

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“VALIDACIÓN DE UN ENVASE PET QUE CONTIENE 20% DE PET  
RECICLADO POST CONSUMO PARA ENVASADO DE  
REFRESCOS”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**JHON TOMAS ESPIRITU APOLINARIO**

**LIMA - PERÚ**

**2022**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24 - Reglamento de Propiedad Intelectual)**


## Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	originalidad TSP - ESPIRITU APOLINARIO JHON.pdf (D134106747)
<b>Submitted</b>	2022-04-20T20:26:00.0000000
<b>Submitted by</b>	Walter Francisco Salas Valerio
<b>Submitter email</b>	wfsalas@lamolina.edu.pe
<b>Similarity</b>	0%
<b>Analysis address</b>	walter.francisco.salas.valerio.unalm@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>SA</b>	<b>Tesis (Análisis del Proceso de Fabricación de Envases Pet y su incidencia en la Producción) 2.docx</b>	 <b>1</b>
	Document Tesis (Análisis del Proceso de Fabricación de Envases Pet y su incidencia en la Producción) 2.docx (D26751257)	

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“VALIDACIÓN DE UN ENVASE PET QUE CONTIENE 20% DE PET  
RECICLADO POST CONSUMO PARA ENVASADO DE  
REFRESCOS”**

Presentado por:

JHON TOMAS ESPIRITU APOLINARIO

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO  
DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

---

Luis F. Vargas Delgado, PhD.  
PRESIDENTE

---

Dr. Eduardo R. Morales Soriano  
MIEMBRO

---

Gabriela C. Chire Fajardo, PhD.  
MIEMBRO

---

M. Sc. Walter F. Salas Valerio  
ASESOR

Lima - Perú

2022

## **DEDICATORIA**

A mi abuelito Urbano Espiritu, a mi  
hijita Paula Andrea Victoria Espiritu  
y a mis queridos tíos Nely Espiritu  
y Diógenes Masgo mis  
ángeles en el cielo.

A mi familia, Cady Lifoncio,  
Sebastián y Joaquín Espiritu  
Lifoncio, que son mi motor  
y motivo para afrontar  
desafíos como este.

A mis padres Tomas Espiritu y  
Sebastiana Apolinario y a mis  
hermanos Juan, Nilson y Walter,  
por su apoyo y consejos brindados  
durante mi formación universitaria.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesor, M. Sc. Walter Salas y a los miembros del jurado Dr. Fernando Vargas, Mg. Sc. Eduardo Morales y Dra. Gabriela Chire, por su incondicional apoyo a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Alberto Vera, por compartirme su amplia experiencia en el mundo de las botellas PET.

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

## ABSTRACT

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1.	PET.....	3
2.2.	PET-PCR.....	4
2.2.1.	ANTECEDENTES.....	5
2.2.2.	PROCESOS DE RECICLADO.....	5
2.2.3.	TENDENCIAS DEL USO DE PET-PCR.....	8
2.2.4.	VENTAJAS Y AMENAZAS DEL USO DE PET-PCR.....	9
2.2.5.	BENEFICIOS DEL PET-PCR.....	9
2.3.	PROCESO DE SOPLADO DE PREFORMAS PET.....	10
2.4.	MAQUINABILIDAD.....	11
2.5.	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	12
2.5.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	12
2.5.2.	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	13
2.6.	PRUEBA DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.....	14
2.6.1.	PRUEBA DE TRANSPORTE.....	14
2.6.2.	PRUEBA DE APILAMIENTO.....	15
2.7.	INTERACCIÓN ENVASE – PRODUCTO.....	17
2.7.1.	PERMEACIÓN.....	17
2.7.2.	MIGRACIÓN.....	18
2.7.3.	SORCIÓN.....	18
2.8.	TIEMPO DE VIDA ÚTIL.....	19
2.8.1.	ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA A TIEMPO REAL.....	20
2.8.2.	ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ACELERADO.....	20
<b>III.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	21
3.2.	MATERIA PRIMA, MATERIALES Y EQUIPOS.....	21
3.2.1.	MATERIA PRIMA.....	21
3.2.2.	MATERIALES.....	22
3.2.3.	EQUIPOS.....	22

3.3.	CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL Y MAQUINARIA .....	23
3.3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA PREFORMA PET.....	23
3.3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA TAPA ROSCA PLÁSTICA.....	23
3.3.3.	CARACTERIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE SOPLADO Y LLENADO.....	24
3.4	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EN PROCESO PRE-PRODUCTIVO.....	25
3.4.1.	REVISIÓN DOCUMENTARIA.....	25
3.4.2.	EVALUACIÓN DE MEDIDAS.....	25
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EN PROCESO PRODUCTIVO.....	29
3.5.1.	CONTROLES DE ENVASE DURANTE PROCESO PRODUCTIVO.....	30
3.6.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EN PROCESO POST-PRODUCTIVO.....	33
3.6.1.	ANÁLISIS DE COMPRESIÓN.....	33
3.6.2.	ANÁLISIS DE TRACCIÓN.....	34
3.6.3.	EVALUACIÓN DE APILAMIENTO.....	35
3.6.4.	EVALUACIÓN DE TRANSPORTE.....	36
3.6.5.	ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ACELERADO.....	37
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>40</b>
4.1.	PROCESO PRE-PRODUCTIVO.....	40
4.1.1.	RESULTADO REVISIÓN DOCUMENTARIA.....	40
4.1.2.	RESULTADOS EVALUACIÓN DE MEDIDAS .....	42
4.2.	PROCESO PRODUCTIVO.....	56
4.2.1.	RESULTADOS EVALUACIÓN DE ENVASE DURANTE PROCESO .....	56
4.3.	PROCESO POST-PRODUCTIVO.....	59
4.3.1.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COMPRESIÓN .....	59
4.3.2.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TRACCIÓN.....	62
4.3.3.	RESULTADO DE LA PRUEBA DE APILAMIENTO.....	68
4.3.4.	RESULTADO DE LA PRUEBA DE TRANSPORTE .....	68
4.3.5.	RESULTADO ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ACELERADO.....	69
4.4.	APLICACIÓN DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES.....	70
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>74</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	<b>Principales características de la preforma.....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 2:</b>	<b>Principales características de la tapa rosca plástica .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 3:</b>	<b>Principales características de la máquina de soplado.....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 4:</b>	<b>Principales características de la máquina de llenado.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 5:</b>	<b>Formato de controles en proceso productivo.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 6:</b>	<b>Principales características del estudio de vida acelerado del refresco...37</b>	
<b>Tabla 7:</b>	<b>Resultados de revisión documentaria emitida por el proveedor.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 8:</b>	<b>Resultados de revisión documentaria emitida por un laboratorio externo .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 9:</b>	<b>Resultado de peso, altura, diámetro externo de rosca y altura tope precinto promedio de preforma.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 10:</b>	<b>Resultado de altura promedio de botella.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 11:</b>	<b>Resultado de espesor promedio en cada zona de botella.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 12:</b>	<b>Resultados del monitoreo en línea a los parámetros de envasado.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 13:</b>	<b>Resultados del monitoreo en línea a los controles de integridad del envase.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 14:</b>	<b>Resultados de la fuerza de resistencia a la compresión promedio .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 15:</b>	<b>Resultados de la fuerza de resistencia a la tracción promedio.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 16:</b>	<b>Resultados de módulo de Young promedio.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 17:</b>	<b>Resultado de inspección de prueba de transporte.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 18:</b>	<b>Resultados de estimaciones de estudio de tiempo de vida acelerado...70</b>	
<b>Tabla 19:</b>	<b>Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el desempeño laboral.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 20:</b>	<b>Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el trabajo de suficiencia profesional .....</b>	<b>71</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	<b>Reciclaje biocatalítico del PET post consumo.....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2:</b>	<b>Esquema de la secuencia del proceso de soplado de preformas.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 3:</b>	<b>Esquema del ensayo de compresión.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 4:</b>	<b>Esquema del ensayo de tracción.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 5:</b>	<b>Acción de la fuerza de inercia durante el transporte.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 6:</b>	<b>Paletizado en <i>overhang</i>.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 7:</b>	<b>Diseños de paletizados.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 8:</b>	<b>Interacciones entorno – envase – producto.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 9:</b>	<b>Plano de preforma de 13,5 g.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 10:</b>	<b>Plano de tapa rosca plástica CSD8-A 28 mm.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 11:</b>	<b>Plano de rosca de preforma de 13,5 g.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 12:</b>	<b>Medición de altura de envase con equipo medidor de altura digital....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 13:</b>	<b>Zonas de medición de espesor en el envase.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 14:</b>	<b>Medición de espesor del envase con el equipo Magna Mike 8600.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 15:</b>	<b>Manómetro de mano .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 16:</b>	<b>Torquímetro.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 17:</b>	<b>Imagen de ensayo de compresión.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 18:</b>	<b>Imagen de ensayo de tracción.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 19:</b>	<b>Esquema de prueba de apilamiento.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 20:</b>	<b>Esquema de prueba de transporte .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 21:</b>	<b>Esquema de pruebas de acuerdo con la metodología experimental....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 22:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable peso de preforma.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 23:</b>	<b>Diagrama de caja de variable peso de preforma.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 24:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable altura de preforma.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 25:</b>	<b>Diagrama de caja de variable altura de preforma.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 26:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable diámetro externo de rosca de preforma.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 27:</b>	<b>Diagrama de caja de variable diámetro externo de rosca de preforma.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 28:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable altura tope precinto de preforma.....</b>	<b>47</b>

<b>Figura 29:</b>	<b>Diagrama de caja de variable altura tope precinto de preforma.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 30:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable altura de botella.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 31:</b>	<b>Diagrama de caja de variable altura de botella.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 32:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable espesor de hombro.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 33:</b>	<b>Diagrama de caja de variable espesor de hombro.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 34:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable espesor de cintura.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 35:</b>	<b>Diagrama de caja de variable espesor de cintura.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 36:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable espesor de panel.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 37:</b>	<b>Diagrama de caja de variable espesor de panel.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 38:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable espesor de talón.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 39:</b>	<b>Diagrama de caja de variable espesor de talón.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 40:</b>	<b>Histograma con curva normal de variable espesor de base.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 41:</b>	<b>Diagrama de caja de variable espesor de base.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 42:</b>	<b>Resultados de medida de presión interna.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 43:</b>	<b>Resultados de medida de torque de aplicación .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 44:</b>	<b>Resultados de medida de torque de remoción .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 45:</b>	<b>Gráfico de intervalos de variable fuerza de compresión.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 46:</b>	<b>Gráfico de valores individuales de variable fuerza de compresión.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 47:</b>	<b>Gráfico de intervalos de variable fuerza de tracción.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 48:</b>	<b>Gráfico de valores individuales de variable fuerza de tracción.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 49:</b>	<b>Gráfico de intervalos de variable módulo de Young.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 50:</b>	<b>Gráfico de valores individuales de variable módulo de Young.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 51:</b>	<b>Resultados inspección prueba de transporte .....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b>	<b>DOCUMENTACIÓN SANITARIA.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 2:</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE MEDIDAS DE PREFORMA.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO 3:</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE MEDIDAS DE BOTELLA.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 4:</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 5:</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 6:</b>	<b>GRÁFICAS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO 7:</b>	<b>GRÁFICAS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO 8:</b>	<b>ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ACELERADO DEL REFRESCO.....</b>	<b>118</b>

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo validar el uso de una preforma PET de 13,5 g con 20% de PET-PCR (*post consumer recycled*) para el envasado de una bebida tipo refresco en la presentación de 500 mL. El proceso de validación abarcó evaluaciones en las fases pre productivas, productivas y post productivas. Este trabajo se inició con la evaluación documentaria de la información técnica y sanitaria del material, seguidamente se evaluó las medidas de peso, altura, diámetro externo y altura tope precinto de la preforma y posterior al proceso de soplado se evaluó las medidas de altura y perfil de espesores de la botella obtenida a partir de la preforma. Los resultados mostraron que las variables evaluadas cumplen con lo especificado para un material estándar (100% virgen). La segunda parte del trabajo evaluó el desempeño de la botella en línea de producción, en esta fase se verificó que los controles realizados a la integridad del envase, presión interna y torques de aplicación y remoción se encuentran dentro de los parámetros estándares de trabajo. Finalmente, se realizaron pruebas complementarias comparativas, como los ensayos de compresión y tracción, así como las pruebas de apilamiento y transporte, esto con el fin de evaluar las características mecánicas del envase. Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas frente a un patrón o referencia. Complementariamente se realizó un estudio de tiempo de vida acelerado, donde se estimó un tiempo de vida útil del producto de 6,21 meses a una temperatura de 35°C.

**Palabras claves:** Preforma PET-PCR, perfil de espesores, compresión, tracción, prueba de apilamiento y prueba de transporte.

## ABSTRACT

The objective of this work was to validate the use of a 13.5 g PET preform with 20% PET-PCR (post consumer recycled) for the packaging of a soft drink in the 500 mL presentation. The validation process included evaluations in the pre-productive, productive and post-productive phases. This work began with the documentary evaluation of the technical and sanitary information of the material, then the measurements of weight, height, external diameter and height of the preform seal were evaluated and after the blowing process the height and profile measurements were evaluated. of thicknesses of the bottle obtained from the preform. The results showed that the variables evaluated comply with what is specified for a standard material (100% virgin). The second part of the work evaluated the performance of the bottle in the production line, in this phase it was verified that the controls carried out on the integrity of the container, internal pressure and application and removal torques are within the standard working parameters. Finally, complementary comparative tests were carried out, such as compression and traction tests, as well as stacking and transport tests, this in order to evaluate the mechanical characteristics of the container. The results indicated that there are no significant differences compared to a standard or reference. In addition, an accelerated life time study was carried out, where a product life time of 6,21 months was estimated at a temperature of 35°C.

**Keywords:** PET-PCR preform, thickness profile, compression, traction, stacking test and transport test.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto un incremento mundial de residuos plásticos, lo cual ha provocado una serie de protestas en todo el mundo cuestionando su uso por el efecto negativo que esta trae al medio ambiente. Según Flórez (2021) la producción de plásticos en el mundo llegó a un pico de 359 millones de toneladas métricas el 2018, así mismo, indica que desde que el plástico existe solo el 9% ha sido reciclado. Esta coyuntura ha llevado a que organizaciones y comunidades internacionales unan esfuerzos para frenar esta tendencia firmando acuerdos y tratados. La Unión Europea tiene como objetivo que, a partir del 2025, la fabricación de botellas PET incorporen al menos un 25% de material reciclado post consumo y que este porcentaje se incremente al 30% en el 2030 (Parlamento Europeo, 2019).

En ese sentido, compañías de todo el mundo han desarrollado nuevas tecnologías que permiten reusar materiales reciclados en la fabricación de nuevos empaques para alimentos, siendo el PET Reciclado Post Consumo de grado alimentario, también conocido como PET-PCR por iniciales en inglés (*Post Consumer Recycled*), es la que ha centrado la atención de muchas investigaciones y el que mejores resultados ha tenido, es así que, empresas en todo el mundo han comenzado a tener un mayor interés en la aplicación de este material reciclado. Se revela el lanzamiento de NUUK, un nuevo diseño de botella PET fabricado con 100% material reciclado para envasar agua de altísima calidad extraídas de los fiordos (Sidel, 2021)

Teniendo en cuenta esta coyuntura y tendencia mundial al que Perú no es ajeno se publica la Ley N° 30884, ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables, donde en su artículo 10 explica la obligación del uso del material PET-PCR en la fabricación de botellas para bebidas de consumo humano y demás usos, indicando además que esta debe incorporarse en al menos 15% de su composición (El Peruano, 2018). En respuesta a esta necesidad y al compromiso con el medio ambiente, una empresa líder en el rubro de alimentos decidió validar el uso de una botella de 500 mL producida a partir de una preforma de 13,5 g con 20% de PET-PCR en su composición, destinado para el envasado de bebidas tipo refresco.

Este proyecto llevó al diseño de un protocolo de validación con una serie de pruebas y ensayos, con el fin de obtener información sobre las principales características del envase, que permita tener los elementos de juicio necesarios para validar un envase de diferente composición al de uso regular, si bien este proyecto no conllevó a un beneficio económico, sí permitió a la compañía reafirmar su compromiso con el medio ambiente y con las nuevas disposiciones legales de la normativa nacional.

El presente trabajo tuvo como objetivo principal validar el uso de una preforma PET con 20% de PET-PCR en su composición para envasado de una bebida tipo refresco. De este proceso de validación en cada etapa productiva se desprendieron los siguientes objetivos específicos:

- Validar en proceso pre-productivo el uso de una preforma PET con 20% de PET-PCR a través de la revisión documentaria y evaluación de medidas.
- Validar en proceso productivo el uso de una preforma PET con 20% de PET-PCR a través de los controles y monitoreo en línea de producción.
- Validar en proceso post-productivo el uso de una preforma PET con 20% de PET-PCR a través de ensayos de compresión y tracción, pruebas complementarias de apilamiento y transporte y estudio de tiempo de vida acelerado.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. PET

Loganayagan *et al.* (2021) explican que el polietileno tereftalato (PET) es el resultado de la polimerización de unidades monoméricas de tereftalato de etileno, este material poliéster termoplástico formado a partir de la condensación del ácido tereftálico y etilenglicol tiene aplicación mundial debido a sus principales características como lo son: Su alta resistencia a la tracción, resistencia a productos químicos, procesabilidad, transparencia y robustez al fuego, el cual es usado generalmente para producir envases para alimentos y bebidas, productos farmacéuticos y fibras.

El PET experimenta cambios cuando es sometido a tratamientos térmicos, es así como, a una temperatura de calentamiento por encima de 72°C lo conduce a un estado semicristalino, donde el PET tiende a tener una forma elástica, mientras en el rango de temperatura que va de 255 – 265°C el PET tiende a fundirse (Loganayagan *et al.*, 2021).

Ospina (2015) presenta entre las principales características del PET lo siguiente:

- No presenta absorción de agua
- Resistencia mecánica y rigidez
- Resistencia térmica
- Transparencia y brillo, siendo resistente a los aceites y a las grasas
- Propiedades de barrera a gases y vapor de agua
- Costos de producción relativamente bajos



## 2.2. PET PCR

Es el material obtenido a partir de desechos PET post consumo, aplicando tecnologías aprobadas para un nivel adecuado de descontaminación que permita su uso como insumo en la fabricación de nuevos envases para contener alimentos (MERCOSUR, 2007).

Por lo general la fabricación de botellas PET abarca la mayor cantidad de desechos PET post consumo, que según Welle (2011) encajan en un sistema de reciclaje ideal por las siguientes razones:

- Están en el mercado mundial en grandes cantidades, lo que garantiza la disponibilidad de PET post consumo para el reciclado, y esto a su vez fomenta en las empresas afines, el desarrollo de nuevas maquinarias y tecnologías.
- Son generalmente fáciles de separar del flujo de desechos recolectados.
- Los tapones y etiquetas hechos de otro material se pueden separar fácilmente por densidad durante el reciclaje convencional.
- Por lo general son transparentes y las que usan colorantes se pueden clasificar fácilmente.
- El PET no requiere de aditivos plastificantes, antioxidantes o agentes deslizantes, por lo que no necesita control del estado aditivo del PET reciclado.
- Normalmente no se imprimen de forma directa, por lo que la contaminación por tinta de impresión es mínima.
- Las materias primas de PET utilizados para el envasado de alimentos y no alimentos son de grado alimentario que cumplen leyes europeas y americanas, por lo que la fracción de PET no alimentario no se excluye.

- El PET es un polímero muy inerte, lo que provoca una muy baja absorción de compuestos durante su primera vida útil.

### **2.2.1. ANTECEDENTES**

Un caso de éxito en la obtención de materiales post consumo de grado alimentario para la fabricación de nuevos envases plásticos, es la empresa colombiana Lamiempaqués que gracias a la implementación de un sistema de ultra limpieza puede descontaminar y retirar del material reciclado sustancias no aptas para alimentos a través de un proceso de vacío, temperatura y tiempo de residencia, resultando un material en óptimas condiciones para ser procesado que cumple con altos estándares de calidad de acuerdo a los exigidos por las americanas y europeas (Luna & Salazar, 2018).

Coca-Cola una de las empresas de bebidas más preocupadas en temas de sustentabilidad a nivel mundial manifestó el año 2016 su compromiso de duplicar el uso PET reciclado post consumo en el año 2020 en Europa Occidental, elevando su contenido al 50% (Krol, 2018).

Flórez (2021) explica que La Unión Europea ha manifestado que para el 2025, como mínimo el 30% del material usado en la industria plástica debe ser de origen recuperado post consumo, lo cual debe alertar a las empresas de este sector en este continente a tomar las previsiones del caso.

### **2.2.2. PROCESOS DE RECICLADO**

Los materiales post consumo se obtienen por lo general a partir de procesos de reciclado específicos de acuerdo con la aplicación que va a tener el material resultante, entre los más comunes tenemos el reciclado mecánico, químico y la combinación de ambos, no obstante, los avances tecnológicos han llevado a incorporar un proceso de reciclado biocatalítico.

## **a. RECICLADO MECÁNICO**

Es un proceso que tiene como flujo regular triturar, lavar y separar impurezas para luego someterlas a un proceso de extrusión donde se obtendrá granza o pellet reciclado que será usado como insumo para fabricar nuevos envases con características limitadas debido a la falta de pureza y homogeneidad del material reciclado que generalmente sufre un proceso de contaminación y degradación, que si llegaran a tener niveles altos requerirían de un proceso de reciclaje químico (Aliaga & Guillem, 2020).

Asensio *et al.* (2021) presentan al reciclaje mecánico como un proceso relativamente simple con mucha aceptación, debido a que permite ahorrar energía y evitar la emisión de gases que afectan al medio ambiente. Este proceso consiste generalmente en eliminar impurezas, clasificar, triturar, lavar y fundir. El mayor inconveniente del reciclado mecánico es la degradación del PET que disminuye el peso molecular generando una disminución en las propiedades mecánicas de sus productos finales en comparación con los productos producidos con material virgen.

