

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias Naturales y Matemáticas

" Propuesta para la identificación de los defectos en la
fabricación de envases de línea pesada de una industria de
aceites lubricantes"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Carlos Johao Chiriboga Carrillo
Dayana Gisela Morán Romero

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, a mis padres José Luis Chiriboga y Narcisa Carrillo sin el apoyo de ellos no estaría donde estoy, por demostrarme que con constancia se puede lograr lo que te propones, quienes a pesar de la distancia siempre han estado presentes en mis logros y en mis fallas, a mi hermano Jean Paul Chiriboga Carrillo por estar siempre conmigo cuando lo necesitaba, por todos los consejos que me diste a lo largo de la vida y por la compañía, hoy me toca a mí, pronto te tocara a ti y sé que serás un profesional de excelencia.

A mis abuelitas Bertha y Piedad quienes a pesar de que ya no se encuentran con nosotros siempre me supieron guiar, a mis tíos Carlos y Paty por acogerme en su hogar, a mi tía Jacqueline y a mis primos Geancarlos y Eder con quienes siempre cuento ante alguna adversidad.

Johao

El presente proyecto se lo dedico a mi papá Elio Morán por su apoyo incondicional durante todos los años de estudio dedicándome parte de tiempo de su trabajo para que pueda cumplir mis objetivos. A mi madre Nancy Romero por siempre darme palabras de aliento y de superación a lo largo de mi carrera preocupándose en todo momento por lo que realizaba en el estudio.

A mi abuelito Félix Morán a pesar de que no se encuentra ya con nosotros siempre confió en mi esperando que realizara cosas grandes y dejará en alto el apellido de la familia. A mis hermanas, a mis abuelos, a mis tíos y primos porque me motivan a querer superarme y ser un ejemplo por seguir.

Dayana Morán

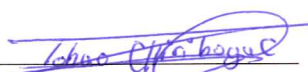
AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a M.Sc. Jenny Venegas por guiarnos en el transcurso de la realización de este proyecto, con su conocimiento y experiencia esto no se hubiese llevado a cabo, al Laboratorio de Ensayos Metrológicos y Materiales (LEMAT) por su ayuda en la disposición de los equipos necesarios para la realización de nuestras pruebas, a M.Sc. Grace Vera y M. Sc. José Pilataxi por dedicarnos parte de sus tiempos en la realización de los ensayos. Al Laboratorio de Operaciones Unitarias por la disposición de sus instalaciones para la realización de nuestro proyecto.

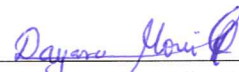
A ESPOL y a los maestros que formaron parte de nuestra formación académica, guiándonos hacia la formación de profesionales con conciencia en mejorar el futuro del país.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Carlos Johao Chiriboga Carrillo, Dayana Gisela Morán Romero y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Carlos Johao
Chiriboga Carrillo



Dayana Gisela
Morán Romero

EVALUADORES



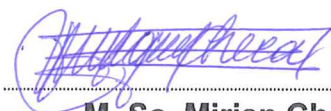
M. Sc. Michael Rendon Morán

PROFESOR TUTOR



M. Sc. Jenny Venegas Gallo

PROFESOR CO-TUTOR



M. Sc. Mirian Checa

PROFESOR MATERIA

RESUMEN

Una industria de plásticos de Guayaquil que se encarga de la producción de envases de línea pesada de 5 galones de polipropileno para el envasado de aceite lubricante de producción propia, presentó problemas en la prueba de calidad de apilamiento realizada al producto terminado. Al poseer un inventario grande de envases es necesario identificar el problema en la producción del envase, evitando de esta manera pérdidas por devolución de material no apto para el envasado y a la vez que no se realice la comercialización del aceite envasado.

Bajo este escenario, se plantea una propuesta de identificación de defectos en dichos envases bajo el análisis de la materia prima, masterbatchs, baldes y tapas mediante pruebas de laboratorio como índice de fluidez (ASTM D1238), calorimetría diferencial de barrido (ASTM D3418-12), análisis termogravimétrico (ASTM E1131-98), medición de espesores, prueba de apilamiento e impacto (Norma técnica colombiana NTC 3717).

Al realizar la prueba de índice de fluidez se obtuvo que de las materias primas muestreadas sólo dos de las cuatro cumplieron con la hoja técnica del proveedor; los baldes elevaron su índice de fluidez considerablemente por lo que existe degradación del material debido a las temperaturas de procesamiento; las tapas bajaron en cuanto a su índice de fluidez debido a que emplean una mezcla en la que se incluye un polietileno de baja densidad generando una mezcla incompatible con la repercusión de envejecimiento prematuro del producto final.

Además, se encontró en la medición de espesores que la materia prima en mezcla con masterbatch no llena correctamente el molde ya que se presentan inconsistencias con valores aberrantes de espesor en cada uno de los seis cortes elaborados para el análisis.

Palabras Clave: polipropileno, materia prima, baldes, tapas, índice de fluidez, espesor.

ABSTRACT

An industry of plastics in Guayaquil that is in charge of the production of heavy line containers of 5 gallons of polypropylene for the lubricant oil packaging by themselves production presented problems in the quality test of stacking realized at the final product. They have a big inventory of containers and for that reason is necessary to identify the problem in the production of the container because in that way they avoid losses for the devolution of material in bad conditions for the packaging of the oil and to not commercialize it.

Under this description, a proposal for the identification of defects in the containers is proposed by the analysis of containers, masterbatch, buckets and buckets lids under laboratory tests like flow rate (ASTM D1238), differential scanning calorimetric (ASTM D3418-12), thermogravimetric analysis (ASTM E1131-98), thickness measurement, stacking and impact tests. (Norma técnica colombiana NTC 3717)

At the moment that we realized the flow rate we obtained that the raw materials sampled only two coincidence with the flow rate in the data sheet delivered by the provider, the flow rate of the buckets increase considerably because of that the raw material has been degraded by the high temperatures of processing, for the buckets lids the flow rate decrease because they used a mix that included a low density polyethylene that made a incompatible mixture with the consequence of early oldness in the final product.

Besides that, we found in the thickness measurement that the mix of raw material and masterbatch not cover all the mold because of the inconsistencies found like aberrant values of thickness in the six cuts applied for the analysis.

Keywords: polypropylene, raw material, buckets, buckets lids, flow rate, thickness.

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM American Society for Testing and Materials
ASEPLAS Asociación Ecuatoriana de Plásticos
LEMAT Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales
NTC Norma Técnica Colombiana
DSC Calorimetría Diferencial de Barrido
TGA Análisis Termogravimétrico
PE Polietileno
PP Polipropileno
PS Poliestireno
PVC Policloruro de Vinilo
PET Politereftalato de etileno
MR Masterbatch Rojo
MP Masterbatch Plata
MA Masterbatch Azul
MB Masterbatch Blanco
MN Masterbatch Negro
TR Tapa Roja
TN Tapa Negra
TP Tapa Plata
TM Tapa Mezcla
BB Balde Blanco
BR Balde Rojo
BN Balde Negro
BP Balde Plata
BM Balde Mezcla
Q1 Cuartil 1
Q3 Cuartil 3

SIMBOLOGÍA

°C Grados centígrados

% Porcentaje

Kg Kilogramos

g Gramos

mg Miligramos

min Minutos

cm Centímetros

mm Milímetros

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
DECLARACIÓN EXPRESA.....	III
EVALUADORES.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Marco teórico.....	6
1.4.1 Polímeros.....	6
1.4.2 Polipropileno	7
1.4.3 Técnicas de transformación de los polímeros.....	8
1.4.4 Moldeo por inyección del polipropileno	8
1.4.5 Masterbatch	13
1.4.6 Pruebas y ensayos de polímeros.....	14
CAPÍTULO 2.....	17
2. Metodología.....	17
2.1 Recolección de muestras	17
2.2 Pruebas realizadas en materia prima y producto terminado.	18
2.3 Equipos y metodología	18
2.3.1 Ensayo de índice de fluidez	18
2.3.2 Prueba termogravimétrica (TGA).....	19
2.3.3 Prueba de calorimetría diferencial de barrido (DSC)	19
2.3.4 Medición de espesor en baldes y tapas.....	20
2.3.5 Prueba de impacto por caída libre y apilamiento	21

CAPÍTULO 3.....	23
3. Resultados y análisis.....	23
3.1 Índice de fluidez	23
3.1.1 Materia prima: polipropileno.....	23
3.1.2 Materia prima: masterbatchs	28
3.1.3 Baldes.....	30
3.1.4 Tapas.....	36
3.2 Espesores	41
3.2.1 Baldes.....	41
3.2.2 Tapas.....	52
3.3 Prueba de calorimetría diferencial de barrido.....	53
3.4 Prueba de termogravimetría (TGA)	54
3.5 Prueba de Apilamiento e Impacto	56
CAPÍTULO 4.....	57
4. Conclusiones y recomendaciones.....	57
4.1 Conclusiones.....	57
4.2 Recomendaciones.....	60
5. Bibliografía	61
ANEXOS.....	63
Anexo A. Hojas técnicas de las materias primas	63
Anexo B. Datos obtenidos en el ensayo de índice de fluidez.....	64
Anexo C. Mediciones de espesores de baldes y tapas.....	69

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1 Cuadro red conceptual de los polímeros	6
Figura 1.2 Equipo para moldeo por inyección	9
Figura 2.1 Plastómetro (ASEPLAS).....	18
Figura 2.2 Diagrama altura de cortes desde la base	20
Figura 2.3 Diagrama altura de cortes desde la base	20
Figura 2.4 Probetas para medición de espesor baldes	21
Figura 2.5 Probetas para medición de espesor tapas	21
Figura 3.1 Termograma de baldes BR-2 BN-3 BP-4	53
Figura 3.2 TGA temperatura de degradación	54
Figura 3.3 TGA temperatura de fusión	55
Figura 3.4 Prueba de Apilamiento de Baldes	56

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1 Diagrama de cajas de índice de fluidez P-16.....	24
Gráfica 3.2 Diagrama de cajas de índice de fluidez P-44.....	25
Gráfica 3.3 Diagrama de cajas de índice de fluidez P-20.....	26
Gráfica 3.4 Diagrama de cajas de índice de fluidez P-25.....	27
Gráfica 3.5 Diagrama de cajas general de índice de fluidez de materias primas: polipropileno	28
Gráfica 3.6 Diagrama de cajas general de índice de fluidez de materias primas: masterbatchs	29
Gráfica 3.7 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BB-1.....	31
Gráfica 3.8 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BR-2.....	32
Gráfica 3.9 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BN-3.....	33
Gráfica 3.10 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BP-4.....	34
Gráfica 3.11 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BM-5	35
Gráfica 3.12 Diagrama de cajas de índice de fluidez de los baldes	36
Gráfica 3.13 Diagrama de cajas índice de fluidez tapa TR-1	37
Gráfica 3.14 Diagrama de cajas índice de fluidez tapa TN-2	38
Gráfica 3.15 Diagrama de cajas de índice de fluidez tapa TP-3.....	39
Gráfica 3.16 Diagrama de cajas de índice de fluidez tapa TM-4	40
Gráfica 3.17 Diagrama de cajas de índices de fluidez de tapas	41
Gráfica 3.18 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BB-1	42
Gráfica 3.19 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BB-1	42
Gráfica 3.20 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BR-2	44
Gráfica 3.21 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BR-2.....	44
Gráfica 3.22 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BN-3	46
Gráfica 3.23 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BN-3.....	46
Gráfica 3.24 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BP-4	48
Gráfica 3.25 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BP-4	48
Gráfica 3.26 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BM-5.....	50
Gráfica 3.27 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BM-5.....	50
Gráfica 3.28 Diagrama de cajas de espesores cortes de tapas.....	52

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1 Factores en el control de proceso.....	11
Tabla 1.2 Problemas en proceso de inyección.....	12
Tabla 2.1 Codificación para polipropileno en pellets	17
Tabla 2.2 Codificación para masterbatch	17
Tabla 2.3 Codificación para tapas	17
Tabla 2.4 Codificación para baldes	17
Tabla 3.1 Índice de fluidez de materia prima polipropileno.....	23
Tabla 3.2 Estadística de índice de fluidez P-16.....	24
Tabla 3.3 Estadística de índice de fluidez P-44.....	25
Tabla 3.4 Estadística de índice de fluidez P-20.....	26
Tabla 3.5 Estadística de índice de fluidez P-25.....	27
Tabla 3.6 Índice de fluidez de masterbatchs	29
Tabla 3.7 Índice de fluidez de baldes	30
Tabla 3.8 Estadística de índice de fluidez balde BB-1.....	31
Tabla 3.9 Estadística de índice de fluidez balde BR-2	32
Tabla 3.10 Estadística de índice de fluidez balde BN-3	33
Tabla 3.11 Estadística de índice de fluidez balde BP-4.....	34
Tabla 3.12 Estadística de índice de fluidez balde BM-5.....	35
Tabla 3.13 Índice de fluidez de tapas	36
Tabla 3.14 Estadística de índice de fluidez tapa TR-1	37
Tabla 3.15 Estadística de Índice de fluidez tapa TN-2	38
Tabla 3.16 Estadística de índice de fluidez tapa TP-3.....	39
Tabla 3.17 Estadística de índice de fluidez tapa TM-4	40
Tabla 3.18 Estadística de espesores de cortes verticales balde BB-1	43
Tabla 3.19 Estadística de espesores de cortes horizontales balde BB-1	43
Tabla 3.20 Estadística de espesores cortes verticales balde BR-2	45
Tabla 3.21 Estadística de espesores cortes horizontales balde BR-2.....	45
Tabla 3.22 Estadística de espesores cortes verticales balde BN-3.....	47
Tabla 3.23 Estadística de espesores cortes horizontales balde BN-3.....	47
Tabla 3.24 Estadística de espesores cortes verticales balde BP-4	49
Tabla 3.25 Estadística de espesores cortes horizontales balde BP-4	49
Tabla 3.26 Estadística de espesores cortes verticales balde BM-5.....	51

Tabla 3.27 Estadística de espesores cortes horizontales balde BM-5	51
Tabla 3.28 Estadísticas de espesores cortes de tapas	53

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La industria de plásticos en el Ecuador emplea materia prima importada, ya que en el país no existe una industria dedicada a la elaboración de polímeros sintéticos; es por este motivo que se tiende a comprar en grandes cantidades para cubrir un periodo estimado por la industria para la fabricación de los productos. (El telégrafo, 2015)

El poseer un conocimiento sólido para la elaboración de productos plásticos es indispensable cuando se realiza la compra de grandes cantidades de materia prima, ya que se tiene que elegir cuál es la apropiada para el procesamiento y que a su vez genere un producto que pueda ser comercializado cumpliendo con estándares de calidad.

La empresa de lubricantes ubicada en la ciudad de Guayaquil en el kilómetro 16.5 en la vía Daule la cual se encarga de la elaboración de sus propios envases para la venta de aceite lubricante los cuáles deben de cumplir pruebas de calidad que permitan que los consumidores obtengan un producto en buenas condiciones. Por ende, la elaboración de un buen envase es de gran importancia ya que debe de ser atractivo a la vista del comprador y el asegurar la preservación del aceite.

Esta empresa posee problemas en sus envases de 5 galones de polipropileno blanco, azul, negro, rojo y plata, presentando fallas en una de las pruebas de calidad que se realiza al producto final obtenido; como resultado se presenta un producto no conforme ocasionando el retorno de los envases enviados hacia la planta en donde se realiza el envasado del aceite lubricante.

Estos envases poseen problemas en la prueba de apilamiento presentando una deflexión en la parte inferior del balde por lo que ocasiona que estos envases no

puedan ser empleados para la distribución del aceite lubricante. Este problema no permite que dicho aceite salga al mercado originando pérdidas para la empresa.

La empresa no cuenta con conocimiento científico sobre plásticos. Para el procesamiento del polímero se basan en la experiencia del personal encargado de esa área e información que el proveedor de la materia prima brinda a la empresa.

Una mala elección en cuanto a materia prima y aditivos o un mal procesamiento de ésta genera problemas en la estructura del polímero, ocasionando así que el envase no sea apto para el almacenado del aceite. (Caicedo, Crespo, De la Cruz, & Álvarez, 2017) Como resultado no cumplen con sus estándares de calidad por lo que no se realiza la comercialización del producto generando pérdidas monetarias.

De acuerdo con esto, el presente proyecto se basa en la identificación de defectos que posee el producto final determinando así el origen de las fallas. Mediante el análisis respectivo se brinda a la empresa las alternativas de mejora cumpliendo los estándares de producción de los baldes para el envasado del aceite lubricante.

1.1 Descripción del problema

La empresa de lubricantes se encarga de la producción de sus propios envases plásticos para sus aceites lubricantes en su planta de producción en la ciudad de Guayaquil. Los baldes de polipropileno de 5 galones presentan fallas estructurales que se corroboraron con un estudio de control de calidad realizado por la misma. Su principal problema se genera en la prueba de apilamiento, ya que, los baldes se deforman.

Los baldes que presentan este problema se consideran como productos no conforme, y por ende no se emplean en el envasado del aceite lubricante; al tratarse de una misma empresa, la producción de baldes limita la fabricación de este, por ello, al no tener baldes suficientes no se puede realizar la comercialización de dicho aceite lubricante.

Este problema se inició con la compra de materia prima a otro proveedor. Entre las materias primas que poseen se encuentran: homopolímero y copolímero de polipropileno, además del masterbatch de polietileno de colores blanco, rojo, negro, azul y plata que se emplean en la producción de estos baldes.

La empresa no posee información acerca de la compatibilidad del polipropileno y el masterbatch que emplean por lo que usan las hojas técnicas que los proveedores facilitan. Se presume que si las materias primas empleadas difieren en punto de fusión podrían ocasionar problemas en el procesamiento de los baldes.

Además, la empresa carece de insumos para la implementación de un laboratorio para la verificación de la materia prima que ingresa a la empresa por lo que realizan la compra en base a asesoramientos y la aceptan confiando en la hoja técnica que el proveedor envía.

1.2 Justificación del problema

Dentro de la industria de plásticos, la materia prima que es importada se tiende a comprar en grandes cantidades.(El telégrafo, 2015) Por la falta de insumos y laboratorios, ésta no puede ser verificada por los compradores. En base a esto, para su procesamiento hacen uso de la hoja técnica brindada por el proveedor y en la experiencia de los operadores para determinar las variables de operación.

El control de calidad se realiza al producto terminado. Se determina si el primer lote de procesamiento cumple con las características deseadas, por lo que es en este momento en donde se visualiza problemas con las materias primas al no generar las características deseadas en el producto. Esta verificación tardía, genera pérdidas tanto económicas y retrasos en la producción.

Algunos de los problemas generados por las materias primas defectuosas, se pueden corregir modificando algunas variables de operación.(Caicedo et al., 2017) En esta industria es muy importante el conocimiento del operador, de carecer del mismo, no sería capaz de identificar cómo corregir estos problemas. De manera que los problemas estructurales generados se visualizarán en el proceso de control de calidad o al momento de envasar el aceite.

El aceite comercializado en baldes defectuosos genera problemas, al momento de almacenar los mismos en bodegas pierden toda oportunidad comercial generando grandes pérdidas para la empresa y promoviendo una mala imagen en el medio.

Con este proyecto se pretendió analizar las propiedades físicas de la materia prima y se corroboró los datos que se encuentran en las hojas técnicas. Como punto de partida se realizó un control de calidad a las materias primas anteriormente compradas, además de analizar el proceso de producción del balde.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Establecer una propuesta de identificación de defectos en la fabricación de envases de línea pesada de una industria de aceites lubricantes

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar el índice de fluidez de las materias primas en existencia en la fábrica mediante pruebas de laboratorio.
2. Comparar el índice de fluidez de las materias primas con el de la hoja técnica generada por el proveedor.
3. Realizar las pruebas de calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico a los envases de línea pesada.
4. Verificar el producto terminado mediante medición de espesores y pruebas de impacto y apilamiento.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Polímeros

Los polímeros son macromoléculas constituidas por monómeros que están unidos por enlaces covalentes. Los eslabones orgánicos están constituidos fundamentalmente por átomos de carbono, estas moléculas constituyen el material plástico. (Hermida, 2011)

Entre los polímeros más usados tenemos:

- Polietileno de alta y baja densidad (PE)
- Polipropileno (PP)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Poliestireno (PS)
- Politereftalato de etileno (PET), entre otros.(Robson, 2004)

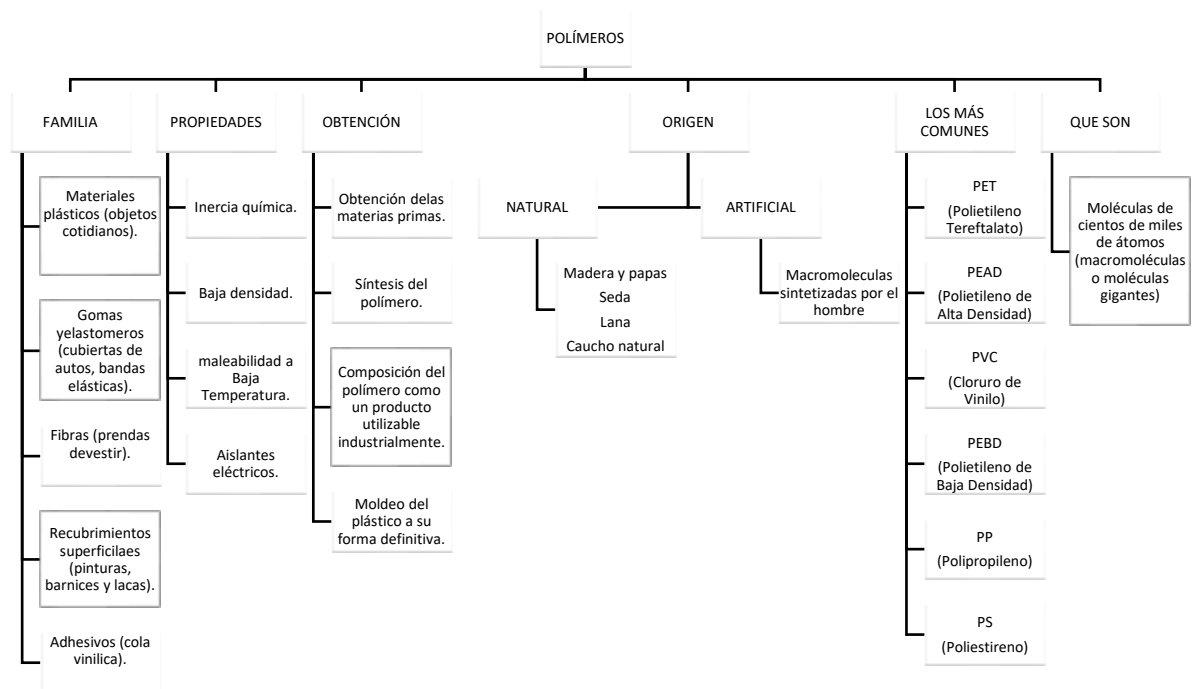


Figura 1.1 Cuadro red conceptual de los polímeros

Fuente: (Maier & Calafut, 1998)

1.4.2 Polipropileno

El polipropileno es un termoplástico muy versátil, es compatible con varias técnicas de procesamiento y es usado comercialmente en muchas aplicaciones. Es uno de los polímeros de más rápido crecimiento con una cuota en el mercado de 6-7% por año y el volumen producido de polipropileno es superado solo por el policloruro de vinilo (PVC) y el polietileno (PE).

