

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas



TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA

“Evaluación de la calidad de las materias primas y producto terminado del proceso de inyección pesada de una fábrica de plásticos en la ciudad de Guayaquil”

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA QUÍMICA

Presentada por:

Vanessa Steffanie Albarracín Meneses

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sobre todas las cosas,
sin él no hubiera podido
culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Hugo y Ángela, que
en todo momento supieron darme
consejos y las fuerzas necesarias
para seguir adelante.

A mis hermanos Hugo y Luis, por
su ayuda en todo momento.

A mi Directora de Tesis, la Ing.
Jenny Venegas, por conducirme en
la realización de este proyecto.

A todas las personas que me
prestaron su ayuda para la
realización de este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Vanessa Steffanie Albarracín Meneses

RESUMEN

En el Ecuador hay mucha demanda de productos plásticos, muchas empresas no llevan un control de calidad en sus materias primas y en sus productos terminados, algunas fabrican sus productos con el reciclado de plástico de lotes anteriores disminuyendo la calidad de los mismos. El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar la calidad de las materias primas y del producto terminado que se fabrican en la empresa productora de plásticos en Guayaquil. La caracterización de las muestras se hizo mediante pruebas de laboratorio para determinar propiedades importantes de estas materias primas y del producto final, tales como índice de fluidez, resistencia a la tracción, y resistencia al impacto Izod. De esta forma se evalúa la calidad de los productos que fabrica la empresa.

Palabras claves: control, calidad, reciclado, propiedades, índice de fluidez, impacto Izod, resistencia a la tracción.

ABSTRACT

In Ecuador there is a lot of demand of plastic products, many companies do not have a quality control in its raw materials and finished products, and some manufacture its products with plastic recycling of previous lots and decreasing the quality of these. The present work of investigation has as purpose evaluates the quality of the raw materials and of the finished product that are manufactured in the plastics production company in Guayaquil. The characterization of the samples was done through laboratory tests to determine important properties of these raw materials and the final product, such as melt flow index, tensile strength, and Izod impact strength. In this way the quality of products manufactured by the company is evaluated.

Keywords: control, quality, recycling, properties, melt flow index, Izod impact, tensile strength.

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido	
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	10
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Antecedentes y Justificación	10
1.2 Planteamiento del problema.....	11
1.3 Hipótesis.....	11
1.4 Objetivos.....	12
1.4.1 Objetivo general	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	12
1.5 Metodología del proyecto	12
1.6 Materiales y Equipos	13
1.7 Marco Teórico	14
1.7.1 Definición de polímeros	14
1.7.2 Peso molecular	14
1.7.3 Plásticos	14
1.7.3.1 Polietileno de alta densidad.....	15
1.7.3.1.1 Obtención del polietileno de alta densidad	15
1.7.3.1.2 Propiedades del polietileno de alta densidad.....	15
1.7.3.1.3 Aplicaciones del polietileno de alta densidad.....	15
1.7.3.1.4 Ventajas del polietileno de alta densidad.....	16
1.7.3.2 Polietileno lineal de baja densidad.....	16
1.7.3.2.1 Obtención del polietileno lineal de baja densidad	16
1.7.3.2.2 Propiedades del polietileno lineal de baja densidad	16
1.7.3.2.3 Aplicaciones del polietileno lineal de baja densidad	17
1.7.3.2.4 Ventajas del polietileno lineal baja densidad	17
1.7.3.3 Polipropileno	18
1.7.3.3.1 Obtención del Polipropileno	18
1.7.3.3.2 Propiedades del polipropileno.....	19
1.7.3.3.3 Aplicaciones del polipropileno.....	19
1.7.3.3.4 Ventajas del polipropileno.....	19
1.7.4 Moldeo por inyección.....	19
1.7.4.1 Proceso de moldeo por inyección.....	20
1.7.5 Índice de fluidez.....	20

1.7.6 Resistencia al impacto Izod	21
1.7.7 Resistencia a la tracción	22
CAPÍTULO 2	24
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	24
2.1 Recolección y clasificación de muestras	24
2.2 Ensayos a considerar	26
2.3 Equipos y metodología	26
2.3.1 Ensayo de Índice de Fluidez.....	26
2.3.2 Ensayos de Impacto Izod	28
2.3.3 Ensayos de Resistencia a la Tracción	29
CAPÍTULO 3	33
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
3.1 Resultados y análisis de resultados para muestras según su índice de fluidez en materia virgen y producto terminado	33
3.2 Resultados y análisis de resultados para muestras de resistencia al Impacto Izod.....	50
3.3 Resultados y análisis de resultados para muestras de resistencia a la tracción.....	54
CAPÍTULO 4	63
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
4.1 Conclusiones	63
4.2 Recomendaciones	65
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	69

ABREVIATURAS

PEAD	Polietileno de alta densidad
PLBD	Polietileno lineal de baja densidad
ASEPLAS	Asociación Ecuatoriana de Plásticos
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas de Materiales
LEMAT	Laboratorio de Ensayos de Materiales
PP	Polipropileno

SIMBOLOGÍA

%	porcentaje
mm	milímetro
°C	grados centígrados
μ	Viscosidad
g	gramos
s	segundos
Pa	Pascal
min	minutos
J	joule
m	metro
MPa	MegaPascal
N	Newton

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1. BALDE DE 5 GALONES FABRICADO CON RECICLADO DE PLÁSTICO (SCRAP).....	11
FIGURA 1. 2. METODOLOGÍA USADA	13
FIGURA 1. 3. A) POLÍMERO LINEAL SIN RAMIFICACIONES Y B) POLÍMERO LINEAL CON RAMIFICACIONES CORTAS	17
FIGURA 1. 4. A) SISTEMA AMORFO, B) SISTEMA SEMICRISTALINO, C) SISTEMA CRISTALINO	17
FIGURA 1. 5. ESQUEMA MOLDEO POR INYECCIÓN	20
FIGURA 1. 6. DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD.....	21
FIGURA 1. 7. DIMENSIONES DE LA PROBETA TIPO IV PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	22
FIGURA 1. 8. CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN DE UN PLÁSTICO	23
FIGURA 2. 1. BALDE DE 5 GALONES 100% PEAD	25
FIGURA 2. 2. BALDE DE 1 GALÓN 100% PP	26
FIGURA 2. 3. PLASTÓMETRO, LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE PLÁSTICOS, ASEPLAS	26
FIGURA 2. 4. MATERIAL BAJO ANÁLISIS SALIENDO DEL CILINDRO PARA SER CORTADO Y PESADO	28
FIGURA 2. 5. IMPACTÓMETRO, LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE PLÁSTICOS, ASEPLAS	28
FIGURA 2. 6. MÁQUINA UNIVERSAL PARA ENSAYOS DE TENSIÓN. LEMAT	30
FIGURA 2. 7. PROBETAS TROQUELADAS DE LOS PRODUCTOS (BALDES) 80% SCRAP + 20% A, 100% C, 50% B + 50% SCRAP	30
FIGURA 2. 8. PROBETAS TROQUELADAS DE LOS PRODUCTOS (BALDES) 100% A, 100% H, BALDE 1.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3. 1. RESULTADOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD, Y VELOCIDAD DE CORTE DE LA MATERIA PRIMA DEL BALDE DE 5 GALONES	33
TABLA 3. 2. RESULTADOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD, Y VELOCIDAD DE CORTE DEL PRODUCTO TERMINADO DEL BALDE DE 5 GALONES	33
TABLA 3. 3. RESULTADOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD, Y VELOCIDAD DE CORTE DE LOS BALDES DE 5 GALONES SIN TRAZABILIDAD.....	34
TABLA 3.4. ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD Y VELOCIDAD DE CORTE DE LA MATERIA VIRGEN DEL BALDE DE 2,5 GALONES	37
TABLA 3.5. ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD Y VELOCIDAD DE CORTE DEL PRODUCTO TERMINADO DEL BALDE DE 2,5 GALONES	38
TABLA 3. 6. ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD Y VELOCIDAD DE CORTE DE LA MATERIA VIRGEN DE LAS TAPAS DE LOS BALDES DE 2,5 GALONES	40
TABLA 3. 7. ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD Y VELOCIDAD DE CORTE DEL PRODUCTO TERMINADO DE LAS TAPAS DE LOS BALDES DE 2,5 GALONES	41
TABLA 3. 8. ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD Y VELOCIDAD DE CORTE DE LA MEZCLA DE LA MATERIA VIRGEN DE LA TAPA DEL BALDE DE 5 GALONES.....	44
TABLA 3. 9. ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD Y VELOCIDAD DE CORTE DE LOS PRODUCTOS TERMINADOS DE LAS TAPAS DE LOS BALDES DE 5 GALONES	44
TABLA 3. 10. ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD, Y VELOCIDAD DE CORTE DE LA MEZCLA DE LA MATERIA VIRGEN PARA LA TAPA DEL BALDE DE 1 GALÓN	47
TABLA 3. 11. ÍNDICE DE FLUIDEZ, VISCOSIDAD, Y VELOCIDAD DE CORTE DEL PRODUCTO.....	48
TABLA 3. 12. RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAS PROBETAS DEL BALDE DE 5 GALONES 100%C	51
TABLA 3. 13. RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAS PROBETAS DEL BALDE DE 1 GALÓN 100% H	51
TABLA 3. 14. RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAS PROBETAS DEL BALDE DE 5 GALONES 20% A + 80% SCRAP	51
TABLA 3. 15. RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAS PROBETAS DEL BALDE 100% A.....	52
TABLA 3. 16. RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAS PROBETAS DEL BALDE DE 50% B + 50% SCRAP	52
TABLA 3. 17. RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAS PROBETAS DEL BALDE 1	52
TABLA 3. 18. RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAS PROBETAS DEL BALDE 2	53
TABLA 3. 19. PROMEDIO DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAS PROBETAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE BALDES.....	53
TABLA 3. 20. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BALDE 100% A	54
TABLA 3. 21. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BALDE 80% SCRAP + 20% A.....	55
TABLA 3. 22. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BALDE 100% C	57
TABLA 3. 23. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BALDE 50% SCRAP + 50% B.....	58
TABLA 3. 24. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BALDE 100% H	59
TABLA 3. 25. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BALDE 1.....	60
TABLA 3. 26. PROMEDIO DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN ANTES DE LA ROTURA DE LOS BALDES ENSAYADOS	61
TABLA A. 1. ESPESOR, ANCHURA Y LONGITUD CALIBRADA DE LAS PROBETAS DEL PRODUCTO 100% A.....	69
TABLA A. 2. ESPESOR, ANCHURA Y LONGITUD CALIBRADA DE LAS PROBETAS DEL PRODUCTO 20% A + 80% SCRAP	69
TABLA A. 3. ESPESOR, ANCHURA Y LONGITUD CALIBRADA DE LAS PROBETAS DEL PRODUCTO 100% C	69
TABLA A. 4. ESPESOR, ANCHURA Y LONGITUD CALIBRADA DE LAS PROBETAS DEL PRODUCTO 50% B + 50% SCRAP	70
TABLA A. 5. ESPESOR, ANCHURA Y LONGITUD CALIBRADA DE LAS PROBETAS DEL PRODUCTO 100% H	70
TABLA A. 6. ESPESOR, ANCHURA Y LONGITUD CALIBRADA DE LAS PROBETAS DEL PRODUCTO BALDE 1	70

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 3. 1. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACIÓN DE BALDES DE 5 GALONES.....	34
GRÁFICA 3. 2. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DEL BALDE DE 5 GALONES.....	35
GRÁFICA 3. 3. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DE DIFERENTES MATERIAS VIRGEN PARA LA FABRICACIÓN DE BALDES DE 5 GALONES.....	35
GRÁFICA 3. 4. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DEL BALDE DE 5 GALONES.....	36
GRÁFICA 3. 5. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DE DIFERENTES MATERIAS VIRGEN PARA LA FABRICACIÓN DE BALDES DE 2,5 GALONES.....	38
GRÁFICA 3. 6. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DEL BALDE DE 2,5 GALONES.....	39
GRÁFICA 3. 7. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA EL BALDE DE 2.5 GALONES	39
GRÁFICA 3. 8. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DEL BALDE DE 2.5 GALONES.	40
GRÁFICA 3. 9. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DE DIFERENTES MATERIAS VIRGEN PARA LA FABRICACIÓN DE TAPAS DE 2,5 GALONES.....	41
GRÁFICA 3. 10. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DE LA TAPA DEL BALDE DE 2,5 GALONES	42
GRÁFICA 3. 11. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS DEL BALDE DE 2.5 GALONES	42
GRÁFICA 3. 12. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DEL BALDE DE 2.5 GALONES	43
GRÁFICA 3. 13. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DE DIFERENTES MEZCLAS DE MATERIAS VIRGEN PARA LA FABRICACIÓN DE TAPAS DEL BALDE DE 5 GALONES.....	45
GRÁFICA 3. 14. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DE LA TAPA DEL BALDE DE 5 GALONES	45
GRÁFICA 3. 15. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS DE LA TAPA DEL BALDE DE 5 GALONES.....	46
GRÁFICA 3. 16. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DE LA TAPA DEL BALDE DE 5 GALONES	46
GRÁFICA 3. 17. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DE DIFERENTES MEZCLAS DE MATERIAS VIRGEN PARA LA FABRICACIÓN DE TAPAS DEL BALDE DE 1 GALÓN.....	48
GRÁFICA 3. 18. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE FLUIDEZ Y LA VISCOSIDAD DE LA TAPA DEL BALDE DE 1 GALÓN.....	49
GRÁFICA 3. 19. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS DE LA TAPA DEL BALDE DE 1 GALÓN	49
GRÁFICA 3. 20. RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE CORTE Y LA VISCOSIDAD DE LA TAPA DEL BALDE DE 1 GALÓN	50
GRÁFICA 3. 21. RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA DEFORMACIÓN DEL BALDE DE 100% A.....	54
GRÁFICA 3. 22. RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA DEFORMACIÓN DEL BALDE 80% SCRAP + 20% A	56
GRÁFICA 3. 23. RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA DEFORMACIÓN DEL BALDE 100% C	57
GRÁFICA 3. 24. RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA DEFORMACIÓN DEL BALDE 50% SCRAP + 50% B	58
GRÁFICA 3. 25. RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA DEFORMACIÓN DEL BALDE 100% H	60
GRÁFICA 3. 26. RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA DEFORMACIÓN DEL BALDE 1	61

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y Justificación

Una empresa de plásticos ubicada en la ciudad de Guayaquil produce diversos productos, tales como baldes, tapas, frascos para remedios, envases para guardar alimentos, recipientes para pinturas, recipientes para lubricantes, agroquímicos, entre otros.

Esta empresa transformadora de materiales plásticos comenzó a tener quejas de clientes porque algunos de los productos presentaban fallas al proceder a utilizarlos con diversos materiales, tales como aceites, lubricantes, etc.

Se observaron que algunos productos presentaban fisuras y roturas cuando eran sometidos a esfuerzos en el llenado y transporte de los productos. Se detectó que las calidades de estos envases variaban de un lote a otro. Una primera inspección de la fábrica mostró que se utilizaban materias primas de diversos proveedores y material reciclado de la misma fábrica, lo que probablemente podría ser la causa de los daños observados.

Se da la necesidad de implementar un control de calidad a sus materias primas que ayudarán a evitar problemas y reclamos por parte de los clientes sobre los productos que genera la empresa. La empresa necesita que se mejore tanto en la parte operacional como en calidad, para satisfacer todas las necesidades del cliente.

Se evaluará la calidad de las materias primas y del producto terminado, para verificar cuales son de mejor calidad y así utilizar las materias primas adecuadas, ya que algunas son de menor costo y éstas no son de la mejor calidad, y es esto lo que causa problemas en el momento de la entrega del producto al cliente. Asimismo, controlar la utilización de mezclas si fuera posible en la fabricación de baldes y tapas de plástico, y sobre todo darle una buena administración a el residuo de plásticos o también llamado plástico reciclado (scrap) que se utiliza en los diferentes procesos que hay en dicha empresa.

1.2 Planteamiento del problema

La empresa productora de envases plásticos de la ciudad de Guayaquil, en los últimos tiempos ha encontrado problemas en su producto terminado, la misma que se ve afectada por un alto índices de reclamos por parte de sus clientes por la entrega de productos terminados con fallas de calidad, lo que da como consecuencias la pérdida de algunos clientes y la disminución de la rentabilidad en la organización.

Las fallas en la calidad de los productos que salen de la empresa son muy graves, uno de los problemas detectados es que la fábrica no cuenta con un laboratorio de calidad que analice las materias primas como son: polietileno de alta densidad PEAD, polietileno lineal de baja densidad PLBD, polipropileno PP, y el residuo de plásticos (scrap). Y asimismo no se puede constatar la calidad del producto terminado.

La fábrica compra diferentes marcas de materia prima de distintos proveedores confiando en la calidad de las hojas técnicas generales, siendo necesaria una evaluación constante en sus materias primas para la mejora de sus productos.

Otro problema es la mala administración de los scraps o residuos plásticos, lo que podría ser el motivo del mayor porcentaje de los reclamos.



Figura 1. 1. Balde de 5 galones fabricado con reciclado de plástico (scrap)

Fuente: Albarracín V., 2017.

1.3 Hipótesis

Los productos terminados producidos con diferentes materias primas o con diferentes porcentajes de residuo de plásticos (scrap) tienen las mismas propiedades mecánicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar y comparar la calidad de las diferentes materias primas mediante una prueba reológica y la calidad de los productos terminados mediante índice de fluidez y propiedades mecánicas.

1.4.2 Objetivos específicos

Realizar ensayos de resistencia al impacto Izod a los productos terminados.

Realizar pruebas de resistencia a la tracción a los productos terminados.

Efectuar la prueba de índice de fluidez a las materias primas y producto terminado.

