre Yolanda Zabala Triana, quien me ha guiado, protegido y ayudado cuando más lo he necesitado ya que ella es mi vida entera, todo se lo debo a ella.

A mi padre Cesar Augusto Orozco Sanabria, por estar durante toda mi vida a mi lado enseñando y apoyándome para ser la persona que soy hoy.

A mi abuelo Álvaro Orozco, que en paz descansa, que nunca me crítico y siempre me apoyo. Nunca te olvidaré mi querido viejito.

A mí amada Johana Marcela Mosquera Castillo, que ha estado al lado mío en esta travesía y se ha convertido en parte fundamental en mi vida.

A mi amigo y compañero de tesis Christian Augusto Ramírez Alfonso, por el tiempo, ánimo y dedicación.

Y a todos mis familiares y compañeros que han estado presentes en la realización de este proyecto y que fueron parte fundamental para su culminación.

Cristian Gonzalo Cortes Zabala

Este trabajo va dedicado a mis padres Erika Dayanny Alfonso Quevedo y Jairo Humberto Ramírez Martínez. que con su apoyo incondicional y su gran amor estuvieron a mi lado desde el comienzo de mi carrera hasta convertirme en profesional. Los amo.

A mis hermanitos que los adoro y daría la vida por ellos, Geraldine lucia Ramírez Alfonso, Jairo Eduardo Ramírez Alfonso, Allison Julieth Ramírez Alfonso, que han sido y siempre serán mi motor de vida.

A mis abuelos maternos y paternos, que siempre me apoyaron las situaciones difíciles y que hoy son gran causa de mi éxito.

A mis tíos Yolanda Ramírez Martínez y José Víctor Chávez, que estuvieron compartiendo conmigo a lo largo de toda mi carrera. Y fueron testigos de la dedicación y empeño para sacar mi carrera adelante

A mi novia Julieth Alejandra Ortiz Caicedo, quien ha sido mi compañera sentimental y un gran apoyo en los momentos difíciles. Te amo mucho.

A mi amigo y compañero de tesis Cristian Gonzalo Cortes Zabala, que con su tolerancia, paciencia y esfuerzo logramos esta gran meta.

A mi familia y amigos, por el apoyo recibido a lo largo del desarrollo del proyecto.

Christian Augusto Ramírez Alfonso

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto de grado quieren manifestar su agradecimiento a:

Ante todo, le agradecemos a Dios Todo Poderoso por brindarnos todas las bendiciones que se nos dieron a lo largo del trabajo de grado y en el transcurso de la carrera. Además, por darnos la sabiduría, tolerancia, inteligencia, fuerzas y ánimo para seguir adelante en los momentos difíciles y las herramientas necesarias para culminar este proyecto.

Este proyecto de grado se lo dedicamos a nuestros padres y familiares, que estuvieron presente desde el inicio de esta hermosa aventura, hasta este punto crucial de nuestra carrera y aún más de nuestras vidas. Gracias por inculcarnos todos los valores necesarios como lo fueron el respeto, honestidad, responsabilidad y sobre todo amor por el estudio, los cuales fueron nuestras bases para alcanzar esta meta.

A nuestra asesora Elizabeth Torres, por guiarnos en la creación de este proyecto, la cual nos corrigió para lograr los objetivos del presente trabajo de grado.

A Don Manuel Baquero por permitirnos realizar el presente proyecto en la empresa COLFOPLAS S.A y brindarnos el apoyo técnico financiero para desarrollar este proyecto.

A la Ingeniera Química directora de este proyecto Angélica del Pilar Baquero Franco por apoyarnos y guiarnos en cada etapa de la experimentación y redacción de este proyecto de grado.

A cada uno de los operarios tanto del departamento de producción, como del departamento de calidad que nos brindaron su ayuda y colaboración.

A la Universidad Santo Tomas de la ciudad de Bogotá por prestarnos las instalaciones y al ingeniero mecánico Ricardo forero Rubiano supervisor de las pruebas mecánicas.

A la universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano por el alquiler de sus instalaciones y al Químico José Felipe Mendoza Abella, por brindarnos la ayuda intelectual para la realización de las pruebas ópticas.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 23 |
| OBJETIVOS | 24 |
| 1. GENERALIDADES | 25 |
| 1.1 RESEÑA HISTÓRICA | 25 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN-SOPLADO EN COLFOPLAS S.A | 25 |
| 1.2.1 Recepción de materia prima | 26 |
| 1.2.2 Pesaje y almacenamiento en bodega | 26 |
| 1.2.3 Peletizado | 26 |
| 1.2.4 Transporte de la materia prima | 27 |
| 1.2.5 Transformación de materia prima | 28 |
| 1.2.6 Control de calidad | 28 |
| 1.2.7 Empaque del producto final | 28 |
| 1.2.8 Trituración de la rebaba | 28 |
| 1.2.9 Almacenamiento | 29 |
| 1.3 INTRODUCCIÓN AL MEDIO GALÓN TRANSLUCIDO POST-CONSUMO | 31 |
| 2. MARCO REFERENCIAL | 32 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO | 32 |
| 2.1.1 Polietileno | 32 |
| 2.1.1.1 Polietileno de alta densidad (HDPE) | 32 |
| 2.1.1.2 Estructura y propiedades de polietilenos | 33 |
| 2.1.1.3 Usos y aplicaciones de Polietilenos | 34 |
| 2.1.2 Moldeo por soplado | 35 |
| 2.1.2.1 Moldeo por extrusión-soplado | 36 |
| 2.1.2.2 Extrusora | 37 |
| 2.1.2.3 Flujo de fusión | 40 |
| 2.1.3 Aditivos | 41 |
| 2.1.3.1 Aditivo brillador óptico | 41 |
| 2.1.3.2 Aditivo filler (relleno) | 42 |
| 2.1.4 Generalidades del ensayo de Tensión | 42 |
| 2.1.4.1 Comportamiento de los distintos materiales frente al ensayo de tensión | 43 |
| 2.1.4.2 La ductilidad | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.4.3 Esfuerzo ingenieril (δ) | 44 |
| 2.1.4.4 Esfuerzo real (δ_r) | 44 |
| 2.1.4.5 Deformación ingenieril (ϵ) | 45 |
| 2.1.4.6 Deformación real (ϵ_r) | 45 |
| 2.1.4.7 Diagramas esfuerzo-deformación | 45 |
| 2.1.4.8 Punto de Cedencia | 46 |
| 2.1.4.9 Módulo de Elasticidad | 47 |
| 2.1.5 Resistencia a la Tensión | 48 |
| 2.1.6 Transmitancia | 50 |
| 2.1.7 Absorbancia | 50 |
| 2.1.8 Reflectancia | 51 |
| 2.2 MARCO NORMATIVO | 51 |
| 2.2.1 Propiedades mecánicas | 51 |
| 2.2.1.1 ASTM D 638 | 51 |
| 2.2.1.2 ASTM D 4577 | 51 |
| 2.2.2 Propiedades ópticas | 52 |
| 2.2.2.1 ASTM D-1003 | 52 |
| 3. DIAGNÓSTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y ÓPTICAS DEL POLIETILENO TRANSLÚCIDO RECUPERADO SIN ADITIVOS | 53 |
| 3.1 PRE-EXPERIMENTACIÓN | 53 |
| 3.1.1 Metodología | 53 |
| 3.1.1.1 Selección de material | 54 |
| 3.1.1.2 Pesaje de la materia prima | 54 |
| 3.1.1.3 Condiciones de operación | 55 |
| 3.1.1.4 Producción por extrusión-soplado | 55 |
| 3.2 EXPERIMENTACIÓN | 57 |
| 3.2.1 Resistencia a la tensión | 59 |
| 3.2.1.1 Formación de las probetas | 59 |
| 3.2.1.2 Medición inicial de las probetas | 61 |
| 3.2.1.3 Ejecución del ensayo | 61 |
| 3.2.1.4 Medición final de las probetas | 62 |
| 3.2.1.5 Resultados del ensayo de resistencia a la tensión | 62 |
| 3.2.1.6 Análisis de resultados | 67 |
| 3.2.2 Resistencia a la compresión | 67 |
| 3.2.2.1 Preparación de los envases | 67 |
| 3.2.2.2 Ejecución del ensayo | 67 |
| 3.2.2.3 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión | 68 |
| 3.2.3 Ensayo de absorbancia | 69 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.3.1 Preparación de las muestras | 69 |
| 3.2.3.2 Ejecución del ensayo | 70 |
| 3.2.3.3 Resultados | 71 |
| 3.2.4 Ensayo de transmitancia | 72 |
| 3.2.4.1 Preparación de las muestras | 72 |
| 3.2.4.2 Ejecución del ensayo | 72 |
| 3.2.4.3 Resultados | 72 |
| 4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ADITIVOS MASTERBATCH BRILLADOR ÓPTICO Y MASTERBATCH FILLER ESPECIAL TRANSPARENTE EN POLIETILENO TRANSLÚCIDO POST-CONSUMO | 75 |
| 4.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR DE CADA ADITIVO | 75 |
| 4.1.1 Aditivo MasterBatch Brillador Óptico | 75 |
| 4.1.1.1 Pre-experimentación | 76 |
| 4.1.1.2 Análisis de la pre-experimentación | 77 |
| 4.1.2 Aditivo MasterBatch Filler Especial Transparente | 77 |
| 4.1.2.1 Pre-experimentación | 77 |
| 4.1.2.2 Análisis de la pre-experimentación | 79 |
| 4.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS | 79 |
| 4.2.1 Preparación de las dosificaciones | 80 |
| 4.2.2 Transformación de la materia prima | 80 |
| 4.2.3 Resumen de producción | 81 |
| 4.3 EXPERIMENTACIÓN | 82 |
| 4.3.1 Ensayo de Tensión | 82 |
| 4.3.1.1 Resultados del ensayo de tensión | 82 |
| 4.3.2 Ensayo de compresión | 85 |
| 4.3.2.1 Resultados de ensayo a compresión | 85 |
| 4.3.3 Ensayo de Absorbancia | 85 |
| 4.3.3.1 Resultados de ensayo de absorbancia | 86 |
| 4.3.4 Ensayo de transmitancia | 86 |
| 4.3.4.1 Resultados de ensayo de transmitancia | 86 |
| 4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 87 |
| 4.4.1 Ensayo de tensión para probetas con corte vertical | 88 |
| 4.4.2 Ensayo de tensión para probetas con corte horizontal | 90 |
| 4.4.3 Ensayo de compresión | 93 |
| 4.4.4 Ensayo de absorbancia | 97 |
| 4.4.5 Ensayo de %Transmitancia | 99 |

| | |
|---|------------|
| 5. COSTO-BENEFICIO | 102 |
| 5.1 MATERIA PRIMA | 103 |
| 5.2 VALOR HORA HOMBRE | 103 |
| 5.3 MANO DE OBRA | 104 |
| 5.4. COSTO DE ENERGÍA | 104 |
| 5.5 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN | 104 |
| 5.6 COSTO TOTAL DEL ENVASE MEDIO GALÓN | 104 |
| 5.6 COSTO TOTAL DEL ENVASE MEDIO GALÓN CON ADITIVOS | 105 |
| 5.7 ANÁLISIS DE COSTOS | 107 |
| | |
| 6. CONCLUSIONES | 110 |
| | |
| 7. RECOMENDACIONES | 111 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 112 |
| | |
| ANEXOS | 115 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Zonas de la peletizadora de COLFOPLAS S.A | 27 |
| Figura 2. Empaque de material peletizado | 27 |
| Figura 3. Tolva y extrusora de las máquina de extrusión-soplado de polietileno | 28 |
| Figura 4. Rebaba de los envases | 29 |
| Figura 5. Trituración de la rebaba | 29 |
| Figura 6. Proceso de moldeo por extrusión-soplado. | 36 |
| Figura 7. Proceso de ciclo de moldeo por soplado. | 36 |
| Figura 8. Pasos básicos de procesamiento de moldeo extrusión-soplado | 37 |
| Figura 9. Esquema de moldeo por extrusión-soplado de un solo párison. | 38 |
| Figura 10. Esquema de la acción de fusión del plástico en un extrusor que tiene dos párison. | 39 |
| Figura 11. Máquina donde se lleva a cabo la prueba de tensión. | 43 |
| Figura 12. Curvas de esfuerzo vs deformación a la tensión para diferentes materiales | 44 |
| Figura 13. Ejemplo de gráfica esfuerzo deformación (real). | 46 |
| Figura 14. Ejemplo de esfuerzo de cedencia superior e inferior | 47 |
| Figura 15. Módulo de elasticidad en curva de esfuerzo-deformación | 48 |
| Figura 16. Efecto de la densidad del polietileno sobre la rigidez (módulo de elasticidad) | 49 |
| Figura 17. Efecto de la temperatura sobre la rigidez (módulo de elasticidad) del polietileno de varias densidades | 49 |
| Figura 18. Polietileno translúcido recuperado con el mismo grado de contaminación | 54 |
| Figura 19. Pesado de polietileno | 55 |
| Figura 20. Producción de envases medio galón | 57 |
| Figura 21. Probeta tipo IV | 59 |
| Figura 22. Corte de probetas para tensión | 60 |
| Figura 23. Probetas sin aditivos | 60 |
| Figura 24. Ensayo de tensión | 61 |
| Figura 25. Ensayo de compresión a envase medio galón | 68 |
| Figura 26. Configuración del espectrofotómetro para absorbancia. | 70 |
| Figura 27. Inserción de las muestras al espectrofotómetro UV-visible | 70 |
| Figura 28. Configuración del espectrofotómetro para transmitancia. | 73 |
| Figura 29. Aditivo brillador óptico adquirido a PLASTINES LTDA | 75 |
| Figura 30. Dosificación al 2% de brillador óptico | 76 |
| Figura 31. Comparación de color con la aplicación del aditivo brillador óptico | 77 |
| Figura 32. Aditivo Filler Especial Transparente adquirido a PLASTINES LTDA | 78 |

| | |
|--|----|
| Figura 33. Dosificación 20% de Filler Especial Transparente | 78 |
| Figura 34. Translucidez de envases con Filler | 79 |
| Figura 35. Adición de aditivos filler y brillador óptico para el diseño de experimentos 3 ² . | 81 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Especificaciones de envase de medio galón | 31 |
| Tabla 2. Propiedades de PEAD, PEBD y PELBD | 34 |
| Tabla 3. Ejemplos de condiciones de temperatura en un plastificador de extrusión basado en el procesamiento de diferentes plásticos | 39 |
| Tabla 4. Ejemplos de velocidades de salida de la extrusora basada en el procesamiento de HDPE | 40 |
| Tabla 5. Condiciones de proceso para producción de envases medio galón en la máquina HESSEN | 56 |
| Tabla 6. Datos de producción de envases medio galón | 56 |
| Tabla 7. Dimensiones probeta tipo IV T<4mm | 59 |
| Tabla 8. Medidas iniciales probetas sin aditivos | 61 |
| Tabla 9. Medidas finales probetas sin aditivos | 62 |
| Tabla 10. Resumen de resultados para probeta vertical 1 sin aditivos. | 64 |
| Tabla 11. Módulo de elasticidad y esfuerzo máximo de probetas sin aditivos | 65 |
| Tabla 12. Módulos de elasticidad y esfuerzo máximo para envases medio galón sin aditivos en compresión | 69 |
| Tabla 13. Absorbancia Promedio para muestras de polietileno translúcido sin aditivos | 71 |
| Tabla 14. Absorbancia Promedio para muestras de polietileno translúcido original virgen | 72 |
| Tabla 15. % Transmitancia promedio para muestras de polietileno translucido sin aditivos | 74 |
| Tabla 16. % Transmitancia promedio para muestras de polietileno translucido original virgen | 74 |
| Tabla 17. Dosificaciones de brillador óptico | 76 |
| Tabla 18. Dosificaciones para Filler Especial transparente | 79 |
| Tabla 19. Niveles de concentración para diseño de experimentos | 80 |
| Tabla 20. Dosificaciones del diseño factorial 3 ² | 81 |
| Tabla 21. Resumen de producción para dosificaciones de diseño 3 ² | 82 |
| Tabla 22. Módulos de elasticidad de probetas verticales y horizontales sometidas a tensión, para las dosificaciones de diseño de experimentos 3 ² | 83 |
| Tabla 23. Módulos de elasticidad para los especímenes sometidos a compresión, para las dosificaciones de diseño de experimentos 3 ² | 85 |
| Tabla 24. Esfuerzos máximos para los especímenes sometidos a compresión, para todas las dosificaciones de diseño de experimentos 3 ² | 85 |
| Tabla 25. Absorbancia promedio para cada dosificación de diseño de experimento | 86 |
| Tabla 26. Promedio de %Transmitancia para cada dosificación de diseño de experimentos | 87 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 27. ANOVA para módulo de elasticidad en tensión para probetas verticales | 88 |
| Tabla 28. ANOVA para módulo de elasticidad en tensión para probetas horizontales | 90 |
| Tabla 29. ANOVA para módulo de elasticidad en compresión | 93 |
| Tabla 30. ANOVA para esfuerzo máximo en compresión | 95 |
| Tabla 31. ANOVA para absorbancia (320-400 nm) | 97 |
| Tabla 32. ANOVA para % transmitancia (400-750 nm) | 99 |
| Tabla 33. Pesos de envases 1/2 galón transparente recuperado | 103 |
| Tabla 34. Parámetros para cálculo de costo para envase de medio galón translucido sin aditivo | 104 |
| Tabla 35. Componentes principales de COLFOPLAS S.A para encontrar el valor del costo total de un envase sin aditivo | 105 |
| Tabla 36. Costos por gramo de aditivos | 105 |
| Tabla 37. Costos de materia prima por envase con aditivos | 106 |
| Tabla 38. Costo de los envases para cada formulación | 106 |
| Tabla 39. Relación de ventas de medio galón translucido recuperado | 107 |
| Tabla 40. Diferencia del costo del envase con aditivo y sin aditivo | 107 |
| Tabla 41. Relación de costos de producción de noviembre del año 2016 y abril del año 2017. Para medio galón translucido recuperado | 108 |
| Tabla 42. Costos de ventas de noviembre del año 2016 y abril del año 2017 | 108 |
| Tabla 43. Ganancias de ventas de noviembre del año 2016 y abril del año 2017 | 108 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | pág. |
|--|------|
| Gráfica 1. Esfuerzo Vs Deformación probeta V2 | 65 |
| Gráfica 2. Esfuerzo Vs Deformación probetas verticales sin aditivos | 66 |
| Gráfica 3. Esfuerzo Vs Deformación probetas horizontales sin aditivos | 66 |
| Gráfica 4. Esfuerzo vs Deformación en probeta vertical y horizontal | 67 |
| Gráfica 5. Fuerza Vs Desplazamiento en envases medio galón sin aditivos en compresión | 69 |
| Gráfica 6. Absorbancia para muestras de polietileno translúcido sin aditivos | 71 |
| Gráfica 7. % Transmitancia para muestras de polietileno translúcido sin aditivos | 73 |
| Gráfica 8. Esfuerzo vs Deformación para las probetas verticales de cada formulación | 84 |
| Gráfica 9. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico probetas verticales | 89 |
| Gráfica 10. Interacciones para módulo de elasticidad probetas verticales | 90 |
| Gráfica 11. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico probetas horizontales | 92 |
| Gráfica 13. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico módulo de elasticidad en compresión | 94 |
| Gráfica 14. Interacciones de los aditivos para módulo de elasticidad en compresión | 94 |
| Gráfica 15. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico de esfuerzo máximo en compresión | 96 |
| Gráfica 16. Interacciones de los aditivos para esfuerzo máximo en compresión | 96 |
| Gráfica 17. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico en absorbancia | 98 |
| Gráfica 18. Interacciones de los aditivos en la absorbancia | 99 |
| Gráfica 19. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico en % transmitancia | 101 |
| Gráfica 20. Interacciones de los aditivos en el % transmitancia | 101 |

LISTA DE DIAGRAMAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Diagrama 1. Proceso de extrusión-soplado en COLFOPLAS S.A | 30 |
| Diagrama 2. Metodología para la pre-experimentación sin adición de aditivos | 53 |
| Diagrama 3. Metodología de la experimentación sin adición de aditivos | 58 |

LISTA DE SIMBOLOS

σ : esfuerzo [kN/mm²] ó [N]

ε : deformación [mm/mm]

$\sigma_{m\acute{a}x}$: esfuerzo máximo [kN/mm²] ó [N]

E : módulo de elasticidad [kN/mm²] [kPa]

A : absorbancia

$\%T$: porcentaje de transmitancia

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|------------|
| Anexo A. Troquel | 115 |
| Anexo B. Equipos | 116 |
| Anexo C. Cálculos ensayos de tensión probetas sin aditivos (ver CD) | |
| Anexo D. Fichas técnicas aditivos | 118 |
| Anexo E. Cálculos ensayos de tensión dosificaciones (ver CD) | |
| Anexo F. Ensayos de tensión diseño de experimentos | 120 |
| Anexo G. Cálculos ensayos de compresión (ver CD) | |
| Anexo H. Cálculos ensayos de absorbancia (ver CD) | |
| Anexo I. Cálculos ensayos de transmitancia (ver CD) | |

GLOSARIO

ADITIVOS: pellets agregados a las mezclas de polietileno de alta densidad para mejorar las propiedades mecánicas y ópticas en su proceso de producción.

CARGAS: aditivos los cuales tienen como función principal aumentar la masa del producto y así reducir costos.

CRISTALIZACIÓN: efecto de la temperatura sobre los polímeros termoplásticos, donde se vuelven más frágiles y vítreos, ya que se encuentran por debajo de la temperatura de transición vítrea.

ESFUERZO MÁXIMO: carga máxima que soporto el envase antes del aplastamiento.

FUERZA ELÁSTICA: es la fuerza aplicada al espécimen durante un ensayo mecánico.

HDPE: polietileno de alta densidad.

MATERIAL ORIGINAL: material totalmente nuevo de polietileno de alta densidad, en forma de pellets, el cual no ha sufrido ningún tipo de proceso o reacción industrial.

MATERIAL RECUPERADO: productos plásticos que ya han sido utilizados para cierta actividad, completando su ciclo de vida media y son recuperados para un nuevo uso. Posterior a su recuperación se les realiza un proceso de limpieza y peletizado.

MATERIAL TRITURADO: material sobrante del proceso de inyección o soplado, el cual es triturado para ser reutilizado en los procesos de transformación de resinas.

MOLDE: pieza hueca en la que se vierte el plástico fundido para que adquiera una forma deseada.

PELLET: estructura en que vienen presentados los polímeros plásticos o aditivos, para facilidad de manejo y operación.

POLIETILENO: material termoplástico, usado generalmente para películas o envases. Se encuentra en estado original o recuperado. Se produce por inyección o soplado.

POLIETILENOS RECUPERADO POST-CONSUMO: material recuperado el cual no se le conoce el origen procedencia.

POLIETILENOS RECUPERADO POST-INDUSTRIAL: material recuperado el cual se le conoce el lugar de procedencia, siendo seleccionado previamente.

POLÍMERO: son compuestos formados de macromoléculas, mediante reacciones químicas de polimerización, que son la unión de moléculas simples donde estas uniones son enlaces covalentes.

PORCENTAJE DE ELONGACIÓN: representa el porcentaje de la deformación plástica permanente antes de la falla.

RESISTENCIA A LA ROTURA: resultado de un ensayo que da la carga necesaria por unidad de sección para producir la rotura del material ensayado. Se valora en Kg/cm² o N/mm².

SOPLADO: técnica usada para fabricar contenedores o envases, los cuales son huecos de formas variadas y simples.

TRANSLUCIDEZ: es aquel efecto de luz que cuando tiene contacto con un material en su superficie y la atraviesa no es totalmente opacos.

TRITURACIÓN: proceso para reducir el tamaño de las partículas por medio de la molienda.

RESUMEN

En el presente documento, se presenta primeramente el diagnóstico realizado para las propiedades mecánicas y ópticas en los envases de medio galón fabricados a base de polietileno de alta densidad post-consumo translucido sin aditivos. Las propiedades ópticas evaluadas fueron la absorbancia y porcentaje de transmitancia, en espectros ultravioleta-visible (190-750 nm). Las propiedades mecánicas evaluadas fueron la resistencia a la tensión y la resistencia a la compresión.

Seguidamente, se evalúa la implementación de los aditivos Masterbatch brillador óptico y filler especial transparente, en la producción de envases medio galón a partir de polietileno de alta densidad post-consumo translucido para la empresa Colfoplas S.A. Para esto, se realizaron diferentes dosificaciones incluyendo los dos aditivos mencionados anteriormente, partiendo de un diseño de experimentos factorial 3^2 , que seguidamente fueron llevadas a la respectiva máquina de extrusión-soplado para la producción de los envases.

Posteriormente, se realizó el análisis de resultados. Allí se analizaron diferentes variables respuesta como lo son el módulo de elasticidad en el ensayo de resistencia a la tensión y compresión, esfuerzo máximo en ensayo de resistencia compresión, y promedios absorbancia y transmitancia.

Paralelamente, se realizó un estudio sobre los costos de producción del polietileno translúcido post-consumo de forma convencional, ósea sin adición de aditivos. Del mismo modo, para la implementación de aditivos. Por tanto, saber si es beneficio para le empresa Colfoplas S.A integrar dicho sistema de aditivos, a sus procesos de producción.

PALABRAS CLAVES: polietileno de alta densidad, brilladores ópticos, fillers, propiedades mecánicas, propiedades ópticas.

INTRODUCCIÓN

La empresa Colfoplas S.A es una compañía dedicada a la producción y comercialización de envases plásticos para uso doméstico e industrial, con un cubrimiento total en las principales ciudades nacionales. Su planta de producción se ubica en la ciudad de Bogotá D.C, en la localidad de Puente Aranda. Esta empresa emplea polímeros tales como: polipropileno, tereftalato de polietileno y polietileno, este último como material original y post-consumo.

Los envases que se producen en Colfoplas S.A por extrusión- soplado pueden ser de dos clases de material. Primero polietileno de alta densidad original, y segundo, polietileno de alta densidad post-consumo. Sin embargo, la mayoría de sus productos utilizan este último, por su costo relativamente bajo en comparación al original y por ser amigable con el medio ambiente ya que este totalmente recuperado.

En la línea de producción de extrusión-soplado se utiliza un material post-consumo llamado polietileno de alta densidad translúcido, de él se espera un material con un bajo grado de contaminación y así obtener envases con alta translucidez, pero por el contrario se obtienen envases de colores oscuros y amarillentos los cuales están basados en sus propiedades ópticas, y son causa directa del grado de contaminación con el cual llega el material. Según lo anterior, se han presentado diferentes percances con los clientes, al no poseer las características ópticas requeridas y solicitadas con dicho material, lo cual hace que la empresa tenga una afectación negativa en su reputación, provocando con ello la pérdida de clientes.

Ante la necesidad de eliminar los colores oscuros y amarillentos del polietileno de alta densidad translúcido post-consumo, así como disminuir defectos en la producción, se propone a la empresa COLFOPLAS S.A, implementar un sistema de aditivos, que permita modificar sus propiedades mecánicas y ópticas. Se hará uso de los aditivos MasterBatch 0905 (brillador óptico) y MasterBatch 0283 (relleno especial transparente).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de aditivos en el proceso de extrusión-soplado de polietileno de alta densidad post-consumo en la empresa COLFOPLAS S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades mecánicas y ópticas del polietileno de alta densidad post-consumo, presentadas actualmente en los envases seleccionados sin aditivos.
- Formular las dosificaciones de los aditivos con un diseño experimental, que permita evaluar las propiedades ópticas y mecánicas para los envases seleccionados.
- Realizar un análisis de costo-beneficio con la implementación de los aditivos en la empresa COLFOPLAS S.A.

1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se expone una breve reseña histórica de Colfoplas S.A., proceso de extrusión-soplado llevado a cabo en dicha empresa y una descripción de los envases de medio galón producidos a base de polietileno translucido post-consumo

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

COLFOPLAS S.A es una empresa fundada en el mes de agosto del año 2001 como una sociedad de familia por parte del señor Manuel Rodrigo Baquero Ángel. Está ubicada en la zona industrial de Puente Aranda de la ciudad de Bogotá, D.C., en la Carrera 36 No. 19- 53.

Su actividad principal es la elaboración de envases a base de polietileno, tanto en material original como recuperado, en diferentes formas y capacidades. Inició su producción con el soplado de envases pequeños y en la actualidad ha desarrollado más de 45 referencias de envases a partir de extrusión-soplado, con sus respectivas tapas plásticas a base de polipropileno. Se fabrican moldes propios en el taller de mecánica, con capacidades desde 250 cm³ hasta 20.000 cm³, incluidos los componentes de dichos envases tales, tapones, correas, etc.

En el año 2010, se abre punto de venta directo dentro de la fábrica, convirtiéndose en la principal fortaleza, la cual contribuyó a impulsar sosteniblemente las ventas y permitió a la Empresa posicionarse en el mercado como distribuidor para medianos y pequeños empresarios de diversos sectores de la economía, tales como el sector químico-industrial, agroquímico, sector del aseo, pinturas, aceites y lubricantes, entre otros. Actualmente ha incrementado significativamente su penetración en el mercado nacional, inaugurando puntos de venta en ciudades tales como: Medellín, Villavicencio y Neiva. Además, cuenta con dos puntos de venta en la ciudad de Bogotá, ubicados en los barrios de Carvajal y Pradera. La empresa ofrece siempre un sello de garantía en la calidad de sus productos y en su servicio al cliente.

La Empresa a través de los años junto con el aprovechando el apalancamiento financiero, ha modernizado y mejorado su maquinaria e instalaciones, y hoy en día cuenta con máquinas modernas, instalaciones propias y un gran equipo humano que le ha permitido cumplir sus objetivos.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN-SOPLADO EN COLFOPLAS S.A

El proceso principal en la empresa COLFOPLAS S.A está constituido por el soplado de envases plásticos a partir de polietileno de alta densidad, obtenido por diferentes

empresas en forma original o recuperado (post-consumo). Actualmente la empresa tiene a su disposición 6 máquinas de extrusión-soplado las cuales operan 24 horas, seis días a la semana que son operadas en turnos de trabajo de 12 horas (día y noche). La empresa tiene para las 6 máquinas un total de 60 moldes, es decir, 60 referencias de envases disponibles en su catálogo de ventas a base de polietileno de alta densidad, siendo los productos estrella y de mayor venta: galón, medio galón y garrafa.

Diariamente se planifica la producción basándose en las cantidades demandadas de cada referencia de envase. Una vez programadas las ordenes de producción, se entregan a los diferentes operarios de turno con sus respectivas especificaciones. Gracias a la buena planificación y control de la producción en la empresa, diariamente se procesa aproximadamente entre 4 y 5 toneladas de polietileno. A continuación, se describen de manera generalizada cada una de las etapas de producción:

1.2.1 Recepción de materia prima. En la primera etapa, los operarios encargados proceden a descargar la materia prima de la bodega de carga de cada camión. El polietileno se entrega en dos naturalezas: material original o material recuperado los cuales vienen empacados en bultos de 25 kg y 30 kg respectivamente, cabe resaltar que el material peletizado solamente se recibe si viene con diámetro de partícula de 2 a 5 mm, y por otra parte se recibe material triturado el cual debe estar lavado y seco para ser peletizado en la empresa.

1.2.2 Pesaje y almacenamiento en bodega. Cada vez que se descargan los bultos de polietileno se corrobora que posean en peso indicado por el proveedor, para esto se hace uso de una balanza industrial, verificando así que el peso sea el correcto. Una vez se realiza el control de pesaje, se transportan los bultos a la bodega de almacenamiento, donde se descargan sobre unas superficies de madera llamadas estibas para realizar inventarios de materia prima.

1.2.3 Peletizado. El material que se adquiere triturado es depositado por un operario en la tolva de la peletizadora, seguidamente pasa a la zona de extrusión en donde el polietileno es fundido a una temperatura de 440 K (este fenómeno es explicado con mayor detalle en la sección 2.1.2.2). En la última zona de extrusión la fundición pasa por una sección compuesta de agujeros circulares que originan hilos de diámetro de 5 mm, los cuales pasan por una zona de enfriamiento que está llena de agua a 330 K, la cual es recirculada con agua a temperatura ambiente y así bajar la temperatura de los hilos de polietileno que serán cortados en forma de pellets (véase figura 1) y almacenados en bultos de 30 kg, para ser llevados a la bodega de almacenamiento (véase figura 2).

Figura 1. Zonas de la peletizadora de COLFOPLAS S.A



Figura 2. Empaque de material peletizado



1.2.4 Transporte de la materia prima. En esta etapa se dispone a alimentar las tolvas de cada máquina de extrusión-soplado con la materia prima previamente peletizada, para esto un operario de la planta transporta manualmente los bultos

desde la bodega de almacenamiento hacia cada una de las máquinas, esto se realiza cada vez que las tolvas se encuentren con un nivel bajo de material.

1.2.5 Transformación de materia prima. Con las tolvas alimentadas de material peletizado, las máquinas se encienden y se procede a programar las condiciones de operación de acuerdo a cada referencia de envase, que generalmente lleva un lapso de 20 minutos. El tiempo de calentamiento de la máquina suele tomarse de 2 y 3 horas. La extrusora de cada máquina consta de un tornillo sin fin que funde y homogeniza el material (véase figura 3), formando un párison en la última zona de extrusión, que es sellado por el molde y soplado con aire comprimido hasta formar el envase termoplástico (este fenómeno es explicado con mayor detalle en la sección 2.1.2.2). Luego de tener los envases, el operario se dispone a quitar la respectiva rebaba con ayuda de guantes y un cuchillo, la cual es enviada a trituración para posterior peletizado y recirculación al proceso.

Figura 3. Tolva y extrusora de las máquina de extrusión-soplado de polietileno



1.2.6 Control de calidad. Al obtener el producto final, el supervisor encargado verifica que éstos cumplan con los estándares de calidad establecidos por la empresa, entre los cuáles están: revisión de las superficies, color, peso, espesor, filtraciones, malformaciones, etc.

1.2.7 Empaque del producto final. Después de retirar la rebaba de los envases y ser aprobado por el área de calidad, se proceden a empacar de forma ordenada en bolsas transparentes que son fabricadas por la misma empresa. Se empacan cierta cantidad de envases de acuerdo al tipo de referencia, con el fin de evitar ralladuras y ensuciamiento de los mismos.

1.2.8 Trituración de la rebaba. Toda la rebaba (véase figura 4) que se produce en las diferentes máquinas se almacena en diferentes canecas, que una vez llenas, un

operario las transporta a los diferentes molinos de acuerdo a la clasificación de color y tipo de polímero, allí el material es triturado (ver figura 5) y se introducen en lonas para formar bultos de 30 kg que son almacenados en bodega.

Figura 4. Rebaba de los envases



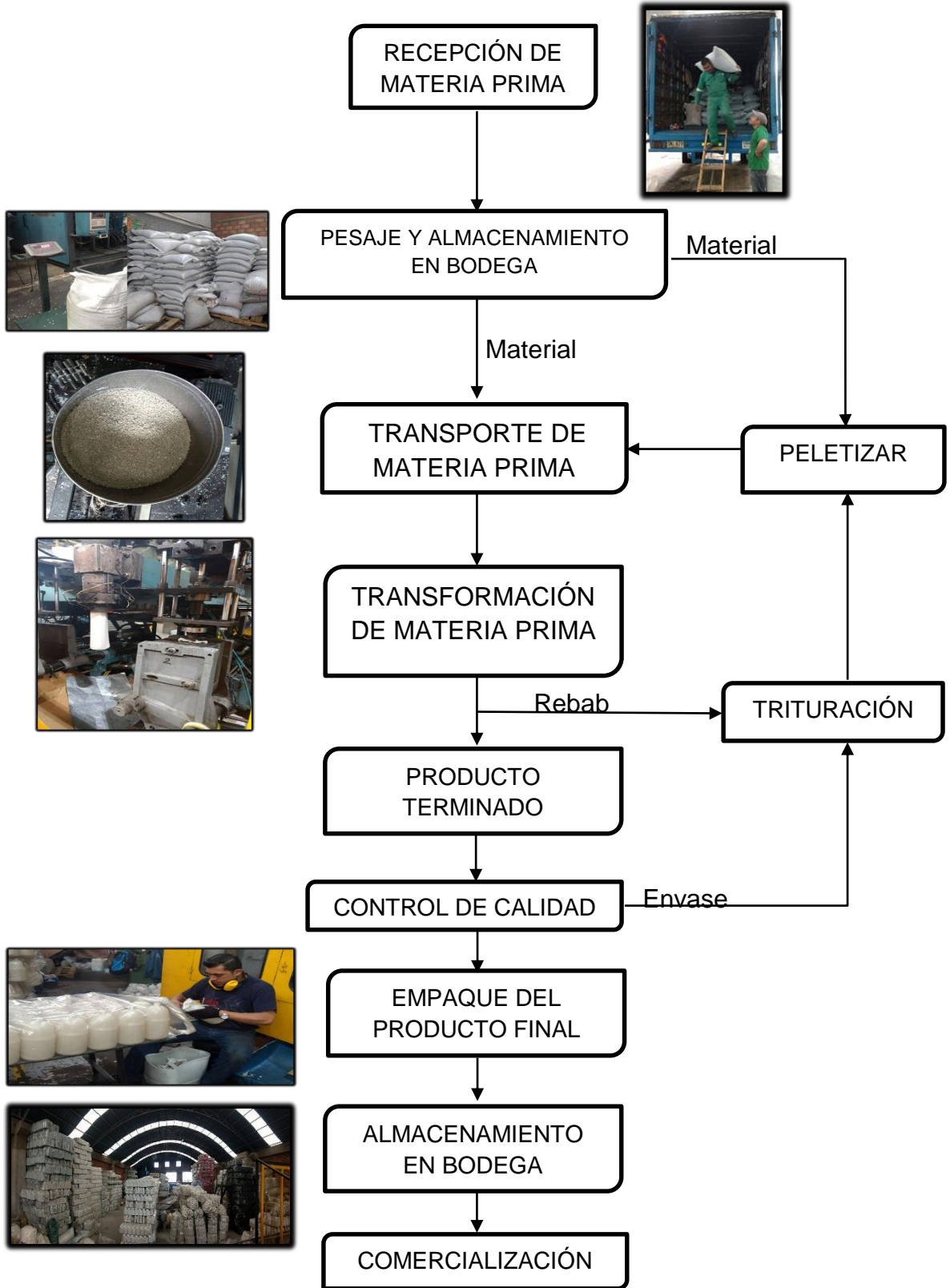
Figura 5. Trituración de la rebaba



1.2.9 Almacenamiento. Por último, todos los envases empacados se transportan al tercer piso en donde se encuentra la bodega de productos terminados, los cuales se apilan unos sobre otros de manera organizada y a la vez eviten el derrumbamiento de los mismos.

En el diagrama 1 se resume el proceso de todas etapas de extrusión-soplado en la empresa COLFOPLAS S.A

Diagrama 1. Proceso de extrusión-soplado en COLFOPLAS S.A



1.3 INTRODUCCIÓN AL MEDIO GALÓN TRANSLUCIDO POST-CONSUMO

El presente trabajo de grado se dedicó únicamente a evaluar las propiedades mecánicas y ópticas con muestras tomadas de envases de medio galón a base de polietileno de alta densidad en la empresa Colfoplas S.A. La empresa tiene varias presentaciones de este envase, como son medio galón de boca 38 mm, medio galón boca 28 mm, además de disponer de varios colores en su catálogo según se requiera. Este documento hace referencia al envase de medio galón boca 28mm y de material polietileno de alta densidad post-consumo recuperado translucido. A continuación, se verán las características de este envase:

Tabla 1. Especificaciones de envase de medio galón

| Especificación del envase | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------|
| Capacidad útil | 1900 cm ³ | Peso | 85g +/- 4 g |
| Capacidad nominal | 2000 cm ³ | Altura sin tapa | 260 mm +/- 1mm |
| Capacidad de rebose | 2050 cm ³ | Altura con tapa | 262mm +/- 1 mm |
| Material | P.E.A.D recuperado translucido | Espesor de la pared | 1.2 +/- 0.3 mm |
| Fabricación | soplado | Dimensiones | 262 mm |
| Color | Natural | Rosca del envase | 28 mm |

El envase de medio galón translucido fue el centro de la investigación del presente documento, Debido que este es uno de los productos estrella en la empresa Colfoplas S.A. Además, se seleccionó este envase por tener las dimensiones adecuadas para tomar las muestras necesarias para los ensayos expuestos en el trabajo de grado.

2. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se definen diferentes términos acerca del polietileno como lo son: características, su transformación en la industria, aditivos en polímeros, propiedades mecánicas y ópticas con su respectivo marco normativo, etc. Todo lo anterior con el fin de suministrar información bibliográfica aplicada en el transcurso del desarrollo de este proyecto.

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Polietileno.

Los polietilenos de diferentes intervalos de densidad se pueden obtener por polimerización en cadena de etileno, el monómero olefínico más simple. La naturaleza química observada y las propiedades físicas del polímero dependen en gran medida de la naturaleza del catalizador utilizado y las condiciones empleadas durante la polimerización. Los polietilenos obtenidos por polimerización de etileno son principalmente polímeros ramificados, la naturaleza química y la frecuencia de ramas dependen en gran medida de las condiciones de reacción y del mecanismo implicado. Los polietilenos comerciales están disponibles en dos rangos de densidad principales y los productos se conocen comúnmente como: (a) de polietileno de baja densidad, LDPE (intervalo de densidad, 0,915 a 0,94 g / cm³), y (b) polietileno de alta densidad, HDPE (intervalo de densidad, 0,945 a 0,96 g/ cm³)¹

2.1.1.1 Polietileno de alta densidad (HDPE). “El uso de catalizadores de coordinación o catalizadores de óxido de metal soportado permite la polimerización de etileno a una presión mucho más baja, así como a una temperatura relativamente baja; los polímeros producidos de este modo son por lo general lineal, que tiene mucho menos ramas que el encontrado en el producto obtenido por el procedimiento de radicales libres a alta presión”². La síntesis HDPE se hace convenientemente por:

- **El proceso de Ziegler:** “utilizando un trialkil-aluminio-TiCl₄ complejo como el catalizador dispersado en un disolvente hidrocarbonado tal como n-heptano y el empleo de una presión ligeramente elevada y una temperatura en el intervalo de 70 a 100 °C”³
- **El proceso Phillips:** “usando CrO₃ (5%) soportado sobre sílice-alúmina (75 a 90% de sílice) de base como catalizador; el catalizador se activa por calentamiento a aproximadamente 250 ° C, se dispersa en un hidrocarburo disolvente, tal como

¹ PREMAMOY, Ghosh. Polymer Science and Technology: Plastics, Rubbers, Blends and Composites, 3 Ed. India: McGraw Hill Education (India) Private Limited. 2011. p.359. ISBN: 9780070707047

² Ibíd., p. 360

³ Ibíd., p. 365

ciclohexano y la polimerización de etileno se lleva a cabo empleando una presión de 15 a 30 atm y una temperatura en el intervalo de 130 a 150 °C”⁴

➤ **El proceso de Standard Oil (Indiana):** “utilizando una dispersión de catalizador de óxido de molibdeno que contiene metales como el sodio y el calcio o sus hidruros como promotores en un disolvente hidrocarbonado, el empleo de una presión en el intervalo de 49 a 80 atm y un intervalo de temperatura de 220-250 °C”⁵.