Su costo accesible y las propiedades que presenta el polipropileno contribuyen al crecimiento de este material. Es uno de los termoplásticos más ligeros, así que necesitan menos cantidad de material para obtener piezas acabadas. (Hernandez, 2015)

Tiene una excelente resistencia química, la cual incluye resistencia a solventes orgánicos, exceptuando agentes oxidantes muy fuertes. Presenta una alta resistencia al calor, ya que se ablanda a temperaturas mayores a las 150°C. Es resistente a los golpes y se dobla fácilmente por lo que es usado como material para bisagras. (Corso, Dominguez, & Diaz, 2016)

Debido a las varias propiedades que presenta el polipropileno lo hacen útil para diferentes aplicaciones como: fibras, películas, piezas moldeadas por inyección para automóviles, envases rígidos, equipos médicos, entre otros.

El polipropileno se encuentra disponible en una alta variedad de tasas de flujo de fusión, que van desde 0.3 hasta 1000 g/min. Aunque es fácilmente reciclable puede ser procesado por prácticamente todos los métodos incluyendo moldeo por inyección, soplado, extrusión y termoformado. (Maier & Calafut, 1998b)

El polipropileno es comercializado como homopolímero y como copolímero en donde su estructura se encuentra etileno, estos pueden ser copolímero random, copolímero random de bajo etileno y el copolímero de impacto. A nivel industrial se le agregan ciertos tipos de aditivos que realizan la función de mejorar las propiedades mecánicas y químicas del polímero. (Hernandez, 2015)

1.4.3 Técnicas de transformación de los polímeros

Existen diferentes técnicas para el procesamiento de los polímeros dependiendo de la naturaleza de este, si es termoplástico o termoestable. Para la transformación de los termoplásticos se emplea una gran variedad de técnicas en las que el polímero se calienta a una temperatura cercana a la de su punto de fusión adquiriendo así una viscosidad baja. El polímero se funde o es inyectado dentro de un molde, o es pasado por una boquilla para adquirir la forma solicitada. (Hermida, 2011)

Entre los métodos de transformación se encuentran:

- Extrusión.
- Moldeo por soplado.
- Moldeo por inyección.
- Conformado al vacío.
- Calandrado.
- Hilado.
- Moldeo por compresión.
- Moldeo por transferencia.
- Colado. (R. Seymour & Carraher, 2002)

1.4.4 Moldeo por inyección del polipropileno

Es uno de los métodos más característicos en la industria de los plásticos, el cual consiste en calentar el material hasta fundirlo, para luego introducirlo mediante presión al molde, donde se enfriará a una temperatura adecuada para que las piezas se puedan extraer sin deformarse. (Cornish, 2000)

Las características de gran importancia para el proceso de inyección son la configuración química, la estabilidad, la cristalinidad, el peso molecular y la distribución, entre otros. En este proceso el comportamiento reológico de los

materiales también es importante ya que un plástico que sea demasiado viscoso no llenara el molde de forma adecuada. (Beltrán. M, 2013)

El proceso de inyección se divide en dos fases, la primera es la fundición y la segunda ya en el molde es la inyección, en las máquinas usadas en la industria el material en forma de pellets ingresa a un cilindro de calefacción mediante el uso de una tolva que se ubica en la parte superior de este. El material es calentado y fundido en el cilindro, el cual hace que circule hasta la parte delantera del mismo debido al movimiento rotatorio del tornillo que se ubica en la parte interior de este.

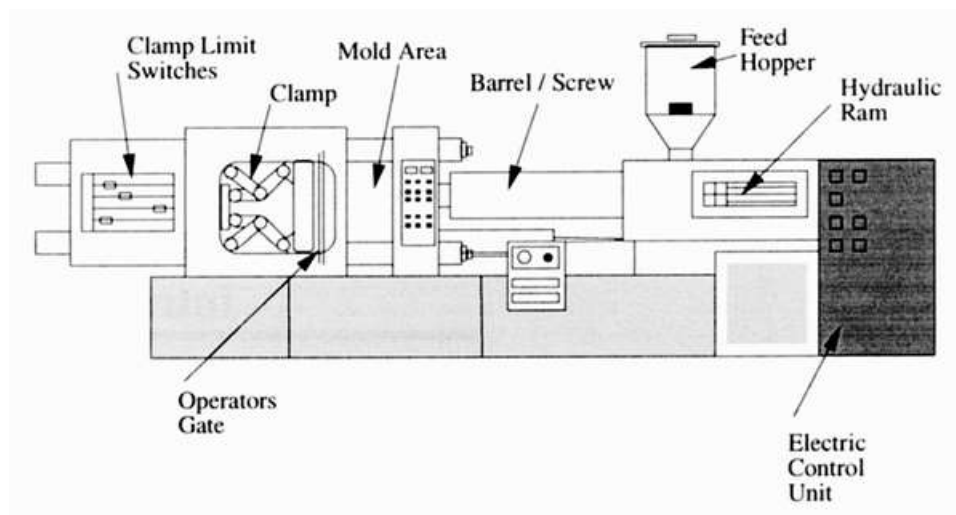


Figura 1.2 Equipo para moldeo por inyección

Fuente: (Maier & Calafut, 1998)

Durante la inyección el material fundido se acumula en el tornillo específicamente en la parte posterior, por lo cual al girar este debe retroceder lentamente. Cuando ya se encuentra el material fundido en gran proporción y se ha acumulado en la parte delantera de este se detiene el giro y mediante un movimiento axial hacia la parte delantera el tornillo procede a detenerse, por lo cual el material se dirige hacia el molde el cual debe de encontrarse cerrado mediante la boquilla de inyección. (Bases & Procesado, 2014)

1.4.4.1 Descripción del proceso

El proceso de inyección es simple. El material plástico se calienta hasta fundirse y convertirse en una masa viscosa, esta masa es forzada a ingresar en un molde el cual contiene la forma específica del artículo que se quiere producir, el material plástico se enfría hasta y se convierte en un sólido para luego ser extraído del molde. (ISA, 2012)

El principio por inyección puede ser muy simple, pero la práctica del moldeo es más compleja debido al comportamiento que pueden presentar los plásticos cuando están fundidos y a la capacidad que presenta el proceso para acabar productos terminados. Los principales mecanismos en el proceso de inyección son el flujo de presión y la transferencia de calor. (Beltrán, M., 2013)

1.4.4.2 Factores de control en el proceso de inyección

Existen factores de control que se deben tomar en cuenta para un proceso de inyección de las cuales son interdependientes como la temperatura, tiempo, distancia, velocidad, presión y perfil.

Al realizar la verificación respectiva del equipo se debe de tomar en cuenta cada uno de estos factores ya que estas van a permitir la realización de un buen proceso de inyección siempre y cuando el material escogido sea el correcto para el producto a elaborar.

Tabla 1.1 Factores en el control de proceso

Temperatura	Tiempo	Distancia	Velocidad	Presión	Perfil
Fundición	Cambio	Cambio	Tornillo de rotación	Cambio	Presión de inyección
Molde	Abierto	Abierto rápido	Golpe de inyección	Inyección	Velocidad de inyección
Boquilla	Retraso de transporte	Abierto lento	Carro	Pico	Presión de mantenimiento
Zonas de barrido	Influencia	Expulsar	Pausa lenta	Mantenimiento	
Alimentación	Transporte de respaldo	Absorber de nuevo	Abierto rápido	Detrás	
Pellets	Retraso en el arranque del tornillo	Disparo	Abierto lento	Boquilla de retención	
	Enfriamiento	Amortiguador	Expulsar	Abrazadera cerrada	

Fuente: (Maier & Calafut, 1998)

1.4.4.3 Problemas comunes en el proceso de inyección

A escala industrial es necesario solucionar los problemas en el menor tiempo posible y en especial cuando se produce grandes lotes. El proceso de inyección es un proceso continuo en donde se fijan las variables de operación tales como la máquina, la materia prima, el molde, equipos anexos de ser necesario, el acabado del producto, etc. de las cuáles va a depender el producto final.

Sin embargo, el realizar un proceso perfecto es imposible y alguna vez se ha presentado problemas generando productos no conformes por lo que se debe de tomar acciones rápidas para evitar la pérdida de material, tiempo y por ende retraso en la producción. (Aguirre, 2013)

Tabla 1.2 Problemas en proceso de inyección

Problema	Posible causa	Sugerencia
Inyecciones cortas	Alimentación insuficiente	Incremento de alimentación
	Presión insuficiente	Incremento de la presión
	Temperatura de fusión baja	Alargar ciclo Aumento gradual de la temperatura Aumento en la velocidad del tornillo
	Corto tiempo de inyección	Incremento
	Puesta en marcha con boquilla fría	Colocar calentador en la boquilla
	Molde muy frío	Reducir el flujo del refrigerante
	Aire atrapado en el molde	Añadir o limpiar la válvula
	Capacidad de plastificación inadecuada	Incremento en el tiempo del ciclo
Vacío	Material volátil sobrecalentado	Reducir calefacción
	Condensación en gránulos	Pre secado Mejora en almacenamiento
	Congelación prematura de la ruta de flujo a la sección más grande	Incremento en la presión Incremento en la temperatura del molde Agrandar las puestas
Defectos superficiales cerca de la puerta	Molde muy frío	Incremento en la temperatura del molde Incremento en la presión Incremento de la velocidad de inyección
	Molde muy caliente	Molde frío cerca de la puerta
Flash	Presión de inyección excesiva	Reducción de presión
	Flujo de temperatura excesivo	Reducir calefacción
	Insuficiente fuerza de sujeción	Incremento
Marcas de flujo	Flujo de temperatura muy bajo	Incrementar calefacción
Fragilidad	Temperatura de fusión demasiado baja	Incremento en la calefacción
	Molde demasiado frío	Incremento en la temperatura del molde
	Material contaminado	Limpieza de la tolva y barril
	Uso excesivo de triturado	Reducir la proporción de triturado
Quemaduras	Patrón de relleno incorrecto	Reubicación de la puerta
Piezas pegadas	Molde muy caliente	Incremento de refrigerante
	Excesiva presión de inyección	Disminución

Fuente: (Maier & Calafut, 1998)

En la tabla 2.1 se detallan algunos de los problemas que por lo general ocurre en la realización del proceso de inyección y a partir de esta se sugiere una posible causa y un comentario de cómo se podría solucionar; antes de aplicarla es necesario realizar una evaluación previa del problema y concluir si es viable o no la propuesta para corregir la falla.

1.4.5 Masterbatch

También conocido como colorante o master. Se caracteriza por ser una mezcla de una alta concentración de pigmentos o aditivos en una resina en donde por medio de un proceso de calentamiento es colocada para luego ser convertida en pellets. Al poseer en su composición una base de polímero ayuda a la dispersión del color al momento de su procesamiento.

Para la determinación de la calidad del masterbatch se debe de tomar en cuenta el tamaño de partícula del aditivo y como realiza su dispersión. Además de la compatibilidad de la resina en la cual se encuentra el aditivo con el polímero principal del proceso para lograr la dispersión completa del mismo y no ocasionar incidencias en cuanto a las propiedades del polímero afectando la calidad del producto final.(COMEX, 2011)

La concentración de los pigmentos en el masterbatch se encuentra entre el 15 y el 30% los de carácter orgánico mientras que para los inorgánicos hasta un 60%. Al momento de ser empleado en el procesamiento se usan porcentajes entre 1 y 3 con el polímero de proceso.

Entre las ventajas de trabajar con masterbatch se encuentra la fácil manipulación ya que al encontrarse en forma de pellets su pesado se lo realiza rápidamente y el área empleada no se ensucia. Además de no absorber la humedad a diferencia de los que se encuentran en polvo que son de carácter higroscópico.

El masterbatch posee la característica de ser un gran dispersante en el polímero a procesar por lo que a diferencia del polvo no forma grumos afectando a la

dispersión de este. El emplear masterbatch en el procesamiento de polímero puede afectar las variables de operación y posiblemente algunas de las características mecánicas de este. (Storey, 1996)

1.4.6 Pruebas y ensayos de polímeros

1.4.6.1 Índice de fluidez

El índice de fluidez mide la tasa de flujo másico que pasa a través de un capilar, el cual se encuentra en condiciones de temperatura controlada. Es expresado como la cantidad de masa que fluye a través del capilar del equipo denominado plastómetro de extrusión en un tiempo de 10 minutos bajo condiciones de presión y temperatura estándar sometida a una determinada carga. Todos estos factores son indicados en la norma ASTM D-1238 dependiendo del tipo de polímero a analizar.

El índice de fluidez se caracteriza por ser una medida indirecta de la masa molecular y de procesabilidad de termoplásticos. Es inversa a la viscosidad y la masa molecular. Es decir, a mayor índice de fluidez menor es la masa molecular y la viscosidad del polímero e inversamente a menor índice de fluidez mayor es la viscosidad y peso molecular de este. (R. B. Seymour & Carraher, 1995)

Además, se puede relacionar al índice de fluidez con las propiedades del polímero, por lo que a mayor índice de fluidez las propiedades tales como resistencia al impacto y la tensión disminuye. A su vez aumenta la permeabilidad del polímero luego de pasar por los procesos de transformación. (Rodas, 2015)

El índice de fluidez se encuentra relacionado con el peso molecular promedio del polímero de tal manera que si los valores obtenidos en el equipo correspondiente arrojan valores cercanos en cada una de las corridas que se realice el peso del polímero se encuentra distribuido en un rango estrecho, es

decir sin obtener variaciones de cadenas ni muy largas ni muy cortas. Mediante esto se determina si el polímero a procesar es de buena o de mala calidad. (Sepe, 2013)

Según el índice de fluidez que posee el polímero puede ser empleado en los procesos de transformación. Para realizar extrusión de películas este se debe de encontrar entre 0,01 y 6 mientras que para extrusión de perfiles se debe de encontrar entre 0,01 y 1. Para el proceso de moldeo por soplado, por inyección y por rotación siendo 0,1-1, 5-100 y 5-20 respectivamente.

1.4.6.2 Prueba de calorimetría diferencial de barrido

Denominada calorimetría diferencial de barrido (DSC) en la cual se relaciona el cambio de la capacidad calórica de la muestra con la temperatura ya sea que esta se someta a calentamiento o a enfriamiento. Los cambios en el flujo de calor son representados mediante los cambios de la capacidad calórica que experimenta la muestra ya sea que la absorba o la libere.

Los equipos de calorimetría diferencial de barrido miden el flujo de calor, el cual mantiene un equilibrio térmico entre la temperatura de referencia y la muestra. Esto se hace cambiando la corriente que pasa por los calentadores de las cámaras que posee el equipo. Este ensayo se lo realiza bajo la norma ASTM D3418-12.(R. Seymour & Carraher, 2002)

Entre sus aplicaciones se encuentra la determinación de temperaturas de cristalización, sublimación, fusión, ebullición, transición vítrea, etc. Además de ser un indicador de que tan estable térmicamente es un material. En el fenómeno de relajación estructural como medida de la capacidad calorífica aparente. (Venegas-Vásconez, 2017)

1.4.6.3 Prueba de análisis termogravimétrico

En el análisis termogravimétrico (TGA) relaciona la cantidad y rapidez con la que existe un cambio en el peso de un material ya sea en función del tiempo o la temperatura bajo condiciones controladas de presión. Se emplea la norma ASTM E1131-08 y permite determinar la composición de una muestra y la estabilidad de esta a determinadas temperaturas.(Caicedo et al., 2017)

Para esta prueba se usa una balanza sensible para seguir la variación de peso de un polímero en función del tiempo y la temperatura. Los tamaños de las muestras se encuentran en un margen de 0.1 mg hasta 10 g cuyas velocidades de calentamiento se encuentran desde 0.1 hasta 50°C/min. Las velocidades de calentamiento usadas normalmente son 10, 15, 20, 25 y 30°C/min. (R. Seymour & Carraher, 2002)

1.4.6.4 Prueba de impacto

Los ensayos de choque se realizan en máquinas llamadas péndulos, en la que se verifica el comportamiento que presentan los materiales al ser golpeados por una masa conocida, esta masa se deja caer desde una altura determinada, los métodos más utilizados son el Izod y el Charpy. (Medina, 2010)

Otra prueba de impacto es la de caída libre que se encuentra en la norma colombiana NTC 3717 en donde se deja caer un envase lleno del líquido a preferencia de la empresa comercializadora puede ser agua u otro líquido de llenado, a una altura establecida que se puede encontrar entre 0,6 y 1,2 metros y en base a esto se determina que tan resistente es el envase. (ICONTEC, 2012)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Recolección de muestras

Se realiza la primera visita a la empresa el día lunes 28 de mayo del 2018, en esta visita se observó las máquinas inyectoras con las que se trabaja en la producción de baldes de línea pesada con capacidad de 5 galones y las tapas respectivas.

Se realiza una segunda visita y aquí se procede a recopilar información acerca de las materias primas y aditivos con los cuales se trabaja, tales como:

- Hojas técnicas de polipropileno (homopolímero y copolímeros)
- Hojas técnicas de masterbatch de diferentes colores.

Luego se procede con la recolección de muestras de la materia prima y producto terminado en existencia en bodegas, en lo que respecta a:

Tabla 2.1 Codificación para polipropileno en pellets

Polipropileno	P-16	P-44	P-20	P-25
Homopolímero			X	
Copolímero	X	X		X

Tabla 2.2 Codificación para masterbatch

Color	Rojo	Plata	Azul	Blanco	Negro
Código	MR-1	MP-2	MA-3	MB-4	MN-5

Tabla 2.3 Codificación para tapas

Color	Roja	Negra	Plata	Mezcla
Código	TR-1	TN-2	TP-3	TM-4

Tabla 2.4 Codificación para baldes

Color	Puro	Rojo	Negro	Plata	Mezcla
Código	BB-1	BR-2	BN-3	BP-4	BM-5

2.2 Pruebas realizadas en materia prima y producto terminado.

Se realizan seis pruebas:

- Índice de fluidez
- Prueba de calorimetría diferencial de barrido (DSC)
- Prueba termogravimétrica (TGA)
- Prueba de impacto por caída libre y apilamiento
- Medición de espesor

2.3 Equipos y metodología

2.3.1 Ensayo de índice de fluidez

Este ensayo se realiza en base a la Norma ASTM D1238 "Standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer". Para esta prueba se utilizó el Plastómetro de extrusión Tinius Olsen MP993A que se encuentra en el Laboratorio de Procesamiento de plásticos (ASEPLAS).



Figura 2.1 Plastómetro (ASEPLAS)

El equipo utilizado trabaja de acuerdo a la norma con el Procedimiento B, de control de tiempo automático, y se define la temperatura de prueba para el polipropileno a 230°C y con una carga de 2,16 Kg de peso. Se obtienen 4 valores por cada ensayo, siendo el resultado final el promedio de los valores. (ASTM International, 2013)

2.3.2 Prueba termogravimétrica (TGA)

Este ensayo se lo realiza bajo la norma ASTM E1131-98 “Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry” en el laboratorio de LEMAT utilizando el equipo Analizador Térmico SDT de la marca TA modelo Q200. (ASTM International, 2014)

Mediante este método se obtuvo una curva TGA en donde se registran las pérdidas de masa durante un tiempo de exposición con una determinada velocidad de calentamiento.

Para esta prueba se necesitaron 10mg de muestra que se colocaron en crisoles previamente esterilizados con mechero de alcohol, a llama viva durante 15 min. Las condiciones de trabajo utilizadas dependieron del material de estudio, en este caso polipropileno, con una temperatura inicial de 25°C, y calentamiento a razón de 10°C/min, hasta 600°C.

2.3.3 Prueba de calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Este ensayo se lo realiza bajo la norma ASTM D3418-12 “Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry” en el laboratorio de ensayos metrológicos y materiales en el equipo analizador térmico SDT marca TA modelo Q200. (ASTM International, 2004)

Para este ensayo se necesitó que la muestra se encuentre en pedazos muy pequeños por lo que se realizó el corte de esta. Se llevó a cabo el pesado de la muestra, se procedió al encapsulamiento empleando una prensa y se la colocó en el equipo.