## **b. RECICLADO QUÍMICO**

En relación con este tipo de reciclado, Aliaga & Guillem (2020) sostienen que un proceso innovador complementario al reciclaje mecánico para tratar residuos más complejos con el fin de obtener monómeros a partir de la purificación y despolimerización del polímero, que serán usados como insumos para producir nuevos productos plásticos de mejor pureza y calidad con aptitud de uso para alimentos, en la actualidad este proceso se usa mayoritariamente para tratar el PET y usarlo como insumo para fabricar nuevos envases.

El reciclaje químico incluye los procesos de metanólisis, hidrólisis, glucólisis, aminólisis y amonólisis, que conllevan a recuperar monómeros, como el ácido tereftálico y el etilenglicol, con el fin de volver a sintetizar el PET. Las mayores desventajas de este tipo de reciclado son su alto costo y los solventes contaminantes usados (Asensio *et al.*, 2020).

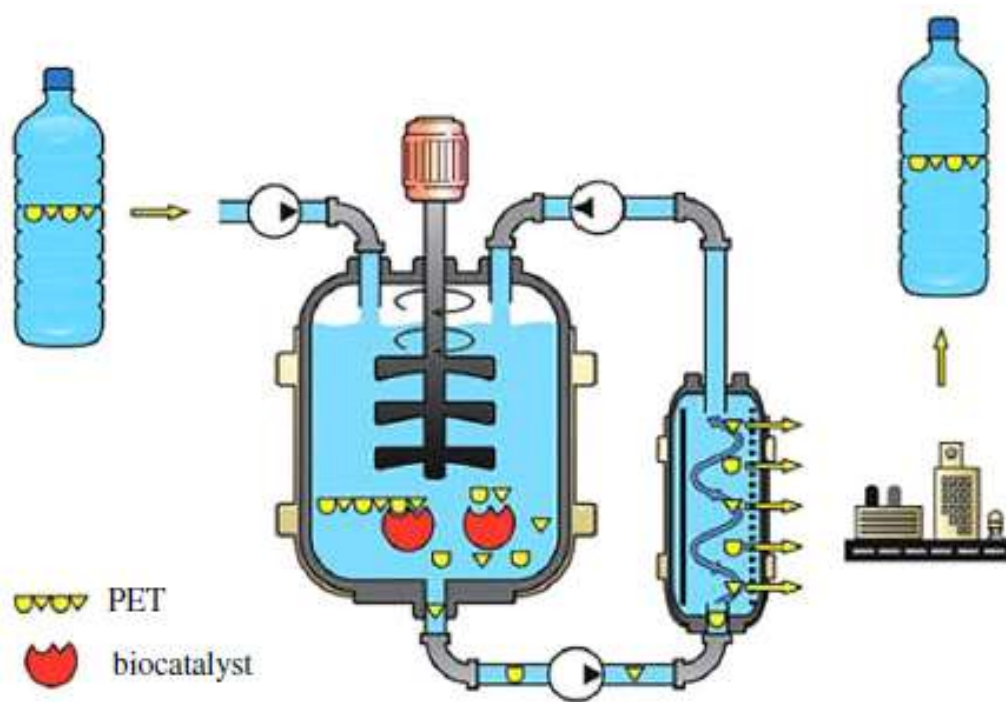
### **c. RECICLADO BIOCATALÍTICO**

A las tecnologías existentes de reciclado mecánico y químico se le suma el reciclaje biocatalítico, una nueva tecnología que produce un material de grado alimentario a diferencia del reciclado mecánico y de menor costo a diferencia del reciclado químico. Este proceso consiste en colocar el material PET post consumo en una solución acuosa a una temperatura entre 60° C y 70° C, donde los monómeros de ácido tereftálico y etilenglicoles obtenidos pueden recuperarse fácilmente a través de un proceso de precipitación y destilación, para finalmente puedan usarse para la síntesis de un nuevo PET (Zimmermann, 2020).

Zimmermann (2020) indica que, para hidrolizar eficazmente las películas de PET amorfas, se podría usar un reactor de enzima dual compuesto por una poliester hidrolasa y una carboxil esterasa. La carboxil esterasa mejora la tasa de degradación del PET al transformar los productos de hidrólisis transitorios en MHET (mon o (2-hidroxietilo) tereftalato) y BHET (bis (2-hidroxietilo) tereftalato) en TPA (ácido tereftálico) y EG (etilenglicol), por otro lado, el PET también podría degradarse de forma eficiente con la enzima poliester hidrolasa dentro de un reactor enzimático, donde los productos de la hidrólisis se eliminan continuamente usando membranas de ultrafiltración (Figura 1).

Un proceso biocatalítico además de convertir el envase PET en sus constituyentes monoméricos, podría usarse también para el reciclaje de desechos plásticos mixtos como plásticos multicapa o laminados compuestos usados para alimentos que generalmente contienen además de PET, polipropileno (PP) y polietileno (PE) (Zimmermann, 2020).

Zimmermann (2020) explica que, las enzimas son herramientas versátiles para la modificación y degradación del PET y cataloga al reciclaje biocatalítico de PET como una tecnológica emergente como alternativa al reciclaje convencional.



**Figura 1. Reciclaje biocatalítico del PET post consumo**

FUENTE: Welle (2011)

### 2.2.3. TENDENCIAS DEL USO DE PET-PCR

Sidel (2021) revela el lanzamiento de NUUK, un nuevo diseño de botella PET fabricado con material 100% reciclado, orientado al envasado de agua de altísima calidad extraídas de los fiordos, con lo cual mantiene su compromiso de sostenibilidad y aspiración a tener un envasado con materiales reciclables de circuito cerrado. NUUK capital de Groenlandia toma este nombre debido a su inconfundible y sofisticada geometría asimétrica que le dan forma de una botella glacial que surge del hielo.

Bajo la responsabilidad de proveer alimentos más naturales y proteger el planeta, Via Nature empresa líder en bebidas naturales innovadoras y de alta calidad, ha presentado una nueva versión de bebidas producidas bajo un proceso que garantiza la máxima frescura y todas las propiedades de la fruta desde su recolección hasta su consumo y envasados en una botella que contiene 100 % material reciclado post consumo, reduciendo significativamente su huella de carbono en un 47% gracias a esta innovación (Via Nature, 2021).

#### **2.2.4. VENTAJAS Y AMENAZAS DEL USO DEL PET PCR**

Rodriguez (2021) sostiene que, existe una tendencia a la sostenibilidad que las empresas no pueden pasar por alto, y es que en la actualidad los consumidores buscan reducir el impacto negativo al medio ambiente a través de los productos que consumen. Nielsen, compañía líder en información de mercado precisa que el 73% de consumidores escogerían cambiar sus hábitos de consumo hacia productos más amigables con el medio ambiente.

Una amenaza latente para desacelerar o desmotivar el uso de PET reciclado post consumo, es la caída del precio del petróleo, ingrediente principal para procesar plásticos. La reducción del precio del material virgen en los 4 últimos años ha fomentado que muchas empresas mantengan su uso. Otra amenaza es la baja disponibilidad del PET reciclado (Krol, 2018).

Tudball (2020) explica que, independientemente de la calidad y el beneficio social que pueda traer el PET reciclado su uso regular siempre estará fijado por el precio del material virgen, su caída de precio en el 2020 ha incentivado a empresas a sustituir el PET reciclado y retornar el uso de material virgen, además de reducir el margen de ganancia de los recicladores.

#### **2.2.5. BENEFICIOS DEL PET PCR**

Una forma de ayudar o contribuir con la reducción de desechos plásticos en beneficio del medio ambiente es reciclar los plásticos vertidos en alguna parte del planeta, en ese sentido empresas en el sector del PET reciclado post consumo como Bantam Materials junto a la empresa social OceanCycle traen plástico con destino al océano a Europa desde Indonesia, bajo el nombre de *Prevented Ocean Plastic* (POP), este trabajo en conjunto permite recolectar plásticos en zonas de riesgo, evitando así que estos materiales ingresen al océano, además de cubrir en algo la creciente demanda de polímeros reciclados en Europa, debido a la poca disponibilidad de este material en este continente (Tudball, 2020).

Luna & Salazar (2018) revelan que, Lamiempaques una empresa colombiana del sector plástico tiene un trabajo estratégico con cerca de 500 personas de poblaciones vulnerables a quienes brinda empleos de forma directa e indirecta a lo largo de todo el sistema de reciclaje

de materiales plásticos post consumo, contribuyendo así, con el beneficio social para estas personas.

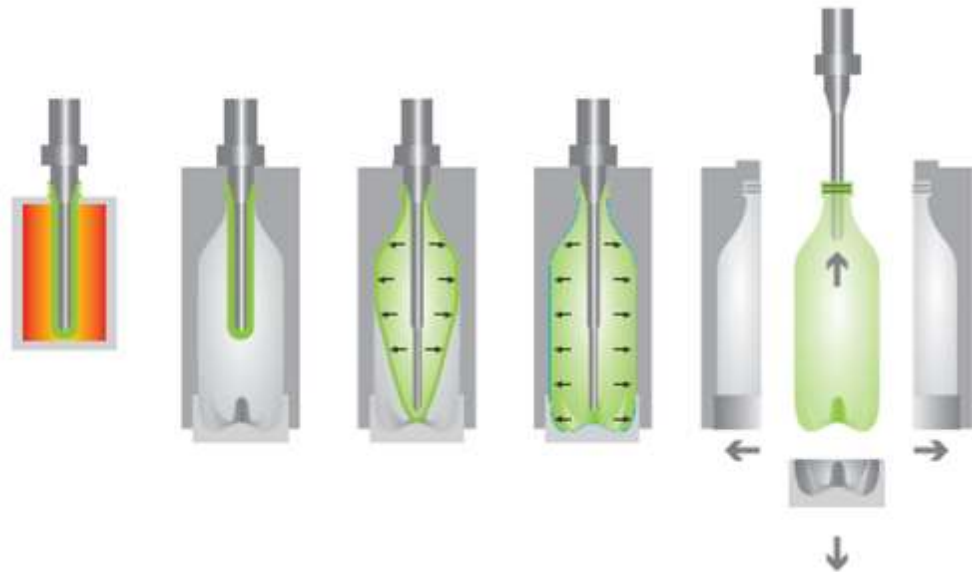
### **2.3. PROCESO SOPLADO DE PREFORMAS PET**

Pascual (2011) indica que este proceso tiene como insumo principal preformas PET que han previamente han sido producidos a través de un proceso de inyección, además explica que el proceso de soplado tiene un flujo que regularmente consiste en calentar la preforma, luego introducir aire a presión por la boca hasta obtener la forma del molde, también indica que ambos procesos de inyección y soplado pueden trabajar de manera inmediata. El esquema de proceso de soplado se puede observar en la Figura 2.

Beltrán & Marcilla (2012) explican para un proceso continuo de inyección y soplado, que este proceso de moldeo se inicia cuando una porción exacta de material es inyectada sobre una barra central, y aun en estado fundido es llevado a la estación de soplado, donde ingresa aire a presión para expandir el material hasta obtener la forma del molde, donde además se enfría para posteriormente desmoldarse.

Las ventajas más importantes que se obtienen de un de moldeo por inyección-soplado respecto a otros procesos, según Beltrán & Marcilla (2012) son:

- Se producen artículos terminados sin necesidad de recortes
- La calidad del moldeo del cuello proporciona un acabado apto para niños
- Permiten un control exacto del peso y espesor de pared
- Proceso estable que permite alta productividad



**Figura 2. Esquema de la secuencia del proceso de soplado de preformas**

FUENTE: Pascual (2011)

## 2.4. MAQUINABILIDAD

Bertomeu-Cámos & Fortuny (2016) afirman que, la maquinabilidad brinda información respecto al comportamiento del envase a lo largo de todas las etapas del proceso productivo al que va a ser expuesto, siendo los principales parámetros por evaluar: Su rendimiento esperado, estabilidad de medidas, estabilidad física durante proceso el envasado, resistencia al aplastamiento por acumulación de envases en los pulmones de la línea, y tolerar el estrés generado en los procesos de encapsulado, etiquetado y empaclado.

Durante la etapa de pruebas en línea de producción es de vital importancia la participación del personal del área de producción, pues sobre ellos recae el soporte técnico y experiencia para resolver cualquier inconveniente durante el proceso de envasado (Bertomeu-Cámos & Fortuny, 2016).



## **2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS**

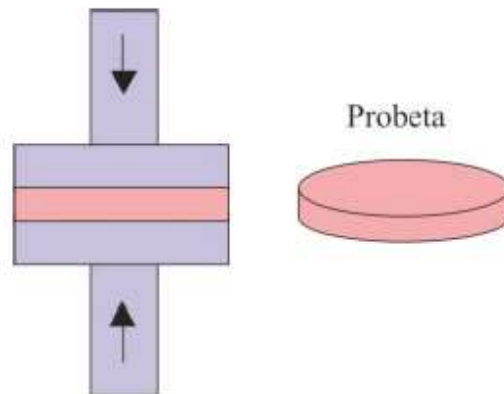
Pascual (2011) indican que, la exposición de una muestra a estrés mecánico da información respecto a su comportamiento bajo esta condición, permitiendo conocer sus propiedades mecánicas, siendo la resistencia mecánica la medida de mayor relevancia que podrá ser tomada en cuenta en cada una de las etapas de exposición que va desde su fabricación hasta su consumo final.

Las propiedades mecánicas ayudan a caracterizar el comportamiento de una muestra al ser sometidas a condiciones de estrés mecánico, brindando información respecto a su resistencia, entre los ensayos más importantes para conocer estas propiedades se encuentran la resistencia a la tracción, compresión, flexión, al impacto y a la punción, rasgado, rozamiento, dureza y separación por pelado (AINIA & AIMPLAS, 2016).

### **2.5.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

La resistencia a la compresión es una de las pruebas que a menudo se realiza en envases plásticos con el fin de determinar la fuerza a la que el envase comienza a deformarse. Al respecto, AINIA & AIMPLAS (2016) describen a la compresión como una de las propiedades mecánicas del cual se obtiene la medida de fuerza a un determinado valor de deformación de envase, producto de su exposición a una carga vertical de baja y uniforme velocidad.

Pascual (2011) concuerdan que los ensayos de compresión brindan información respecto a la cantidad de fuerza que tolerará una muestra hasta un valor de deformación en sentido de la compresión fijado por el ensayo, esto permitirá conocer el peso que podrá aguantar el envase, mientras más alto sea este valor, mayor será la carga que podrá tolerar. En la Figura 3 se visualiza un esquema que describe la prueba de compresión.

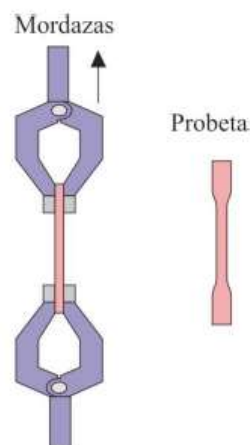


**Figura 3. Esquema del ensayo de compresión**

FUENTE: Beltrán (2012)

### 2.5.2. RESISTENCIA A TRACCIÓN

Pascual (2011) indican que, la aplicación de fuerzas en dirección paralela al eje de la muestra y en sentidos opuestos estiran la muestra provocando su deformación e inclusive llegando a producir su rotura, los resultados de este ensayo nos brindan información respecto a la deformación o alargamiento que ha experimentado la muestra, además de indicar donde se haya el máximo esfuerzo que resiste la muestra antes de romperse. En la Figura 4 se muestra el esquema de la prueba de tracción.



**Figura 4. Esquema del ensayo de tracción**

FUENTE: Beltrán (2012)

## **2.6. PRUEBA DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO**

La prueba de transporte y almacenamiento tienen como fin garantizar que el producto resultante al final del proceso productivo resista las condiciones de transporte y almacenamiento al que va a ser expuesto (Bertomeu-Cámos & Fortuny, 2016).

Bertomeu-Cámos (2015) sostiene que, el fin de estas pruebas es sacar a la luz problemas estructurales no visibles en el diseño del *packaging*, que de no develarse pudieran provocar problemas de integridad del envase a lo largo de la cadena de distribución afectando la calidad del producto terminado, entre los defectos que se pudieran encontrar, están las deformaciones del envase primario que pudieran afectar su presentación, estética y aptitud de uso, deformaciones en los envases secundarios que pudieran afectar la seguridad del manipulador y finalmente la inestabilidad de la carga.

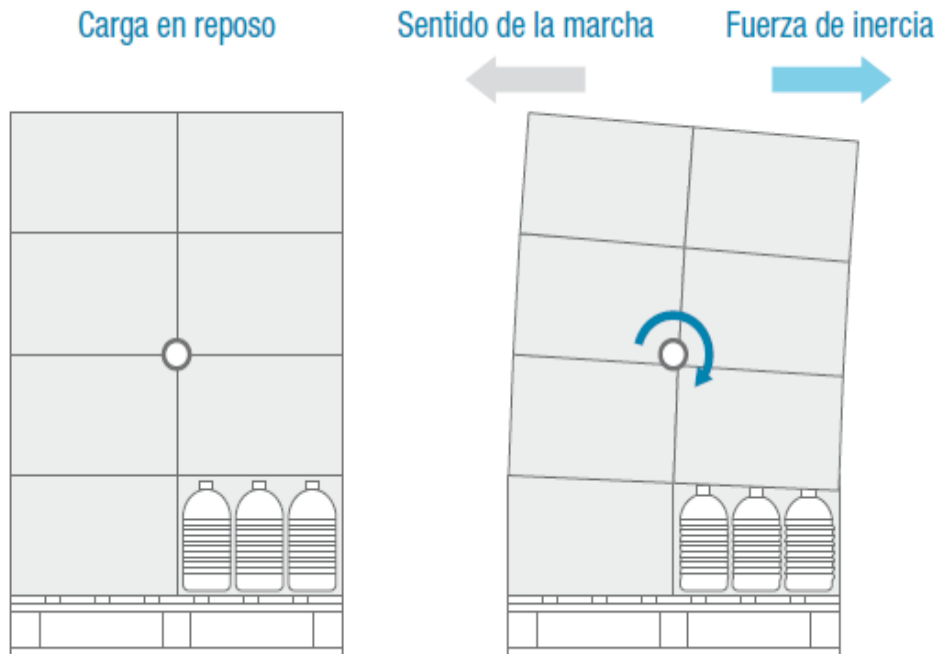
### **2.6.1. PRUEBA DE TRANSPORTE**

Durante el diseño de un envase se debe tener en cuenta las diferentes formas y condiciones con el que el producto terminado resultante será despachado, por lo que es importante conocer el medio de transporte, si es de un solo tipo o combinado, las condiciones de tiempo durante los traslados, ubicación y tiempo de recorrido (Bertomeu-Cámos & Fortuny, 2016).

Bertomeu-Cámos & Fortuny (2016) refieren en relación con la prueba de transporte que, esta prueba puede ser evaluada bajo una condición real o a través de un equipo que simule esta condición, además sugieren que la prueba real en carretera tenga un recorrido de 2000 km distribuyendo este trayecto con distintos tipos de ruta y la carga sea llevada en el tramo final del camión por ser la zona con mayor estrés mecánico.

Bertomeu-Cámos (2015) indica que, el tránsito de curvas durante el trayecto en carretera pueden generar defectos de integridad del embalaje, ladeo de la carga y en el peor de los casos provocar un accidente a la unidad de transporte, la magnitud de este problema estará en relación directa con la velocidad del transporte, así mismo menciona que las condiciones de aceleración y desaceleración del vehículo generan fuerzas de inercia que también

podieran afectar la integridad del embalaje y por ende la calidad del producto. En la Figura 5 se muestra el esquema de la acción de la fuerza de inercia durante el transporte.



**Figura 5. Acción de la fuerza de inercia durante el transporte**

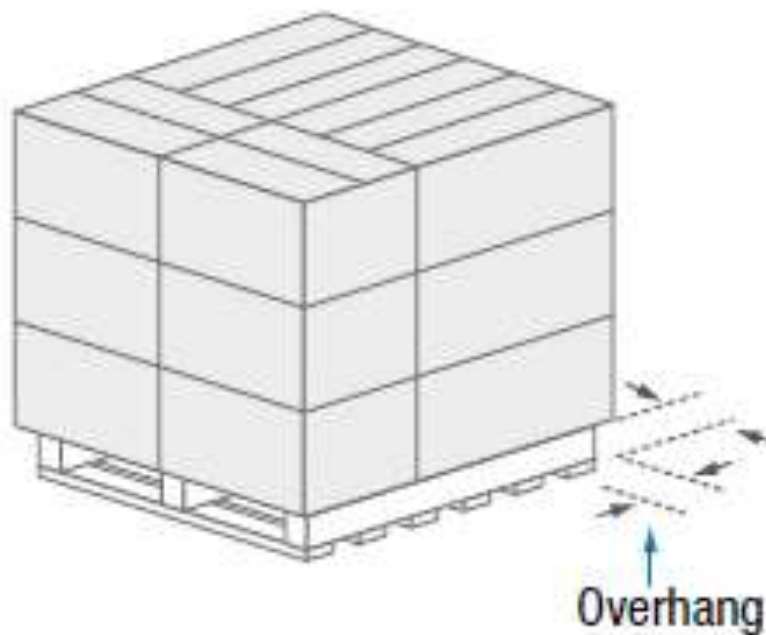
FUENTE: Bertomeu-Cámos (2015)

## 2.6.2. PRUEBA DE APILAMIENTO

La prueba de apilamiento es otra de las pruebas complementaria presentes en este trabajo, al respecto, se considera importante un análisis de fatiga al embalaje, a través de una carga que represente todas las fuerzas verticales que recaen sobre el en un periodo de tiempo, con el fin de identificar problemas en el diseño estructural del envase y embalaje que pudieran afectar la calidad del producto (Bertomeu-Cámos & Fortuny, 2016).