El proceso de Ziegler produce polímeros de densidad de aproximadamente 0,945 g/cm³, mientras que los otros procesos usando catalizadores de óxidos de metales producen polímeros de densidad tan alta como 0,96 g /cm³. Al término de la reacción en el procedimiento de Ziegler, el catalizador se destruye con agua o alcohol con restos de un ácido y el polímero se recoge por filtración o centrifugación, que luego se lava y se seca.

2.1.1.2 Estructura y propiedades de polietilenos.

Las diferencias del intervalo de densidad de LDPE y HDPE tienen su origen en la diferencia inherente su mecánica, y da lugar a diferencias estructurales significativas en estos polímeros. Las diferencias estructurales se refieren a las diferencias en el peso molecular y las diferencias en los grados de ramificación de la cadena principal. Debido a la alta transferencia de las cadenas en la polimerización efectuado a alta presión, el polímero resultante, LDPE tiene cerca de 20-50 ramas (ambas ramas largas y cortas) por cada 1000 átomos de carbono, lineales en las moléculas de la cadena. La pérdida de simetría molecular, debido al alto grado de ramificación son resultado en el rango de densidad más baja (0,915-0,94 g /cm³) y menor temperatura de fusión (110-117 °C) para LDPE. Los polímeros de baja presión, HDPE, son por lo general lineales, y aquellos que tienen sólo 2 a 5 ramas cortas o cadenas laterales por cada 1000 átomos de carbono en la cadena principal, lo que conlleva a un intervalo de densidad más alta (0,945 a 0,96 g / cm³) y mayor punto de fusión temperatura (125-130 °C) en comparación con LDPE.⁶ Algunas de las propiedades de los polietilenos se pueden observar en la tabla 2.

Los polietilenos se clasifican por lo que se conoce como el índice de fluidez (MFI), es decir, el peso en gramos extruidos por la acción del pistón a través de una abertura estándar bajo una carga estándar en un plástmetro estándar a 190 ° C durante un período de tiempo especificado. El MFI proporciona una guía aproximada de procesabilidad de diferentes grados de polímeros de un determinado tipo u origen monomérica. Para un determinado tipo de polímero, un MFI más alto indica un menor peso molecular y viceversa. LDPE viene en una amplia gama de MFI (0,3 a 70), pero para HDPE, el intervalo útil MFI es de (0,02 a 2,5) mucho más bajo. La resistencia a la tracción de LDPE oscila entre 1500 a 2500 psi y que para el HDPE está en el intervalo

⁴ Ibíd., p. 365

⁵ Ibíd., p. 365

⁶ Ibíd., p. 368

de 3.000 a 5.000 psi. La resistencia al impacto de LDPE es tan alta como de 10 ft-lb por pulgada, mientras que para el HDPE es (1.5-5 ft-lb por pulgada) mucho más bajo.⁷

Tabla 2. Propiedades de PEAD, PEBD y PELBD

| Características | PEBD | PEAD | PELBD |
|---|----------------------|--------------------|--------------------|
| Grado de cristalinidad [%] | 40-50 | 60-80 | 30-40 |
| Densidad [g/cm ³] | 0.915 | 0.94-0.97 | 0.90-0.93 |
| Módulo [N/mm ²] | ~130 | ~1000 | - |
| Temperatura de cristalización [°C] | 105 | 130-135 | 121-125 |
| Estabilidad química | Buena | Excelente | Buena |
| Esfuerzo a ruptura [N/mm ²] | 8.0-10 | 20.0-30.0 | 10.0-30.0 |
| Elongación a ruptura [%] | 20 | 12 | 16 |
| Módulo elástico E [N/mm ²] | 200 | 1000 | - |
| Coefficiente de expansión lineal [K ⁻¹] | 1.7x10 ⁻⁴ | 2x10 ⁻⁴ | 2x10 ⁻⁴ |
| Temperatura máxima permisible [°C] | 80 | 100 | - |
| Temperatura de reblandecimiento [°C] | 110 | 140 | - |

Fuente: VANEGAS. Jorge, Boletín técnico para las resinas de polietileno de baja densidad. Poliolefinas Colombianas S.A. Empresa Colombiana de Petróleos. CR 707.11E156 Sala Institucional Instituto Colombiano de Petróleo.

2.1.1.3 Usos y aplicaciones de Polietilenos.

Los polietilenos, siendo de naturaleza termoplástica, están convenientemente procesados mediante moldeo por inyección, moldeo por soplado, moldeo rotacional, extrusión y técnicas de termoformado. Ellos encuentran amplios usos y aplicaciones como objetos moldeados o conformados, películas, láminas, botellas y recipientes, tuberías y tubos, y en el aislamiento de alambres y cables. Las películas, comúnmente hechas de polietileno de baja densidad, encuentran aplicación en el envasado, la impermeabilización, el riego y la gestión del agua, incluyendo el revestimiento de canales y acolchado, y en el recubrimiento y laminación. Diversos aditivos tales como cargas, pigmentos y colorantes, antioxidantes, aditivos de deslizamiento, antibloqueo y agentes antiestáticos, absorbentes de UV, agentes de soplado y los retardantes de llama se mezclan o combinan con polietileno, polipropileno y otras poliolefinas, por diversas razones. Para la aplicación cables de alta tensión y para películas resistentes al calor u objetos moldeados, el polietileno es preferentemente reticulado usando agentes de reticulación químicos seleccionados, tales como peróxidos o por irradiación con electrones de alta velocidad o gamma rayos gamma. Los factores que contribuyen

⁷ Ibíd., p. 369

a la aplicación generalizada de polietilenos son de bajo costo, fácil procesabilidad mediante diversas técnicas, excelente inercia química y propiedades de aislamiento eléctrico, la tenacidad a baja temperatura y flexibilidad, buena claridad de películas delgadas, capacidad de sellado térmico, la naturaleza no tóxica y baja permeabilidad al vapor de agua. Los principales factores que limitan en este sentido son de bajo punto de reblandecimiento o temperatura de distorsión térmica, la propensión a la formación de grietas por tensión ambiental, la mala resistencia al rayado, baja resistencia a la tracción y alta permeabilidad al gas.⁸

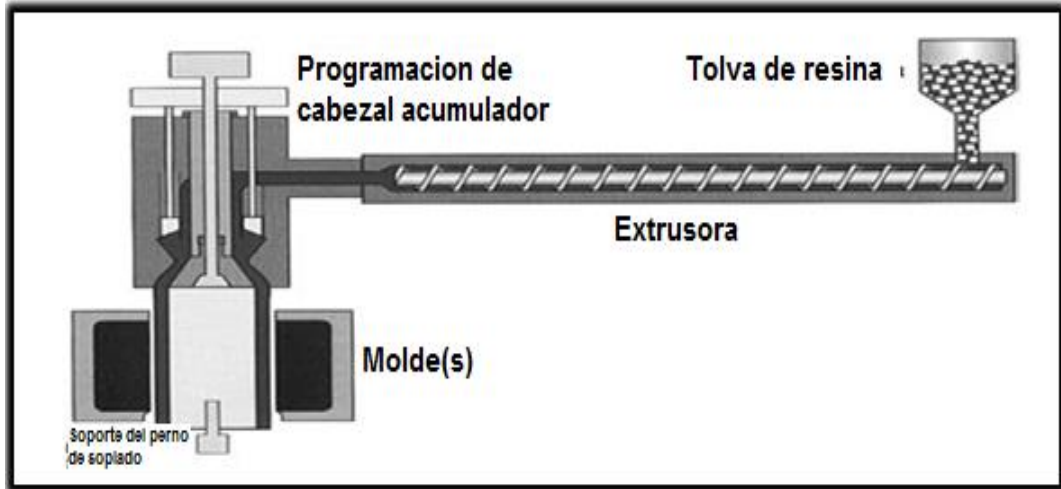
2.1.2 Moldeo por soplado.

El moldeo por soplado cubre tres procesos principales termoplásticos: moldeo por extrusión soplado, moldeo por estirado soplado y moldeo por inyección soplado. El moldeo por extrusión soplado es el más grande de los tres, seguido de moldeo por estirado soplado y soplado por inyección. La industria de moldeo por soplado total está creciendo aproximadamente 3 a 5% anualmente y continuará creciendo a este ritmo. El moldeo por extrusión soplado es el mayor en el proceso de polietileno de alta densidad (HDPE). Los mercados de moldeo por soplado por extrusión para HDPE que están creciendo a un ritmo mayor que el mercado de botellas, en general, son para grandes tanques de retención, tambores de 55 galones y tanques de combustible para automóviles. El moldeo por soplado es la formación de un objeto hueco inflando o soplando un tubo fundido termoplástico denominado "párison" en forma de una cavidad del molde. El proceso consiste en extruir y soltar un párison y que las mitades de molde hembra se cierran. Las mitades de molde hembra contienen la forma del producto a producir. La abertura inferior del párison es comprimida cerrada por las mitades de molde hembra de cierre. Se introduce un gas presurizado (normalmente aire) en el párison, soplando el párison calentado contra las paredes de la cavidad para formar el producto. La figura 6 es un esquema general del proceso. La parte formada se enfría como se representa en la figura 7, se cristaliza y se enfría adicionalmente en el molde de soplado hasta que puede retirarse del molde de soplado y retener la forma deseada sin deformación⁹.

⁸ PREMAMOY, Ghosh. Óp cit., p. 370

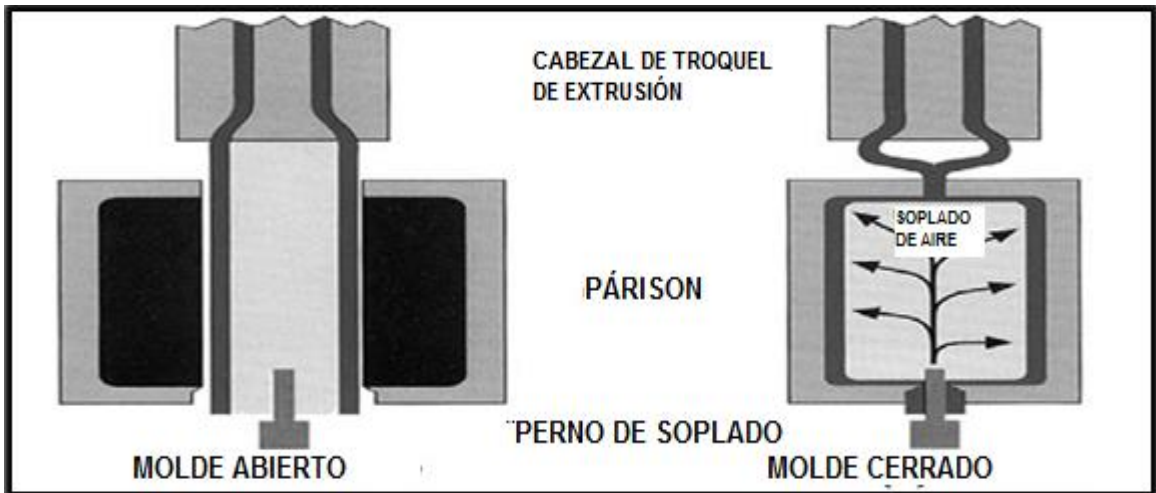
⁹ KUTZ. Myer. Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials, 1st Ed. Amsterdam: William Andrew. 2011. p. 267. ISBN: 9781437735147

Figura 6. Proceso de moldeo por extrusión-soplado.



Fuente: KUTZ. Myer. Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials, 1st Ed. Amsterdam: William Andrew. 2011. p. 267. ISBN: 9781437735147

Figura 7. Proceso de ciclo de moldeo por soplado



Fuente: KUTZ. Myer. Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials, 1st Ed. Amsterdam: William Andrew. 2011. p. 267. ISBN: 9781437735147

2.1.2.1 Moldeo por extrusión-soplado.

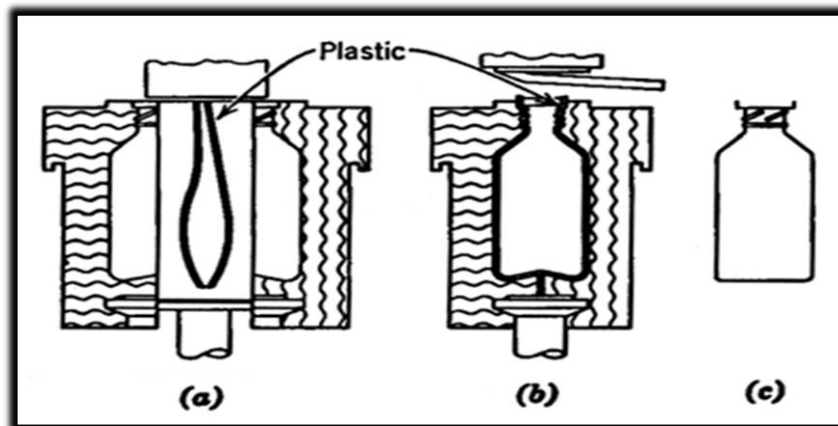
En su forma más básica, el proceso implica el procesamiento por fusión de un termoplástico en un tubo que se denomina generalmente párison. Mientras permanece en un estado de fundición plástica dúctil y firme calentado, el párison se sujeta entre las mitades de un molde enfriado de modo que los extremos superior e inferior abiertos del párison queden atrapados, comprimidos y sellados por las caras del molde. Un tubo de soplado también está atrapado en un extremo de párison, creando un canal a través del cual se introduce presión de aire dentro del párison sellado. La presión del aire hace

que el párison se expanda como un globo de manera que ocupa la forma de las cavidades del molde (Figuras 8 y 9). El contacto con el molde enfriado enfría el termoplástico hasta su estado sólido, de modo que la forma se retiene después de abrir el molde y retirar la pieza¹⁰.

2.1.2.2 Extrusora.

El proceso de moldeo por extrusión-soplado comienza preparando un párison (tubo) que es la masa fundida de plástico que sale de un extrusor. La figura 5 es un esquema de la acción de fusión plástica. Esta masa fundida de plástico tiene que ser un material controlado basado en tener su temperatura básica, presión y tiempo de fusión establecidos apropiadamente durante su acción de mezcla. La mezcla se produce en el plastificador del extrusor (tornillo dentro de un barril). En la Tabla 3 se muestra un ejemplo de la fijación de temperaturas en las diferentes zonas de un plastificante para diferentes plásticos. Como se muestra en la Tabla 4, las velocidades de salida de plástico de los extrusores se basan en los diámetros de los tornillos¹¹.

Figura 8. Pasos básicos de procesamiento de moldeo por extrusión-soplado: (a) párison de plástico calentado extruido, molde abierto; (b) molde cerrado y soplado de botella; y (c) botella acabada retirada del molde.

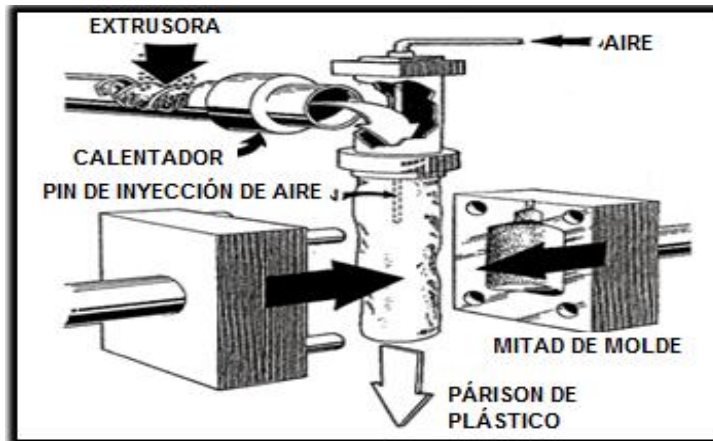


Fuente: SCHOTT, Nick R. ROSATO, Marlene G. ROSATO, Donald V. *Plastics Technology Handbook - Volume 1*, 1st Ed. New York: 2010. p. 1022. ISBN: 9781606500798

¹⁰ SCHOTT, Nick R. ROSATO, Marlene G. ROSATO, Donald V. *Plastics Technology Handbook - Volume 1*, 1st Ed. New York: 2010. p. 1022. ISBN: 9781606500798

¹¹ *Ibíd.*, p. 1022

Figura 9. Esquema de moldeo por extrusión-soplado de un solo párison

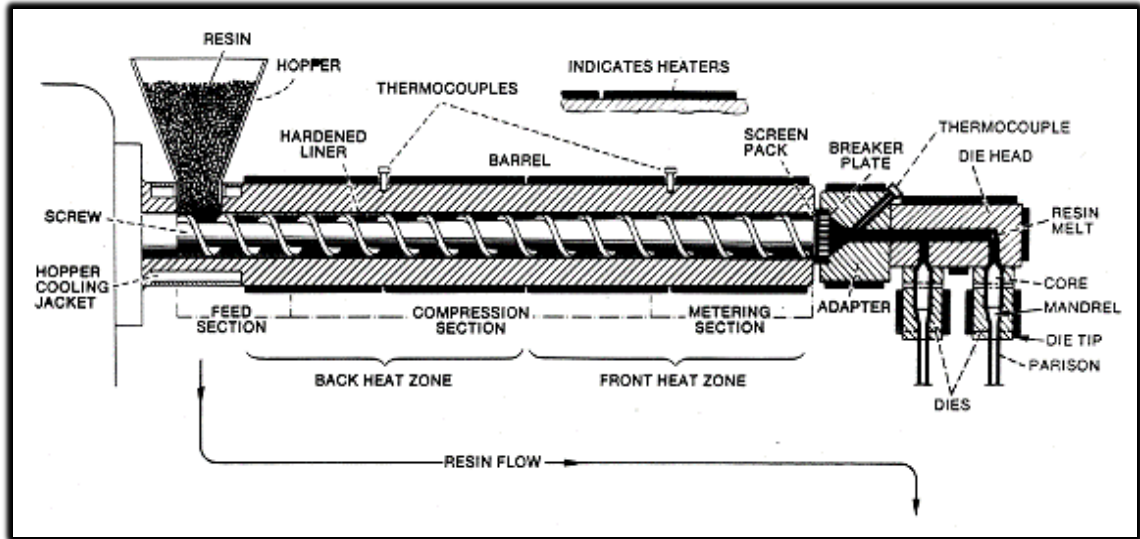


Fuente: SCHOTT, Nick R. ROSATO, Marlene G. ROSATO, Donald V. *Plastics Technology Handbook - Volume 1*, 1st Ed. New York: 2010. p. 1023. ISBN: 9781606500798

El extrusor es usualmente del tipo de un solo husillo. El tornillo debe tener una relación longitud / diámetro (L/D) de 24:1 a 30:1 o más. Se prefieren tornillos en el extremo superior. La relación de compresión debe ser de aproximadamente 3,5:1. Es importante que estar familiarizado con la operación de la extrusora para asegurar que la preforma calentada de plástico esté preparada apropiadamente para proporcionar productos moldeados por soplado que cumplan con el rendimiento y costo. La preparación inadecuada de la preforma daña el funcionamiento de la operación de moldeo por soplado¹².

¹² *Ibíd.*, p. 1022

Figura 10. Esquema de la acción de fusión del plástico en un extrusor que tiene dos párison



Fuente: SCHOTT, Nick R. ROSATO, Marlene G. ROSATO, Donald V. *Plastics Technology Handbook - Volume 1, 1st Ed.* New York: 2010. p. 1024. ISBN: 9781606500798

Tabla 3. Ejemplos de condiciones de temperatura en un plastificador de extrusión basado en el procesamiento de diferentes plásticos

| Material | Suggested starting points only | | | | | |
|----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | Zone 1 temp °F | Zone 2 temp °F | Zone 3 temp °F | Zone 4 temp °F | Melt temp °F | Mold temp °F |
| ABS | 380-440 | 390-440 | 400-440 | 400-440 | 400-440 | 110-170 |
| ACRYLIC | 370-460 | 380-460 | 390-460 | 400-460 | 400-460 | 130-200 |
| LDPE | 320-340 | 320-350 | 330-360 | 340-370 | 340-380 | 40-100 |
| HDPE | 350-390 | 360-400 | 370-410 | 370-420 | 370-420 | 40-100 |
| NYLON 6 | 440-480 | 450-480 | 460-480 | 470-490 | 450-510 | 140-200 |
| NYLON 6/6 | 470-550 | 480-540 | 480-540 | 490-530 | 510-540 | 140-200 |
| PC | 440-480 | 450-480 | 460-480 | 470-490 | 460-510 | 140-220 |
| PC/ABS | 420-445 | 430-455 | 440-465 | 450-475 | 450-490 | 120-220 |
| PP | 340-430 | 350-440 | 360-450 | 370-450 | 390-450 | 40-120 |
| PS | 340-360 | 360-390 | 390-420 | 400-440 | 360-440 | 40-120 |
| PS HIGH IMPACT | 370-390 | 390-420 | 420-450 | 430-470 | 420-460 | 40-120 |
| PVC FLEXIBLE | 250-290 | 260-300 | 270-310 | 280-320 | 310-375 | 50-100 |
| PVC RIGID | 280-300 | 300-320 | 320-350 | 340-370 | 340-390 | 50-100 |

Fuente: SCHOTT, Nick R. ROSATO, Marlene G. ROSATO, Donald V. *Plastics Technology Handbook - Volume 1, 1st Ed.* New York: 2010. p. 1024. ISBN: 9781606500798

Tabla 4. Ejemplos de velocidades de salida de la extrusora basada en el procesamiento de HDPE.

| Diameter | | 2½ inch (64 mm) | 3½ inch (89 mm) | 4½ inch (114 mm) | 6 inch (152 mm) | 8 inch (203 mm) |
|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| LLDPE | Pounds per hour | 275-340 | 550-650 | 900-1100 | 1600-1950 | 2840-3475 |
| | Kg per hour | 125-155 | 250-300 | 400-500 | 725-890 | 1290-1580 |
| LDPE | Pounds per hour | 475-575 | 925-1125 | 1530-1870 | 2700-3300 | 4800-5900 |
| | Kg per hour | 210-260 | 420-510 | 695-850 | 1225-1500 | 2200-2675 |
| HDPE | Pounds per hour | 330-425 | 650-800 | 1080-1320 | 1920-2350 | 3400-4170 |
| | Kg per hour | 150-195 | 300-360 | 490-600 | 870-1065 | 1550-1895 |
| PP | Pounds per hour | 360-440 | 700-865 | 1170-1430 | 2080-2540 | 3700-4500 |
| | Kg per hour | 160-200 | 320-390 | 530-650 | 945-1150 | 1680-2050 |
| FPVC | Pounds per hour | 415-510 | 815-1000 | 1350-1650 | 2400-2930 | 4260-5200 |
| | Kg per hour | 190-230 | 370-450 | 610-750 | 1090-1330 | 1940-2370 |
| RPVC | Pounds per hour | 220-270 | 435-530 | 720-880 | 1280-1560 | — |
| | Kg per hour | 100-120 | 195-240 | 325-400 | 580-710 | |
| ABS | Pounds per hour | 360-440 | 700-865 | 1170-1430 | 2080-2540 | 3700-4500 |
| | Kg per hour | 160-200 | 320-390 | 530-650 | 945-1150 | 1680-2050 |
| HIPS | Pounds per hour | 490-615 | 965-1200 | 1600-2000 | 2840-3550 | 5050-6320 |
| | Kg per hour | 225-280 | 440-550 | 725-900 | 1290-1615 | 2300-2870 |
| Acrylic | Pounds per hour | 415-510 | 815-1000 | 1350-1650 | 2400-2930 | 4260-5200 |
| | Kg per hour | 190-230 | 370-450 | 610-750 | 1090-1330 | 1940-2370 |
| Poly-carbonate | Pounds per hour | 285-350 | 560-680 | 925-1125 | 1650-2000 | 2900-3500 |
| | Kg per hour | 130-160 | 250-310 | 420-510 | 750-900 | 1325-1600 |

Fuente: SCHOTT, Nick R. ROSATO, Marlene G. ROSATO, Donald V. Plastics Technology Handbook - Volume 1, 1st Ed. New York: 2010. p. 1025. ISBN: 9781606500798

2.1.2.3 Flujo de fusión.

La compresión y el control del flujo de fusión del plástico en la matriz son importantes para tener éxito en el moldeo por soplado. Los factores directamente relacionados con el flujo de la matriz incluyen la caída de presión, las fuerzas que actúan sobre el mandril y la distribución de la velocidad de la masa fundida alrededor del espacio de flujo anular. El flujo de fluido también influye en el comportamiento de hinchamiento de la masa fundida después de que abandona la matriz. Se han propuesto métodos aproximados para calcular los aspectos importantes del flujo en un molde de moldeo por soplado. Se ha encontrado que el cálculo de las fuerzas mayores y la distribución de la velocidad requiere solamente el conocimiento de las propiedades viscosas de la masa fundida, es decir, la viscosidad en función de la velocidad de cizallamiento y la temperatura. Se han sugerido que la negligencia del cambio de temperatura en la matriz conduce a un gran error en la caída de presión calculada en el caso de PVC rígido; Los modelos propuestos para el flujo de poliolefina asumen generalmente que el flujo es isotérmico. Tales modelos han sido utilizados, por ejemplo, para calcular la fuerza total ejercida por la fusión sobre el mandril. Para una matriz convergente, la presión normal actúa en una dirección opuesta a la fuerza de cizallamiento. Esto hace posible diseñar un troquel para que la fuerza neta sobre el mandril sea bastante pequeña. Esto simplifica el diseño de

la matriz y hace posible el uso de un motor paso a paso en lugar de un accionador servo hidráulico para accionar un mandril móvil para fines de programación de apariencia¹³.

2.1.3 Aditivos. Con el fin de satisfacer las diversas demandas, los polímeros comerciales se modifican con aditivos para hacer plásticos. Compuesto de polímeros con aditivos y modificadores para hacer plásticos comercialmente útiles es un negocio que está cambiando constantemente debido a nuevos materiales, cambios de precios, maquinaria de procesamiento mejorada, cambiando las necesidades de los clientes, las leyes y preocupaciones ambientales, etc. Algunas necesidades son persistentes tales como el requisito de fabricar piezas, formas de actualizar propiedades, cómo corregir problemas introducidos por el uso de aditivos para lograr los dos primeros elementos y controlar los costos. No existen soluciones perfectas, por lo que los aditivos y modificadores de polímeros son un campo de estudio verdaderamente dinámico. Los plásticos que se fabrican en formas complejas y útiles que responden a tantas necesidades del mundo moderno no serían posibles sin aditivos.

Las numerosas y diversas aplicaciones del polietileno (PE) no serían posibles sin el desarrollo de aditivos adecuados. Los aditivos se utilizan para la conservación de algunas propiedades (estabilización contra la acción del calor, del oxígeno, de la luz, etc.), para facilitar el procesamiento de diferentes artículos, y/o para la modificación de algunas propiedades para fines especiales. Por lo general, se utilizan sistemas complejos de aditivos (antioxidantes, mezclas de estabilizadores de luz o formulaciones complejas). Como la degradación del PE puede ocurrir en cada etapa, es aconsejable añadir algún tipo de estabilización tan pronto como sea posible, incluso en el proceso de polimerización, o añadir el antioxidante antes de que el polímero entre en contacto con el aire¹⁴.

2.1.3.1 Aditivo brillador óptico. “Los brilladores ópticos se usan principalmente en aplicaciones donde se trabajan resinas recuperadas mejorando su brillo y color. Este aditivo reduce especialmente el tinte o matiz amarillento de la película transparente o blanca que se obtiene de resina recuperada o reciclada”¹⁵. Este aditivo se usa principalmente para los procesos de reciclaje de plástico, donde provee brillo sobresaliente al material recuperado. Este producto posee un abrillantador que elimina el tinte amarillento de los materiales reciclados, generando un ligero matiz azulado.

¹³ *Ibíd.*, p. 1023

¹⁴ VASILE, Cornelia. PASCU, Mihaela. RAPRA Technology Limited. Practical Guide to Polyethylene. Shrewsbury: Rapra Technology Ltd. 2005. P. 89. ISBN: 1-85957-493-9

¹⁵ PLASTINES S.A.S. Aditivos Masterbatch [En Línea]. Bogotá: Plastines la tienda del plástiquero. 2016. [citado 08 de junio-2017]. Disponible en: http://www.plastines.com/es_ES/productos/masterbatch-aditivos/

“Los abrillantadores ópticos o agentes blanqueadores fluorescentes, se utilizan para hacer que los plásticos parezcan más blancos y brillantes. Estos productos funcionan absorbiendo la luz ultravioleta invisible y re-emitiéndola como luz visible en la gama azul del espectro. Estos productos son particularmente útiles para enmascarar el color amarillento a veces observado en plásticos y fibras después de operaciones de procesamiento a alta temperatura”¹⁶.

El fenómeno, conocido como fluorescencia, tiene el siguiente mecanismo de acción. Los grupos en la molécula del blanqueador absorben la luz ultravioleta y pasan a un estado excitado mediante transición electrónica. Durante el tiempo extremadamente corto que la molécula excitada pasa en niveles vibracionales más altos, va perdiendo energía. Cuando la molécula vuelve a su estado de equilibrio emite la radiación como luz visible, ya que la pérdida de energía vibracional hace que se emita a una longitud de onda más alta que la luz inicialmente absorbida¹⁷.

2.1.3.2 Aditivo filler (relleno).

Los rellenos son aditivos sólidos que difieren de las matrices plásticas por su composición y estructura. Los rellenos o extensores inertes aumentan la masa molecular, resuelven algunos problemas de procesamiento y reducen los costos (aumentando la conductividad térmica mejoran las tasas de producción). Los rellenos y refuerzos activos producen mejoras específicas de ciertas propiedades mecánicas o físicas, incluyendo el módulo, la resistencia a la tracción y al impacto, la estabilidad dimensional, la resistencia al calor y las propiedades eléctricas. Los rellenos y refuerzos adecuados para el PE incluyen: carbonato cálcico natural y precipitado, talco, mica, sílice y silicatos, polvos metálicos, caolín, negro de carbón, trihidrato de aluminio, asfalto de madera, amianto, esferas de vidrio, fibras de vidrio, y así sucesivamente. Las fibras de carbón, el grafito, los bigotes, también son utilizados¹⁸.

2.1.4 Generalidades del ensayo de Tensión.

Este ensayo es utilizado para medir la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Esta prueba consiste en alargar una probeta de ensayo por fuerza de tensión, ejercida gradualmente, con el fin de conocer ciertas propiedades mecánicas de materiales en general: su resistencia, rigidez y ductilidad. Sabiendo que los resultados del ensayo para un material dado son aplicables a todo tamaño y formas de muestra, se ha establecido una prueba en la cual se aplica una fuerza de tensión sobre una probeta de forma cilíndrica y tamaño normalizado, que se maneja universalmente entre los ingenieros. Este ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente entre 10°C y

¹⁶ MAYZO. Optical Brighteners [En Línea]. Suwanee, Georgia, USA: MAYZO. 2016. [citado 08 de junio-2017]. Disponible en: <http://www.mayzo.com/optical-brighteners.html>

¹⁷ ALGABA, Inés M. Protección ultravioleta proporcionada por los textiles: estudio de la influencia de las variables más significativas y aplicación de productos específicos para su mejora. Tesis Doctoral. Catalunya. 2005. p. 253. ISBN: 9788469056257

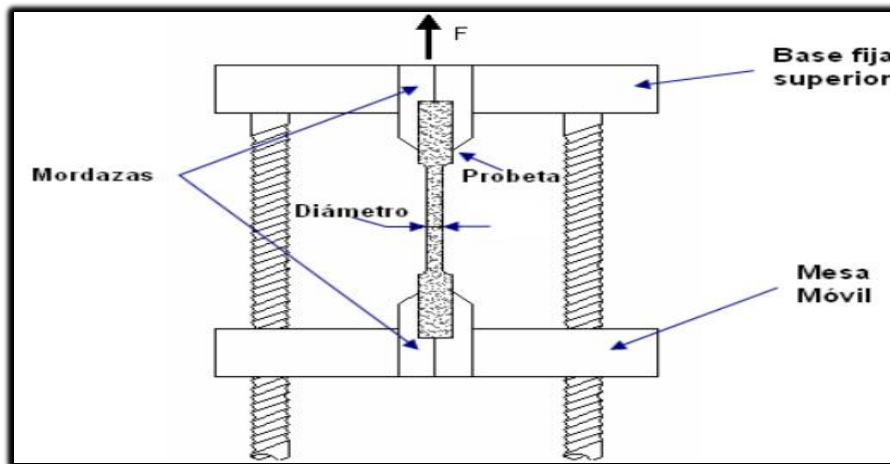
¹⁸ VASILE, Cornelia. PASCU, Mihaela. RAPRA Technology Limited. Practical Guide to Polyethylene. Shrewsbury: Rapra Technology Ltd. 2005. p. 93. ISBN: 1-85957-493-9

35°C. A continuación, se presenta un dispositivo utilizado para realizar este tipo de ensayos (Ver Figura 11)¹⁹.

2.1.4.1 Comportamiento de los distintos materiales frente al ensayo de tensión.

El comportamiento de los distintos materiales frente al ensayo se encuentra ilustrado en la siguiente gráfica. La figura 12 muestra en forma cualitativa las curvas de esfuerzo-deformación unitarias normales para un metal, un material termoplástico, un elastómero y un cerámico.

Figura 11. Máquina donde se lleva a cabo la prueba de tensión



Fuente: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Ensayo de tensión, protocolo curso de materiales. Bogotá. 2008. p. 5

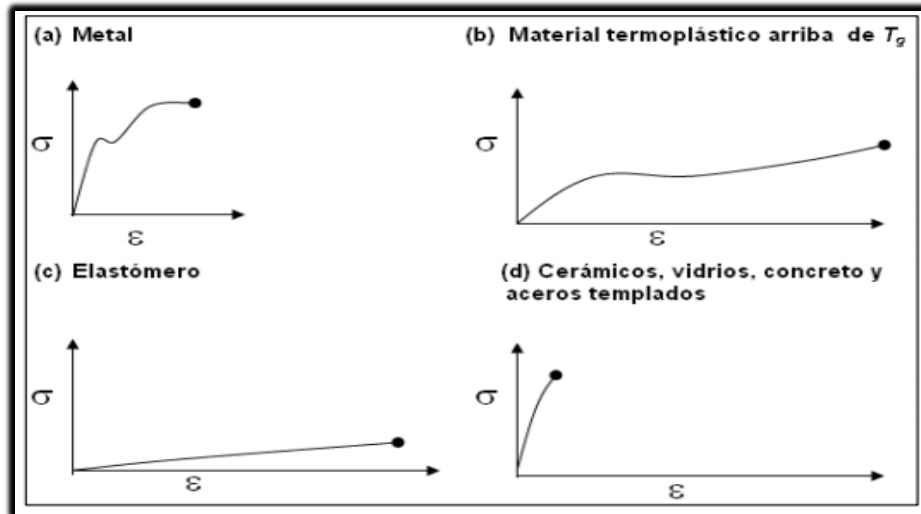
En esta figura, las escalas son cualitativas y distintas para cada material. En la práctica, las magnitudes reales de los esfuerzos y las deformaciones pueden ser muy distintas entre sí. Se supone que el material plástico está arriba de su temperatura de transformación vítrea (T_g), mientras que los materiales metálicos y termoplásticos muestran una región inicial elástica, seguida por una región plástica no lineal. También se incluye una curva aparte para los elastómeros (es decir, hules o siliconas), ya que el comportamiento de esos materiales es distinto del de otros materiales poliméricos. Para los elastómeros, una gran parte de la deformación es elástica y no lineal²⁰.

¹⁹ Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Ensayo de tensión, protocolo curso de materiales. Bogotá. 2008. p. 5

²⁰ *Ibid.*, p. 6

2.1.4.2 La ductilidad. Es el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse. Se mide por la relación de la longitud original de la probeta entre marcas calibradas antes (l_0) y después del ensayo (l_f)²¹.

Figura 12. Curvas de esfuerzo vs deformación a la tensión para diferentes materiales



Fuente: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Ensayo de tensión protocolo curso de materiales. Bogotá. 2008. p. 6

2.1.4.3 Esfuerzo ingenieril (δ). Fuerza aplicada dividida entre el área transversal inicial del material (el área que tiene el material antes de aplicarla fuerza. El área transversal es el área perpendicular a la línea de acción de la fuerza)²².

Ecuación 1. Esfuerzo ingenieril ensayo tensión

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Área inicial del material}} = \frac{F}{A_0}$$

2.1.4.4 Esfuerzo real (δ_r). Fuerza aplicada dividida entre el área transversal real o instantánea que posee el material mientras está actuando la fuerza²³.

²¹ Ibíd., p. 7

²² Ibíd., p. 7

²³ Ibíd., p. 7

Ecuación 1. Esfuerzo real ensayo de tensión

$$\sigma_r = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Área real o instantánea del material}} = \frac{F}{A_0}$$

2.1.4.5 Deformación ingenieril (ϵ). Se define como la deformación (ΔL) dividida entre la longitud inicial (L_0) del material²⁴.

Ecuación 3. Esfuerzo ingenieril ensayo tensión

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

2.1.4.6 Deformación real (ϵ_r). Se determina con la elongación “instantánea” por unidad de longitud del material. Esta se determina con la siguiente ecuación²⁵:

Ecuación 4. Esfuerzo ingenieril ensayo tensión

$$\epsilon_r = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = Ln \left| \frac{L}{L_0} \right|$$

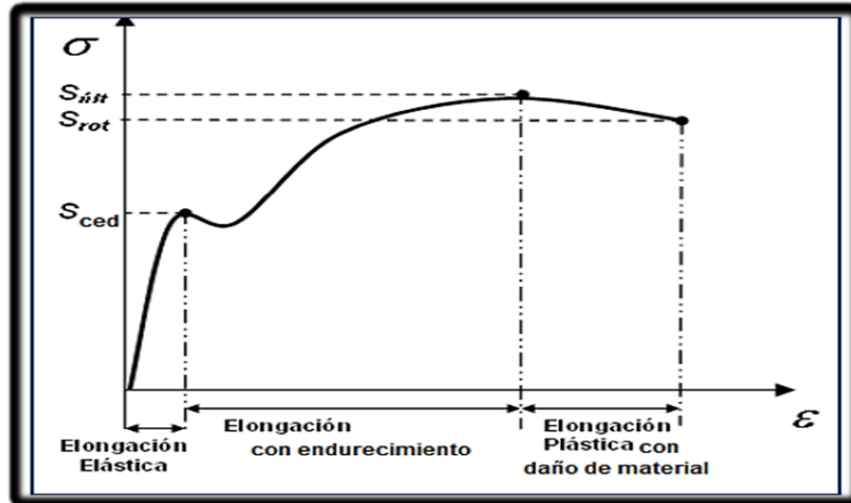
2.1.4.7 Diagramas esfuerzo-deformación. El Diagrama Esfuerzo-Deformación es utilizado cuando se lleva a cabo el ensayo de Tensión. Este tipo de graficas se pueden hacer con los datos calculados esfuerzo-deformación ingenieriles, o con los datos correspondientes a esfuerzo-deformación reales. A continuación, se presenta el diagrama de esfuerzo deformación para el caso de datos reales²⁶.

²⁴ *Ibíd.*, p. 7

²⁵ *Ibíd.*, p. 7

²⁶ *Ibíd.*, p. 8

Figura 13. Ejemplo de gráfica esfuerzo deformación (real). S_{ced} : punto de cedencia, S_{rot} : resistencia a la rotura, $S_{\acute{u}lt}$: resistencia en el punto de esfuerzo último



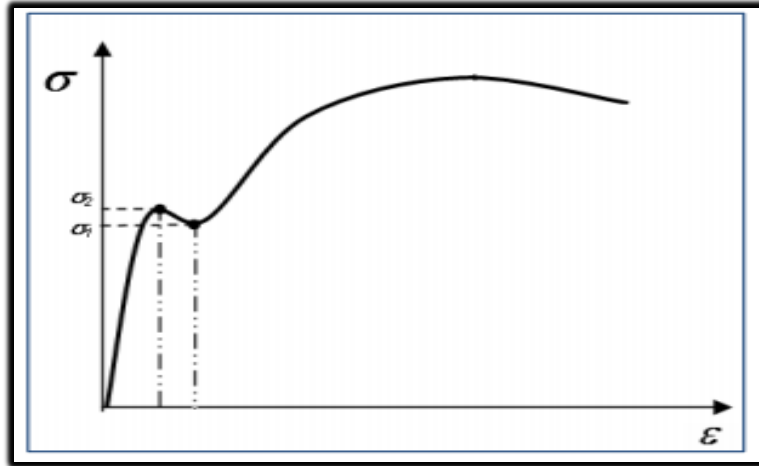
Fuente: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Ensayo de tensión protocolo curso de materiales. Bogotá. 2008. p. 8

2.1.4.8 Punto de Cedencia.

Es el momento en que la deformación de la pieza, debido a la carga que se le está aplicando, deja de ser elástica y se vuelve permanente o plástica, es decir que es el punto máximo en el que se quita la fuerza ejercida y la probeta se devuelve a su longitud inicial. El esfuerzo inducido aplicado en el momento cuando el material llega a su punto de cedencia es en realidad la *resistencia cedente del material*, S_{ced} . En algunos materiales, la transición de deformación elástica a flujo plástico es abrupta. Esa transición se llama fenómeno de punto de fluencia. En esos materiales, al comenzar la deformación plástica, el valor del esfuerzo baja primero desde el punto de fluencia superior (σ_2). El valor del esfuerzo sigue decreciendo y oscila en torno a un valor promedio que se define como punto de fluencia inferior (σ_1). (ver figura 14). Inmediatamente después, el esfuerzo empieza a crecer nuevamente, entrando a la región de deformación plástica²⁷.