1.5 Metodología del proyecto

La metodología utilizada en la elaboración del proyecto de la tesis se observa en la siguiente figura:

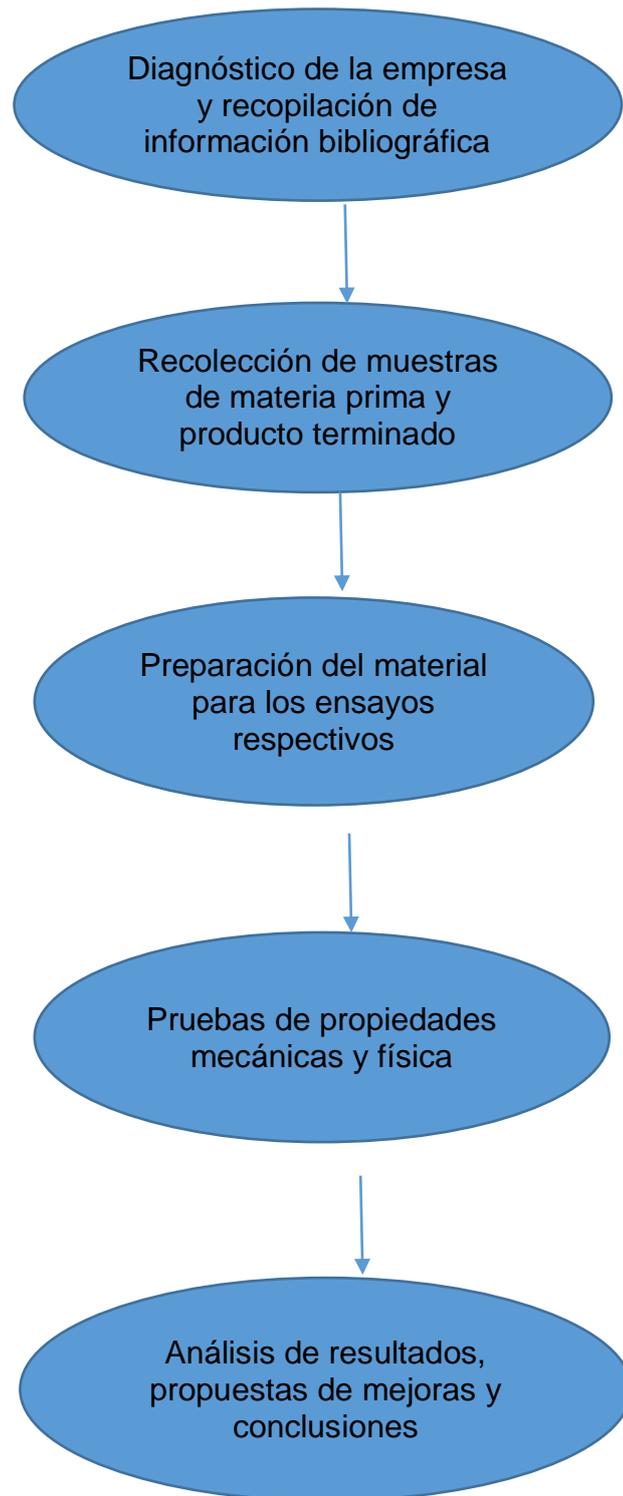


Figura 1. 2. Metodología usada

Fuente: Albarracín V., 2017.

1.6 Materiales y Equipos

Los equipos necesarios para hacer las pruebas fueron los siguientes:

Plastómetro: El cual mide el índice de fluidez de la materia prima y producto terminado. El equipo es marca Tinius Olsen modelo MP 993 y se lo utiliza para el control de calidad de las materias primas entrantes.

Equipo para ensayo de resistencia a la tracción: El cual sirve para determinar la resistencia a la tracción y alargamiento a la tracción a las probetas de producto terminado de Tipo IV. El equipo es una Máquina Universal de Ensayo MUE.

Impactómetro: El cual sirve para determinar la resistencia al impacto Izod de los productos plásticos terminados. Este equipo indica la cantidad de energía absorbida por la probeta, a menor energía absorbida menor resistencia al impacto, a mayor energía absorbida habrá mayor resistencia al impacto del producto terminado. El equipo utilizado es marca Tinius Olsen modelo 92T Impact Tester.

1.7 Marco Teórico

1.7.1 Definición de polímeros

Los polímeros son macromoléculas las cuales están formadas por la unión de moléculas que son de menor tamaño denominados monómeros. Los monómeros son moléculas que tienen pequeñas masas moleculares, que se enlazan repetidamente entre sí por enlaces covalentes. (Flory, 1995) [6].

1.7.2 Peso molecular

Este es importante para determinar las propiedades de un polímero, el peso molecular del polímero depende del grado de polimerización de este, el grado de polimerización no es más que la longitud de las cadenas del polímero y su distribución, siendo importante decir que no todas las cadenas tienen igual longitud. (Raimond B. Seymour, 2002) [12].

1.7.3 Plásticos

Son sintéticos derivados de la industria petroquímica, son sustancias químicas sintéticas de estructura macromolecular que son moldeadas gracias al calor o presión, el componente principal de los plásticos es el carbono. Entre los que se

van a estudiar están: Polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polipropileno.

1.7.3.1 Polietileno de alta densidad

El polietileno es un polímero que resulta de la polimerización del etileno. Es el plástico más conocido del mundo. Tiene estructura lineal, con lo cual es más rígido y denso, tiene alta densidad y altas fuerzas intermoleculares. Éste se produce con un peso molecular que se encuentra entre 200000 y 500000 g/mol, y puede ser mayor. (Juan J. Iruin, 1996) [9].

1.7.3.1.1 Obtención del polietileno de alta densidad

La obtención del polietileno de alta densidad se hace mediante el proceso de Ziegler – Natta, es decir, se trata de una polimerización catalítica a baja presión, menos de 14 Mpa, en una suspensión de etilato de aluminio se inyecta el etileno y en un aceite éster titánico, aquí es donde se desprende calor y se polimeriza el etileno, este es absorbido por el disolvente formando el producto macromolecular. (D.W. Van Krevelen, 2009) [4].

1.7.3.1.2 Propiedades del polietileno de alta densidad

El PEAD es lineal con muy pocas ramificaciones, cristalino, entre las propiedades están las siguientes:

Densidad: 0.94 – 0.96 g/cm³

Resistencia a la tracción (Mpa): 15 – 40

Cristalinidad (%): 80 – 90

Resistencia la impacto Izod (j/m): 20 – 210

Alargamiento a la rotura (%): 800 – 1000

(Callister, Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volume 2, 2007) [3].

1.7.3.1.3 Aplicaciones del polietileno de alta densidad

Es útil para la fabricación de cubetas, envases, platos, vasos, botellas para agua, productos químicos, contenedores para frutas, juguetes, envases de alimentos, productos químicos, tuberías para distribución de agua potable, artículos para el

hogar, acetábulos de prótesis (cascos, rodilleras, coderas), empaques para partes automotrices, bidones, contenedores industriales.

1.7.3.1.4 Ventajas del polietileno de alta densidad

Elástico, no se deforma permanentemente.

Es fácil de transportar, es un producto reciclable, tiene una vida útil bastante larga.

Flexible y es resistente a cualquier forma de corrosión.

Cristalino en más de un 90%.

Debido a su alta densidad es opaco.

Tiene una densidad inferior a la del agua, valores entre 945 y 960 kg/m³.

Su resistencia química es excelente frente a ácidos, bases y alcoholes.

1.7.3.2 Polietileno lineal de baja densidad

Este es un polímero lineal con ramificaciones laterales uniformes y muy cortas, lo cual esto hace que sus resistencias a la tracción sean mayores a la del polietileno de baja densidad. (Peacock, 2000) [11].

1.7.3.2.1 Obtención del polietileno lineal de baja densidad

Este se obtiene mediante el proceso de lecho fluidificado en fase gaseosa. Proceso de lecho fluidizado: Este se alimenta en forma continua hidrógeno, etileno gaseoso, un catalizador de titanio y a su vez un comonomero a un reactor de lecho fluidificado que trabaja a 2.1 MPa de presión y a 100 °C. El comonomero puede ser 1 – buteno, 1 – hexeno, o 1 - octeno, aquí, el producto polimérico se descarga del reactor al igual que el gas, y el gas se separa del polímero, luego en forma pulverizada el polímero, es transportado por el aire para ser almacenado. (John William Hill, 1999) [8].

1.7.3.2.2 Propiedades del polietileno lineal de baja densidad

Es prácticamente lineal, pero tiene algunas ramificaciones, entre sus propiedades están:

Densidad: 0.92 – 0.94 g/cm³

Resistencia a la tracción: 20 Mpa

Cristalinidad: 50%

Resistencia al impacto Izod: 300 J/m

Alargamiento a la rotura: 800%

(Callister, Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volume 2, 2007)
[3].

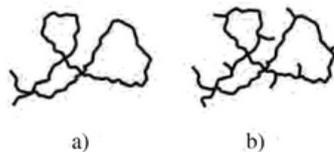


Figura 1. 3. a) Polímero lineal sin ramificaciones y b) polímero lineal con ramificaciones cortas

Fuente: Beltrán M., Marcilla A., 2012.

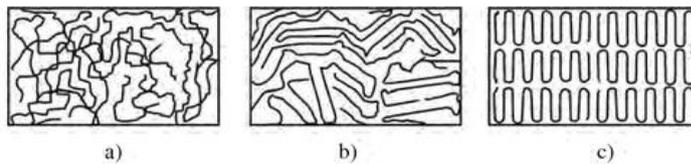


Figura 1. 4. a) Sistema amorfo, b) sistema semicristalino, c) sistema cristalino

Fuente: Beltrán M., Marcilla A., 2012.

1.7.3.2.3 Aplicaciones del polietileno lineal de baja densidad

Se utilizan para bolsas de plástico, donde se usa el menor espesor que el polietileno de baja densidad, se utilizan para envolturas de plástico, films extensibles, juguetes, cubiertas, tapas, cubos, tubos flexibles, recubrimiento de cables, contenedores.

1.7.3.2.4 Ventajas del polietileno lineal baja densidad

Este tiene mayor resistencia a la tracción y mayor impacto que el polietileno de baja densidad.

Es muy flexible.

Se alarga bajo el estrés.

Se puede utilizar para hacer películas más delgadas.

Tiene mayor resistencia al agrietamiento por estrés ambiental.

Tiene excelente resistencia a los productos químicos.

Tiene fácil procesado por todos los métodos termoplásticos.

1.7.3.3 Polipropileno

El polipropileno es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, el cual se obtiene de la polimerización del propileno, el cual es un subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador bajo un cuidado de temperatura y presión. El polipropileno se clasifica en: Homopolímero, Copolímero rándom, Copolímero de alto impacto.

Homopolímero: Son isotácticos y por ende muy cristalinos. Isotácticos significa que todos los grupos metilos de la cadena están del mismo lado.

Copolímero Random: Poseen un menor grado de cristalinidad que los homopolímeros, y por ende tienen un rango de fundido más amplio, tienen mayor transparencia y tienen mayor resistencia al impacto en temperatura ambiente.

Copolímero de alto impacto: Están en bloque de etileno – propileno, y poseen una alta resistencia al impacto a temperaturas al ambiente como a bajas temperaturas. (Dennis B. Malpass, 2013) [5].

1.7.3.3.1 Obtención del Polipropileno

Dependiendo del medio de reacción y de la temperatura de operación se puede clasificar en tres tipos para su obtención:

Proceso en solución: Estos están en desuso, pero aquí la polimerización tiene lugar en el seno de un disolvente hidrocarbonado con una temperatura de fusión más elevada a la del polímero.

Proceso en suspensión: éste está configurado para que la reacción tenga lugar en un hidrocarburo líquido, aquí el polipropileno es insoluble y tiene una temperatura de fusión menor a la de fusión del polímero.

Proceso en fase gas: Se caracteriza por la ausencia del disolvente en el reactor de polimerización, se emplea con facilidad en la producción de copolímeros con alto contenido de etileno, en otros procesos puede presentar complicaciones al

agregar altas concentraciones de etileno, ya que esto hace aumentar la solubilidad del polímero en el medio de reacción. (Tripathi, 2002) [18].

1.7.3.3.2 Propiedades del polipropileno

Entre sus propiedades están:

Densidad: 0.90 – 0.91 g/cm³

Resistencia a la atracción: 31 - 41 Mpa

Cristalinidad: 50%

Resistencia al impacto Izod: 20 -100 J/m

Alargamiento a la rotura: 100 - 700%

(Tripathi, 2002) [18].

1.7.3.3.3 Aplicaciones del polipropileno

Equipos de laboratorio, altavoces, componentes de automoción, juguetes, vasos de plástico, ropa, electrodomésticos, sacacorchos, fibras, alfombras, jeringas para inyección, prado sintético, bolsas, bolsos, envoltura de aparatos electrónicos, embalajes, estuches de cintas, fibras, tubos.

1.7.3.3.4 Ventajas del polipropileno

Es de bajo costo, tiene alta resistencia química a los disolventes y en ambientes altamente corrosivos, es un material fácil de reciclar, es apto para estar en contacto directo con los alimentos.

1.7.4 Moldeo por inyección

Es un proceso adecuado para la producción de piezas de plástico. La materia prima se transforma en producto acabado en un solo paso. Con este proceso se obtienen piezas de variado peso y de diferentes formas. En este proceso la pieza se obtiene en una sola etapa, el proceso es totalmente automatizable, y las piezas acabadas son de gran calidad.

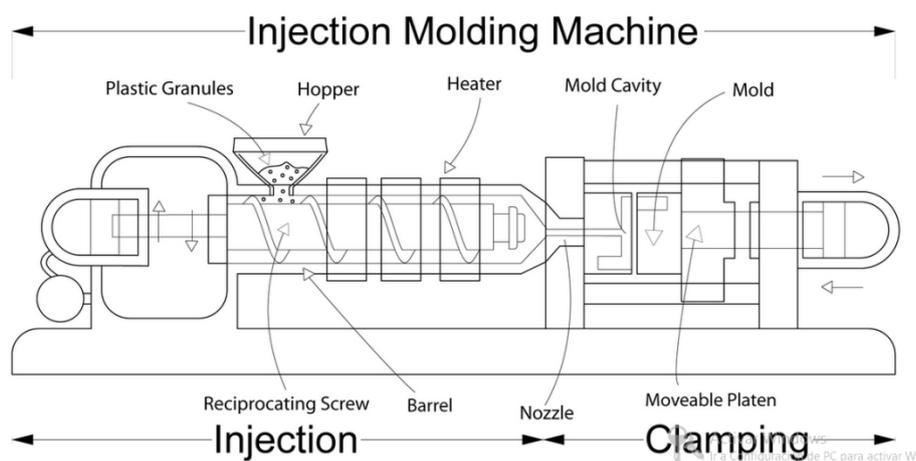


Figura 1. 5. Esquema moldeo por inyección

Fuente: Flory, 1995.

1.7.4.1 Proceso de moldeo por inyección

El molde es colocado en la máquina, la máquina de moldeo cierra el molde y el molde permanece cerrado durante el moldeo por inyección del plástico.

El plástico es introducido en la máquina en forma de partículas esféricas (pellets). La máquina de moldeo calienta el plástico hasta que este se vuelve líquido, luego la tobera de la máquina de moldeo inyecta el plástico fundido en el molde, por ende, la cavidad del molde está llena de plástico líquido. Este plástico se enfría para formar el producto sólido. Finalmente, la máquina expulsa el producto enfriado como pieza terminada. (Serope Kalpakjian, 2002) [14].

1.7.5 Índice de fluidez

Es la forma indirecta para medir el peso molecular de un termoplástico, es la masa en gramos de un polímero termoplástico, el cual está expresado en g/10 min. Cada polímero tiene asignada una condición de temperatura °C y una carga en Kg a la cual el polímero será sometido, en el caso del polietileno de alta densidad como el lineal de baja densidad, este trabaja a 190°C y 2.16 Kg, de acuerdo a la Norma ASTM D 1238. (Groover, 1997) [7].

1.7.6 Resistencia al impacto Izod

Esta es la energía absorbida por el material, es decir, es la energía necesaria para fracturar o romper la probeta la cual tiene una entalla como indica la norma ASTM D 256. Aquí una barra es fijada por un extremo como si fuera una viga en voladizo vertical y esta es golpeada a una distancia dada.

El tipo de falla para cada probeta será anotado como una de las siguientes categorías:

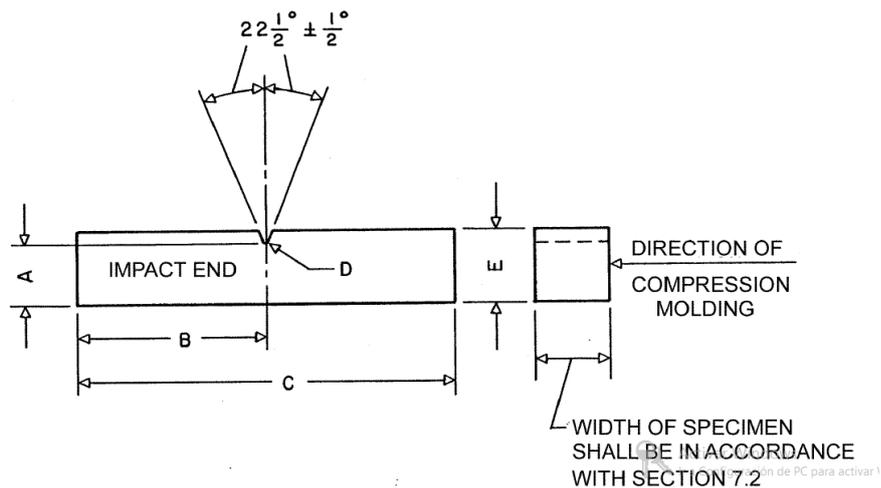
Rompimiento Completo: La probeta se separa en dos o más piezas.

Rompimiento tipo bisagra: La probeta sufre un rompimiento incompleto, una parte de la probeta no puede soportarse a sí misma sobre la horizontal cuando la otra parte es sostenida verticalmente, menos que 90° incluido el ángulo.

Rompimiento Parcial: Un rompimiento incompleto, tiene fracturado al menos 90% de la distancia entre el vértice de la hendidura y el lado opuesto.

No rompimiento: La probeta no se fractura significativamente.