Bertomeu-Cámos y Fortuny (2016) explican que, para realizar una prueba de almacenamiento representativa esta debe ser sometida a condiciones normales, teniendo en cuenta siempre las situaciones al que será expuesto el producto hasta llegar al consumidor final, en ella también se deben incluir las condiciones de sobreapilamiento por ser considerada una actividad no controlada pero que es puesta en práctica regularmente.

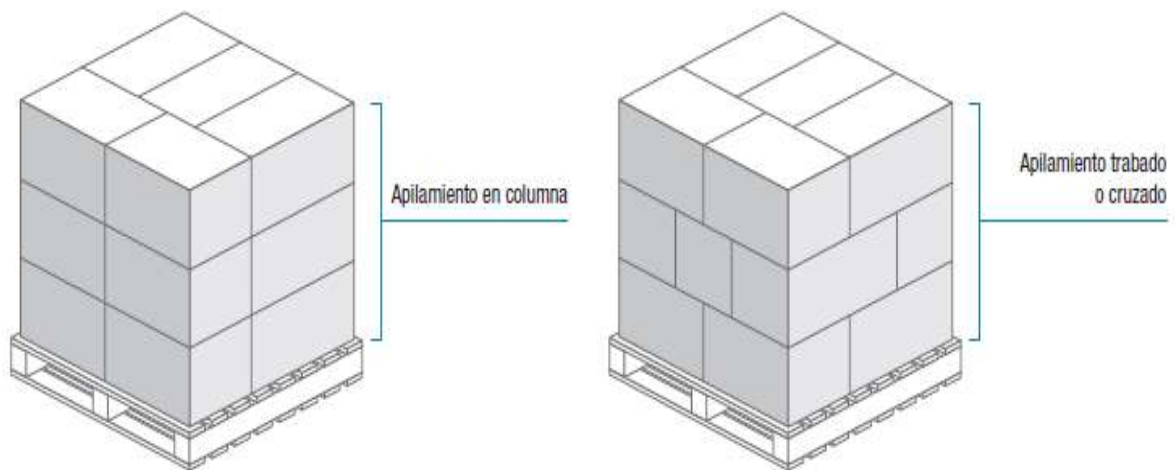
Otros aspectos que se deben considerar para un correcto diseño de prueba son el periodo de almacenaje, condiciones de tiempo y el diseño de tramado durante el paletizado, este último influye directamente en la resistencia del embalaje, siendo la disposición de carga en posición cruzada la que genera mayor estrés y pérdida de resistencia, otra condición que afecta la resistencia en bloque es cuando el producto sobresale de las dimensiones de la paleta, a esta condición se la conoce como *overhang* (Figura 6) (Bertomeu-Cámos & Fortuny, 2016).



**Figura 6. Paletizado en *overhang***

FUENTE: Bertomeu-Cámos (2015)

Bertomeu-Cámos (2016) indica que, los paletizados con carga cruzada tienden a reducir su resistencia vertical en un rango del 30 a 40%, también afirma que el paletizado del producto terminado bajo una condición de *overhang* puede sufrir una pérdida de resistencia vertical que se ubica en el rango del 25 y 30%. En la Figura 7 se presentan los diseños de paletizado.



**Figura 7. Diseños de paletizado**

FUENTE: Bertomeu-Cámos y Fortuny (2016)

## 2.7. INTERACCIÓN ENVASE – PRODUCTO

AINIA y AIMPLAS (2016) lo definen como la capacidad que tiene un envase para estar en contacto con el alimento contenido, las pruebas que determinan esta capacidad principalmente son las pruebas de migración total que dan el valor de recuento total de sustancias que migran del envase al producto, migración específica que contabiliza la cantidad de una sustancia específica con carácter toxicológico y las pruebas sensoriales que aportan cualitativamente una valoración de los sentidos. En la Figura 8 se muestra un esquema de interacción entre el envase y el producto.

### 2.7.1. PERMEACIÓN

Díaz & Herranz (2020) explican que, la permeación es un fenómeno de transferencia de sustancias del alimento envasado al exterior y en sentido inverso, generalmente gases y aromas que pueden alterar o modificar las características iniciales del producto contenido, por ejemplo, el ingreso de oxígeno favorece las reacciones de oxidación y el crecimiento microbiano, las cuales alteran la inocuidad y las características organolépticas del producto afectando así su aptitud de consumo.

## **2.7.2. MIGRACIÓN**

Es un fenómeno de transferencia de sustancias del material del envase al alimento contenido, los migrantes son materiales y aditivos propios del envase, otros migrantes son las impurezas que se generan por reacciones de interacción en los procesos donde se expone temperatura y presión, la transferencia se pueda dar de forma directa e indirecta con el alimento, de forma indirecta por ejemplo la capa externa de un envase multicapa, tintas, barnices o recubrimientos, no controlar este fenómeno podría producir cambios sensoriales, además de provocar riesgos al consumidor por transferencias de sustancias químicas perjudiciales para la salud (Díaz & Herranz, 2020).

### **a. MIGRACIÓN GLOBAL**

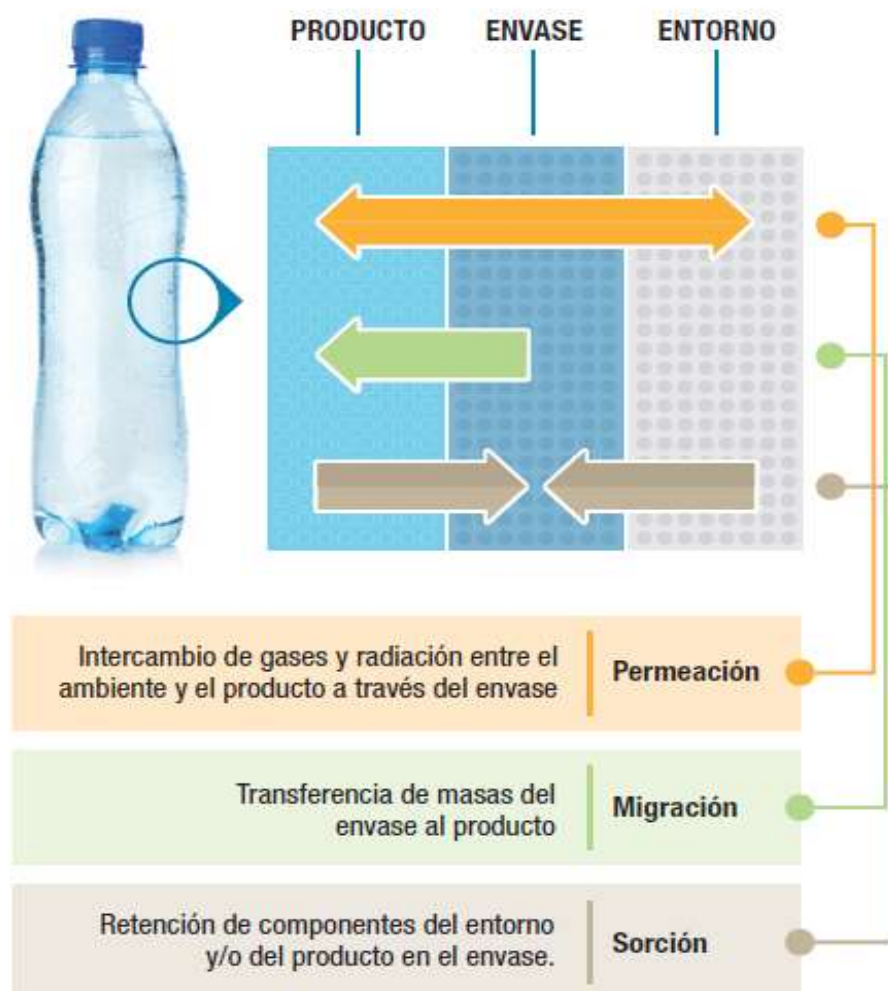
AINIA y AIMPLAS (2016) definen a la migración global o total como la cantidad total de sustancias que el envase transfiere al alimento, sin brindar detalle de la naturaleza de los migrantes, por lo que se desconoce su toxicidad.

### **b. MIGRACIÓN ESPECIFICA**

AINIA y AIMPLAS (2016) definen a la migración específica como la cantidad total de una sustancia objetivo que se transfiere del envase al alimento, generalmente estas sustancias son tóxicas y perjudiciales para el consumidor.

## **2.7.3. SORCIÓN**

Díaz & Herranz (2020) indican que, la sorción es un fenómeno de transferencia de sustancias del alimento al envase, generalmente estos migrantes son aromas, aditivos, ácidos grasos entre otros que pudieran generar una pérdida de estos atributos en el alimento, además de provocar un daño directo al envase.



**Figura 8. Interacciones entorno-envase-producto**

FUENTE: AINIA y AIMPLAS (2016)

## 2.8. TIEMPO DE VIDA ÚTIL

Vidal (2014) explica que, la vida útil de un alimento esta dado por el periodo de tiempo en el que el alimento mantiene sus características de calidad que lo hacen apto para su consumo, hay otros factores como las características propias del producto y el método de conservación que influyen en la vida útil de un alimento, por tanto, un estudio de vida útil aporta información sobre cuánto tiempo un alimento puede mantener inalteradas sus propiedades y características de calidad, posterior a este tiempo no se garantiza que el producto mantenga su calidad y sea seguro para el consumidor cuando abra el envase .



### **2.8.1. ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA A TIEMPO REAL**

Gisbert (2017) afirma que, los estudios de vida a tiempo real o directos, consisten básicamente en exponer al alimento bajo condiciones regulares de almacenamiento de acuerdo con el tipo de producto, considerando a la temperatura como un factor importante, la evaluación de un atributo crítico de calidad en una línea de tiempo hasta llegar el valor límite nos puede dar información sobre su tiempo de útil.

### **2.8.2. ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ACELERADO**

Los estudios de vida útil acelerados ayudan a predecir el comportamiento del producto en estudio simulando condiciones normales de almacenamiento y distribución, estos estudios cobran importancia cuando se desarrollan productos de larga vida, pues ayudan a minimizar los costos, además de brindar información sobre desviaciones del producto con el fin de mejorarlo y alargar su tiempo de vida comercial (Gisbert, 2017).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

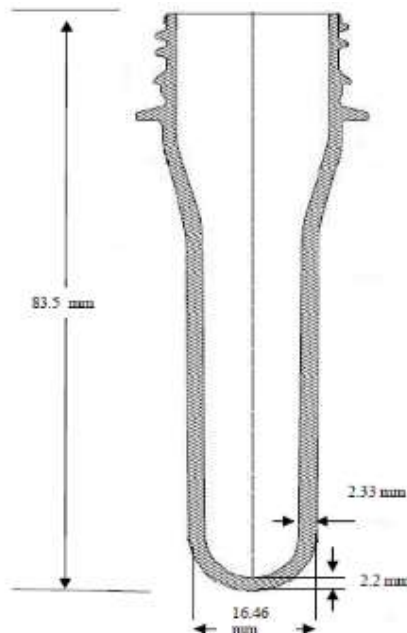
El presente trabajo se desarrolló dentro de las instalaciones de un complejo industrial perteneciente a una empresa privada líder en el rubro de alimentos, ubicado geográficamente en Lima - Este en el distrito de Lurigancho - Huachipa.

#### 3.2. MATERIA PRIMA, MATERIALES Y EQUIPOS

##### 3.2.1. MATERIA PRIMA

- Preforma PET de 13,5 g con 20% PET-PCR

En la Figura 9, se muestra el plano de la preforma de 13,5 g.



**Figura 9. Plano de preforma de 13,5 g**

FUENTE: AMCOR (2018)

### 3.2.2. MATERIALES

- Marcador indeleble
- Regla milimétrica
- Tijera
- Cuchilla
- Tablero de jebe
- Memoria USB
- Software Testexpert II. Este programa se utiliza para obtener información del equipo ZWICK ROELL Z2.5

### 3.2.3. EQUIPOS

- Balanza analítica digital marca Explorer Pro, modelo EP613, peso máximo 610g
- Medidor de altura marca Mitutoyo modelo 192-63, rango 0 – 450mm
- Vernier digital marca Mitutoyo modelo CD-8” ASX-B
- Medidor magnético de espesor portátil marca Olympus, modelo Magna – Mike 8600
- *Universal testing machine* ZWICK ROELL Z2.5
- Cortador metálico de probetas, ancho 20mm
- Torquimetro, marca Mesa Lab, modelo ST-H01-50, capacidad 50 lbf·in
- Manómetro de presión de mano marca Ashcroft Duralife tipo 1009, rango de presión de 0 – 30 PSI
- Mini sello de diafragma marca Ashcroft serie 310 (equipo trabajo junto con el manómetro de presión)

### 3.3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL Y MAQUINARIA

#### 3.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA PREFORMA PET

Las principales características de la preforma en evaluación se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1: Principales características de la preforma**

INFORMACIÓN GENERAL	
Material	Polietilentereftalato (PET)
Composición	80 % material virgen + 20 % material reciclado
Peso	13,5 g
Altura	83,5 mm
Tipo de rosca	<i>Short finish</i> (SF)
Diámetro comercial	28 mm
Aplicación	Bebida no carbonatada tipo refresco

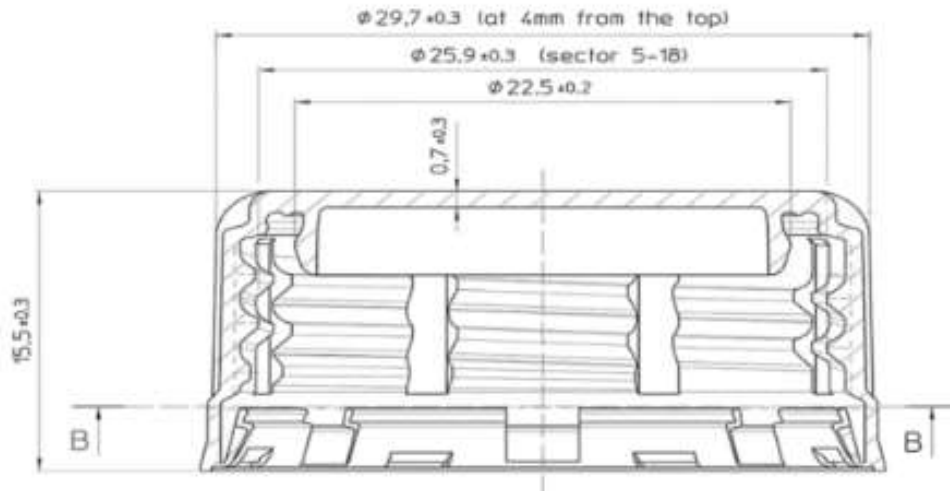
#### 3.3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA TAPA ROSCA PLÁSTICA

Las principales características de la tapa usada en la operación de cerrado se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2: Principales características de la tapa rosca plástica**

INFORMACIÓN GENERAL	
Material	Polietileno de baja densidad (PEBD)
Composición	100 % material virgen
Peso	13,5 g
Altura	83,5 mm
Tipo de rosca	<i>Short finish</i> (SF)
Diámetro comercial	28 mm
Aplicación	Bebida no carbonatada tipo refresco

En la Figura 10, se muestra el plano de la tapa rosca plástica



**Figura 10. Plano de tapa rosca plástica CSD8-A 28 mm**

FUENTE: SINEA (2019)

### 3.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE SOPLADO Y LLENADO

Las principales características de la máquina de soplado se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3: Principales características de la máquina de soplado**

INFORMACIÓN GENERAL	
Marca / Modelo	Krones / Contiform S10
Procedencia	Alemania
Nº de cavidades	10
Zonas de calefacción	9
Velocidad	18000 botellas/hora (500 mL)
Aplicación	Moldeo por soplado

Las principales características de la máquina de envasado se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4: Principales características de la máquina de llenado**

<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>	
Marca / Modelo	Berchi / Still fill
Procedencia	Italia
Nº de dosificadores	10
Velocidad	18000 envases/hora (500 mL)
Aplicación	Llenador de bebidas no carbonatas

### **3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EN PROCESO PRE-PRODUCTIVO**

#### **3.4.1. REVISIÓN DOCUMENTARIA**

El proceso de validación de todo material de prueba tiene como punto de partida un proceso de revisión documentaria donde se analiza si la información presentada por el proveedor del material cumple con los requisitos técnicos y sanitarios. Para el caso de este material, por el lado técnico se verificó si la información emitida por el proveedor, tales como ficha técnica, plano mecánico y certificado de calidad cumplen según lo especificado, por el lado sanitario se verificó si la información emitida por un laboratorio externo acreditado está en conformidad con lo requerido en el DS 007-98-SA.

#### **3.4.2. EVALUACIÓN DE MEDIDAS**

Se evaluó medidas tanto a la preforma como a la botella obtenida luego del proceso de soplado.

**a. EVALUACIÓN DE PREFORMA**

- **MEDICIÓN DE PESO**

Para la medición de peso de preforma, se usó una balanza analítica digital. La medición se realizó haciendo sentar la rosca de cada preforma en posición perpendicular al plato de la balanza. De esta medición se obtuvo el valor de peso en gramos (g). Las mediciones se realizaron a una temperatura controlada de 21°C. El número de mediciones fue de 40 unidades.

- **MEDICIÓN DE ALTURA**

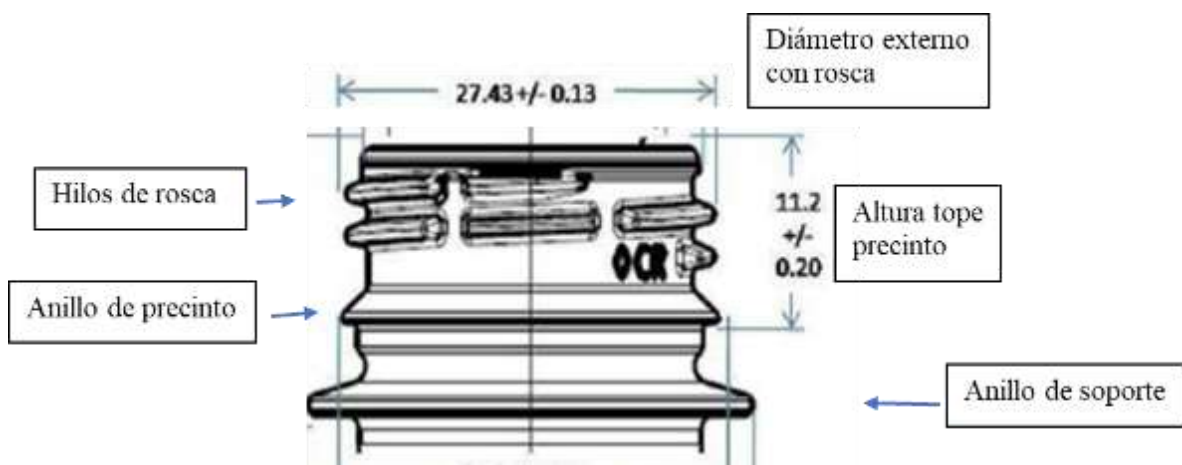
Para la medición de altura de preforma, se usó un medidor de altura digital. La medición se realizó haciendo sentar la rosca de cada preforma en posición perpendicular a la base del equipo, en dirección al indicador de nivel, para posteriormente posicionar este accesorio a la altura de la preforma. De esta medición se obtuvo el valor de altura en milímetros (mm). Las mediciones se realizaron a una temperatura controlada de 21°C. El número de mediciones fue de 40 unidades.

- **MEDICIÓN DE DIÁMETRO EXTERNO DE ROSCA**

Para la medición de diámetro externo se usó un *vernier* digital. La medición se realizó colocando el *vernier* manualmente sobre la rosca de la preforma, en una posición en la que los accesorios de medición del equipo entran en contacto con los hilos de la rosca en dos puntos, que están separados a la misma distancia en ambos sentidos de la circunferencia de la rosca. De esta medición se obtuvo el valor de diámetro exterior en milímetros (mm). Las mediciones se realizaron a una temperatura controlada de 21°C. El número de mediciones fue de 40 unidades. El detalle de esta medida se presenta en la Figura 11.

- **MEDICIÓN DE ALTURA TOPE PRECINTO**

Para la medición de altura tope precinto se usó un medidor de altura digital. La medición se realizó colocando cada preforma en posición perpendicular a la base del equipo, en dirección al indicador de nivel, para luego posicionar este accesorio a la altura del anillo de precinto. De esta medición se obtuvo el valor de altura tope precinto en milímetros (mm). Las mediciones se realizaron a una temperatura controlada de 21°C. El número de mediciones fue de 40 unidades. El detalle de esta medida se presenta en la Figura 11.



**Figura 11. Plano de rosca de preforma de 13,5 g**

FUENTE: AMCOR (2018).

**b. EVALUACIÓN DE BOTELLA**

- **MEDICIÓN DE ALTURA**

Para la medición de altura de botella, se usó un medidor de altura digital. La medición se realizó colocando cada botella en posición perpendicular a la base del equipo en dirección al indicador de nivel, para luego posicionar este accesorio a la altura de la botella (Figura 12). De esta medición se obtuvo el valor de altura en milímetros (mm). Las mediciones se realizaron a una temperatura controlada de 21°C. El número de mediciones fue de 40 unidades.