²⁷ *Ibíd.*, p. 8-9

Figura 14. Ejemplo de esfuerzo de cedencia superior e inferior



Fuente: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Ensayo de tensión protocolo curso de materiales. Bogotá. 2008. p. 9

2.1.4.9 Módulo de Elasticidad. La porción inicial lineal de la gráfica esfuerzo deformación mostrada en la Figura 15, representa lo que se llama el Módulo de Elasticidad E, de los materiales. Este se calcula según la ley de Hooke, mediante la fórmula:

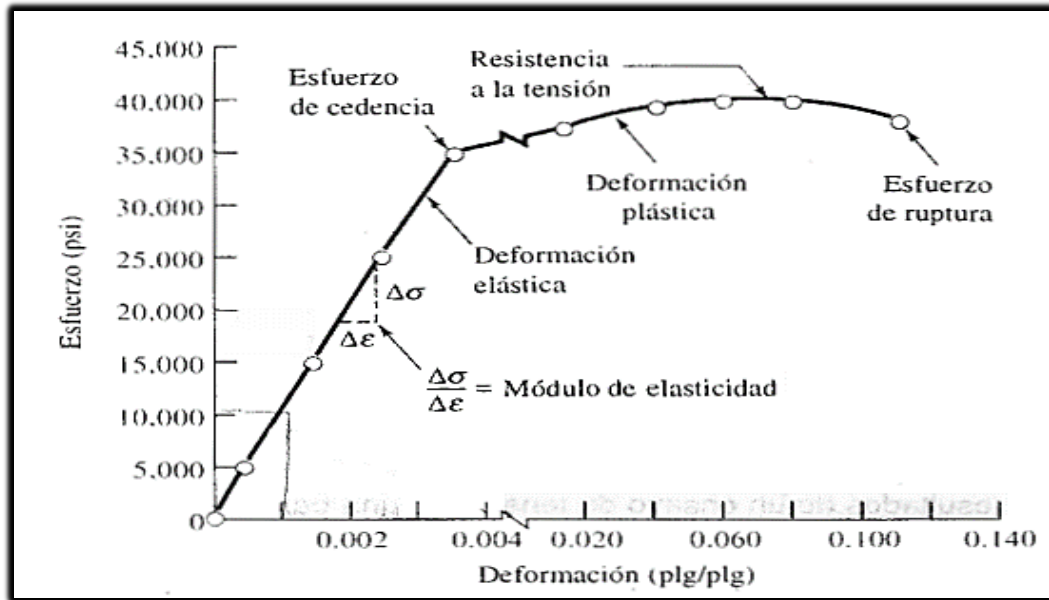
Ecuación 5. Módulo de elasticidad para zona elástica de diagramas Esfuerzo-Deformación

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Lo que es lo mismo a la pendiente de dicha porción lineal. Las unidades del módulo de elasticidad son las mismas a las utilizadas para los esfuerzos, esto es (lb/pulg²), (N/m²) o cualquier otra unidad correspondiente. En esta región el material se comporta elásticamente por lo que cuando se quita la fuerza, la deformación que haya alcanzado el material se devuelve a cero, su forma original antes de iniciar la prueba²⁸. En la figura 15 se puede apreciar el módulo de elasticidad correspondiente para una aleación de aluminio.

²⁸ Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Óp. Cit., p. 9

Figura 15. Módulo de elasticidad en curva de esfuerzo-deformación



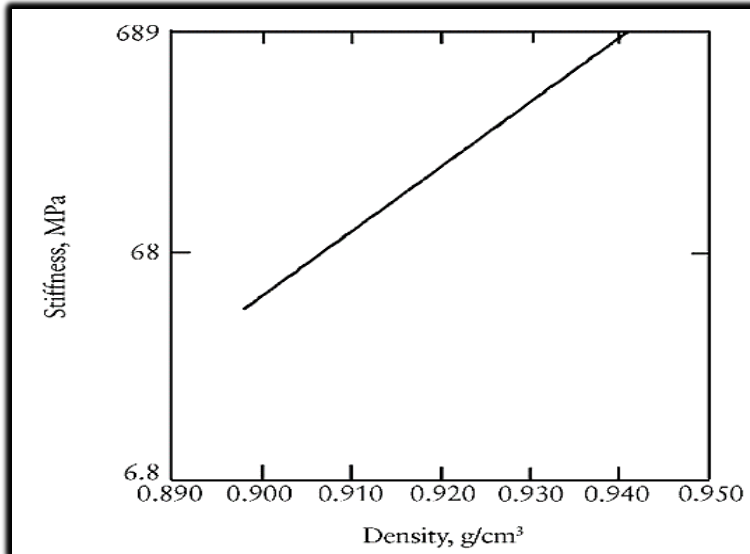
Fuente: ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales, 3rd ed. International Thomson Editores, S.A de C.V. 1998. p.132. ISBN: 9687529369

2.1.5 Resistencia a la Tensión.

La presencia de una fase cristalina permite que el polietileno retenga su resistencia mecánica en un amplio intervalo de temperaturas. La medida mecánica más importante y significativa es la determinación del módulo de elasticidad o "rigidez". El módulo de elasticidad (E) del polietileno aumenta linealmente con la densidad (Figura 16) y depende de la temperatura (Figura 17). Es evidente en la figura 9, una disminución del módulo de elasticidad del polietileno altamente ramificado con el aumento de la temperatura. El límite elástico (esfuerzo de cedencia), la resistencia tensil y el esfuerzo de ruptura son propiedades mecánicas que son particularmente importantes en términos de aplicaciones prácticas. Representan la fuerza elástica máxima, la resistencia final y la cantidad que se puede elongar el polietileno, respectivamente. Éstos se determinan comúnmente a partir de curvas de esfuerzo-deformación (Figura 10). La resistencia a la tensión disminuye con el aumento de la temperatura. El aumento de la densidad provoca un aumento de la resistencia a la tensión, al igual que un aumento en el peso molecular²⁹.

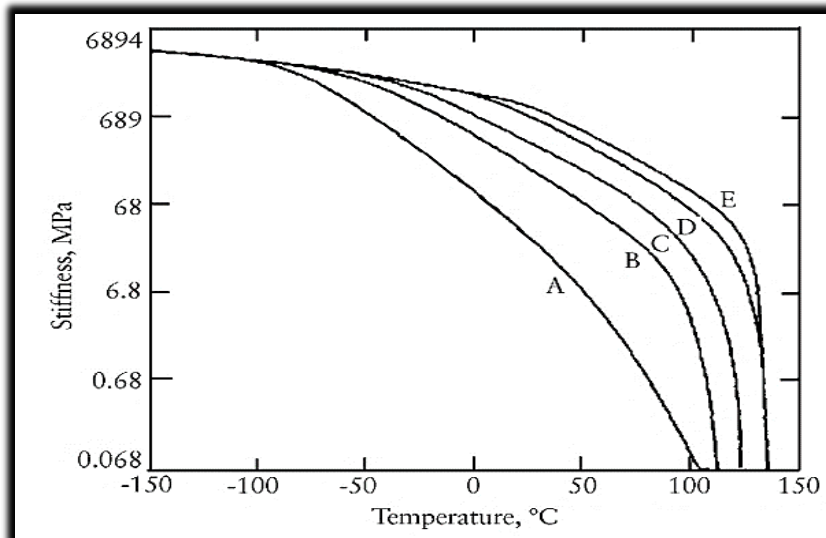
²⁹ VASILE, Cornelia. PASCU, Mihaela. RAPRA Technology Limited. Practical Guide to Polyethylene. Shrewsbury: Rapra Technology Ltd. 2005. p. 50-51. ISBN: 1-85957-493-9

Figura 16. Efecto de la densidad del polietileno sobre la rigidez (módulo de elasticidad)



Fuente: VASILE, Cornelia. PASCU, Mihaela. RAPRA Technology Limited. Practical Guide to Polyethylene. Shrewsbury: Rapra Technology Ltd. 2005. p. 50. ISBN: 1-85957-493-9

Figura 17. Efecto de la temperatura sobre la rigidez (módulo de elasticidad) del polietileno de varias densidades: A: 0.895g/cm³; B:0.978g/cm³; C:0.935g/cm³; D:0.950g/cm³; E:0.968g/cm³



Fuente: VASILE, Cornelia. PASCU, Mihaela. RAPRA Technology Limited. Practical Guide to Polyethylene. Shrewsbury: Rapra Technology Ltd. 2005. p. 51. ISBN: 1-85957-493-9

2.1.6 Transmitancia.

La transmitancia se define como la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en determinada cantidad de tiempo. Existen varios tipos de transmitancia, dependiendo de qué tipo de energía consideremos. La transmitancia óptica se refiere a la cantidad de luz que atraviesa un cuerpo, en una determinada longitud de onda. Cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo translúcido, una parte de esa luz es absorbida por el mismo, y otra fracción de ese haz de luz atravesará el cuerpo, según su transmitancia³⁰.

El valor de la transmitancia óptica de un objeto se puede determinar según la siguiente expresión:

Ecuación 6. Transmitancia

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Donde I es la cantidad de luz transmitida por la muestra y I_0 es la cantidad total de luz incidente. Muchas veces encontraremos la transmitancia expresada en porcentaje, según la fórmula:

Ecuación 7. Transmitancia en porcentaje

$$\%T = \frac{I}{I_0} * 100\%$$

2.1.7 Absorbancia. “Cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo translúcido, una parte de esta luz es absorbida por el cuerpo, y el haz de luz restante atraviesa dicho cuerpo. A mayor cantidad de luz absorbida, mayor será la absorbancia del cuerpo, y menor cantidad de luz será transmitida por dicho cuerpo. Como se ve, la absorbancia y la transmitancia son dos aspectos del mismo fenómeno”³¹. La absorbancia, a una determinada longitud de onda λ , se define como:

Ecuación 8. Fórmula para Absorbancia

$$A_\lambda = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Donde I es la intensidad de la luz que pasa por la muestra (luz transmitida) y I_0 es la intensidad de la luz incidente. Para medir esta absorbancia, se hace incidir un haz

³⁰ LA GUÍA. Transmitancia y absorbancia [En Línea]. [citado 09 de junio-2017]. Disponible en: <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>

³¹ LA GUÍA. Transmitancia y absorbancia [En Línea]. [citado 09 de junio-2017]. Disponible en: <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>

de luz con determinada intensidad y longitud de onda, sobre la muestra, y se mide la luz transmitida al otro lado de la cubeta que contiene dicha solución³².

2.1.8 Reflectancia.

Se refiere a la relación entre la potencia electromagnética incidente con respecto a la potencia que es reflejada en una interfase. Los espectrofotómetros de reflectancia miden la cantidad proporcional de luz reflejada por una superficie como una función de las longitudes de onda para producir un espectro de reflectancia. El espectro de reflectancia de una muestra se puede usar, junto con la función del observador estándar y la distribución relativa de energía espectral de un iluminante³³

La reflectancia de una muestra se expresa como una fracción entre 0 y 1, o como un porcentaje entre 0 y 100. Es importante darse cuenta de que los valores de reflectancia obtenidos son valores relativos y, para muestras no fluorescentes, son independientes de la calidad y cantidad de la luz usada para iluminar la muestra. Así, aunque los factores de reflectancia se midan usando una fuente de luz concreta, es perfectamente correcto calcular los valores colorimétricos para cualquier iluminante conocido³⁴.

2.2 MARCO NORMATIVO

2.2.1 Propiedades mecánicas. A continuación, se describen de forma resumida en qué consisten cada una de las normas para pruebas de tensión y compresión para plásticos.

2.2.1.1 ASTM D 638. Es un método de prueba de ensayo, el cual determina propiedades de resistencia a la tensión para el control y especificaciones de materiales plásticos. Usa probetas con unos parámetros determinados bajo condiciones de humedad, temperatura y velocidad. Se usa para probar materiales con un espesor menor de 14mm (0,55in).

2.2.1.2 ASTM D 4577. Es un método de ensayo el cual determina la residencia de un envase cuando es sometido a una carga constante durante un tiempo específico y unas condiciones ambientales determinadas. Se somete el envase, vacío o lleno, a una carga estática predeterminada. Se usa en productos que son almacenados y a los cuales se les superpone un envase sobre otro, soportando una carga durante un largo tiempo.

³² LA GUÍA. Transmitancia y absorbancia [En Línea]. [citado 09 de junio-2017]. Disponible en: <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>

³³ GUSGSM. Cómo funciona en espectrofotómetro de reflectancia. [En Línea]. [citado 09 de junio-2017]. Disponible en: http://www.gusgsm.com/funciona_espectrofotometro_reflectancia

³⁴ GUSGSM. Cómo funciona en espectrofotómetro de reflectancia. [En Línea]. [citado 09 de junio-2017]. Disponible en: http://www.gusgsm.com/funciona_espectrofotometro_reflectancia

2.2.2 Propiedades ópticas. A continuación, se describe de forma resumida en qué consiste la norma asociada para pruebas de transmitancia aplicada en plásticos, en un espectrofotómetro.

2.2.2.1 ASTM D-1003. Este método de prueba cubre la evaluación de propiedades de transmisión de luz y gran dispersión de luz angular en secciones planas de materiales tales como esencialmente transparentes el plástico. Se proporcionan dos procedimientos para la medición de transmitancia luminosa. El procedimiento a utilizar hace uso de un espectrofotómetro.

3. DIAGNÓSTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y ÓPTICAS DEL POLIETILENO TRANSLÚCIDO RECUPERADO SIN ADITIVOS

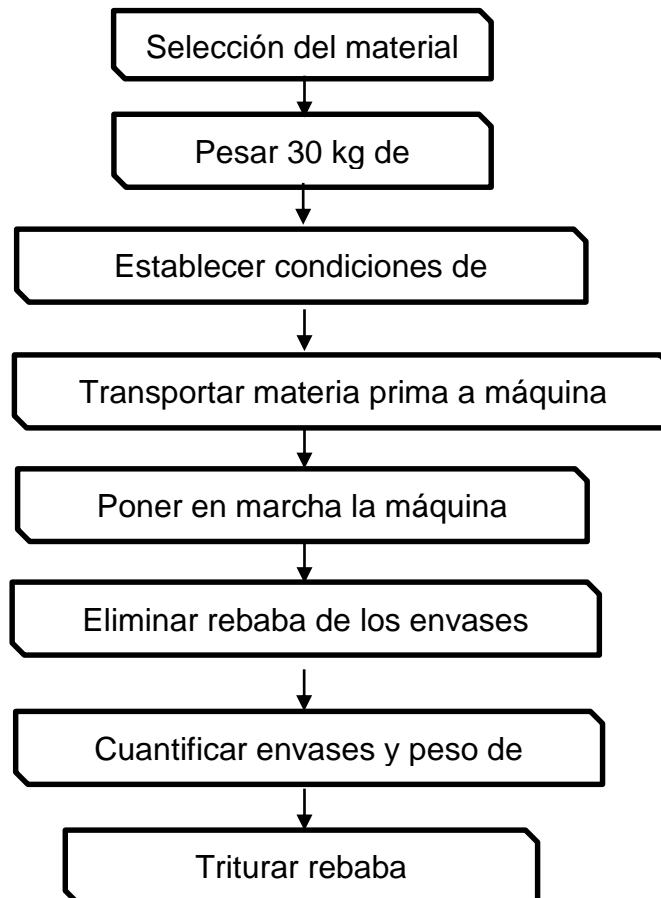
El objetivo de este capítulo es determinar las propiedades mecánicas (tensión y compresión) y ópticas (transmitancia y absorbancia) que posee el polietileno translúcido recuperado empleado por COLFOPLAS S.A, el cual es adquirido por parte de diferentes proveedores con un alto grado de contaminación.

3.1 PRE-EXPERIMENTACIÓN

De acuerdo al proceso general de extrusión-soplado de la empresa COLFOPLAS S.A descrito en la sección 1.6, se produjeron envases medio galón a base de polietileno de alta densidad translúcido recuperado. A partir de esto, se determinaron las propiedades ópticas (transmitancia y absorbancia) y mecánicas (tensión y compresión).

3.1.1 Metodología. A continuación, se muestra el diagrama de flujo para la pre-experimentación.

Diagrama 2. Metodología para la pre-experimentación sin adición de aditivos



3.1.1.1 Selección de material. En esta etapa se procedió a seleccionar y cuantificar toda la materia prima (polietileno translúcido recuperado) que se empleó para la fabricación de envases medio galón. Esto se hizo con el fin de trabajar con el mismo material en todas las etapas de la investigación, todo con el fin de disminuir errores y realizar una comparación mucho más precisa.

Para la selección de la materia prima se seleccionó un lote en específico de la bodega de almacenamiento, el cual estuvo en recepción el día 6 de diciembre de 2016, con esto se aseguró que todo el polietileno translúcido recuperado tuviera características similares como lo son: el grado de contaminación, color. Se seleccionaron 20 bultos peletizados del lote mencionado anteriormente, los cuales compararon visualmente como se observa en la figura 18. Estos fueron apartados de tal modo que ningún operario los manipulara por error, y garantizará la disponibilidad de material para el transcurso del proyecto.

3.1.1.2 Pesaje de la materia prima. Para comenzar, se pesaron 30 kg (1 bulto) del polietileno seleccionado previamente, tal como se mencionó en la sección 3.1.1. Se pesó el material peletizado en la balanza industrial de la cual dispone la empresa, tal como se aprecia en la figura 19.

Figura 18. Polietileno translúcido recuperado con el mismo grado de contaminación



Figura 19. Pesado de polietileno



3.1.1.3 Condiciones de operación. Para la producción de envases medio galón la empresa ha estandarizado las condiciones de este proceso, que han sido resultado de muchos años de producción y manipulación de la máquina HESSEN (véase anexo B). Se programaron todas las variables de proceso con supervisión del Ingeniero mecánico encargado, estos valores se registran en la tabla 5.

3.1.1.4 Producción por extrusión-soplado. Con las condiciones de operación establecidas y puestas en marcha, el polietileno pesado se transportó a la tolva de la máquina HESSEN. Seguidamente, el operario dio la orden a través del tablero de mando de iniciar la producción de los envases. La transformación de la materia prima por el proceso de extrusión-soplado se realizó como se menciona en la sección 1.2.5. La rebaba de cada uno de los envases fue retirada por el operario a medida que se iban formando los envases con ayuda de sus guantes y cuchillo. El resumen de producción de los envases medio galón que se produjeron a partir de los 30 kg de polietileno, se pueden observar en la tabla 6.

Tabla 5. Condiciones de proceso para producción de envases medio galón en la máquina HESSEN

| Condiciones de proceso | |
|--|------------------|
| Temperatura zonas de extrusión | Valor [K] |
| Zona 1 | 437.15 |
| Zona 2 | 437.15 |
| Zona 3 | 437.15 |
| Zona 4 | 436.15 |
| Zona 5 | 441.15 |
| Tiempos de operación | Valor [s] |
| Temporizador de retardo de carga de alta presión | 0.12 |
| Temporizador de retardo de soplado de aire | 0 |
| Temporizador de un ciclo | 30 |
| Temporizador de cierre de molde | 0.1 |
| Temporizador de pre-soplado de párison | 0 |
| Temporizador de abertura de molde | 0.45 |
| Temporizador de soplado de aire | 18 |
| Temporizador de enfriamiento del molde | 3 |

Tabla 6. Datos de producción de envases medio galón

| Producción medio galón | |
|-------------------------------------|--------------|
| Número de envases buenos | 231 |
| Rango peso [g] | 85-88 |
| Peso total envases buenos [kg] | 20.05 |
| Número de envases defectuosos | 9 |
| Peso total envases defectuosos [kg] | 0.79 |
| Peso total rebaba [kg] | 8.6 |
| Peso total [kg] | 29.44 |

En la tabla 6, se puede observar que de los 30 kg de polietileno peletizado introducidos en la máquina HESSEN, se obtuvieron un total de 231 envases medio galón (véase figura 20) que fueron certificados por el área de calidad de la empresa, y por consiguiente ser puestos en venta. De éste lote de producción se separaron 15 envases para determinar las propiedades mecánicas de resistencia a la tensión y resistencia a la compresión, y por otra parte las propiedades ópticas (transmitancia y absorbancia).

Figura 20. Producción de envases medio galón



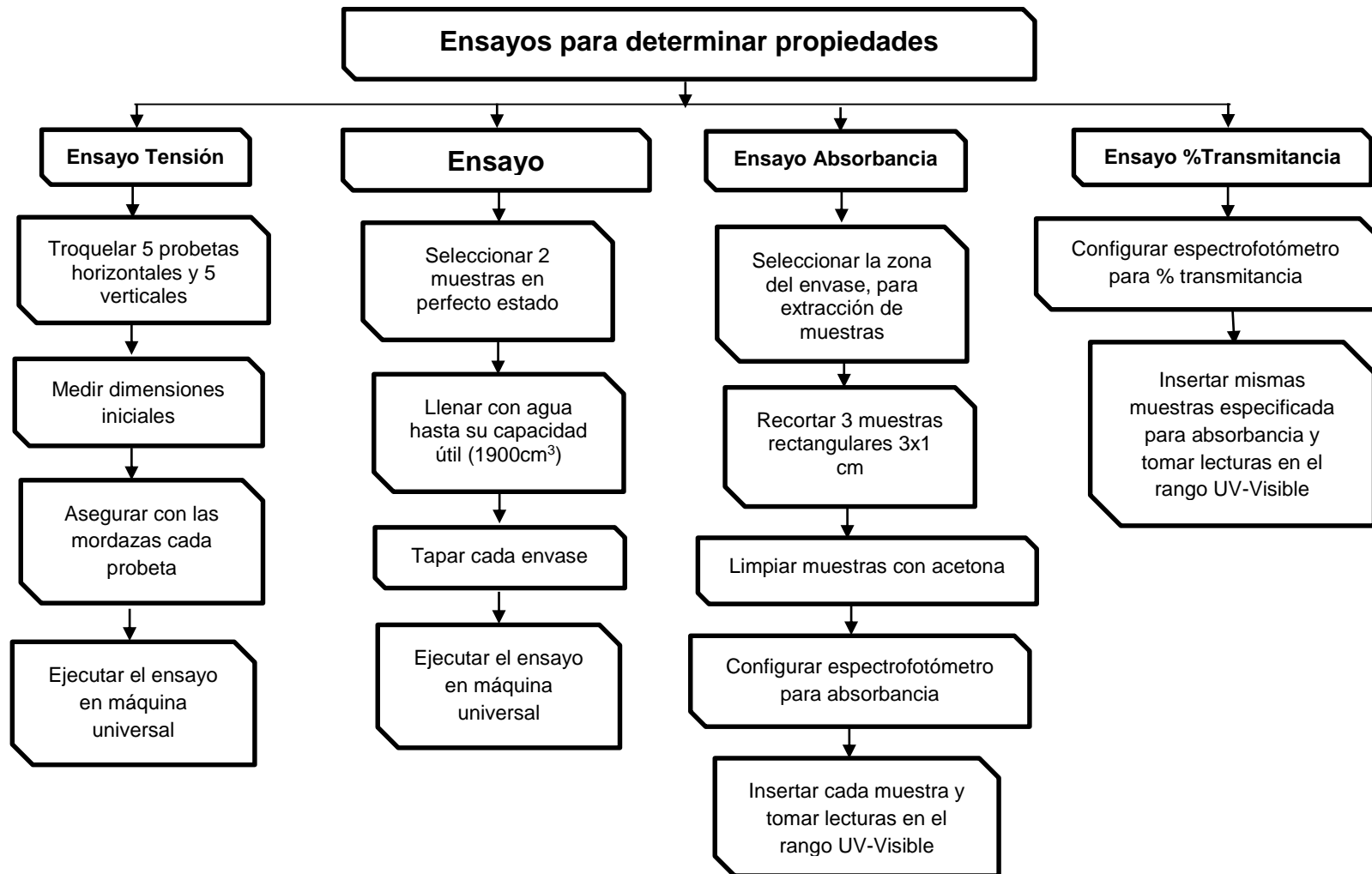
3.2 EXPERIMENTACIÓN

Para la determinación de las propiedades mecánicas, se formalizó un convenio entre la Universidad Santo Tomás de la ciudad de Bogotá y los autores de éste proyecto el 27 de marzo del 2017. Éste convenio, tenía como fin brindar a los estudiantes conocimientos acerca de los ensayos de resistencia a la tensión y resistencia a la compresión en polietileno de alta densidad translúcido recuperado. Los respectivos ensayos, se ejecutaron en la máquina universal de ensayos SHIMADZU UH-50 A en presencia de grupos con 4 integrantes cada uno, en el laboratorio de ingeniería civil. Los estudiantes involucrados en este proyecto se encontraban cursando en su momento la asignatura de Ingeniería de materiales, dictada por el Ingeniero Ricardo Forero, perteneciente a la facultad de Ingeniería Mecánica.

Por otra parte, se determinaron las propiedades ópticas en espectros de absorbancia y transmitancia. Los ensayos requeridos se ejecutaron en las instalaciones de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (Bogotá D.C), Laboratorio de Química Instrumental, bajo la supervisión del Químico José Felipe Mendoza Abella.

En el diagrama 3, se presenta la metodología para cada uno de los ensayos descritos anteriormente.

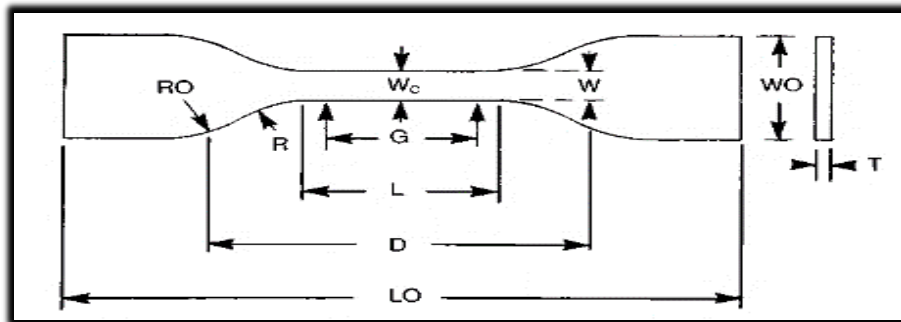
Diagrama 3. Metodología de la experimentación sin adición de aditivos



3.2.1 Resistencia a la tensión. Para la selección de un material y posterior elaboración de un objeto, las características principales que se deben tomar en cuenta son sus propiedades mecánicas, de acuerdo a lo que se requiere. Estas propiedades mecánicas se relacionan con la capacidad que tiene el material para soportar esfuerzos, ya sea de compresión, tensión o flexión. Las propiedades mecánicas de los polímeros son una consecuencia directa de su composición, densidad, así como de la estructura molecular, tanto a nivel molecular como en la relación con moléculas vecinas.

3.2.1.1 Formación de las probetas. Como se mencionó en la sección 3.2.4 se separaron 15 envases de la respectiva producción, de allí se seleccionaron 5 envases para realizar las pruebas de la resistencia a la tensión. Para realizar ésta prueba fue necesario la creación de probetas según la norma ASTM D 638, allí se especifican diferentes tipos de probetas según el tipo de material. Se ejecutó la prueba haciendo uso de la probeta tipo IV, debido a que en caso se trabajó con un plástico no rígido y con un espesor menor a 4 mm. Las dimensiones y figura de dicha probeta se muestran a continuación:

Figura 21. Probeta tipo IV



Fuente: American Society for Testing and Materials. ASTM D 638 Standard test method for tensile properties of plastics. p. 4

Tabla 7. Dimensiones probeta tipo IV T<4mm

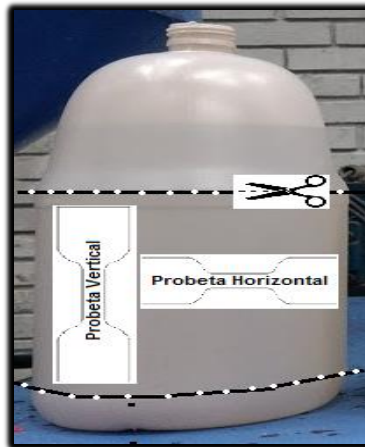
| PROBETA TIPO IV | |
|------------------------------------|------------------|
| Especificación | Dimensiones [mm] |
| W-Anchura de la sección estrecha | 6 |
| L- Longitud de la sección estrecha | 33 |
| WO-Anchura total | 19 |
| LO-Longitud total | 115 |
| G- Longitud calibrada | 25 |
| D- distancia ente mordazas | 65 |
| R-radio de filete | 14 |
| RO- radio exterior | 25 |

Fuente: American Society for Testing and Materials. ASTM D 638 Standard test method for tensile properties of plastics. p. 4

Para el corte de las probetas se mandó a fabricar dos troqueles con las medidas especificadas anteriormente. El diseño de la probeta se hizo con ayuda del programa Corel Draw Graphics Suite 2017 (ver anexo A), y posteriormente ser enviado a fabricación.

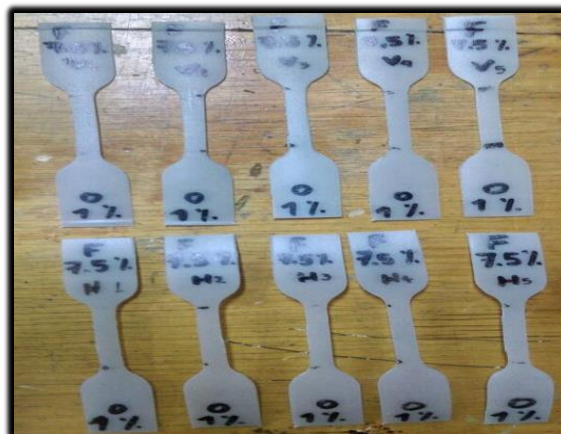
El corte de las probetas se realizó en la zona intermedia de los envases, debido a que allí se presenta la mayor uniformidad de material, es decir un espesor similar en sus paredes. De esta zona se recortó una lámina rectangular y seguidamente se troqueló 1 probeta de forma vertical y 1 probeta de forma horizontal para cada uno de los 5 envases seleccionados, y así obtener un total de 10 probetas, 5 verticales y 5 horizontales. El motivo del corte de las probetas verticales y horizontales, es principalmente por la orientación de las cadenas poliméricas del polietileno en el flujo del párison antes y después del soplado para la formación del envase (Véase figura 22).

Figura 22. Corte de probetas para tensión



Una vez cortadas las probetas quedan de la siguiente forma:

Figura 23. Probetas sin aditivos



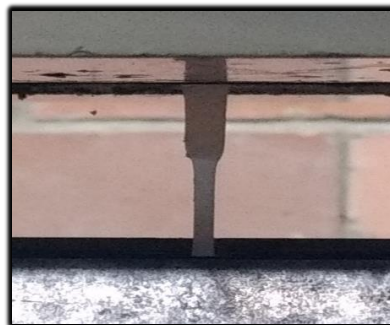
3.2.1.2 Medición inicial de las probetas. Las probetas troqueladas se procedieron a medir con un calibrador (pie de rey), para así obtener las dimensiones del cuello de cada probeta. Se tomaron 3 lecturas del ancho y 3 lecturas del espesor como se muestra en la tabla 8, y seguidamente calcular un promedio de cada dimensión. Después, con el ancho promedio y el espesor promedio se procedió a calcular un el área transversal que tenía cada probeta.

Tabla 8. Medidas iniciales probetas sin aditivos

| Medidas iniciales | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------------|------------|-----|------|-------|--------------|-----|-----|-------|--|
| Probeta | Longitud (L_0)[mm] | Ancho [mm] | | | | Espesor [mm] | | | | Área (A_0)[m ²] $A=A \cdot E$ |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6 | 6 | 6.2 | 6.07 | 1 | 0.9 | 1 | 0.97 | 5.86E-06 |
| V2 | 33 | 6.1 | 6 | 6.2 | 6.10 | 1 | 0.9 | 0.8 | 0.90 | 5.49E-06 |
| V3 | 33 | 6.3 | 6.1 | 6.1 | 6.17 | 0.9 | 1 | 1 | 0.97 | 5.96E-06 |
| V4 | 33 | 6.1 | 6.1 | 6.3 | 6.17 | 1 | 0.9 | 0.9 | 0.93 | 5.76E-06 |
| V5 | 33 | 6 | 6 | 6.4 | 6.13 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.80 | 4.91E-06 |
| H1 | 33 | 6.4 | 6.3 | 6.25 | 6.32 | 1.1 | 1 | 1.1 | 1.06 | 6.74E-06 |
| H2 | 33 | 6.4 | 6.2 | 6.4 | 6.33 | 1 | 0.8 | 0.7 | 0.83 | 5.28E-06 |
| H3 | 33 | 6 | 6.3 | 6.4 | 6.23 | 1 | 0.9 | 1 | 0.97 | 6.03E-06 |
| H4 | 33 | 6.2 | 6 | 6 | 6.07 | 1 | 1 | 1 | 1.00 | 6.07E-06 |
| H5 | 33 | 6.5 | 6.2 | 6.4 | 6.37 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.90 | 5.73E-06 |

3.2.1.3 Ejecución del ensayo. Las probetas calibradas fueron sometidas una por una y al azar a la prueba de resistencia la tensión, haciendo uno del equipo Universal de Ensayos SHIMADZU UH-50A (ver anexo B). Los ensayos se ejecutaron con una velocidad de 5mm/min, hasta llegar a un estiramiento de las probetas de 20mm, es decir un tiempo aproximado de 4 minutos por cada probeta (ver figura 24). Se garantizó que el estiramiento de 20 mm era el adecuado para representar la zona elástica y zona plástica del polímero en una gráfica de Esfuerzo Vs Deformación. Por cada probeta, se obtuvieron aproximadamente 600 datos de carga en unidades de tonelada-fuerza contra la posición en unidades de milímetros.

Figura 24. Ensayo de tensión



3.2.1.4 Medición final de las probetas. Después de finalizar cada ensayo las probetas son nuevamente medidas con el calibrador en la zona donde se creó el encuello tal como se observa en la figura 24. Las dimensiones tomadas fueron la longitud final, ancho final y espesor final tal como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Medidas finales probetas sin aditivos

| Medidas finales | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud [mm] | Ancho[mm] | Espesor[mm] |
| V1 | 45.2 | 2.60 | 0.15 |
| V2 | 45.9 | 2.60 | 0.13 |
| V3 | 47.56 | 2.56 | 0.20 |
| V4 | 45 | 2.75 | 0.20 |
| V5 | 48 | 0.26 | 0.12 |
| H1 | 47.7 | 2.40 | 0.20 |
| H2 | 48.1 | 2.60 | 0.12 |
| H3 | 48 | 2.65 | 0.24 |
| H4 | 48 | 2.36 | 0.18 |
| H5 | 48 | 2.90 | 0.12 |

3.2.1.5 Resultados del ensayo de resistencia a la tensión. Los datos obtenidos por la máquina universal de ensayos de carga contra posición, se convirtieron con ayuda de una plantilla en EXCEL a unidades correspondientes de Esfuerzo Vs Deformación Ingenieril como se menciona en la sección 2.1.4.3. Y posteriormente, graficar los resultados de cada una de las probetas que fueron sometidas a al ensayo de resistencia a la tensión. En la gráfica 1, se muestra el ejemplo para la probeta Vertical 2, allí se identificó la zona elástica para hallar el módulo de elasticidad por medio de una regresión lineal, en donde el valor correspondiente a la pendiente de la ecuación, es el Módulo de elasticidad (E). Además, como se observa en la gráfica 1 se identificó el límite elástico y el esfuerzo máximo. Analogamente, se realizó el procedimiento descrito anteriormente para cada una de las 5 probetas verticales y 5 horizontales. Las gráficas de Esfuerzo Vs Deformacion para las probetas verticales y horizontales se pueden apreciar en las graficas 2 y 3 respectivamente, y los resultados del módulo de elasticidad y esfuerzo máximo en la tabla 11. A continuación, se describe como se convirtieron los datos de Carga a unidades de Esfuerzo Ingenieril, y los datos de posición a unidades de Deformación Ingenieril.

➤ **Cálculos.** En la tabla 10, se observa el resumen de los datos obtenidos para la probeta Vertical 1, las tres primeras columnas corresponden a las datos obtenidos por la máquina universal de ensayos, para un total de 602 datos para Carga(tn-f) y posición(mm). A continuación, se muestran los cálculos para las conversiones correspondientes al dato 8.

- **Conversión de la Carga (tn-f) a Esfuerzo (kPa)**

$$0.0014 \text{ tn-f} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ tn-f}} = 1.4 \text{ kg}$$

Como:

$$Fuerza = Masa * Aceleración \text{ de la gravedad}$$

Entonces:

$$F = 1.4 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 13.374 \text{ N}$$

Haciendo uso de la ecuación 1, se procede a calcular el Esfuerzo. La fuerza aplicada a la probeta en cada instante, se divide sobre el Área inicial (A_0) de las misma (véase tabla 8). Para el caso de la probeta Vertical 1 corresponde a: $A_0=5.86E-06 \text{ m}^2$.

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Área inicial del material}} = \frac{F}{A_0} = \frac{13.374 \text{ N}}{5.86E-06 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ N}} = 2341.909 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- **Conversión de la Posición (mm) a Deformación (mm/mm)**

Como la longitud inicial (L_0) de cada probeta corresponde a un valor de 33 mm, se hace uso de la ecuación 3 para calcular la deformación en cada instante.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{(33\text{mm} + 0.218\text{mm}) - (33\text{mm})}{33\text{mm}} = 0.0066 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

Donde la longitud final corresponderá a la longitud inicial sumado con la posición, es decir, el estiramiento de la probeta en cada instante.

Igualmente, se realiza la conversión para aproximadamente 600 datos que se obtuvieron por cada probeta, en la máquina universal de ensayos (ver anexo C). El resumen de los de los módulos de elasticidad y esfuerzos máximos de cada probeta se muestran en la tabla 10. En la gráfica 2 se muestran las curvas de Esfuerzo vs Deformación para las probetas verticales y en la gráfica 3 para las probetas horizontales.

Tabla 10. Resumen de resultados para probeta vertical 1 sin aditivos.

| Resultados máquina universal | | | Conversiones | | |
|------------------------------|--------------|---------------|--------------|---|---------------------------------------|
| Datos | Carga [tn-f] | Posición [mm] | Carga[N] | Esfuerzo (σ) [kN/m ²] [kPa] | Deformación (ϵ) [mm/mm] |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0.016 | 0 | 0 | 0.00048 |
| 3 | 0.0004 | 0.052 | 3.924 | 669.117 | 0.00157 |
| 4 | 0.0004 | 0.086 | 3.924 | 669.117 | 0.00260 |
| 5 | 0.0004 | 0.118 | 3.924 | 669.117 | 0.00357 |
| 6 | 0.0008 | 0.152 | 7.848 | 1338.234 | 0.00460 |
| 7 | 0.001 | 0.186 | 9.81 | 1672.792 | 0.00563 |
| 8 | 0.0014 | 0.218 | 13.734 | 2341.909 | 0.00660 |
| 9 | 0.0016 | 0.252 | 15.696 | 2676.468 | 0.00763 |
| 10 | 0.002 | 0.286 | 19.62 | 3345.585 | 0.00866 |
| . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . |
| 599 | 0.001 | 19.916 | 9.81 | 1672.792 | 0.60351 |
| 600 | 0.0012 | 19.95 | 11.772 | 2007.351 | 0.60454 |
| 601 | 0.001 | 19.984 | 9.81 | 1672.792 | 0.60557 |
| 602 | 0.001 | 20.018 | 9.81 | 1672.792 | 0.60660 |

En la gráfica 1, lo primero que se identificó es el límite elástico o esfuerzo de cedencia (σ_y), es decir, el punto que divide el comportamiento elástico y plástico del material, en este caso del polietileno de alta densidad. Inicialmente, se observó la gráfica que se obtuvo de Esfuerzo-Deformación, identificando su primera parte, el cual tiene un comportamiento lineal y que representa la zona elástica del material. En la región elástica, se presenta una razón lineal entre el esfuerzo aplicado y la deformación que sufre el polietileno, allí las deformaciones que sufre son elásticas, es decir, son deformaciones instantáneas que se dan mientras se ejerce una carga o esfuerzo determinado dentro de la zona elástica, y que al cesar esa carga, la deformación vuelve a ser cero. Las propiedades más importantes en esta zona son el módulo de elasticidad o módulo de Young (E), el cual representa el valor de la pendiente de la línea recta el cual se obtuvo a través de una regresión lineal en esa zona como se observa en la gráfica 1.

Ahora, se procedió a analizar la zona plástica del polietileno, la cual corresponde a la curva posterior al límite elástico. Ésta curva se divide en dos partes: la primera la cual va desde el límite elástico hasta el esfuerzo máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$), y la segunda desde el esfuerzo máximo en adelante. En la primera parte de la zona plástica, se introduce a las primeras deformaciones permanentes en el polietileno, y que no cesan aunque se retire la carga o esfuerzo determinado. En la segunda parte, después del

esfuerzo máximo se produce un fenómeno llamado la estricción, que es donde se produce una reducción de sección en la zona donde se va a producir la rotura, es decir el respectivo encuellamiento de la probeta. tal como se muestra en la figura 24. Análogamente, se repitió lo anterior para cada una de las 10 probetas troqueladas.