La energía absorbida de la fractura de la probeta está expresada en Joule/m. (Ballesteros, 2005) [1].



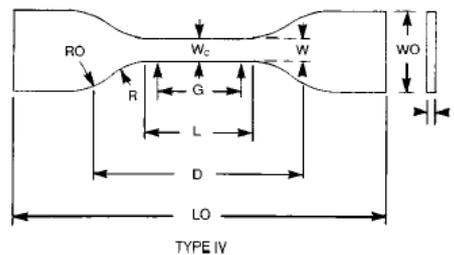
A	10.16 ± 0.05	0.400 ± 0.002
B	31.8 ± 1.0	1.25 ± 0.04
C	63.5 ± 2.0	2.50 ± 0.08
D	$0.25R \pm 0.05$	$0.010R \pm 0.002$
E	12.70 ± 0.20	0.500 ± 0.008

Figura 1. 6. Dimensiones de la probeta para Resistencia al impacto Izod

Fuente: Norma ASTM D 256, 2010.

1.7.7 Resistencia a la tracción

Es el máximo esfuerzo que un material puede soportar antes de su rotura por estiramiento desde sus extremos con una velocidad específica. En el ensayo se somete a la probeta a un esfuerzo axial creciente hasta producir la rotura de la misma, la probeta debe estar normalizada. Hay diferentes tipos de probetas de acuerdo al ensayo que se desea realizar y al espesor del material a evaluar, en el caso de los baldes, estos tienen un espesor de menos de 2.5 mm y el tipo de probeta para este ensayo es del tipo IV de acuerdo a la norma ASTM D 638. (Robert F. Landel, 1994) [13].



Specimen Dimensions for Thickness, T , mm [in.]^A

Dimensions (see drawings)	7 [0.28] or under		Over 7 to 14 [0.28 to 0.55], incl	4 [0.16] or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 [0.50]	6 [0.25]	19 [0.75]	6 [0.25]	3.18 [0.125]	± 0.5 [± 0.02] ^{B,C}
L —Length of narrow section	57 [2.25]	57 [2.25]	57 [2.25]	33 [1.30]	9.53 [0.375]	± 0.5 [± 0.02] ^C
WO —Width overall, min ^G	19 [0.75]	19 [0.75]	29 [1.13]	19 [0.75]	...	+ 6.4 [+ 0.25]
WO —Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 [0.375]	+ 3.18 [+ 0.125]
LO —Length overall, min ^H	165 [6.5]	183 [7.2]	246 [9.7]	115 [4.5]	63.5 [2.5]	no max [no max]
G —Gage length ^I	50 [2.00]	50 [2.00]	50 [2.00]	...	7.62 [0.300]	± 0.25 [± 0.010] ^C
G —Gage length ^I	...	...	...	25 [1.00]	...	± 0.13 [± 0.005]
D —Distance between grips	115 [4.5]	135 [5.3]	115 [4.5]	65 [2.5] ^J	25.4 [1.0]	± 5 [± 0.2]
R —Radius of fillet	76 [3.00]	76 [3.00]	76 [3.00]	14 [0.56]	12.7 [0.5]	± 1 [± 0.04] ^C
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 [1.00]	...	± 1 [± 0.04]

Figura 1. 7. Dimensiones de la probeta tipo IV para ensayo de resistencia a la tracción

Fuente: Norma ASTM D638, 2010.

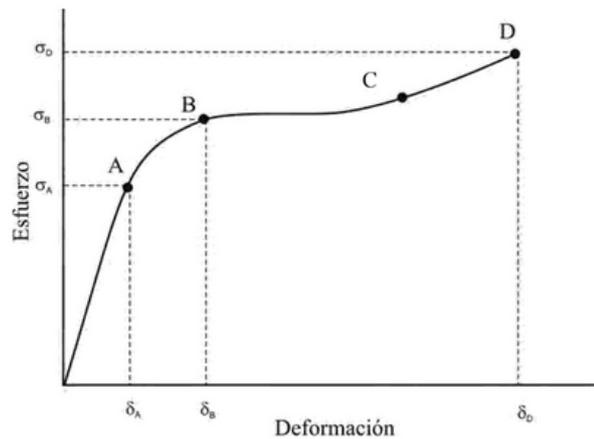


Figura 1. 8. Curva esfuerzo – deformación de un plástico

Fuente: Beltrán M., Marcilla A., 2012.

El primer tramo de la curva OA es lineal, el punto A es el límite de proporcionalidad, es decir, es el mayor esfuerzo, el cual es directamente proporcional a la deformación. En el tramo AB el material se comporta como un cuerpo elástico, es decir, la deformación desaparece totalmente si se termina el esfuerzo. Las deformaciones debajo del punto A son instantáneas y recuperables, no hay desplazamiento de las moléculas unas con otras, sólo se extienden los enlaces entre los átomos de las moléculas del plástico. En el tramo AB hay un estiramiento de las moléculas que se encontraban enrolladas, la deformación es recuperable pero no de manera instantánea. El punto B recibe el nombre de límite elástico o punto de fluencia, las deformaciones por encima del punto B no son recuperables, ya que las moléculas se deslizan unas con respecto a otras, la deformación es irreversible. En el tramo BC el material se hace dúctil, es decir, puede deformarse plásticamente sin romperse. Después del punto C para seguir deformando al material se aplica un esfuerzo mayor. El punto final D es donde el material se rompe con un esfuerzo de rotura, el cual recibe el nombre de resistencia a la rotura, y una deformación el cual recibe el nombre de alargamiento a la rotura. (Maribel Beltrán Rico, 2012) [10].

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1 Recolección y clasificación de muestras

Se visitó la empresa por primera vez el día martes 22 de noviembre del 2016, y se procedió con el diagnóstico de la empresa con visitas diarias durante quince días en el turno de la mañana, durante esos días se procedió con la recopilación de información de la formulación para los diferentes productos, la inspección a las bodegas tanto de materia prima, scrap, y bodega de centro de distribución.

Se verificó que a la materia prima no le hacen ni un tipo de ensayos de pruebas de calidad, su única validación para decir que está apta para producir algún producto de inyección pesada es haciendo un producto y ver como salió este.

La fábrica consta de mucho scrap tanto molido como pelletizado, el cual proviene de los diferentes productos que por alguna falla que han tenido se los lleva a reprocesar.

Se observó que la empresa sólo hace pruebas físicas de medición a los productos terminados, tales como pruebas dimensionales, peso, pruebas de tapado, caída libre, e impacto en su base.

Cabe destacar que estas pruebas son propias de la empresa y su personal las hace en relación a la experiencia de años al fabricar los productos plásticos y ver que estos ensayos les han sido útiles. Para las pruebas de medición se toma la altura total del producto, diámetro externo superior, diámetro externo inferior, diámetro interno de anillo, ancho de ceja, con respecto a los baldes.

Para las tapas plásticas también se toman mediciones tales como altura total, diámetro externo superior, diámetro externo inferior, diámetro interno de anillo, prueba de tapado.

La persona encargada del laboratorio hace las pruebas mencionadas tanto para baldes y tapas una sola vez por turno, el turno es de 12 horas, si hay alguna devolución de algún producto en específico, este producto lo convierten en scrap y vuelven a fabricar tal producto otra vez incluyendo el material pelletizado, el cual no tiene ni un seguimiento ni etiquetado.

La calibración de las 4 máquinas que posee la empresa en el proceso de inyección pesada se las realiza cada 5 meses. El sistema de enfriamiento para

toda la empresa es de 12°C. Los moldes de los diferentes productos pueden adaptarse a las distintas máquinas de inyección que tiene la empresa.

Por otro lado, las hojas de control de calidad y de reporte de producción que se manejan diariamente al momento de hacer un producto en cada turno no se manejan con orden, no están archivadas.

Se procedió a recolectar las fichas técnicas de cada materia prima para la fabricación de los productos plásticos.

Pasado los quince días de la recolección de información se procedió a ir a la empresa durante todo el proceso de graduación a recolectar las materias primas que se utilizaban en turno real en la fabricación de los productos plásticos, y también se procedió a recolectar un producto terminado de cada máquina de inyección pesada por turno con el fin de hacer los ensayos pertinentes. Esta fase duró un tiempo de un mes y veinticinco días con el fin de recolectar los productos plásticos y materias primas de diferentes proveedores.

Los productos que se evaluaron fueron:

Balde de 5 galones

Balde de 2,5 galones

Balde de 1 galón

Tapa del balde de 5 galones

Tapa del balde de 2,5 galones

Tapa del balde de 1 galón



Figura 2. 1. Balde de 5 galones 100% PEAD

Fuente: Albarracín V., 2017.



Figura 2. 2. Balde de 1 galón 100% PP

Fuente: Albarracín V., 2017.

2.2 Ensayos a considerar

Los ensayos que se llevarán a cabo son 3:

Índice de Fluidez.

Resistencia a la tracción.

Resistencia al impacto Izod.

2.3 Equipos y metodología

2.3.1 Ensayo de Índice de Fluidez



Figura 2. 3. Plastómetro, Laboratorio de Procesamiento de plásticos, ASEPLAS

Fuente: Albarracín V., 2017.

Los ensayos se hicieron de acuerdo a la Norma ASTM D1238 “Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer”.

(Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastomer, ASTM D1238, 2010) [15].

El procedimiento fue el siguiente:

1. Encender el equipo, luego asignar una temperatura de operación, si se va a trabajar con polietileno de alta densidad y polietileno lineal de baja densidad, la temperatura será de 190°C con una carga de 2,16 Kg, y si la muestra que se va a trabajar es polipropileno, la temperatura asignada será de 230°C con una carga de 2,16 Kg. Luego de eso esperar a que el equipo llegue a la temperatura seleccionada. La palanca de medición debe estar hacia abajo desde un principio y colocar el dado dentro del cilindro.
2. Pesarse una muestra de pellets y colocarlos dentro del cilindro. Luego de eso colocar enseguida el pistón del plastómetro también en el agujero del cilindro.
3. Presionar el botón Start y seguir todas las instrucciones del equipo para dar inicio a la prueba.
4. Una vez que termina el precalentamiento, el equipo anuncia con un timbre, y al término de este se pone un peso de 2,06 Kg sobre el pistón, luego se procede a controlar el tiempo que el material tarda en salir del cilindro y se recoge el material entre cada timbre y se pesa cada muestra obtenida, se suman las 4 muestras obtenidas y se divide para 4, con eso tenemos un peso en gramos del material.
5. Con el dato de peso en gramos del material, se procede a ingresar en el equipo la masa en gramos y este automáticamente calcula el valor del índice de fluidez. El equipo da cuatro valores de índice de fluidez, con lo que se hace un promedio que es el resultado final de este ensayo.



Figura 2. 4. Material bajo análisis saliendo del cilindro para ser cortado y pesado

Fuente: Albarracín V., 2017.

6. Bajar la palanca de medición y luego comenzar con el retiro del pistón del plastómetro y limpiarlo, igualmente se retira el dado del cilindro y se procede a limpiarlo para que esté listo para una nueva medición.

2.3.2 Ensayos de Impacto Izod

Los ensayos de Impacto Izod se llevaron a cabo en un impactómetro marca Tinius Olsen modelo 92T Impact Tester.



Figura 2. 5. Impactómetro, Laboratorio de Procesamiento de Plásticos, ASEPLAS

Fuente: Albarracín V., 2017.

Este ensayo se llevó a cabo rigiéndose en la Norma Internacional ASTM D256 “Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics”. (Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM D256, 2010) [17].

El procedimiento para el ensayo fue el siguiente:

1. Se procede a recortar las muestras con las dimensiones especificadas en la Figura 2.4. Se hacen 5 probetas por cada muestra como indica la norma.
2. Se coloca la probeta de forma vertical en el soporte de probeta del impactómetro.
3. Encender el equipo, medir el espesor de la probeta con un calibrador e ingresar el valor en el equipo.
4. Luego, con la palanca situada en la parte superior del equipo, se deja caer el péndulo el cual golpea directamente a la probeta.
5. Volver a colocar el péndulo a su posición original y anotar los valores correspondientes dados por el equipo. La energía absorbida por la probeta está en unidades de J/m.

2.3.3 Ensayos de Resistencia a la Tracción

Los ensayos se llevaron a cabo en la máquina de Ensayos Universal marca Shimadzu, modelo AG-ID 10 KN, de acuerdo a la Norma ASTM D638 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”. (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM D638, 2010). [16].



Figura 2. 6. Máquina Universal para ensayos de tensión. LEMAT

Fuente: Albarracín V., 2017.

El procedimiento para el ensayo es el siguiente:

1. Se procede a hacer las probetas como rige la Norma ASTM D638, las dimensiones de la probeta están en la figura 2.5. Se realizan 5 probetas por cada balde seleccionado a hacer el ensayo, y la probeta es del Tipo IV, la cual es para plásticos rígidos y semirrígidos.



Figura 2. 7. Probetas troqueladas de los productos (baldes) 80% scrap + 20% A, 100% C, 50% B + 50% scrap

Fuente: Albarracín V., 2017.

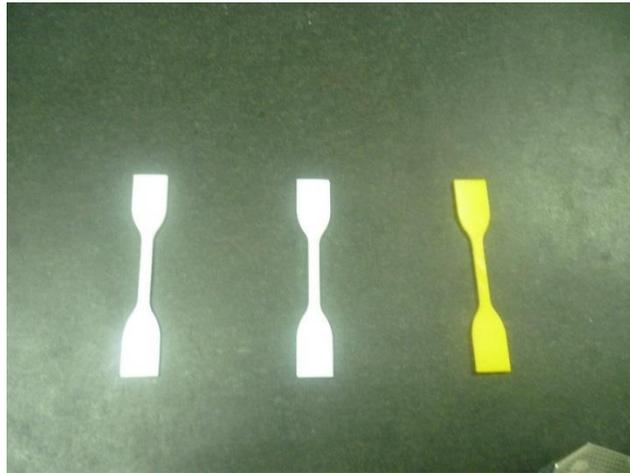


Figura 2. 8. Probetas troqueladas de los productos (baldes) 100% A, 100% H, Balde

1

Fuente: Albarracín V., 2017.

2. Se procede a medir el ancho y el espesor de la probeta con un micrómetro, para obtener el área de la sección transversal, para posteriormente con la carga máxima dividida para esta sección transversal obtener el esfuerzo máximo, el software del equipo lo calcula automáticamente.
3. Se seleccionada una longitud inicial calibrada, de la cual partirá el desplazamiento de la probeta, la longitud inicial para todas las probetas fue de 25 mm.
4. Se selecciona una velocidad de 50mm/min para este ensayo, el cual es para la probeta Tipo IV, de acuerdo a la Norma ASTM D638.
5. Se procede a sujetar la probeta con las mordazas del equipo, luego un cabezal de la máquina está inmóvil, mientras que el otro comenzará a desplazarse.
6. El equipo tiene un software, el cual se observará en la computadora los parámetros que automáticamente salen en la pantalla, tales como carga

máxima, esfuerzo máximo, carga antes de la rotura, esfuerzo antes de la rotura, deformación antes de la rotura, y su gráfica respectiva.

7. El mismo procedimiento se hace para las siguientes probetas.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Resultados y análisis de resultados para muestras según su índice de fluidez en materia virgen y producto terminado

Los productos A, B, C, E, F, son PEAD.

Los Productos D, G son PLBD.

El Producto H es PP.

Tabla 3. 1. Resultados de índice de fluidez, viscosidad, y velocidad de corte de la materia prima del balde de 5 galones

Materia virgen	Índice de Fluidez Hoja Técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de Fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
100% A	7	1200,475	7,121	16,320
100% B	6,75	1218,775	6,818	16,070
50% B + 50% scrap	6,75 más scrap	2941,175	2,784	6,660
100% C	6,9	1180,550	6,939	16,590

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 2. Resultados de índice de fluidez, viscosidad, y velocidad de corte del producto terminado del balde de 5 galones

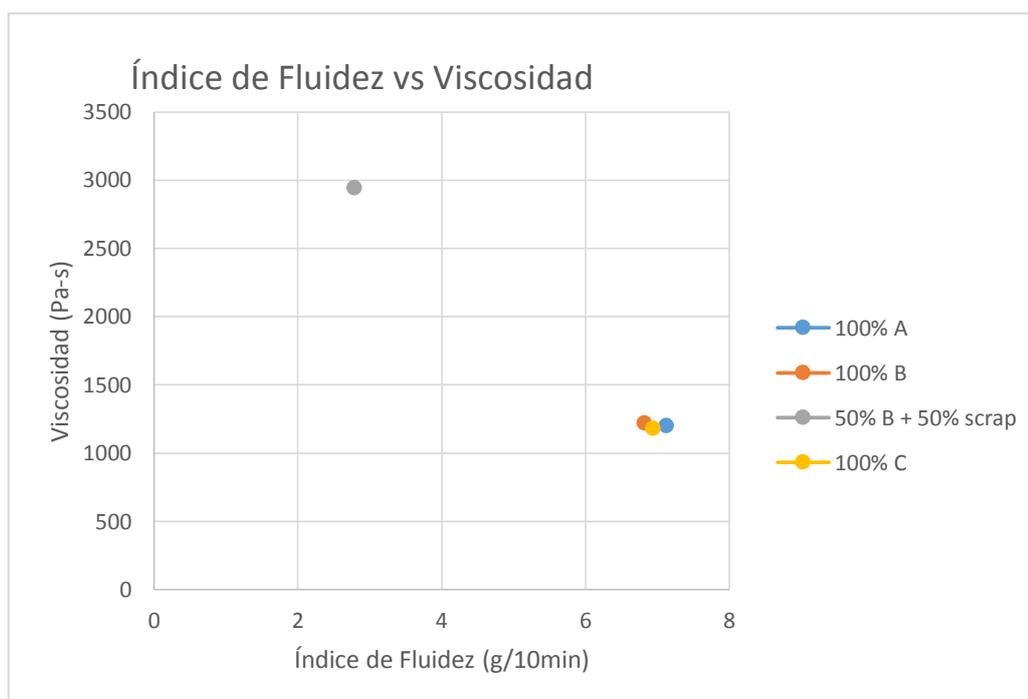
Producto terminado	Índice de fluidez Hoja Técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
100% A	7	1536,125	5,488	10
20% A y 80% scrap	7 + scrap	1317,400	6,444	14,870
50% B y 50% scrap	6,75 más scrap	1411,025	6,015	13,880
100% C	6,9	1240,025	6,836	15,770