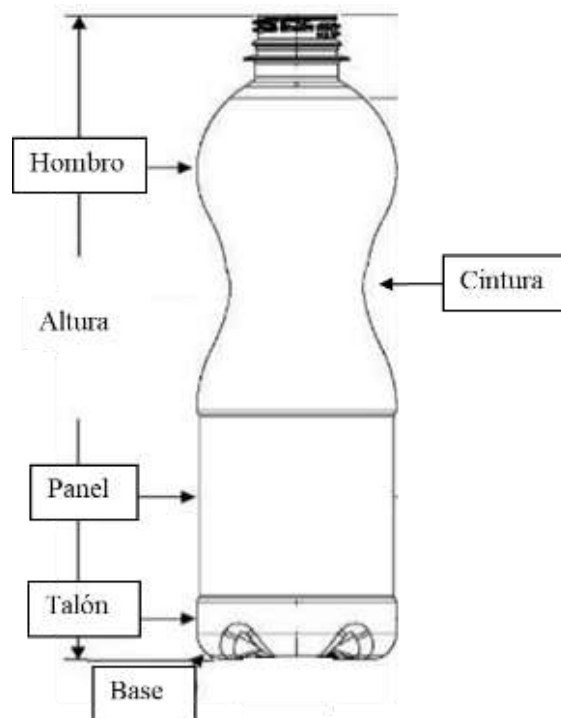




**Figura 12. Medición de altura de envase con equipo medidor de altura digital**

- **MEDICIÓN DE ESPESOR**

Para la medición de espesor de cuerpo de botella, se usó un medidor de espesor magnético digital. Se midió el espesor del envase en 5 zonas (hombro, cintura, panel, talón y base), las zonas se muestran en la Figura 13.



**Figura 13. Zonas de medición de espesor en el envase**

FUENTE: Adaptado de AMCOR (2018).

Para la medición se usó una esfera metálica de 1/16 pulgadas de diámetro, la cual fue introducida al envase, para luego posicionarla sobre el dispositivo imantado en la zona donde se va a medir el envase (Figura 14). Esto permitió obtener el valor de espesor en milímetros (mm) en esta zona. Las mediciones se realizaron a una temperatura controlada de 21°C. El número de mediciones fue de 40 unidades.



**Figura 14. Medición de espesor del envase con el equipo Magna Mike**

### **3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EN PROCESO PRODUCTIVO**

Se realizó un monitoreo en línea de producción, tomando como referencia el formato de inspección y control de la compañía. Por un lado, se realizó un control visual a las botellas centrandose la atención en aquellas actividades de proceso donde el envase queda expuesto o es susceptible a padecer daños contra su integridad. Por otro lado, se controló y monitoreó los principales parámetros de envasado en los que se consideró que un cambio en la composición del envase pudiera afectar su desempeño. Estos controles se presentan a continuación.

### **3.5.1. CONTROLES DE ENVASE DURANTE PROCESO PRODUCTIVO**

#### **a. CONTROL DE INTEGRIDAD DE ENVASE DURANTE TRANSPORTE AÉREO**

Este control se realizó desde la salida del envase de la sopladora hasta el ingreso a la llenadora en la zona de envasado. Se verificó visualmente en este circuito de transporte aéreo que los envases mantengan su integridad, sin abolladuras o deformaciones, producto de los golpes entre envases por la acumulación de estos.

#### **b. CONTROL DE INTEGRIDAD DE ENVASE DURANTE ETIQUETADO**

Este control se realizó durante la operación de etiquetado del envase, una operación previa al ingreso de la zona de envasado. Se verificó visualmente que los envases no se abollen o deformen producto de la presión con la que se adhiere o pega la etiqueta al envase.

#### **c. CONTROL DEL PRODUCTO DURANTE ENVASADO**

Estando en la zona de envasado, la botella etiquetada ingresa casi inmediato a la cabina de llenado, donde se llena y dosifica el envase con refresco, e inmediatamente después se realiza la operación de cerrado donde capsuladora enrosca la tapa al envase, con el cual se obtiene el producto final, que sale de zona de envasado y se dirige a la zona de empaclado y acondicionamiento. Los controles en este punto se realizaron una vez obtenido el producto terminado resultante, primero se controló la presión interna, esta medición se realizó con un manómetro de mano, este equipo se coloca sobre la tapa del envase y luego de aplicarle un golpe desde la parte superior del equipo, el accesorio puntiagudo ubicado en la parte inferior del equipo perfora la tapa del envase midiendo la presión interna. De esta medición se obtuvo el valor de la presión interna del envase expresado en PSI. El control se realizó a 10 envases y con la información obtenida se construyeron graficas de control que serán presentados más adelante en los resultados.

En la Figura 15, se muestra manómetro de mano usado para esta medición.



**Figura 15. Manómetro de mano**

En segundo lugar, se realizó una prueba de caída al producto terminado resultante. Este control se realizó dejando caer el envase en dirección perpendicular al piso a una altura de 2 m. Se verificó que los envases resistan al impacto de la caída. El control se realizó a 10 envases.

Finalmente, se realizó un control al torque de aplicación y remoción al producto terminado resultante. Para esta medición se usó un torquímetro digital, la cual tiene un accesorio que fija la botella y otro que se coloca sobre la tapa con el que se hace el giro antihorario de medición en dirección a la apertura de la tapa. De esta medición se obtuvo los valores de torque de aplicación y remoción del envase expresado en lbf·in. El control se realizó a 10 envases y con la información obtenida se construyeron graficas de control que serán presentados más adelante en los resultados. En la Figura 15, se muestra el plano mecánico de la tapa plástica de PEBD.

En la Figura 16, se muestra el torquímetro usado para esta medición.



**Figura 16. Torquímetro**

En la Tabla 5, se muestra el formato de inspección con los controles realizados durante el proceso productivo

**Tabla 5: Formato de controles en proceso productivo**

<b>PUNTO DE CONTROL</b>	<b>CONTROL</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>RESULTADO</b>
Transporte aéreo	Integridad de envase	Envases abollados menor al 1%	Conforme: No conforme:
Etiquetado	Integridad de envase	Envases abollados menor al 1%	Conforme: No conforme:
Presión interna	Medida de la presión interna del producto envasado	4 - 10 PSI	Mínimo: Máximo: Promedio:
Prueba de caída	Integridad de envase con producto	Resiste caída	Conforme: No conforme:
Torque de aplicación	Medida de torque con la que la tapa se aplica sobre la botella	12 - 20 lbf·in	Mínimo: Máximo: Promedio:
Torque de remoción	Medida del torque con la que la tapa se remueve de la botella	11 - 18 lbf·in	Mínimo: Máximo: Promedio:

### 3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EN PROCESO POST-PRODUCTIVO

#### 3.6.1. ANÁLISIS DE COMPRESIÓN

Para este análisis de compresión sobre el envase como producto terminado, se usó el equipo Zwick Roell Z 2.5, equipo que permite medir la fuerza de compresión a una determinada deformación. Para esta evaluación el equipo fue acondicionado con los accesorios de compresión y una celda de carga de 2,5 kN. El ensayo se realizó a una baja y uniforme velocidad de ensayo de 50 mm/min, de acuerdo con lo indicado en las normas ASTM D695 (2015). La medición se realizó colocando cada envase en posición perpendicular y central al plato fijo del equipo a una separación mínima del plato o accesorio móvil, una vez centrado el envase entre los platos, se inicia la lectura de la prueba a través del *software* Testexpert II hasta que la fuerza máxima caiga en 1%, este ensayo permitió obtener el valor de fuerza máxima de resistencia a la compresión expresado en Newton (N). Las mediciones se realizaron a una temperatura ambiental controlada de 21°C. El número de mediciones fue de 30 unidades.

En la Figura 17, se muestra cómo se realizó el ensayo de compresión sobre el envase con producto.

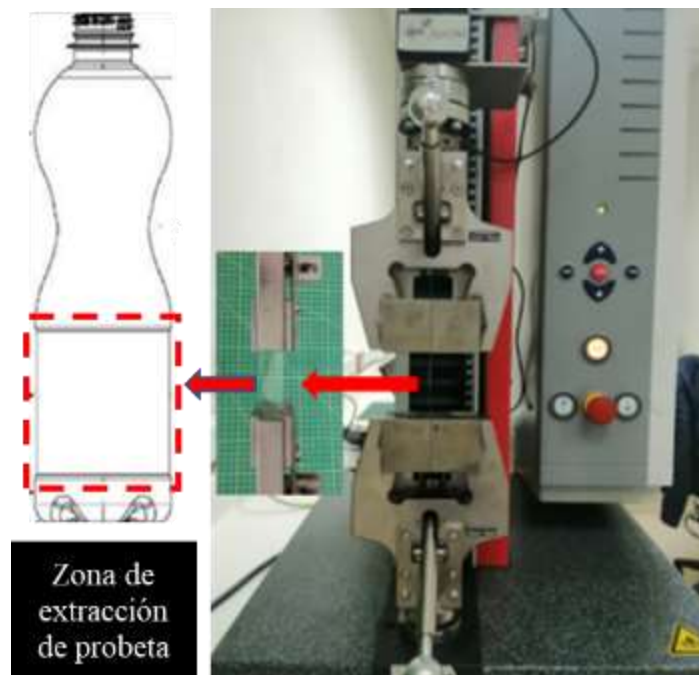


**Figura 17. Imagen de ensayo de compresión**

### 3.6.2. ANÁLISIS DE TRACCIÓN

Este análisis de tracción se realizó sobre probetas de 2 cm x 15 cm de lámina obtenido de una sección transversal del panel del envase. En este ensayo se usó el equipo Zwick Roell Z 2.5, equipo que permite medir principalmente la fuerza de rotura y modulo elástico del material en evaluación. Para esta evaluación el equipo fue acondicionado con los accesorios de tracción y una celda de carga de 2,5 kN. Este ensayo se realizó una baja y uniforme velocidad de ensayo de 50 mm/min, de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM D882 (2012). La medición se realizó enganchando cada extremo de probeta en las mordazas del equipo a una separación de 5 cm entre mordazas, una vez centrado la probeta al eje de las mordazas, se inicia la lectura de la prueba a través del *software* Testexpert II hasta que la probeta se rompe, este ensayo permitió obtener el valor de esfuerzo máximo de resistencia a la tracción en la que la probeta se rompe, el resultado es expresado en MPa, por otro lado, también se obtuvo el valor del módulo elástico de Young expresado en MPa. Las mediciones se realizaron a una temperatura ambiental controlada de 21°C. El número de mediciones fue de 30 unidades.

En la Figura 18, se muestra cómo se realizó el ensayo de tracción sobre el material de envase.

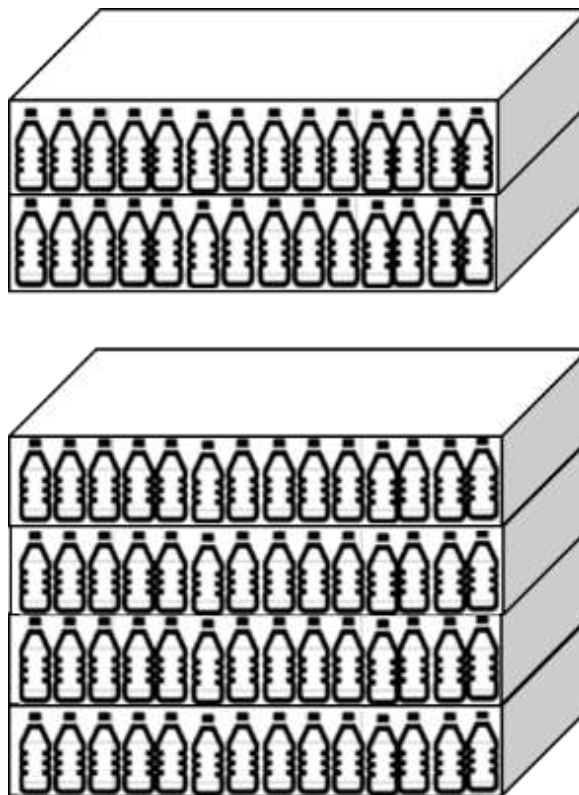


**Figura 18. Imagen de ensayo de tracción**

### 3.6.3. EVALUACIÓN DE APILAMIENTO

Para esta evaluación de apilamiento sobre el envase como producto terminado, se acondicionó una paleta con un nivel apilamiento 50% mayor al estándar (4 niveles), tal como se puede observar en la Figura 19, bajo esta condición fue dejada en almacenamiento estático a una temperatura de ambiente por un periodo 7 días con el fin de causar estrés al envase. Concluido este periodo se revisó al 100% los dos primeros estratos de la paleta a fin de reportar problemas de integridad del envase. Esta prueba fue acompañada de una referencia. De esta evaluación se obtuvo la incidencia o porcentaje de envases con defectos de integridad, con esta información se construyeron graficas de barras que comparan los resultados de la prueba con la referencia.

Entre los defectos que se esperan reportar tenemos: envases con pico hundido, con hundimiento en la base, con pandeo en el cuerpo y envases rotos,



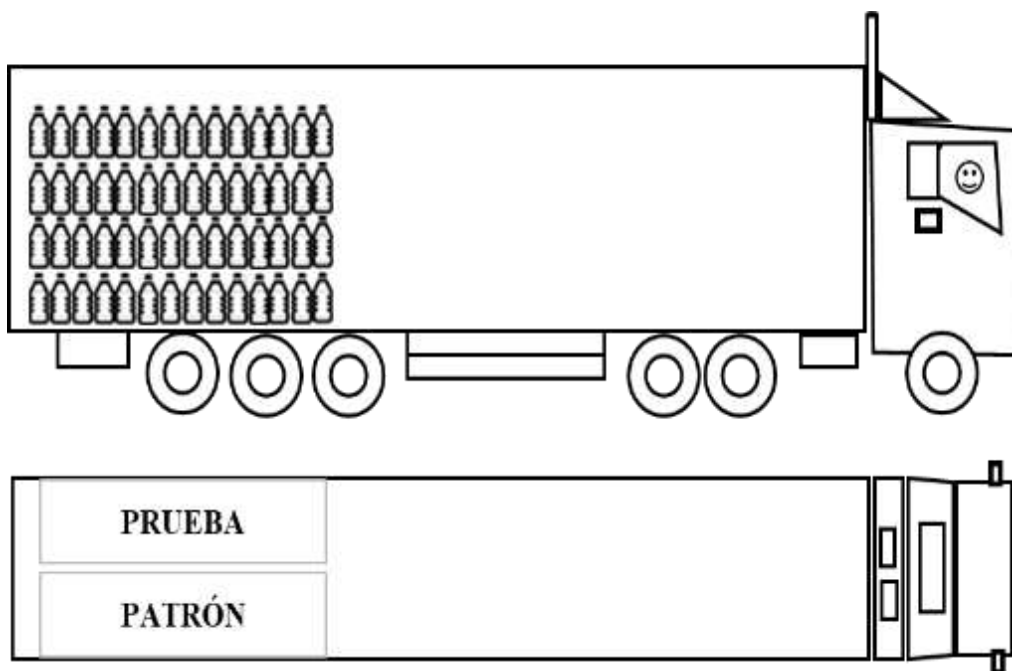
**Figura 19. Esquema de la prueba de apilamiento**



### 3.6.4. EVALUACIÓN DE TRANSPORTE

Para esta evaluación de transporte sobre el envase como producto terminado, se acondicionó el carguío, de tal forma que los productos en evaluación fueran cargados bajo condiciones regulares de despacho en la última sección del camión, tal como se muestra en la Figura 20. El transporte siguió la ruta Lima – Huancayo con un aproximado de 9 horas de viaje, esta ruta es considerada una de las más críticas del territorio nacional, debido a que el producto es sometido a condiciones de cambios de temperatura, de presión y de humedad, vibraciones y movimientos laterales y verticales, provocando un gran estrés al envase. Concluido esta travesía se revisaron al azar el 20% del total de paquetes con el fin de reportar problemas de integridad del envase. Esta prueba fue acompañada de una referencia. De esta evaluación se obtiene la incidencia o porcentaje de envases con defectos de integridad, con esta información se construyeron gráficas de barras que comparan los resultados de la prueba con la referencia.

Entre los defectos que se esperan reportar tenemos: envases con pico hundido, con hundimiento en la base, con pandeo en el cuerpo y envases rotos.



**Figura 20. Esquema de la prueba de transporte**

### 3.6.5. ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ACELERADO

Se realizó un estudio de tiempo de vida acelerado para estimar el tiempo de vida útil del producto, donde se aplicó el método indirecto de pruebas aceleradas tomando como criterio de estimación la cinética de reacción en función de la temperatura según el modelo de Arrhenius. Esta evaluación fue realizada por un laboratorio externo acreditado. Las principales características de este estudio se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6: Principales características del estudio de vida acelerado del refresco**

<b>CONDICIONES</b>	<b>DETALLE</b>
Periodo de evaluación	30 días
Días de evaluación	0 días, 7 días, 14 días, 21 días y 30 días
Temperaturas de evaluación	20°C, 25°C y 35°C
<b>EVALUACIONES</b>	<b>MÉTODO</b>
Organolépticas SENSORIAL SABOR, COLOR, ETC	ISO 4121 ITEM 6.3.2. 2003 <i>Sensory Analysis</i>
pH	AOAC981.12 (2005)
Vitamina C	AOAC985.33 (2005)
Recuento de Mohos y Levaduras	ICMSF Microorganismos de los Alimentos

FUENTE: Adaptado de Intertek (2019).

En la Figura 21 se presenta un esquema con el resumen de las pruebas y evaluaciones realizadas en la metodología experimental en cada etapa de proceso.

**METODOLOGÍA  
EXPERIMENTAL**

**EVALUACIONES  
Y ANÁLISIS**

---

PROCESO PRE-  
PRODUCTIVO

- Revisión documentaria
- Evaluación de medidas

PROCESO  
PRODUCTIVO

- Controles de envase  
durante proceso

PROCESO POST-  
PRODUCTIVO

- Análisis de compresión
- Análisis de tracción
- Evaluación de apilamiento
- Evaluación de transporte
- Estudio de Tiempo de vida

**Figura 21. Esquema de pruebas de acuerdo con la metodología experimental**

### **3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para las evaluaciones de medida con la información obtenida se aplicó estadística descriptiva a cada variable y complementariamente se realizó una prueba de normalidad Shapiro Wilk con un nivel de significancia  $\alpha=0,05$  con el programa estadístico Minitab 19, con el fin de verificar si la variable dimensional se ajusta a una distribución normal.

Para evaluar los datos obtenidos en los controles de línea durante la producción de prueba, se usaron gráficas de control.

Para las evaluaciones de fuerzas de compresión y tracción, de carácter comparativo se realizó un análisis de variancias con un nivel de significancia  $\alpha=0,05$  con el programa estadístico Minitab 19, con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre las medias de la prueba y referencia.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. PROCESO PRE - PRODUCTIVO

#### 4.1.1. RESULTADO REVISIÓN DOCUMENTARIA

Se verificó que los documentos emitidos por el proveedor y un laboratorio externo acreditado en relación con la preforma PET con 20% PET – PCR cumplan con los requerimientos técnicos y sanitarios.

##### a. DOCUMENTOS EMITIDOS POR EL PROVEEDOR

Los resultados de la revisión documentaria emitida por el proveedor se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7: Resultados de revisión documentaria emitida por el proveedor**

DOCUMENTO	INFORMACIÓN	RESULTADO
Especificación técnica	Características técnicas del material	Cumple
Plano mecánico	Dimensiones del material	Cumple
Certificado de calidad	Información sobre el lote de prueba	Cumple

Como se puede observar en la Tabla 7, los resultados de esta revisión determinaron que las medidas y características más importantes del material guardaron relación con los documentos entregados, al respecto AINIA y AIMPLAS (2016) sostienen que, las características técnicas que debe cumplir un material de envase y el envase están dadas por sus especificaciones técnicas, la cual, además es usada como información básica para el control de calidad del envase. Por otro lado, esta información será refrendada más adelante con las evaluaciones de medida realizadas.

**b. DOCUMENTOS EMITIDOS POR UN LABORATORIO TERCERO**

De modo complementario en la Tabla 8, se presentan los resultados de la revisión documentaria emitida por un laboratorio externo acreditado.

**Tabla 8: Resultados de revisión documentaria emitida por un laboratorio externo**

<b>DOCUMENTO</b>	<b>INFORMACIÓN</b>	<b>RESULTADO</b>
Certificado de metales pesados	Límites permisibles de metales pesados	Cumple
Certificado migración global de monómeros	Límites permisibles de monómeros residuales totales	Cumple
Certificado de migración específica	Límites permisibles de monómeros específicos	Cumple

De lo presentado en la Tabla 8, se puede verificar que la documentación sanitaria presentada cumple con lo requerido en el Artículo 119 del Decreto Supremo 007-98-SA, donde se indica que los materiales de envase no podrán contener metales como plomo, antimonio, zinc, cobre, cromo, hierro, estaño, mercurio, cadmio y arsénico y monómeros residuales de estireno, de cloruro de vinilo y de acrilonitrilo dañinos para la salud en cantidades o niveles superiores a los límites máximos permitidos. Los resultados de este análisis se detallan en el Anexo 1.

En esa línea AINIA y AIMPLAS (2016) indican que, independientemente de la naturaleza del material que se use en la producción de envases, todos deben cumplir con lo requerido en la legislación a la que apliquen.

#### 4.1.2. RESULTADOS EVALUACIÓN DE MEDIDAS

##### a. PREFORMA PET

En la Tabla 9 se muestra el valor de peso, altura, diámetro externo de rosca y altura anillo de precinto promedio de la preforma PET con 20% de PET – PCR, obtenido a partir de 40 unidades evaluadas.

**Tabla 9: Resultado de peso, altura, diámetro externo de rosca y altura tope precinto promedio de preforma**

<b>VARIABLE</b>	<b>ESPECIFICACIÓN MATERIAL 100% VIRGEN</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>
Peso	13,50 ± 0,50 g	13,35 g	0,02
Altura	83,50 ± 1,00 mm	83,09 mm	0,07
Diámetro externo de rosca	27,43 ± 0,13 mm	27,37 mm	0,04
Altura tope precinto	11,20 ± 0,20 mm	11,35 mm	0,03

Los resultados muestran que el valor promedio de peso (13,35 g), altura (83,09 mm), diámetro externo de rosca (27,37 mm) y altura tope precinto (11,35 mm) para la preforma PET con 20 % de PET – PCR, cumplen con la especificación de una preforma PET con material 100 % virgen. Al respecto AINIA y AIMPLAS (2016) afirman que, las especificaciones técnicas son documentos que brindan información técnica con valores de las características más importantes de un material de envase o de un envase, además, de ser útil para evaluaciones comparativas de un material frente a otro de forma cuantitativa y objetiva.