Se inició el programa empleando un límite de temperaturas entre 25 y 200°C, con una velocidad de calentamiento de 10°C/min y enfriamiento a una velocidad de 20°C/min. Se obtuvo la respectiva curva en donde se representa la temperatura y velocidad de calentamiento. (Caicedo et al., 2017)

2.3.4 Medición de espesor en baldes y tapas

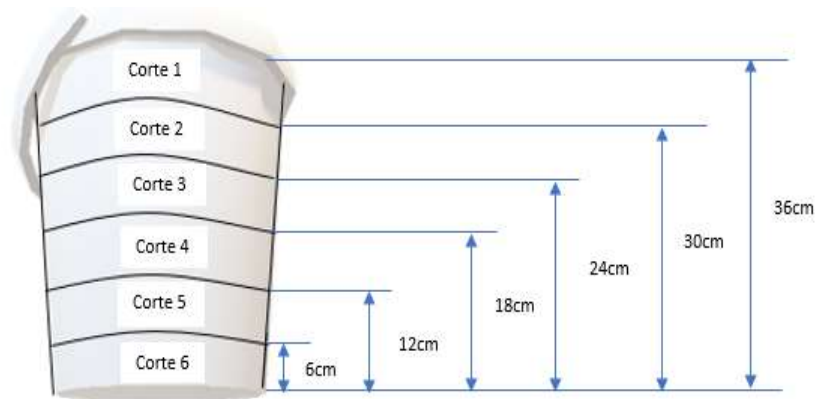


Figura 2.2 Diagrama altura de cortes desde la base

Se realizó la medición de la altura del balde y se realizó la medición de las alturas de los cortes horizontales con una diferencia de 6cm entre corte y corte exepctuando la parte superior del balde en la cual se sella con la tapa.

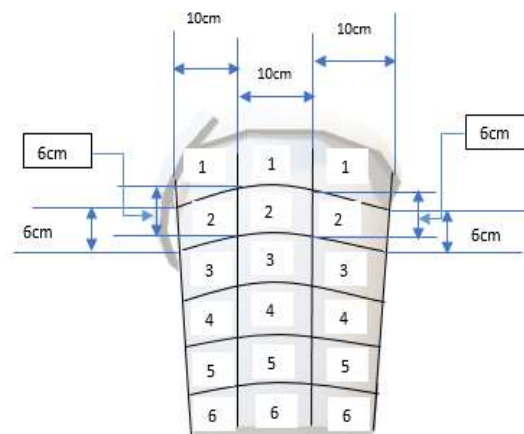


Figura 2.3 Diagrama altura de cortes desde la base

Se midió el diámetro del balde, para luego realizar 6 probetas con medidas de 10x6 cm, con estas probetas se procedió a medir el espesor que presentan los baldes para observar si existe uniformidad en todo el envase.



Figura 2.4 Probetas para medición de espesor baldes

Se realizarón 6 medidas, 4 de forma horizontal cada 2 cm y 2 de forma vertical cada 1,5 cm y se procedió a tabular los espesores obtenidos en cada una de las probetas observadas en la figura 2.4.



Figura 2.5 Probetas para medición de espesor tapas

Para el caso de las tapas se procedió a realizar probetas en forma de triangular, con medidas de 9 cm en ambos lados. Se procede con las mediciones de espesor de las probetas en la figura 2.5 y se tabulan los resultados obtenidos.

2.3.5 Prueba de impacto por caída libre y apilamiento

Para la realización de la prueba de impacto se empleó la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3717. El balde se lo llenó de agua y se lo deja caer desde una altura de 1.2 metros y se observa si existe o no deformación en la estructura del balde registrando resultados. (ICONTEC, 2012)

Para la prueba de apilamiento se usó las condiciones empleadas en la empresa. Se colocó 5 baldes uno encima de otro por un periodo de tiempo, luego se cambió la posición del balde. Estos baldes deben simular que se encuentran llenos del contenido a comercializar por lo que se los llenó con 16,5 Kg de agua y se los selló con sus respectivas tapas. Se realizaron observaciones de los baldes a diario y se reportó cualquier cambio en la estructura de estos.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Índice de fluidez

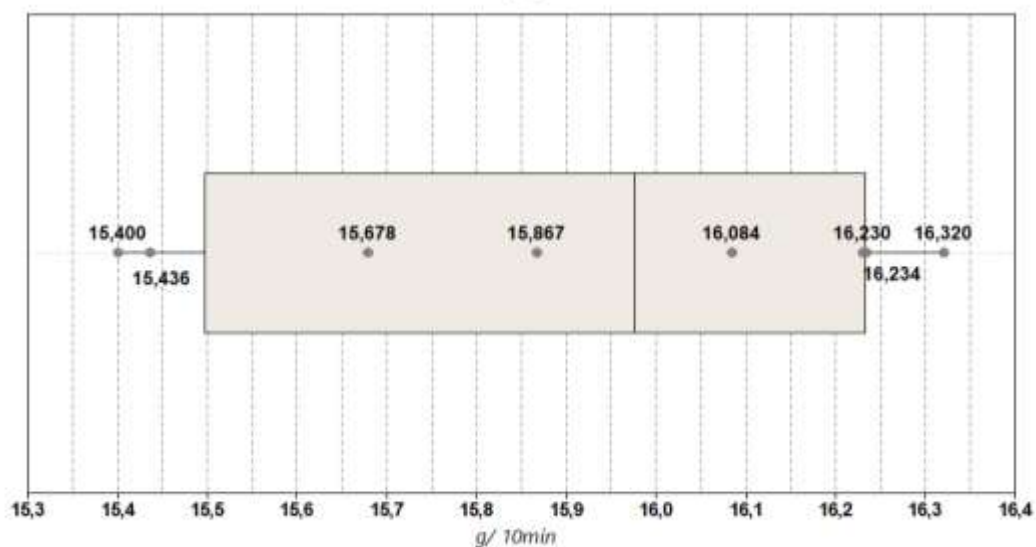
3.1.1 Materia prima: polipropileno

Para realizar esta prueba se recolectó la materia prima utilizada por la empresa para el procesamiento de envases pesados de 5 galones y se procedió a realizar la prueba de índice de fluidez con la finalidad de comprobar el valor presente en la hoja técnica. En la tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3.1 Índice de fluidez de materia prima polipropileno

g/10 min	P-16	P-44	P-20	P-25
1	15,436	11,057	19,276	17,877
2	15,400	11,389	20,041	18,332
3	16,084	11,743	21,040	18,572
4	16,320	12,050	21,670	19,578
5	16,234	11,823	19,365	17,770
6	15,867	11,213	19,659	18,425
7	15,678	11,589	20,158	18,744
8	16,230	11,943	20,984	19,412
Promedio	15,906	11,601	20,274	18,589
Hoja Técnica	16	12	22	23

Con los valores de índice de fluidez, se realizaron diagramas de caja para cada una de las materias primas, y se obtuvo sus estadísticas.



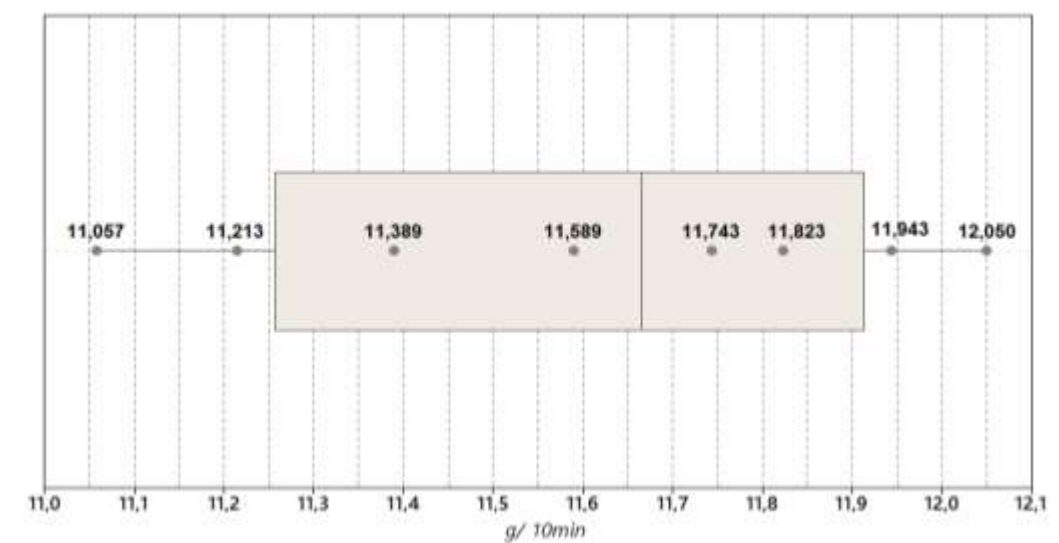
Gráfica 3.1 Diagrama de cajas de índice de fluidez P-16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Estadística de índice de fluidez P-16

Número de Datos	8
Media	15,906
Error Estándar de la Media	0,130
Desviación Estándar	0,368
Mínimo	15,400
Q1	15,497
Mediana	15,497
Q3	16,233
Máximo	16,320

Para la materia prima P-16 en la gráfica 3.1 se observa que no existe una gran dispersión de datos encontrándose en un rango entre 15,400 y 16,320; con una desviación estándar de 0,368 lo cual indica una baja dispersión de datos y una buena distribución del peso molecular del polímero concentrándose el 50% de los datos entre 15,497 y 16,233. Además, la media de los datos es 15,906 con un bajo error en el índice de fluidez indicado en la hoja técnica el cual es de 16 g/10 min por lo que la materia prima entregada cumple con la descripción del proveedor.

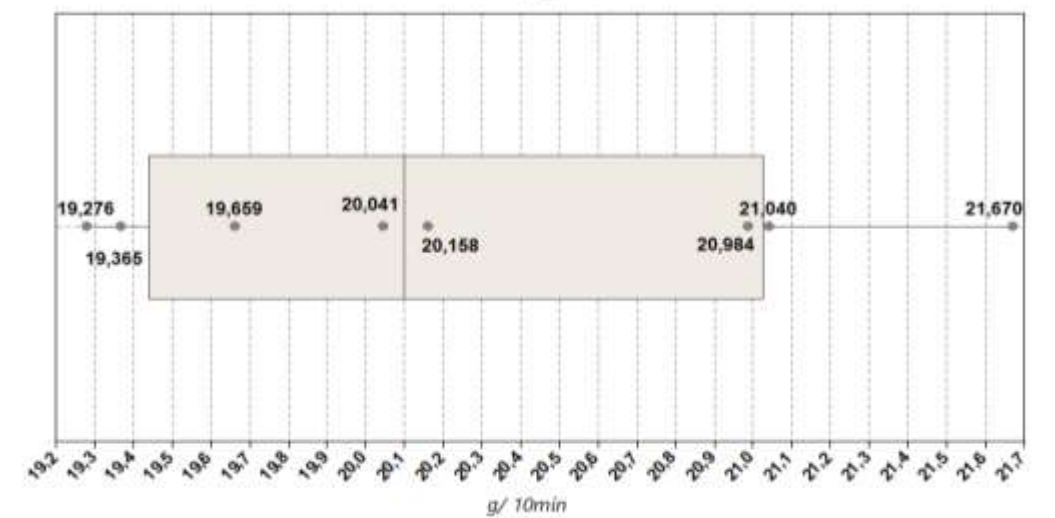


Gráfica 3.2 Diagrama de cajas de índice de fluidez P-44
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Estadística de índice de fluidez P-44

Número de Datos	8
Media	11,601
Error Estándar de la Media	0,125
Desviación Estándar	0,354
Mínimo	11,057
Q1	11,257
Mediana	11,666
Q3	11,913
Máximo	12,050

Para el P-44 en la gráfica 3.2 se presenta una dispersión de datos bajo un rango que se encuentra entre 11,057 y 12,050; con una desviación estándar de 0,354 por lo que la distribución del peso molecular del polímero es buena. Además de una media de 11,601 alejándose un poco del valor de índice de fluidez presente en la hoja técnica, siendo este de 12 g/10 min siendo aceptable dado el error bajo que posee.



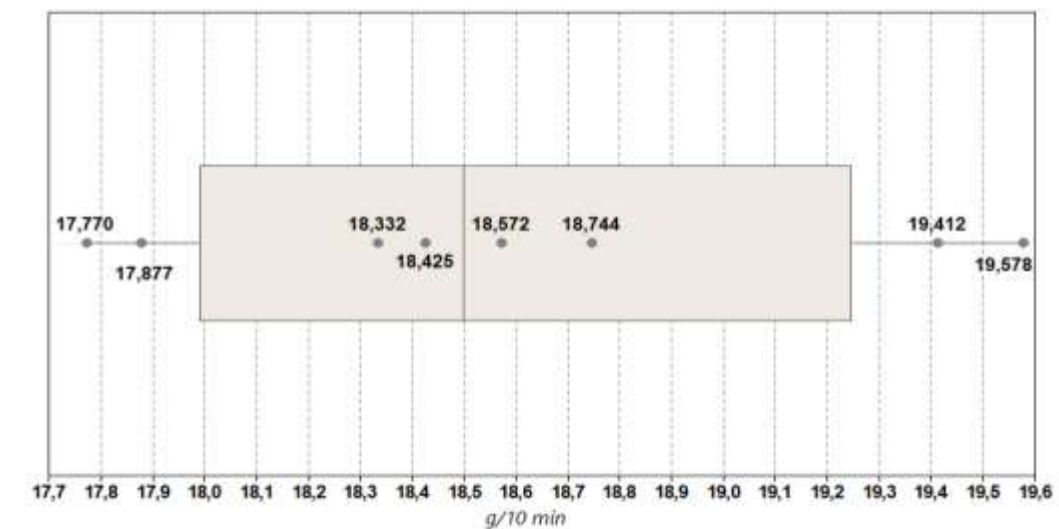
Gráfica 3.3 Diagrama de cajas de índice de fluidez P-20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4 Estadística de índice de fluidez P-20

Número de Datos	8
Media	20,274
Error Estándar de la Media	0,308
Desviación Estándar	0,871
Mínimo	19,276
Q1	19,438
Mediana	20,099
Q3	21,026
Máximo	21,760

La materia prima P-20 en la gráfica 3.3 presenta una mayor dispersión de datos elevándose la desviación estándar a 0,871 y una por lo que la distribución del peso molecular del polímero no es muy buena. Además, posee una media de 20,274 de índice de fluidez alejándose del valor de 22 g/10min indicado en la hoja técnica por lo que esta materia prima no cumple en este parámetro.



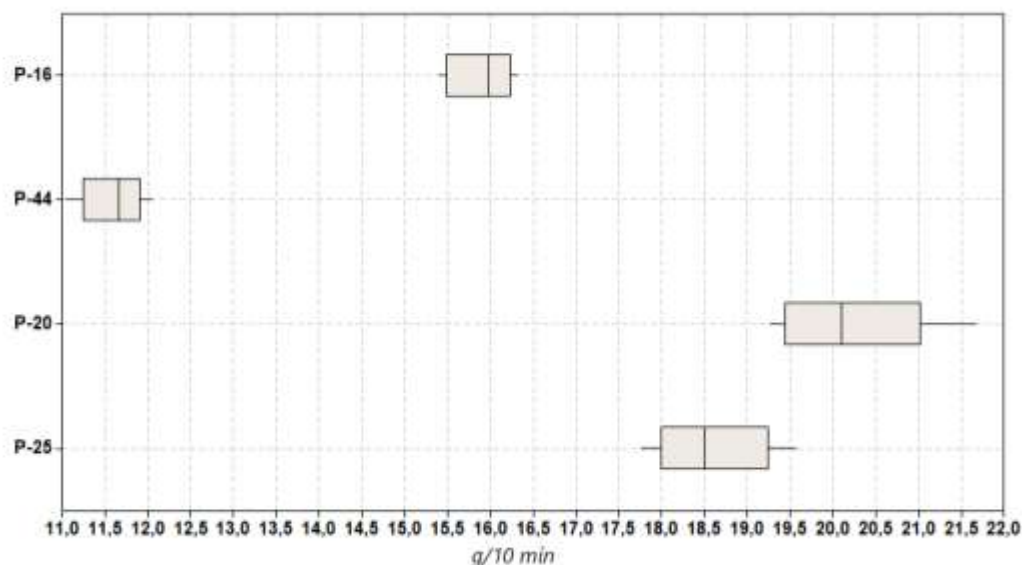
Gráfica 3.4 Diagrama de cajas de índice de fluidez P-25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5 Estadística de índice de fluidez P-25

Número de Datos	8
Media	18,589
Error Estándar de la Media	0,230
Desviación Estándar	0,649
Mínimo	17,770
Q1	17,991
Mediana	18,499
Q3	19,245
Máximo	19,578

P-25 en la gráfica 3.4 posee una desviación estándar de 0,649 por lo que los datos se encuentran dispersos no existiendo una buena distribución de pesos moleculares en la materia prima. Presenta una media de 18,589, valor que se encuentra muy alejado del valor que se describe en la hoja técnica el cual es de 23 g/10min.



Gráfica 3.5 Diagrama de cajas general de índice de fluidez de materias primas: polipropileno

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.5 se observa que los índices de fluidez de las materias primas son diversos en una escala desde 11 hasta 21 y con un mayor rango de dispersión de datos en las materias primas P-20 y P-25 siendo estas de mayor índice de fluidez. La empresa produce baldes principalmente con P-1 mientras que P-44, P-20 y P-25 son considerados como materia prima de prueba en la elaboración de los baldes.

3.1.2 Materia prima: masterbatches

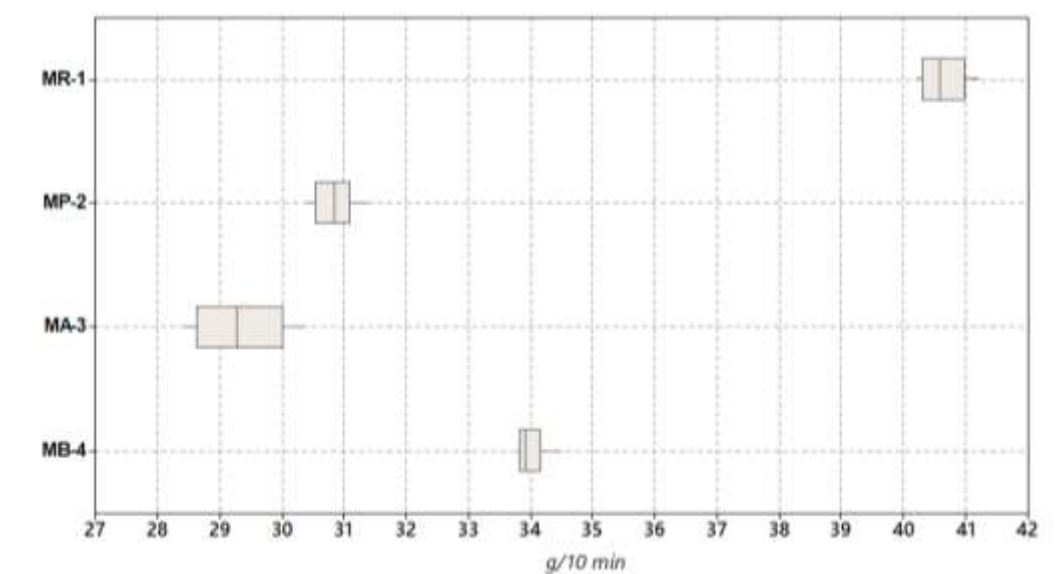
Se realizó la prueba de índice de fluidez a los diferentes masterbatches muestreados. Cabe indicar que las hojas técnicas respectivas no presentan datos de índice de fluidez y que estos se encuentran elaborados con base de polietileno. La cantidad mezclada con polipropileno empleada en la elaboración de los baldes es menor al 2%.

Se determinó el índice de fluidez bajo los parámetros de polipropileno debido a que las temperaturas de fusión de polietileno son bajas en comparación con las

de polipropileno por lo que el proceso de inyección se realizará bajo condiciones de fusión del polipropileno.

Tabla 3.6 Índice de fluidez de masterbatchs

g/10 min	MR-1	MP-2	MA-3	MB-4
1	40,234	31,371	28,410	33,782
2	40,276	30,812	28,441	33,861
3	40,376	30,478	29,206	33,970
4	40,494	30,376	29,317	34,479
5	40,685	30,697	29,185	33,897
6	40,892	31,123	29,728	34,213
7	41,012	30,982	30,106	33,918
8	41,219	30,860	30,339	33,815
Promedio	40,649	30,962	29,342	33,992



Gráfica 3.6 Diagrama de cajas general de índice de fluidez de materias primas: masterbatchs

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.7 se observa poca dispersión de datos los MR-1, MP-2 y MB-4 con un promedio de 40,649, 30,962 y 33,992 respectivamente presentados en la tabla 3.6. El masterbatch MA-3 tiene una mayor dispersión de datos y un índice de fluidez promedio de 29,342 siendo este masterbatch el de menor índice de fluidez de las 4 presentadas en la tabla 3.6.