Gráfica 1. Esfuerzo Vs Deformación probeta V2

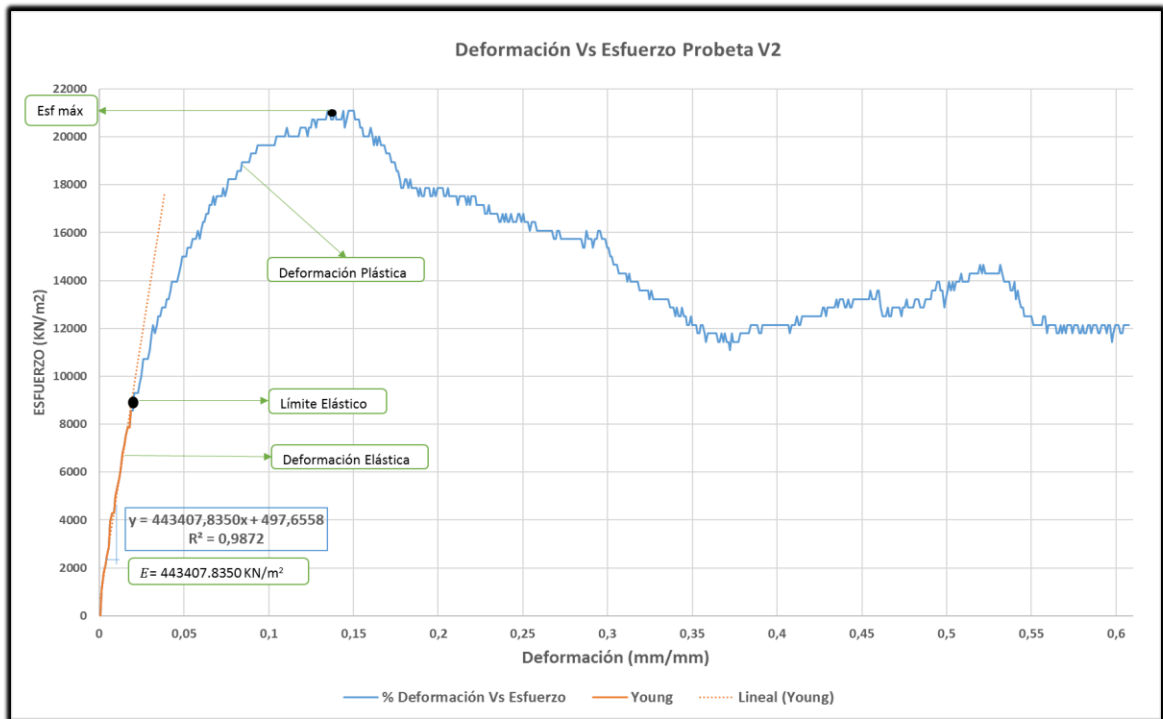
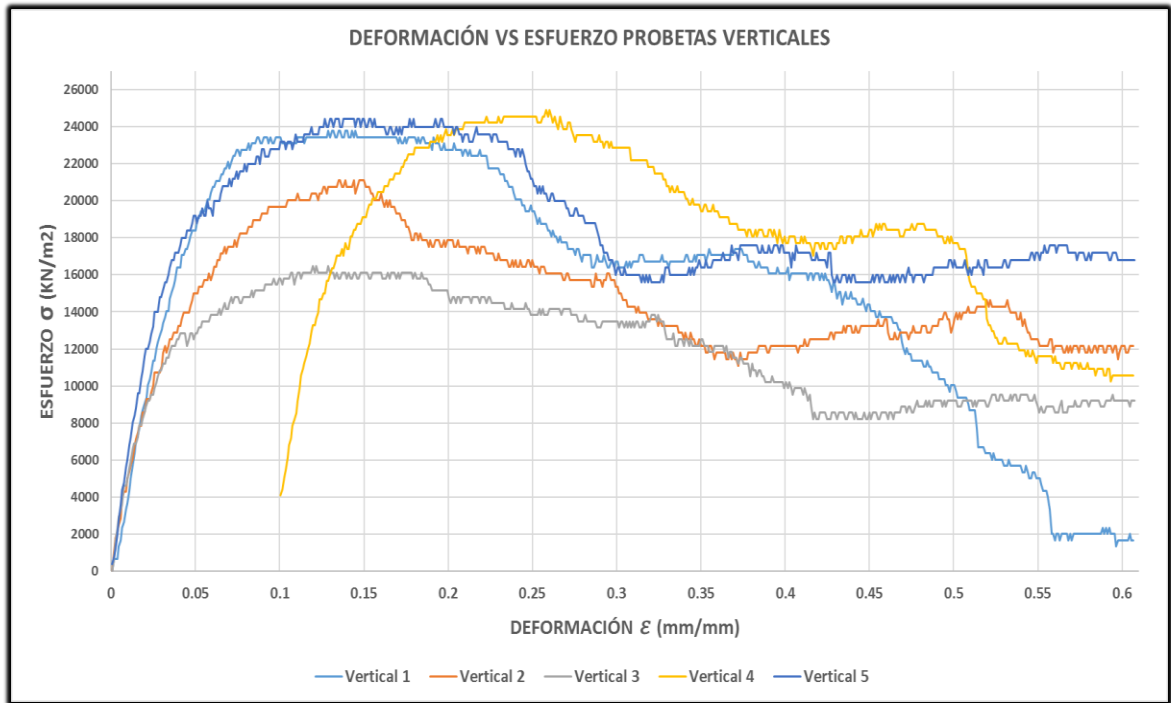


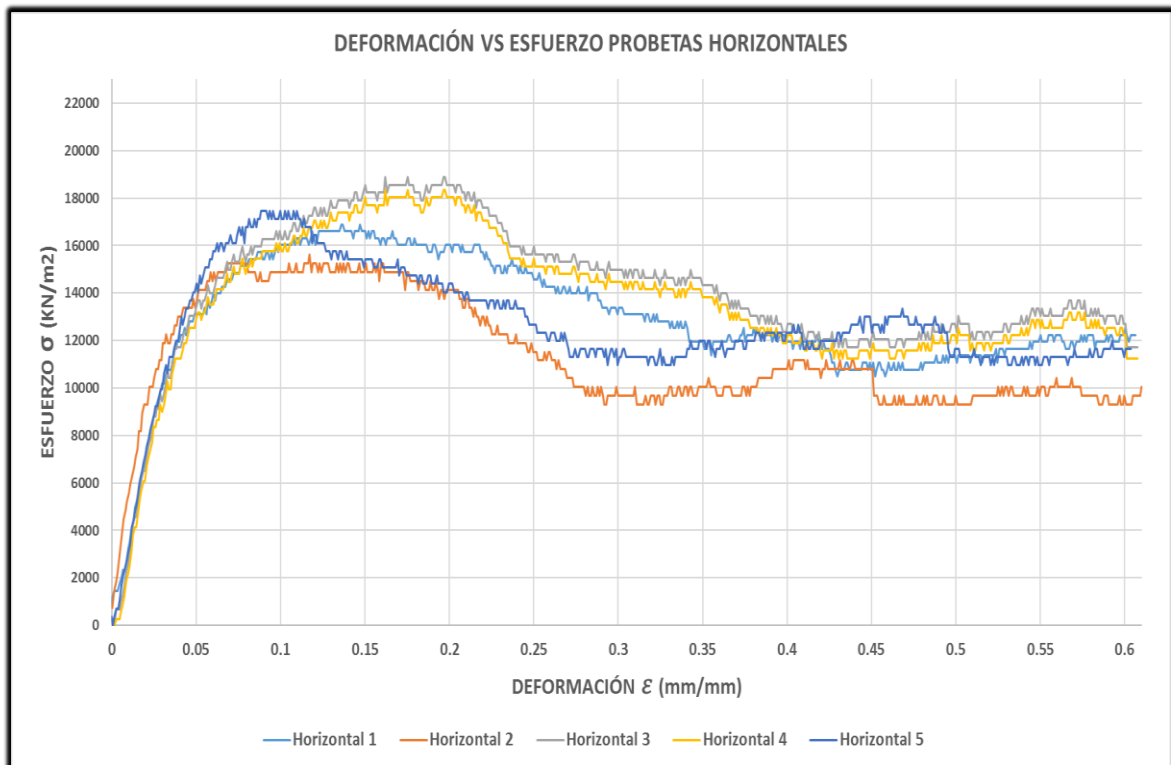
Tabla 11. Módulo de elasticidad y esfuerzo máximo de probetas sin aditivos

| PROBETA | Módulo de Young (E) [kPa] | Esfuerzo Máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$) [kPa] |
|---------|-------------------------------|--|
| V1 | 448972.94 | 23753.65 |
| V2 | 443407.84 | 21085.25 |
| V3 | 502864.83 | 16456.66 |
| V4 | 526832.36 | 24884.82 |
| V5 | 583621.17 | 24391.71 |
| H1 | 329654.25 | 16889.25 |
| H2 | 436637.96 | 15613.39 |
| H3 | 370667.47 | 18885.56 |
| H4 | 353904.55 | 17562.25 |
| H5 | 380802.77 | 17462.83 |

Gráfica 2. Esfuerzo Vs Deformación probetas verticales sin aditivos

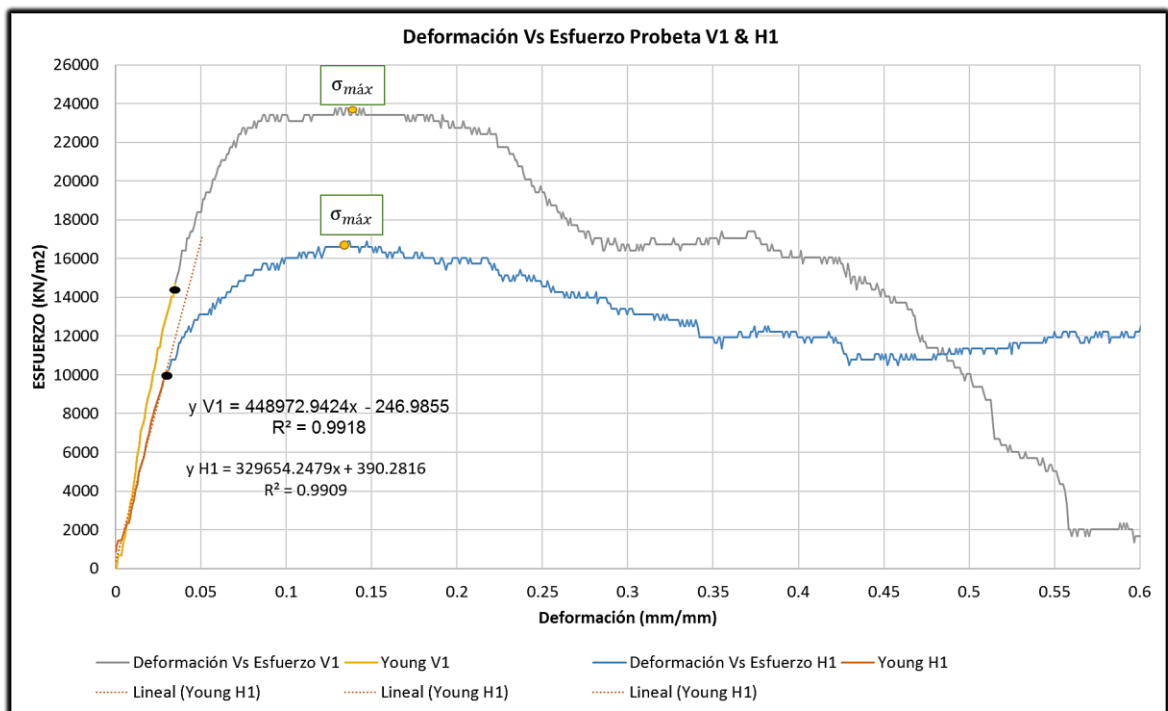


Gráfica 3. Esfuerzo Vs Deformación probetas horizontales sin aditivos



3.2.1.6 Análisis de resultados. En la gráfica 4 se muestra la diferencia de las curvas entre una probeta toquelada en sentido vertical y otra troquelada en sentido horizontal. Allí se observa que la probeta troquelada en sentido vertical tiene un valor de el esfuerzo máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$) mayor, además de poseer un valor mas elevado del módulo de elasticidad (E), en comparación a los valores que posee una probeta horizontal. Lo anterior, se repitió para cada una de las 5 probetas verticales y las 5 horizontales , cal como se observa el la tabla 11.

Gráfica 4. Esfuerzo vs Deformación en probeta vertical y horizontal



3.2.2 Resistencia a la compresión. En esta sección se someten los envases medio galón a una carga axial, hasta que se produzca una deformación plástica permanente, es decir se busca identificar la carga a la cual los envases sufren un daño por apilamiento o cargas externas.

3.2.2.1 Preparación de los envases. Para comenzar con el ensayo se seleccionaron 2 envases medio galón con tapa que no tuvieran ningún tipo de defecto en sus superficies. Después cada uno de los envases se llenó con agua con ayuda de un embudo y una probeta de medición de volumen, hasta que llegar a su capacidad útil de 1900 cm³, para posteriormente ser tapados.

3.2.2.2 Ejecución del ensayo. Los especímenes preparados fueron sometidos a la prueba de resistencia la compresión, haciendo uno del equipo Universal de Ensayos SHIMADZU UH-50A (ver anexo B). Los ensayos se ejecutaron con una velocidad de 5mm/min, hasta llegar a una compresión de los envases de 20mm, es decir un

tiempo aproximado de 4 minutos por cada probeta (ver figura 25). Se garantizó que el estiramiento de 20 mm era el adecuado para representar la deformación elástica y deformación plástica permanente del envase a base de polietileno, y así obtener una gráfica de Carga (N) Vs Posición(mm). Por cada envase sometido a compresión se obtuvieron aproximadamente 400 datos de carga en unidades de tonelada-fuerza contra la posición en unidades de milímetros.

Figura 25. Ensayo de compresión a envase medio galón

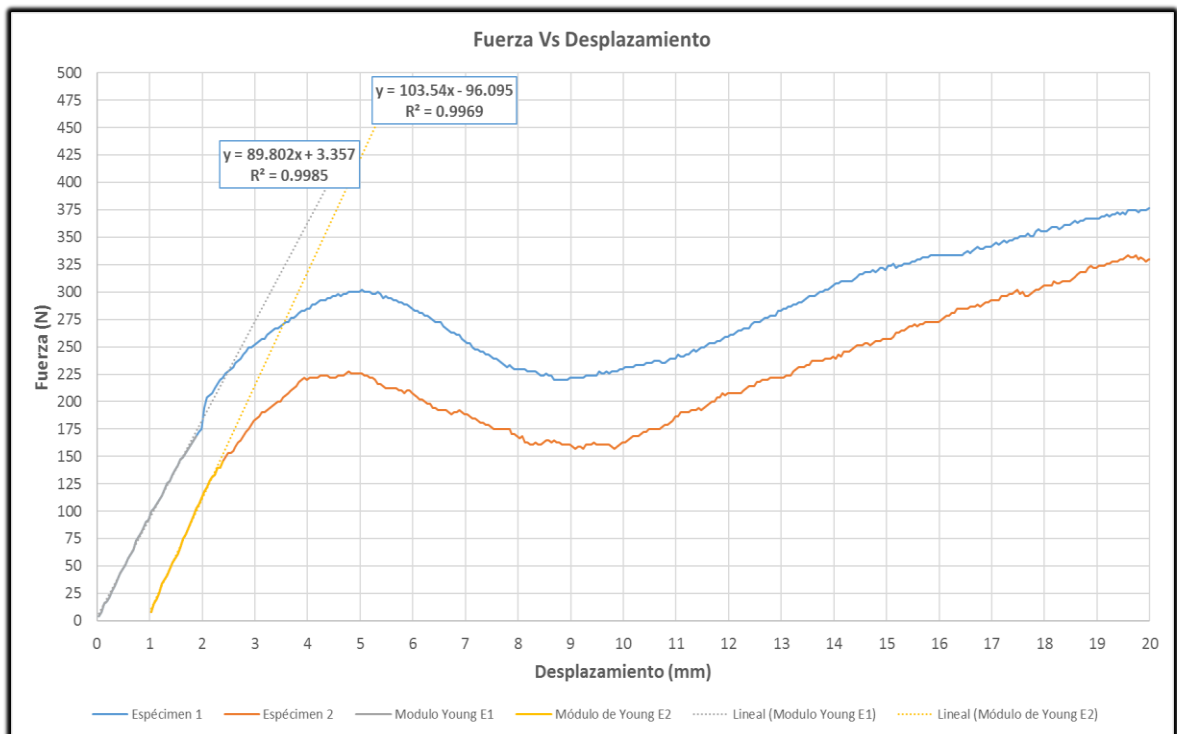


3.2.2.3 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión. Los datos obtenidos de carga y posición para las 2 muestras, se graficaron con ayuda de una plantilla en EXCEL. Como es sabido las gráficas de compresión son análogas a las gráficas de tensión, pero en este caso al no tener un área constante a lo largo del envase no se recomienda convertir los datos de carga a esfuerzo. En la gráfica 5, se muestran las curvas de Carga Vs Posición para cada uno de los 2 envases comprimidos. Allí se identificó la zona elástica para hallar el módulo de elasticidad por medio de una regresión lineal, en donde el valor correspondiente a la pendiente de la ecuación, es el Módulo de elasticidad (E). Además, se identificó el límite elástico y un primer esfuerzo máximo donde se presenta la primera falla del envase. El resumen de los de los módulos de elasticidad y esfuerzos máximos de cada espécimen se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Módulos de elasticidad y esfuerzo máximo para envases medio galón sin aditivos en compresión

| Envase | Módulo de Young (E) [N/mm] | Esfuerzo máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$) [N] |
|--------|--------------------------------|--|
| 1 | 89.80 | 300 |
| 2 | 103.54 | 226 |

Gráfica 5. Fuerza Vs Desplazamiento en envases medio galón sin aditivos en compresión



3.2.3 Ensayo de absorbancia. Se empleó el ESPECTROFOTÓMETRO UV-VISIBLE EVOLUTION 300 (Véase anexo B) para calcular la absorbancia en la región ultravioleta (190-400 nm) y la región del espectro visible (400-750 nm).

3.2.3.1 Preparación de las muestras. Al igual que para el ensayo de tensión, fue necesario tomar las muestras de la zona intermedia de un envase, debido que en esa zona se tiene un espesor constante en sus paredes. Se recortaron tres muestras rectangulares con dimensiones de 3x1 centímetros, medidas que fueron necesarias para que se ajustarán al carrusel de la cámara del espectrofotómetro donde se insertan las muestras. A cada una de las muestras se le realizó una limpieza con acetona para eliminar suciedades como grasa y polvo, y así obtener una lectura sin errores, para cada una de las muestras de polietileno de alta densidad translúcido recuperado.

3.2.3.2 Ejecución del ensayo. Inicialmente se configuró el equipo para que la lectura fuese en el rango de 190 nm hasta 750 nm, además se modificó para que la lectura fuese máxima hasta el valor de 6 en absorbancia, debido a que este es el valor máximo que puede detectar el equipo (vease figura 26). Seguidamente se dio la orden al equipo para que calculara la línea base con 100% de transmitancia, es decir que no se insertaba ninguna muestra para el cálculo de ésta. Después de haber configurado el equipo para tomar las lecturas de absorbancia, cada muestra se manipuló con guantes y se insertaron una por una en la cámara del equipo como se observa en la figura 27.

Figura 26. Configuración del espectrofotómetro para absorbancia.

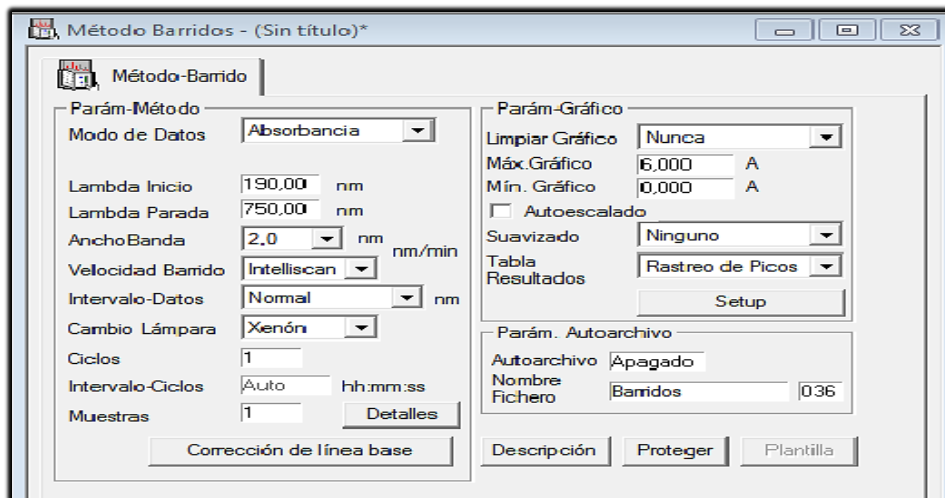
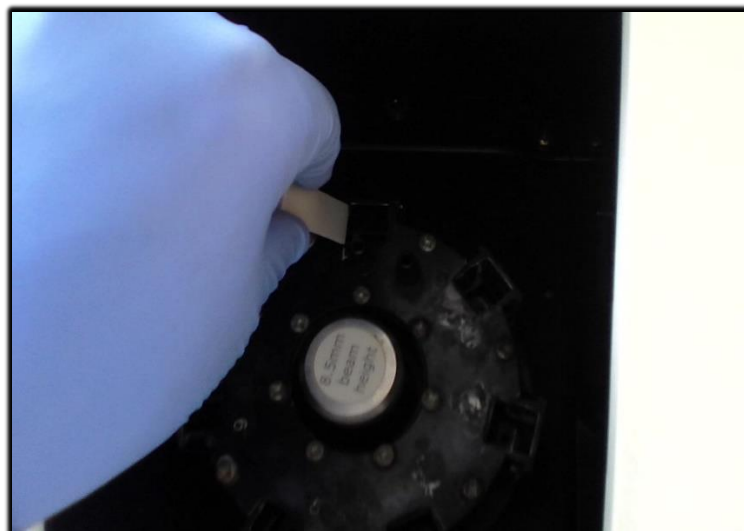


Figura 27. Inserción de las muestras al espectrofotómetro UV-visible



3.2.3.3 Resultados. En la gráfica 6 se muestran los espectros de absorbanza que se obtuvieron de las 3 muestras sin presencia de aditivos en la región del ultravioleta (190-400 nm) y en la región del espectro visible (400-750nm). Se puede observar que las curvas de absorbanza tienden a ser muy similares.

De la gráfica 6 se observaron de cerca los datos de absorbanza que pertenecían al rango de los 320 nm hasta los 400 nm, los cuales son relevantes para su posterior análisis. Esto se debe a que en el siguiente capítulo se implementan un aditivo brillador óptico que absorbe en las longitudes de onda mencionadas anteriormente y se desea hacer una comparación de como varía la absorbanza en esa zona. Para extraer un valor representativo de cada muestra se calcula un promedio de la absorbanza en ese rango, los valores se muestran en la tabla 13.

Gráfica 6. Absorbanza para muestras de polietileno translúcido sin aditivos

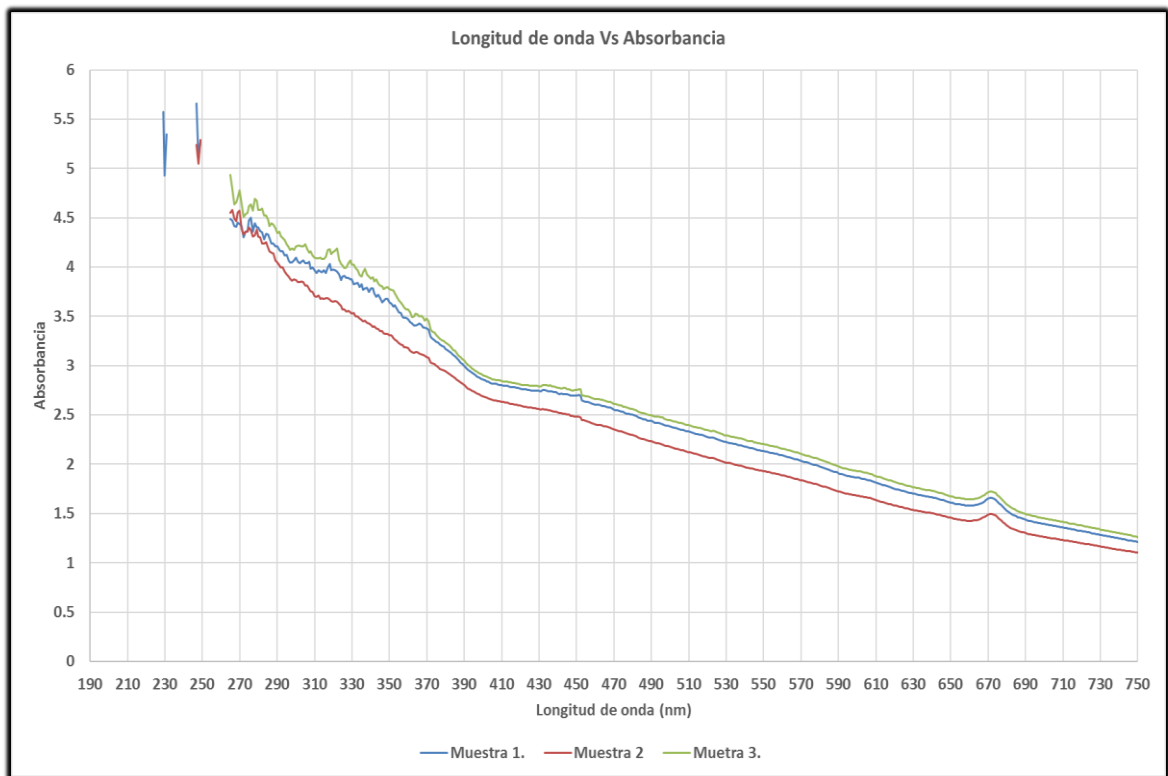


Tabla 13. Absorbanza Promedio para muestras de polietileno translúcido sin aditivos

| Absorbanza promedio en el rango de 320-400 nm | | |
|--|------------------|------------------|
| Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
| 3.45 | 3.17 | 3.56 |

En la tabla 14 se pueden ver los valores de absorbancia para unas muestras de polietileno translúcido original virgen, que nunca ha sido reutilizado. Estas muestras, tienen una absorbancia menor debido a que no tienen presencia de ningún tipo de contaminante que absorban en las longitudes de onda de interés, además, de nunca haber pasado por el proceso de recuperación.

Tabla 14. Absorbancia Promedio para muestras de polietileno translúcido original virgen

| Absorbancia promedio en el rango de 320-400 nm | | |
|---|------------------|------------------|
| Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
| 2.08 | 2.16 | 2.17 |

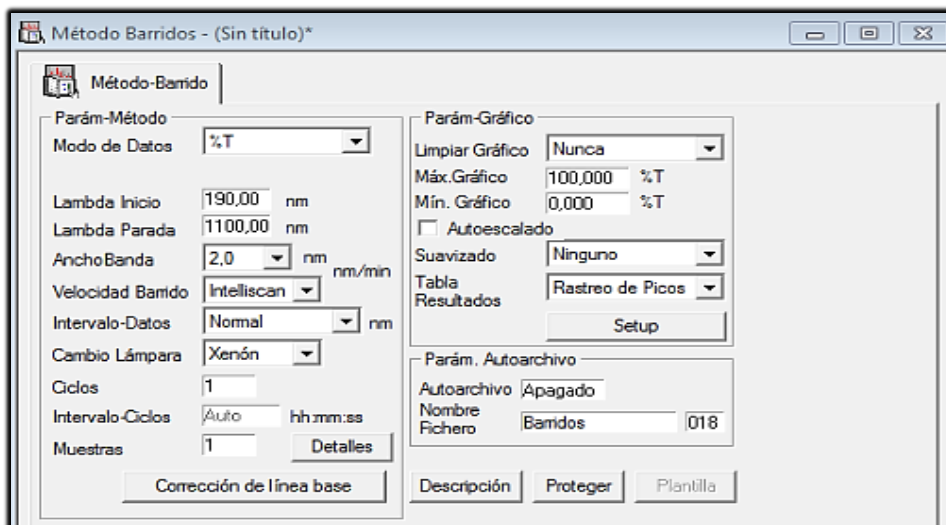
3.2.4 Ensayo de transmitancia. Al igual que para el ensayo de absorbancia se empleó el ESPECTROFOTÓMETRO UV-VISIBLE EVOLUTION 300 para calcular el %Transmitancia en la región ultravioleta (190-400 nm) y la región del espectro visible (400-750 nm). Este ensayo se hace con el fin de saber qué porcentaje de luz pasa a través del polietileno translúcido recuperado.

3.2.4.1 Preparación de las muestras. Para obtener los espectros de transmitancia se emplearon las mismas muestras que se utilizaron para los ensayos de absorbancia tal como se menciona en la sección 3.2.3.1

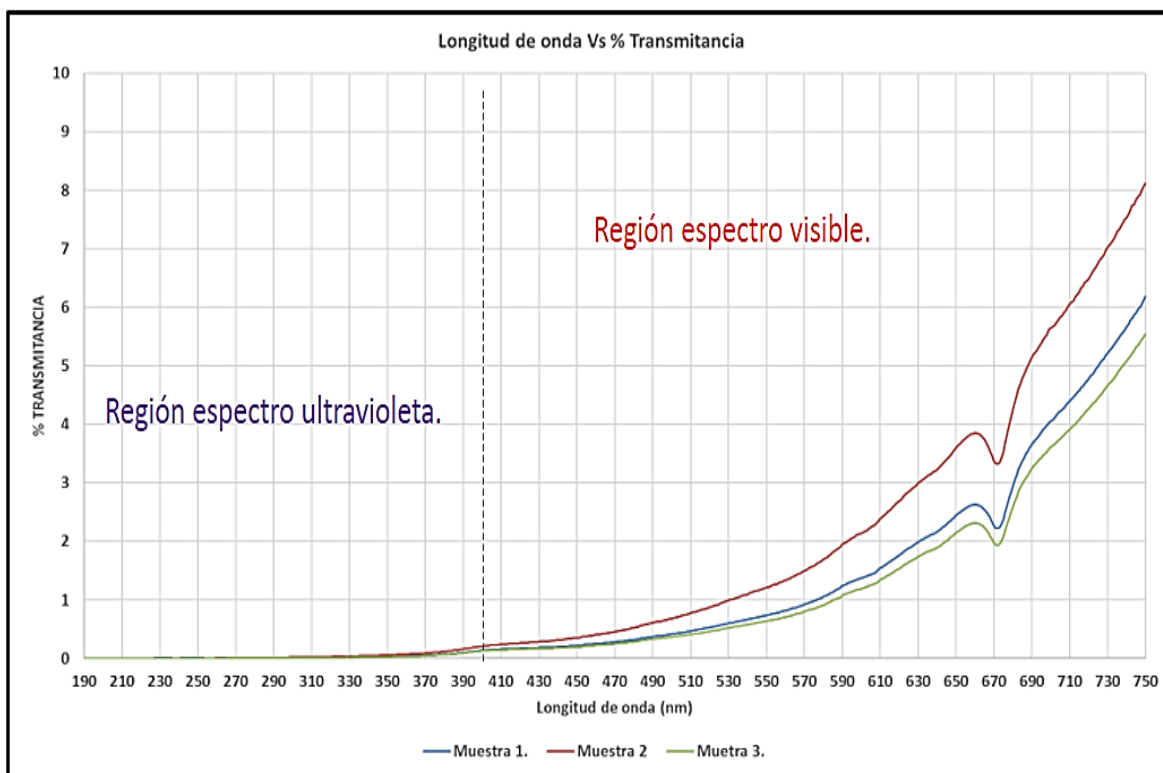
3.2.4.2 Ejecución del ensayo. Se configuró el equipo para que tomara las lecturas de porcentaje de transmitancia en el rango de 190 nm hasta 750 nm, Seguidamente se dio la orden al equipo para que calculara la línea base con 100% de transmitancia (veáse figura 28). Después de haber configurado el equipo para tomar las lecturas de % transmitancia, cada muestra se manipuló con guantes y se insertaron una por una en la cámara del equipo.

3.2.4.3 Resultados. En la gráfica 7 se puede observar que las muestras de polietileno translúcido recuperado no transmiten longitudes de onda dentro del rango de 190nm hasta los 370 nm, estos tienden a ser menores de 0.1% .

Figura 28. Configuración del espectrofotómetro para transmitancia.



Gráfica 7. % Transmitancia para muestras de polietileno translúcido sin aditivos



De la gráfica 7 es importante observar como la curva de transmitancia empieza a ascender desde el punto en el que inicia la región del espectro visible, Para efectos de la translucidez, es importante que el material deje transmitir las longitudes de onda pertenecientes a los colores que puede detectar el ojo humano, es decir el

espectro visible. En la tabla 15 se tabulan los datos promedio del porcentaje de transmitancia en el espectro visible de cada una las muestras.

Tabla 15. % Transmitancia promedio para muestras de polietileno translucido sin aditivos

| Promedio de % Transmitancia espectro visible (400-750 nm) | | |
|--|------------------|------------------|
| Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
| 1.71 | 2.46 | 1.51 |

En la tabla 16 se pueden ver los valores del % de transmitancia para unas muestras de polietileno translúcido original virgen. Estas muestras, poseen un % de transmitancia mayor en comparación con muestras de polietileno post-consumo, debido a que no tienen presencia de contaminantes, y esto permite la mayor transmisión de las longitudes de onda del espectro visible.

Tabla 16. % Transmitancia promedio para muestras de polietileno translucido original virgen

| Promedio de % Transmitancia espectro visible (400-750 nm) | | |
|--|------------------|------------------|
| Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
| 8.15 | 7.12 | 7.47 |

3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ADITIVOS MASTERBATCH BRILLADOR ÓPTICO Y MASTERBATCH FILLER ESPECIAL TRANSPARENTE EN POLIETILENO TRANSLÚCIDO POST-CONSUMO

En éste capítulo se describe detalladamente como se implementaron los aditivos MasterBatch Brillador Óptico y Filler Especial Transparente en el polietileno translúcido de alta densidad post-consumo, para la producción de envases medio galón por extrusión-soplado. Además, se analizaron por medio de un diseño de experimentos cómo interactúan los aditivos y que efectos tienen en las propiedades mecánicas y ópticas, al variar las concentraciones de ambos aditivos.

4.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR DE CADA ADITIVO

4.1.1 Aditivo MasterBatch Brillador Óptico. Se realizó la compra de 6 kg de éste aditivo a la empresa PLASTINES LTDA dedicada a la importación de diferentes tipos de aditivos para la industria plástica. El brillador óptico adquirido a PLASTINES LTDA es un compuesto químico orgánico que viene en forma de pellets y posee un color verde fluorescente (véase figura 29). Éste aditivo posee la propiedad de absorber luz ultravioleta del espectro en el rango de los 320 nm y 400nm y emitirla (reflejarla) como luz visible de una longitud de onda determinada que, corresponde a la banda espectral del azul (400-495 nm)³⁵. Con ello, se obtiene un aumento de la cantidad de energía espectral de la banda correspondiente, y por ello el consiguiente aumento de la sensación visual de blancura, el fenómeno se describe en la sección 2.1.3.1.

Figura 29. Aditivo brillador óptico adquirido a PLASTINES LTDA



³⁵ Elsevier Science. Optical brighteners: improving the colour of plastics. En: rev. Plastics Additives & Compounding, noviembre/diciembre 2003. p. 42-43

4.1.1.1 Pre-experimentación. De acuerdo a la ficha técnica brindada por el proveedor (ver anexo D) los porcentajes de dosificación recomendados se encuentran en el rango del 1% al 3%. Según lo anterior se procedió a evaluar a, los porcentajes correspondientes a 1%, 2%, y 3%. Primeramente, se puso a prueba el aditivo en la producción de garrafas apilables, debido a que en ese momento solo estaba disponible esa máquina cargada de polietileno translucido recuperado. Se procedió a preparar una dosificación de 30 Kg al 2% de brillador óptico, para lo cual se empleó un total de 29.4 kg de polietileno translucido post-consumo, el cual había sido seleccionado del lote en recepción el día 6 de diciembre de 2016 como se menciona en la sección 3.1.2.1, por otra parte, se pesaron 0.6 kg del aditivo. Para llevar a cabo un mezclado uniforme del aditivo se hizo uso de la mezcladora industrial presente en COLFOPLAS S.A. La dosificación (véase figura 30) fue transportado a la tolva de dicha máquina. Una vez la mezcla paso a la zona de extrusión, allí el polietileno y el aditivo se fundieron homogéneamente e inmediatamente se podía observar que los colores amarillentos habían sido enmascarados a causa del aditivo. Ahora se podían apreciar matices más blancos en los envases como se muestra en la figura 31.

Figura 30. Dosificación al 2% de brillador óptico



Teniendo en cuenta que el aditivo tuvo un cambio considerable en el color de la garrafa, y se obtuvo el efecto deseado, ahora se procede a evaluar el efecto al 1% y 3% en envases medio galón. Para esto se prepararon mezclas de 15 kg cada una como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Dosificaciones de brillador óptico

| Dosificación | Polietileno (kg) | Brillador Óptico (kg) | Total (kg) |
|--------------|------------------|-----------------------|------------|
| 1% | 14.85 | 0.15 | 15 |
| 2% | 14.70 | 0.30 | 15 |
| 3% | 14.55 | 0.45 | 15 |

Figura 31. Comparación de color con la aplicación del aditivo brillador óptico



4.1.1.2 Análisis de la pre-experimentación. Las dosificaciones realizadas al 1% y 2% no presentaron observaciones negativas por parte del área de calidad, debido a que el aditivo no originó efectos adversos como la pigmentación del material, como se temía en un principio al ser un aditivo de color verde fluorescente, además de eso no se presentaron malformaciones en la superficie de los envases. Sin embargo, al aumentar la concentración del aditivo al 3% se presentaron pigmentaciones verdosas en diferentes partes del envase, como lo son la boquilla, la base y la manija, partes que son donde hay mayor concentración de material. Por tal motivo, se descarta emplear concentraciones mayores al 2% para este tipo de polietileno.

4.1.2 Aditivo MasterBatch Filler Especial Transparente. Al igual que el aditivo brillador óptico, éste aditivo se adquirió a través de la empresa PLASTINES LTDA, con un total de 35 kg. Su función está basada en un ahorro significativo en costos de materia prima, ya que este aumenta el tamaño de las moléculas y cadenas del polietileno, generando así un incremento en productividad. Este es comparado con el carbonato, pero tiene una propiedad especial de no pigmentar el material y es adecuado para el polietileno translúcido, al no opacarlo totalmente. Por otra parte, ayuda a mejorar las propiedades mecánicas al proporcionar mayor rigidez. El aditivo viene en presentación blanco como se muestra en la figura 32.

4.1.2.1 Pre-experimentación. Según la ficha técnica brindada por el proveedor (ver anexo D) los porcentajes de dosificación recomendados se encuentran en el rango del 10% al 25%. Sin embargo, se especifica que éstos porcentajes están basados de acuerdo a la experiencia del fabricante, y pueden variar según el material de aplicación. De acuerdo lo anterior se procedió a evaluar los porcentajes correspondientes a 10%, 15% y 20%.

Figura 32. Aditivo Filler Especial Transparente adquirido a PLASTINES LTDA



Para comenzar, se evaluó el aditivo en la producción de envases medio galón. Se inició preparando una dosificación de 15 Kg al 20% de Filler transparente, para lo cual se empleó un total de 12 kg de polietileno translucido post-consumo, y por otra parte se pesaron 3 kg del aditivo. Para llevar a cabo un mezclado uniforme del aditivo se hizo uso de la mezcladora industrial presente en COLFOPLAS S.A. La dosificación (véase figura 33) fue transportado a la tolva de dicha máquina. Una vez la mezcla pasó a la zona de extrusión, allí el polietileno y el aditivo se fundieron homogéneamente, y así crear los envases. Las dosificaciones de prepararon tal como se describe en la tabla 18.

Figura 33. Dosificación 20% de Filler Especial Transparente



Tabla 18. Dosificaciones para Filler Especial transparente

| Dosificación | Polietileno (kg) | Filler transparente (kg) | Total (kg) |
|--------------|------------------|--------------------------|------------|
| 10% | 13.5 | 1.5 | 15 |
| 15% | 12.75 | 2.25 | 15 |
| 20% | 12 | 3 | 15 |

4.1.2.2 Análisis de la pre-experimentación. Una vez teniendo los envases medio galón por cada una de las dosificaciones, el área de calidad verificó visualmente que los envases tuvieran la translucidez necesaria para ser puestos en venta. La Ingeniera Directora de la presente tesis dio la orden de llenar con agua un envase de cada dosificación (10%, 15% y 20%), tal como se muestra en la figura 34. Por otra parte, se percibió al manipular cada envase, éstos tenían una mayor rigidez, en comparación de los producidos sin aditivos.

Figura 34. Translucidez de envases con Filler



El área de calidad concluye que los porcentajes de 20% y 15% son muy altos para éste tipo de polietileno, debido a que a medida que se aumenta la concentración de este aditivo su opacidad tiende a ser mayor.

4.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Teniendo una idea clara de cuáles son los rangos de los porcentajes de cada aditivo que deben ser usados en el polietileno translucido post-consumo, se realiza un diseño de experimentos factorial 3^k con n réplicas para determinar qué efectos e interacción existen a la hora de implementar una combinación de ambos aditivos. Se realizó un diseño para cada variable respuesta de los ensayos de tensión, compresión, absorbancia y transmitancia. Para este caso en valor que tomará K

será de 2, es decir dos factores los cuales corresponden a la concentración del aditivo brillador óptico y la concentración del aditivo filler transparente especial, cada uno de ellos con 3 niveles de concentración: bajo, medio y alto. Los niveles de concentración de cada aditivo se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Niveles de concentración para diseño de experimentos

| Aditivo | Nivel bajo | Nivel medio | Nivel alto |
|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| A: Filler | 7.5% | 10% | 12.5% |
| B: Brillador óptico | 1% | 1.5% | 2% |

Los niveles de concentración se seleccionaron basándose en los resultados de la evaluación realizada para cada aditivo por individual, tal como se describe en la sección 4.1. Para el aditivo filler se seleccionó un porcentaje por debajo de lo establecido en la ficha técnica, esto por sugerencia de la directora de proyecto de grado. Además, se seleccionó un valor por debajo del 15%, debido que en valores por encima, se presenta opacidad en el material por parte del aditivo. Por tales motivos, los valores seleccionados fueron: 7.5%, 10% y 12.5%, con ello se consiguió evitar la opacidad del polietileno con la aplicación del aditivo filler.

Por otra parte, los niveles de concentración seleccionados para el aditivo brillador óptico se encuentran en el rango de 1% y 2% y un nivel intermedio de 1.5%, debido a que concentraciones mayores a 2% tienden a pigmentar el polietileno. Sólo incluyeron 2 factores en el diseño de experimentos, por la razón de que variables de control en el proceso de extrusión-soplado, como lo son la temperatura, presiones y velocidades, están completamente estandarizadas y son constantes a la hora producir envases medio galón.