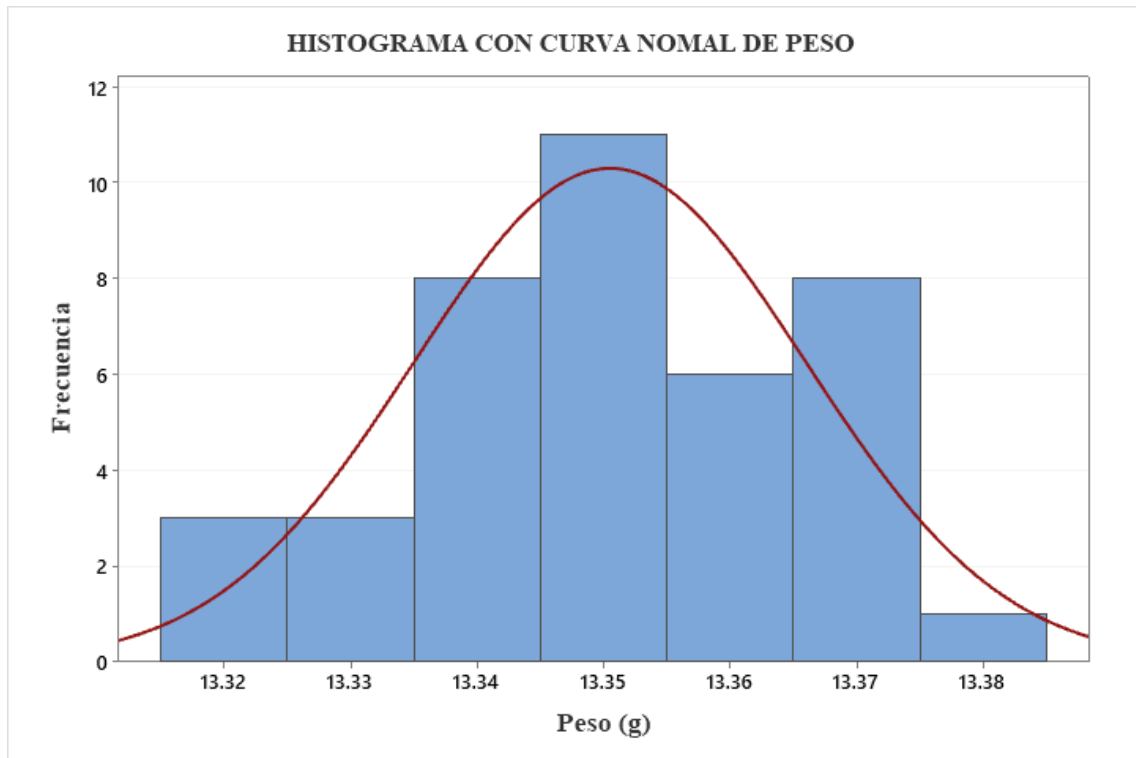
Tener el peso y la altura correcta de preforma, garantiza tener una adecuada distribución de material con los espesores deseados durante el proceso de soplado, disminuyendo considerablemente los problemas de estiramiento y distribución de material durante este proceso.

Una correcta medida de diámetro externo de rosca permite tener un proceso de taponado o capsulado estable, garantizando la hermeticidad y calidad del producto contenido, además de evitar pérdidas de eficiencia en la línea de producción. De otro lado, una medida de altura tope precinto conforme a especificación, garantiza que el precinto de seguridad de la tapa quede atrapado en la rosca del envase luego de su apertura, descartando así, cualquier tipo adulteración y fraude del producto.

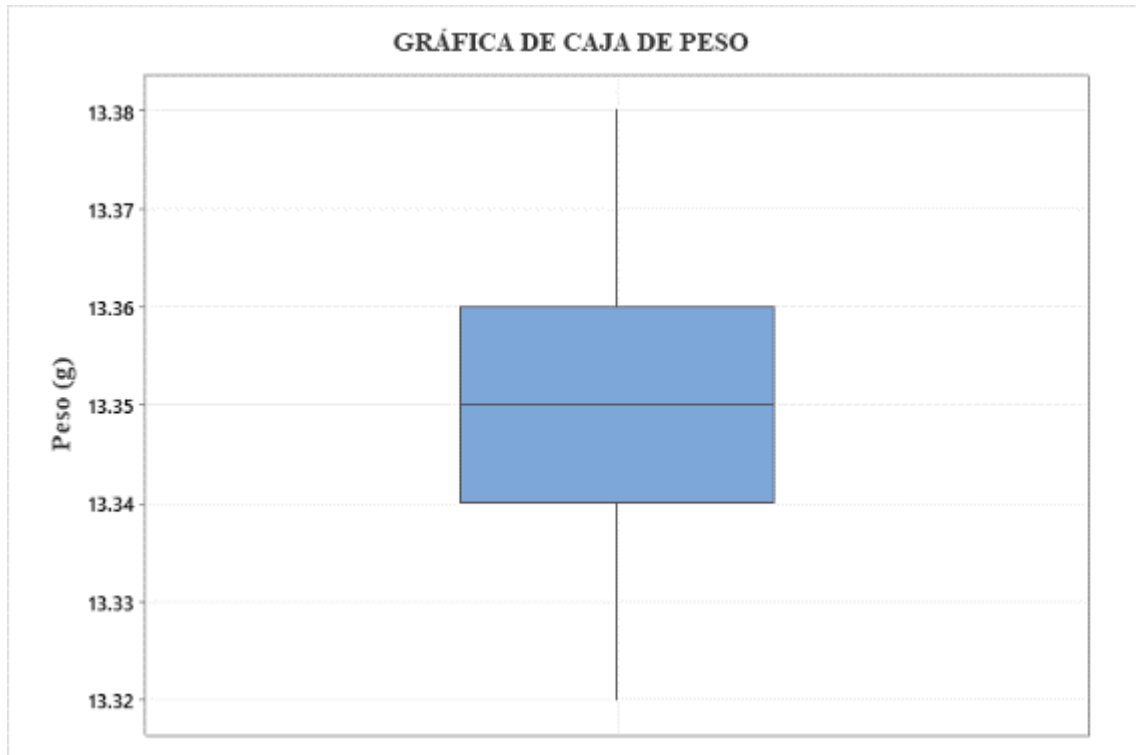
En general, cumplir con la especificación de estas medidas es de vital importancia para continuar con el proceso de validación de forma segura, donde el paso siguiente es convertir la preforma PET en botella a través del proceso de soplado, además de, permitir llevar un proceso estable sin pérdidas de eficiencia en la línea de producción.

Por otro lado, los estadísticos descriptivos muestran que los datos de la variable peso, altura, diámetro externo de rosca y altura anillo de precinto, tienden a ubicarse bajo el esquema de una curva con distribución normal (Figura 22, 24, 26 y 28), estos gráficos van acompañados de sus respectivos diagramas de caja (Figura 23, 25, 27 y 29). Complementariamente se realizó una prueba de normalidad Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05, donde se pudo concluir que los datos de la variable peso, altura, diámetro externo de rosca y altura tope precinto se ajustan a una distribución normal. Los resultados de esta prueba se muestran en el Anexo 2-A, 2-B, 2-C y 2-D.

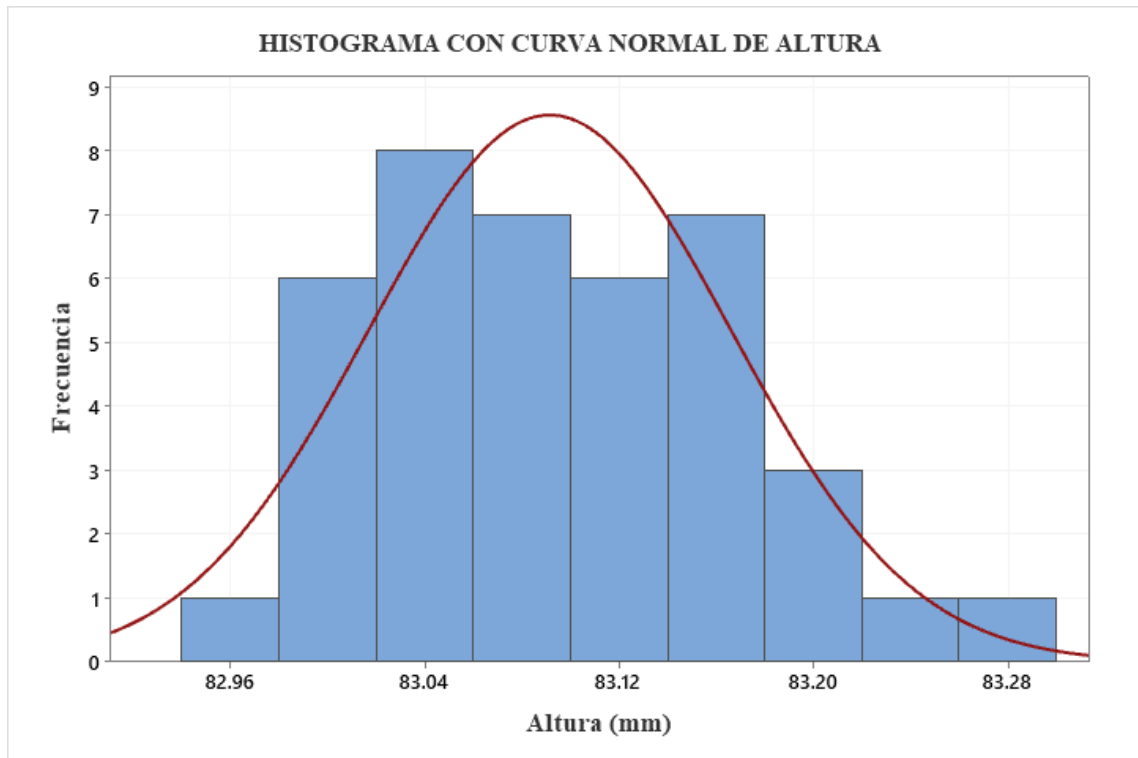




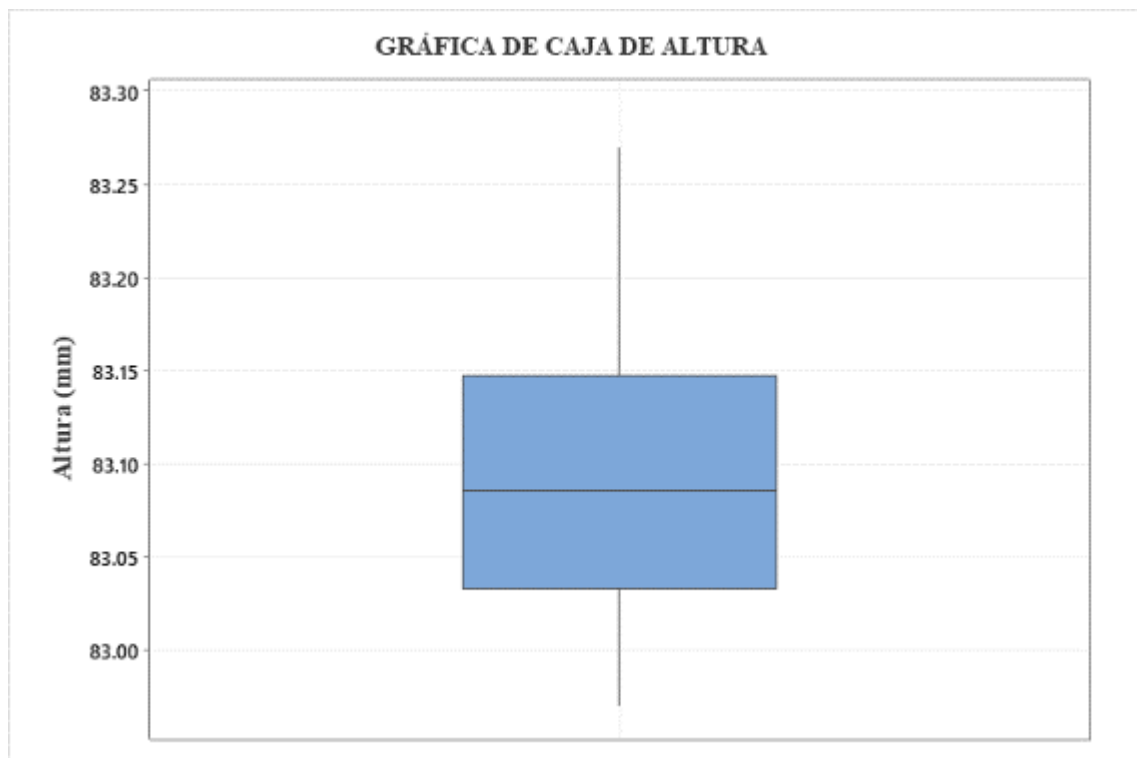
**Figura 22. Histograma con curva normal de variable peso de preforma**



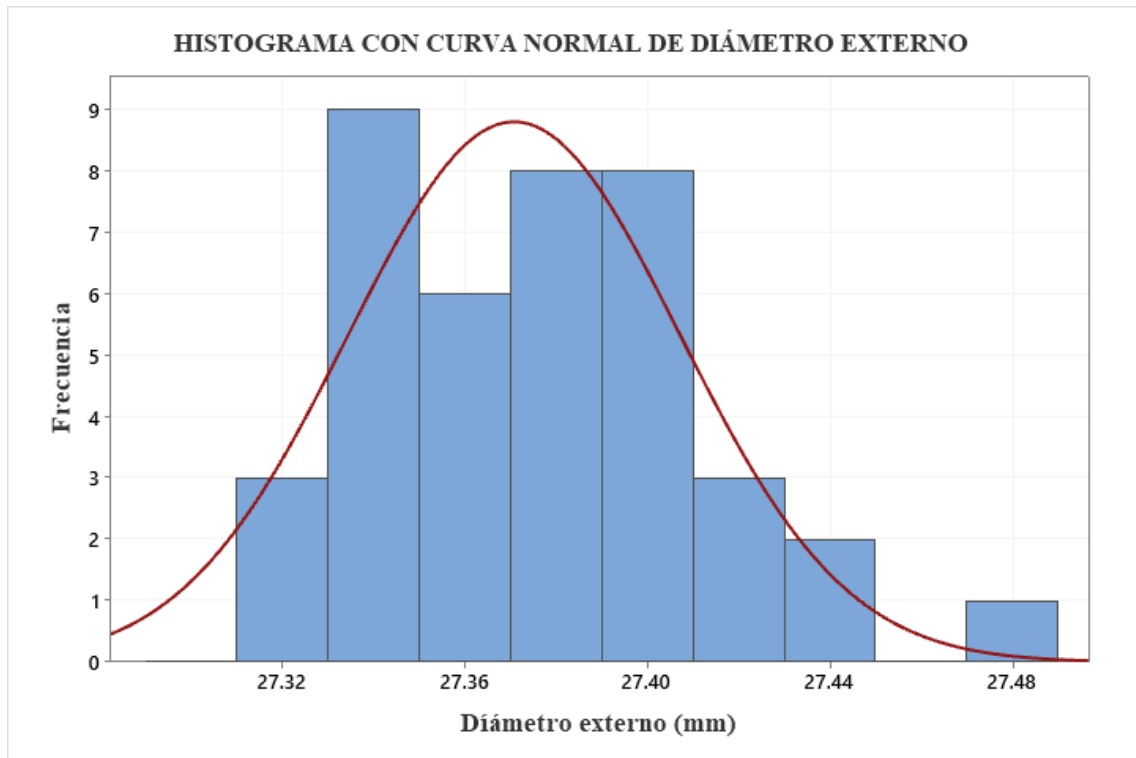
**Figura 23. Diagrama de caja de variable peso de preforma**



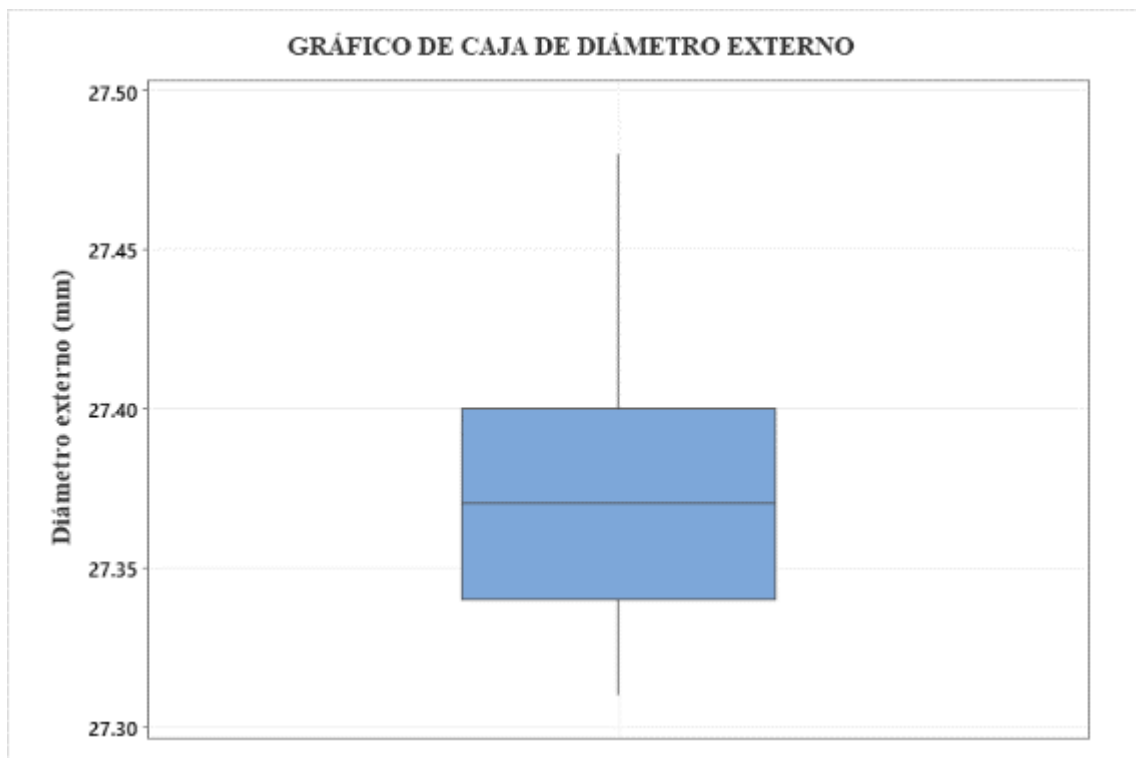
**Figura 24. Histograma con curva normal de variable altura de preforma**



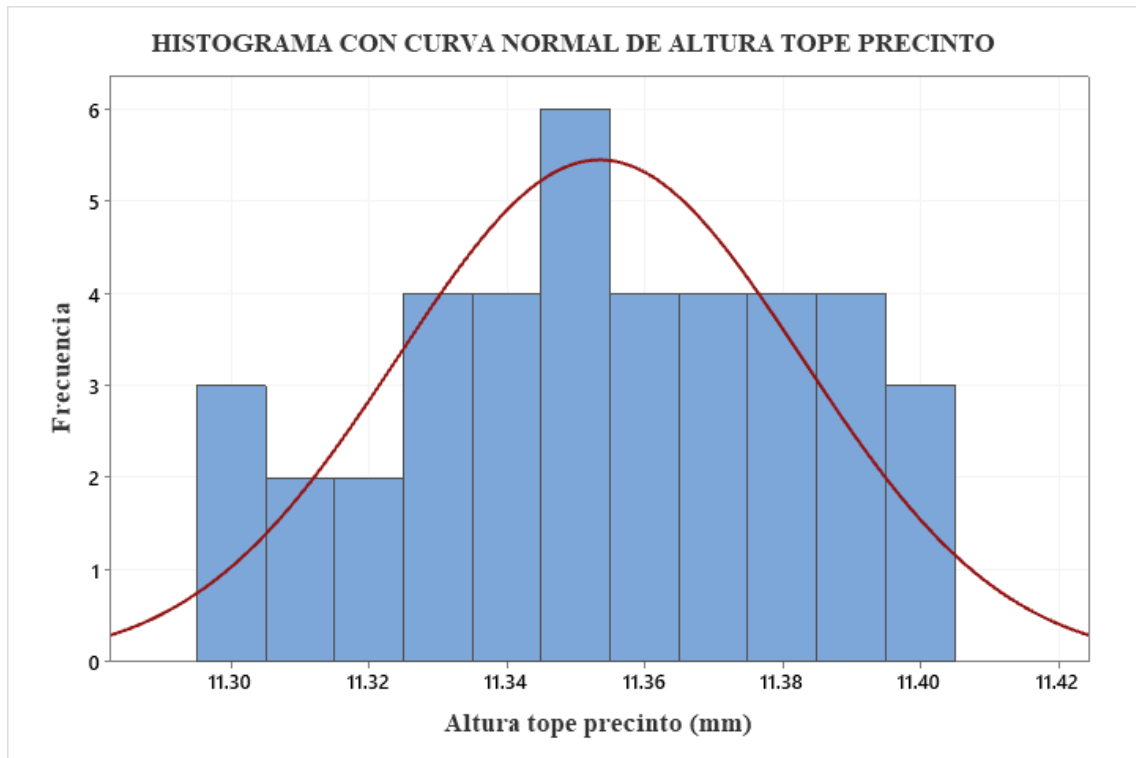
**Figura 25. Diagrama de caja de variable altura de preforma**



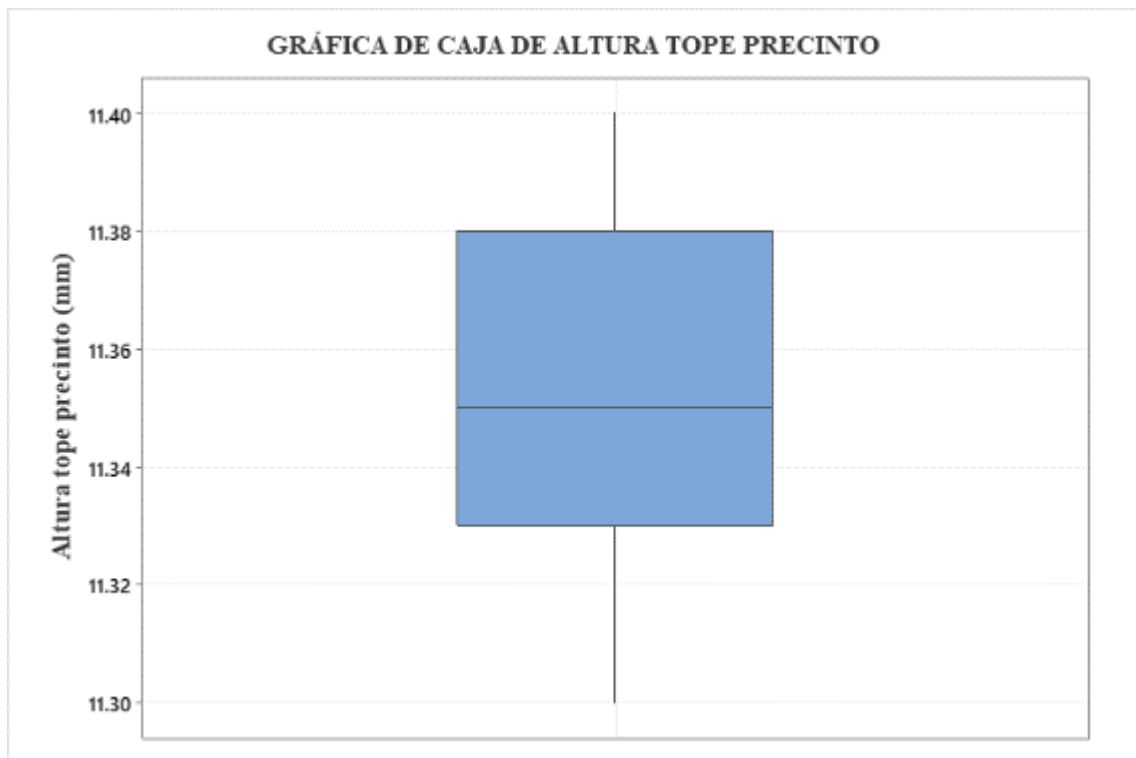
**Figura 26. Histograma con curva normal de variable diámetro externo de rosca de preforma**



**Figura 27. Diagrama de caja variable diámetro externo de rosca de preforma**



**Figura 28. Histograma con curva normal de variable altura tope precinto de preforma**



**Figura 29. Diagrama de caja variable altura tope precinto de preforma**

**b. BOTELLA**

• **ALTURA**

En la Tabla 10 se muestra el valor de altura promedio de la botella obtenida a partir del proceso de soplado de la preforma PET con 20% de PET – PCR. Se evaluaron 40 unidades.