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 3. Resultados de índice de fluidez, viscosidad, y velocidad de corte de los baldes de 5 galones sin trazabilidad

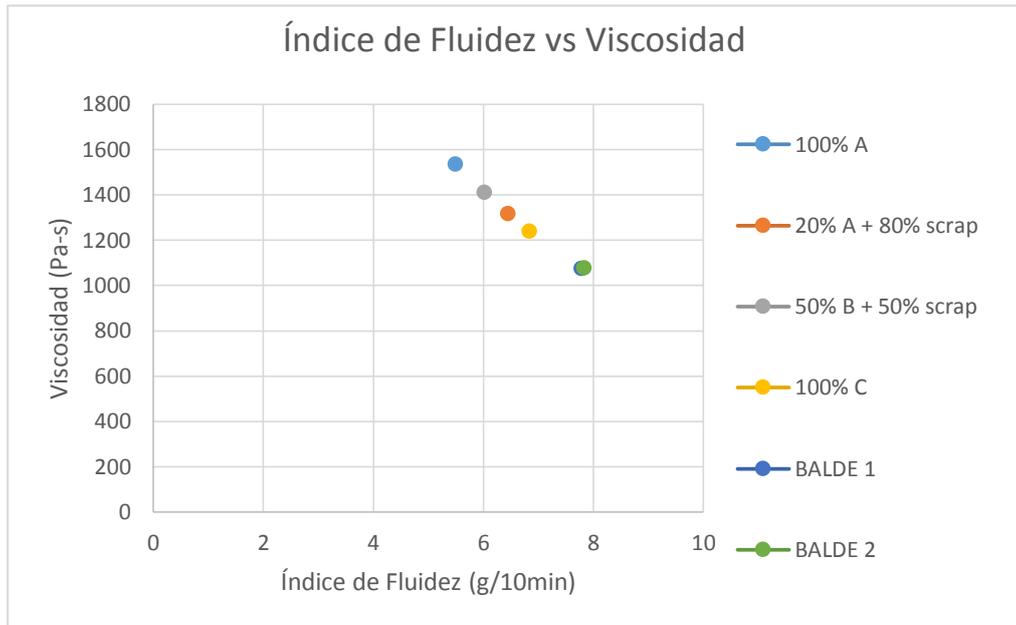
Producto terminado	Viscosidad (Pa-s)	Índice de fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
Balde sin trazabilidad 1	1075,600	7,782	18,210
Balde sin trazabilidad 2	1077,125	7,826	18,190

Fuente: Albarracín V., 2017.



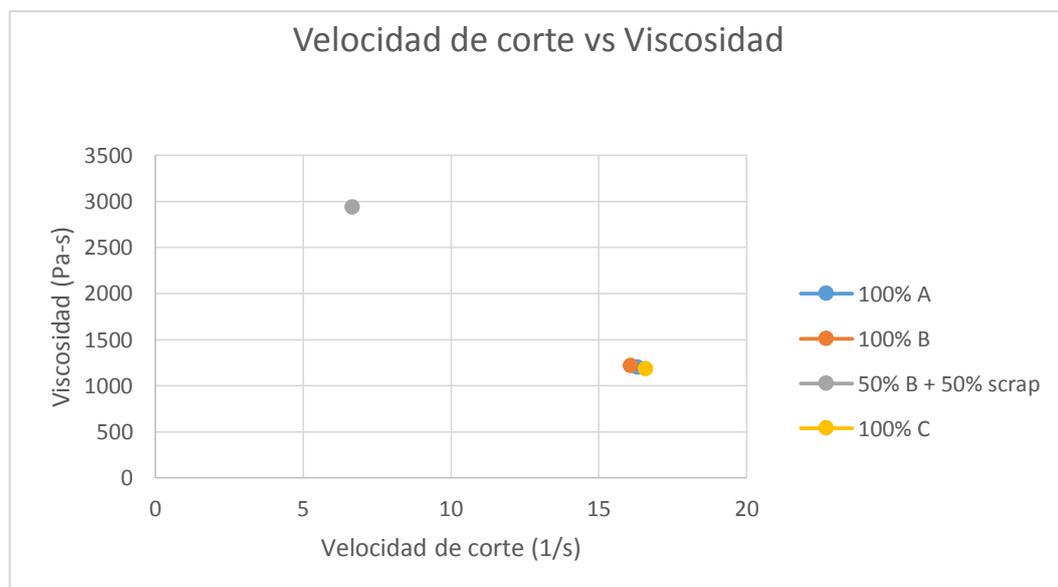
Gráfica 3. 1. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad de diferentes materias primas para la fabricación de baldes de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



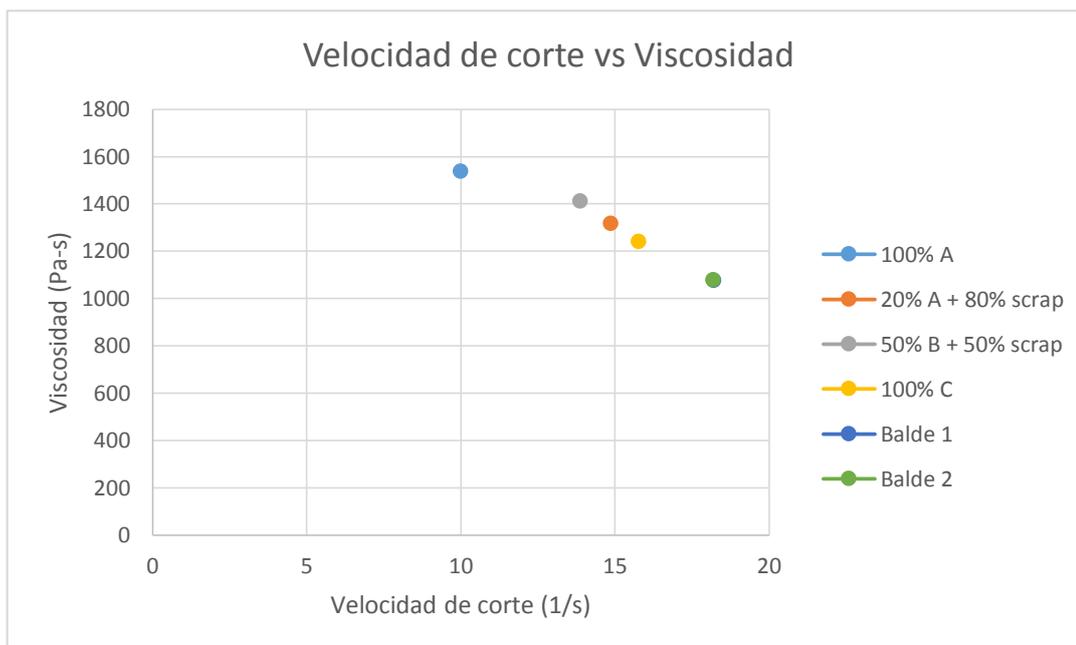
Gráfica 3. 2. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad del balde de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 3. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad de diferentes materias virgen para la fabricación de baldes de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 4. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad del balde de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.

Como se puede observar en la gráfica de índice de fluidez y viscosidad de la materia prima, así como también viscosidad vs velocidad de corte de la materia prima los valores de B, C, y B más scrap, a medida que aumenta el índice de fluidez, velocidad de corte aumenta y obviamente la viscosidad disminuye, esto se debe a que el polímero se desovilla y así permite que fluya mejor, pero el material A no cumple con esto, ya que este tiene menor velocidad de corte que el material C y por ende mayor viscosidad, teniendo mayor índice de fluidez que C; esto podría deberse a que las moléculas en el material A no se separaron lo suficiente y hubo más fricción entre ellas comparando con C y de esta manera aumentó su viscosidad con respecto a C. En el índice de fluidez del producto terminado también pasa lo mismo con el producto 2, este tiene mayor viscosidad y por ende menor velocidad de corte que el producto 1, teniendo un índice de fluidez mayor que el producto 1, se hizo índice de fluidez a los productos terminados para conocer si este disminuye o aumenta con respecto al índice de fluidez de la materia prima. Y se puede observar que los productos de A, B, C, disminuyen con respecto a su materia virgen, esto se debe a que tienen una mayor viscosidad con

respecto a su materia virgen, lo que se concluye que no hay mucha separación entre sus moléculas en el producto terminado, y que las moléculas están enmarañadas con respecto a su materia virgen, lo que ocasiona que su viscosidad aumente conforme su velocidad de corte también aumenta, con respecto a la de su materia virgen. Con esto se puede concluir que, al aumentar la velocidad de corte, las moléculas se desenmarañan y se orientan, existiendo menos fricción entre ellas y así fluyen más fácilmente.

En lo que respecta a los índices de fluidez de materia prima comparados con los del producto terminado, todos excepto el producto 50% B más 50% scrap disminuyen en el producto terminado, significando que hay una menor velocidad de corte en el proceso y por ende mayor viscosidad. En el producto 50% B más scrap, el índice de fluidez aumenta con respecto a su materia prima, queriendo decir que su comportamiento es diferente al de los otros materiales, por lo que se da la necesidad de verificar las variables de las máquinas como temperatura, presión y el sistema de enfriamiento, así como también el molde, para que no suceda esta variabilidad en los índices de fluidez.

Tabla 3.4. Índice de fluidez, viscosidad y velocidad de corte de la materia virgen del balde de 2,5 galones

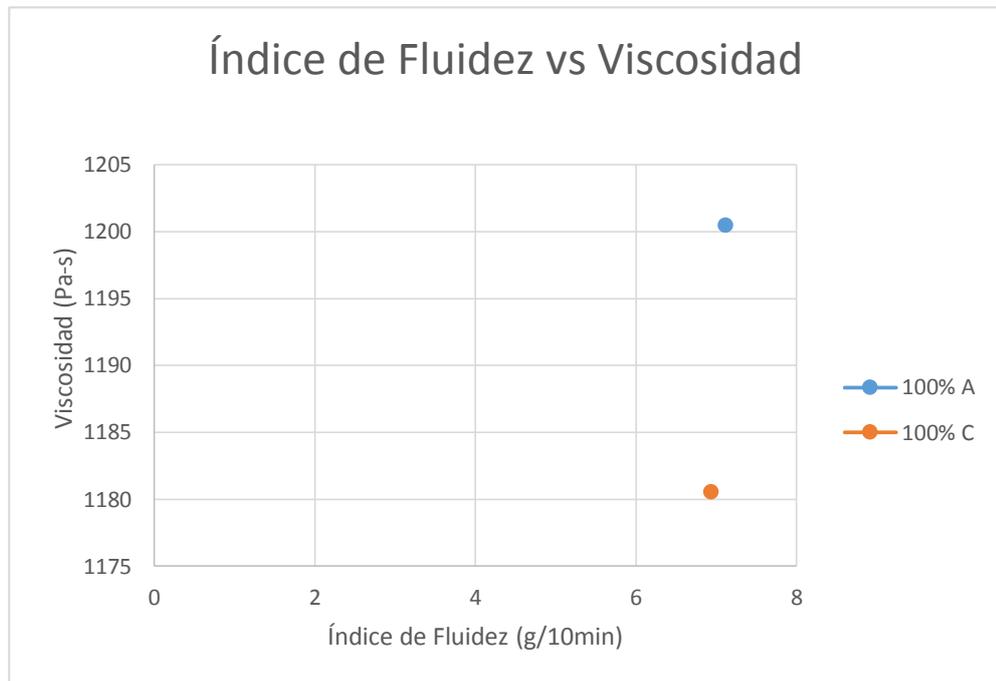
Materia virgen	Índice de Fluidez de la Hoja Técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de Fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
100% A	7	1200,480	7,121	16,320
100% C	6,900	1180,550	6,939	16,590

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3.5. Índice de fluidez, viscosidad y velocidad de corte del producto terminado del balde de 2,5 galones

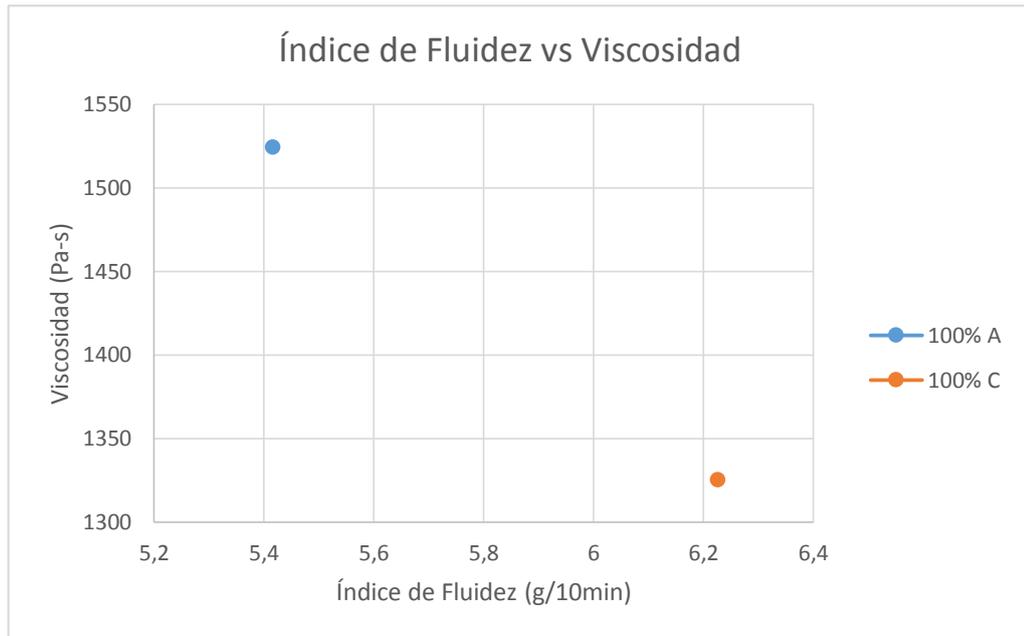
Producto terminado	Índice de Fluidez hoja técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de Fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
100% A	7	1524,400	5,416	12,860
100% C	6,9	1325,400	6,226	14,780

Fuente: Albarracín V., 2017.



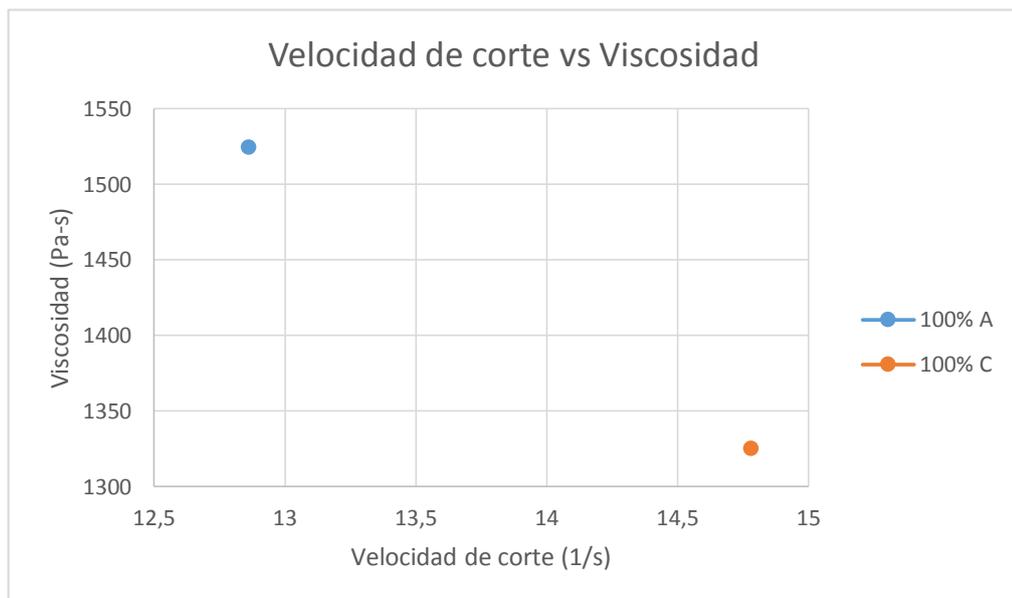
Gráfica 3. 5. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad de diferentes materias virgen para la fabricación de baldes de 2,5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



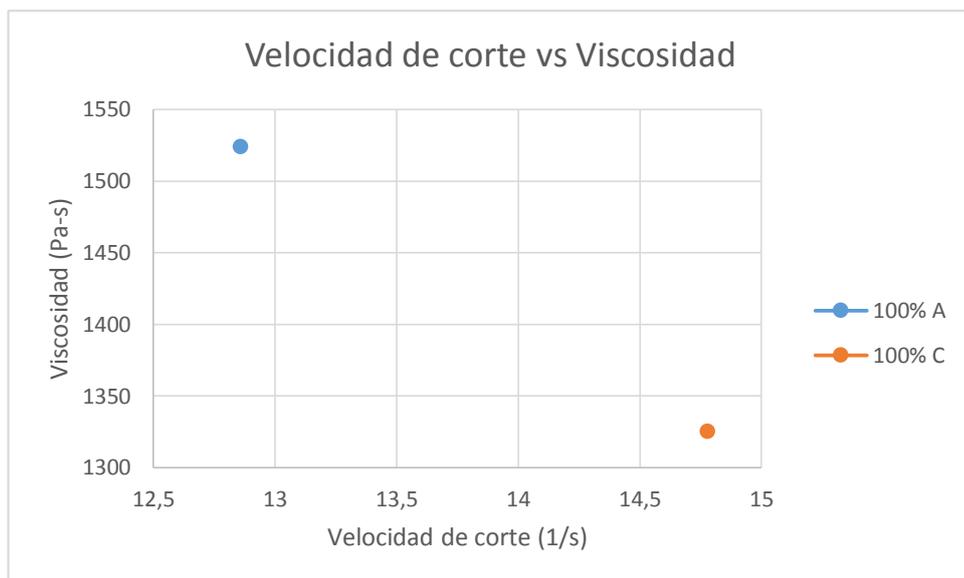
Gráfica 3. 6. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad del balde de 2,5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 7. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad de las materias primas para el balde de 2.5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 8. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad del balde de 2.5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.