4.2.1 Preparación de las dosificaciones. Para realizar la combinación de aditivos a través de un diseño factorial 3^2 , se obtienen 9 tratamientos posibles. Para cada dosificación se tomó una base de cálculo de 15 kg por mezcla, las cantidades necesarias de aditivo filler, aditivo brillador óptico y polietileno para cada formulación se encuentran en la tabla 20. Para cada una de las dosificaciones se utilizó el polietileno seleccionado del Lote que estuvo en recepción el día 6 de diciembre de 2016 como se mencionó en la sección 3.1.2.1

Las cantidades necesarias de aditivos y polietileno para cada una de las 9 dosificaciones, se pesaron cuidadosamente en una balanza digital LEXUS, para luego introducir los tres componentes de cada formulación en una lona diferente (véase figura 35) y ser transportados a la mezcladora.

4.2.2 Transformación de la materia prima. Cada una las dosificaciones uniformemente mezcladas pasan al proceso de extrusión-soplado descrito en la sección 1.6.4 hasta 1.6.9. Inicialmente se realiza una purga de la extrusora de la máquina encargada de producir envases medio galón, con polietileno translucido

antes de introducir a la tolva cada una de las 9 mezclas. Las condiciones de operación de la máquina son las establecidas inicialmente para la producción de envases medio galón sin aditivos (véase sección 3.1.2.3).

Tabla 20. Dosificaciones del diseño factorial 3^2

| Dosificación | % A. Filler transparente | % A. Brillador Óptico | kg de filler transparente | kg de brillador óptico | kg de polietileno |
|--------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|
| 1 | 7.5% | 1% | 1.125 | 0.15 | 13.725 |
| 2 | 7.5% | 1.5% | 1.125 | 0.225 | 13.65 |
| 3 | 7.5% | 2% | 1.125 | 0.3 | 13.575 |
| 4 | 10% | 1% | 1.5 | 0.15 | 13.35 |
| 5 | 10% | 1.5% | 1.5 | 0.225 | 13.275 |
| 6 | 10% | 2% | 1.5 | 0.3 | 13.2 |
| 7 | 12.5% | 1% | 1.875 | 0.15 | 12.975 |
| 8 | 12.5% | 1.5% | 1.875 | 0.225 | 12.9 |
| 9 | 12.5% | 2% | 1.875 | 0.3 | 12.825 |

Figura 35. Adición de aditivos filler y brillador óptico para el diseño de experimentos 3^2 .



4.2.3 Resumen de producción. La cantidad total de envases buenos y defectuosos que se obtuvieron a partir de cada dosificación de 15 kg, pertenecientes a los 9 tratamientos del diseño de experimentos, se presentan en la tabla 21. Además, se tabulan los pesos correspondientes de rebaba que se produjo. De cada producción se seleccionaron 12 envases para determinar sus propiedades mecánicas y ópticas.

Tabla 21. Resumen de producción para dosificaciones de diseño 3²

| Dosificación | Envases buenos | Envases defectuosos | Rebaba (kg) |
|------------------|----------------|---------------------|-------------|
| 7,5%F- 1% B.O | 114 | 2 | 4.7 |
| 7,5%F- 1,5% B.O | 120 | 25 | 5.15 |
| 7,5%F- 2% B.O | 110 | 10 | 4.95 |
| 10%F- 1% B.O | 120 | 6 | 5.25 |
| 10%F- 1,5% B.O | 107 | 16 | 5 |
| 10%F- 2% B.O | 83 | 23 | 4.15 |
| 12,5%F- 1% B.O | 88 | 31 | 4.6 |
| 12,5%F- 1,5% B.O | 116 | 18 | 4.85 |
| 12,5%F- 2% B.O | 114 | 2 | 6.55 |

4.3 EXPERIMENTACIÓN

4.3.1 Ensayo de Tensión. En esta sección se replica el procedimiento descrito desde la sección 3.2.1.1 hasta la sección 3.2.1.5. Para este ensayo se seleccionaron 5 envases de cada dosificación propuesta por el diseño de experimentos. Seguidamente, se procedió a troquelar una probeta horizontal y una vertical de cada envase, es decir, un total de 5 probetas verticales y 5 probetas horizontales para cada dosificación. En total, para el diseño de experimentos de obtuvieron 45 probetas verticales y 45 horizontales, las cuales fueron sometidas al ensayo de tensión.

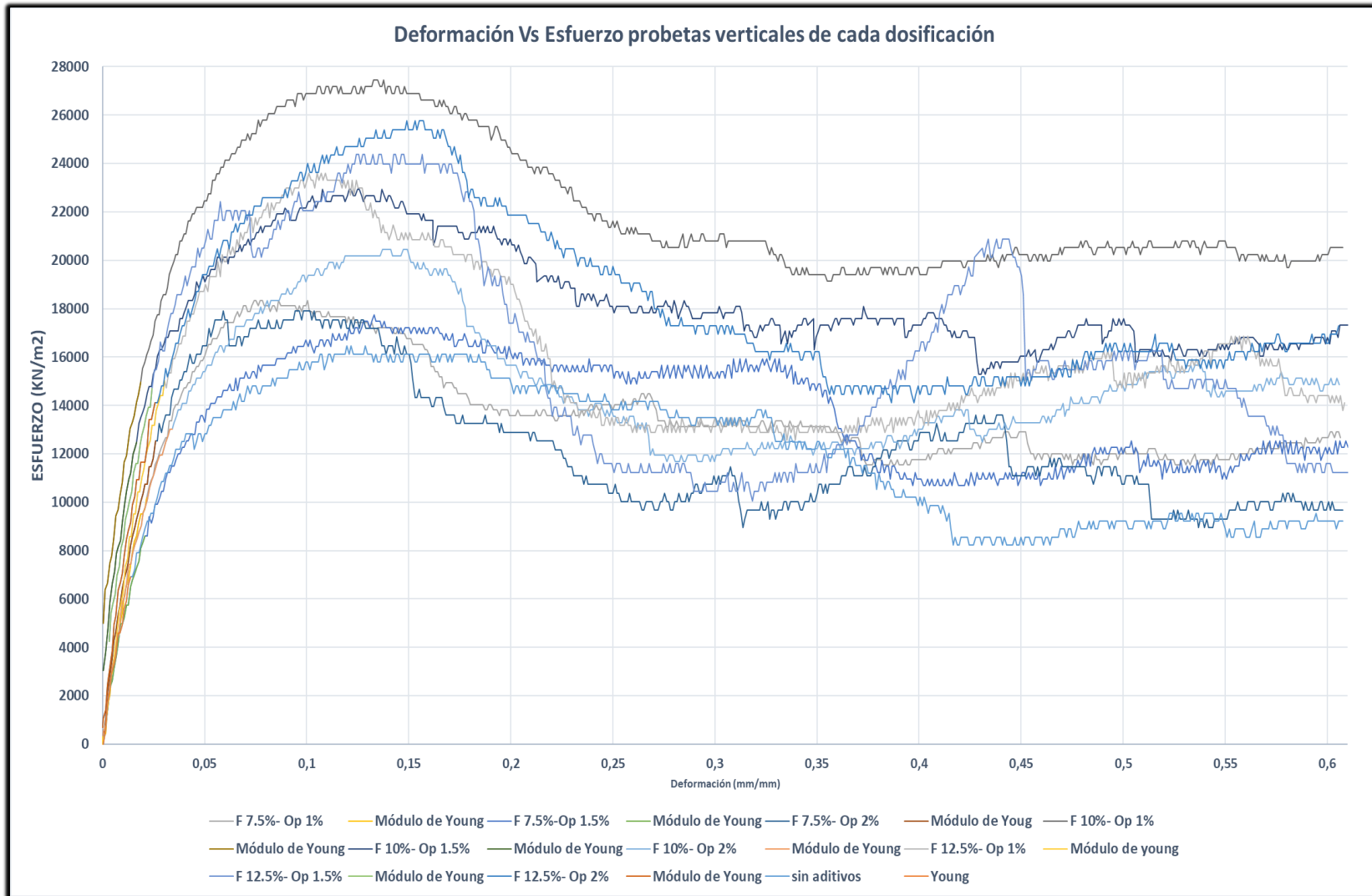
4.3.1.1 Resultados del ensayo de tensión. Las variables respuesta a ser analizadas en el diseño 3² para este ensayo, corresponden a los valores del módulo de elasticidad, los cuáles fueron hallados como se explicó en la sección 3.2.1.5. En la tabla 22 se muestra el resumen de los valores calculados del módulo de elasticidad a partir de la regresión lineal hecha para la zona elástica de las curvas de Esfuerzo Vs Deformación de cada probeta (véase anexo E). Las curvas de Esfuerzo Vs Deformación se pueden observar en el anexo F.

En la gráfica 8, se muestran las curvas de Esfuerzo-Deformación para cada una de las 9 dosificaciones en las probetas verticales, comparado con una muestra sin aditivos.

Tabla 22. Módulos de elasticidad de probetas verticales y horizontales sometidas a tensión, para las dosificaciones de diseño de experimentos 3²

| Módulo de elasticidad (<i>E</i>) para dosificaciones de diseño de experimentos [kN/m²] [KPa] | | | | | | | | | |
|--|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Probeta | 7,5%F-1%B.O | 7,5%F-1,5%B.O | 7,5%F-2%B.O | 10%F-1%B.O | 10%F-1,5%B.O | 10%F-2%B.O | 12,5%F-1%B.O | 12,5%F-1,5%B.O | 12,5%F-2%B.O |
| V1 | 304512.64 | 547168.45 | 329807.00 | 464380.43 | 622901.68 | 424981.08 | 501075.35 | 358871.50 | 541070.15 |
| V2 | 515728.51 | 310677.06 | 355848.24 | 422678.49 | 644331.09 | 410300.62 | 449563.99 | 486077.79 | 528457.77 |
| V3 | 478546.99 | 356975.66 | 448114.41 | 380976.55 | 515489.28 | 378585.52 | 409451.24 | 472397.19 | 515845.40 |
| V4 | 561054.30 | 319956.62 | 616893.72 | 524574.82 | 566875.66 | 384068.08 | 342729.25 | 382715.34 | 340396.25 |
| V5 | 419577.51 | 398297.64 | 562808.87 | 597297.85 | 466807.24 | 332861.99 | 301521.21 | 499687.15 | 344510.34 |
| H1 | 473001.42 | 389870.16 | 376996.23 | 435686.03 | 607427.82 | 363575.10 | 549820.13 | 468610.38 | 280033.11 |
| H2 | 368342.38 | 375193.46 | 536106.86 | 482178.77 | 370335.23 | 336145.24 | 386603.21 | 448112.27 | 276442.53 |
| H3 | 462566.61 | 331940.09 | 470100.08 | 435286.76 | 707290.14 | 345261.85 | 396961.67 | 418118.69 | 340486.89 |
| H4 | 402219.41 | 421789.96 | 400018.96 | 530090.86 | 437702.87 | 373133.25 | 381229.63 | 494783.94 | 345585.92 |
| H5 | 363652.97 | 363283.15 | 414403.21 | 573804.18 | 433555.18 | 399237.24 | 339304.51 | 682259.55 | 305824.24 |

Gráfica 8. Esfuerzo vs Deformación para las probetas verticales de cada formulación



4.3.2 Ensayo de compresión. En esta sección se replica el procedimiento descrito desde la sección 3.2.2.1 hasta la sección 3.2.2.4. Para este ensayo se seleccionaron 2 envases de cada dosificación propuesta por el diseño de experimentos. Cada envase se llenó de agua hasta su capacidad útil de 1900 cm³ y así someter cada envase a compresión. En total se realizó el ensayo para 18 especímenes.

4.3.2.1 Resultados de ensayo a compresión. La variable respuesta a ser analizada en el diseño 3² para este ensayo, corresponden a los valores del módulo de elasticidad, los cuáles fueron hallados como se explicó en la sección 3.2.1.5. En la tabla 23 se muestran los valores calculados del módulo de elasticidad a partir de la regresión lineal hecha para la zona elástica de las curvas de Carga Vs Desplazamiento de cada probeta. Las curvas de Carga Vs Desplazamiento se pueden observar en el anexo G (ver CD). En la Tabla 24 se muestran los valores del primer esfuerzo máximo que presentó cada envase, los valores representan la carga a la cual se presenta una deformación plástica permanente.

Tabla 23. Módulos de elasticidad para los especímenes sometidos a compresión, para las dosificaciones de diseño de experimentos 3²

| Módulo de elasticidad (E) [N/mm] | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|---------------|-------------|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------------|
| Especímen | 7,5%F-1%B.O | 7,5%F-1,5%B.O | 7,5%F-2%B.O | 10%F-1%B.O | 10%F-1,5%B.O | 10%F-2%B.O | 12,5%F-1%B.O | 12,5%F-1,5%B.O | 12,5%F-2%B.O |
| 1 | 79.75 | 77.22 | 77.90 | 99.20 | 90.35 | 85.12 | 85.28 | 81.47 | 72.51 |
| 2 | 75.24 | 78.59 | 80.89 | 95.34 | 75.16 | 84.42 | 89.02 | 81.89 | 69.71 |

Tabla 24. Esfuerzos máximos para los especímenes sometidos a compresión, para todas las dosificaciones de diseño de experimentos 3²

| Esfuerzo máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$) [N] | | | | | | | | | |
|--|-------------|---------------|-------------|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------------|
| Especímen | 7,5%F-1%B.O | 7,5%F-1,5%B.O | 7,5%F-2%B.O | 10%F-1%B.O | 10%F-1,5%B.O | 10%F-2%B.O | 12,5%F-1%B.O | 12,5%F-1,5%B.O | 12,5%F-2%B.O |
| 1 | 186.39 | 174.62 | 233.48 | 347.27 | 321.77 | 292.34 | 249.17 | 296.26 | 225.63 |
| 2 | 202.086 | 225.63 | 288.41 | 357.08 | 302.15 | 298.22 | 272.72 | 349.24 | 253.10 |

4.3.3 Ensayo de Absorbancia. En esta sección se replica el procedimiento descrito desde la sección 3.2.3.1 hasta la sección 3.2.3.2. Para este ensayo se recortaron 3 muestras rectangulares de 3x1 centímetros de cada dosificación propuesta por el

diseño de experimentos. Cada muestra se insertó en el espectrofotómetro UV-Visible y tomar las lecturas de los espectros de absorbancia en un rango de 190nm a 750 nm. En Total se recortaron un total de 27 muestras para en ensayo.

4.3.3.1 Resultados de ensayo de absorbancia. La variable respuesta a ser analizada en el diseño 3^2 para este ensayo, corresponden a los valores promedios de absorbancia en el rango de 320 nm a 400 nm, que como se había mencionado en la sección 3.2.3.3 los aditivos brilladores ópticos tienden a absorber en dicho intervalo. En la tabla 25 se tabulan los datos promedio de absorbancia para cada una de las dosificaciones. Las gráficas de absorbancia correspondientes a cada dosificación de encuentran en el anexo H (ver CD).

Tabla 25. Absorbancia promedio para cada dosificación de diseño de experimento

| Absorbancia promedio (320-400nm) | | | | | | | | | |
|---|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Muestra | 7,5%F-1%B.O | 7,5%F-1,5%B.O | 7,5%F-2%B.O | 10%F-1%B.O | 10%F-1,5%B.O | 10%F-2%B.O | 12,5%F-1%B.O | 12,5%F-1,5%B.O | 12,5%F-2%B.O |
| 1 | 2.78 | 2.81 | 2.74 | 2.96 | 2.80 | 2.85 | 2.90 | 2.80 | 2.80 |
| 2 | 2.82 | 2.83 | 2.74 | 2.93 | 2.83 | 2.84 | 2.89 | 2.85 | 2.83 |
| 3 | 2.85 | 2.80 | 2.77 | 2.93 | 2.80 | 2.86 | 2.85 | 2.82 | 2.86 |

4.3.4 Ensayo de transmitancia. En esta sección se replica el procedimiento descrito desde la sección 3.2.4.1 hasta la sección 3.2.4.3 Para este ensayo se emplearon las 3 muestras recortadas para cada dosificación propuestas por el diseño de experimentos, y que se usaron para calcular los espectros de absorbancia. Cada muestra se insertó en el espectrofotómetro UV-Visible y tomar las lecturas de los espectros de %Transmitancia en un rango de 190nm a 750 nm.

4.3.4.1 Resultados de ensayo de transmitancia. La variable respuesta a ser analizada en el diseño 3^2 para este ensayo, corresponden a los valores promedios de %Transmitancia en el rango de 400 nm a 750 nm, tal como se había mencionado en la sección 3.2.4.3. Se desea saber cómo varía el porcentaje de transmitancia del espectro visible con la implementación de aditivos. En la tabla 26 se tabulan los datos promedio de %Transmitancia para cada una de las dosificaciones y diferentes muestras. Las gráficas de transmitancia correspondientes a cada dosificación de encuentran en el anexo I (ver CD).

Tabla 26. Promedio de %Transmitancia para cada dosificación de diseño de experimentos

| % Transmitancia promedio (400-750nm) | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|---------------|-------------|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------------|
| Muestra | 7,5%F-1%B.O | 7,5%F-1,5%B.O | 7,5%F-2%B.O | 10%F-1%B.O | 10%F-1,5%B.O | 10%F-2%B.O | 12,5%F-1%B.O | 12,5%F-1,5%B.O | 12,5%F-2%B.O |
| 1 | 2.13 | 2.29 | 2.23 | 0.86 | 1.62 | 1.13 | 0.81 | 1.13 | 0.89 |
| 2 | 1.70 | 1.85 | 2.15 | 1.10 | 1.18 | 1.31 | 1.12 | 0.79 | 0.70 |
| 3 | 1.41 | 2.98 | 1.67 | 1.21 | 1.42 | 1.01 | 1.54 | 1.05 | 0.52 |

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis del diseño de experimentos se utilizó el software *Minitab 17* en su modo de prueba de 30 días, con él cual se realizó un análisis ANOVA multivariado para establecer si los aditivos ejercen algún efecto sobre el módulo de elasticidad para los ensayos de tensión, módulo de elasticidad y esfuerzo máximo para ensayo de compresión, promedio de absorbancia en las longitudes de onda de 320-400 nm, y promedios de %transmitancia en el espectro visible, cuando estos cambian de nivel y sí existe una interacción entre ellos, es decir, “el efecto de uno depende del nivel a que se encuentra el otro”.

Para este trabajo de grado las hipótesis nulas planteadas en cada uno de los experimentos son: $H_0: \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$, no Existe efecto de A; $H_0: \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3$, no Existe efecto de B; $H_0: \mu AB_1 = \mu AB_2 = \mu AB_3$, no hay interacción AB. Lo que quiere decir que sin importar la cantidad de aditivos que se le agregue al polietileno, las variables respuesta a analizar de cada ensayo no cambiarán; mientras que la hipótesis alternativas son: $H_0: \mu A_1 \neq \mu A_2 \neq \mu A_3$, Existe efecto de A; $H_0: \mu B_1 \neq \mu B_2 \neq \mu B_3$, Existe efecto de B; $H_0: \mu AB_1 \neq \mu AB_2 \neq \mu AB_3$, hay interacción AB. lo cual expresa que las variables respuesta, dependen de la cantidad de aditivos adicionados a al polietileno.

A continuación, se muestran las gráficas de interacción y la tabla ANOVA para cada uno de los ensayos con n réplicas. Cabe destacar que el programa calcula un *valor-P* el cual compara con el nivel de significancia que es del 5%, a partir de esto permite rechazar o aceptar las hipótesis de la siguiente manera; Si el *valor-P* es mayor que el valor de significancia muestra que las medias de los experimentos son iguales, señalando así que no existe ninguna relación entre la variable dependiente y las variables independientes, contrario a esto si el *valor-P* es menor que el nivel de

significancia se evidencia que existe una relación entre la variable dependiente y las variables independientes.

4.4.1 Ensayo de tensión para probetas con corte vertical. Éste ensayo consta de 5 réplicas, es decir 5 probetas sometidas a tensión, para cada uno de los 9 tratamientos. La variable a analizar en este diseño es el módulo de elasticidad. El análisis de varianza se encuentra en la tabla 27.

Tabla 27. ANOVA para módulo de elasticidad en tensión para probetas verticales

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------------|----|-------------|-------------|---------|---------|
| Modelo | 8 | 1.21898E+11 | 15237297024 | 1.96 | 0.080 |
| Lineal | 4 | 24568484334 | 6142121084 | 0.79 | 0.539 |
| A:Aditivo filler | 2 | 18119614669 | 9059807334 | 1.17 | 0.323 |
| B:Aditivo óptico | 2 | 6448869666 | 3224434833 | 0.42 | 0.663 |
| Interacciones de 2 términos | 4 | 97329891861 | 24332472965 | 3.13 | 0.026 |
| A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico | 4 | 97329891861 | 24332472965 | 3.13 | 0.026 |
| Error | 36 | 2.79437E+11 | 7762147203 | | |
| Total | 44 | 4.01336E+11 | | | |

Ecuación de regresión

```

Modulo de elasticidad prob. v = 447499 - 12434 A:Aditivo filler_7.5%
+ 28309 A:Aditivo filler_10% - 15874 A:Aditivo filler_12.5%
- 2588 B:Aditivo óptico_1% + 15783 B:Aditivo óptico_1.5%
- 13196 B:Aditivo óptico_2%
+ 23407 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 1%
- 64233 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 1.5%
+ 40825 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 2%
+ 4762 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 1%
+ 71691 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 1.5%
- 76452 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 2%
- 28169 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_12.5% 1%
- 7458 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_12.5% 1.5%
+ 35627 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_12.5% 2%

```

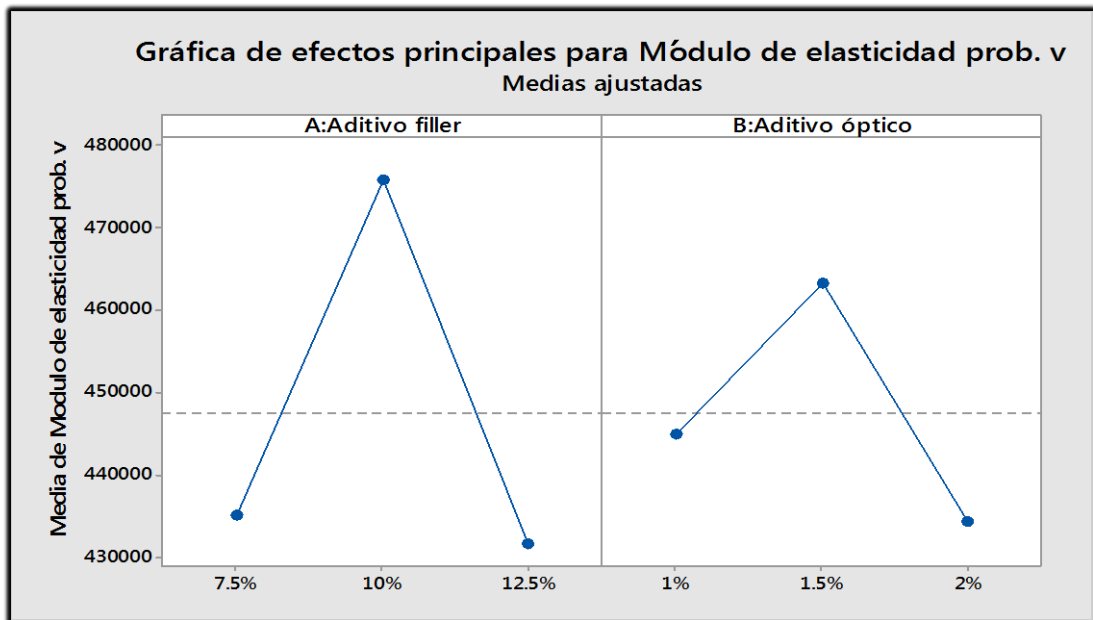
Según de análisis de varianza se proceden a aceptar o rechazar la hipótesis nulas y alternativas para el efecto principal de A: Concentración del aditivo filler, B:Concentración del aditivo brillador óptico, y por otra parte de la interacción de los dos aditivos A*B sobre el módulo de elasticidad. Todo lo anterior, de acuerdo a un nivel de significancia empleado del 5% (0.05) y nivel de confianza del 95% (0.95)

- Para el efecto principal de A (concentración de aditivo Filler):
 $H_0: \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ No Existe efecto de A ; se acepta
 $H_i: \mu A_1 \neq \mu A_2 \neq \mu A_3$ Existe efecto de A ; se rechaza
- Para el efecto principal de B (concentración de aditivo brillador óptico):
 $H_0: \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3$ No Existe efecto de B ; se acepta
 $H_i: \mu B_1 \neq \mu B_2 \neq \mu B_3$ Existe efecto de B : se rechaza
- Para la interacción A*B:
 $H_0: \mu AB_1 = \mu AB_2 = \mu AB_3$ No hay interacción AB; se rechaza
 $H_i: \mu AB_1 \neq \mu AB_2 \neq \mu AB_3$ Hay interacción AB : se acepta

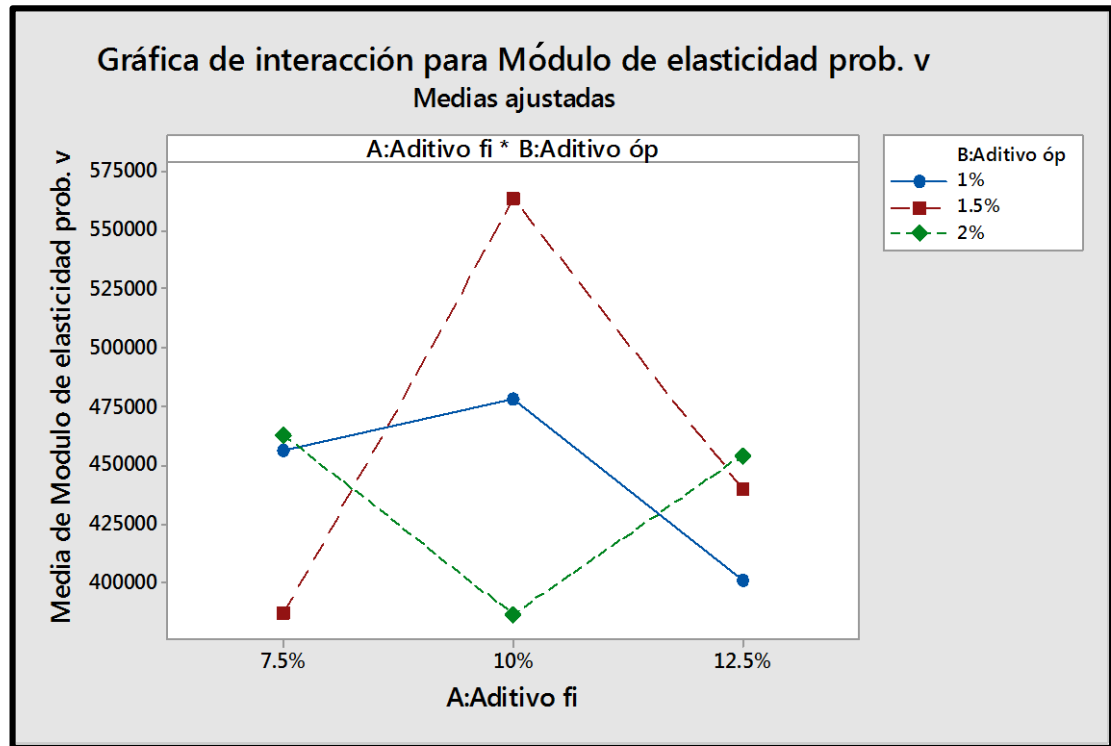
Según el análisis de varianza, la concentración del aditivo filler no tiene efecto significativo sobre el módulo de elasticidad de las probetas verticales, al igual que la concentración del aditivo brillador óptico, debido a que los el módulo de elasticidad para cada nivel de concentración no se aleja considerablemente de la media como se observa en la gráfica 9. Pero por el contrario, existe interacción directa sobre el módulo de elasticidad por parte de la combinación de los dos aditivos, en el polietileno translúcido post-consumo como se aprecia en la gráfica 10.

A partir de la tabla 27 se puede analizar, que la interacción A*B tiene efecto directo sobre el módulo de elasticidad, debido que el valor P es menor a la significancia empleada en el método de varianza de 0.05. El valor del módulo de elasticidad se presenta en la dosificación 10% Filler- 1.5% Brillador óptico.

Gráfica 9. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico probetas verticales



Gráfica 10. Interacciones para módulo de elasticidad probetas verticales



4.4.2 Ensayo de tensión para probetas con corte horizontal. Éste ensayo consta de 5 réplicas, es decir 5 probetas sometidas a tensión, para cada uno de los 9 tratamientos. La variable a analizar en este diseño es el módulo de elasticidad. El análisis de varianza se encuentra en la tabla 28.

Tabla 28. ANOVA para módulo de elasticidad en tensión para probetas horizontales

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------------|----|-------------|-------------|---------|---------|
| Modelo | 8 | 1.89079E+11 | 23634836219 | 4.23 | 0.001 |
| Lineal | 4 | 90531897646 | 22632974412 | 4.05 | 0.008 |
| A:Aditivo filler | 2 | 21749680934 | 10874840467 | 1.94 | 0.158 |
| B:Aditivo óptico | 2 | 68782216712 | 34391108356 | 6.15 | 0.006 |
| Interacciones de 2 términos | 4 | 98546792106 | 24636698026 | 4.41 | 0.005 |
| A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico | 4 | 98546792106 | 24636698026 | 4.41 | 0.006 |
| Error | 36 | 2.01341E+11 | 5592813454 | | |
| Total | 44 | 3.90420E+11 | | | |

Ecuación de regresión

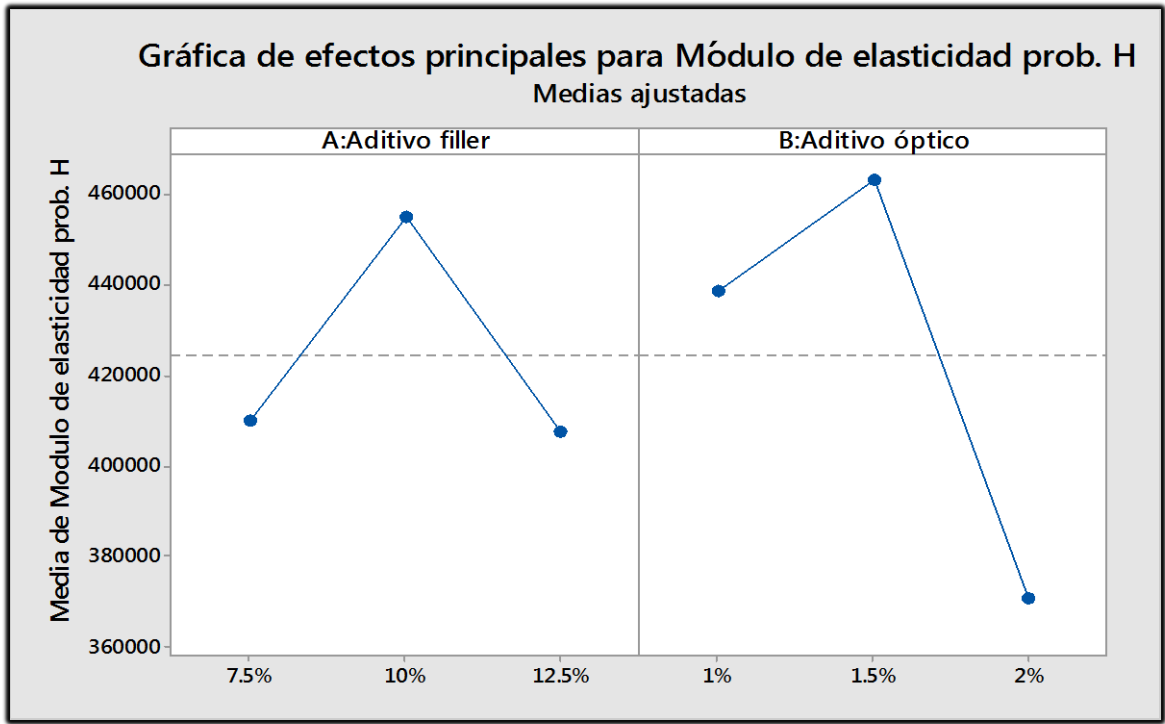
```
Modulo de elasticidad prob. H = 424319 - 14354 A:Aditivo filler_7.5%
+ 31061 A:Aditivo filler_10% - 16708 A:Aditivo filler_12.5%
+ 14397 B:Aditivo óptico_1% + 39032 B:Aditivo óptico_1.5%
- 53429 B:Aditivo óptico_2%
- 10406 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 1%
- 72582 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 1.5%
+ 82989 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 2%
+ 21631 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 1%
+ 16849 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 1.5%
- 38481 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 2%
- 11225 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_12.5% 1%
+ 55733 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_12.5% 1.5%
```

- Para el efecto principal de A (concentración de aditivo Filler):
H₀: $\mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ No Existe efecto de A ; se acepta
H_i: $\mu A_1 \neq \mu A_2 \neq \mu A_3$ Existe efecto de A ; se rechaza
- Para el efecto principal de B (concentración de aditivo brillador óptico):
H₀: $\mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3$ No Existe efecto de B ; se rechaza
H_i: $\mu B_1 \neq \mu B_2 \neq \mu B_3$ Existe efecto de B : se acepta
- Para la interacción A*B:
H₀: $\mu AB_1 = \mu AB_2 = \mu AB_3$ No hay interacción AB; se rechaza
H_i: $\mu AB_1 \neq \mu AB_2 \neq \mu AB_3$ Hay interacción AB : se acepta

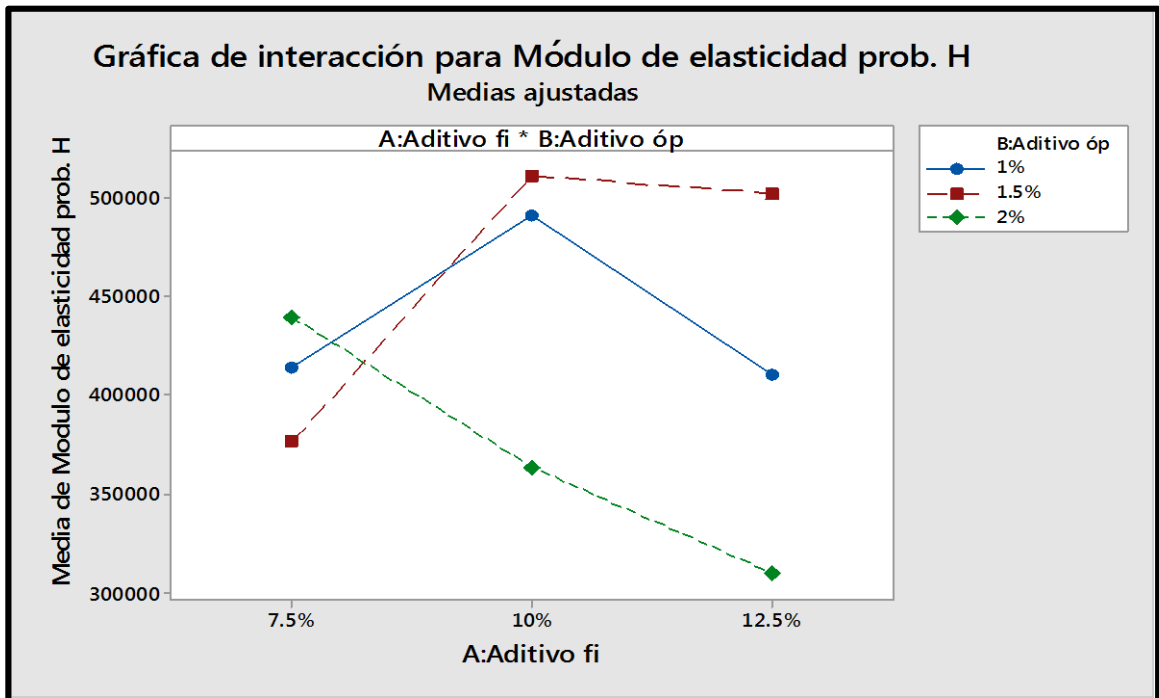
A partir de la tabla 28 se puede analizar, que la interacción A*B y el efecto individual de B tienen efecto directo sobre el módulo de elasticidad, debido que el valor P es menor a la significancia empleada en el método de varianza de 0.05, El efecto individual de A no tienen efecto sobre el módulo de elasticidad para las probetas horizontales, porque como se puede observar en la tabla el valor de éste factor es mucho mayor al valor de significancia.

Según el análisis de varianza, la concentración del aditivo filler no tiene efecto significativo sobre el módulo de elasticidad de las probetas verticales. La concentración del aditivo brillador óptico posee efecto, debido a que el módulo de elasticidad desciende considerablemente al pasar de nivel medio(1.5%) al nivel alto (2%) como se observa en la gráfica 11. Además, existe interacción directa sobre el módulo de elasticidad por parte de la combinación de los dos aditivos, en el polietileno translúcido post-consumo como se aprecia en la gráfica 12. El valor del módulo de elasticidad se presenta en la dosificación 10% Filler- 1.5% Brillador óptico.

Gráfica 11. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico probetas horizontales



Gráfica 12. Interacciones para módulo de elasticidad probetas horizontales



4.4.3 Ensayo de compresión. Éste ensayo consta de 2 réplicas, es decir 2 envases sometidos a compresión, para cada uno de los 9 tratamientos. La variable a analizar en este diseño es el módulo de elasticidad y el esfuerzo máximo. Los análisis de varianza se encuentran en las tablas 29 y 30 respectivamente.

Tabla 29. ANOVA para módulo de elasticidad en compresión

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-------------------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 8 | 860.7 | 107.59 | 6.47 | 0.006 |
| Lineal | 4 | 597.2 | 149.31 | 8.98 | 0.003 |
| A: Aditivo Filler | 2 | 343.3 | 171.65 | 10.33 | 0.005 |
| B: Aditivo Óptico | 2 | 253.9 | 126.97 | 7.64 | 0.011 |
| Interacciones de 2 términos | 4 | 263.5 | 65.87 | 3.96 | 0.040 |
| A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico | 4 | 263.5 | 65.87 | 3.96 | 0.040 |
| Error | 9 | 149.6 | 16.62 | | |
| Total | 17 | 1010.3 | | | |

```
Módulo de elasticidad compresión = 82.169 - 3.90 A: Aditivo Filler_7.5%
+ 6.10 A: Aditivo Filler_10% - 2.19 A: Aditivo Filler_12.5%
+ 5.14 B: Aditivo Óptico_1% - 1.39 B: Aditivo Óptico_1.5%
- 3.74 B: Aditivo Óptico_2%
- 5.91 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_7.5% 1%
+ 1.03 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_7.5% 1.5%
+ 4.88 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_7.5% 2%
+ 3.87 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_10% 1%
- 4.12 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_10% 1.5%
+ 0.25 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_10% 2%
+ 2.04 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_12.5% 1%
+ 3.09 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_12.5% 1.5%
```

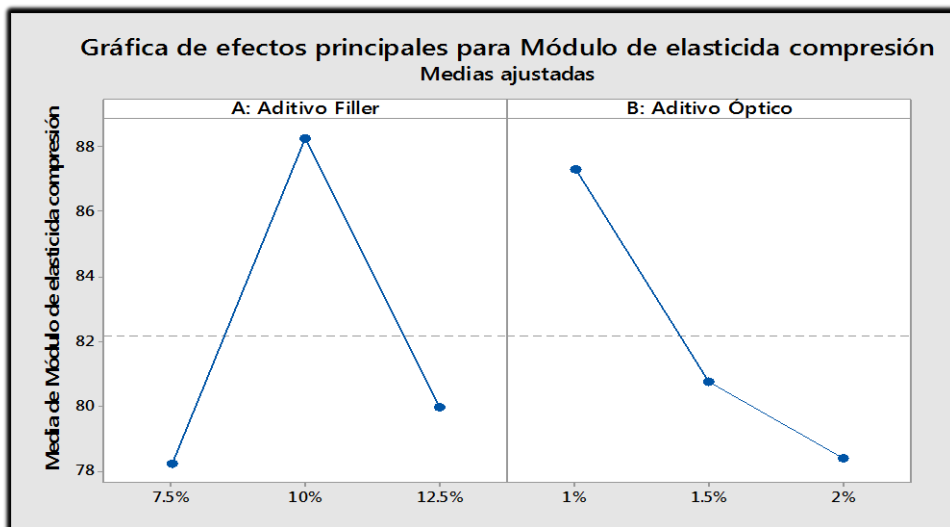
- Para el efecto principal de A (concentración de aditivo Filler):
 $H_0: \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ No Existe efecto de A ; se rechaza
 $H_i: \mu A_1 \neq \mu A_2 \neq \mu A_3$ Existe efecto de A ; se acepta
- Para el efecto principal de B (concentración de aditivo brillador óptico):
 $H_0: \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3$ No Existe efecto de B ; se rechaza
 $H_i: \mu B_1 \neq \mu B_2 \neq \mu B_3$ Existe efecto de B : se acepta
- Para la interacción A*B:
 $H_0: \mu AB_1 = \mu AB_2 = \mu AB_3$ No hay interacción AB; se rechaza
 $H_i: \mu AB_1 \neq \mu AB_2 \neq \mu AB_3$ Hay interacción AB : se acepta

A partir de la tabla 29 se puede analizar, que la interacción A*B y el efecto individual de A y B tienen efecto directo sobre el módulo de elasticidad en compresión, debido que el valor P es menor a la significancia empleada en el método de varianza de 0.05.

El módulo de elasticidad para compresión de envases de polietileno translúcido recuperado, aumenta significativamente cuando la concentración del filler asciende

del nivel bajo (7.5%) al nivel medio (10%), y disminuye al pasar del nivel medio (10%) al nivel alto (12.5%). Por otra parte, el módulo de elasticidad tiende a disminuir al aumentar la concentración del brillador óptico, tal y como se muestra en la gráfica 13. En la gráfica 14, se puede observar la interacción A*B sobre el módulo de elasticidad, en donde el mayor valor lo posee la dosificación 10% Filler-1% Brillador óptico.