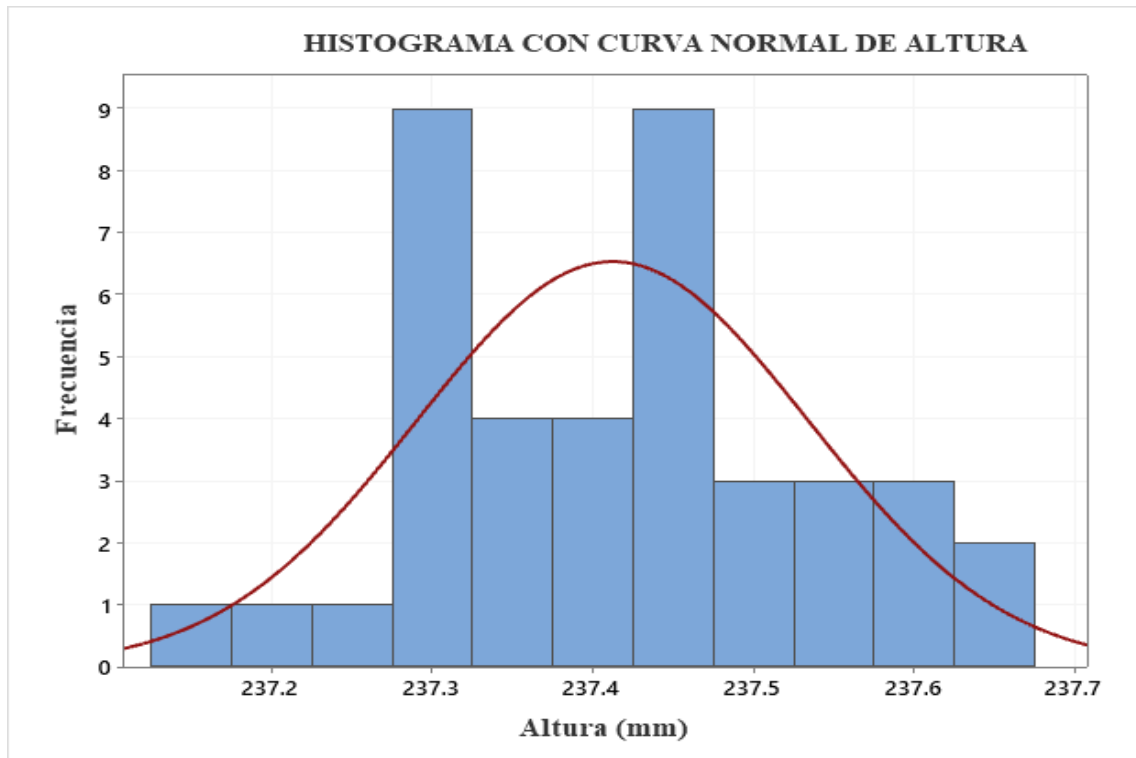
**Tabla 10: Resultado de altura promedio de botella**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN MATERIAL 100% VIRGEN</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>
Altura	237,50 ± 0,50 mm	237,41 mm	0,12

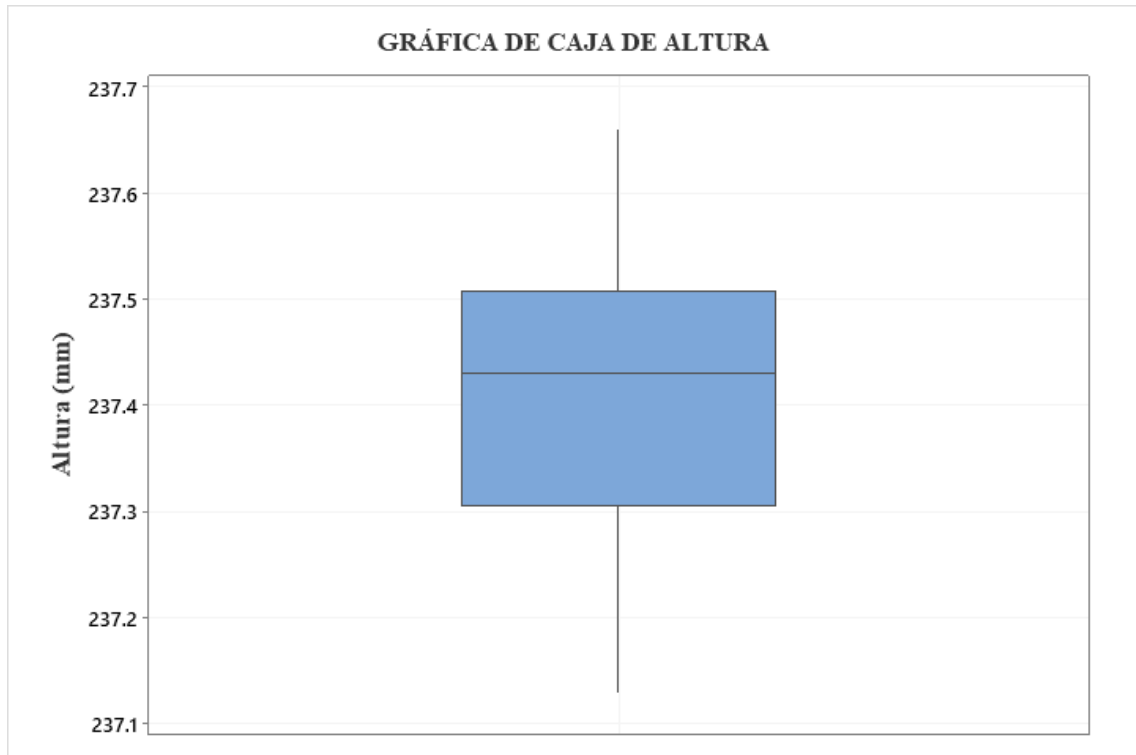
El resultado muestra un valor promedio de altura de 237,41 mm para la preforma PET con 20 % de PET – PCR, el cual cumplen con la especificación de una preforma PET con material 100 % virgen. En relación con las especificaciones técnicas para una botella plástica AINIA y AIMPLAS (2016) explican que, estos documentos deben brindar características del envase como capacidad, diámetros, altura, peso y plano con cotas y tolerancias.

Contar con una correcta altura de envase, evita tener problemas en el dosificado del producto, además de permitir cumplir con el volumen de llenado deseado para esta presentación de envase.

Por otro lado, los estadísticos descriptivos muestran que los datos tienden a ubicarse bajo el esquema de una curva con distribución normal (Figura 30), este gráfico va acompañado de su respectivo diagrama de caja (Figura 31). Complementariamente se realizó una prueba de normalidad Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05, donde se pudo concluir que los datos de la variable altura de botella se ajustan a una distribución normal. Los resultados de esta prueba se muestran en el Anexo 3-A.



**Figura 30. Histograma con curva normal de variable altura de botella**



**Figura 31. Diagrama de caja variable altura de botella**

- **PERFIL DE ESPESORES**

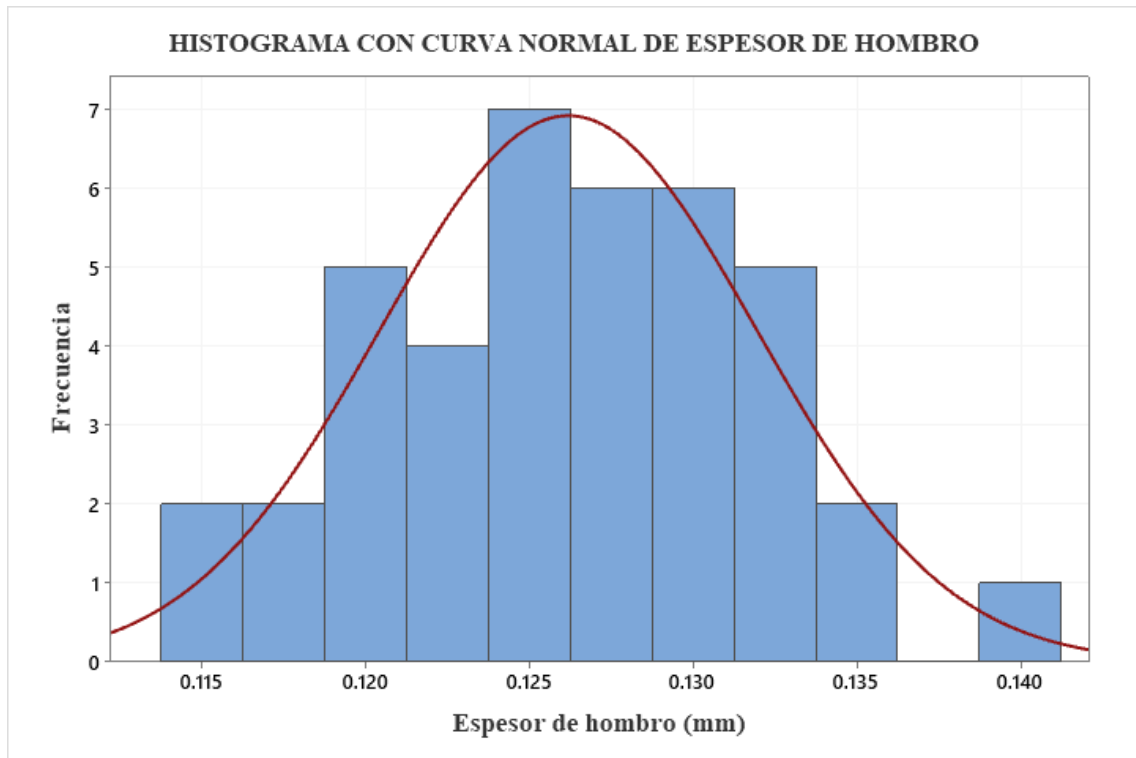
En la Tabla 11 se muestran los valores de espesor promedio, resultado de medir la botella obtenida a partir del proceso de soplado de la preforma PET con 20% de PET – PCR en 5 zonas. Se evaluaron 40 unidades.

**Tabla 11: Resultado de espesor promedio en cada zona de botella**

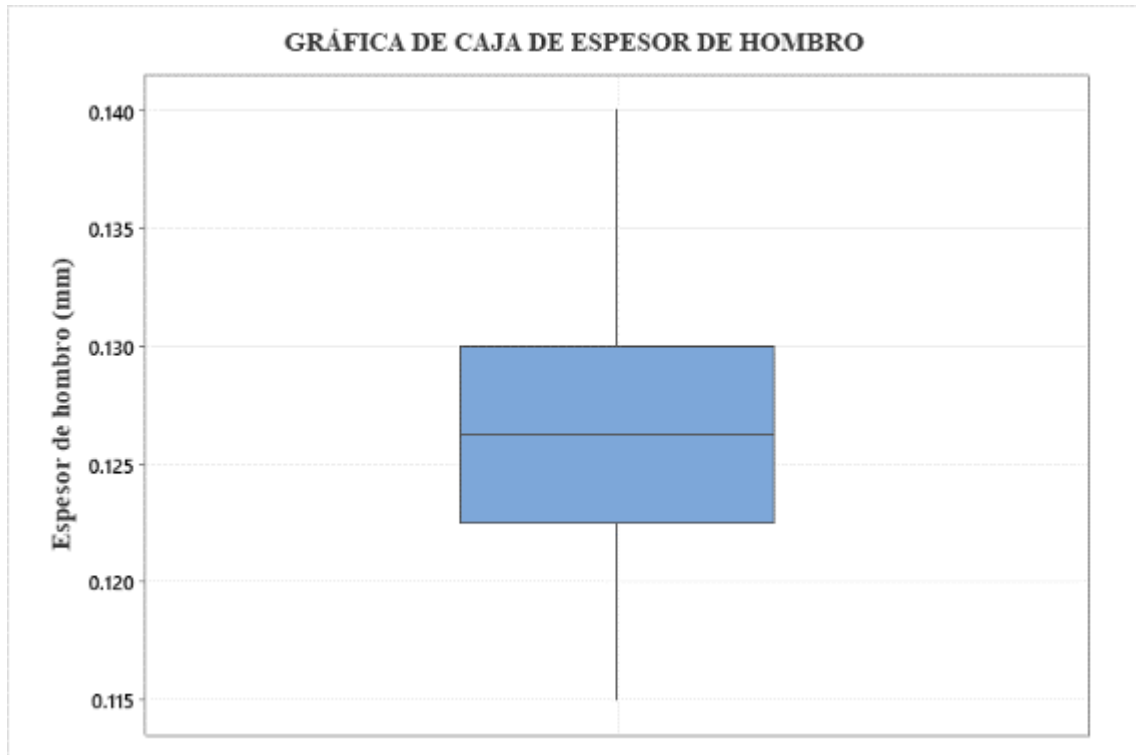
ZONA	PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN MATERIAL 100% VIRGEN	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
1	Hombro	> 0,12 mm	0,13 mm	0,01
2	Cintura	> 0,14 mm	0,15 mm	0,01
3	Panel	> 0,11 mm	0,12 mm	0,01
4	Talón	> 0,12 mm	0,13 mm	0,01
5	Base	> 0,11 mm	0,11 mm	0,01

Los resultados muestran que el espesor promedio en las zonas del hombro (0,13 mm), cintura (0,15 mm), panel (0,12 mm) y talón (0,13 mm) de la botella PET con 20% de PET – PCR estuvieron dentro de la especificación de una preforma PET con material 100% virgen, con respecto al espesor promedio de la base, esta se encuentra justo en el valor mínimo, del cual la especificación pide ser mayor, en las pruebas posteriores se determinará este impacto. Presentar los espesores adecuados en cada zona, confirma una correcta distribución de material, lo cual garantiza tener un proceso de soplado estable, que a su vez permite mantener invariable las propiedades mecánicas del envase. Sobre este tipo de medidas AINIA y AIMPLAS (2016) comentan que, existen parámetros de medición inmediata como el espesor, que se pueden contrastar rápidamente con la ficha técnica del envase.

Por otro lado, los estadísticos descriptivos muestran que los datos tienden a ubicarse bajo el esquema de una curva con distribución normal (Figura 32, 34, 36, 38 y 40), estos gráficos van acompañados de sus respectivos diagramas de caja (Figura 33, 35, 37, 39 y 41). Complementariamente se realizó una prueba de normalidad Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con cada variable de espesor de cada zona, donde se pudo concluir que los datos de la variable espesor de hombro, cintura, panel, talón y base se ajustan a una distribución normal. Los resultados de esta prueba se muestran en el Anexo 3-B