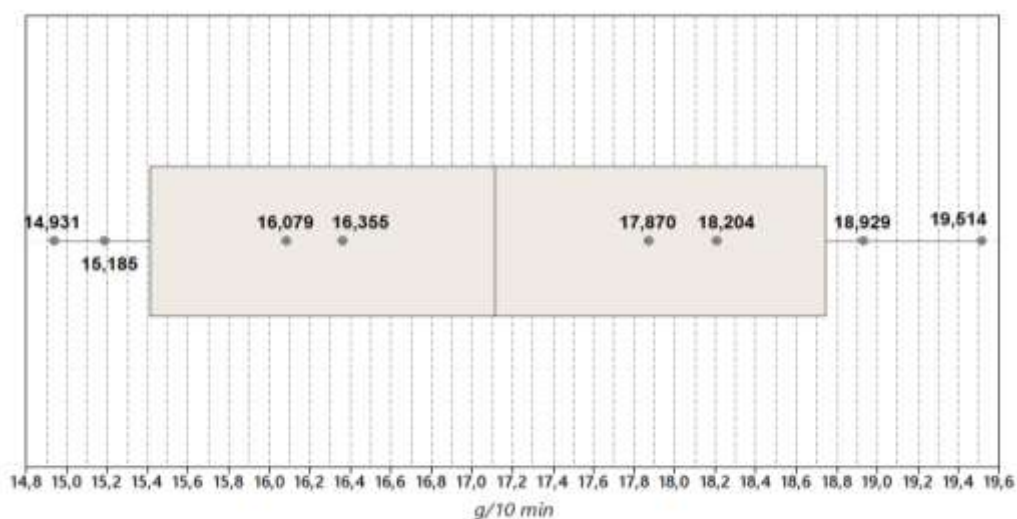
Al realizar la determinación del índice de fluidez del masterbatch negro MN-5 se encontró que no fluye a las condiciones de ensayo de polipropileno a una temperatura de 230°C y una carga de 2,16 Kg.

3.1.3 Baldes

Se realizó un muestreo del producto terminado, para verificar mediante pruebas si la materia prima usada para la fabricación de los diferentes baldes es la misma y conocer si existe degradación de la materia prima, los resultados se presentan en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Índice de fluidez de baldes

g/10 min	BB-1	BR-2	BN-3	BP-4	BM-5
1	14,931	17,161	19,406	18,684	21,189
2	15,185	17,257	20,032	19,665	21,567
3	16,079	17,807	20,733	20,180	21,983
4	16,355	18,210	21,919	21,530	22,472
5	17,870	18,947	22,248	21,856	23,106
6	18,204	19,329	23,490	22,504	23,564
7	18,929	19,816	23,645	22,580	23,706
8	19,514	19,844	24,400	23,598	25,410
Promedio	17,133	18,546	21,984	21,325	22,875



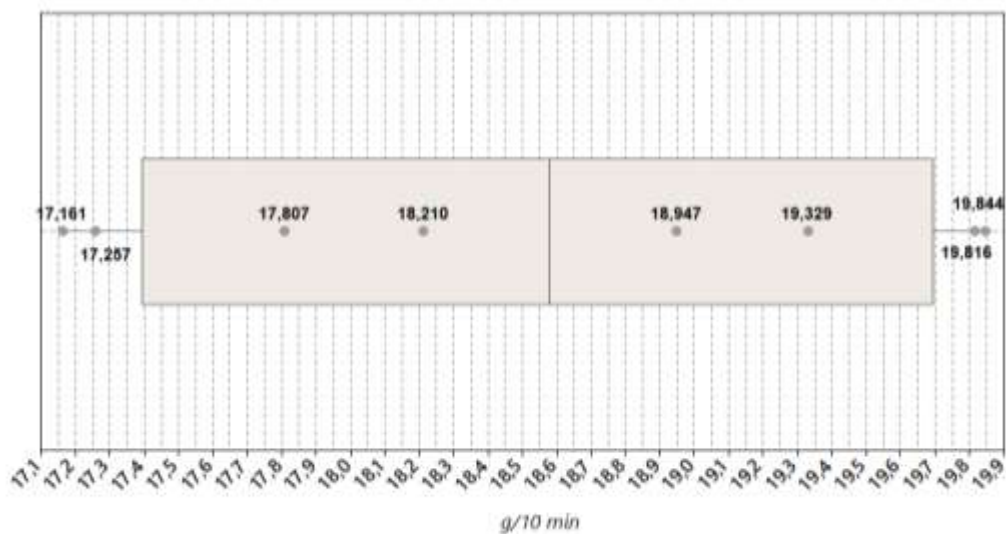
Gráfica 3.7 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BB-1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8 Estadística de índice de fluidez balde BB-1

Número de Datos	8
Media	17,133
Error Estándar de la Media	0,612
Desviación Estándar	1,730
Mínimo	14,931
Q1	15,409
Mediana	17,113
Q3	18,748
Máximo	19,514

Para el balde BB-1 en la gráfica 3.7 se observa una variedad de dispersión de datos alcanzando una desviación estándar considerable de 1,730 además de una media de 17,133 con un intervalo de datos en donde el mínimo es de 14,931 y el máximo de 19,514. El valor de la media se encuentra cercano al de materia prima PP-1 del cual se encuentra elaborado. Al comparar las desviaciones entre la materia prima y el balde analizado existe un aumento por lo que ha existido una degradación en la materia prima.



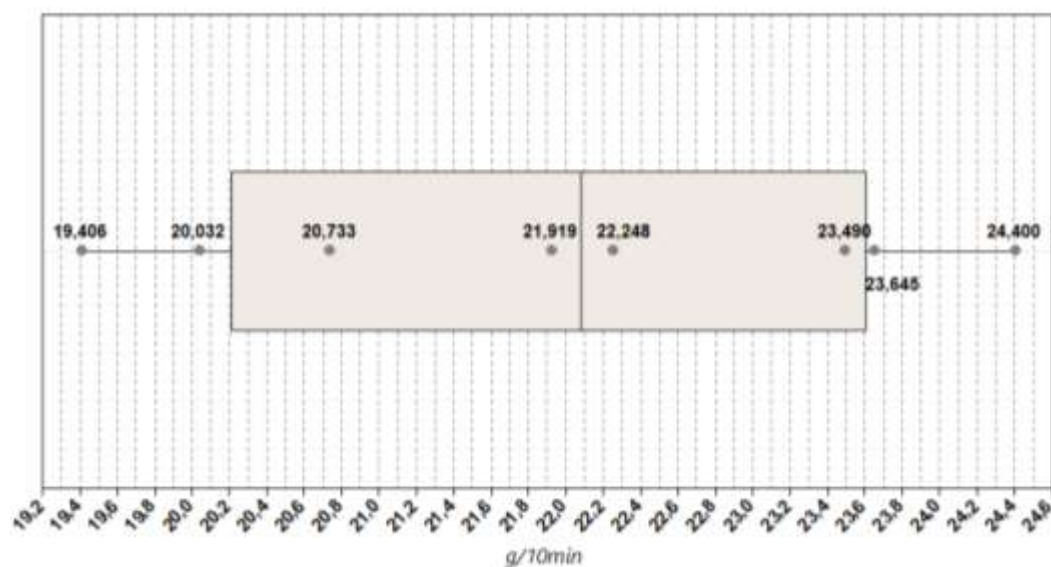
Gráfica 3.8 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BR-2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9 Estadística de índice de fluidez balde BR-2

Número de Datos	8
Media	18,546
Error Estándar de la Media	0,385
Desviación Estándar	1,090
Mínimo	17,161
Q1	17,395
Mediana	18,578
Q3	19,694
Máximo	19,844

El balde BR-2 presenta en la gráfica 3.8 dispersión de datos que se encuentran entre 17,161 y 19,844; con una desviación estándar de 1,090 considerando a esta como alta pero menor a la del balde BB-1. Posee una media de 18,546 alejándose un poco del valor de índice de fluidez de la materia prima PP-1 y una influencia menor al 2% del masterbatch MR-1 por lo que no influye en gran parte al índice de fluidez del balde existiendo degradación de la materia prima en el procesamiento.



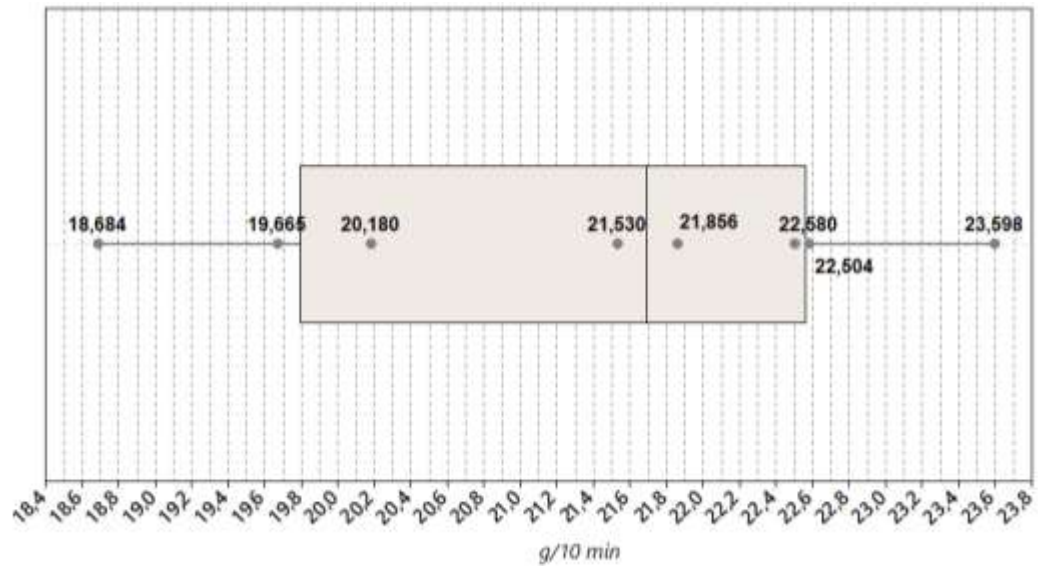
Gráfica 3.9 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BN-3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Estadística de índice de fluidez balde BN-3

Número de Datos	8
Media	21,985
Error Estándar de la Media	0,640
Desviación Estándar	1,811
Mínimo	19,409
Q1	20,207
Mediana	22,084
Q3	23,606
Máximo	24,400

En cuanto al balde BN-3 en la gráfica 3.9 presenta una mayor dispersión de datos que los baldes analizados anteriormente con un rango entre 19,409 y 24,000; con una desviación estándar de 1,811 la cual es considerable. Posee una media de 21,985 existiendo una gran diferencia en cuanto a la materia prima empleada P-16.



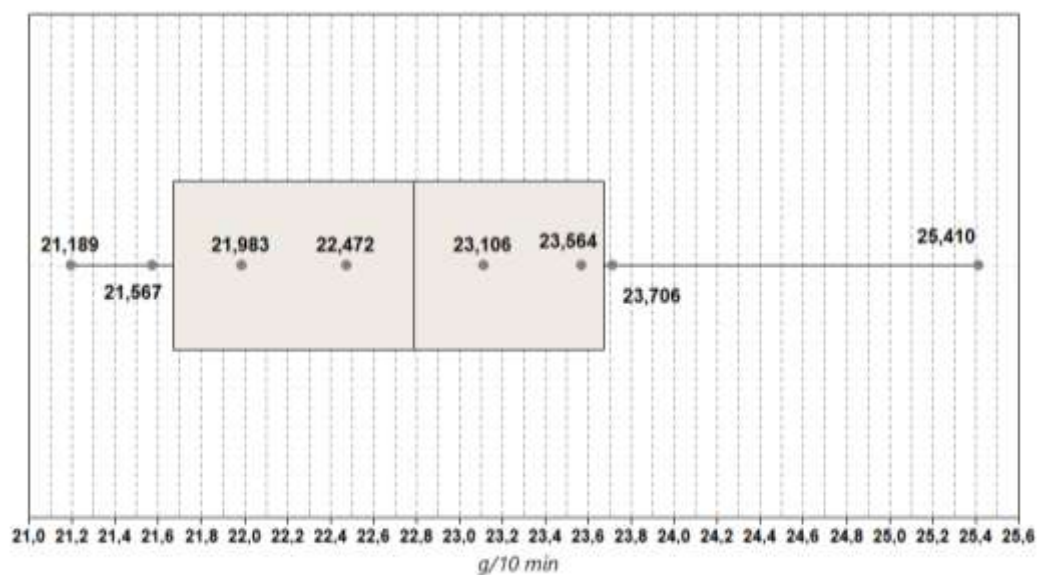
Gráfica 3.10 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BP-4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11 Estadística de índice de fluidez balde BP-4

Número de Datos	8
Media	21,325
Error Estándar de la Media	0,590
Desviación Estándar	1,669
Mínimo	18,684
Q1	19,794
Mediana	21,693
Q3	22,561
Máximo	23,598

En el balde BP-4 se presenta en la gráfica 3.10 gran dispersión de datos al igual que BN-3. Cuenta con un rango entre 18,684 y 23,598 por lo cual posee una desviación estándar elevada de 1,669. Posee una media de 21,325 cercano al valor de la media del balde BN-3.



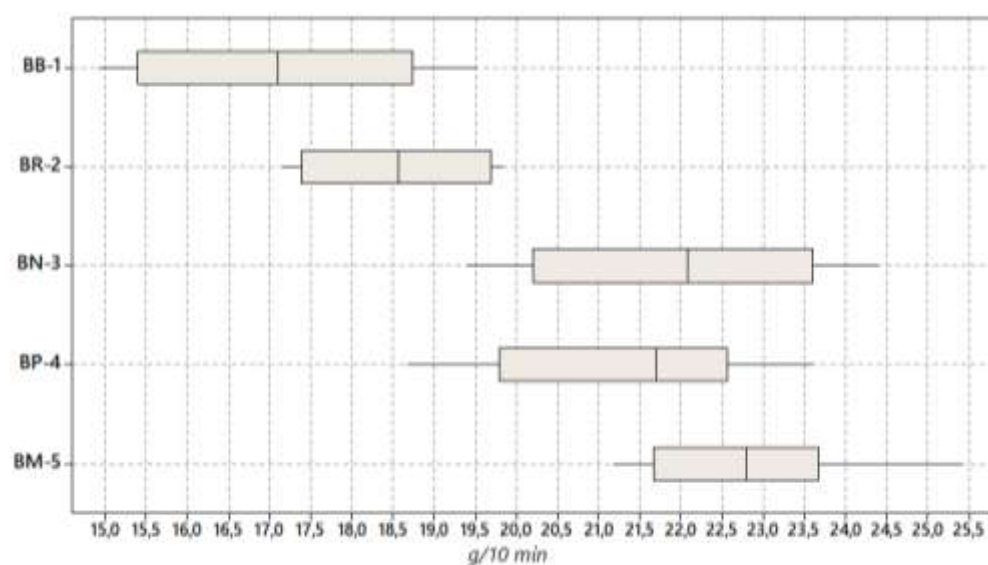
Gráfica 3.11 Diagrama de cajas de índice de fluidez balde BM-5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12 Estadística de índice de fluidez balde BM-5

Número de Datos	8
Media	22,875
Error Estándar de la Media	0,485
Desviación Estándar	1,371
Mínimo	21,189
Q1	21,671
Mediana	22,789
Q3	23,670
Máximo	25,410

Por último, el balde BM-5 el cuál fue elaborado con una mezcla de materias primas P-16 y P-20 se presenta en la gráfica 3.11, se observó que la dispersión de datos varía en un rango de 21,189 y 25,410 por lo que posee una desviación estándar de 1,371. Además de poseer una media 22,875; valor mayor al del balde BP-4.



Gráfica 3.12 Diagrama de cajas de índice de fluidez de los baldes

Fuente: Elaboración propia

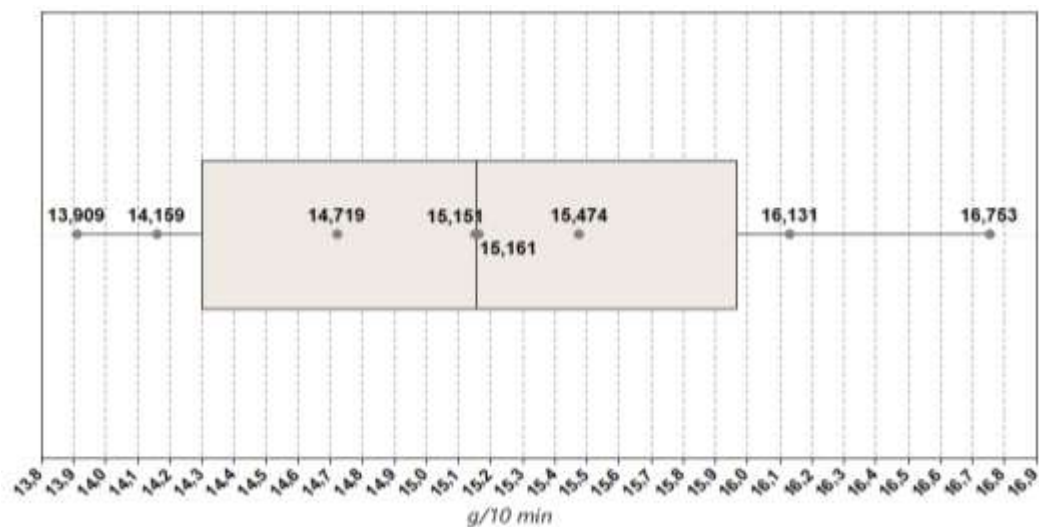
En la gráfica 3.12 se presentan los baldes BB-1, BR-2, BN-3, BP-4 y BM-5 con diversos índices de fluidez, además de que ninguno de estos coincide con la media del otro.

3.1.4 Tapas

Se determinó el índice de fluidez en las tapas para verificar si existe algún inconveniente con estas, en la tabla 3.13 se observan los resultados.

Tabla 3.13 Índice de fluidez de tapas

g/10 min	TR-1	TN-2	TP-3	TM-4
1	13,909	13,592	11,957	20,822
2	14,159	13,893	12,857	21,703
3	14,719	14,097	12,897	21,791
4	15,151	14,432	13,398	22,313
5	15,161	14,883	13,530	22,642
6	15,474	15,140	13,579	22,980
7	16,131	15,439	13,798	23,043
8	16,753	15,562	13,926	23,188

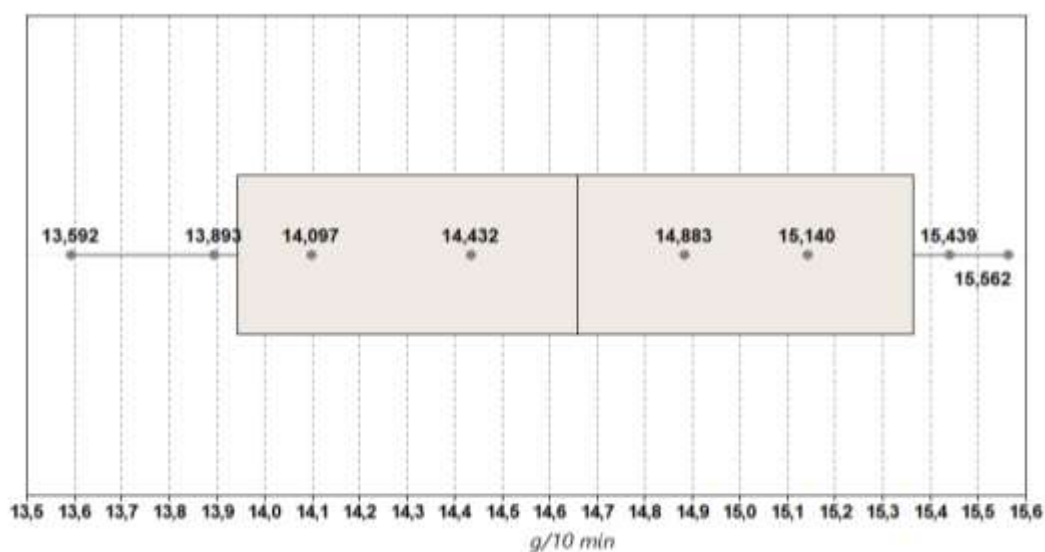


Gráfica 3.13 Diagrama de cajas índice de fluidez tapa TR-1
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14 Estadística de índice de fluidez tapa TR-1

Número de Datos	8
Media	15,182
Error Estándar de la Media	0,336
Desviación Estándar	0,951
Mínimo	13,909
Q1	14,229
Mediana	15,156
Q3	15,967
Máximo	16,753

La gráfica 3.13 muestra el diagrama de cajas de TR-1 en donde se puede observar una gran dispersión de datos, esto se puede corroborar en la tabla 3.14 donde se visualiza una desviación estándar mayor al 90% con respecto a la media que es 15,182.

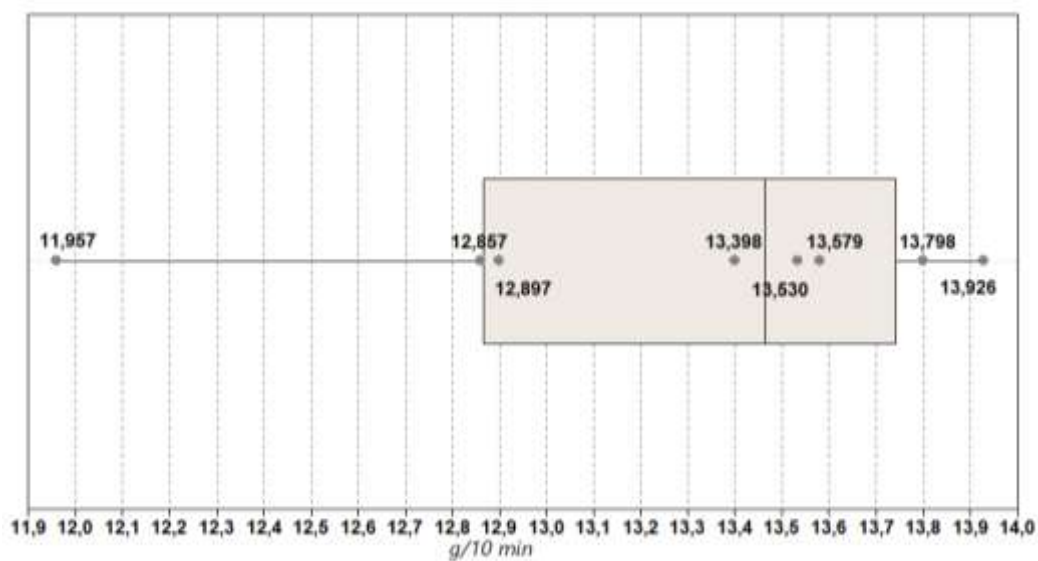


Gráfica 3.14 Diagrama de cajas índice de fluidez tapa TN-2
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15 Estadística de Índice de fluidez tapa TN-2

Número de Datos	8
Media	14,630
Error Estándar de la Media	0,260
Desviación Estándar	0,736
Mínimo	13,592
Q1	13,944
Mediana	14,657
Q3	15,364
Máximo	15,562

Para TN-2 en la gráfica 3.14 el rango de dispersión de datos se encuentra entre 13,592 y 15,562; con una desviación estándar de 0,736 menor a la del balde TR-1 y una disminución de la media a 14,630.