Con la materia virgen de A y C también se puede observar que el índice de fluidez de A es mayor que el de C, pero A tiene mayor viscosidad que C y por tanto su velocidad de flujo es menor que la del producto C, las moléculas de A están ovilladas mientras que las de C están más alineadas con respecto a las moléculas de A, pero en el producto terminado, ya se alinean, lo que se puede observar que el índice de fluidez del producto terminado disminuye con respecto al índice de fluidez de la materia virgen, esto se debe a que hay mayor viscosidad en el producto terminado con respecto a su materia virgen, lo que dice que no hay mucha separación entre sus moléculas con respecto a su materia inicial, y su velocidad de corte es menor por lo que hay más fricción entre las moléculas.

Tabla 3. 6. Índice de fluidez, viscosidad y velocidad de corte de la materia virgen de las tapas de los baldes de 2,5 galones

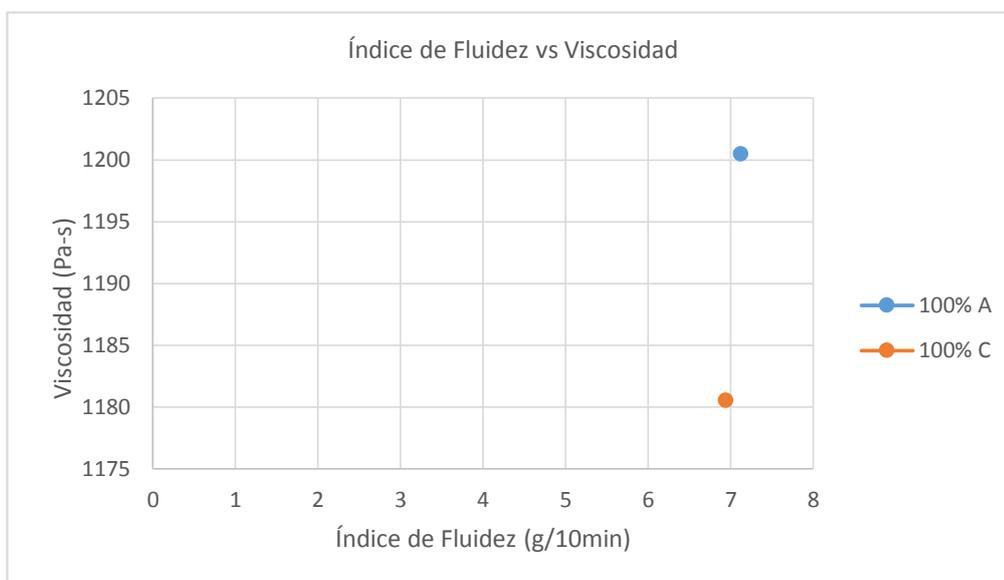
Materia virgen	Índice de Fluidez de la Hoja Técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de Fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
100% A	7	1200,475	7,121	16,320
100% C	6,9	1180,550	6,939	16,590

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 7. Índice de fluidez, viscosidad y velocidad de corte del producto terminado de las tapas de los baldes de 2,5 galones

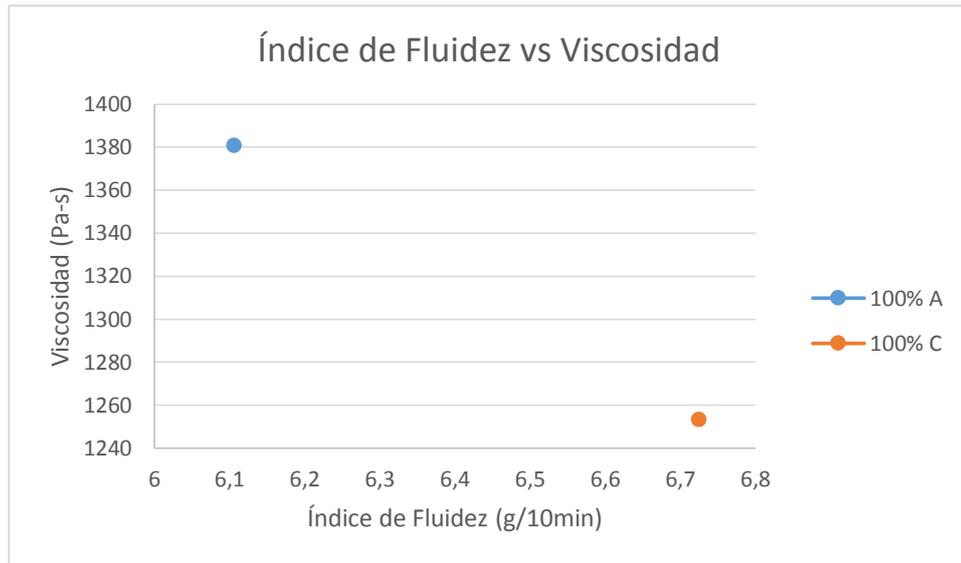
Producto terminado	Índice de Fluidez Hoja Técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de Fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
100% A	7	1380,735	6,106	14,190
100% C	6,9	1253,275	6,725	15,630

Fuente: Albarracín V., 2017.



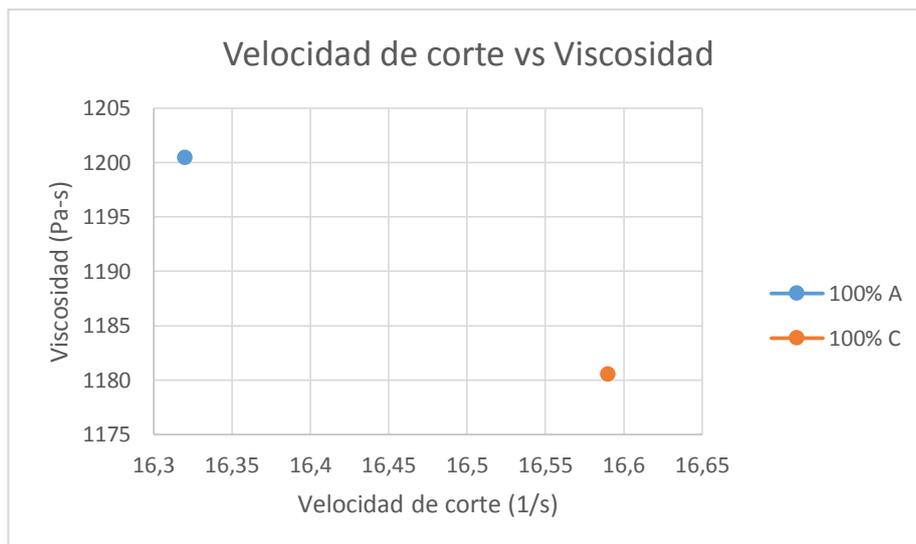
Gráfica 3. 9. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad de diferentes materias virgen para la fabricación de tapas de 2,5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



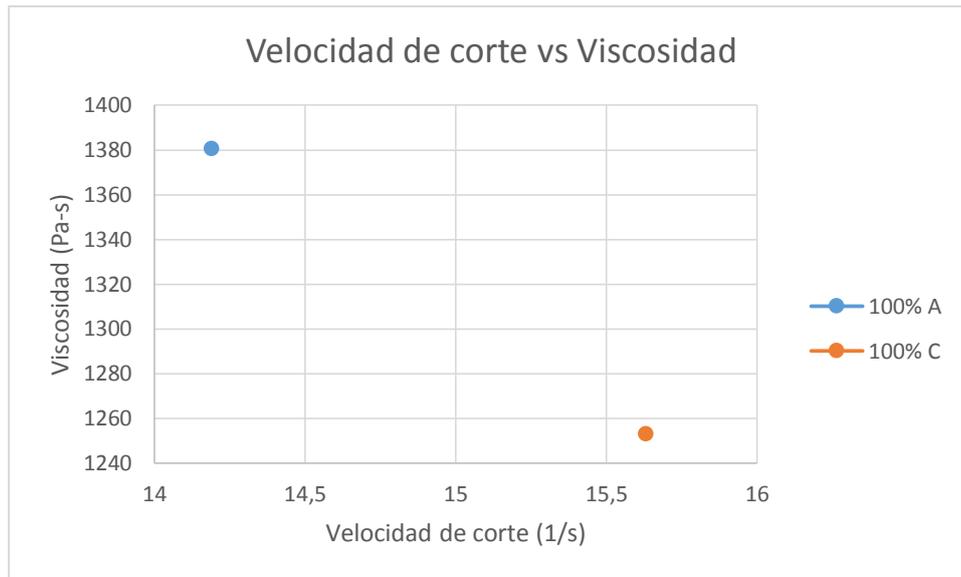
Gráfica 3. 10. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad de la tapa del balde de 2,5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 11. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad de las materias primas del balde de 2.5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 12. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad del balde de 2.5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.

Como se puede observar en la tabla y en las gráficas, existe el mismo problema en la materia prima de A con respecto a C, el producto A tiene mayor índice de fluidez, pero mayor viscosidad y por ende menor velocidad de corte que el producto C, seguramente las moléculas de esta materia están enmarañadas lo que hace que se vuelva más viscoso y fluya con menos facilidad que las moléculas del producto C.

En lo que respecta a el producto terminado, si hay una tendencia, lo cual, a mayor índice de fluidez existe menor viscosidad entre sus productos, lo que hace que exista mayor velocidad de corte en ellas a medida que la viscosidad disminuye, esto se debe a que las moléculas están alineadas, hay menos fricción entre ellas por su alineamiento.

Tabla 3. 8. Índice de fluidez, viscosidad y velocidad de corte de la mezcla de la materia virgen de la tapa del balde de 5 galones

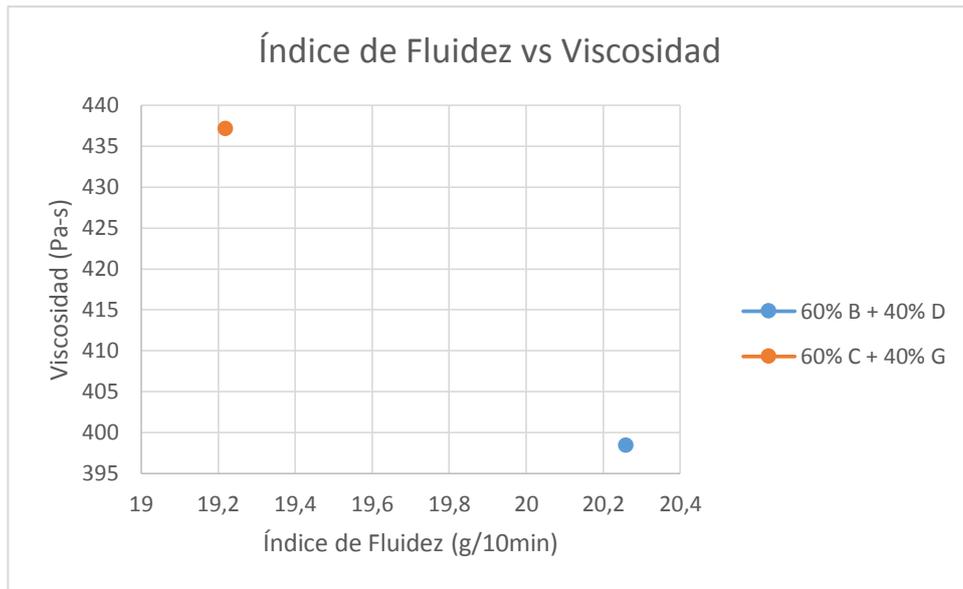
Mezcla materia virgen	Índice de fluidez de la Hoja Técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
60% B	6,75	398,475	20,260	49,150
40% D	55			
60% C	6,9	437,175	19,220	44,990
40% G	50			

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 9. Índice de fluidez, viscosidad y velocidad de corte de los productos terminados de las tapas de los baldes de 5 galones

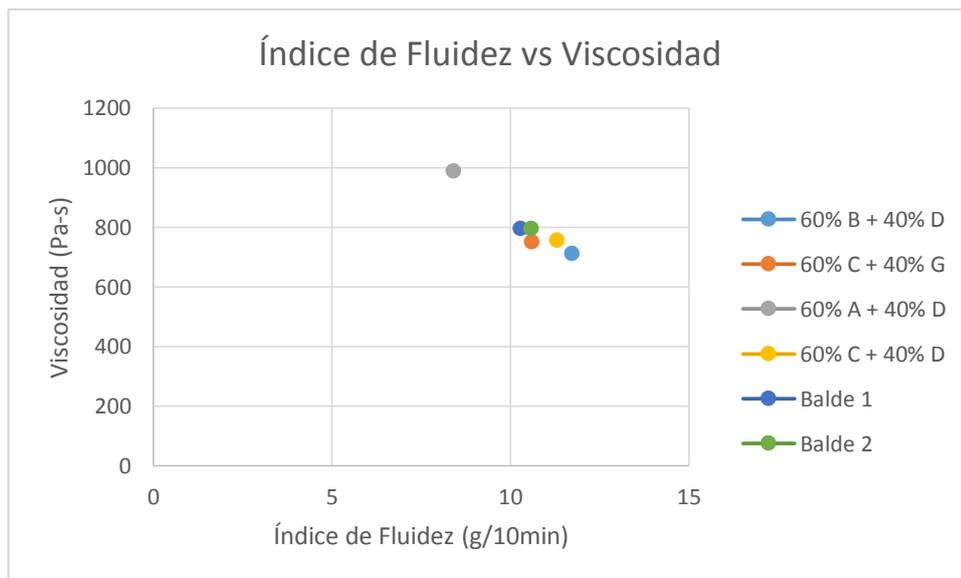
Producto	Índice de Fluidez Hoja Técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de Fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
60% B	6,75	711,750	11,730	27,590
40% D	55			
60% C	6,9	749,870	10,610	26,120
40% G	50			
60% A	7	988,300	8,410	19,830
40% D	55			
60% C	6,9	755,875	11,310	25,920
40% D	55			
Sin trazabilidad 1	----	795,900	10,290	24,610
Sin trazabilidad 2	----	795,575	10,600	24,620

Fuente: Albarracín V., 2017.



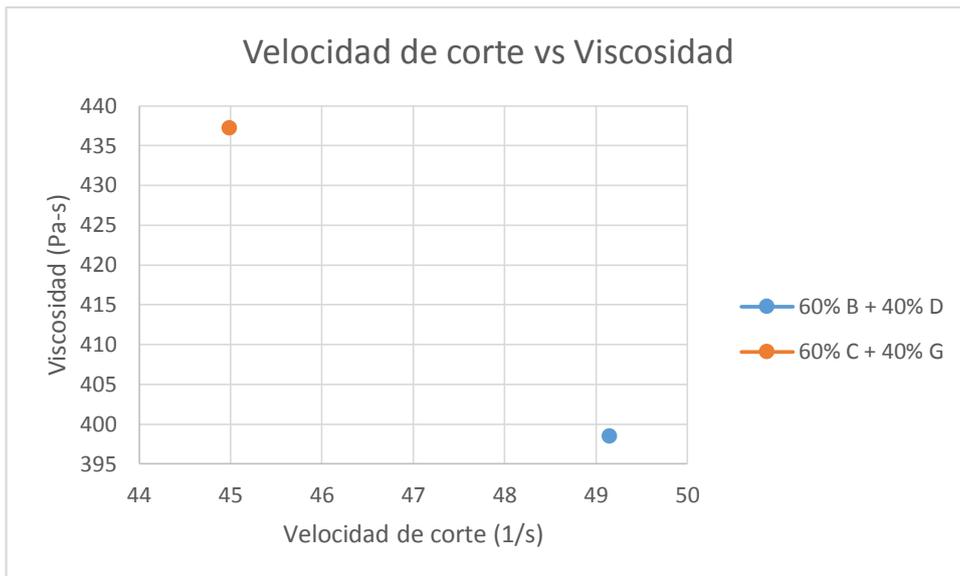
Gráfica 3. 13. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad de diferentes mezclas de materias virgen para la fabricación de tapas del balde de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



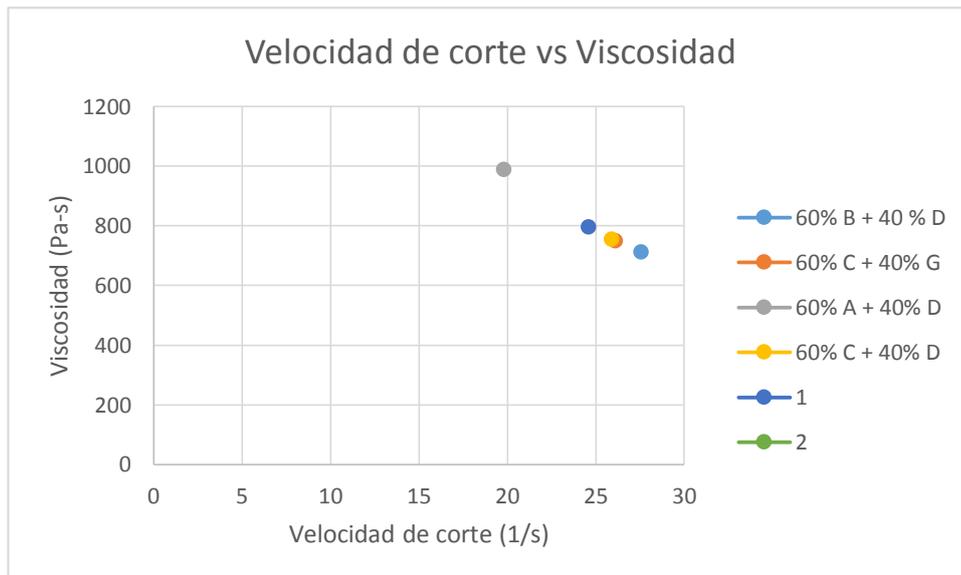
Gráfica 3. 14. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad de la tapa del balde de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 15. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad de las materias primas de la tapa del balde de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 16. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad de la tapa del balde de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.