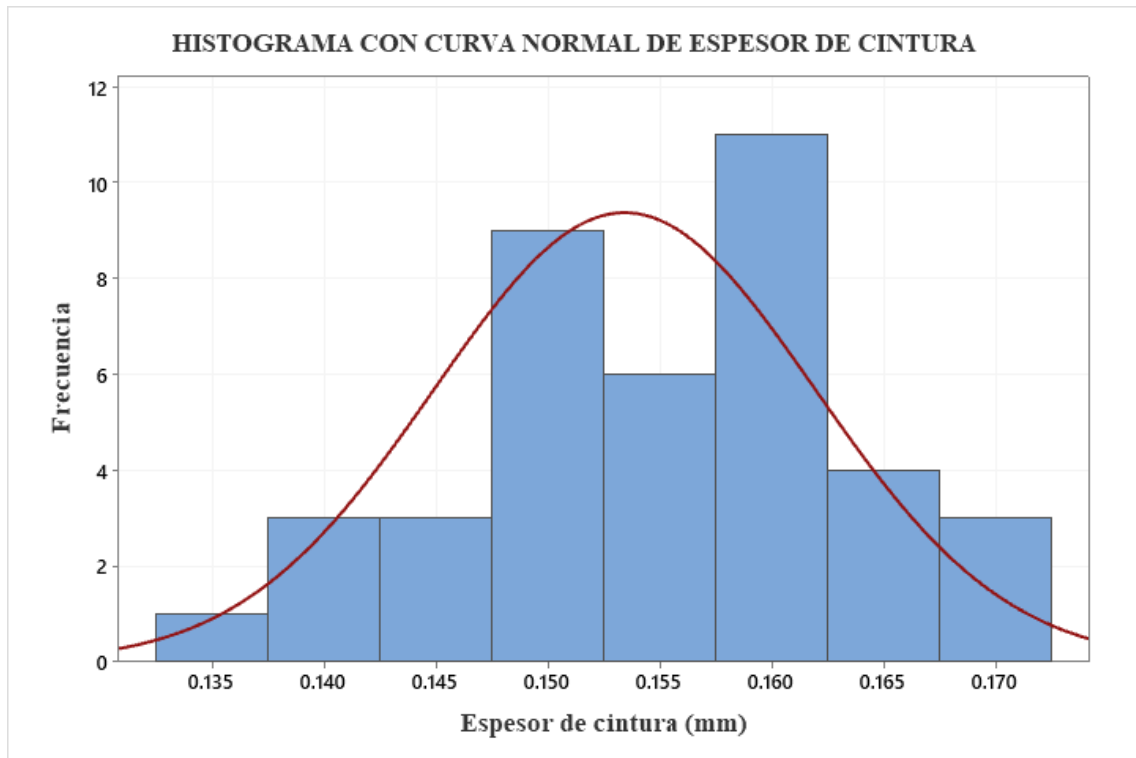


**Figura 32. Histograma con curva normal de variable espesor de hombro**

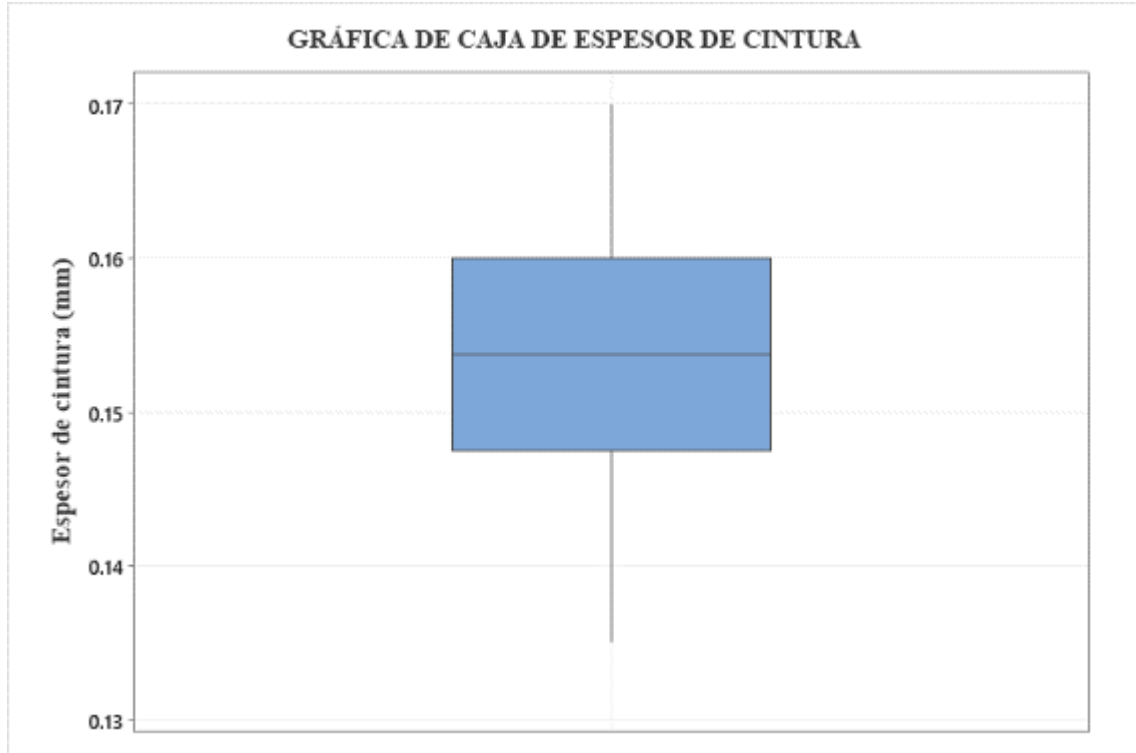


**Figura 33. Diagrama de caja variable espesor de hombro**

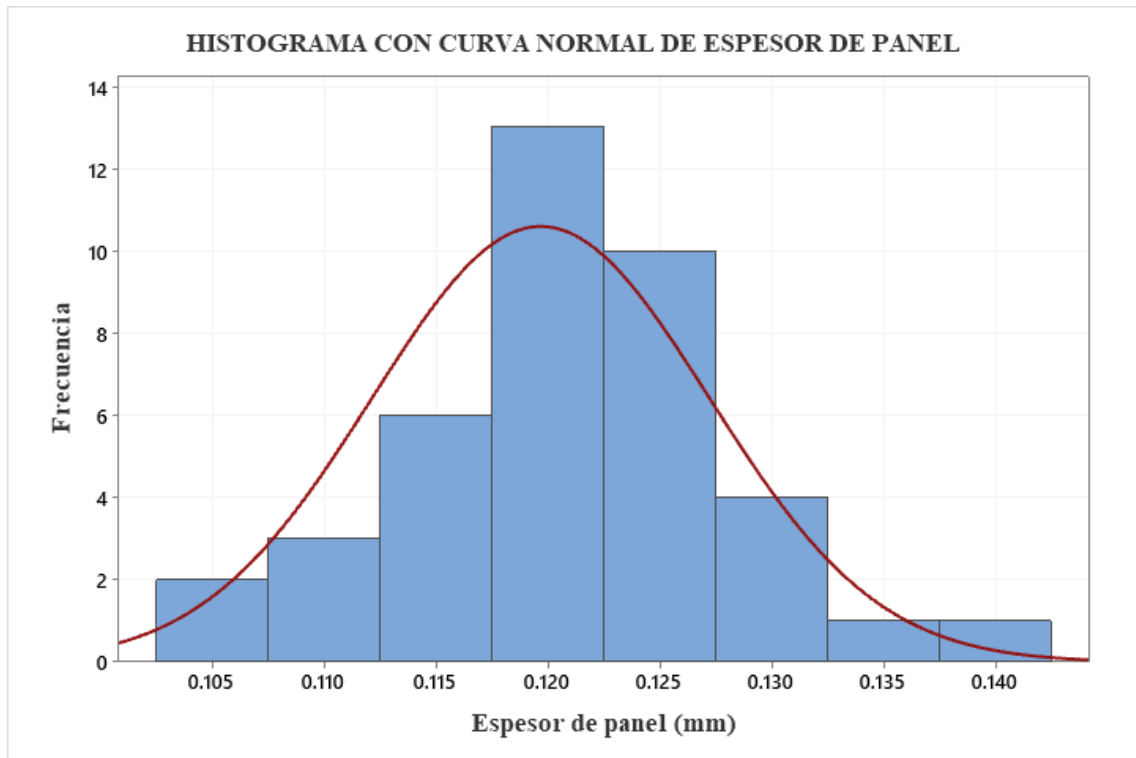




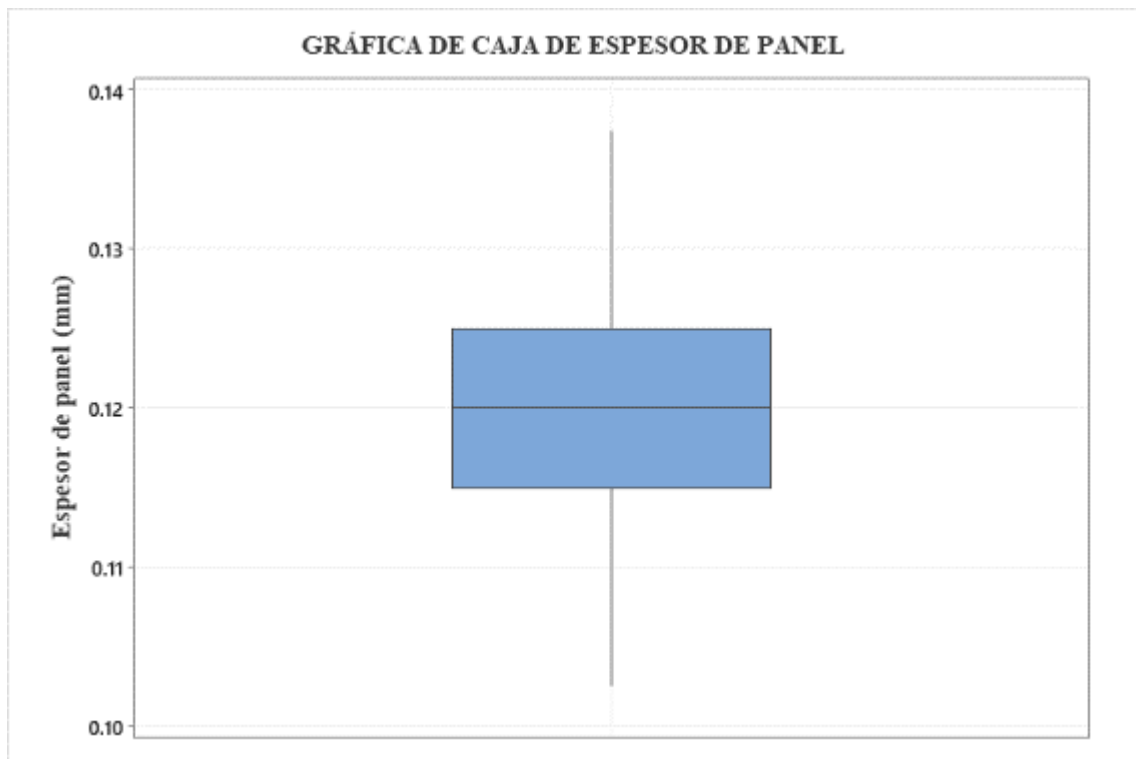
**Figura 34. Histograma con curva normal de variable espesor de cintura**



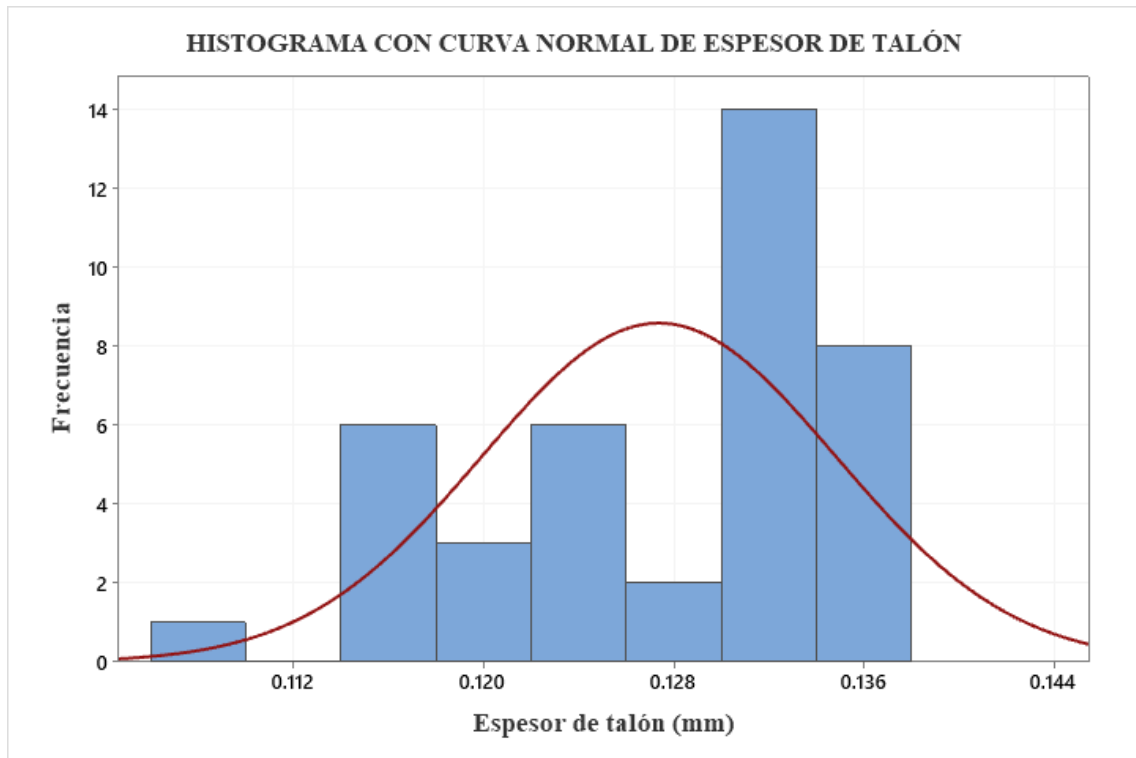
**Figura 35. Diagrama de caja variable espesor de cintura**



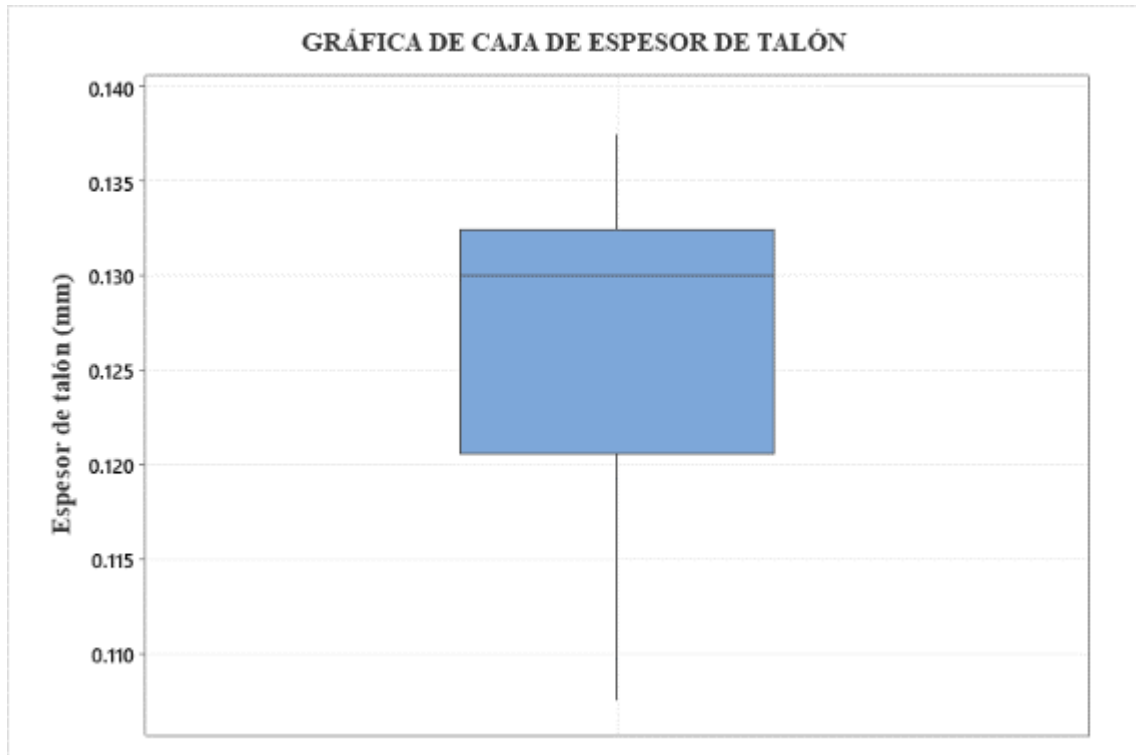
**Figura 36. Histograma con curva normal de variable espesor de panel**



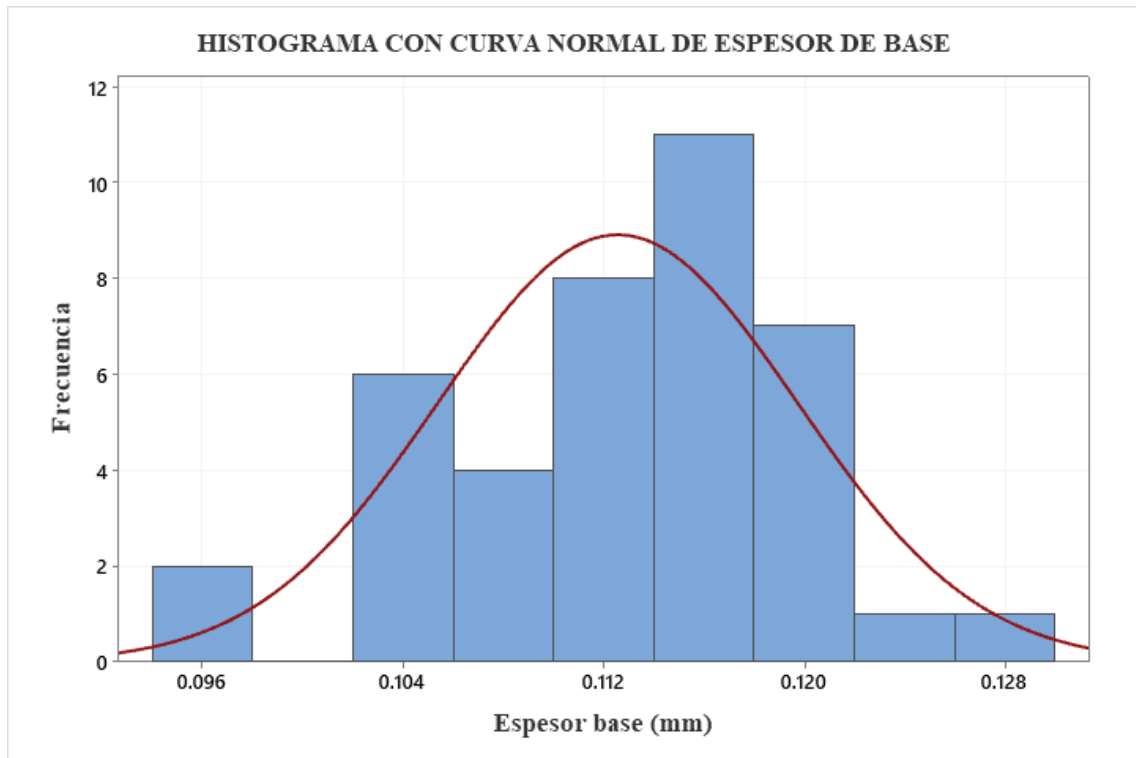
**Figura 37. Diagrama de caja variable espesor de panel**



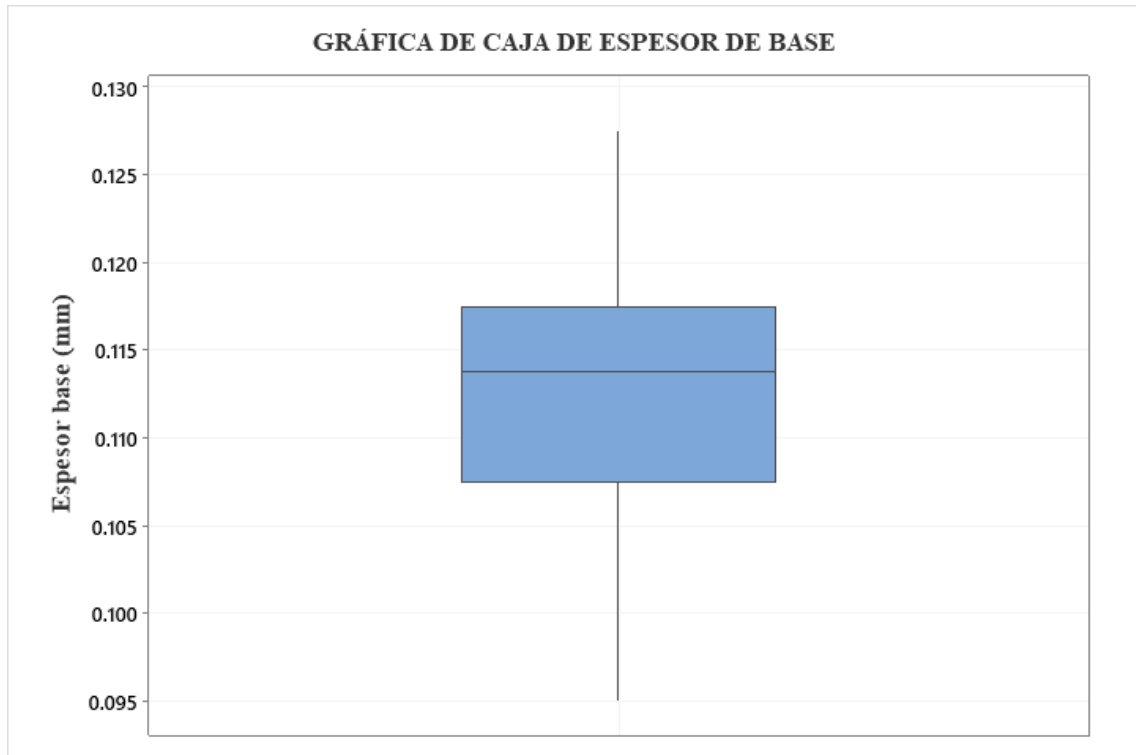
**Figura 38. Histograma con curva normal de variable espesor de talón**



**Figura 39. Diagrama de caja variable espesor de talón**



**Figura 40. Histograma con curva normal de variable espesor de base**



**Figura 41. Diagrama de caja variable espesor de base**

## 4.2. PROCESO PRODUCTIVO

### 4.2.1. RESULTADOS EVALUACIÓN DE ENVASE DURANTE PROCESO

En la Tabla 12 se muestran los resultados del monitoreo en línea de producción a los parámetros más importantes durante el envasado de prueba. Se evaluaron 10 envases como producto terminado.

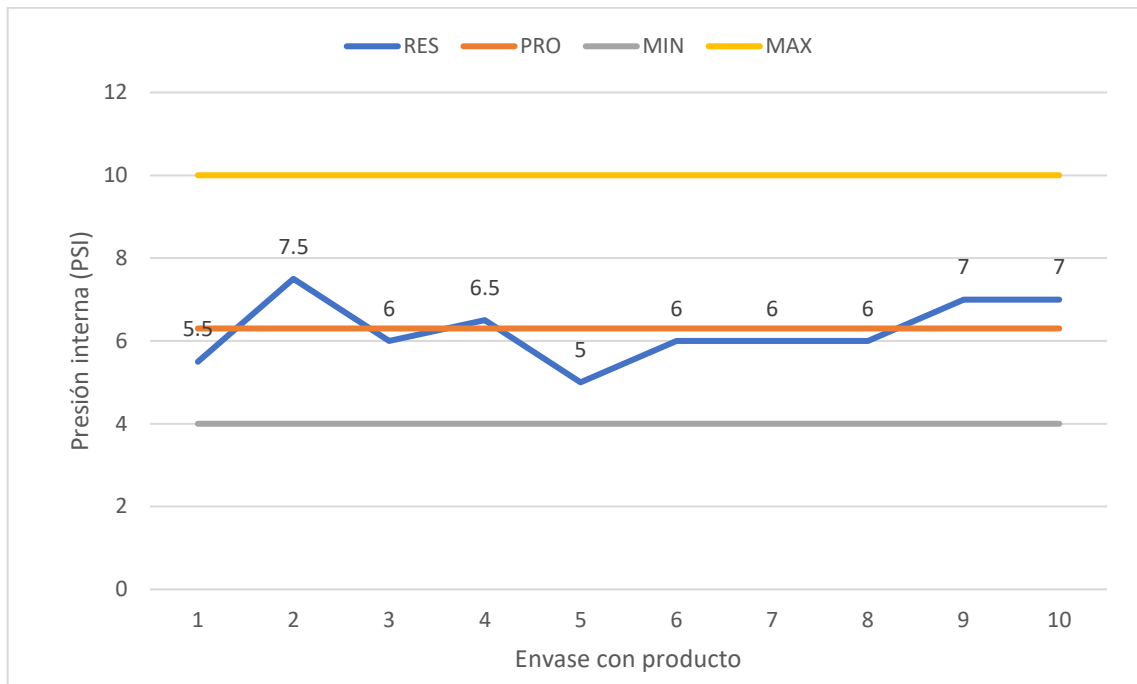
**Tabla 12: Resultados del monitoreo en línea a los parámetros de envasado**

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Presión interna	4 - 10 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI) (27,58 – 68,95 KPa)	6,25 lb/pulg <sup>2</sup>
Torque de aplicación	12 - 20 lbf·in (1,36 – 2,26 Nm)	15,95 lbf·in
Torque de remoción	11 - 18 lbf·in (1,24 – 2,03 Nm)	12,36 lbf·in

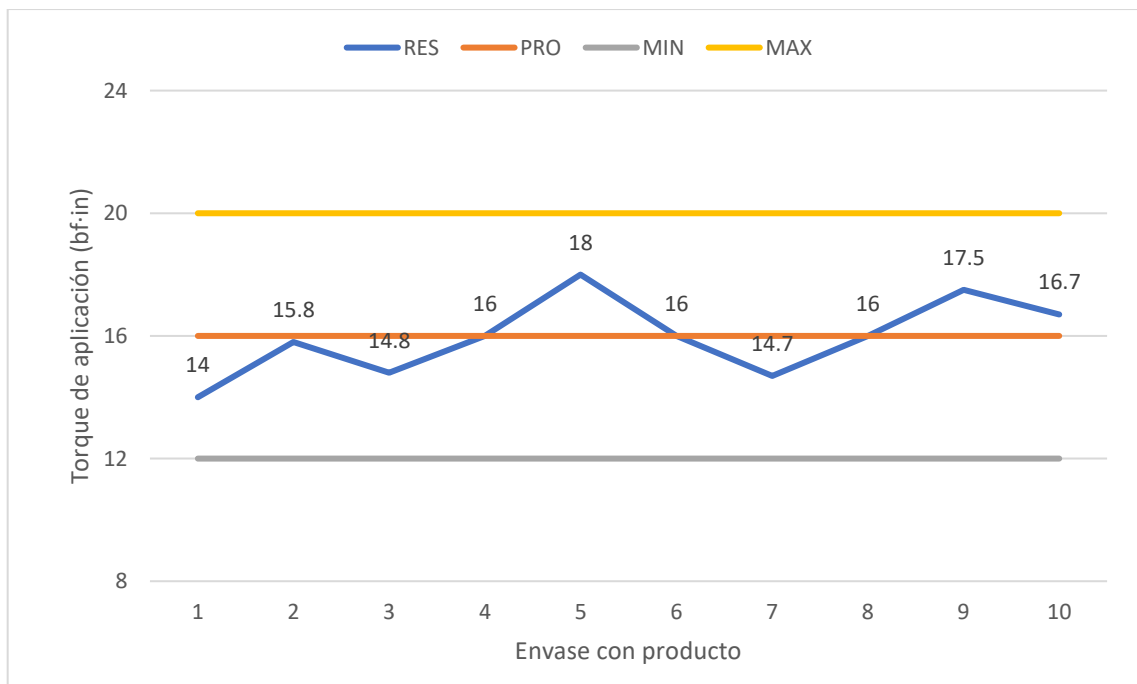
El resultado de presión interna arrojó un valor de 6,25 lb/pulg<sup>2</sup> (43,09 KPa), lo cual garantiza que las propiedades mecánicas del envase como producto terminado no se vean alteradas. Un valor de torque de aplicación de 15,95 lbf·in (1,80 Nm) muestra que la rosca del envase PET con 20% PET - PCR tolera las condiciones de estrés mecánico de este proceso, en relación con la medida de torque de remoción se obtuvo 12,36 lbf·in (1,40 Nm), confirma que la apreciación de parte del consumidor respecto a la apertura de la tapa del envase no se verá afectada.