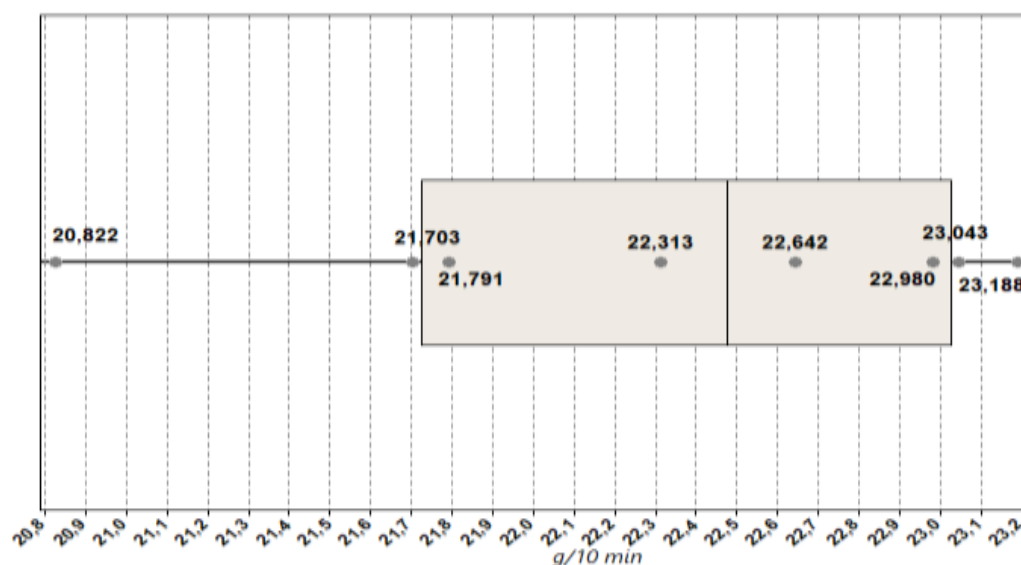
Gráfica 3.15 Diagrama de cajas de índice de fluidez tapa TP-3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16 Estadística de índice de fluidez tapa TP-3

Número de Datos	8
Media	13,243
Error Estándar de la Media	0,228
Desviación Estándar	0,645
Mínimo	11,957
Q1	12,867
Mediana	13,464
Q3	13,743
Máximo	13,926

Para la tapa TP-3 en la gráfica 3.15 se presenta una menor dispersión de datos en comparación con TR-1 y TN-2 siendo la desviación estándar de 0,645 y un rango de datos de 11,957 y 13,926. Además de una media de 13,243 menor a las medias anteriores.



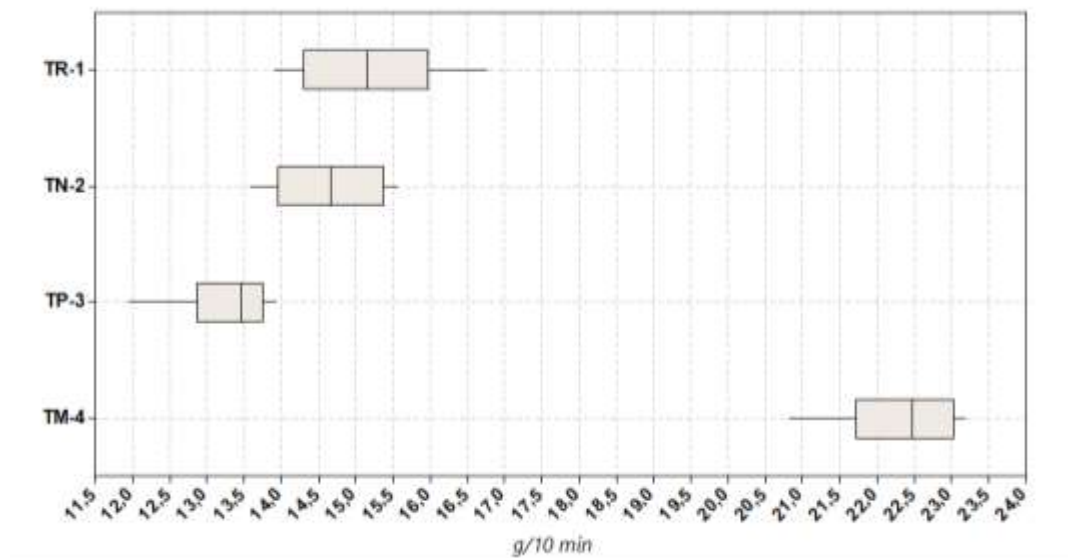
Gráfica 3.16 Diagrama de cajas de índice de fluidez tapa TM-4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17 Estadística de índice de fluidez tapa TM-4

Número de Datos	8
Media	22,310
Error Estándar de la Media	0,290
Desviación Estándar	0,821
Mínimo	20,822
Q1	21,725
Mediana	22,477
Q3	23,027
Máximo	23,188

En el balde elaborado con mezcla entre P-16 y P-20 también utilizada para elaborar TM-4 se presenta variedad de datos que van entre 20,822 y 23,188 siendo la desviación estándar de 0,821 y una media de 22,310.



Gráfica 3.17 Diagrama de cajas de índices de fluidez de tapas

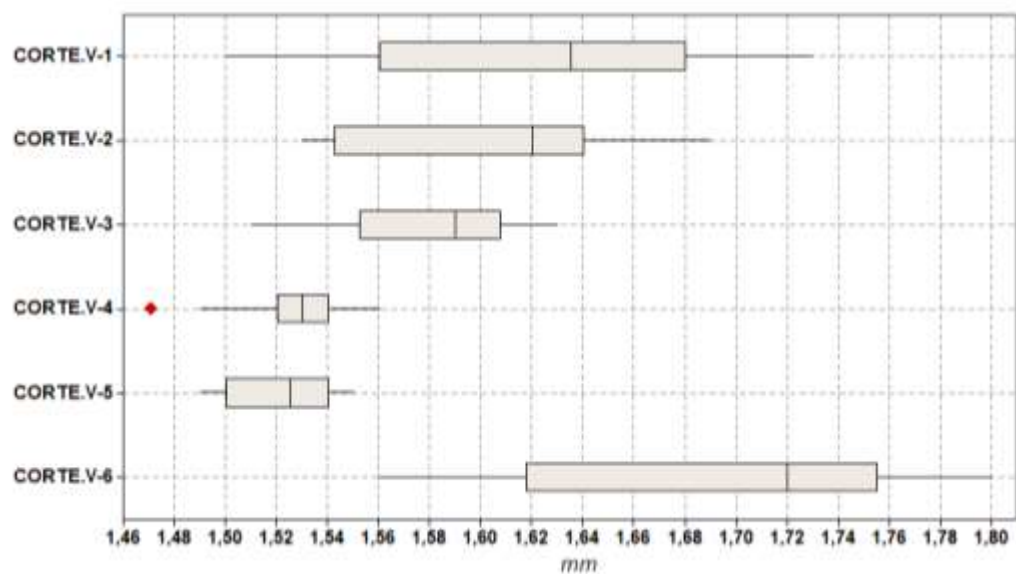
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica general 3.17 se observa que la TM-4 posee un índice de fluidez muy superior a la de TR-1, TN-2 y TP-3 ya que se encuentra elaborada con otra materia prima diferente a las tres primeras. Al comparar las tres primeras se obtiene que TR-1 posee un mayor índice de fluidez que TN-2 y TP-3. Además, que TP-3 es la que posee un menor índice de fluidez.

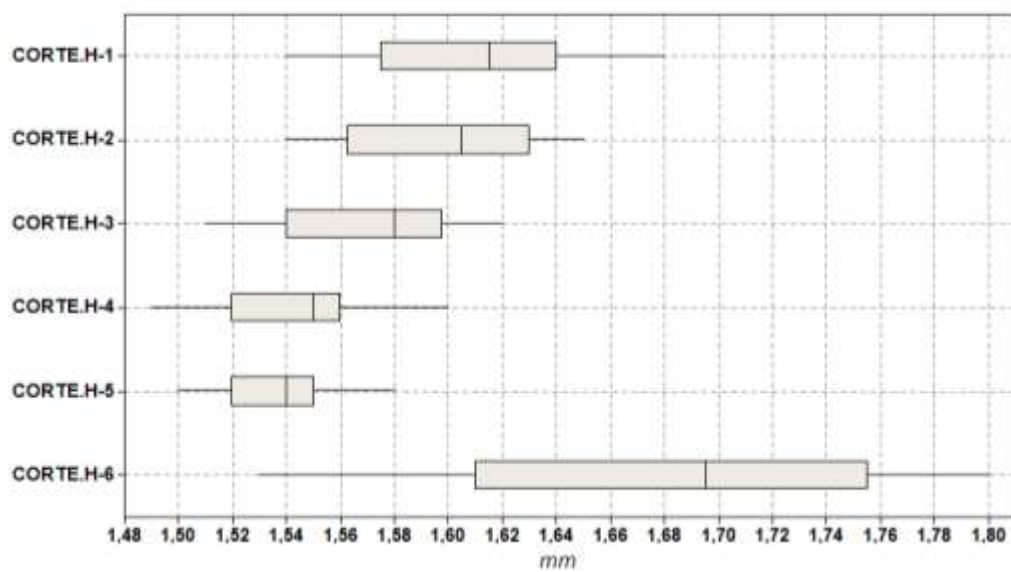
3.2 Espesores

3.2.1 Baldes

Se recolectó baldes de distintos colores, a los cuales se les realizó un corte a diferentes alturas desde la base para proceder a medir los espesores que estos presentan tanto horizontal como verticalmente. En los diagramas de caja siguientes se presentan los resultados obtenidos.



Gráfica 3.18 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BB-1
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3.19 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BB-1
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18 Estadística de espesores de cortes verticales balde BB-1

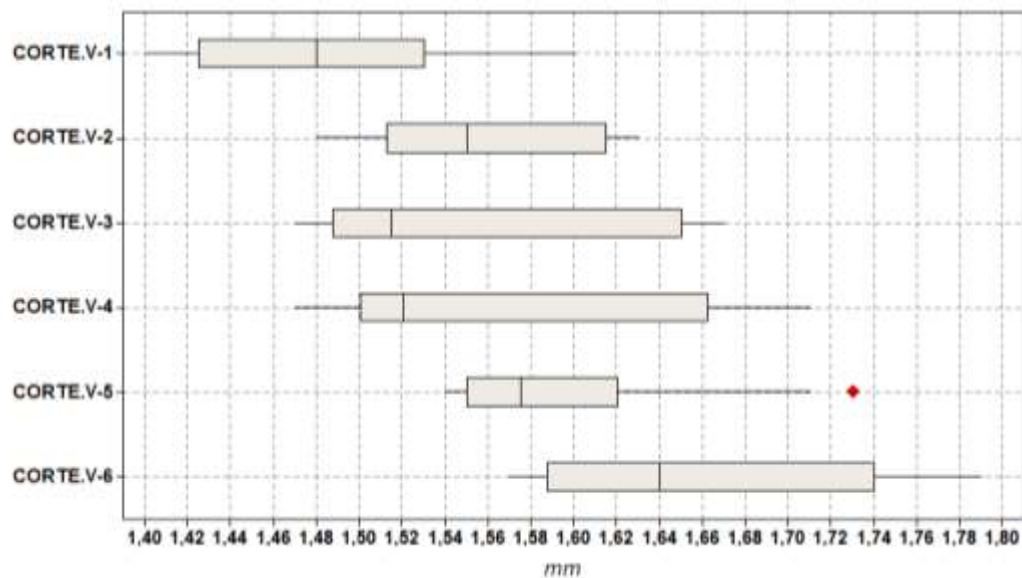
Variable	C.V-1	C.V-2	C.V-3	C.V-4	C.V-5	C.V-6
N	12	12	12	12	12	12
Media	1,63	1,60	1,58	1,53	1,52	1,70
Error Est. de la media	0,0207	0,061	0,0108	0,0075	0,00613	0,0232
Desv. Est.	0,0716	0,0558	0,0373	0,026	0,0212	0,0802
Mínimo	1,50	1,53	1,51	1,47	1,49	1,56
Q1	1,56	1,54	1,55	1,52	1,50	1,62
Mediana	1,64	1,62	1,59	1,53	1,53	1,72
Q3	1,68	1,64	1,61	1,54	1,54	1,76
Máximo	1,73	1,69	1,63	1,56	1,55	1,80

Tabla 3.19 Estadística de espesores de cortes horizontales balde BB-1

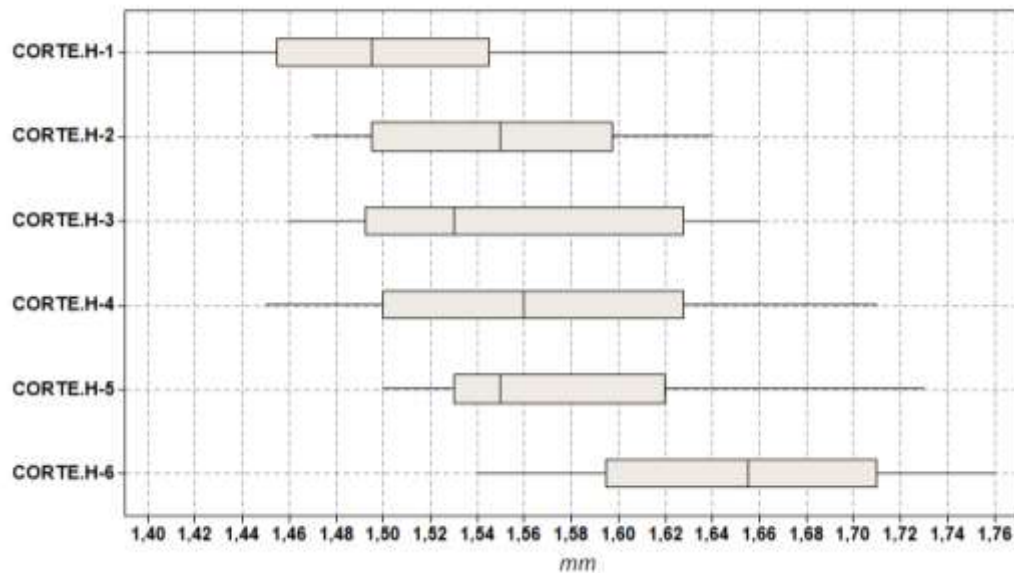
Variable	C.H-1	C.H-2	C.H-3	C.H-4	C.H-5	C.H-6
N	24	24	24	24	24	24
Media	1,61	1,6	1,57	1,54	1,54	1,68
Error Est. de la media	0,00812	0,00756	0,00655	0,00627	0,00423	0,0164
Desv. Est.	0,0398	0,0371	0,0321	0,0307	0,0207	0,0805
Mínimo	1,54	1,54	1,51	1,49	1,50	1,53
Q1	1,58	1,56	1,54	1,52	1,52	1,61
Mediana	1,62	1,61	1,58	1,55	1,54	1,70
Q3	1,64	1,63	1,60	1,56	1,55	1,76
Máximo	1,68	1,65	1,62	1,60	1,58	1,80

En la gráfica 3.18 y la gráfica 3.19 se pueden ver los diagramas de caja para los cortes verticales y horizontales del balde BB-1, se observa una gran dispersión de datos en V-1, V-2 y V-6, en cambio en V-3, V-4 y V-5 la dispersión es pequeña, pero el corte V-4 presenta un dato aberrante el cual es 1,47.

De la misma forma se puede observar una dispersión de datos considerable en H-6 el cual va desde 1,53 hasta 1,80, esto también se lo puede comprobar con los datos que se presentan en las tablas 3.18 y tabla 3.19 en donde los cortes V-1, V-2, V-6 y H-6 tiene una desviación estándar mayor al 5% con respecto a la media de cada corte.



Gráfica 3.20 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BR-2
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3.21 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BR-2
Fuente: Elaboración propia

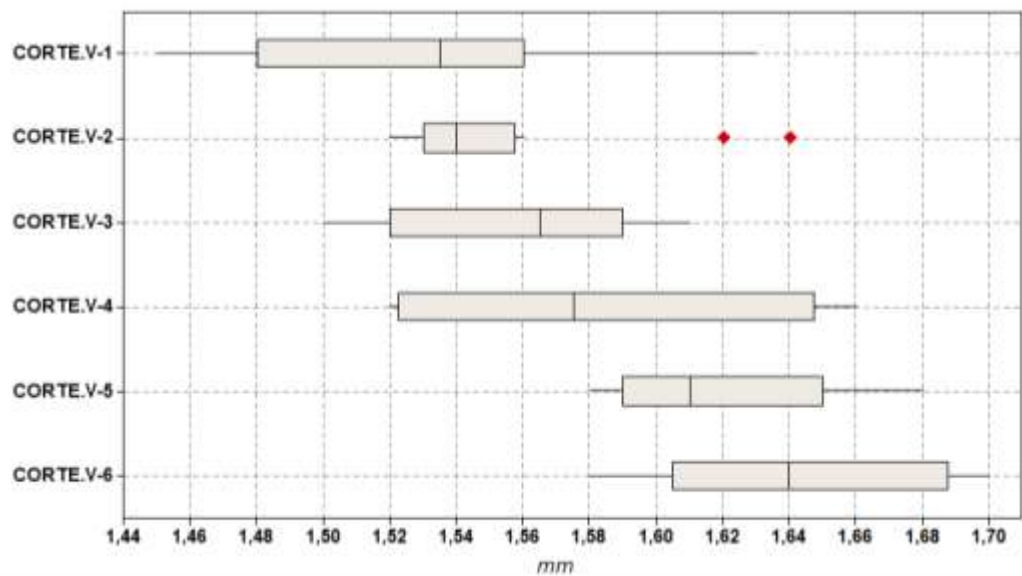
Tabla 3.20 Estadística de espesores cortes verticales balde BR-2

Variable	C.V-1	C.V-2	C.V-3	C.V-4	C.V-5	C.V-6
N	12	12	12	12	12	12
Media	1,49	1,56	1,55	1,56	1,59	1,66
Error Est. de la media	0,0192	0,0160	0,023	0,0247	0,0186	0,0220
Desv, Est.	0,0664	0,0555	0,0797	0,0855	0,0644	0,0760
Mínimo	1,40	1,48	1,47	1,47	1,54	1,57
Q1	1,43	1,51	1,49	1,50	1,55	1,59
Mediana	1,48	1,55	1,52	1,52	1,58	1,64
Q3	1,53	1,62	1,65	1,66	1,62	1,74
Máximo	1,60	1,63	1,67	1,71	1,73	1,79

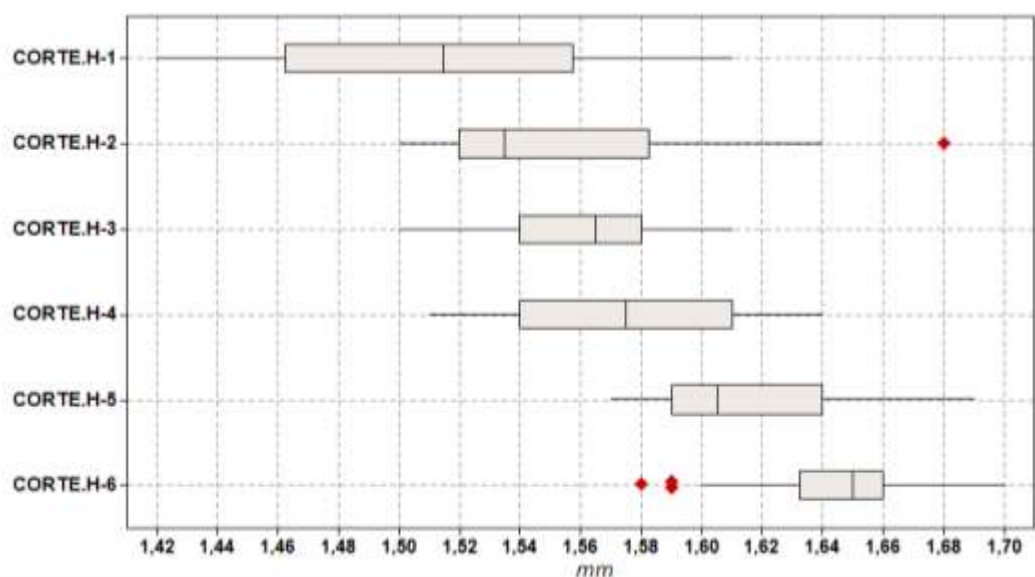
Tabla 3.21 Estadística de espesores cortes horizontales balde BR-2

Variable	C.H-1	C.H-2	C.H-3	C.H-4	C.H-5	C.H-6
N	24	24	24	24	24	24
Media	1,50	1,55	1,56	1,56	1,58	1,65
Error Est. de la media	0,0132	0,0113	0,0145	0,0158	0,015	0,0144
Desv, Est.	0,0646	0,0554	0,0709	0,0774	0,0734	0,0707
Mínimo	1,40	1,47	1,46	1,45	1,50	1,54
Q1	1,46	1,50	1,49	1,50	1,53	1,60
Mediana	1,50	1,55	1,53	1,56	1,55	1,66
Q3	1,55	1,71	1,67	1,62	1,61	1,69
Máximo	1,62	1,64	1,66	1,71	1,73	1,76

En los diagramas de cajas presentados en el gráfico 3.20 y gráfico 3.21 del balde BR-2 se puede observar que tanto en los cortes verticales como horizontales existe una semejanza, sin embargo, la dispersión es muy grande. En los cortes V-3, V-4, V-6 y H-3 se nota que la mayor cantidad de datos se encuentra por arriba de la media y presentan una desviación estándar mayor al 7% esto se puede visualizar en la tabla 3.20 y tabla 3.21, mientras que V-5 presenta un dato aberrante.