Como se puede observar en la tabla y en las gráficas, en la materia prima, aquí si hay una secuencia, a mayor índice de fluidez, hay una menor viscosidad en el

fluido lo que quiere decir que hay mayor velocidad de corte, pues aquí las moléculas se mueven, y se separan unas de otras, la fricción entre ellas disminuye hasta que fluyen más fácilmente. En lo que respecta al producto terminado, hay un problema con el material C, nuevamente en el producto C – D, este tiene mayor índice de fluidez que el producto C-G, y por ende debería tener menor viscosidad y mayor velocidad de corte, pero no, a pesar de que tenga mayor índice de fluidez, el producto C – D tiene mayor viscosidad que el producto C – G, esto puede deberse a que la mezcla no está totalmente homogenizada y las moléculas en esa parte todavía se encuentran ovilladas, lo que hace que haya más fricción entre ellas y no fluyan con facilidad, y esto es lo que genera mayor viscosidad en ellas.

En lo que respecta a los índices de fluidez de las materias primas comparado con los índices de fluidez de los productos terminados, hay una disminución de estos considerablemente, la viscosidad entre materia prima y producto terminado aumenta. Esto evidencia que no hay una buena homogenización de estas materias primas, los valores de índice de fluidez de esta mezcla la cual es de PEAD 7 con PLBD 55 no son compatibles.

Tabla 3. 10. Índice de fluidez, viscosidad, y velocidad de corte de la mezcla de la materia virgen para la tapa del balde de 1 galón

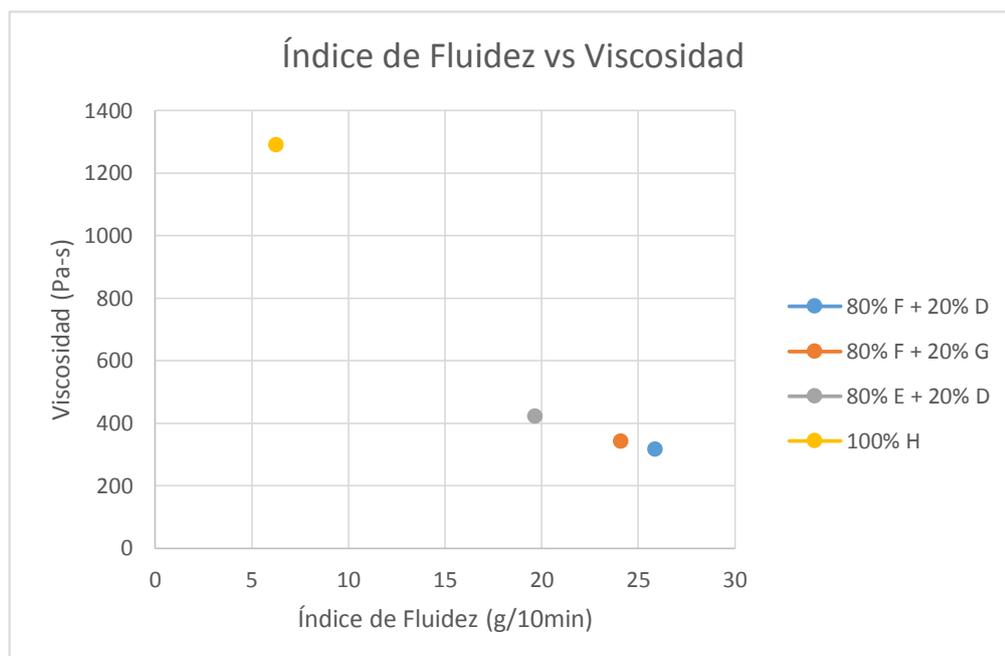
Mezcla materia virgen	Índice de fluidez de la hoja técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de Fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
80% F	20	317,050	25,848	61,800
20% D	55			
80% F	20	343,130	24,073	57,150
20% G	50			
80% E	20	423,100	19,647	46,310
20% D	55			
100% H	6	1290,670	6,257	15,180

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 11. Índice de fluidez, viscosidad, y velocidad de corte del producto terminado de la tapa del balde de 1 galón

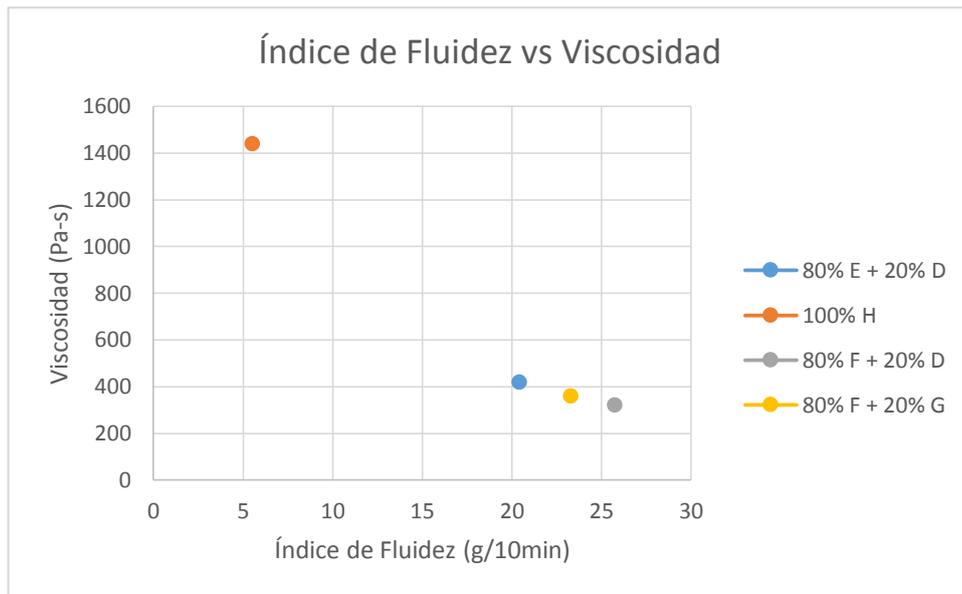
Producto terminado	Índice de fluidez hoja técnica (g/10min)	Viscosidad (Pa-s)	Índice de Fluidez (g/10min)	Velocidad de corte (1/s)
80% F	20	320,570	25,763	61,160
20% D	55			
80 % F	20	359,170	23,302	54,530
20% G	50			
80% E	20	418,100	20,445	46,850
20% D	55			
100% H	6	1438,350	5,530	14,490

Fuente: Albarracín V., 2017.



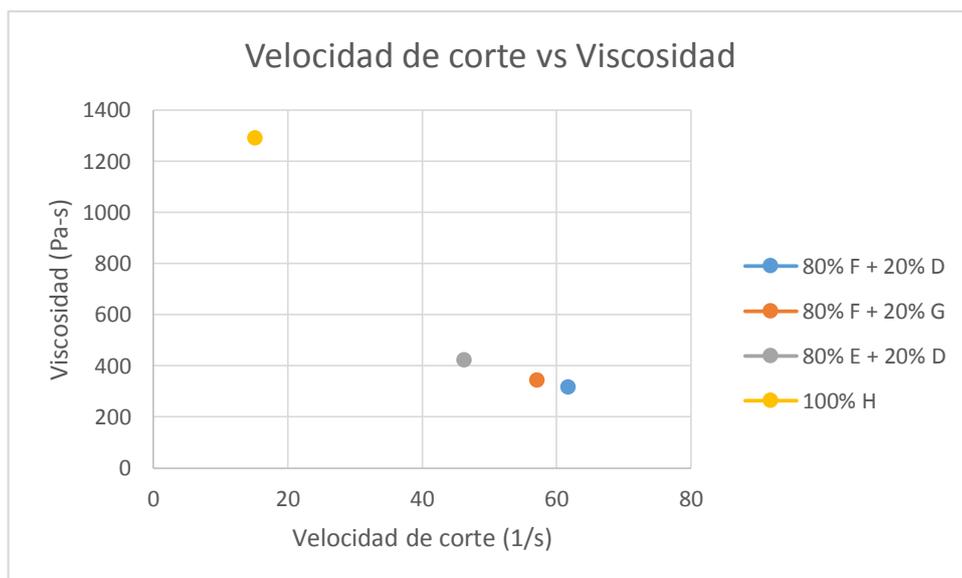
Gráfica 3. 17. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad de diferentes mezclas de materias virgen para la fabricación de tapas del balde de 1 galón

Fuente: Albarracín V., 2017.



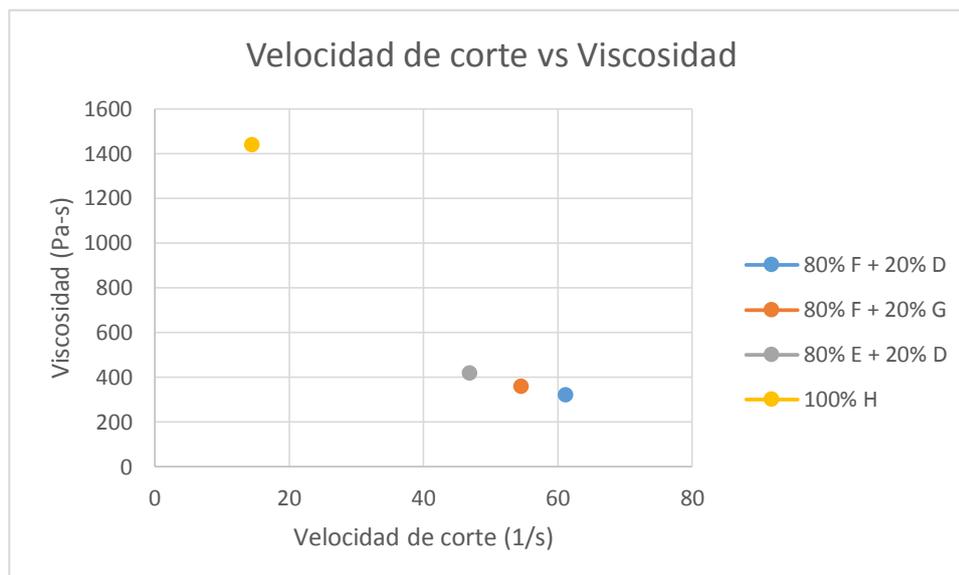
Gráfica 3. 18. Relación entre el índice de fluidez y la viscosidad de la tapa del balde de 1 galón

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 19. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad de las materias primas de la tapa del balde de 1 galón

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 20. Relación entre la velocidad de corte y la viscosidad de la tapa del balde de 1 galón

Fuente: Albarracín V., 2017.

Como se puede observar, esta mezcla está perfectamente homogénea, ya que no hay valores que puedan ocasionar que el índice de fluidez de un producto sea mayor que el otro, mientras que la viscosidad de ese mismo producto sea mayor que otro, por lo que se puede ver que todas las distintas mezclas tienen una buena tendencia, tanto en materia prima como en el producto terminado, a mayor índice de fluidez, hay menos viscosidad y obviamente si hay menos viscosidad es porque hay mayor velocidad de corte, lo que hace que no haya fricción entre las moléculas, y éstas se alinean y por ende fluyen más rápido.

Los índices de fluidez de las materias primas comparados con los del producto terminado no cambian considerablemente, por lo que esta mezcla es bien compatible, se homogeniza muy bien.

3.2 Resultados y análisis de resultados para muestras de resistencia al Impacto Izod

Los baldes 100% C, 20% A + 80% scrap, 50% B + 50% scrap, Balde 1, Balde 2 son fabricados con PEAD.

El Balde 100% H está fabricado con 100% PP.

Las probetas de los baldes 100% C, 20% A + 80% scrap, 100% A, 50% B + 50% scrap, Balde 1, Balde 2 tienen un espesor máximo de 2.5 mm.

Las probetas del balde 100% H tienen un espesor máximo de 1,5 mm.

El espesor de las probetas fue medido con el calibrador Vernier.

Tabla 3. 12. Resistencia al impacto de las probetas del balde de 5 galones 100%C

Probeta: Balde 100% C	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de corte
1	89,20	Bisagra
2	81,90	Bisagra
3	97,20	Bisagra
4	87,30	Bisagra
5	87,50	Bisagra
Promedio	88,62	
Desviación estándar	5,53	

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 13. Resistencia al impacto de las probetas del balde de 1 galón 100% H

Probeta: Balde 100% H	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de corte
1	100,10	Completa
2	125,60	Completa
3	84,80	Completa
4	105,70	Parcial
5	125,90	Parcial
Promedio	108,42	
Desviación estándar	17,57	

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 14. Resistencia al impacto de las probetas del balde de 5 galones 20% A + 80% scrap

Probeta: Balde 20% A + 80% scrap	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de corte
1	12,30	Bisagra
2	35,80	Completo
3	15,30	Completo
4	10,70	Bisagra
5	14,80	Completo
Promedio	17,78	
Desviación estándar	10,25	

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 15. Resistencia al impacto de las probetas del balde 100% A

Probeta: Producto 100% A	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de corte
1	85,30	Completo
2	87,62	Completo
3	91,47	Completo
4	98,40	Bisagra
5	97,60	Bisagra
Promedio	92,08	
Desviación estándar	5,84	

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 16. Resistencia al impacto de las probetas del balde de 50% B + 50% scrap

Probeta: 50% B + 50% scrap	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de corte
1	13,40	Bisagra
2	16,60	Bisagra
3	14,40	Bisagra
4	13,90	Bisagra
5	11,90	Bisagra
Promedio	14,04	
Desviación estándar	1,71	

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 17. Resistencia al impacto de las probetas del balde 1

Probeta: Balde 1	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de corte
1	88,80	Bisagra
2	74,10	Bisagra
3	82,10	Bisagra
4	95,80	Bisagra
5	89,10	Bisagra
Promedio	85,98	
Desviación estándar	8,22	

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 18. Resistencia al impacto de las probetas del balde 2

Probeta: Balde 2	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de corte
1	91,90	Bisagra
2	86,70	Bisagra
3	90,10	Bisagra
4	93,00	Bisagra
5	93,40	Bisagra
Promedio	91,02	
Desviación estándar	2,73	

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla 3. 19. Promedio de la resistencia al impacto de las probetas de los diferentes tipos de baldes

Producto terminado	Resistencia al impacto por la probeta (J/m)
100% C	88,62
100% H	108,42
20% A + 80% scrap	17,78
100% A	92,08
50% B + 50% scrap	14,04
Balde 1	85,98
Balde 2	91,02

Fuente: Albarracín V., 2017.

Como se puede apreciar claramente, las probetas que son de los baldes fabricados con scrap necesitan menos energía para su fractura que el resto de los baldes, eso significa que un producto elaborado con scrap o también llamado residuo o reciclado de plástico, es más susceptible a producir fallo con menos energía requerida; debido al impacto, las moléculas no pueden orientarse ni relajarse, pero queda claro que esta propiedad mecánica baja considerablemente en relación a los otros baldes fabricados sin residuo de plástico (scrap). Esta es la

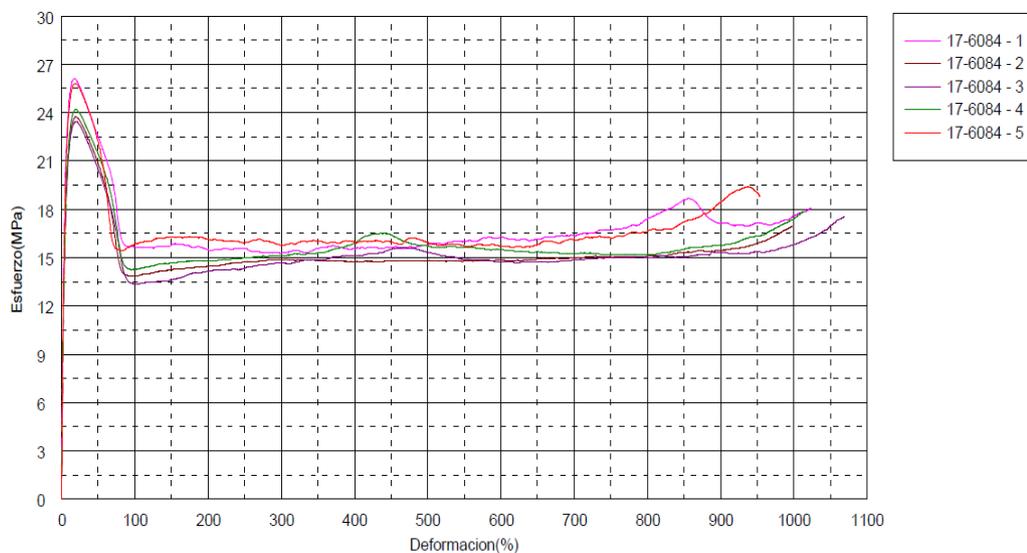
razón por la que ciertos baldes al ser sometidos a esfuerzos en el llenado y transporte de los productos presentan fisuras y roturas, por la poca resistencia que tienen. Las probetas que tienen una fractura completa son amorfas, ya que las moléculas están ovilladas y es más fácil fracturarlas.

3.3 Resultados y análisis de resultados para muestras de resistencia a la tracción

Tabla 3. 20. Resistencia a la tracción del balde 100% A

Probetas de la Muestra 100% A	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga antes de rotura (N)	Esfuerzo antes de rotura (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
1	348,969	26,158	239,922	17,984	1018,690
2	315,641	23,749	225,328	16,953	996,964
3	316,344	23,485	236,531	17,560	1068,520
4	310,016	24,206	229,078	17,886	1013,530
5	339,750	25,875	254,844	17,408	940,464
Promedio	326,144	24,694	237,141	17,958	1007,630
Desviación estándar	17,121	1,237	11,468	0.905	46,070

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 21. Relación entre el esfuerzo y la deformación del balde de 100% A

Fuente: Albarracín V., 2017.