Gráfica 13. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico módulo de elasticidad en compresión



Gráfica 14. Interacciones de los aditivos para módulo de elasticidad en compresión

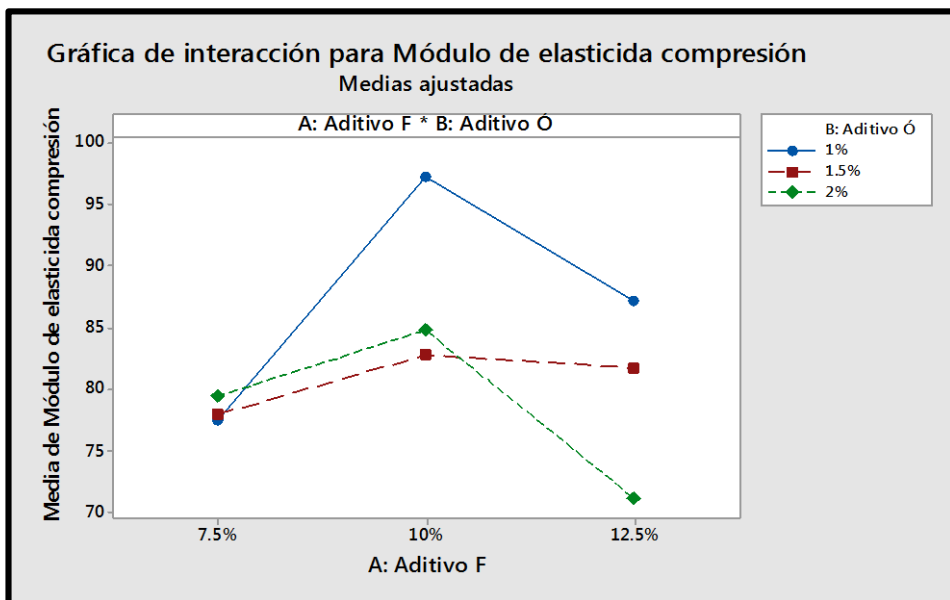


Tabla 30. ANOVA para esfuerzo máximo en compresión

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-------------------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 8 | 47307.5 | 5913.4 | 10.14 | 0.001 |
| Lineal | 4 | 31477.8 | 7869.4 | 13.49 | 0.001 |
| A: Aditivo Filler | 2 | 30937.1 | 15468.6 | 26.52 | 0.000 |
| B: Aditivo Óptico | 2 | 540.6 | 270.3 | 0.46 | 0.643 |
| Interacciones de 2 términos | 4 | 15829.8 | 3957.4 | 6.79 | 0.008 |
| A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico | 4 | 15829.8 | 3957.4 | 6.79 | 0.008 |
| Error | 9 | 5248.7 | 583.2 | | |
| Total | 17 | 52556.2 | | | |

Máximo esfuerzo compresión = 270.87 - 52.43 A: Aditivo Filler_7.5%
 + 48.94 A: Aditivo Filler_10% + 3.49 A: Aditivo Filler_12.5%
 - 1.74 B: Aditivo Óptico_1% + 7.41 B: Aditivo Óptico_1.5%
 - 5.67 B: Aditivo Óptico_2%
 - 22.5 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_7.5% 1%
 - 25.7 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_7.5% 1.5%
 + 48.2 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_7.5% 2%
 + 34.1 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_10% 1%
 - 15.3 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_10% 1.5%
 - 18.9 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_10% 2%
 - 11.7 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_12.5% 1%
 + 41.0 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_12.5% 1.5%
 - 29.3 A: Aditivo Filler*B: Aditivo Óptico_12.5% 2%

- Para el efecto principal de A (concentración de aditivo Filler):
 $H_0: \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ No Existe efecto de A ; se rechaza
 $H_i: \mu A_1 \neq \mu A_2 \neq \mu A_3$ Existe efecto de A ; se acepta
- Para el efecto principal de B (concentración de aditivo brillador óptico):
 $H_0: \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3$ No Existe efecto de B ; se acepta
 $H_i: \mu B_1 \neq \mu B_2 \neq \mu B_3$ Existe efecto de B : se rechaza
- Para la interacción A*B:
 $H_0: \mu AB_1 = \mu AB_2 = \mu AB_3$ No hay interacción AB; se rechaza
 $H_i: \mu AB_1 \neq \mu AB_2 \neq \mu AB_3$ Hay interacción AB : se acepta

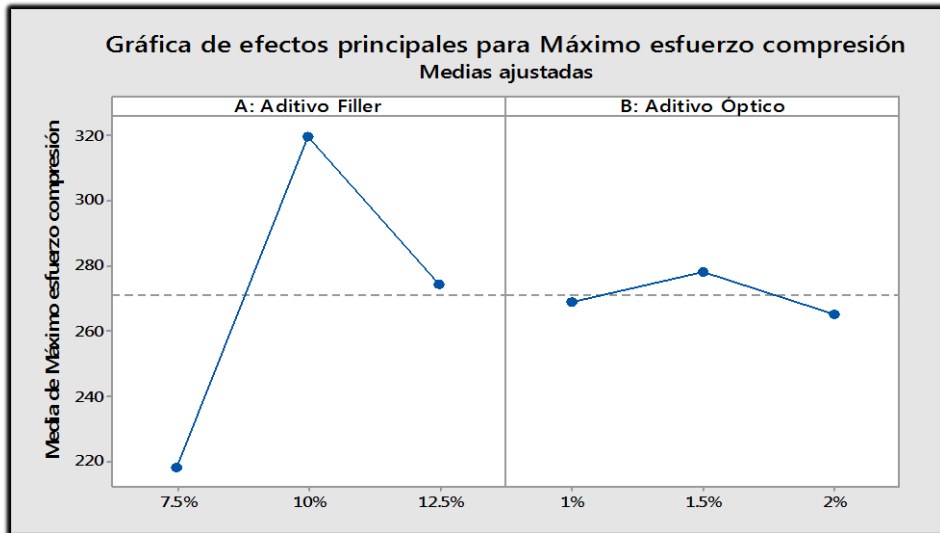
A partir de la tabla 30 se puede analizar, que la interacción A*B y el efecto individual de A. tienen efecto directo sobre el esfuerzo máximo que puede soportar el envase en compresión, debido que el valor P es menor a la significancia empleada en el método de varianza de 0.05. El efecto individual de B no genera ningún efecto sobre el esfuerzo máximo.

Como se puede apreciar en la gráfica 15 la concentración del aditivo filler conlleva a una variación significativa al pasar del nivel bajo (7.5%) al nivel medio (10%), allí se observa un aumento el esfuerzo máximo que pueden soportar los envases. También

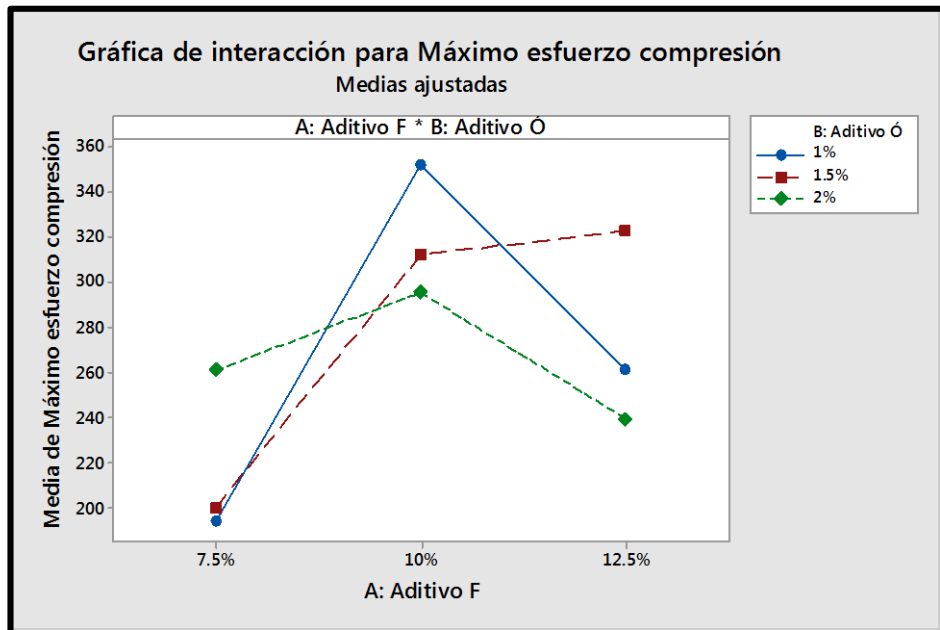
se observa que el esfuerzo máximo no varía con respecto a su media es por esto que no existe efecto principal de la concentración del brillador óptico.

Por otra parte, al existir interacción de los dos aditivos el esfuerzo máximo se presenta en la dosificación 10% Filler-1% Brillador óptico, como se muestra en la gráfica 16

Gráfica 15. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico de esfuerzo máximo en compresión



Gráfica 16. Interacciones de los aditivos para esfuerzo máximo en compresión



4.4.4 Ensayo de absorbancia. Éste ensayo consta de 3 réplicas, es decir 3 muestras puestas en el espectrofotómetro, para cada uno de los 9 tratamientos. La variable a analizar en este diseño es el promedio de la absorbancia en el espectro ultravioleta correspondientes a las longitudes de onda (320-400 nm) donde generalmente absorben los brilladores ópticos. El análisis de varianza se puede observar en la tabla 31.

Tabla 31. ANOVA para absorbancia (320-400 nm)

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 8 | 0.064748 | 0.008093 | 16.70 | 0.000 |
| Lineal | 4 | 0.049667 | 0.012417 | 25.62 | 0.000 |
| A:Aditivo filler | 2 | 0.025937 | 0.012968 | 26.76 | 0.000 |
| B:Aditivo óptico | 2 | 0.023731 | 0.011865 | 24.49 | 0.000 |
| Interacciones de 2 términos | 4 | 0.015080 | 0.003770 | 7.78 | 0.001 |
| A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico | 4 | 0.015080 | 0.003770 | 7.78 | 0.001 |
| Error | 18 | 0.008722 | 0.000485 | | |
| Total | 26 | 0.073470 | | | |

Ecuación de regresión

Media Abs. (320-400nm) = 2.83292 - 0.04098 A:Aditivo filler_7.5%
 + 0.03395 A:Aditivo filler_10% + 0.00703 A:Aditivo filler_12.5%
 + 0.04173 B:Aditivo óptico_1% - 0.01732 B:Aditivo óptico_1.5%
 - 0.02441 B:Aditivo óptico_2%
 - 0.01796 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 1%
 + 0.03740 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 1.5%
 - 0.01943 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 2%
 + 0.03216 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 1%
 - 0.03845 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 1.5%
 + 0.00628 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 2%
 - 0.01420 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_12.5% 1%
 + 0.00105 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_12.5% 1.5%

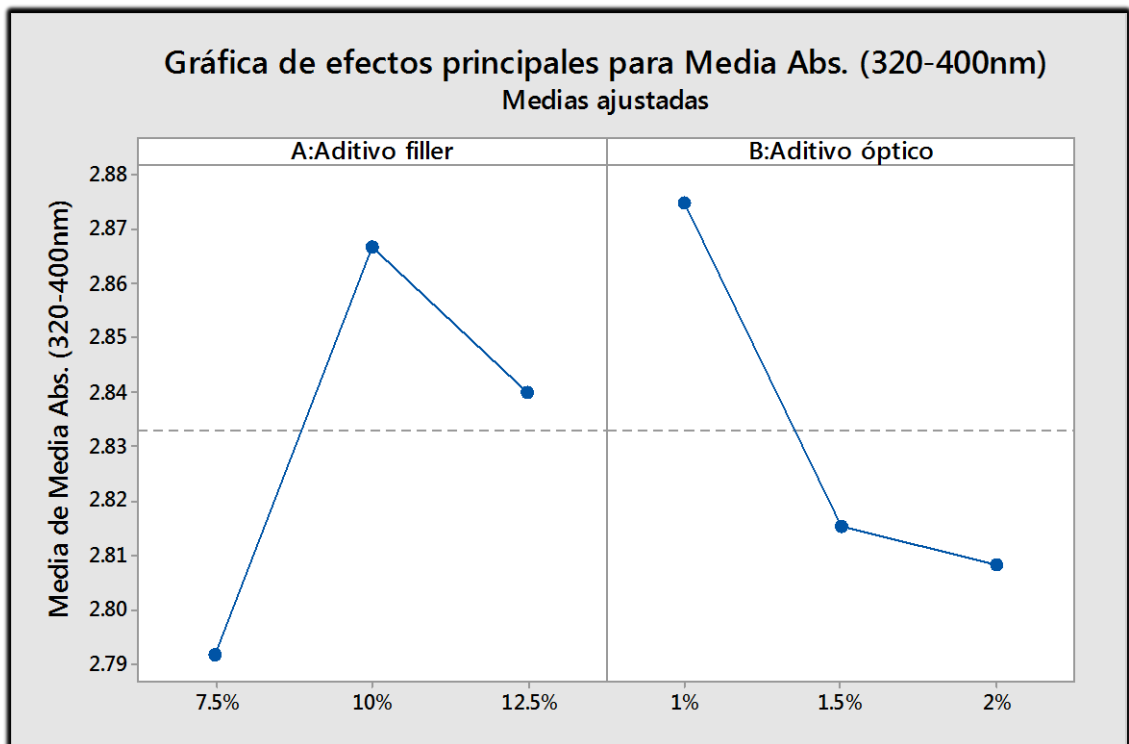
- Para el efecto principal de A (concentración de aditivo Filler):
 $H_0: \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ No Existe efecto de A ; se rechaza
 $H_i: \mu A_1 \neq \mu A_2 \neq \mu A_3$ Existe efecto de A ; se acepta
- Para el efecto principal de B (concentración de aditivo brillador óptico):
 $H_0: \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3$ No Existe efecto de B ; se rechaza
 $H_i: \mu B_1 \neq \mu B_2 \neq \mu B_3$ Existe efecto de B : se acepta
- Para la interacción A*B:
 $H_0: \mu AB_1 = \mu AB_2 = \mu AB_3$ No hay interacción AB; se rechaza
 $H_i: \mu AB_1 \neq \mu AB_2 \neq \mu AB_3$ Hay interacción AB : se acepta

A partir de la tabla 31 se puede analizar, que la interacción A*B y el efecto individual de A y B tienen efecto directo sobre la absorbancia en el rango especificado y de interés, debido que el valor P es menor a la significancia empleada en el método de varianza de 0.05.

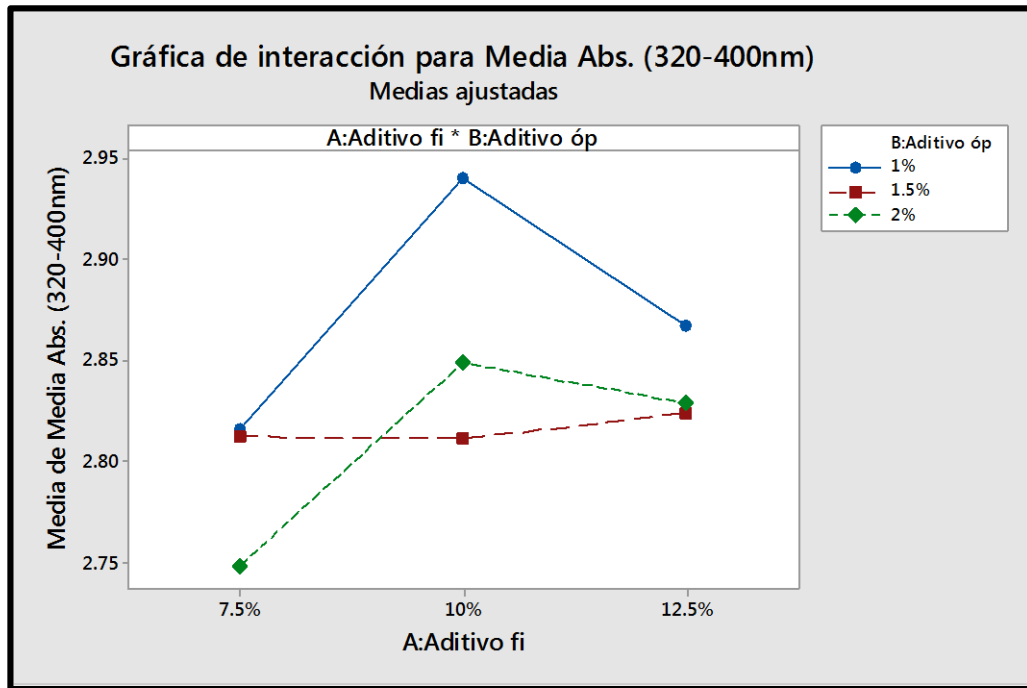
En la gráfica 17, se puede apreciar que al aumentar del nivel bajo (7.5%) al nivel medio (10%) de concentración del aditivo filler la absorbancia promedio en el rango de 320-400 nm aumenta significativamente. Por otra parte, la absorbancia promedio disminuye al aumentar la concentración de brillador óptico, aunque no sea un cambio considerable, debido a que para de un valor de 2.87% a 2.81%.

Para la interacción AB (véase gráfica 18), se puede apreciar que la dosificación a la cual se obtuvo un mayor porcentaje de absorbancia en el rango de interés del espectro ultravioleta, es la correspondiente a 10% F-1% Brillador óptico.

Gráfica 17. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico en absorbancia



Gráfica 18. Interacciones de los aditivos en la absorbancia



4.4.5 Ensayo de %Transmitancia. Éste ensayo consta de 3 réplicas, es decir 3 muestras puestas en el espectrofotómetro, para cada uno de los 9 tratamientos. La variable a analizar en este diseño es el promedio del % transmitancia en el espectro visible correspondientes a las longitudes de onda (400-750 nm). El análisis de varianza se presenta en la tabla 32.

Tabla 32. ANOVA para % transmitancia (400-750 nm)

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 8 | 7.0548 | 0.88185 | 9.37 | 0.000 |
| Lineal | 4 | 6.4395 | 1.60987 | 17.10 | 0.000 |
| A:Aditivo filler | 2 | 5.9380 | 2.96898 | 31.54 | 0.000 |
| B:Aditivo óptico | 2 | 0.5015 | 0.25077 | 2.66 | 0.097 |
| Interacciones de 2 términos | 4 | 0.6153 | 0.15384 | 1.63 | 0.209 |
| A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico | 4 | 0.6153 | 0.15384 | 1.63 | 0.209 |
| Error | 18 | 1.6944 | 0.09413 | | |
| Total | 26 | 8.7493 | | | |

Ecuación de regresión

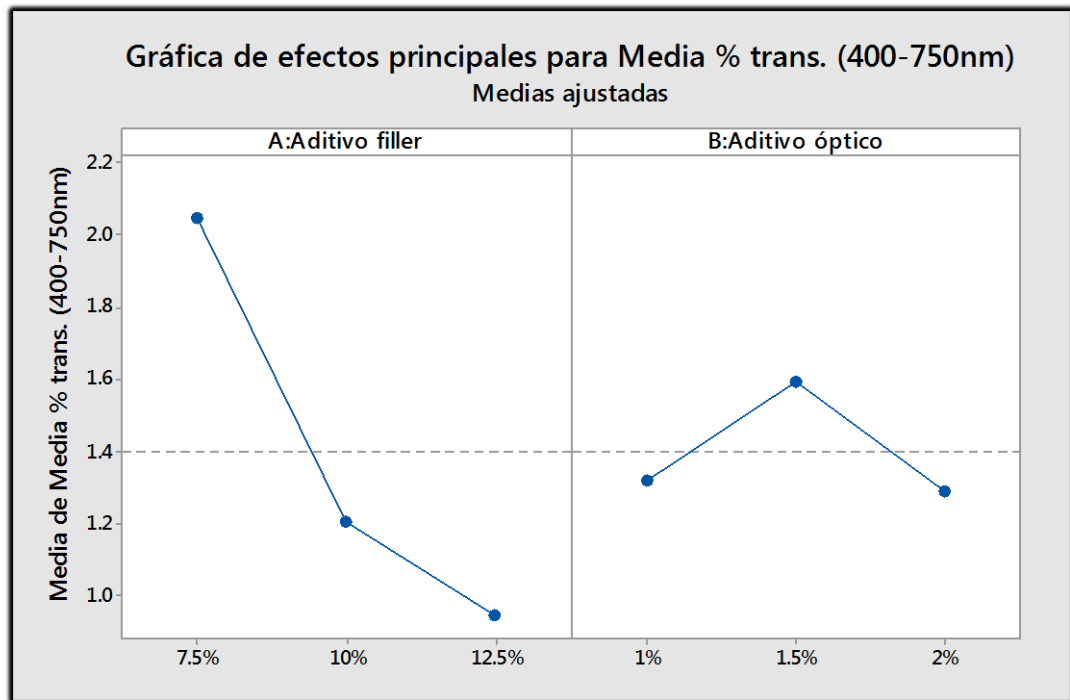
```
Media % trans. (400-750nm) = 1.4005 + 0.6465 A:Aditivo filler_7.5%  
- 0.1953 A:Aditivo filler_10% - 0.4513 A:Aditivo filler_12.5%  
- 0.0803 B:Aditivo óptico_1% + 0.1919 B:Aditivo óptico_1.5%  
- 0.1116 B:Aditivo óptico_2%  
- 0.219 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 1%  
+ 0.138 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 1.5%  
+ 0.080 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_7.5% 2%  
- 0.068 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 1%  
+ 0.011 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 1.5%  
+ 0.057 A:Aditivo filler*B:Aditivo óptico_10% 2%
```

- Para el efecto principal de A (concentración de aditivo Filler):
H₀: $\mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ No Existe efecto de A ; se rechaza
H_i: $\mu A_1 \neq \mu A_2 \neq \mu A_3$ Existe efecto de A ; se acepta
- Para el efecto principal de B (concentración de aditivo brillador óptico):
H₀: $\mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3$ No Existe efecto de B ; se acepta
H_i: $\mu B_1 \neq \mu B_2 \neq \mu B_3$ Existe efecto de B : se rechaza
- Para la interacción A*B:
H₀: $\mu AB_1 = \mu AB_2 = \mu AB_3$ No hay interacción AB; se acepta
H_i: $\mu AB_1 \neq \mu AB_2 \neq \mu AB_3$ Hay interacción AB : se rechaza

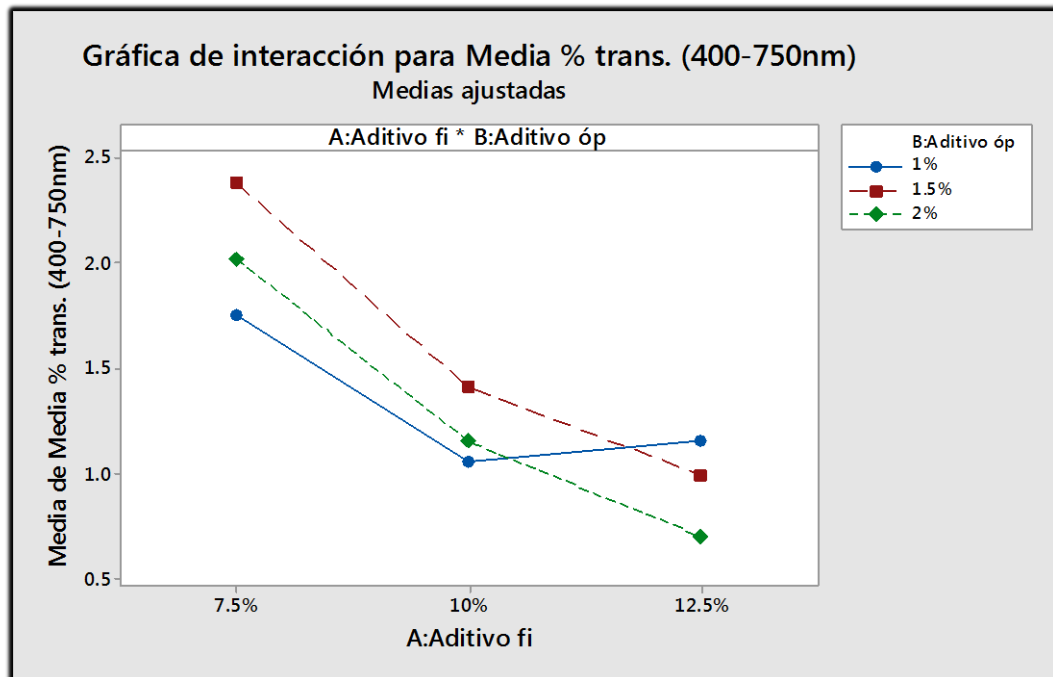
A partir de la tabla 32 se puede analizar, que la interacción A*B y el efecto individual de B no tienen efecto directo sobre el porcentaje de transmitancia en el espectro visible, debido que el valor P es mayor a la significancia empleada en el método de varianza de 0.05. Por otra parte, se observa que el factor A tiene efecto directo sobre el porcentaje de transmitancia.

En la gráfica 19, se observa cómo al aumentar la concentración del aditivo filler, el porcentaje promedio de transmitancia en el rango del espectro visible (400-750 nm) disminuye significativamente, lo que se traduce en una mayor opacidad de los envases con el aumento de éste aditivo. El aditivo brillador óptico no posee la propiedad de mejorar considerablemente la transmitancia en el polietileno.

Gráfica 19. Efectos principales de aditivo Filler y brillador óptico en % transmitancia



Gráfica 20. Interacciones de los aditivos en el % transmitancia



5. COSTO-BENEFICIO

Al finalizar las etapas de experimentación que se desarrollaron a lo largo de todo el proyecto, ahora se procede a analizar cuál fue la mejor formulación del diseño de experimentos, tanto en el mejoramiento de las propiedades mecánicas y ópticas, como en el proceso de evaluación de costos, mejorar la calidad y beneficio económico para la empresa como para el cliente.

Las ecuaciones para determinar el valor de un envase de medio galón translucido post-consumo fabricado son:

Ecuación 9. Precio Materia prima del envase

materia prima: peso del envase (g) * valor gramos de la materia prima

Ecuación 10. Costos de energía

costos de energía:
$$\frac{\text{consumo } \frac{kW}{h} \text{ de la maquina} * \text{valor } \frac{kW}{h}}{\text{numero de unidades producidas}}$$

Ecuación 11. Costos hora de trabajo

valor hora hombre:
$$\frac{\text{salario basico} + \text{prestaciones sociales por hombre}}{\text{número de horas laboradas mensuales}}$$

Ecuación 12. Costos mano de obra para envase

mano de obra:
$$\frac{\text{valor hora de hombre}}{\text{numero de unidades producidas}}$$

Gastos indirectos de fabricación (GIF):

- Mantenimiento
- Servicios
- Depreciación
- Arrendamientos financieros
- Transporte
- Otros.

Según lo anterior se procede a calcular cada uno de los parámetros.

5.1 MATERIA PRIMA

Se pesan 20 envases, los cuales son tabulados en la tabla 33.

Tabla 33. Pesos de envases 1/2 galón transparente recuperado

| Envases | Peso (g) | Envases | Peso (g) |
|---------|----------|---------|----------|
| 1 | 85 | 11 | 85 |
| 2 | 86 | 12 | 88 |
| 3 | 80 | 13 | 90 |
| 4 | 86 | 14 | 86 |
| 5 | 91 | 15 | 86 |
| 6 | 87 | 16 | 86 |
| 7 | 85 | 17 | 90 |
| 8 | 86 | 18 | 83 |
| 9 | 89 | 19 | 88 |
| 10 | 85 | 20 | 88 |

A partir de los datos tabulados, se calcula un promedio, el cual es utilizado para los cálculos posteriores

$$\text{Peso promedio del envase} = 86.5 \text{ g}$$

El valor de la materia prima se obtuvo de un mismo lote a partir de un proveedor de material translucido recuperado de la empresa Colfoplas S.A. El valor por kilogramo de materia prima del polietileno recuperado translucido es de \$2400 pesos colombianos, el cual equivale a \$2.4 pesos colombiano por gramo.

Por lo tanto, el valor de la materia prima es: \$207.6 pesos por envase.

5.2 VALOR HORA HOMBRE

El salario básico de un operario en Colfoplas S.A es de \$1050000 COP y sus prestaciones sociales son de \$520646 COP para un total de sueldo de \$1570646 COP.

La empresa trabaja actualmente 24 horas, 6 días de la semana, los cuales se reparten en 2 turnos, cada uno de 12 horas. Donde el operario tiene 30 minutos de desayuno y 1 hora de almuerzo. Para un total de 10 horas y 30 minutos de trabajo por cada operario.

Por las razones mencionadas anteriormente, el valor de la hora hombre es de \$5983.54 pesos colombianos. Valor que se obtuvo para 25 días hábiles de un mes.

5.3 MANO DE OBRA

El promedio de número envases medio galón producidos por la máquina HESSEN es de 72 unidades/hora. Por ende, la mano de obra es de \$ 83.1 pesos colombianos por cada envase.

5.4. COSTO DE ENERGÍA

Éste se calculó haciendo una relación con el promedio de gasto de energía de la maquina, el cual es 20 kW-h. El valor del kW-h, el cual se paga a la empresa que brinda el servicio de enegía es de \$363.2 COP. Por consiguiente, el costo de energía para esta máquina es de \$7264 COP por hora y por envase \$100.89 COP.

5.5 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

Este valor es estándar de la empresa y corresponde a un valor de 20% del precio costo de cada envase.

5.6 COSTO TOTAL DEL ENVASE MEDIO GALÓN

Para calcular el costo de 1 unidad de envase de medio galón translucido recuperado, se tienen en cuenta los parámetros mostrados en la tabla 34.

Tabla 34. Parámetros para cálculo de costo para envase de medio galón translucido sin aditivo

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------------|---------|
| Producción por hora de medio galón | 72 |
| Consumo maquina (kW-h) | 20 |
| Peso promedio envase medio galón (g) | 86.5 |
| Valor de kW-h | 363.2 |
| Valor energía por envase (\$COP) | 100.89 |
| Salario Operario por hora (\$COP) | 5983.54 |
| Prestaciones sociales | 1.45 |
| Costo mano obra por envase (\$COP) | 83.1 |
| Número de horas Laboradas por turno | 10.5 |
| Costos indirectos de fabricación (%) | 20 |
| Costo polietileno por gramo (\$COP) | 2.4 |
| Costo mano de obra por envase (\$COP) | 83.1 |

Tabla 35. Componentes principales de COLFOPLAS S.A para encontrar el valor del costo total de un envase sin aditivo

| Componentes del costo para colfoplas s.a | Valor |
|---|--------------|
| Número envase producidos por 15 kg | 105 |
| Costo materia prima del envase (\$COP) | 207.6 |
| Tiempo de producción de 15kg (h) | 1.46 |
| Costo de energía (\$COP) | 10593.3 |
| Costo de energía por envase (\$COP) | 100.9 |
| Costo mano de obra por envase (\$COP) | 83.1 |
| Costos indirectos por envase (20%) | 78.3 |
| COSTO TOTAL POR ENVASE (\$COP) | 469.9 |

5.6 COSTO TOTAL DEL ENVASE MEDIO GALÓN CON ADITIVOS

Los costos de compra de los aditivos por gramo de materia se presentan en la tabla 36.

Tabla 36. Costos por gramo de aditivos

| Parámetro | Costos |
|--|---------------|
| Costo por gramo aditivo Filler | 4.5 |
| Costo por gramo aditivo brillador óptico (\$COP) | 8.96 |

Para calcular los costos de las diferentes formulaciones se procede a calcular el costo de la materia prima con los aditivos implementados. Para lo cual se tomó una base de cálculo de 1000 gramos de mezcla entre los aditivos y el polietileno de alta densidad translucido recuperado. En la tabla 37 se muestran el costo para la base de cálculo, y también el costo para un envase de las formulaciones dadas.

Tabla 37. Costos de materia prima por envase con aditivos

| DOSIFICACIÓN | COSTO 1000 g (\$COP) | COSTO MATERIA PRIMA POR 1 ENVASE |
|---------------------|-----------------------------|---|
| 7,5%F- 1% B.O | 2623.1 | 226.9 |
| 7,5%F- 1,5% B.O | 2655.9 | 229.7 |
| 7,5%F- 2% B.O | 2688.7 | 232.6 |
| 10%F- 1% B.O | 2675.6 | 231.4 |
| 10%F- 1,5% B.O | 2708.4 | 234.3 |
| 10%F- 2% B.O | 2741.2 | 237.1 |
| 12,5%F- 1% B.O | 2728.1 | 235.9 |
| 12,5%F- 1,5% B.O | 2760.9 | 238.8 |
| 12,5%F- 2% B.O | 2793.7 | 241.6 |
| 1% B.O | 2465.6 | 213.2 |
| 1,5% B.O | 2498.4 | 216.1 |
| 2% B.O | 2531.2 | 218.9 |
| 7,5%F | 2557.5 | 221.2 |
| 10%F | 2610.0 | 225.7 |
| 12,5%F | 2662.5 | 230.3 |

Con base en lo anterior ahora se procede a sacar el valor de cada formulación por unidad de envase involucrando los componentes de costos para COLFOPLAS S.A mostrados en la tabla 35. El costo de cada envase para cada una de las dosificaciones propuestas se muestran en la tabla 38.

Tabla 38. Costo de los envases para cada formulación

| Dosificación | Costo materia prima por 1 envase |
|---------------------|---|
| 7,5%F- 1% B.O | 498.5 |
| 7,5%F- 1,5% B.O | 501.9 |
| 7,5%F- 2% B.O | 505.3 |
| 10%F- 1% B.O | 503.9 |
| 10%F- 1,5% B.O | 507.3 |
| 10%F- 2% B.O | 510.7 |
| 12,5%F- 1% B.O | 503.9 |
| 12,5%F- 1,5% B.O | 507.3 |
| 12,5%F- 2% B.O | 510.7 |
| 1% B.O | 476.7 |
| 1,5% B.O | 480.1 |
| 2% B.O | 483.5 |
| 7,5%F | 486.2 |
| 10%F | 491.7 |
| 12,5%F | 497.1 |

5.7 ANÁLISIS DE COSTOS

De los cálculos realizados anteriormente, fue posible determinar que los envases que han sido modificados con los aditivos son más costosos, que uno sin modificar.

Se compararon las ventas de medio galón translúcido recuperado en el mes de noviembre del año 2016, donde aún no se habían implementado los aditivos, con el mes de abril del año 2017 donde ya se implementó el uso de los aditivos en la cadena de producción, generando como resultado un incremento en el número de unidades vendidas (véase tabla 39)

Tabla 39. Relación de ventas de medio galón translúcido recuperado

| Número de unidades vendidas en noviembre del año 2016 | Número de unidades vendidas en abril del año 2017 |
|---|---|
| 5161 | 7938 |

Como se puede apreciar, gracias a la utilización de los aditivos y especialmente a la implementación del aditivo brillador óptico se ha logrado una gran diferencia en el nivel de ventas de estos envases. Lo que representa una mayor ganancia para la empresa. Ahora se procede a exponer cuál de las formulaciones tiene el menor aumento en el precio de fabricación, en comparación de un envase sin aditivo, es decir el aumento de precio para producir un envase con aditivos respecto a uno que no (véase tabla 40).

Tabla 40. Diferencia del costo del envase con aditivo y sin aditivo

| Dosificación | Aumento de costo |
|------------------|------------------|
| 7,5%F- 1% B.O | 28.60 |
| 7,5%F- 1,5% B.O | 32.01 |
| 7,5%F- 2% B.O | 35.41 |
| 10%F- 1% B.O | 34.05 |
| 10%F- 1,5% B.O | 37.461 |
| 10%F- 2% B.O | 40.86 |
| 12,5%F- 1% B.O | 34.05 |
| 12,5%F- 1,5% B.O | 37.46 |
| 12,5%F- 2% B.O | 40.86 |
| 1% B.O | 6.809 |
| 1,5% B.O | 10.21 |
| 2% B.O | 13.61 |
| 7,5%F | 16.34 |
| 10%F | 21.79 |
| 12,5%F | 27.24 |

Como se puede apreciar en la tabla 40, las formulaciones que poseen el menos aumento en precio de fabricación por envase. Estas son: la formulación 1% brillador óptico y le sigue la formulación 1.5 %.

A continuación, se realizó el costo de la producción de noviembre del año 2016 y de abril de año 2017 el cual solo se empleó solo la formulación 2% brillador óptico como se muestra en la tabla 41.

Tabla 41. Relación de costos de producción de noviembre del año 2016 y abril del año 2017. Para medio galón translucido recuperado

| Costo de producción de noviembre del año 2016 | Costo de producción de abril del año 2017 |
|--|--|
| \$ 2425218 COP | \$ 3838268 COP |

Como se puede observar los costos del año 2016 son más bajos con relación al del año 2017, esto se da por la baja producción de envases en el año 2016 en relación al año 2017.

La empresa, suministro el valor de venta del envase de medio galón translucido recuperado es cual es \$ 605 pesos colombianos por unidad. Con este dato se calcula el costo de venta para los meses noviembre del año 2016 y abril del año 2017 (véase tabla 42).

Tabla 42. Costos de ventas de noviembre del año 2016 y abril del año 2017

| Costo de ventas de noviembre del año 2016 | Costo de ventas de abril del año 2017 |
|--|--|
| \$ 3122405 COP | \$ 4802490 COP |

Ahora se procede a calcular las ganancias netas del mes de noviembre del año 2016 y de abril del año 2017 como se observa en la tabla 43.

Tabla 43. Ganancias de ventas de noviembre del año 2016 y abril del año 2017

| GANANCIA DE VENTAS DE NOVIEMBRE DEL AÑO 2016 | GANANCIA DE VENTAS DE ABRIL DEL AÑO 2017 |
|---|---|
| \$ 697197 COP | \$ 964222 COP |

Al realizar la diferencia de ganancias del mes de abril del año 2017 con respecto al mes de noviembre del año 2016 de da un invremento de ganancias netas de \$267034 COP. Esto, es resultado directo del incremento en ventas al implementar

en la cadena de producción de Colfoplas S.A. Lo que demuestra que la implementación de aditivos, es viable económicamente.

6. CONCLUSIONES

- El aditivo Filler especial transparente, aumenta el módulo de elasticidad en el polietileno translucido post-consumo, lo que se traduce en mejora de su rigidez para soportar cargas externas más elevadas.
- El aditivo Filler especial transparente, aumenta el máximo esfuerzo que puede soportar por apilamiento antes de que se presente la falla permanente en el envase.
- El aditivo Filler Especial Transparente, mitiga el efecto que proporciona el aditivo brillador óptico, y genera opacidad en el polietileno al momento de aumentar la concentración de filler. Este aditivo, solamente genera el efecto deseado usándolo en concentraciones iguales o menores al 10%
- El aditivo brillador óptico, mejora notablemente es aspecto visual del envase medio galón translucido recuperado, debido que brinda la sensación de blancura y enmascara los colores amarillentos en concentraciones del 1% y 1.5%.
- El aditivo brillador óptico, no aumenta de forma considerable la translucidez del polietileno recuperado, éste tiene su función desde su fenomenología de la absorbancia y reflectancia.
- La implementación del aditivo brillador óptico en la empresa Colfoplas S.A, ha causado un aumento de las ventas de los envases medio galón, generando a la empresa un aumento de los beneficios económico, al estar relacionado directamente con el aumento de clientes para este producto.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa, que implemente instalaciones de investigación y desarrollo, con el fin de estar en contante mejora tanto en sus productos finales como en la actualización de sus equipos.
- Se sugiere implementar un sistema de salud y seguridad ocupacional, adecuado a los requerimientos de la planta, como lo son trabajo en alturas, adecuados equipos de protección personal y señalizaciones correspondientes.
- Dar a conocer el uso y el propósito de los aditivos empleados en este trabajo de grado, a los empleados de Colfoplas S.A para mayor eficiencia de estos.
- Usar las dosificaciones recomendadas y formuladas que están expuestas en este documento para tener un mayor rango en el mejoramiento de las propiedades mecánicas y ópticas en los envases.
- Se recomienda realizar pruebas ópticas en un espectrofotómetro, capaz de realizar lecturas de absorbancia por encima de 6. Por otra parte complementar este trabajo de grado realizando lecturas de reflectancia, y un espectrofotómetro adecuado para este fenómeno.

BIBLIOGRAFÍA

- ALGABA, Inés M. Protección ultravioleta proporcionada por los textiles: estudio de la influencia de las variables más significativas y aplicación de productos específicos para su mejora. Tesis Doctoral. Catalunya. 2005. p. 253.
- Elsevier Science. Optical brighteners: improving the colour of plastics. En: rev. Plastics Additives & Compounding, noviembre/diciembre 2003. p. 42-43
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Ensayo de tensión, protocolo curso de materiales. Bogotá. 2008. P. 5
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y DE CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El instituto, 2008. 110 p.
- _____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: el Instituto, 2008, p. 12
- _____. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el Instituto, 1998, p.12
- KUTZ. Myer. Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials, 1st Ed. Amsterdam: William Andrew. 2011. P. 267.
- Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Hsinchu, Taiwan 300, R.O.C. Received 1 November 2005. p. 2133-2134
- Mark O. Liu, Hong-Fan Lin, Thermal and fluorescent properties of optical brighteners and their whitening effect for pelletization of cycloolefin copolymers. Union Chemical
- MAYZO. Optical Brighteners [En Línea]. Suwanee, Georgia, USA: MAYZO. 2016. [citado 08 de junio-2017]. Disponible en: <http://www.mayzo.com/optical-brighteners.html>
- PLASTINES S.A.S. Aditivos Masterbatch [En Línea]. Bogotá: Plastines la tienda del plastiquero. 2016. [citado 08 de junio-2017]. Disponible en: http://www.plastines.com/es_ES/productos/masterbatch-aditivos/
- PREMAMOY, Ghosh. Polymer Science and Technology: Plastics, Rubbers, Blends and Composites, 3 Ed. India: McGraw Hill Education (India) Private Limited. 2011. p.359.