Gráfica 3.22 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BN-3
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3.23 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BN-3
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22 Estadística de espesores cortes verticales balde BN-3

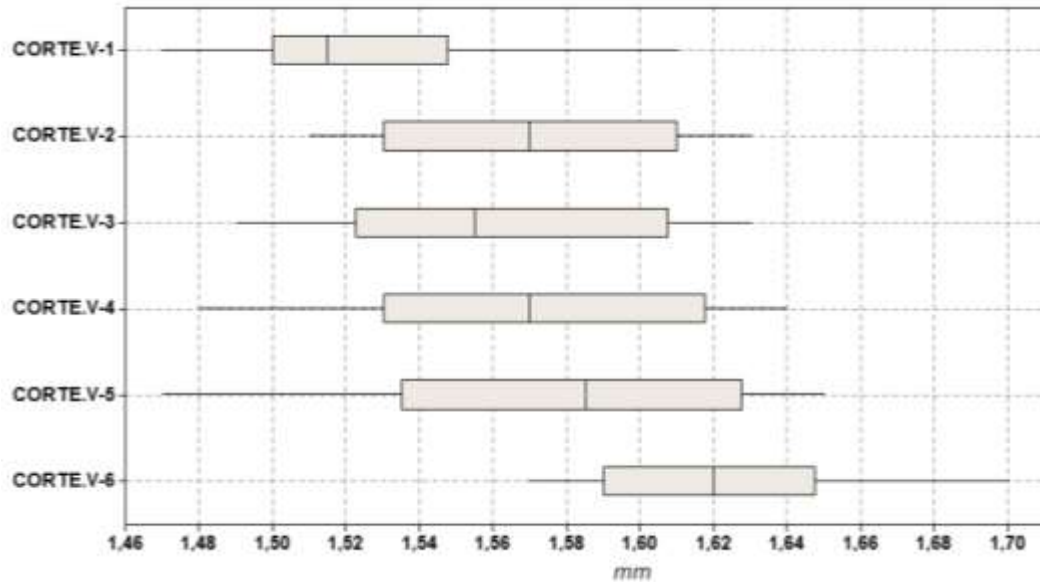
Variable	C.V-1	C.V-2	C.V-3	C.V-4	C.V-5	C.V-6
N	12	12	12	12	12	12
Media	1,53	1,55	1,56	1,58	1,62	1,64
Error Est. de la media	0,0162	0,0110	0,0109	0,0167	0,0102	0,0120
Desv. Est.	0,0561	0,0380	0,0377	0,0580	0,0353	0,0415
Mínimo	1,45	1,52	1,50	1,52	1,58	1,58
Q1	1,48	1,53	1,52	1,52	1,59	1,61
Mediana	1,54	1,54	1,57	1,58	1,61	1,64
Q3	1,56	1,56	1,59	1,65	1,65	1,69
Máximo	1,63	1,64	1,61	1,66	1,68	1,70

Tabla 3.23 Estadística de espesores cortes horizontales balde BN-3

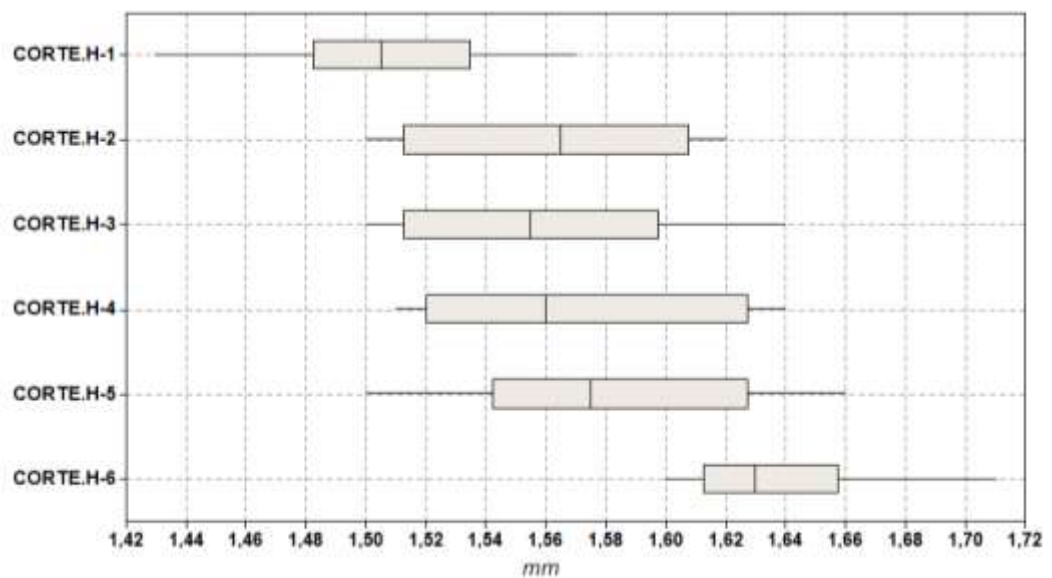
Variable	C.H-1	C.H-2	C.H-3	C.H-4	C.H-5	C.H-6
N	24	24	24	24	24	24
Media	1,52	1,55	1,56	1,58	1,61	1,65
Error Est. de la media	0,0114	0,0095	0,0063	0,0086	0,0063	0,0067
Desv. Est.	0,0557	0,0465	0,0309	0,0442	0,0307	0,0328
Mínimo	1,42	1,50	1,50	1,51	1,57	1,58
Q1	1,46	1,52	1,54	1,54	1,59	1,63
Mediana	1,52	1,54	1,57	1,58	1,61	1,65
Q3	1,56	1,58	1,58	1,61	1,64	1,66
Máximo	1,61	1,68	1,61	1,64	1,69	1,70

El balde BN-3 presenta su diagramas de cajas en el gráfico 3.22 y gráfico 3.23, en estos se observa que la dispersión de datos es grande al igual que en los baldes analizados anteriormete, se puede visualizar que tanto V-2 y H-2 presentan datos aberrantes con una desviación estandar de 3.7% y 4.7%

respectivamente, H-6 de igual manera arroja datos aberrantes, el mínimo valor es 1,58 y el máximo es 1,7 esto se puede observar en la tabla 3.23.



Gráfica 3.24 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BP-4
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3.25 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BP-4
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24 Estadística de espesores cortes verticales balde BP-4

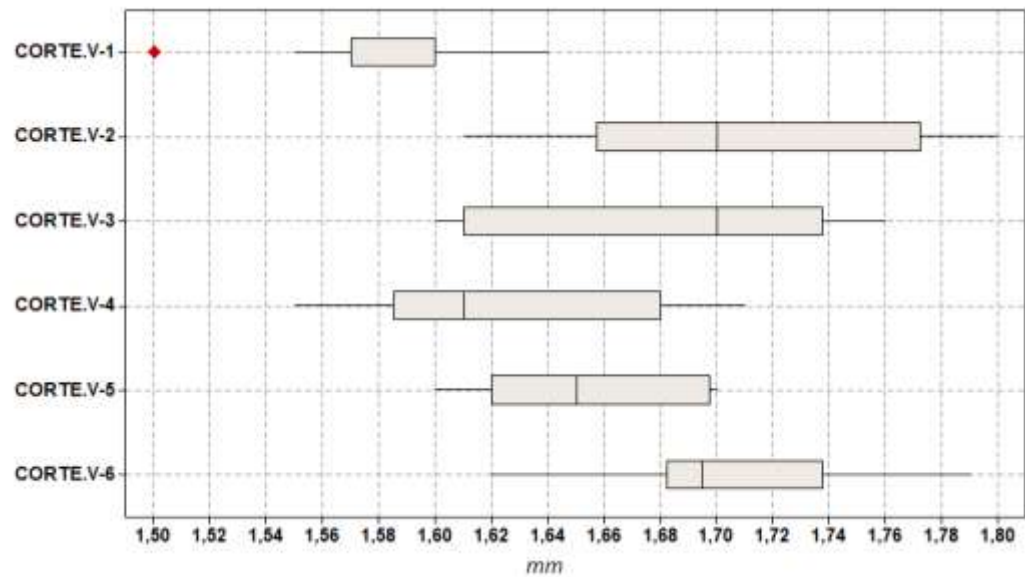
Variable	C.V-1	C.V-2	C.V-3	C.V-4	C.V-5	C.V-6
N	12	12	12	12	12	12
Media	1,49	1,56	1,55	1,56	1,59	1,66
Error Est. de la media	0,0192	0,0160	0,0230	0,0247	0,0186	0,0220
Desv. Est.	0,0664	0,0555	0,0797	0,0855	0,0644	0,0760
Mínimo	1,40	1,48	1,47	1,47	1,54	1,57
Q1	1,43	1,51	1,49	1,50	1,55	1,59
Mediana	1,48	1,55	1,52	1,52	1,58	1,64
Q3	1,53	1,62	1,65	1,66	1,62	1,74
Máximo	1,60	1,63	1,67	1,71	1,73	1,79

Tabla 3.25 Estadística de espesores cortes horizontales balde BP-4

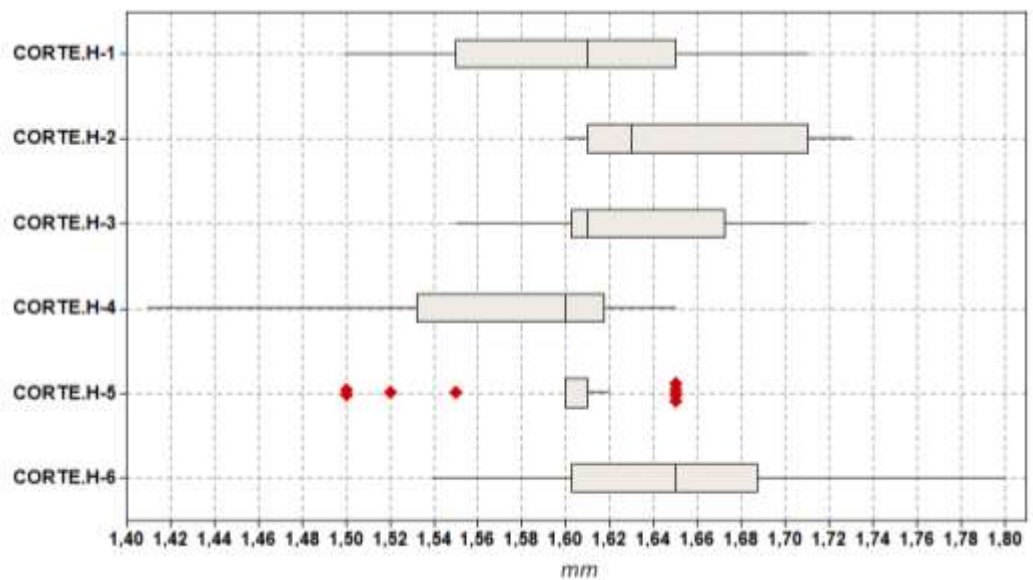
Variable	C.H-1	C.H-2	C.H-3	C.H-4	C.H-5	C.H-6
N	24	24	24	24	24	24
Media	1,52	1,57	1,56	1,57	1,58	1,62
Error Est. de la media	0,0086	0,0082	0,0084	0,0096	0,0116	0,0074
Desv, Est.	0,0422	0,0401	0,0412	0,047	0,0566	0,0363
Mínimo	1,47	1,51	1,49	1,48	1,47	1,57
Q1	1,50	1,53	1,52	1,53	1,54	1,59
Mediana	1,52	1,57	1,56	1,57	1,59	1,62
Q3	1,55	1,61	1,61	1,62	1,63	1,65
Máximo	1,61	1,63	1,63	1,64	1,65	1,70

Los diagramas presentados en el gráfico 3.24 y gráfico 3.25 muestran los diagramas de caja para BP-4, se puede apreciar que es uno de los baldes que mayor simetría presenta tanto en los cortes verticales como horizontales, en comparación a los baldes BB-1 y BN-3, la mayor desviación estándar la presenta

H-4 la cual es mayor a un 8% con respecto a la media que es 1,58, estos datos se pueden visualizar en la tabla 3.25.



Gráfica 3.26 Diagrama de cajas de espesores cortes verticales balde BM-5
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3.27 Diagrama de cajas de espesores cortes horizontales balde BM-5
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26 Estadística de espesores cortes verticales balde BM-5

Variable	C.V-1	C.V-2	C.V-3	C.V-4	C.V-5	C.V-6
N	12	12	12	12	12	12
Media	1,59	1,71	1,68	1,63	1,66	1,70
Error Est. de la media	0,0108	0,0186	0,0176	0,0163	0,0107	0,0132
Desv, Est.	0,0374	0,0644	0,0609	0,0563	0,0370	0,0456
Mínimo	1,50	1,61	1,60	1,55	1,60	1,62
Q1	1,57	1,66	1,61	1,59	1,62	1,68
Mediana	1,60	1,70	1,70	1,61	1,65	1,70
Q3	1,60	1,77	1,74	1,68	1,70	1,74
Máximo	1,64	1,80	1,76	1,71	1,70	1,79

Tabla 3.27 Estadística de espesores cortes horizontales balde BM-5

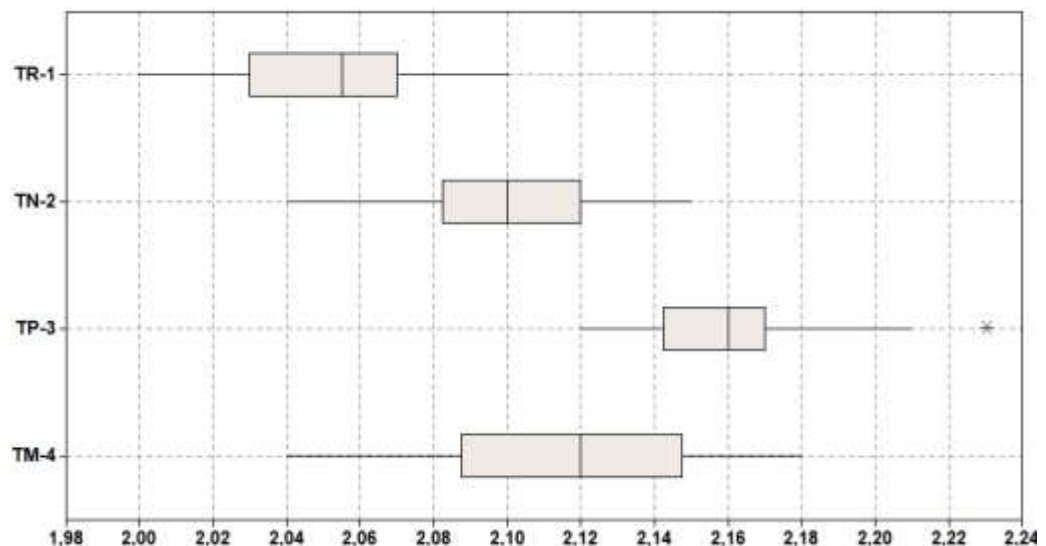
Variable	C.H-1	C.H-2	C.H-3	C.H-4	C.H-5	C.H-6
N	24	24	24	24	24	24
Media	1,60	1,66	1,63	1,58	1,60	1,65
Error Est. de la media	0,0123	0,0101	0,0088	0,0130	0,0085	0,0138
Desv. Est.	0,0604	0,0497	0,0429	0,0637	0,0417	0,0678
Mínimo	1,50	1,60	1,55	1,41	1,50	1,54
Q1	1,55	1,61	1,60	1,53	1,60	1,60
Mediana	1,61	1,63	1,61	1,60	1,61	1,65
Q3	1,65	1,71	1,67	1,62	1,61	1,69
Máximo	1,71	1,73	1,71	1,65	1,65	1,80

El balde BM-5 es el que mas irregularidades presento en la prueba de espesor en el gráfico 3.26 y gráfico 3.27 se puede observar que no sigue la misma tendencia que los baldes analizados anteriormente que indican que los cortes con mayor espesor son V-5, V-6, H-5 y H-6, en comparación a BM-5 que

presenta mayor espesor en los cortes V-2, V-3, H-2 y H-3. Se puede apreciar que H-5 contiene una gran cantidad de datos aberrantes en la tabla 3.27 se visualiza que presenta una desviación estandar de 4,2% y una media de 1,59.

Con los análisis de espesor realizados al producto terminado, se puede observar que la dispersión de datos grande en la mayoría de los baldes, es decir que el llenado del molde para la elaboración de dichos envases no es el mejor, así que eventualmete estos baldes presentarán defectos.

3.2.2 Tapas



Gráfica 3.28 Diagrama de cajas de espesores cortes de tapas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28 Estadísticas de espesores cortes de tapas

Variable	TR-1	TN-2	TP-3	TM-4
N	24	24	24	24
Media	2,05	2,10	2,16	2,12
Error Est. de la media	0,00558	0,00612	0,00536	0,00817
Desv. Est.	0,0273	0,0061	0,0054	0,0082
Mínimo	2,00	2,04	2,12	2,04
Q1	2,03	2,08	2,14	2,09
Mediana	2,06	2,10	2,16	2,12
Q3	2,07	2,12	2,17	2,15
Máximo	2,10	2,15	2,23	2,18

En la gráfica 3.27 se observa el diagrama de cajas de espesores medidos a las tapas, se aprecia que TM-4 es quien más dispersión de datos presenta en comparación con las otras tapas, en la tabla 3.28 se puede visualizar que la media de todas las tapas se encuentra por arriba de 2, teniendo estas un mayor espesor que los baldes.

3.3 Prueba de calorimetría diferencial de barrido

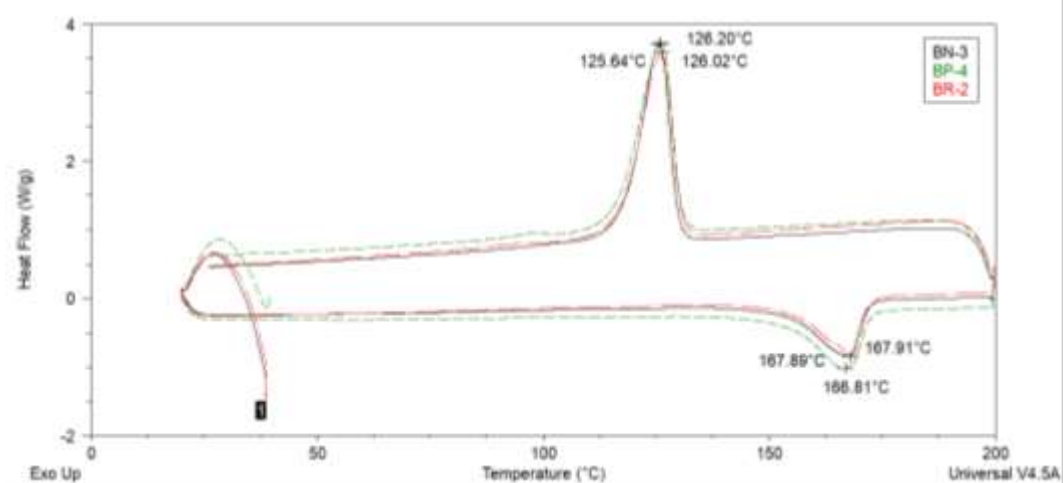


Figura 3.1 Termograma de baldes BR-2 BN-3 BP-4

Se les realizó esta prueba a los baldes BR-2, BN-3 y BP-4. En la figura 3.1 se presenta las curvas de calentamiento y enfriamiento de las muestras obteniendo temperaturas de fusión semejantes 167,91, 167,89 y 166.81. Así también se muestran las temperaturas de cristalización cercanas entre los baldes siendo estas de 125,64, 126,02 y 126,20 °C

No se presenta picos influyentes a otras temperaturas por lo que la materia prima de polipropileno coincide para los tres baldes y no existe mezcla con otro tipo de polímero.