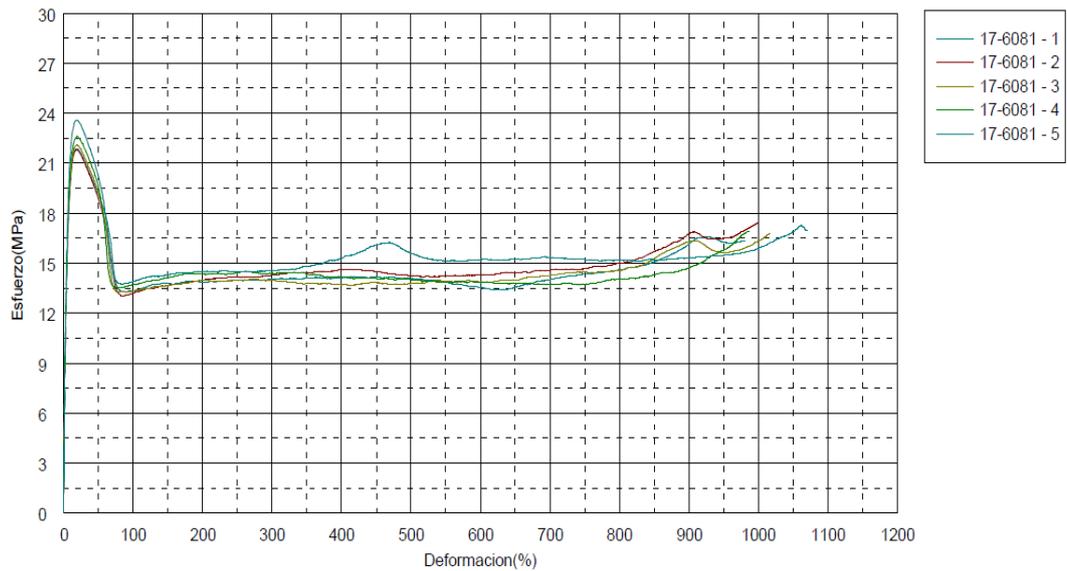
En teoría, a mayor esfuerzo debería haber mayor deformación, pero no es así, ya que la probeta 1 tiene mayor esfuerzo, pero no tiene mayor deformación, la mayor deformación es de la probeta 3, la deformación hasta el punto de fluencia o también llamado límite elástico es instantánea y completamente recuperable, aquí se da la extensión de los enlaces existentes entre los átomos de las moléculas del plástico, es decir, las moléculas sufren un estiramiento, ya que estas se encontraban enrolladas sobre sí mismas, aquí no hay desplazamiento de las moléculas unas respecto a otras, sólo se estiran, por lo que la deformación es recuperable, aunque no de forma instantánea. El punto hasta antes del límite de fluencia se llama zona elástica por esa razón, ya que la deformación puede ser recuperable. Pasando el punto de fluencia, se encuentra la zona plástica, aquí las deformaciones en esta zona dejan de ser recuperables, debido a que las moléculas se deslizan ahora sí unas de otras, y, por ende, las moléculas que se han desplazado no pueden volver a su posición original, por lo que esta deformación es irreversible.

Aquí el material ya no se comporta como un cuerpo elástico, sino como un sólido plástico. Luego para seguir deformando al material hay que aplicar un esfuerzo mayor, llegará un momento en que el material se rompe, pero en este caso, las probetas no se rompieron como se esperaba, los porcentajes de deformación son los valores presentados, porque las probetas comenzaron a presentar deformación en el área de cambio de sección de la misma.

Tabla 3. 21. Resistencia a la tracción del balde 80% scrap + 20% A

Probetas de la muestra 80% scrap + 20% A	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga antes de la rotura (N)	Esfuerzo antes de la rotura (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
1	296,531	21,907	221,281	16,348	980,192
2	293,313	21,838	234,453	17,455	998,152
3	292,578	22,118	222,172	16,796	1015,960
4	303,156	22,607	227,172	16,941	986,224
5	304,406	23,620	222,938	17,299	1061,46
Promedio	297,997	22,418	225,603	16,968	1008,40
Desviación estándar	5,503	0,736	5,439	0,436	32,653

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 22. Relación entre el esfuerzo y la deformación del balde 80% scrap + 20% A

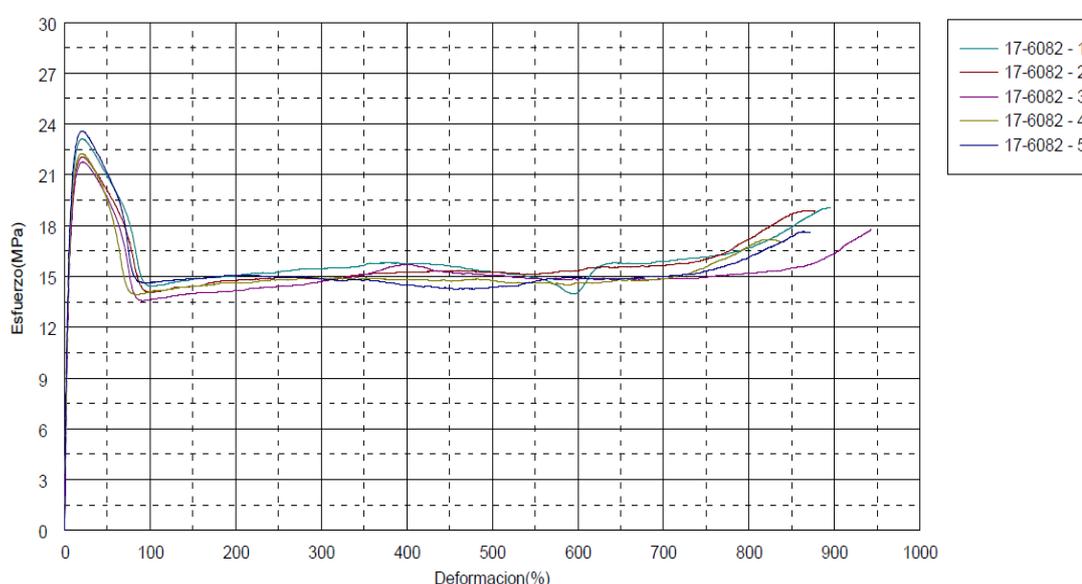
Fuente: Albarracín V., 2017.

Aquí pasa la mismo, a mayor esfuerzo, mayor deformación, pero el mayor esfuerzo tiene la probeta 2, pero esta no tiene la mayor deformación, sino la tiene la probeta 5, esto se debe a que algunas moléculas están más ovillas que otras, aquí nuevamente las deformaciones por debajo del punto de fluencia son recuperables ya que las moléculas se estiraron sobre sí mismas, mas no hubo desplazamiento entre ellas, por eso esta zona se llama zona elástica, luego pasado el punto de fluencia se encuentra la zona plástica, aquí las deformaciones de las moléculas dejan de ser recuperables, por eso el material ya no se comporta como un cuerpo elástico, sino como un sólido plástico. Se puede ver claramente que hay ciertas inflexiones en las probetas, esto se debe a que las moléculas se tiemplan en el camino y por ende se separan unas de otras, esto obviamente ocurre en la zona plástica, donde la deformación no es recuperable.

Tabla 3. 22. Resistencia a la tracción del balde 100% C

Probetas de la muestra 100% C	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga antes de la rotura (N)	Esfuerzo antes de la rotura (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
1	294,750	23,166	243,016	19,100	894,556
2	284,563	22,090	243,313	18,887	876,360
3	292,297	21,807	238,000	17,756	941,152
4	297,063	22,292	227,047	17,034	839,964
5	313,594	23,620	234,156	17,632	869,796
Promedio	296,453	22,595	237,106	18,084	884,366
Desviación estándar	10,673	0,765	6,784	0,877	37,337

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 23. Relación entre el esfuerzo y la deformación del balde 100% C

Fuente: Albarracín V., 2017.

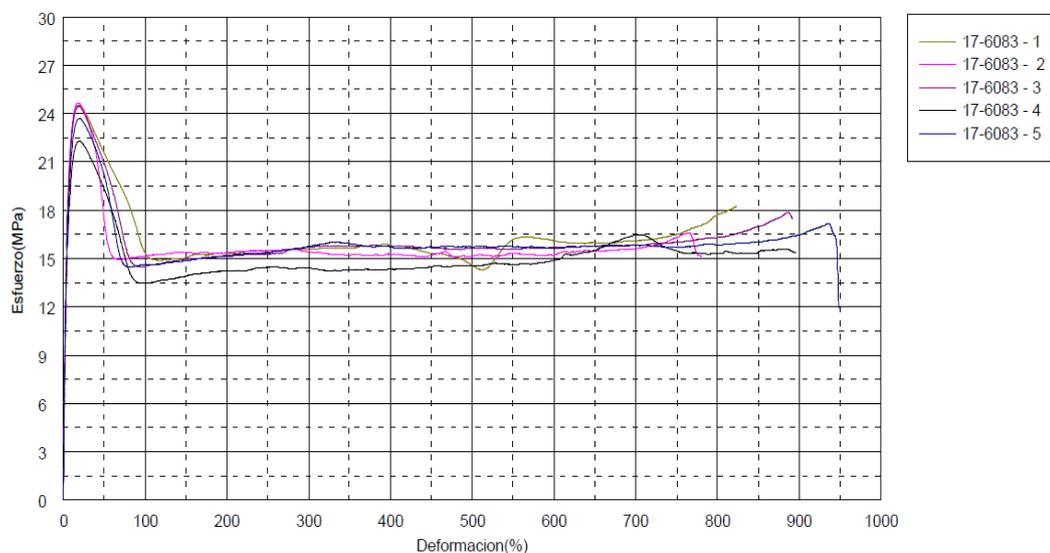
Aquí vuelve a ocurrir lo mismo, la probeta 1 tiene mayor esfuerzo antes de la rotura que las otras, pero su porcentaje de deformación no es el mayor, sino el de la probeta 3, y también se observa una inflexión en la probeta 1, esto se debe a que al momento de aplicar la fuerza para estirar la probeta, las moléculas que estaba ovilladas se templaron en el camino y se separaron unas de otras, es

decir, hubo un desplazamiento de las moléculas unas respecto a otras, y estas moléculas que se han desplazado ya no podrán volver a su posición original, aquí la deformación es irreversible. Aquí el material se comporta como un sólido plástico. Para seguir deformando la probeta hay que aplicar un esfuerzo mayor, pero al momento de aplicar ese esfuerzo las probetas comenzaron a presentar deformaciones en el área de cambio de sección de la misma.

Tabla 3. 23. Resistencia a la tracción del balde 50% scrap + 50% B

Probetas de la muestra 50% scrap + 50% B	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga antes de la rotura (N)	Esfuerzo antes de la rotura (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
1	318,344	24,559	236,234	18,224	821,760
2	323,672	24,687	217,719	16,606	764,692
3	315,109	24,461	230,734	17,911	886,596
4	301,984	22,315	208,047	15,373	895,760
5	309,203	23,717	224,328	17,207	935,928
Promedio	313,662	23,948	223,412	17,064	860,947
Desviación estándar	8,373	0,987	11,038	1,134	67,625

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 24. Relación entre el esfuerzo y la deformación del balde 50% scrap + 50% B

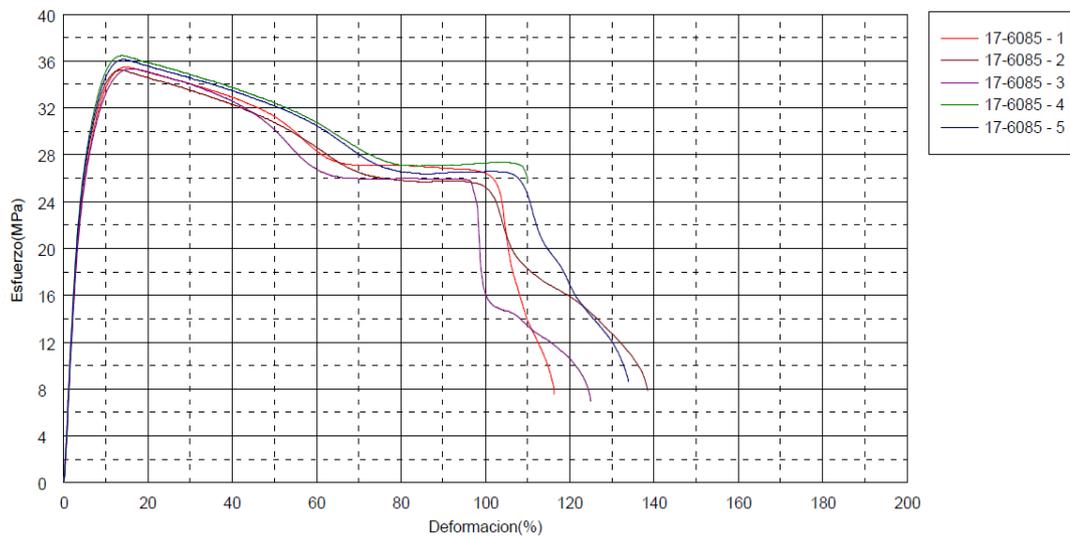
Fuente: Albarracín V., 2017.

Aquí nuevamente se puede observar que el mayor esfuerzo sufre la probeta 1, mientras que la mayor deformación tiene la probeta 5, esto se da porque las moléculas de la probeta 1 están más ovilladas o enmarañadas que la probeta 5, y necesita más esfuerzo para estirarlas, mientras que en la probeta 5 las moléculas están menos ovilladas, esto sucede en la zona plástica, ya que las deformaciones que tuvieron las moléculas no son recuperables, puesto que pasaron del punto de fluencia, esto se debe al desplazamiento que tuvieron las moléculas unas respecto con otras. Si se quiere llegar a la rotura de la probeta se necesita aplicar un esfuerzo mayor, pero estas probetas comenzaron a tener deformaciones en el área de cambio de sección de la misma, puesto que no se rompieron como se quería.

Tabla 3. 24. Resistencia a la tracción del balde 100% H

Probetas de la muestra 100% H	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga antes de la rotura (MPa)	Esfuerzo antes de la rotura (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
1	250,500	35,546	187,766	26,644	98,556
2	276,250	35,292	200,703	25,640	97,652
3	258,313	35,397	188,688	25,856	96,484
4	264,188	36,524	197,172	27,259	107,652
5	278,234	36,195	204,078	26,548	104,820
Promedio	265,497	35,791	195,681	26,389	101,033
Desviación estándar	11,790	0,539	7,237	0,650	4,909

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 25. Relación entre el esfuerzo y la deformación del balde 100% H

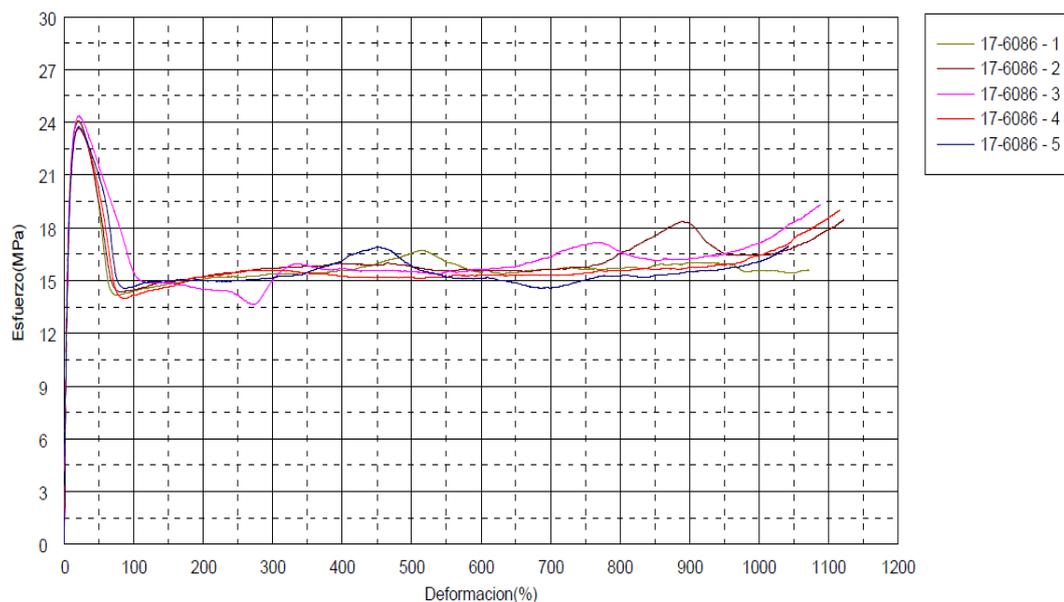
Fuente: Albarracín V., 2017.

Se puede observar que la probeta 1 tiene mayor esfuerzo que la probeta 5, pero la probeta 5 tiene mayor deformación que la probeta 1, esto se debe nuevamente al mayor enmarañamiento que tienes las moléculas de la probeta 1 con respecto a la probeta 5, aquí las moléculas que se han desplazado no pueden volver a su posición original, porque esto ocurre en la zona plástica donde la deformación es irreversible.

Tabla 3. 25. Resistencia a la tracción del balde 1

Probetas de la muestra Balde 1	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga antes de la rotura (N)	Esfuerzo antes de la rotura (MPa)	Deformación antes de la rotura (%)
1	316,125	24,085	204,930	15,614	1069,390
2	323,719	24,101	248,313	18,487	1121,190
3	334,766	24,384	265,328	19,326	1087,420
4	323,984	23,677	260,547	19,041	1115,720
5	328,141	23,750	234,234	16,953	1041,820
Promedio	325,347	24,000	242,672	17,884	1087,110
Desviación estándar	6,820	0,288	24,288	1,565	32,959

Fuente: Albarracín V., 2017.



Gráfica 3. 26. Relación entre el esfuerzo y la deformación del balde 1

Fuente: Albarracín V., 2017.

Se puede observar en la gráfica que hay muchas inflexiones en todas las probetas, esto es provocado porque al momento de estirar la probeta, las moléculas se tiemplan y se separan unas de otras, y obviamente las moléculas que se han desplazado no pueden volver a su posición original, el material no se comporta como un cuerpo elástico, sino como un sólido plástico.