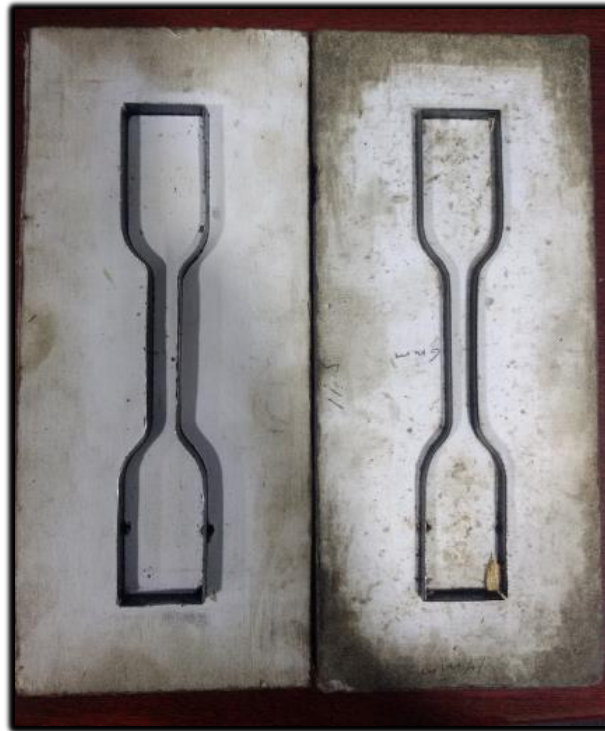
SCHOTT, Nick R. ROSATO, Marlene G. ROSATO, Donald V. *Plastics Technology Handbook - Volume 1, 1st Ed.* New York: 2010. p. 1022.

VASILE, Cornelia. PASCU, Mihaela. *RAPRA Technology Limited. Practical Guide to Polyethylene.* Shrewsbury: Rapra Technology Ltd. 2005. P. 89.

ANEXOS

**ANEXO A
TROQUEL**

Evidencia fotográfica:



ANEXO B

EQUIPOS

- Máquina de extrusión-soplado para envases medio galón HESSEN



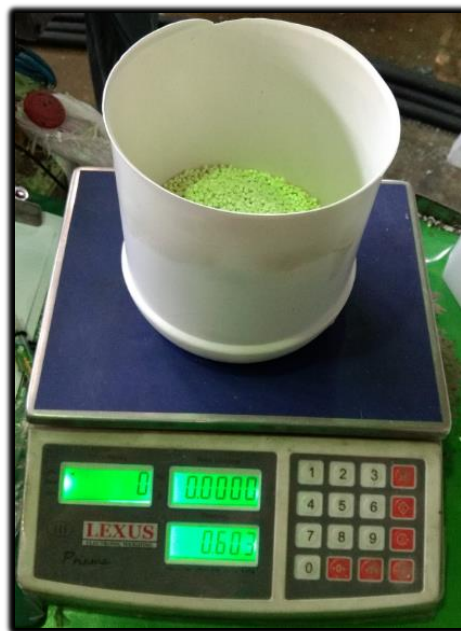
- Máquina universal de ensayos SHIMADZU UH-50



- **Espectrofotómetro UV-Visible Evolution 300**



- **Gramera LEXUS**



ANEXO D

FICHAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS IMPLEMENTADOS

- Aditivo Filler Transparente Especial



TRANSPARENT FILLER 0283 (CARGA TRANSPARENTE 0283)

| | |
|---|---|
| Forma: Pellets | Índice de fluidez (g/10mins): ≤ 3.0 |
| Temperatura de fusión (°C): [125] | Humedad (%): ≤ 0.15 |
| Estabilidad térmica (°C): 250 | Principal aplicación: Extrusión de película |
| Medio (material de soporte): LLDPE | Materiales a trabajar: PP, PE |
| Dosificación (%): 10-25 para HDPE Film, 5-10 para LDPE Film | |
| Salud y seguridad: Cumple con la The European Resolution AP 89 (Contenido de metales pesados) | |

COMPOSICION

Contenido de cenizas: $82.0\% \pm 3.0\%$.
Aditivos inorgánicos equivalentes: $82.0\% \pm 3.0\%$.

PROPIEDADES EN PROCESO

- Ahorro significativo en costos de materia prima.
- Incremento en productividad
- Funcionamiento mejorado
- Comparado con el Carbonato, este no disminuye tanto la opacidad del material para la misma dosificación.
- Reduce el efecto adhesivo de la película.

EMPAQUE

El empaque es de 25 Kg por bulto, Bolsa en material compuesto de plástico y papel con revestimiento interno de HDPE.

RECOMENDACIONES

Almacenar en un lugar fresco y seco.

La información que se entrega en esta ficha está basada en la experiencia del fabricante. Como hay muchas variables en los procesos en los cuales se usa este material, la responsabilidad del fabricante y el comercializador es limitada a la información dada.

TDS NO.: LAB201606200226

VENTAS: CALI: (2) 4412615, MEDELLIN: (4) 4447289, BOGOTA (1) 4743737
plastinesftda@hotmail.com

- Aditivo Brillador Óptico



BRILLADOR OPTICO – MASTERBATCH 0905

Este masterbatch se usa principalmente para los procesos de reciclaje de plástico, donde provee brillo sobresaliente al material recuperado.

Este producto posee un abrillantado que elimina el tinte amarillento de los materiales reciclados, generando un ligero matiz azulado.

DATOS TECNICOS

| | |
|---|---|
| Forma: Pellets | Color: Ligeramente amarillento |
| Temperatura de Fusión (oC): 125 | Humedad (%): < 0.15 |
| Vehículo: LDPE + LLDPE | Densidad a 23oC (g/cm ³): 1.5 |
| Índice de Fluidéz (fundido) (g/10mins): <15.0 | Dosificación: 1 a 3% |
| Materiales a trabajar: PP, LDPE, HDPE, LLDPE | Estabilidad Térmica (oC): 250 |
| Procesos de aplicación: Extrusión, Inyección y Soplado. | |

COMPOSICION

Agentes de brillador óptico equivalente a 3 % +/- 1%

EMPAQUE

Bolsas de 5 Kg.

RECOMENDACIONES

Para ser usado en la fabricación de envases, tubos, películas y demás productos plásticos.

Almacenar en un lugar seco y ventilado.

La información que se entrega en esta ficha esta basada en la experiencia del fabricante. Como hay muchas variables en los procesos en los cuales se usa este material, la responsabilidad del fabricante y el comercializador es limitada a la información dada.

VENTAS: CALI: (2) 4412615, MEDELLIN: (4) 4447289, BOGOTA (1) 4743737
plastinesltda@hotmail.com

ANEXO F

ENSAYOS DE TENSIÓN DISEÑO DE EXPERIMENTOS

➤ **Dosificación:** 7.5 % Aditivo Filler + 1% Aditivo Brillador Óptico.

- Información del ensayo.

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|------------------------------------|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 7.5% BRILLADOR ÓPTICO: 1% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 3/3A |
| INTEGRANTES: | Álvaro Garzón, David Adame, Carlos Calderón, Cristian Calderón |
| FECHA: | 27/04/2017 |
| HORA: | 01:00:00 p. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA | SHIMADZU UH-50 A |

- Imágenes de probetas.



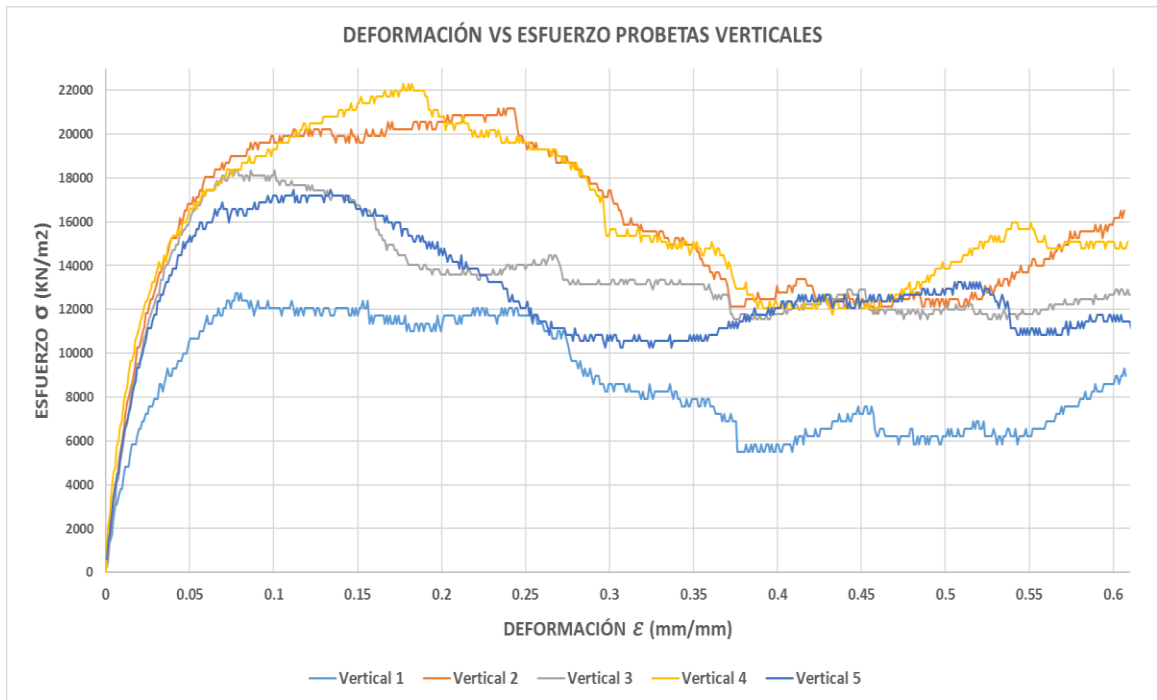
- Dimensiones iniciales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------|-----|-----|-------|--------------|-----|-----|-------|------------------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | Área (m ²) |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6.5 | 6.3 | 6.2 | 6.333 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0000057 |
| V2 | 33 | 6.1 | 6.2 | 6 | 6.1 | 1.1 | 1 | 1 | 1.033 | 6.30333E-06 |
| V3 | 33 | 6.7 | 6.6 | 6.7 | 6.666 | 1.3 | 1.4 | 1.2 | 1.3 | 8.66667E-06 |
| V4 | 33 | 6.2 | 6.4 | 6.3 | 6.3 | 1 | 1.1 | 1 | 1.033 | 0.00000651 |
| V5 | 33 | 6.1 | 6.5 | 6.3 | 6.3 | 1.1 | 1 | 1 | 1.033 | 0.00000651 |
| H1 | 33 | 6.4 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 1 | 1 | 1.1 | 1.033 | 6.40667E-06 |
| H2 | 33 | 5.9 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.0000061 |
| H3 | 33 | 5.8 | 6.2 | 6 | 6 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.0000054 |
| H4 | 33 | 6 | 6.3 | 6.6 | 6.3 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.00000504 |
| H5 | 33 | 6.1 | 6 | 6.2 | 6.1 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.733 | 4.47333E-06 |

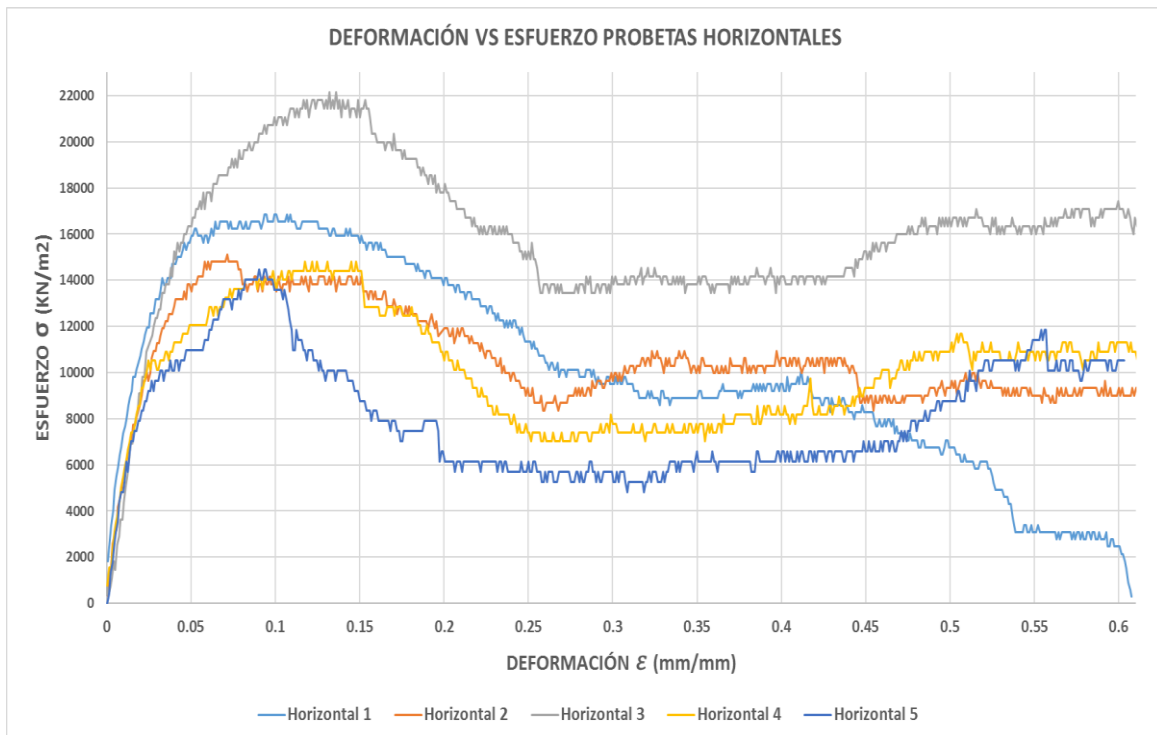
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 46.8 | 3.1 | 0.3 |
| V2 | 44.8 | 3.1 | 0.4 |
| V3 | 47.3 | 3 | 0.5 |
| V4 | 44.2 | 2.95 | 0.4 |
| V5 | 48.3 | 3.1 | 0.4 |
| H1 | 47.4 | 2.9 | 0.15 |
| H2 | 48 | 3.05 | 0.35 |
| H3 | 46.8 | 3.1 | 0.3 |
| H4 | 48.4 | 3 | 0.25 |
| H5 | 47.1 | 3 | 0.25 |

✓ **Resultados probetas verticales.**



✓ **Resultados probetas horizontales.**

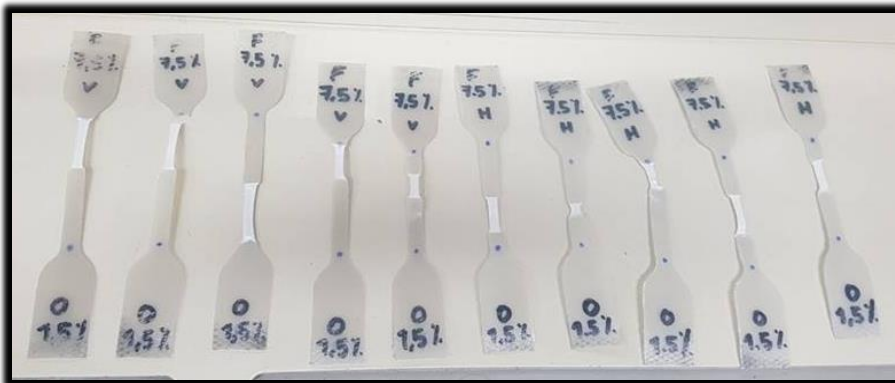


➤ **Dosificación:** 7.5 % Aditivo Filler + 1.5% Aditivo Brillador Óptico.

- **Información del ensayo.**

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|---|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 7.5% BRILLADOR ÓPTICO: 1,5% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 2/3B |
| INTEGRANTES: | Camilo González, Bryan Amaya, Nicolás Díaz, Pedro Méndez |
| FECHA: | 27/04/2017 |
| HORA: | 03:00:00 p. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA | SHIMADZU UH-50 A |

- **Imágenes de probetas.**



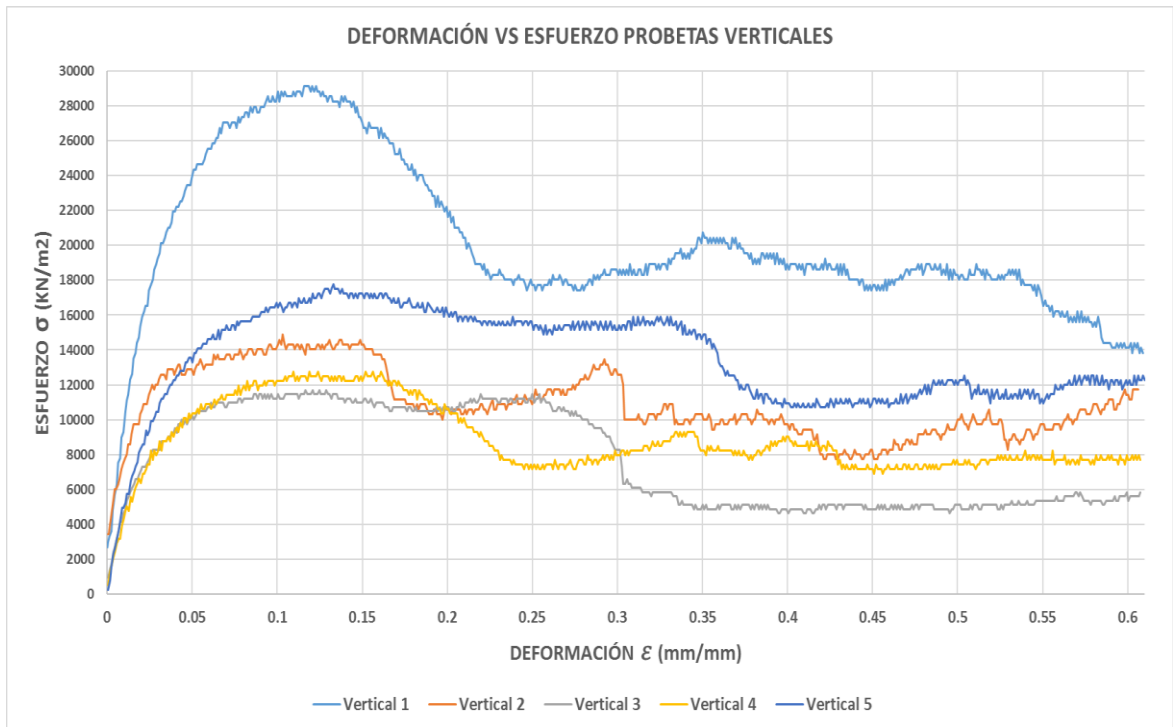
- Dimensiones iniciales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------|------|------|-------|--------------|------|------|-------|------------------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | Área (m ²) |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6.5 | 6.6 | 6.5 | 6.533 | 1 | 1 | 1 | 1.000 | 6.53E-06 |
| V2 | 33 | 6.6 | 6.7 | 6.6 | 6.633 | 1.05 | 1 | 1.05 | 1.033 | 6.85E-06 |
| V3 | 33 | 6.5 | 6.27 | 6.63 | 6.467 | 1.23 | 1.21 | 1.29 | 1.243 | 8.04E-06 |
| V4 | 33 | 6.4 | 6.8 | 6.6 | 6.600 | 1.05 | 1.2 | 1.1 | 1.117 | 7.37E-06 |
| V5 | 33 | 6.8 | 6.4 | 6.7 | 6.633 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.133 | 7.52E-06 |
| H1 | 33 | 6.7 | 6.8 | 6.65 | 6.717 | 0.9 | 0.75 | 0.8 | 0.817 | 5.49E-06 |
| H2 | 33 | 6.36 | 6.33 | 6.56 | 6.417 | 0.86 | 0.73 | 0.8 | 0.797 | 5.11E-06 |
| H3 | 33 | 6.7 | 6.5 | 6.6 | 6.600 | 1 | 1.05 | 1.15 | 1.067 | 7.04E-06 |
| H4 | 33 | 6.8 | 6.75 | 6.7 | 6.750 | 0.95 | 0.9 | 1 | 0.950 | 6.41E-06 |
| H5 | 33 | 6.6 | 6.2 | 6.8 | 6.533 | 1 | 1 | 1.1 | 1.033 | 6.75E-06 |

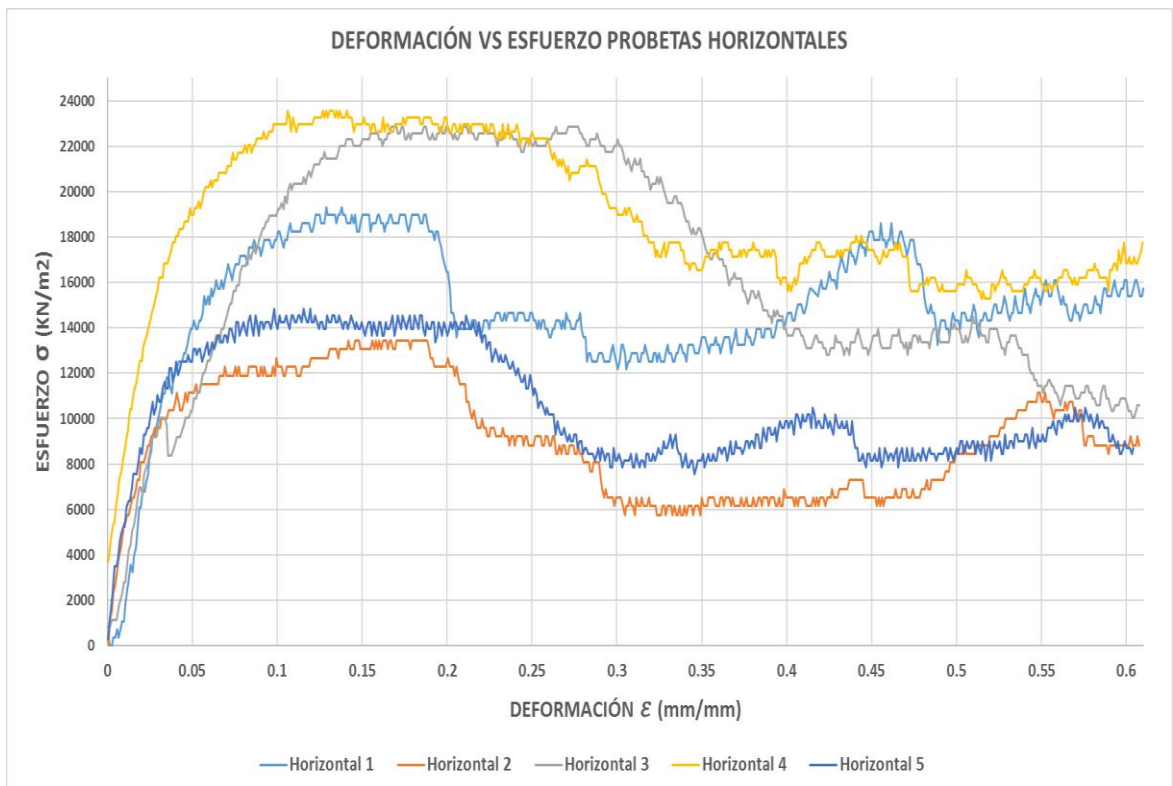
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 54 | 3.14 | 0.42 |
| V2 | 53.08 | 3.14 | 0.34 |
| V3 | 47.21 | 3.08 | 0.47 |
| V4 | 49.22 | 3.34 | 0.36 |
| V5 | 46.34 | 4.52 | 0.40 |
| H1 | 48.92 | 3.94 | 0.22 |
| H2 | 48.23 | 3.00 | 0.30 |
| H3 | 47.14 | 3.04 | 0.32 |
| H4 | 51.7 | 3.42 | 0.38 |
| H5 | 49.08 | 3.74 | 0.32 |

✓ **Resultados probetas verticales.**



✓ **Resultados probetas horizontales.**



➤ **Dosificación:** 7.5 % Aditivo Filler + 2% Aditivo Brillador Óptico.

- **Información del ensayo.**

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|------------------------------------|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 7.5% BRILLADOR ÓPTICO: 2% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 7/3B |
| INTEGRANTES: | Sebastián Colmenares, Brayan Sánchez, Sebastián Barbosa. |
| FECHA: | 27/04/2017 |
| HORA: | 05:00:00 p. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA | SHIMADZU UH-50 A |

- **Evidencia fotográfica.**



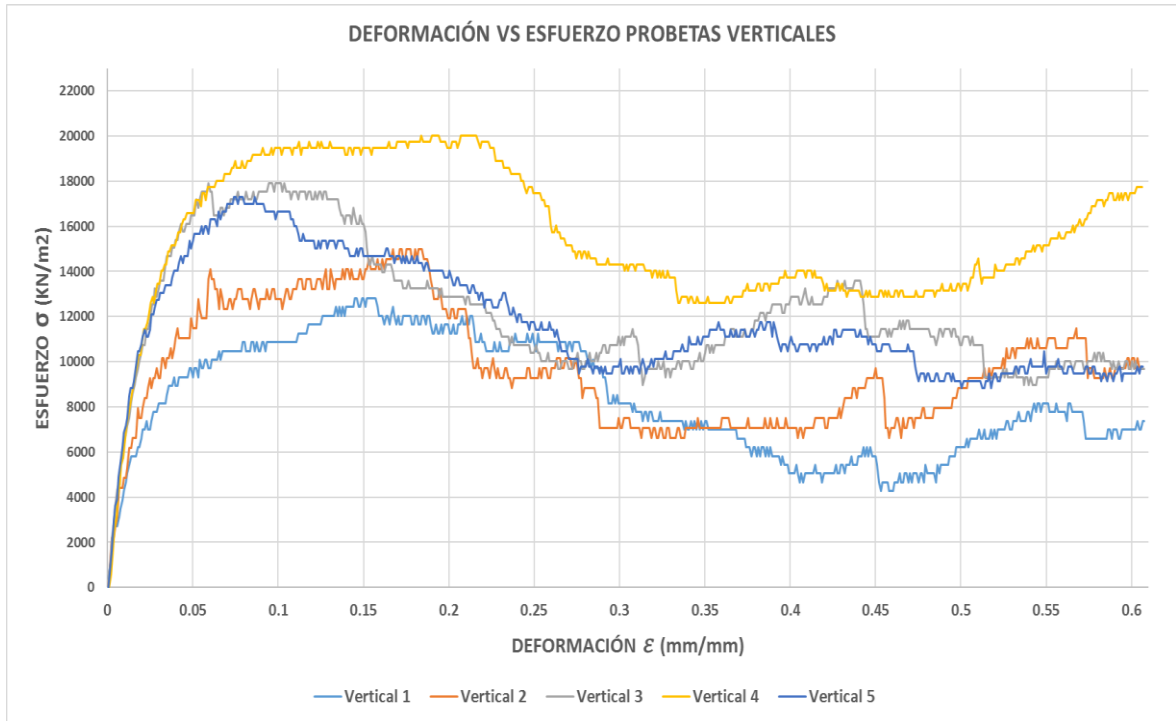
- Dimensiones iniciales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------|------|------|-------|--------------|------|------|-------|----------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6 | 6.1 | 6.4 | 6.167 | 0.82 | 0.79 | 0.85 | 0.820 | 5.06E-06 |
| V2 | 33 | 6.4 | 6.2 | 6.2 | 6.267 | 0.77 | 0.64 | 0.72 | 0.710 | 4.45E-06 |
| V3 | 33 | 6.3 | 6.5 | 6.1 | 6.300 | 0.9 | 0.84 | 0.87 | 0.870 | 5.48E-06 |
| V4 | 33 | 6.4 | 6.35 | 6.6 | 6.450 | 1.12 | 1.05 | 1.02 | 1.063 | 6.86E-06 |
| V5 | 33 | 6.4 | 6.15 | 6.3 | 6.283 | 0.89 | 0.96 | 1.02 | 0.957 | 6.01E-06 |
| H1 | 33 | 6.7 | 6.5 | 6.65 | 6.617 | 0.67 | 0.62 | 0.74 | 0.677 | 4.48E-06 |
| H2 | 33 | 6.4 | 6.2 | 6.55 | 6.383 | 0.74 | 0.7 | 0.81 | 0.750 | 4.79E-06 |
| H3 | 33 | 6.45 | 6.3 | 6.4 | 6.383 | 0.84 | 0.73 | 0.73 | 0.767 | 4.89E-06 |
| H4 | 33 | 6.4 | 6.6 | 6.5 | 6.500 | 0.78 | 0.73 | 0.67 | 0.727 | 4.72E-06 |
| H5 | 33 | 6.45 | 6.25 | 6.3 | 6.333 | 0.91 | 0.82 | 0.77 | 0.833 | 5.28E-06 |

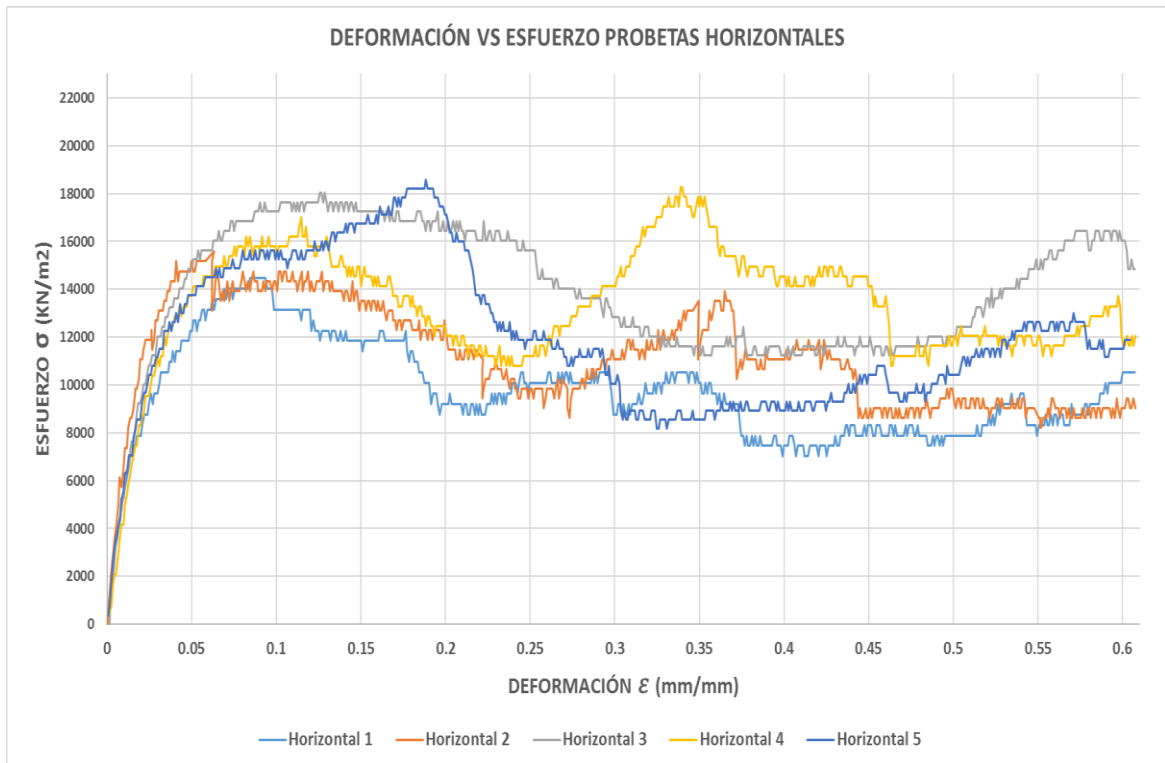
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 49.53 | 3.11 | 0.31 |
| V2 | 50.4 | 3.28 | 0.22 |
| V3 | 49.74 | 3.03 | 0.47 |
| V4 | 50.15 | 3.30 | 0.38 |
| V5 | 51.22 | 3.19 | 0.34 |
| H1 | 51.92 | 3.21 | 0.21 |
| H2 | 51.39 | 3.18 | 0.28 |
| H3 | 52.17 | 3.22 | 0.29 |
| H4 | 50.7 | 2.84 | 0.26 |
| H5 | 50.47 | 3.19 | 0.26 |

✓ Resultados probetas verticales.



✓ Resultados probetas horizontales.

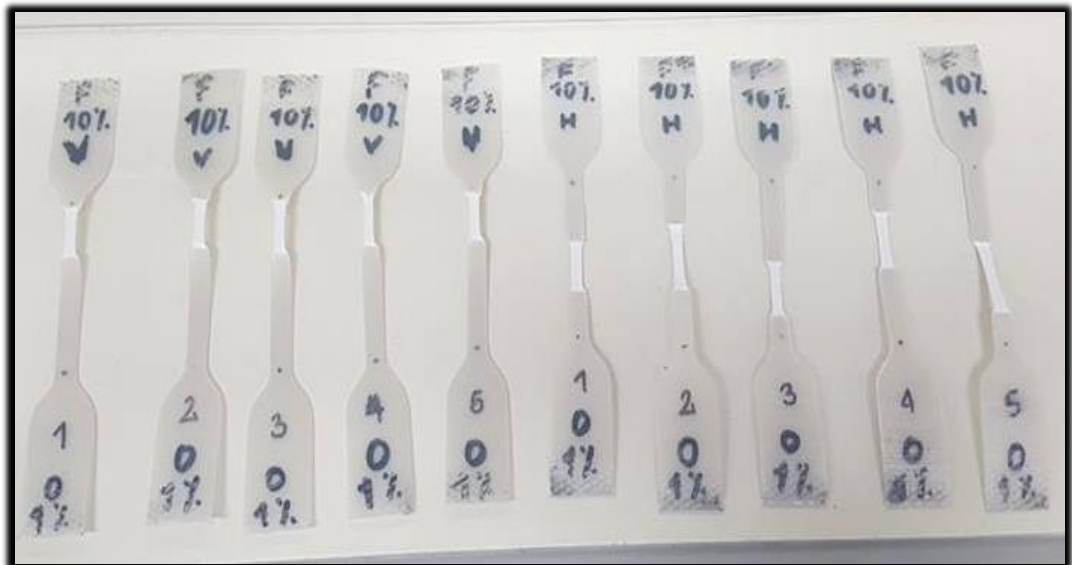


➤ **Dosificación:** 10% Aditivo Filler + 1% Aditivo Brillador Óptico.

- **Información del ensayo.**

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|---|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 10% BRILLADOR ÓPTICO: 1% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 1/3A |
| INTEGRANTES: | Natalia Moreno, Jorge Acero, Edwin Jiménez, Julián Ramírez |
| FECHA: | 28/04/2017 |
| HORA: | 08:00:00 a. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA | SHIMADZU UH-50 A |

- **Evidencia fotográfica.**



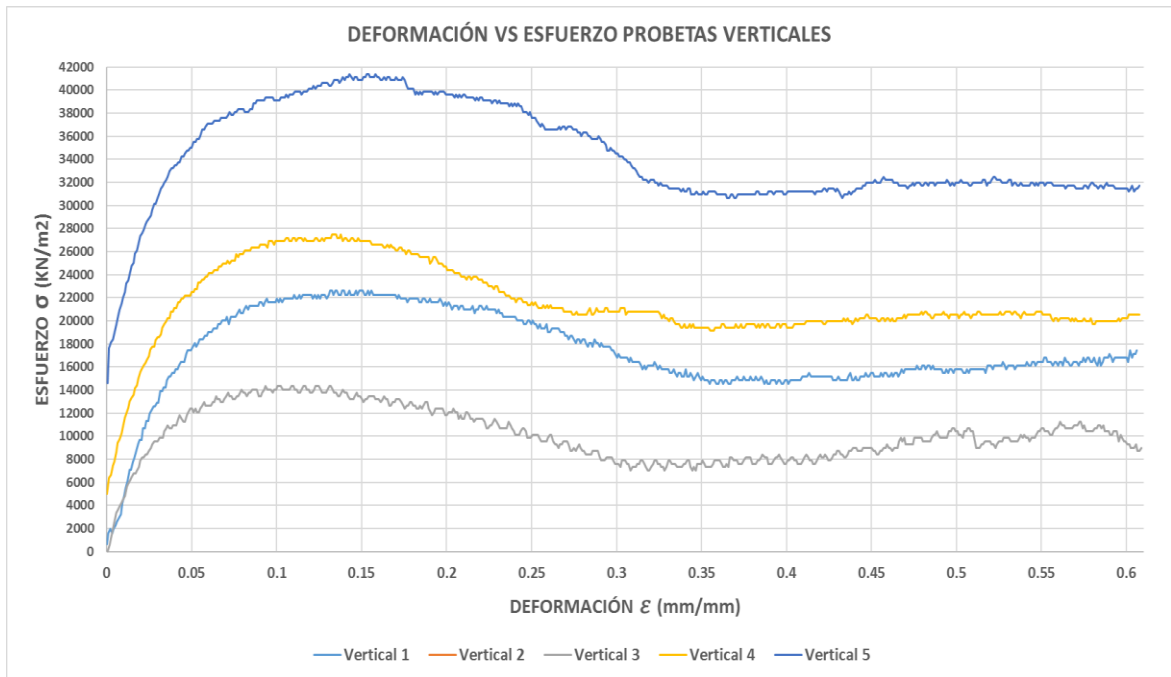
- Dimensiones iniciales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------|------|------|-------|--------------|------|------|-------|------------------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | Área (m ²) |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6.72 | 6.68 | 6.72 | 6.707 | 0.9 | 0.92 | 0.9 | 0.907 | 6.08E-06 |
| V2 | 33 | 6.64 | 6.62 | 6.64 | 6.633 | 0.98 | 0.96 | 0.96 | 0.967 | 6.41E-06 |
| V3 | 33 | 6.8 | 6.78 | 6.8 | 6.800 | 1 | 1.04 | 1.04 | 1.027 | 6.98E-06 |
| V4 | 33 | 6.38 | 6.4 | 6.4 | 6.393 | 1.1 | 1.12 | 1.1 | 1.107 | 7.08E-06 |
| V5 | 33 | 6.58 | 6.58 | 6.58 | 6.580 | 1.16 | 1.18 | 1.16 | 1.167 | 7.68E-06 |
| H1 | 33 | 6.8 | 6.78 | 6.7 | 6.760 | 1.02 | 1.02 | 1.04 | 1.027 | 6.94E-06 |
| H2 | 33 | 6.42 | 6.46 | 6.44 | 6.440 | 0.9 | 0.88 | 0.88 | 0.887 | 5.71E-06 |
| H3 | 33 | 6.3 | 6.4 | 6.38 | 6.360 | 1.02 | 1.08 | 1.02 | 1.040 | 6.61E-06 |
| H4 | 33 | 6.56 | 6.6 | 6.56 | 6.573 | 1.08 | 1.06 | 1.06 | 1.067 | 7.01E-06 |
| H5 | 33 | 6.74 | 6.68 | 6.7 | 6.707 | 1.06 | 1.04 | 1.04 | 1.047 | 7.02E-06 |

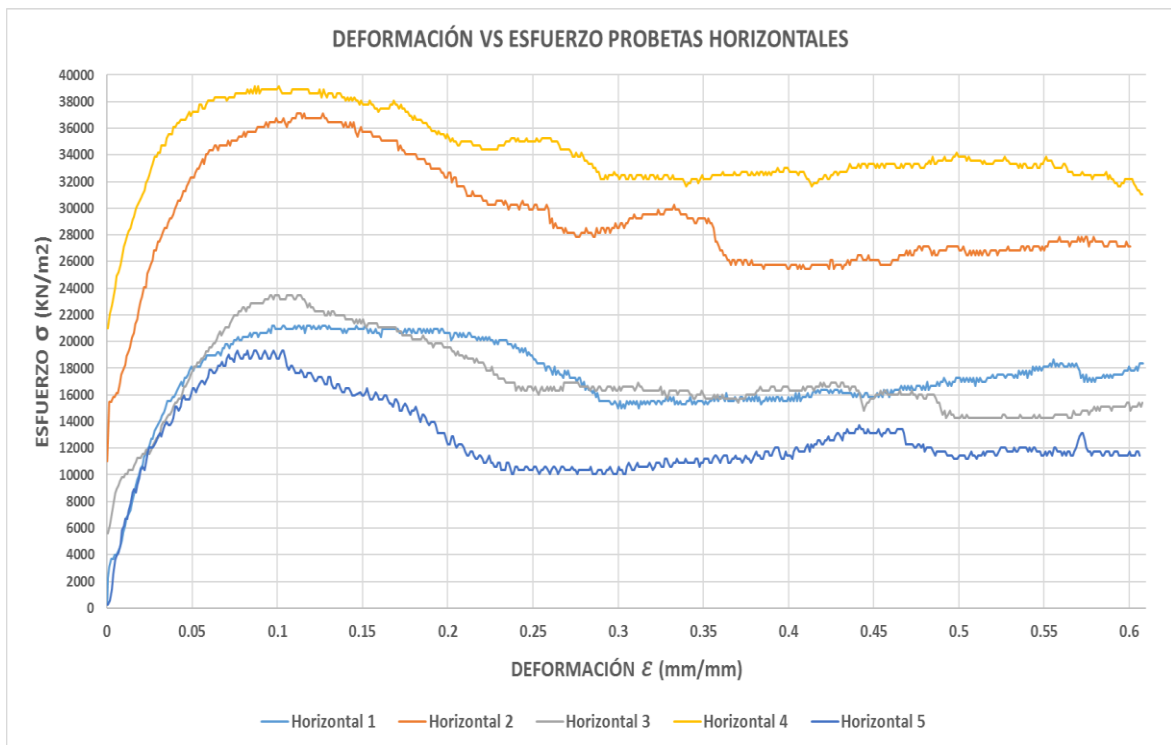
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 45 | 3.34 | 0.26 |
| V2 | 48.5 | 3.23 | 0.28 |
| V3 | 46.76 | 3.24 | 0.33 |
| V4 | 48.3 | 3.03 | 0.30 |
| V5 | 47.45 | 3.06 | 0.32 |
| H1 | 49.8 | 3.56 | 0.29 |
| H2 | 52.4 | 3.32 | 0.22 |
| H3 | 47.2 | 3.36 | 0.25 |
| H4 | 48.65 | 3.30 | 0.28 |
| H5 | 51.78 | 3.60 | 0.28 |

✓ **Resultados probetas verticales.**



✓ **Resultados probetas horizontales.**



➤ **Dosificación:** 10% Aditivo Filler + 1.5% Aditivo Brillador Óptico.