3.4 Prueba de termogravimetría (TGA)

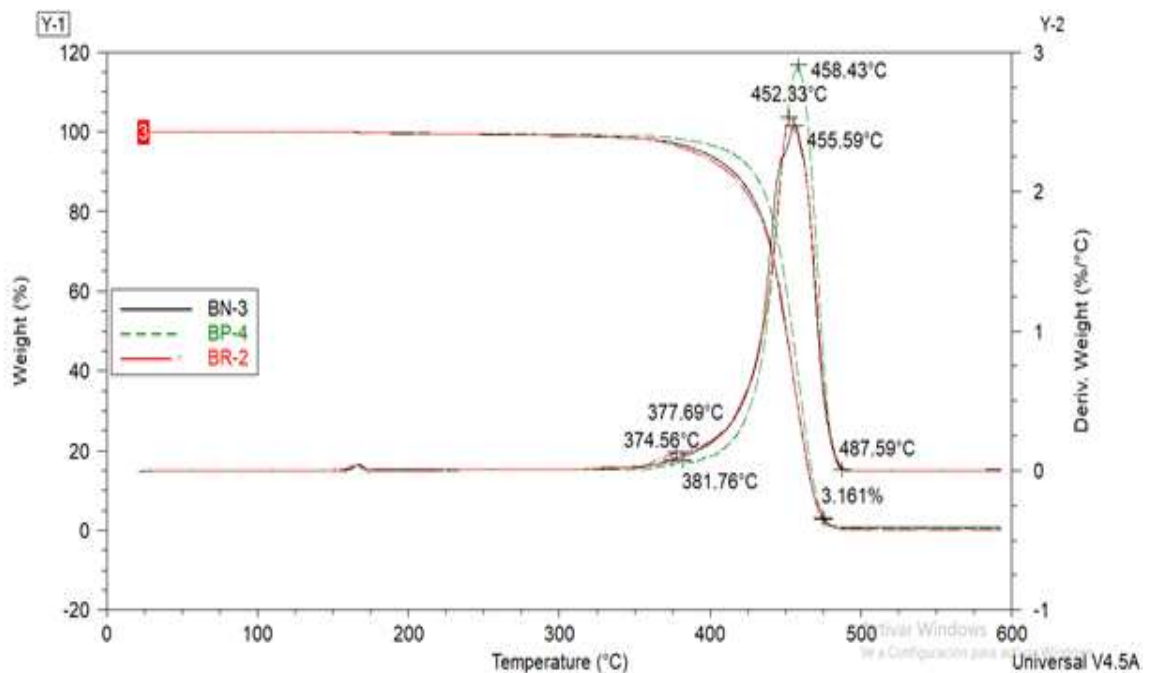


Figura 3.2 TGA temperatura de degradación

Se realizó la prueba de TGA a tres muestras de producto terminado como se observa en la figura 2.4, donde se analizó las temperaturas de degradación para cada uno de los materiales y se pudo notar que la temperatura de inicio para la degradación de BN-3, BP-4 y BR-2 son prácticamente la misma, siendo 374,56°C, 377,69°C y 381,76°C respectivamente.

Adicionalmente se obtuvo la temperatura máxima de degradación que dio como resultado 452,33°C, 458,43°C y 455,59°C para las muestras mencionadas

anteriormente. La temperatura final de degradación es la misma en las tres muestras siendo esta 487,59°C.

Con estos datos se muestra que los tres envases plásticos producidos por la empresa son elaborados con la misma materia prima y que los aditivos presentes en estos envases no alteran las condiciones del polipropileno.

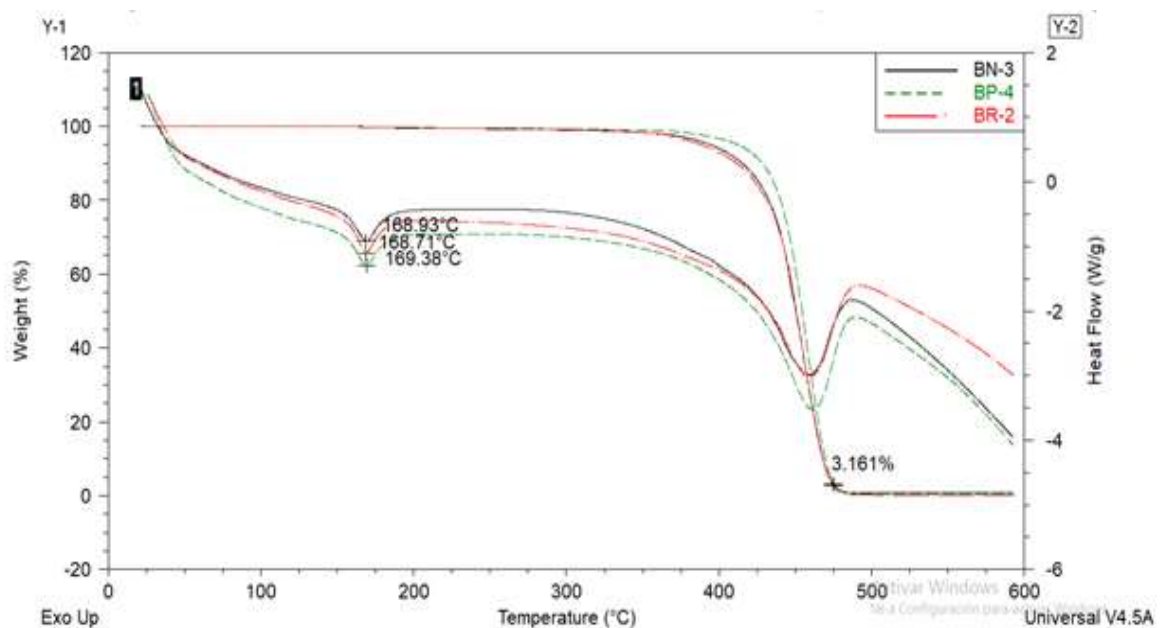


Figura 3.3 TGA temperatura de fusión

La figura 2.5 muestra las temperaturas de fusión de cada uno de los materiales los cuales son 168,93°C, 168,71°C y 169,38°C para las muestras BN-3, BR-2 y BP-3 respectivamente, estas temperaturas se pueden comparar con las pruebas de DSC realizadas a los mismos materiales.

Se presenta un porcentaje de masa final para las tres muestras de 3,161%, demostrando así que los tres productos son elaborados con la misma materia prima.

Se presenta un porcentaje de masa final para las tres muestras de 3,161%, demostrando así que los tres productos son elaborados con la misma materia prima.

3.5 Prueba de Apilamiento e Impacto



Figura 3.4 Prueba de Apilamiento de Baldes

La prueba de apilamiento se la realizó a cada uno de los envases plásticos muestreados, estos pasaron en apilamiento durante dos semanas cada uno. Debido a que no se contaba con material suficiente de cada color de envase esta prueba se la realizó con los distintos baldes muestreados como se visualiza en la figura 3.5 utilizando un peso semejante. Todos ellos llenados con agua con un peso de 16,5 Kg. Ninguno de los envases presento deformación en esta prueba, pero si decoloración a la altura del corte 5 y corte 6.

Para la prueba de impacto se realizó el llenado con agua de 16,5 Kg de agua y se lo dejó caer al balde desde una altura de 1,2 metros con el resultado de que ninguno de ellos presentó deformación en su estructura.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Al realizar el índice de fluidez en las materias primas P-16, P-44, P-20 y P-25 se encontró que las dos primeras coinciden con el valor reportado en la hoja técnica del proveedor mientras que las dos restantes no cumplen con las especificaciones y que al no ser verificadas por la empresa antes de su compra no fueron detectadas con inconformidades.

Los masterbatches de polietilenos MR-1, MP-2, MA-3, MB-4 empleados en la producción de baldes y tapas presentan índices de fluidez altos por lo que no afectan al procesamiento de la materia prima para la producción de baldes, sin embargo, se encontró que el masterbatch MN-5 no fluyó a la temperatura de determinación de índice de fluidez de polipropileno por lo que al usarlo es necesario altas temperaturas que afectaría la estructura de la materia prima y por ende a las propiedades físicas de la misma.

Al determinar el índice de fluidez del balde BB-1 el cuál es un balde elaborado solo con materia prima P-16 se presentó dispersión de datos por lo que se evidencia que la temperatura de procesamiento ha afectado la estructura del polímero, así como también a sus propiedades físicas.

Para la determinación del índice de fluidez de BR-2, BN-3 y BP-4 se encontró un incremento superior del índice de fluidez en comparación con los otros baldes ya que emplean temperaturas superiores para la dispersión del masterbatch en el polipropileno. Además de que BN-3 es elaborado con material reciclado de los baldes blanco, rojo, azul y plata por lo que se evidencia que afectó significativamente las temperaturas de procesamiento al material.

El balde BM-5 el cuál es elaborado con una mezcla 1:1 entre P-16 y P-20 en ausencia de masterbatch debería de poseer un índice de fluidez menor a 20, pero se obtuvo una media de 22,875 lo cual indica que el procesamiento de este no ha sido la adecuada ya que presenta un mayor rango de dispersión de datos en comparación con los otros baldes generando problemas ya que el balde posee poca uniformidad en este parámetro afectando a su estructura.

Los índices de fluidez de tapas TR-1, TN-2 y TP-3 determinados presentaron un gran rango de dispersión de datos con una media de 15.182, 14.630 y 13.243 respectivamente por lo que se evidencia que la mezcla que emplean de polietileno con un índice de fluidez de 4 afecta considerablemente al producto final, además de que las temperaturas de procesamiento de ambos polímeros difieren y no es una mezcla recomendada en la elaboración de cualquier producto.

La tapa TM-4 presenta un alto índice de fluidez ya que es elaborada con la misma mezcla empleada para el balde BM-5 obteniendo así un índice de fluidez semejante a la del balde, en ambos casos se usan temperaturas de operación altas que están dañando la estructura del polímero. Además de que existe un gran rango de dispersión de datos por lo que no existe uniformidad en la mezcla.

En la medición de espesores de manera vertical y horizontal el balde BB-1 no llenó uniformemente el molde presentando gran diferencia de espesores entre el corte 5 y 6 siendo esta la parte más débil del balde y donde generalmente se presenta la falla al realizar la prueba de apilamiento por la empresa. De igual manera el balde BR-2 presenta cambios de espesores a la altura de estos cortes, pero con la diferencia de que presenta un mayor rango de dispersión de datos generando un balde con diferencia de espesores en toda su estructura.

En los baldes BN-3 y balde BP-4 sus espesores van aumentando gradualmente desde el corte 1 hasta la base la cual la conforma el corte 6 pero a su vez con un gran rango de dispersión de datos por lo que la materia prima empleada no se encuentra llenando correctamente el balde generando problemas

estructurales. Al igual que BB-1 y BR-2 presentan dispersión y diferencias de espesores entre los cortes 5 y 6.

En la medición de espesores del balde BM-5 se obtuvo una dispersión de datos significativa entre corte y corte generando un balde totalmente no uniforme disminuyendo y aumentando espesores entre corte y corte por lo que la mezcla con la que fue elaborado este balde no funciona de la mejor manera para la producción.

Los espesores de tapa varían de acuerdo con materia prima y masterbatch aumentando de la siguiente manera TR-1, TN-2 y TP-3 con poca dispersión de datos por lo que se encuentran llenando correctamente el molde dependiendo del masterbatch empleado. La tapa TM-4 se encuentra con espesores promedio entre las tres tapas, pero con un mayor rango de dispersión de datos produciendo una tapa no uniforme.

En la realización de la prueba de apilamiento no se encontró deflexión en la parte inferior, pero si se presentó un poco de decoloración de los baldes a la altura del corte 5 y 6, además de que las tapas empleadas en esta prueba se encontraban rígidas, por ende, difícil son difíciles de sellar debido a que presentaron un índice de fluidez menos al de los baldes.

En la realización de la prueba de calorimetría diferencial de barrido y termogravimetría coincidieron para la realización del balde BR-2, BN-3 y BP-4 por lo que la materia prima con la cual fueron elaborados es la misma sin presencia de mezcla de otro polímero.

Mediante la realización de pruebas como índice de fluidez, impacto, apilamiento y medición de espesores se estableció una propuesta con ensayos básicos para la identificación de defectos en la fabricación de envases de línea pesada de polipropileno.

4.2 Recomendaciones

Implementar un sistema de calidad o al menos un laboratorio que permita verificar información presentada por los proveedores mediante el ensayo de índice de fluidez presentado en este proyecto.

Realizar registros de producción y control de materias primas y productos terminados que permitan rastrear los lotes que presenten defectos, además de realizar los ensayos de medición de espesores, impacto y apilamiento al producto terminado en cada lote.

Verificar posibles problemas y tomar medidas correctivas, tratando de minimizar cada vez más los errores de producción.

Realizar pruebas de análisis termogravimétrico a las tapas debido a que estas se encuentran compuestas con mezcla de polipropileno y polietileno de diferentes índices de fluidez con el fin de conocer si el polietileno a la temperatura de procesamiento de las tapas se ha degradado.

Realizar pruebas de microscopia electrónica de barrido a las muestras con el fin de observar si los masterbatchs se han dispersado correctamente en el polipropileno de tal manera que se muestre que tan compatible son estas materias primas entre sí para la elaboración de los envases.

Realizar las pruebas de apilamiento simulando la manipulación que se realiza en la industria con el fin de obtener resultados mucho más confiables asegurando el éxito de la prueba ya que se acerca a la realidad de lo que se realiza en el proceso de envasado de los aceites lubricantes.

Determinar el índice de fluidez del MN-5 empleando equipos con un límite de temperatura superior al equipo empleado en este proyecto que permita la fundición de este; además de determinar las condiciones óptimas a la cuál se debe de trabajar este masterbatch.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, R. (2013). Problemas comunes en el proceso de inyección. Recuperado de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5878-Guia-para-solucionar-los-problemas-mas-comunes-en-moldeo-por-inyeccion.html>
- ASTM International. (2000). Standard Test Method for Rapid Thermal Degradation of Solid Electrical Insulating Materials By Thermogravimetric Method (TGA) 1. *Current*, 94(Reapproved), 6-9. <https://doi.org/10.1520/D3850-12.2>
- ASTM International. (2004). Standard Test Method for Transition Temperatures of Polymers By Differential Scanning Calorimetry. *Test*, 08(July), 1-7.
- ASTM International. (2013). Astm D1238 – 13. *ASTM International*, (August), 1-16. <https://doi.org/10.1520/D1238-13>.
- Beltrán, M; Marcilla, A. (2013). Tema 5. inyección 1. Recuperado de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16980/1/TEMA5_Moldeo_por_inyecci_n.pdf
- Caicedo, C., Crespo, L., De la Cruz, H., & Álvarez, N. (2017). Propiedades termomecánicas del polipropileno: efectos durante el reprocesamiento. *Scielo*, 7. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000300245
- COMEX. (2011, marzo). Coloración de Plásticos, 3. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/coloracion-de-plasticos.html>
- Cornish, M. (2000). *El ABC de los plásticos*. México: Universidad Iberoamericana. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=QW8UyW9YO9QC&pg=PA69&dq=inyecci3n+pl3sticos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiZ98jn-4zdAhUlX1kKHAE_CsUQ6AEILjAC#v=onepage&q=inyecci3n pl3sticos&f=false
- Corso, P., Dominguez, N., & Diaz, G. (2016). *Polipropileno*. Recuperado de <https://ppqujap.files.wordpress.com/2016/05/proceso-de-polipropileno.pdf>
- El telégrafo. (2015, abril 29). Industria Plástica en el Ecuador, p. 1. Recuperado de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/la-industria-plastica-produce-al-menos-418-millones-al-ano>
- Hernandez, A. (2015). Cuantificación de propiedades mecánicas y químicas del

- polipropileno usando espectroscopia de resonancia magnética nuclear. *Universidad de Cartagena*.
- ICONTEC. (2012). Norma técnica colombiana para envases plásticos termoformados. NTC 3717. Colombia. Recuperado de <https://docplayer.es/63643930-Norma-tecnica-colombiana-3717.html>
- ISA. (2012). Procesos de fabricación; Conformado por moldeo. Inyección de termoplásticos. Recuperado de <http://www.actiweb.es/erikadesign/archivo1.pdf>
- Maier, C., & Calafut, T. (1998). *Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook*. Norwich: Plastics Design Library. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=pw_I2D0zkDYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false
- Medina, E. (2010). (Guía Laboratorio Mecánica de Materiales) IMPACTO CHARPY, 1-5.
- Robson, N. (2004). Principales materiales plasticos para la manufactura de envases y embalajes. *SENA*, 40-47. Recuperado de http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/download/998/1090
- Rodas, P. (2015). *Máquinas para ensayos de polímeros*. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/250397053/Caracterizacion-de-Propiedades-Polimeros>
- Seymour, R. B., & Carraher, C. E. (1995). *Introducción a la química de los polímeros*. Reverté.
- Seymour, R., & Carraher, C. (2002). *Introducción a la química de polímeros*. (R. Areal, Ed.) (Segunda). Barcelona: Reverté. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=FOobaAs4Wp4C&pg=PA163&dq=prueba+tga&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjIzrooafbAhXrw1kKHVxnBLkQ6AEIMzAD#v=onepage&q=prueba tga&f=false>
- Storey, R. (1996). *Injection Moulding. Colour and Aditives a powerful combination*.
- Venegas-Vásquez, D. F. (2017). Calorimetria diferencial de barrido. *Dimat*, (May), 1-6. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12849.79204>

ANEXOS

Anexo A. Hojas técnicas de las materias primas

Figura A.1 Extracto de hoja técnica de P-16

Propiedades	Unidades EN	Unidades SI	Método ASTM
Índice de Fluidez (230 °C - 2.16 Kg.)	16.0 g/10min.	16.0 g/10min.	D-1238 B
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min.)	3150.0 psi	21.7 MPa	D-638
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min.)	6.5 %	6.5 %	D-638
Módulo de flexión 1% secante (1.3 mm/min.)	155000.0 psi	1068.7 MPa	D-790-1A
Impacto Izod con ranura (23 °C/73 °F)	10.0 ft-lb/pulg	533.8 J/M	D-256-A
Impacto Gardner (-30 °C/-22 °F)	280.0 lb-pulg	31.6 J	D-5420 A

Figura A.2 Extracto de hoja técnica de P-44

Control Property:

	ASTM Method	Units	Values
Melt Flow Rate (230°C/2.16 kg)	D 1238	g/10 min	12

Typical Properties^a:

	ASTM Method	Units	Values
Density	D 792	g/cm ³	0.903
Flexural Modulus – 1% secant	D 790	MPa	1050
Tensile Strength at Yield	D 638	MPa	22
Tensile Elongation at Yield	D 638	%	6
Rockwell Hardness (R Scale)	D 785	-	67
Notched Izod Impact Strength at 23°C	D 256	J/m	140
Notched Izod Impact Strength at -20°C	D 256	J/m	65
Deflection Temperature under Load at 0.455 MPa	D 648	°C	97
Vicat Softening Temperature at 10 N	D 1525	°C	145

a) Injection molded specimen according to ASTM D 4101. b) NB: non-break.

Figura A.3 Extracto de hoja técnica de P-20

Propiedades	Unidades EN	Unidades SI	Método ASTM
Índice de Fluidez (230 °C - 2.16 Kg.)	22.0 g/10min.	22.0 g/10min.	D-1238 B
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min.)	5450.0 psi	37.6 MPa	D-638
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min.)	6.5 %	6.5 %	D-638
Módulo de flexión 1% secante (1.3 mm/min.)	290000.0 psi	1999.5 MPa	D-790-1A
Impacto Izod con ranura (23 °C/73 °F)	0.55 ft-lb/pulg	29.4 J/M	D-256-A

Figura A.4 Extracto de hoja técnica de P-25

Propiedades	Unidades EN	Unidades SI	Método ASTM
Índice de Fluidéz (230 °C - 2.16 Kg.)	25.0 g/10min.	25.0 g/10min.	D-1238 B
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min.)	3600.0 psi	24.82 MPa	D-638
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min.)	5.6 %	5.6 %	D-638
Módulo de flexión 1% secante (1.3 mm/min.)	195000.0 psi	1344.5 MPa	D-790-1A
Impacto Izod con ranura (23 °C/73 °F)	2.0 ft-lb/pulg	106.76 J/M	D-256-A
Impacto Gardner (23 °C/73 °F)	240.0 lb-pulg	27.12 J	D-5420 A

Anexo B. Datos obtenidos en el ensayo de índice de fluidez

Tabla B.1 Datos de materia prima P-16

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	12,97	19585	38,30	511,4	15,436	20,438
2	12,54	19585	39,45	446,5	15,400	21,568
3	12,43	19585	39,92	440,6	16,084	21,824
4	12,23	19585	40,51	483,5	16,320	22,150
5	12,67	19585	40,22	511,4	16,234	21,957
6	12,72	19585	39,67	446,5	15,867	21,754
7	12,29	19585	39,52	440,6	15,678	21,621
8	12,53	19585	40,21	483,5	16,230	22,021

Tabla B.2 Datos de materia prima P-40

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	18,11	19585	27,39	715,0	11,057	14,974
2	17,56	19585	28,21	694,3	11,389	15,429
3	17,06	19585	29,09	673,3	11,743	15,904
4	16,60	19585	29,85	656,1	12,050	16,319
5	17,35	19585	26,26	745,8	11,823	14,356
6	18,21	19585	27,2	720,0	11,213	14,873
7	17,65	19585	28,12	696,5	11,589	15,372
8	17,10	19585	28,97	676,0	11,943	15,841

Tabla B.3 Datos de materia prima P-20

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	10,45	19585	47,47	412,6	19,276	25,951
2	10,04	19585	49,35	396,9	20,041	26,981
3	9,55	19585	51,81	378,0	21,040	28,325
4	9,30	19585	53,36	367,0	21,670	29,325
5	10,50	19585	46,36	422,5	19,365	25,345
6	10,25	19585	47,80	409,7	19,659	26,132
7	10,07	19585	49,27	397,5	20,158	26,939
8	9,66	19585	51,29	381,8	20,984	28,041

Tabla B.4 Datos de materia prima P-25

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	11,98	19585	43,21	453,3	17,877	23,623
2	11,04	19585	44,21	437,1	18,332	24,498
3	10,93	19585	45,4	431,4	18,572	24,819
4	10,37	19585	47,85	404,3	19,578	26,164
5	11,03	19585	44,76	437,6	17,77	24,47
6	10,62	19585	46,41	422,0	18,425	25,373
7	10,51	19585	47,21	414,8	18,744	35,811
8	10,75	19585	48,84	400,6	19,412	26,731