Tabla 3. 26. Promedio de esfuerzo y deformación antes de la rotura de los baldes ensayados

Muestra	Promedio Esfuerzo antes de la rotura de cada balde (MPa)	Promedio de deformación antes de la rotura (%)
Balde 100% C	18,084	884,366
Balde 100% H	26,389	101,033
Balde 20% A + 80% scrap	16,968	1008,40
Balde 100% A	17,958	1007,630
Balde 50% B + 50% scrap	17,064	860,947
Balde 1	17,884	1087,110

Fuente: Albarracín, V., 2017.

Como se puede observar en la tabla, los productos que están fabricados con scrap, es decir, con reciclado de plástico, tienen menor resistencia a la tracción que los otros baldes cuales están hechos sin reciclado, el balde que mejor resistencia tiene es el que está fabricado con PP, el cual es muy resistente al impacto como a la tracción.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El índice de fluidez es un indicador para el control de calidad de las materias primas, y también nos permite tener una medida cualitativa de la degradación que han sufrido las muestras a medida que son reprocesadas, este valor se mide en un plastómetro de extrusión, este parámetro nos permite observar la variación de la viscosidad, velocidad de corte, índice de fluidez de un polímero con otro, pero del mismo tipo.

Con el ensayo de índice de fluidez se pudo constatar que a medida que incrementa el índice de fluidez de un polímero, la velocidad de corte de este polímero aumenta, y por ende su viscosidad disminuye, esto pasa porque al calentarse el polímero, este se reblandece y disminuye su densidad, aumenta su volumen, las moléculas se mueven, se separan unas de otras, hasta que eventualmente fluyen.

La viscosidad está determinada por variables del proceso como temperatura, velocidad de corte y presión, como se pudo ver, a mayor índice de fluidez, menor viscosidad, ya que a mayor temperatura mayor separación entre las moléculas, menores fuerzas de atracción, y por ende menor viscosidad.

La degradación es otro de los factores que afecta la viscosidad de los plásticos, esta cambia la estructura química de las moléculas del plástico, al romperse la cadena disminuye el tamaño de la molécula, y al entrecruzarse aumenta el tamaño de la molécula.

Al incrementar la temperatura, las moviidades de las cadenas del polímero aumentan, y de esta manera fluyen aumentando el volumen libre y por ende disminuyen su densidad. Con la presión, en cambio, al incrementarla, reduce la movilidad de las cadenas y por ende se incrementa su viscosidad.

Los plásticos PEAD, PLBD, PP se comportan como fluidos no newtonianos, es decir, su viscosidad varía con la temperatura, no tienen un valor de viscosidad definido y constante. A baja velocidad de flujo, las moléculas del plástico están enmarañadas, existe mucha fricción entre ellas. Al aumentar la velocidad de flujo, las moléculas se desenmarañan, es decir, se desovillan, y se orientan, ya que la fricción es menor y pueden fluir más fácilmente, es decir, la viscosidad del plástico disminuye cuando la velocidad de flujo aumenta.

Los productos que tienen reciclado de plástico (scrap) presentan una menor resistencia al impacto, es decir, necesitan menor cantidad de energía para fracturar su probeta, y también presentan una menor resistencia a la tracción, las propiedades de este material disminuyen considerablemente.

Las mezclas para la fabricación de las tapas de los baldes de cinco galones no son las mejores, ya que esta no es homogénea, los índices de fluidez bajan considerablemente comparando desde la materia prima al producto terminado, incrementando su viscosidad. Esto da a entender que la homogenización entre estas materias primas no es la mejor.

Las mezclas para la fabricación de las tapas de los baldes de 1 galón son bien homogéneas, son ideales para este producto, ya que no se ve una variación significativa en los resultados de índice de fluidez ni viscosidad.

Los principales problemas de los productos elaborados con scrap, es que en estos se disminuyen las propiedades mecánicas de los productos debido a el scrap, el cual ya fue reprocesado y sufrió degradación.

Como se pudo observar en la resistencia al impacto, las probetas de los baldes que fueron hechos con 50% scrap y 50% B, como también 20% A + 80% scrap disminuyen considerablemente su resistencia al impacto, por lo que se comprueba que el scrap disminuye considerablemente esta propiedad.

4.2 Recomendaciones

Verificar parámetros de la máquina y el molde, variables establecidas del procesamiento, temperatura, presión, tiempos.

Realizar calibraciones periódicas de las máquinas del proceso de inyección pesada para no tener problemas con los productos elaborados.

El índice de fluidez debe ser una propiedad de control de calidad de las materias primas en la fábrica, por ende, la empresa debería adquirir un plastómetro para asegurar la calidad de estas materias primas.

Los productos plásticos fabricados con reciclado de plástico (scrap) pueden ser fabricados con un aditivo, como cargas y refuerzos, como fibras, orgánicas e inorgánicas que aumentan las propiedades mecánicas resistentes tales como resistencia al impacto y a la tracción. Los estabilizantes también podrían ser una buena opción para impedir el deterioro del polímero provocado por la luz UVA.

Se debería fabricar un producto (balde) con 80% PEAD y 20% scrap a fin de comprobar si las propiedades mecánicas se reducen considerablemente, ya que está comprobado que al usar un 50% de scrap o más, disminuyen las propiedades mecánicas del producto considerablemente.

La empresa debería comprobar las propiedades mecánicas de sus productos elaborados, para ellos puede hacer la adquisición de un equipo para medir la resistencia al impacto y uno para medir la resistencia a la tracción de los mismos.

Tener un control en el proceso de cada producto que se fabrica en inyección pesada por turno, el cuál debe estar archivado físico y electrónicamente, para que sea de fácil acceso al momento de que alguna persona desea verificar con qué tipo de material, bajo qué condiciones, en qué porcentajes se fabricó tal producto.

Controlar la materia prima que ingresa a la fábrica, aprobar sólo la materia prima que se pidió desde un principio con su respectivo código e índice de fluidez, si llegase una carga de la misma materia prima, pero con diferente código o índice

de fluidez no dejarla ingresar. Los problemas futuros serían para la empresa, no para el proveedor.

Cada pallet de producto terminado debe ser revisado antes de la entrega a un cliente por seguridad, y así evitar cualquier tipo de reclamos.

Poner en funcionamiento el reloj que está marcado en cada producto, en este caso, en los baldes, para así llevar una trazabilidad de cuándo se fabricó este.

Llevar una trazabilidad de todos los productos de la empresa hasta el usuario final, en caso de que exista un reclamo saber qué tipo de material se usó en ese producto, cuál fue el tipo de proceso para ese producto, en qué máquina se trabajó, bajo qué condiciones, en qué fecha.

Hacer mantenimiento a las máquinas cada cierto tiempo para no tener problemas con los productos fabricados.

Hacer ensayos normalizados a los productos fabricados en la empresa para mejorar la calidad de estos.

Tener una bodega sólo para producto en proceso, otra para producto terminado ósea para distribuirlo, y otra para la materia prima estrictamente etiquetada y almacenada.

Tener un etiquetado para los productos que se fabrican en la empresa, rotulación de los mismos, para evitar confusiones con otros productos de fechas anteriores.

La empresa debería hacer la compra de un mezclador mecánico para homogenizar toda la mezcla sin problemas al momento de hacer un producto.

Con respecto a las mezclas para la fabricación de las tapas de los baldes de cinco galones, debería realizarse con un índice de fluidez de 10 PLBD, ya que este otorga resistencia y a la vez flexibilidad a las tapas al momento de que el consumidor las quiera abrir.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Ballesteros, M. N. (2005). Tecnología de proceso y transformación de materiales. España: Ediciones UPC.
- [2]. Billmeyer, F. W. (2004). Ciencia de los Polímeros (Primera edición ed.). Barcelona: Reverté.
- [3]. Callister, W. D. (2007). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volume 2. México: Editorial Reverté.
- [4]. D.W. Van Krevelen, K. t. (2009). Properties of Polymers: : Their Correlation with Chemical Structure; their numerical estimation and prediction from Additive group contributions. Oxford: Editorial Elsevier.
- [5]. Dennis B. Malpass, E. B. (2013). Introduction to Industrial Polypropylene: Properties, Catalysts Processes (tercera edición ed.). Canadá: Editorial Scrivener.
- [6]. Flory, P. J. (1995). Principles of Polymer Chemistry. Estados Unidos: Library Materials.
- [7]. Groover, M. P. (1997). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. México: Prentice Hall.
- [8]. John William Hill, D. K. (1999). Química para el nuevo milenio. USA: Prentice Hall.
- [9]. Juan J. Iruin, M. J.-B. (1996). Fundamentals de Ciencia de Polimeros: Un Texto Introductorio. USA: Editorial Technomic.
- [10]. Maribel Beltrán Rico, A. M. (2012). Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. España: Universidad de Alicante.
- [11]. Peacock, A. (2000). Handbook of Polyethylene: Structures: Properties, and Applications. Estados Unidos: Editorial Marcel Dekker.

- [12]. Raimond B. Seymour, C. E. (2002). Introducción a la química de los polímeros. Florida: Editorial Reverté.
- [13]. Robert F. Landel, L. E. (1994). Mechanical Properties of Polymers and Composites. New York: Editorial Marcel Dekker, Inc.
- [14]. Serope Kalpakjian, S. R. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Prentice Hall.
- [15]. Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastomer, ASTM D1238. (2010). Estados Unidos.
- [16]. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM D638. (2010). USA.
- [17]. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM D256. (2010). Estados Unidos.
- [18]. Tripathi, D. (2002). Practical Guide to Polypropylene. Shawbury: Editorial Rapra.

ANEXOS

Tabla A. 1. Espesor, anchura y longitud calibrada de las probetas del producto 100% A

Probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud calibrada (mm)
1	2,3810	5,6030	25
2	2,3780	5,5890	25
3	2,3870	5,6430	25
4	2,3320	5,4920	25
5	2,3930	5,4870	25

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla A. 2. Espesor, anchura y longitud calibrada de las probetas del producto 20% A + 80% scrap

Probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud calibrada (mm)
1	2,4110	5,6140	25
2	2,3680	5,6720	25
3	2,3520	5,6240	25
4	2,4070	2,3520	25
5	2.2980	2,2980	25

Fuente: Albarracín V., 2017.

Tabla A. 3. Espesor, anchura y longitud calibrada de las probetas del producto 100% C

Probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud calibrada (mm)
1	2,3200	5,4840	25
2	2,3090	5,5790	25
3	2,3850	5,6200	25
4	2,3690	5,6259	25
5	2,3960	5,5410	25

Fuente: Albarracín V., 2017.

**Tabla A. 4. Espesor, anchura y longitud calibrada de las probetas del producto 50%
B + 50% scrap**

Probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud calibrada (mm)
1	2,2950	5,6480	25
2	2,3250	5,6390	25
3	2,2930	5,6180	25
4	2,3850	5,6740	25
5	2,2900	5,6930	25

Fuente: Albarracín V., 2017.

**Tabla A. 5. Espesor, anchura y longitud calibrada de las probetas del producto
100% H**

Probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud calibrada (mm)
1	1,2420	5,6740	25
2	1,3810	5,6680	25
3	1,2900	5,6570	25
4	1,2710	5,6910	25
5	1,3460	5,7110	25

Fuente: Albarracín V., 2017.

**Tabla A. 6. Espesor, anchura y longitud calibrada de las probetas del producto
Balde 1**

Probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud calibrada (mm)
1	2,3640	5,5520	25
2	2,3680	5,6720	25
3	2,4830	5,5290	25
4	2,4150	5,6660	25
5	2,4720	5,4720	25

Fuente: Albarracín V., 2017.



Figura A. 1. Tapa del balde de 5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Figura A. 2. Tapa del balde de 2,5 galones

Fuente: Albarracín V., 2017.



Figura A. 3. Tapa del balde de 1 galón

Fuente: Albarracín V., 2017.



Figura A. 4. Calibrador Vernier

Fuente: Albarracín V., 2017.



Figura A. 5. Reciclado de plástico

Fuente: Albarracín V., 2017.



Figura A. 6. Materia virgen PEAD

Fuente: Albarracín V., 2017.

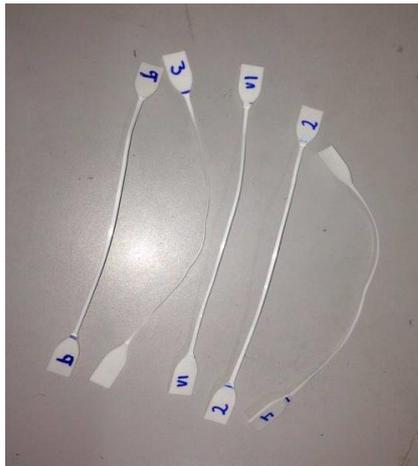


Figura A. 7. Probetas del balde 100% C

Fuente: Albarracín V., 2017.

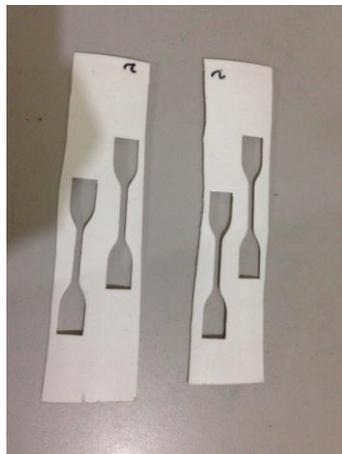


Figura A. 8. Forma de las probetas troqueladas de los baldes

Fuente: Albarracín V., 2017.



Figura A. 9. Probetas del balde 50% B + 50% scrap

Fuente: Albarracín V., 2017.

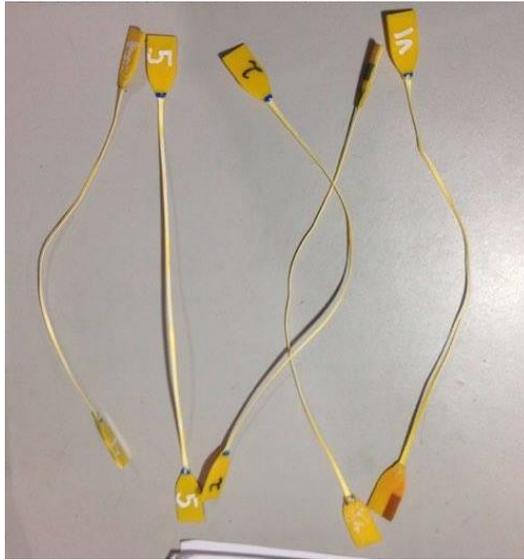


Figura A. 10. Probetas del balde 1

Fuente: Albarracín V., 2017.

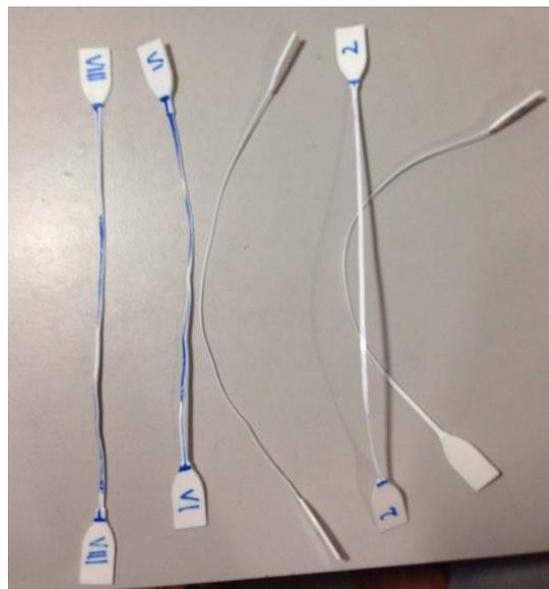


Figura A. 11. Probetas del balde 100% A

Fuente: Albarracín V., 2017.

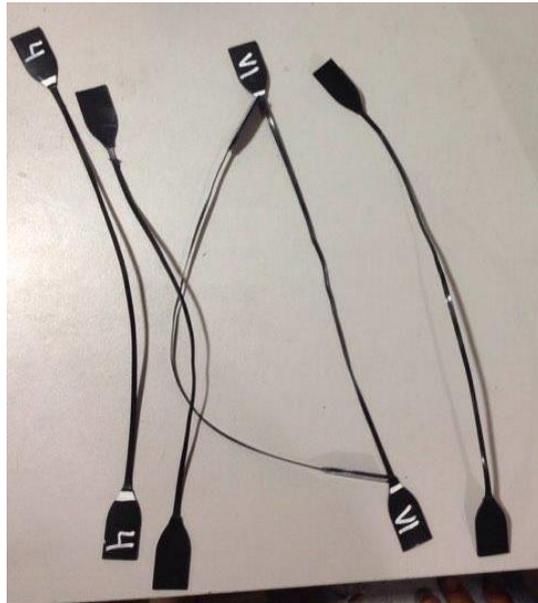


Figura A. 12. Probetas del producto 80% scrap + 20% A

Fuente: Albarracín V., 2017.

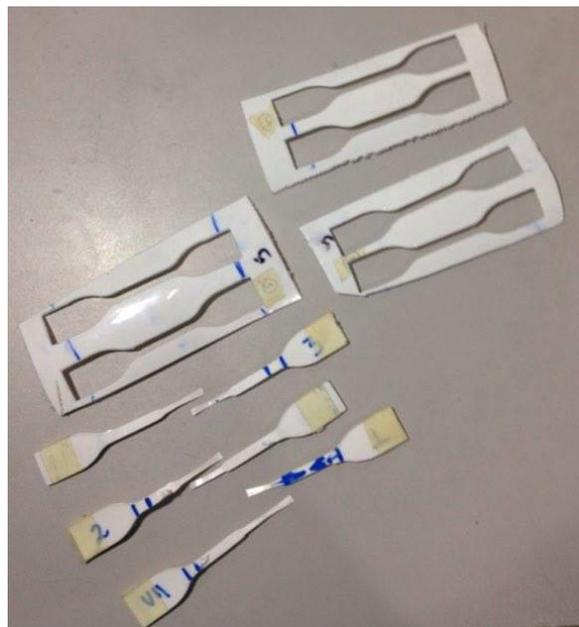


Figura A. 13. Probetas del balde 100% H

Fuente: Albarracín V., 2017.