- **Información del ensayo.**

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|---|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 10% BRILLADOR ÓPTICO: 1,5% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 6/3B |
| INTEGRANTES: | Michael Álvarez, Oscar Pacheco, Manuel Vargas. |
| FECHA: | 28/04/2017 |
| HORA: | 10:00:00 a. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA: | SHIMADZU UH-50 A |

- **Evidencia fotográfica.**



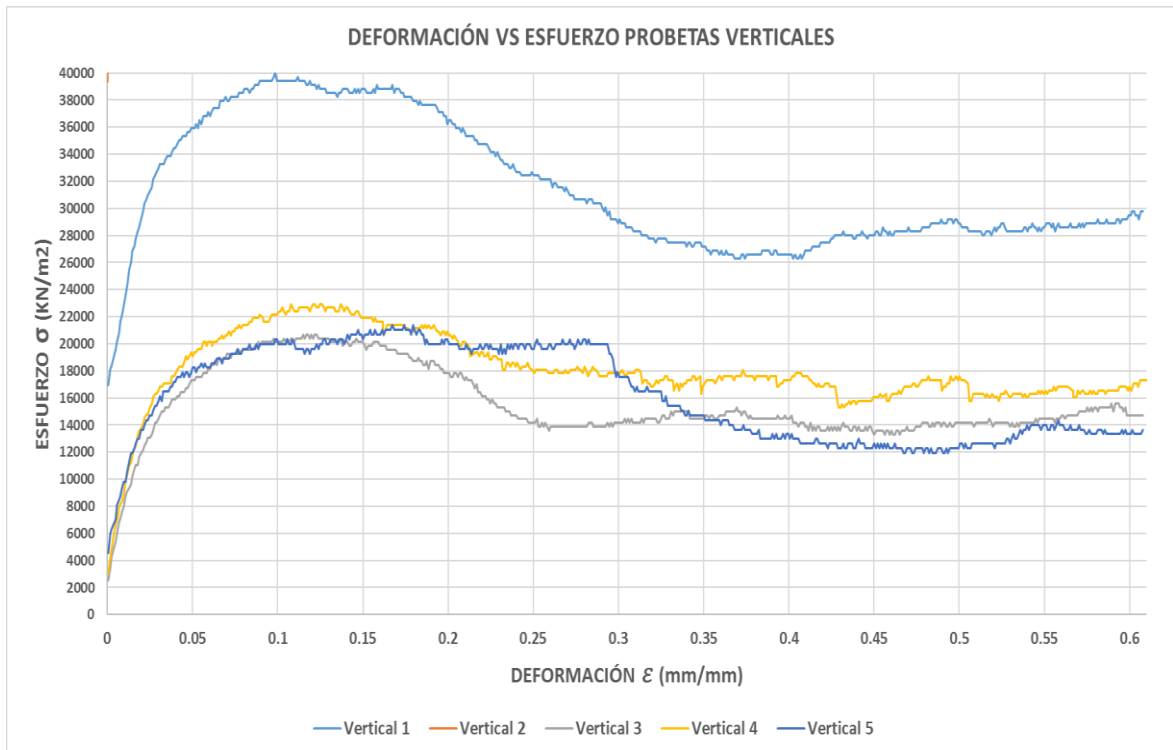
- Dimensiones iniciales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------|------|------|-------|--------------|------|------|-------|------------------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | Área (m ²) |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6.78 | 6.84 | 6.74 | 6.787 | 0.94 | 1.03 | 1 | 0.990 | 6.72E-06 |
| V2 | 33 | 6.35 | 6.29 | 6.31 | 6.317 | 0.91 | 0.93 | 0.86 | 0.900 | 5.69E-06 |
| V3 | 33 | 6.34 | 6.23 | 6.26 | 6.277 | 1.04 | 1.11 | 1.16 | 1.103 | 6.93E-06 |
| V4 | 33 | 6.7 | 6.86 | 6.83 | 6.797 | 1.23 | 1.11 | 1.06 | 1.133 | 7.70E-06 |
| V5 | 33 | 6.91 | 6.8 | 6.77 | 6.827 | 0.83 | 0.79 | 0.84 | 0.820 | 5.60E-06 |
| H1 | 33 | 6.8 | 6.8 | 6.75 | 6.783 | 0.78 | 0.76 | 0.75 | 0.763 | 5.18E-06 |
| H2 | 33 | 6.88 | 6.85 | 6.71 | 6.813 | 0.85 | 0.86 | 0.87 | 0.860 | 5.86E-06 |
| H3 | 33 | 6.77 | 6.8 | 6.9 | 6.823 | 0.91 | 0.91 | 0.96 | 0.927 | 6.32E-06 |
| H4 | 33 | 6.81 | 6.7 | 6.65 | 6.720 | 0.91 | 0.75 | 0.79 | 0.817 | 5.49E-06 |
| H5 | 33 | 6.76 | 6.76 | 6.78 | 6.767 | 1.04 | 0.8 | 0.74 | 0.860 | 5.82E-06 |

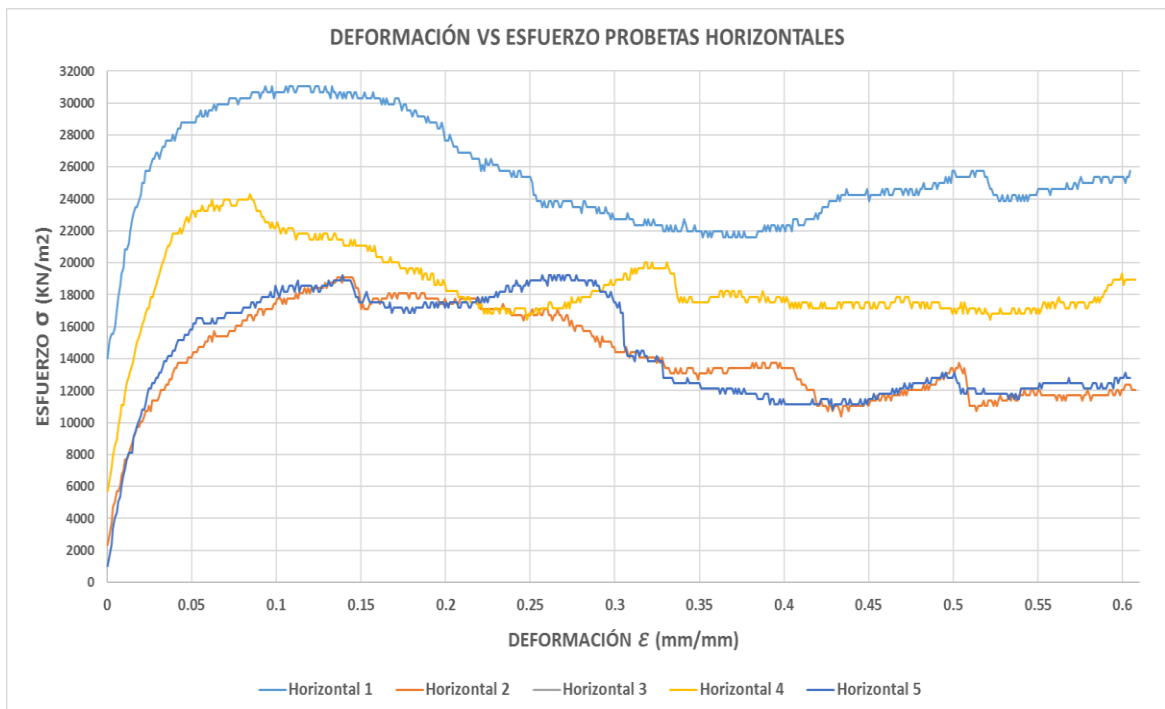
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 48.77 | 3.28 | 0.39 |
| V2 | 46.87 | 2.74 | 0.33 |
| V3 | 49.07 | 3.03 | 0.41 |
| V4 | 49.6 | 3.36 | 0.40 |
| V5 | 47.75 | 3.15 | 0.38 |
| H1 | 49.74 | 2.90 | 0.30 |
| H2 | 47.36 | 3.57 | 0.28 |
| H3 | 49.48 | 3.53 | 0.33 |
| H4 | 47.25 | 3.55 | 0.24 |
| H5 | 46.93 | 3.57 | 0.38 |

✓ Resultados probetas verticales.



✓ Resultados probeta horizontales.



➤ **Dosificación:** 10% Aditivo Filler + 2% Aditivo Brillador Óptico.

- **Información del ensayo.**

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|---|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 10% BRILLADOR ÓPTICO: 2% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 5/3A |
| INTEGRANTES: | Jerson Valdez, Milton Cubillos |
| FECHA: | 28/04/2017 |
| HORA: | 12:00:00 p. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA | SHIMADZU UH-50 A |

- **Evidencia fotográfica.**



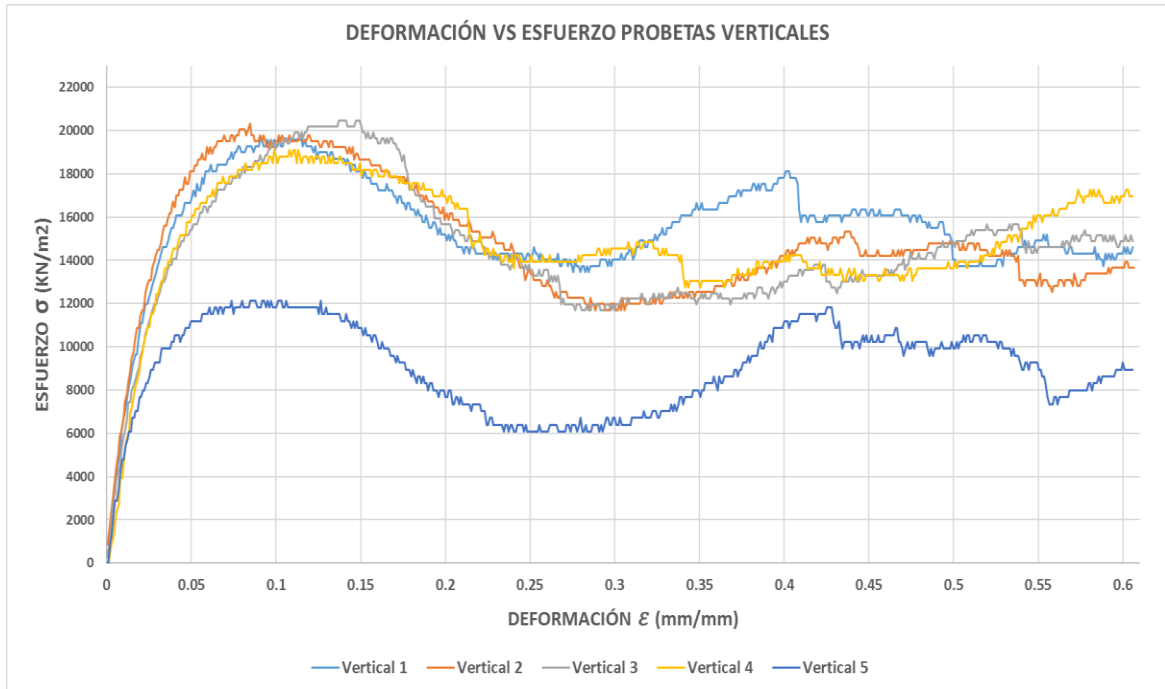
- Dimensiones iniciales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------|------|------|-------|--------------|------|------|-------|------------------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | Área (m ²) |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6.6 | 6.85 | 6.7 | 6.717 | 1 | 1 | 1 | 1.000 | 6.72E-06 |
| V2 | 33 | 6.9 | 6.7 | 6.85 | 6.817 | 1 | 1 | 1.1 | 1.033 | 7.04E-06 |
| V3 | 33 | 6.7 | 6.95 | 6.5 | 6.717 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.100 | 7.39E-06 |
| V4 | 33 | 6.7 | 6.85 | 6.9 | 6.817 | 0.9 | 0.95 | 1 | 0.950 | 6.48E-06 |
| V5 | 33 | 6.6 | 6.9 | 6.6 | 6.700 | 0.85 | 0.95 | 0.95 | 0.917 | 6.14E-06 |
| H1 | 33 | 6.95 | 6.9 | 6.7 | 6.850 | 0.85 | 0.8 | 0.85 | 0.833 | 5.71E-06 |
| H2 | 33 | 6 | 6.1 | 6 | 6.033 | 0.85 | 0.8 | 0.75 | 0.800 | 4.83E-06 |
| H3 | 33 | 6.6 | 6.85 | 6.7 | 6.717 | 1 | 0.95 | 0.9 | 0.950 | 6.38E-06 |
| H4 | 33 | 6.4 | 6.6 | 6.7 | 6.567 | 0.8 | 0.85 | 0.85 | 0.833 | 5.47E-06 |
| H5 | 33 | 6.3 | 6.4 | 6.5 | 6.400 | 0.85 | 0.9 | 0.9 | 0.883 | 5.65E-06 |

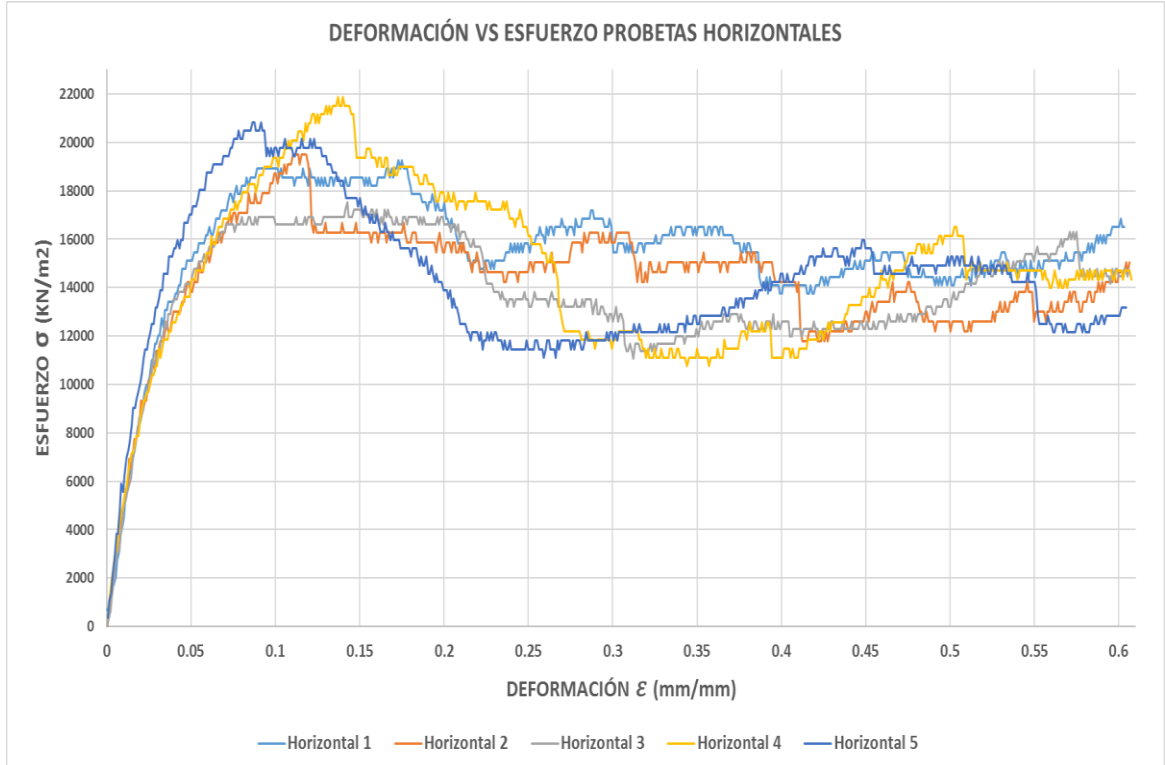
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 48.3 | 3.30 | 0.40 |
| V2 | 48.1 | 3.20 | 0.40 |
| V3 | 49 | 3.45 | 0.35 |
| V4 | 48.95 | 3.20 | 0.40 |
| V5 | 51 | 3.30 | 0.30 |
| H1 | 48.1 | 3.20 | 0.40 |
| H2 | 48.25 | 3.25 | 0.25 |
| H3 | 48.1 | 3.40 | 0.30 |
| H4 | 48.9 | 3.90 | 0.25 |
| H5 | 48.8 | 3.35 | 0.25 |

✓ **Resultados probetas verticales.**



✓ **Resultados probetas horizontales.**



➤ **Dosificación:** 12.5% Aditivo Filler + 1% Aditivo Brillador Óptico.

- **Información del ensayo.**

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|---|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 12,5% BRILLADOR ÓPTICO: 1% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 4/3A |
| INTEGRANTES: | Juan Aragón, Joan Reyes, David Diaz, Harol Adame |
| FECHA: | 28/04/2017 |
| HORA: | 02:00:00 p. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA | SHIMADZU UH-50 A |

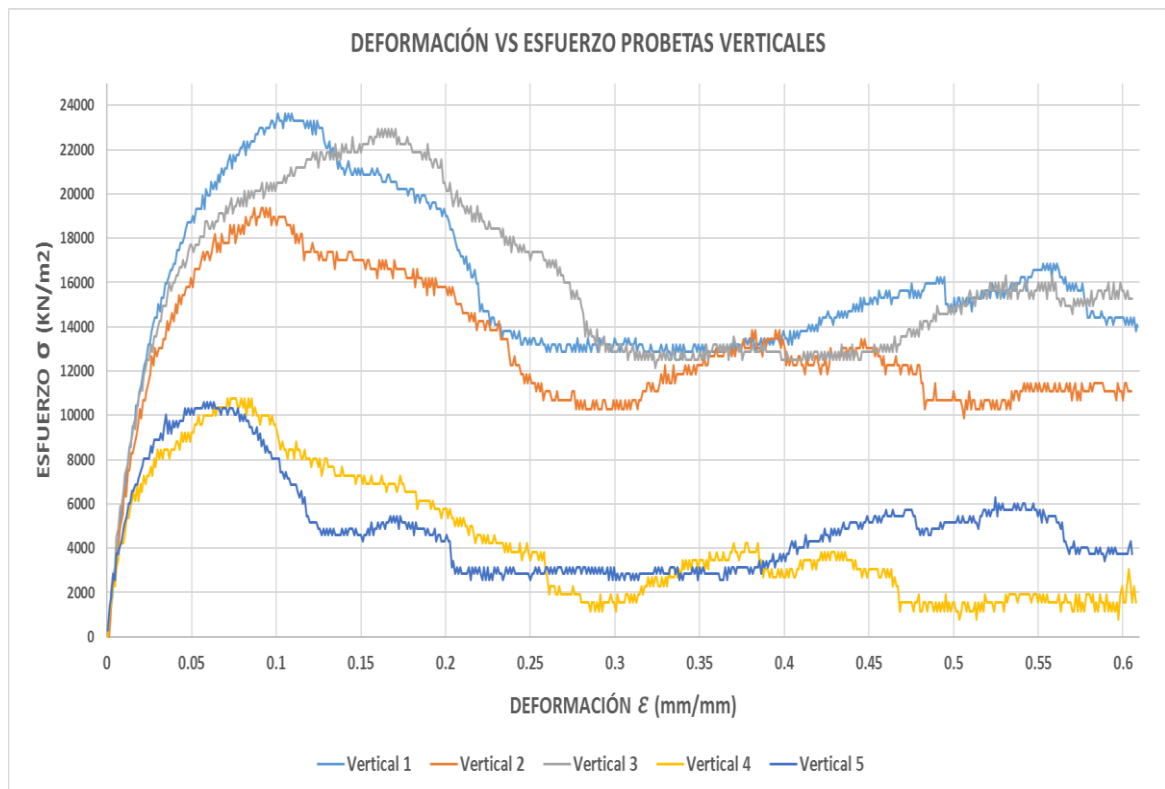
- **Dimensiones iniciales de IProbetas verticales y horizontales.**

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|------------|------|------|-------|--------------|------|------|-------|----------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6.5 | 6.3 | 6.4 | 6.400 | 1.1 | 0.95 | 0.95 | 1.000 | 6.40E-06 |
| V2 | 33 | 6.6 | 6.65 | 6.6 | 6.617 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.750 | 4.96E-06 |
| V3 | 33 | 6.55 | 6.5 | 6.5 | 6.517 | 0.85 | 0.85 | 0.9 | 0.867 | 5.65E-06 |
| V4 | 33 | 6.6 | 6.75 | 6.65 | 6.667 | 0.75 | 0.8 | 0.75 | 0.767 | 5.11E-06 |
| V5 | 33 | 6.6 | 6.8 | 6.8 | 6.733 | 1 | 1 | 1.05 | 1.017 | 6.85E-06 |
| H1 | 33 | 6.7 | 6.6 | 6.55 | 6.617 | 0.7 | 0.75 | 0.7 | 0.717 | 4.74E-06 |
| H2 | 33 | 6.1 | 6.2 | 6.1 | 6.133 | 0.8 | 0.8 | 0.75 | 0.783 | 4.80E-06 |
| H3 | 33 | 6.55 | 6.5 | 6.65 | 6.567 | 0.7 | 0.65 | 0.65 | 0.667 | 4.38E-06 |
| H4 | 33 | 6.5 | 6.65 | 6.65 | 6.600 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.650 | 4.29E-06 |
| H5 | 33 | 6.45 | 6.4 | 6.45 | 6.433 | 0.75 | 0.7 | 0.7 | 0.717 | 4.61E-06 |

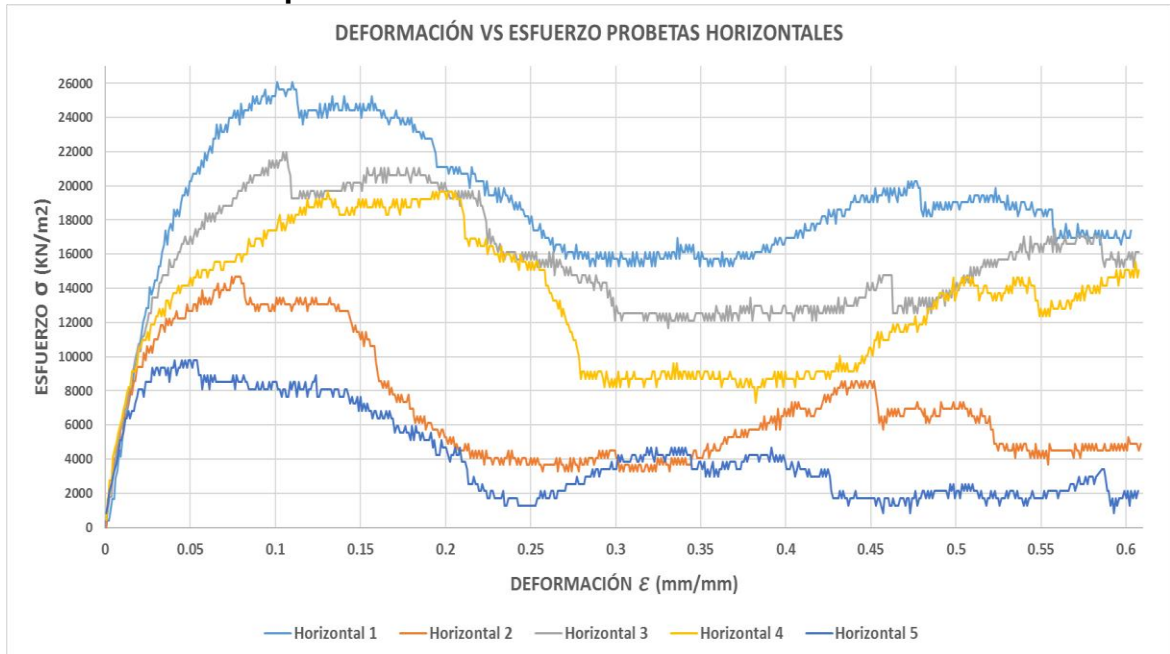
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 51.2 | 3.14 | 0.40 |
| V2 | 49.4 | 3.20 | 0.34 |
| V3 | 49.3 | 3.20 | 0.40 |
| V4 | 48.9 | 3.20 | 0.40 |
| V5 | 51.4 | 3.50 | 0.38 |
| H1 | 47.4 | 3.80 | 0.30 |
| H2 | 50.88 | 2.86 | 0.40 |
| H3 | 48.4 | 3.40 | 0.34 |
| H4 | 49.1 | 3.50 | 0.30 |
| H5 | 50 | 3.32 | 0.32 |

- ✓ Resultados probetas verticales.



✓ **Resultados probetas horizontales.**



➤ **Dosificación:** 12.5% Aditivo Filler + 1.5% Aditivo Brillador Óptico.

- **Información del ensayo.**

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|---|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 12,5% BRILLADOR ÓPTICO: 1,5% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 2/3A |
| INTEGRANTES: | Jonatan Pérez, Luis Melo, Nicolas Rodriguez, Nicolas Duarte |
| FECHA: | 28/04/2017 |
| HORA: | 04:00:00 p. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA | SHIMADZU UH-50 A |

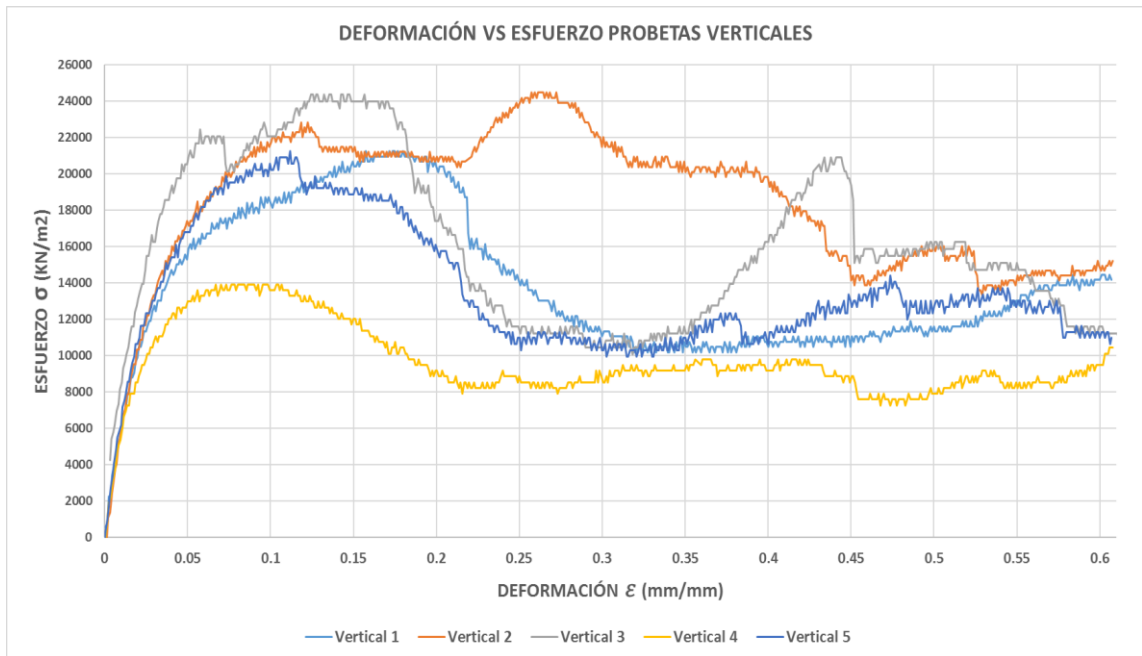
- Dimensiones iniciales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------|------|-------|-------|--------------|------|------|-------|------------------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | Área (m ²) |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6.65 | 6.6 | 6.55 | 6.600 | 1 | 1 | 1.15 | 1.050 | 6.93E-06 |
| V2 | 33 | 6.7 | 6.8 | 6.5 | 6.667 | 1 | 1.1 | 1.15 | 1.083 | 7.22E-06 |
| V3 | 33 | 6.7 | 6.6 | 6.55 | 6.617 | 0.75 | 0.8 | 0.75 | 0.767 | 5.07E-06 |
| V4 | 33 | 6.3 | 6.55 | 6.75 | 6.533 | 0.95 | 1 | 0.9 | 0.950 | 6.21E-06 |
| V5 | 33 | 6.4 | 6.5 | 6.55 | 6.483 | 0.85 | 0.9 | 0.9 | 0.883 | 5.73E-06 |
| H1 | 33 | 6.7 | 6.75 | 6.65 | 6.700 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.867 | 5.81E-06 |
| H2 | 33 | 6.75 | 6.7 | 6.7 | 6.717 | 0.75 | 0.75 | 0.8 | 0.767 | 5.15E-06 |
| H3 | 33 | 6.85 | 6.8 | 6.55 | 6.733 | 0.85 | 0.75 | 0.8 | 0.800 | 5.39E-06 |
| H4 | 33 | 6.65 | 6.6 | 6.7 | 6.650 | 1 | 0.8 | 0.95 | 0.917 | 6.10E-06 |
| H5 | 33 | 6.5 | 6.7 | 6.665 | 6.622 | 0.9 | 0.75 | 0.8 | 0.817 | 5.41E-06 |

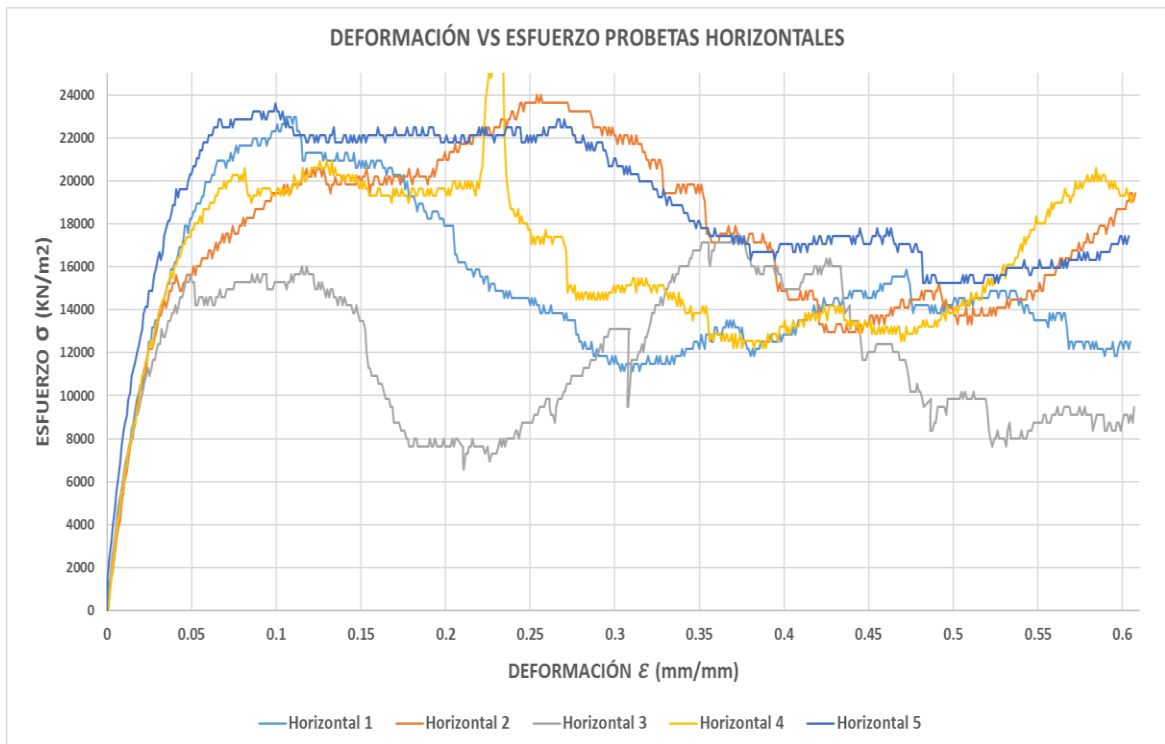
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.

| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 47 | 3.30 | 0.40 |
| V2 | 48.8 | 3.20 | 0.40 |
| V3 | 47.4 | 3.30 | 0.30 |
| V4 | 48.4 | 3.00 | 0.35 |
| V5 | 47 | 3.20 | 0.30 |
| H1 | 45.2 | 3.30 | 0.35 |
| H2 | 48.4 | 3.30 | 0.25 |
| H3 | 46 | 3.70 | 0.20 |
| H4 | 48 | 3.20 | 0.30 |
| H5 | 44.4 | 3.30 | 0.30 |

✓ **Resultados probetas verticales.**



✓ **Resultados probetas horizontales.**



➤ **Dosificación:** 12.5% Aditivo Filler + 2% Aditivo Brillador Óptico.

- **Información del ensayo.**

| PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN | |
|---|--|
| MATERIAL: | POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD |
| ADITIVOS: | FILLER: 12,5% BRILLADOR ÓPTICO: 2% |
| SUPERVISOR: | Ingeniero Ricardo Forero Rubiano |
| GRUPO DE TRABAJO: | 7/3B |
| INTEGRANTES: | Cristian Buevas, Miguel Rodriguez, Brayan Santafé, David Pardo |
| FECHA: | 02/05/2017 |
| HORA: | 08:00:00 a. m. |
| PROBETA: | TIPO IV ASTM D638 |
| LUGAR: | Universidad Santo Tomás (Bogotá D.C), Laboratorio de Ciencia de Materiales |
| MÁQUINA | SHIMADZU UH-50 A |

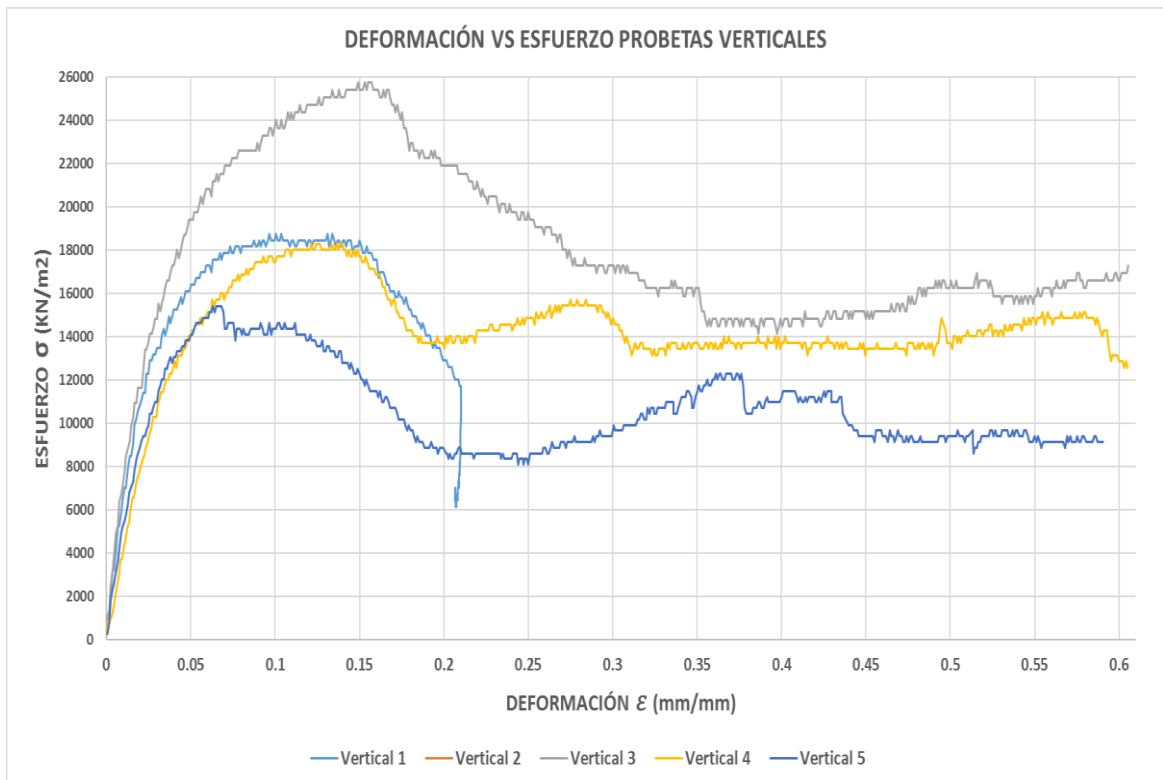
- **Dimensiones iniciales de las probetas verticales y horizontales.**

| MEDIDAS INICIALES | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|------------|------|------|-------|--------------|------|------|-------|------------------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho (mm) | | | | Espesor (mm) | | | | Área (m ²) |
| | | A1 | A2 | A3 | Prom. | E1 | E2 | E3 | Prom. | |
| V1 | 33 | 6.6 | 6.85 | 6.7 | 6.717 | 1 | 1 | 1 | 1.000 | 6.72E-06 |
| V2 | 33 | 6.9 | 6.7 | 6.85 | 6.817 | 1 | 1 | 1.1 | 1.033 | 7.04E-06 |
| V3 | 33 | 6.7 | 6.95 | 6.5 | 6.717 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.100 | 7.39E-06 |
| V4 | 33 | 6.7 | 6.85 | 6.9 | 6.817 | 0.9 | 0.95 | 1 | 0.950 | 6.48E-06 |
| V5 | 33 | 6.6 | 6.9 | 6.6 | 6.700 | 0.85 | 0.95 | 0.95 | 0.917 | 6.14E-06 |
| H1 | 33 | 6.95 | 6.9 | 6.7 | 6.850 | 0.85 | 0.8 | 0.85 | 0.833 | 5.71E-06 |
| H2 | 33 | 6 | 6.1 | 6 | 6.033 | 0.85 | 0.8 | 0.75 | 0.800 | 4.83E-06 |
| H3 | 33 | 6.6 | 6.85 | 6.7 | 6.717 | 1 | 0.95 | 0.9 | 0.950 | 6.38E-06 |
| H4 | 33 | 6.4 | 6.6 | 6.7 | 6.567 | 0.8 | 0.85 | 0.85 | 0.833 | 5.47E-06 |
| H5 | 33 | 6.3 | 6.4 | 6.5 | 6.400 | 0.85 | 0.9 | 0.9 | 0.883 | 5.65E-06 |

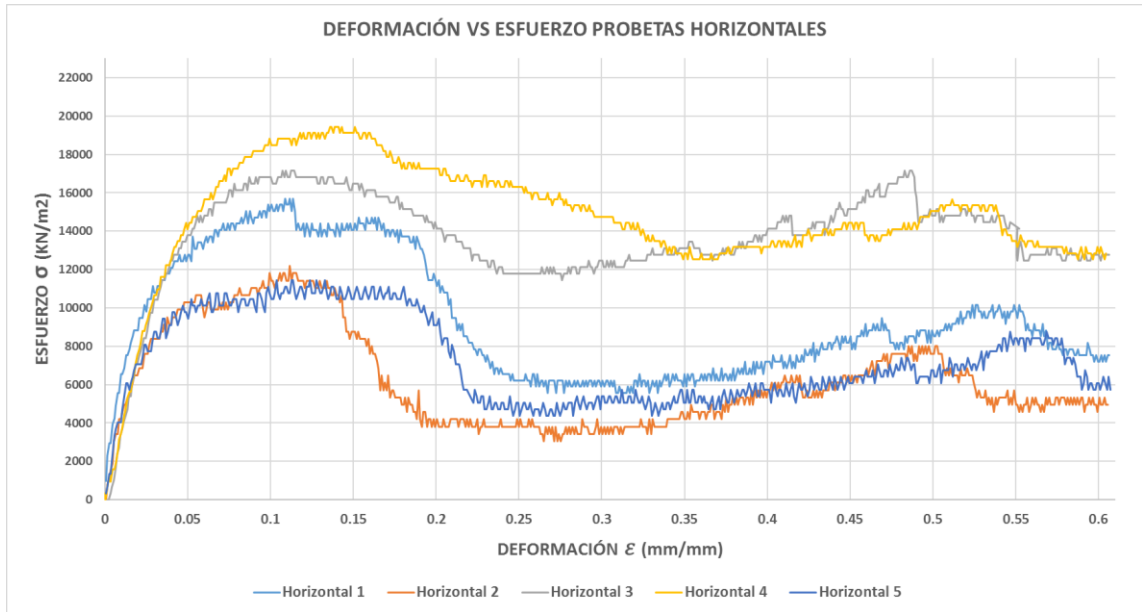
- Dimensiones finales de las probetas verticales y horizontales.


| MEDIDAS FINALES | | | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| Probeta | Longitud (mm) | Ancho(mm) | Espesor(mm) |
| V1 | 39.7 | 6.20 | 1.10 |
| V2 | Fallo | Fallo | Fallo |
| V3 | 49.4 | 3.00 | 0.50 |
| V4 | 50.7 | 3.65 | 0.50 |
| V5 | 49 | 3.00 | 0.40 |
| H1 | 50.1 | 2.95 | 0.45 |
| H2 | 51.35 | 3.10 | 0.30 |
| H3 | 48.7 | 3.00 | 0.35 |
| H4 | 47.2 | 3.15 | 0.35 |
| H5 | 49.95 | 2.95 | 0.40 |

- ✓ Resultados probetas verticales.



✓ Resultados probetas horizontales.



| | | |
|--|--|--------------|
|  Fundación Universidad de América | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA | Código: |
| | PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA | Versión 0 |
| | Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres | Julio - 2016 |


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotros **Cristian Gonzalo Cortes Zabala** y **Christian Augusto Ramírez Alfonso**, en calidad de titulares de la obra **EVALUACIÓN DE ADITIVOS EN EL PROCESO EXTRUSIÓN-SOPLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD POS-CONSUMO, EN LA EMPRESA COLFOPLAS S.A**, elaborada en el año 2016 , autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

| | | |
|---|--|--------------|
|  | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA | Código: |
| | PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA | Versión 0 |
| | Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres | Julio - 2016 |

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
|  | Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor. | <input type="checkbox"/> |
|  | Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor. | <input checked="" type="checkbox"/> |
|  | Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma. | <input type="checkbox"/> |

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

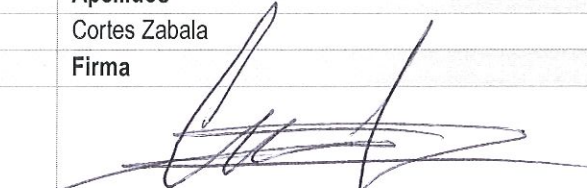
| AUTORIZAMOS | SI | NO |
|---|----|----|
| La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso | x | |
| La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación | x | |

| Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicará (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso. | SI | NO |
|---|----|----|
| | | x |

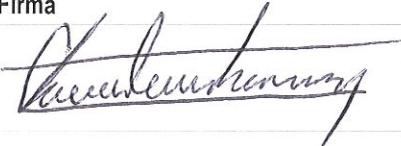
Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C, a los 15 días del mes de Agosto del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

| | |
|---------------------------------------|--|
| Nombres | Apellidos |
| Cristian Gonzalo | Cortes Zabala |
| Documento de identificación No | Firma |
| CC: 1010210919 |  |

Autor 2

| | |
|---------------------------------------|--|
| Nombres | Apellidos |
| Christian Augusto | Ramírez Alfonso |
| Documento de identificación No | Firma |
| CC: 1072428772 |  |