Tabla B.5 Datos de balde BB-1

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	11,17	19585	44,34	441,7	17,870	24,240
2	10,97	19585	45,17	433,6	18,204	24,694
3	10,55	19585	46,96	417,1	18,929	25,677
4	10,25	19585	48,41	404,6	19,514	26,47
5	13,39	19585	37,04	528,8	14,931	20,253
6	13,13	19585	37,68	519,8	15,185	20,599
7	12,42	19585	39,89	491,0	16,079	21,811
8	12,21	19585	40,58	482,6	16,355	22,186

Tabla B.6 Datos de balde BR-2

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	10,63	19585	46,65	419,8	18,947	25,508
2	10,41	19585	47,6	411,4	19,329	26,022
3	10,14	19585	48,79	401,4	19,816	26,677
4	10,14	19585	48,86	400,8	19,844	26,715
5	11,72	19585	42,26	463,4	17,161	23,102
6	11,66	19585	42,49	460,9	17,257	23,232
7	11,30	19585	43,85	446,6	17,807	23,972
8	11,05	19585	44,84	436,8	18,210	24,515

Tabla B.7 Datos de balde BN-3

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	10,07	19585	49,26	397,6	19,406	26,930
2	8,76	19585	56,47	346,8	22,248	30,875
3	8,31	19585	59,62	328,5	23,490	32,598
4	8,00	19585	61,93	316,2	24,400	33,861
5	10,04	19585	49,33	397,0	20,032	26,968
6	9,69	19585	51,05	383,6	20,733	27,911
7	9,18	19585	53,97	362,9	21,919	29,509
8	8,51	19585	58,22	336,4	23,645	31,831

Tabla B.8 Datos de balde BP-4

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	10,70	19585	46,36	422,5	18,684	25,315
2	10,14	19585	48,79	401,4	19,665	26,673
3	9,15	19585	54,23	361,1	21,856	29,647
4	8,86	19585	55,83	350,8	22,504	30,526
5	10,07	19585	49,33	397,0	20,180	26,968
6	9,40	19585	52,63	372,1	21,530	28,773
7	8,99	19585	55,19	354,9	22,580	30,175
8	8,59	19585	57,68	339,5	23,598	31,535

Tabla B.9 Datos de balde BM-5

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	8,64	19585	57,92	183,6	23,106	31,254
2	8,23	19585	58,23	196,0	23,564	31,684
3	9,95	19585	52,45	248,6	21,983	29,213
4	9,64	19585	53,05	267,6	21,567	28,674
5	9,52	19585	52,18	375,3	21,189	28,526
6	8,94	19585	55,33	354,0	22,472	30,253
7	8,5	19585	58,37	335,5	23,706	31,914
8	7,93	19585	62,57	313,0	25,410	34,208

Tabla B.10 Datos de tapa TR-1

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	14,59	19585	34,00	576,0	13,909	18,587
2	13,75	19585	35,98	544,3	14,719	19,670
3	13,37	19585	37,06	528,5	15,161	20,261
4	13,10	19585	37,82	517,8	15,474	20,679
5	14,12	19585	35,13	557,5	14,159	19,206
6	13,16	19585	37,59	521,0	15,151	20,552
7	12,38	19585	40,02	489,4	16,131	21,881
8	11,92	19585	41,57	471,1	16,753	22,726

Tabla B.11 Datos de tapa TN-2

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	14,52	19585	34,21	572,5	13,893	18,703
2	13,92	19585	35,54	551,1	14,432	19,430
3	13,29	19585	37,28	525,3	15,140	20,383
4	12,93	19585	38,32	511,1	15,562	20,950
5	14,93	19585	33,22	589,6	13,592	18,164
6	14,40	19585	34,46	568,3	14,097	18,838
7	13,62	19585	36,38	538,3	14,883	19,889
8	13,15	19585	37,74	518,9	15,439	20,632

Tabla B.12 Datos de tapa TP-3

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	15,27	19585	32,48	603,0	12,897	17,760
2	14,68	19585	33,75	580,3	13,398	18,450
3	14,51	19585	34,20	572,7	13,579	18,699
4	14,28	19585	34,75	563,6	13,798	19,000
5	16,72	19585	29,67	660,1	11,957	16,219
6	15,53	19585	31,90	613,9	12,857	17,440
7	14,76	19585	33,57	583,4	13,530	18,353
8	14,34	19585	34,55	566,9	13,926	18,890

Tabla B.13 Datos de tapa TM-4

	Capture time (s)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (/sec)	Viscosity (Pa-s)	Flow Rate (g/10min)	Volumen rate (cc/10)
1	9,60	19585	51,66	379,1	20,822	28,244
2	9,15	19585	54,06	362,3	21,791	29,559
3	8,82	19585	56,18	348,6	22,642	30,713
4	8,69	19585	57,02	343,5	22,980	31,172
5	9,21	19585	53,85	363,7	21,703	29,440
6	8,95	19585	55,36	353,8	22,313	30,267
7	8,60	19585	57,53	340,4	23,188	31,454
8	8,68	19585	57,17	342,6	23,043	31,258

Anexo C. Mediciones de espesores de baldes y tapas

Tabla C.1 Medición de Espesores Horizontales balde BB-1

Medición a 36 cm de la base Corte1-H (mm)											
Probeta 1				Probeta 2				Probetas 3			
1,66	1,68	1,67	1,64	1,56	1,56	1,61	1,63	1,65	1,61	1,60	1,60
1,64	1,66	1,64	1,64	1,54	1,56	1,59	1,62	1,63	1,61	1,57	1,56
Medición a 30 cm de la base Corte2-H (mm)											
1,64	1,65	1,64	1,63	1,57	1,56	1,60	1,62	1,63	1,61	1,57	1,54
1,63	1,64	1,64	1,63	1,54	1,55	1,59	1,61	1,60	1,59	1,56	1,54
Medición a 24 cm de la base Corte3-H (mm)											
1,57	1,62	1,60	1,61	1,59	1,58	1,55	1,54	1,53	1,54	1,57	1,59
1,58	1,61	1,60	1,58	1,58	1,57	1,52	1,52	1,51	1,53	1,58	1,60
Medición a 18 cm de la base Corte4-H (mm)											
1,52	1,55	1,52	1,50	1,58	1,59	1,57	1,57	1,51	1,55	1,54	1,56
1,49	1,49	1,53	1,54	1,56	1,56	1,56	1,60	1,55	1,53	1,50	1,56
Medición a 12 cm de la base Corte5-H (mm)											
1,50	1,56	1,55	1,54	1,58	1,54	1,54	1,50	1,56	1,51	1,52	1,52
1,54	1,53	1,54	1,53	1,56	1,55	1,55	1,52	1,57	1,52	1,53	1,53
Medición a 6 cm de la base Corte6-H (mm)											
1,63	1,63	1,61	1,62	1,61	1,60	1,58	1,58	1,53	1,62	1,61	1,68
1,76	1,74	1,73	1,72	1,74	1,79	1,76	1,80	1,71	1,74	1,77	1,78

Tabla C.2 Medición de espesores verticales balde BB-1

Medición a 36 cm de la base Corte1-V (mm)					
Probeta 1		Probeta 2		Probetas 3	
1,68	1,73	1,67	1,56	1,55	1,64
1,68	1,71	1,61	1,50	1,56	1,63
Medición a 30 cm de la base Corte2-V (mm)					
1,67	1,63	1,63	1,55	1,54	1,61
1,69	1,64	1,58	1,53	1,53	1,64
Medición a 24 cm de la base Corte3-V (mm)					
1,60	1,60	1,56	1,61	1,55	1,60
1,58	1,61	1,51	1,58	1,52	1,63
Medición a 18 cm de la base Corte4-V (mm)					
1,47	1,56	1,54	1,54	1,52	1,54
1,49	1,52	1,53	1,56	1,53	1,53
Medición a 12 cm de la base Corte5-V (mm)					
1,50	1,50	1,55	1,54	1,53	1,52
1,51	1,49	1,50	1,55	1,54	1,53
Medición a 6 cm de la base Corte6-V (mm)					
1,67	1,70	1,56	1,60	1,58	1,71
1,76	1,73	1,80	1,79	1,74	1,74

Tabla C.3 Medición de espesores cortes horizontales balde BR-2

Medición a 36 cm de la base Corte1-H (mm)											
Probeta 1				Probeta 2				Probetas 3			
1,52	1,50	1,48	1,43	1,40	1,40	1,41	1,43	1,45	1,49	1,53	1,55
1,60	1,57	1,53	1,52	1,49	1,47	1,47	1,49	1,52	1,58	1,62	1,61
Medición a 30 cm de la base Corte2-H (mm)											
1,54	1,58	1,61	1,64	1,48	1,48	1,48	1,51	1,54	1,56	1,58	1,62
1,55	1,59	1,63	1,64	1,49	1,48	1,47	1,51	1,54	1,55	1,57	1,60
Medición a 24 cm de la base Corte3-H (mm)											
1,53	1,59	1,66	1,66	1,66	1,62	1,57	1,51	1,50	1,48	1,47	1,51
1,52	1,58	1,63	1,66	1,65	1,60	1,53	1,49	1,48	1,46	1,49	1,50
Medición a 18 cm de la base Corte4-H (mm)											
1,53	1,58	1,64	1,66	1,61	1,58	1,56	1,48	1,46	1,45	1,45	1,50
1,56	1,62	1,67	1,71	1,69	1,63	1,56	1,52	1,50	1,49	1,51	1,54
Medición a 12 cm de la base Corte5-H (mm)											
1,54	1,62	1,67	1,70	1,51	1,50	1,51	1,55	1,53	1,50	1,53	1,57
1,62	1,70	1,72	1,73	1,53	1,54	1,55	1,57	1,55	1,52	1,54	1,56
Medición a 6 cm de la base Corte6-H (mm)											
1,55	1,54	1,54	1,59	1,62	1,69	1,72	1,74	1,71	1,71	1,64	1,55
1,63	1,65	1,61	1,68	1,66	1,70	1,75	1,76	1,74	1,70	1,64	1,57

Tabla C.4 Medición de espesores cortes verticales balde BR-2

Medición a 36 cm de la base Corte1-V (mm)					
Probeta 1		Probeta 2		Probetas 3	
1,53	1,40	1,41	1,44	1,42	1,53
1,60	1,46	1,47	1,50	1,49	1,59
Medición a 30 cm de la base Corte2-V (mm)					
1,51	1,63	1,48	1,52	1,52	1,62
1,59	1,62	1,48	1,53	1,57	1,60
Medición a 24 cm de la base Corte3-V (mm)					
1,54	1,66	1,67	1,51	1,48	1,51
1,51	1,65	1,65	1,47	1,47	1,52
Medición a 18 cm de la base Corte4-V (mm)					
1,53	1,68	1,64	1,51	1,47	1,50
1,54	1,71	1,67	1,50	1,50	1,51
Medición a 12 cm de la base Corte5-V (mm)					
1,63	1,71	1,54	1,55	1,57	1,58
1,55	1,73	1,59	1,54	1,55	1,59
Medición a 6 cm de la base Corte6-V (mm)					
1,58	1,61	1,62	1,74	1,74	1,58
1,64	1,64	1,66	1,79	1,75	1,57

Tabla C.5 Medición de cortes horizontales balde BN-3

Medición a 36 cm de la base Corte1-H (mm)											
Probeta 1				Probeta 2				Probetas 3			
1,54	1,57	1,58	1,61	1,42	1,46	1,51	1,51	1,47	1,45	1,45	1,43
1,46	1,49	1,52	1,56	1,51	1,55	1,60	1,61	1,55	1,53	1,52	1,51
Medición a 30 cm de la base Corte2-H (mm)											
1,56	1,59	1,62	1,64	1,52	1,52	1,51	1,52	1,54	1,53	1,52	1,54
1,56	1,61	1,61	1,68	1,50	1,52	1,52	1,53	1,53	1,56	1,55	1,53
Medición a 24 cm de la base Corte3-H (mm)											
1,58	1,56	1,53	1,50	1,50	1,54	1,56	1,58	1,57	1,55	1,58	1,59
1,60	1,57	1,54	1,50	1,53	1,55	1,59	1,61	1,59	1,57	1,56	1,57
Medición a 18 cm de la base Corte4-H (mm)											
1,54	1,54	1,55	1,55	1,64	1,61	1,58	1,55	1,59	1,61	1,63	1,64
1,51	1,52	1,53	1,53	1,61	1,60	1,55	1,52	1,57	1,60	1,62	1,63
Medición a 12 cm de la base Corte5-H (mm)											
1,61	1,62	1,64	1,66	1,65	1,69	1,61	1,59	1,59	1,59	1,59	1,60
1,59	1,62	1,64	1,64	1,64	1,62	1,59	1,58	1,59	1,57	1,57	1,59
Medición a 6 cm de la base Corte6-H (mm)											
1,65	1,65	1,63	1,60	1,58	1,59	1,64	1,65	1,64	1,65	1,66	1,68
1,69	1,66	1,70	1,70	1,59	1,61	1,64	1,66	1,67	1,66	1,65	1,65

Tabla C.6 Medición de cortes verticales balde BN-3

Probeta 1		Probeta 2		Probetas 3	
1,55	1,63	1,45	1,54	1,48	1,47
1,48	1,56	1,50	1,61	1,56	1,53
Medición a 30 cm de la base Corte2-V (mm)					
1,54	1,62	1,52	1,55	1,52	1,54
1,54	1,64	1,53	1,55	1,53	1,56
Medición a 24 cm de la base Corte3-V (mm)					
1,57	1,52	1,50	1,59	1,57	1,56
1,60	1,51	1,52	1,61	1,59	1,54
Medición a 18 cm de la base Corte4-V (mm)					
1,52	1,54	1,66	1,56	1,60	1,65
1,52	1,53	1,64	1,52	1,59	1,66
Medición a 12 cm de la base Corte5-V (mm)					
1,60	1,67	1,68	1,62	1,62	1,58
1,59	1,65	1,65	1,58	1,60	1,59
Medición a 6 cm de la base Corte6-V (mm)					
1,68	1,62	1,58	1,65	1,59	1,63
1,70	1,69	1,60	1,69	1,62	1,65

Tabla C.7 Medición de cortes horizontales balde BP-4

Probeta 1				Probeta 2				Probetas 3			
1,48	1,47	1,47	1,47	1,51	1,52	1,56	1,51	1,53	1,51	1,50	1,52
1,50	1,47	1,50	1,55	1,58	1,61	1,60	1,60	1,54	1,52	1,53	1,50
Medición a 30 cm de la base Corte2-H (mm)											
1,57	1,53	1,52	1,53	1,62	1,63	1,63	1,59	1,53	1,56	1,59	1,62
1,57	1,51	1,51	1,53	1,61	1,61	1,61	1,59	1,54	1,54	1,57	1,60
Medición a 24 cm de la base Corte3-H (mm)											
1,51	1,53	1,54	1,56	1,61	1,60	1,56	1,52	1,55	1,60	1,63	1,61
1,49	1,51	1,52	1,55	1,59	1,58	1,53	1,52	1,55	1,61	1,61	1,61
Medición a 18 cm de la base Corte4-H (mm)											
1,56	1,61	1,62	1,62	1,60	1,59	1,56	1,54	1,51	1,48	1,51	1,54
1,60	1,63	1,63	1,64	1,63	1,60	1,57	1,53	1,52	1,52	1,53	1,57
Medición a 12 cm de la base Corte5-H (mm)											
1,58	1,61	1,65	1,65	1,62	1,61	1,57	1,53	1,47	1,47	1,52	1,55
1,59	1,65	1,64	1,64	1,63	1,60	1,59	1,57	1,50	1,50	1,55	1,56
Medición a 6 cm de la base Corte6-H (mm)											
1,58	1,57	1,57	1,61	1,65	1,64	1,61	1,59	1,63	1,62	1,64	1,61
1,59	1,57	1,57	1,62	1,70	1,68	1,65	1,61	1,67	1,65	1,64	1,62

Tabla C.8 Medición de cortes verticales balde BP-4

Medición a 36 cm de la base Corte1-V (mm)					
Probeta 1		Probeta 2		Probetas 3	
1,43	1,49	1,48	1,51	1,49	1,52
1,47	1,54	1,56	1,57	1,51	1,50
Medición a 30 cm de la base Corte2-V (mm)					
1,58	1,51	1,61	1,57	1,52	1,61
1,56	1,51	1,60	1,55	1,50	1,62
Medición a 24 cm de la base Corte3-V (mm)					
1,52	1,57	1,59	1,51	1,56	1,64
1,51	1,54	1,60	1,50	1,55	1,60
Medición a 18 cm de la base Corte4-V (mm)					
1,56	1,63	1,62	1,52	1,52	1,55
1,57	1,64	1,63	1,51	1,51	1,56
Medición a 12 cm de la base Corte5-V (mm)					
1,55	1,63	1,66	1,52	1,50	1,54
1,57	1,62	1,65	1,58	1,59	1,55
Medición a 6 cm de la base Corte6-V (mm)					
1,60	1,61	1,65	1,62	1,65	1,61
1,62	1,62	1,71	1,66	1,69	1,64

Tabla C.9 Medición de cortes horizontales balde BM-5

Medición a 36 cm de la base Corte1-H (mm)											
Probeta 1				Probeta 2				Probetas 3			
1,55	1,63	1,65	1,65	1,62	1,64	1,50	1,52	1,50	1,50	1,55	1,55
1,62	1,70	1,65	1,71	1,60	1,65	1,65	1,60	1,60	1,65	1,60	1,60
Medición a 30 cm de la base Corte2-H (mm)											
1,60	1,62	1,71	1,70	1,71	1,72	1,71	1,70	1,61	1,61	1,61	1,61
1,60	1,63	1,62	1,63	1,70	1,72	1,73	1,71	1,60	1,65	1,63	1,60
Medición a 24 cm de la base Corte3-H (mm)											
1,60	1,65	1,71	1,69	1,55	1,61	1,60	1,65	1,61	1,70	1,70	1,70
1,61	1,61	1,60	1,60	1,60	1,62	1,61	1,61	1,61	1,68	1,62	1,61
Medición a 18 cm de la base Corte4-H (mm)											
1,60	1,61	1,65	1,60	1,55	1,65	1,41	1,55	1,52	1,45	1,54	1,60
1,61	1,62	1,65	1,65	1,60	1,61	1,63	1,60	1,51	1,53	1,59	1,51
Medición a 12 cm de la base Corte5-H (mm)											
1,60	1,52	1,60	1,61	1,60	1,61	1,60	1,61	1,60	1,50	1,61	1,60
1,61	1,61	1,65	1,65	1,50	1,62	1,55	1,65	1,61	1,60	1,61	1,65
Medición a 6 cm de la base Corte6-H (mm)											
1,65	1,65	1,65	1,65	1,55	1,55	1,60	1,65	1,54	1,58	1,61	1,67
1,75	1,80	1,71	1,67	1,63	1,62	1,69	1,68	1,54	1,62	1,72	1,73

Tabla C.10 Medición de cortes verticales balde BM-5

Medición a 36 cm de la base Corte1-V (mm)					
Probeta 1		Probeta 2		Probetas 3	
1,60	1,60	1,50	1,60	1,55	1,64
1,60	1,60	1,60	1,60	1,56	1,63
Medición a 30 cm de la base Corte2-V (mm)					
1,62	1,70	1,80	1,72	1,70	1,65
1,61	1,68	1,79	1,80	1,71	1,69
Medición a 24 cm de la base Corte3-V (mm)					
1,61	1,70	1,70	1,60	1,75	1,75
1,60	1,70	1,70	1,61	1,70	1,76
Medición a 18 cm de la base Corte4-V (mm)					
1,60	1,61	1,60	1,69	1,65	1,61
1,55	1,71	1,71	1,55	1,65	1,58
Medición a 12 cm de la base Corte5-V (mm)					
1,68	1,60	1,65	1,65	1,65	1,69
1,61	1,70	1,70	1,70	1,61	1,65
Medición a 6 cm de la base Corte6-V (mm)					
1,69	1,69	1,64	1,74	1,68	1,73
1,70	1,74	1,69	1,79	1,62	1,70

Tabla C.11 Medición de probetas de tapa TR-1

PROBETA 1 (mm)	PROBETA 2 (mm)	PROBETA 3 (mm)
2,07	2,06	2,08
2,06	2,01	2,02
2,04	2,03	2,07
2,01	2,04	2,08
2,07	2,07	2,07
2,09	2,00	2,02
2,10	2,04	2,03
2,04	2,05	2,07

Tabla C. 12 Medición de probetas de tapa TN-2

PROBETA 1 (mm)	PROBETA 2 (mm)	PROBETA 3 (mm)
2,12	2,13	2,14
2,10	2,04	2,11
2,04	2,06	2,11
2,10	2,09	2,10
2,14	2,15	2,12
2,09	2,11	2,06
2,08	2,07	2,10
2,09	2,09	2,13

Tabla C. 13 Medición de probetas tapa TP-3

PROBETA 1 (mm)	PROBETA 2 (mm)	PROBETA 3 (mm)
2,06	2,12	2,13
2,04	2,16	2,11
2,04	2,18	2,12
2,12	2,15	2,17
2,12	2,15	2,07
2,13	2,14	2,07
2,12	2,12	2,08
2,11	2,18	2,13

Tabla C.14 Medición de probetas tapa TM-4

PROBETA 1 (mm)	PROBETA 2 (mm)	PROBETA 3 (mm)
2,23	2,12	2,16
2,18	2,16	2,12
2,16	2,13	2,12
2,15	2,19	2,15
2,21	2,16	2,17
2,16	2,16	2,14
2,17	2,17	2,16
2,15	2,14	2,15