Los resultados obtenidos demuestran que el envase de prueba envasado bajo condiciones normales de operación se mantuvo dentro de las tolerancias de cada parámetro evaluado durante el envasado de prueba, lo cual garantiza tener un producto de similares características que el producto de referencia. En ese sentido Bertomeu-Cámos & Fortuny (2016) sostienen que, la maquinabilidad brinda información respecto al comportamiento del envase a lo largo de todas las etapas del proceso productivo al que va a ser expuesto.

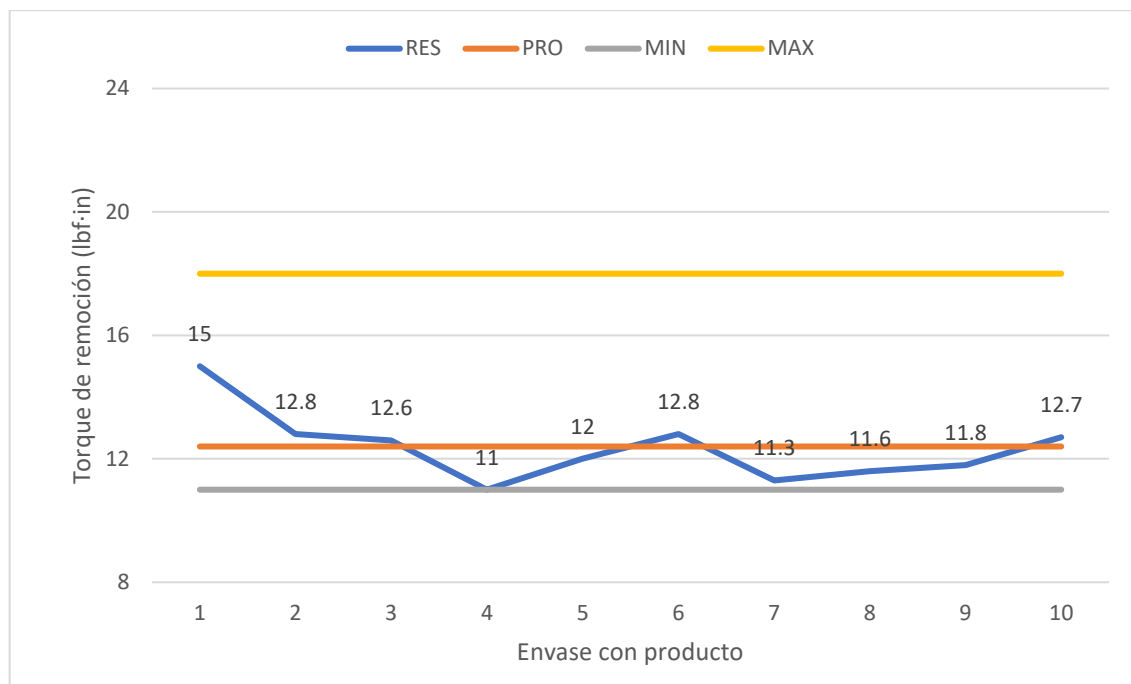
Los gráficos de control presentados muestran que los datos obtenidos se encuentran dentro de los límites de especificación (Figuras 42, 43 y 44).



**Figura 42. Resultados de medida de presión interna**



**Figura 43. Resultados de medida de torque de aplicación**



**Figura 44. Resultados de medida de torque de remoción**

Complementariamente se presentan los resultados de la Tabla 13, respecto a los controles de integridad de envase durante el envasado de prueba.

**Tabla 13: Resultado del monitoreo en línea a los controles de integridad de envase**

CONTROL	REQUISITO	RESULTADO
Integridad de botella en el transporte aéreo	Debe resistir los golpes del transporte	Resiste
Integridad de botella en el etiquetado	Debe resistir presión de etiquetado	Resiste
Prueba de caída	Debe resistir caída	Resiste

Los resultados obtenidos muestran que el envase tolera las condiciones de estrés mecánico propios de un proceso regular de envasado, lo cual da luces respecto a su resistencia mecánica, que más adelante será evaluada complementariamente. Tomando en cuenta lo anterior Bertomeu-Cámos & Fortuny (2016) exponen que, la maquinabilidad brinda información respecto a los principales parámetros a evaluar, destacando entre ellos la

estabilidad de medidas, estabilidad física durante proceso el envasado, resistencia al aplastamiento de botellas por acumulación en los pulmones de la línea y resistencia a tolerar el estrés generado en los procesos de encapsulado, etiquetado y empaçado.

### 4.3. PROCESO POST - PRODUCTIVO

#### 4.3.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COMPRESIÓN

La Tabla 14, muestra los valores de fuerza de compresión promedio de envases como producto terminado, obtenidos a partir 30 muestras evaluadas en cada serie (prueba y referencia). Para esta evaluación se consideró continuar con el ensayo hasta una caída de la fuerza máxima del 1% y tomar el valor de fuerza máxima para el análisis.

**Tabla 14: Resultados de fuerza de resistencia a la compresión promedio**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>REFERENCIA 100% VIRGEN</b>	<b>PRUEBA 80% VIRGEN + 20% PCR</b>	<b>VARIACIÓN</b>
Fuerza de compresión	216,40 N	208,30 N	8,10 N

Los resultados obtenidos muestran una caída en la resistencia a la compresión o carga vertical del producto terminado de 8,1 N, lo cual representa una leve reducción de 3,7%, lo que no debería afectar la resistencia y las condiciones actuales de apilamiento. Esta evaluación será complementada más adelante con una prueba de apilamiento.

Una de las características que juega un rol importante en las propiedades mecánicas de los polímeros es el peso molecular, para el caso del PET el valor de esta característica disminuye a medida que es reutilizada, esto debido generalmente a que este material pasa por un proceso térmico de fundición, la cual degrada las cadenas moleculares del polímero, afectando así sus propiedades mecánicas. Al respecto Tiravanti (2011) precisa en su investigación que el aumento de la resistencia a la compresión está relacionado directamente con el incremento del peso molecular de los poliésteres. Un mayor peso molecular significa tener mayor cantidad de enlaces dobles por cadena, lo que genera mayor densidad de entrecruzamiento en la matriz, provocando un incremento en su resistencia.



Martínez (2014) explica que, los ensayos de compresión pueden determinar la carga a la que la botella alcanza su deformación crítica en posición vertical, en la que su apariencia ya no es aceptable. Por otro lado, también aporta información sobre la capacidad que tendría esta botella para tolerar cargas presentes durante las operaciones de llenado y taponado.

Complementariamente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), prueba estadística paramétrica que permite determinar si existen o no diferencias significativas entre las medias de ambas muestras (prueba y referencia). Previo a este análisis se realizó una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05, donde se pudo concluir que los datos de la variable fuerza de compresión se ajustan a una distribución normal. Los resultados de esta prueba se muestran en el Anexo 4.

Habiendo confirmado que los datos de prueba y referencia siguen una distribución normal, seguidamente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar si existen diferencias significativas entre las medias de la prueba y referencia para la variable fuerza de compresión.

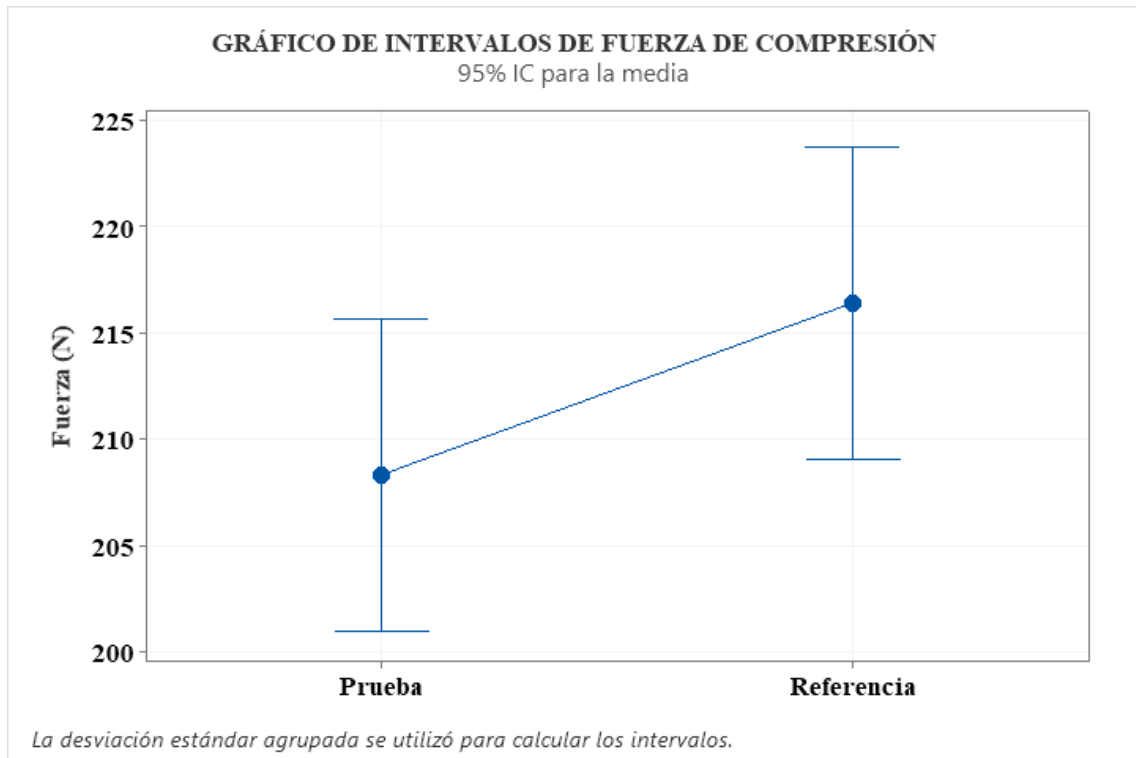
- **Prueba de hipótesis**

*H<sub>0</sub>*: Todas las medias de la variable fuerza de compresión son iguales

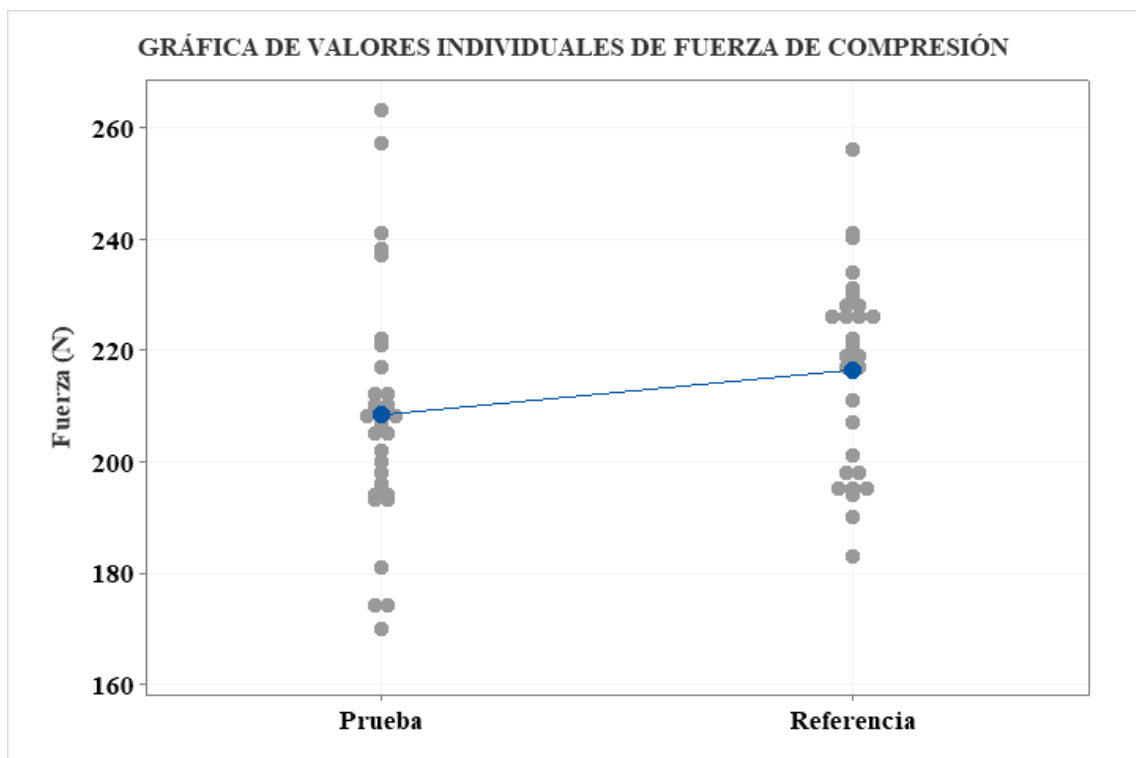
*H<sub>1</sub>*: No todas las medias de la variable fuerza de compresión son iguales

Dado que el valor de  $p$  fue  $0,124 > 0,05$  se aceptó *H<sub>0</sub>*, por lo que se pudo concluir que las medias son iguales, por lo tanto, no existen diferencias significativas entre las medias de la prueba y referencia para la variable fuerza de compresión. Los resultados se detallan en el Anexo 4.

Del análisis de varianza se observó que los intervalos de confianza al 95% de ambas muestras se traslapan (Figura 45), así mismo se muestra el gráfico de valores individuales (Figura 46).



**Figura 45. Gráfico de intervalos de variable fuerza de compresión**



**Figura 46. Gráfico de valores individuales de variable fuerza de compresión**

### 4.3.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TRACCIÓN

De esta evaluación se desprenden 2 datos importantes, que permitirán tener un mejor análisis respecto a las propiedades mecánicas del envase, éstas son:

#### a. ESFUERZO DE TRACCIÓN

La Tabla 15 muestra los valores de esfuerzo de tracción de rotura promedio aplicadas a probetas de 2 cm x 15 cm de lámina obtenidos del panel del envase, este ensayo se realizó a 30 muestras de cada serie (prueba y referencia). Para esta evaluación se consideró continuar con el ensayo hasta la rotura de la probeta y tomar el valor de fuerza máxima para el análisis.

**Tabla 15: Resultados de esfuerzo de tracción de rotura promedio**

PARÁMETRO	REFERENCIA 100% VIRGEN	PRUEBA 80% VIRGEN + 20% PCR	VARIACIÓN
Esfuerzo de tracción	186 MPa	184 MPa	2 MPa

Los resultados obtenidos muestran que hay una caída en la resistencia del esfuerzo a la tracción del envase en sentido transversal o radial al estiramiento del material durante el proceso de soplado de 2 MPa, lo cual representa una reducción del 1,1% respecto a la botella con material virgen. Esto confirma que la resistencia del envase, bajo las condiciones actuales de transporte y apilamiento no se verá afectada. Esta mínima diferencia es refrendada por Ascencio *et al.* (2020) quienes en su investigación reportan que las muestras puras de PET reciclado (rPET), PET virgen (vPET) y sus mezclas en proporciones de 75 : 25, 50 : 50 y 25 : 75, tienen un valor similar de fuerza de tensión que va de los 59 a 60 MPa para las muestras modificadas físicamente y un valor de 53 a 54 MPa para las muestras modificadas a través de método químico, con lo cual concluyen en su investigación que la fuerza de tensión no experimenta cambios significativos con la incorporación de PET virgen a una muestra con 100% PET reciclado.

Benvenuta *et al.* (2018) reportan un valor de fuerza de tensión de 35 MPa para el PET reciclado, además indica que este valor se incrementa a 54 MPa cuando se le incorpora el

extensor de cadena polimérica formado por un bloque intermedio de estireno-acrilonitrilo y bloques terminales de metacrilato de estireno-glicidilo (SGMA – SAN – SGMA).

El rPET presenta una baja resistencia a la tracción cercana a 10 MPa, debido a la reducción del peso molecular como consecuencia de la degradación, sin embargo, esta aumenta con la adición de 30% de PC (policarbonato) a 17 MPa, y si a esta mezcla se le adiciona además el 1% y 2% de un extensor de cadena (copolímero acrílico de estireno), la resistencia a la tracción del rPET / PC aumenta a 39 y 55 MPa, respectivamente (Y Srithep *et al.*, 2017).

Complementariamente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), prueba estadística paramétrica que permite determinar si existen o no diferencias significativas entre las medias de ambas muestras (prueba y referencia). Previo a este análisis se realizó una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05, donde se pudo concluir que los datos de la variable esfuerzo de tracción se ajustan a una distribución normal. Los resultados de esta prueba se detallan en el Anexo 5-A.

Habiendo confirmado que los datos de la prueba y referencia siguen una distribución normal, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar si existen diferencias significativas entre las medias de la prueba y referencia para la variable esfuerzo de tracción. Los detalles del análisis se muestran en el Anexo 5-A.

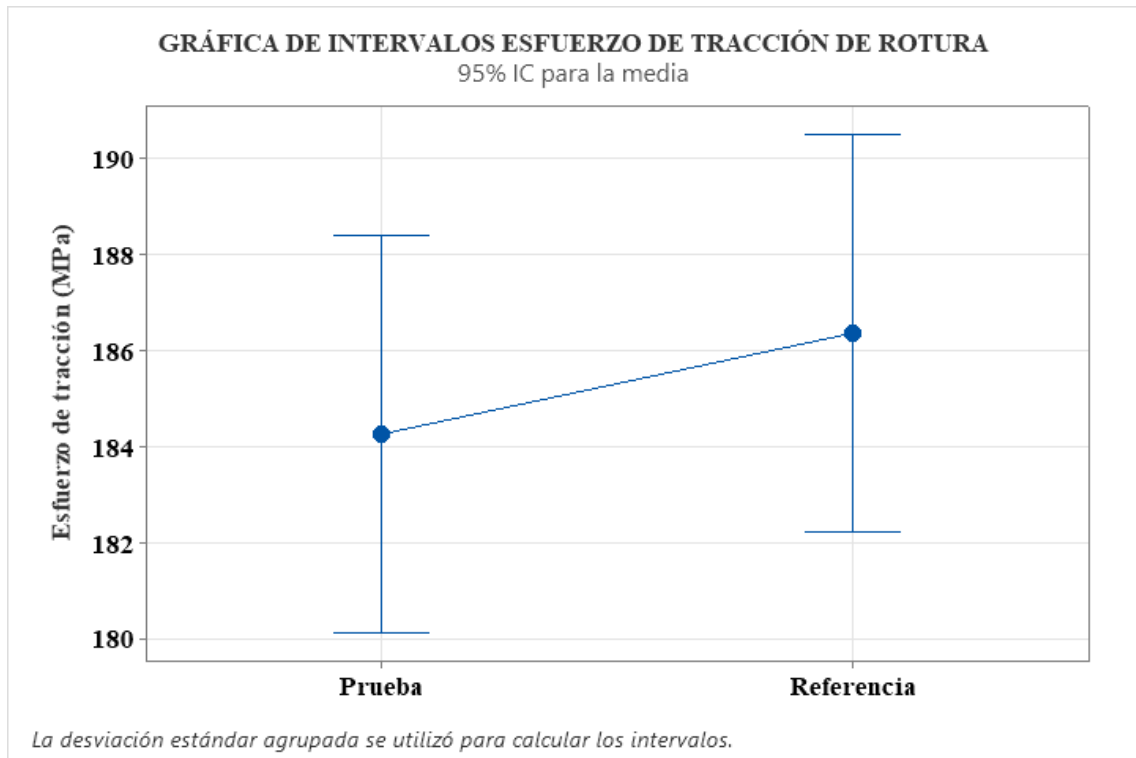
- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : Todas las medias de la variable esfuerzo de tracción son iguales

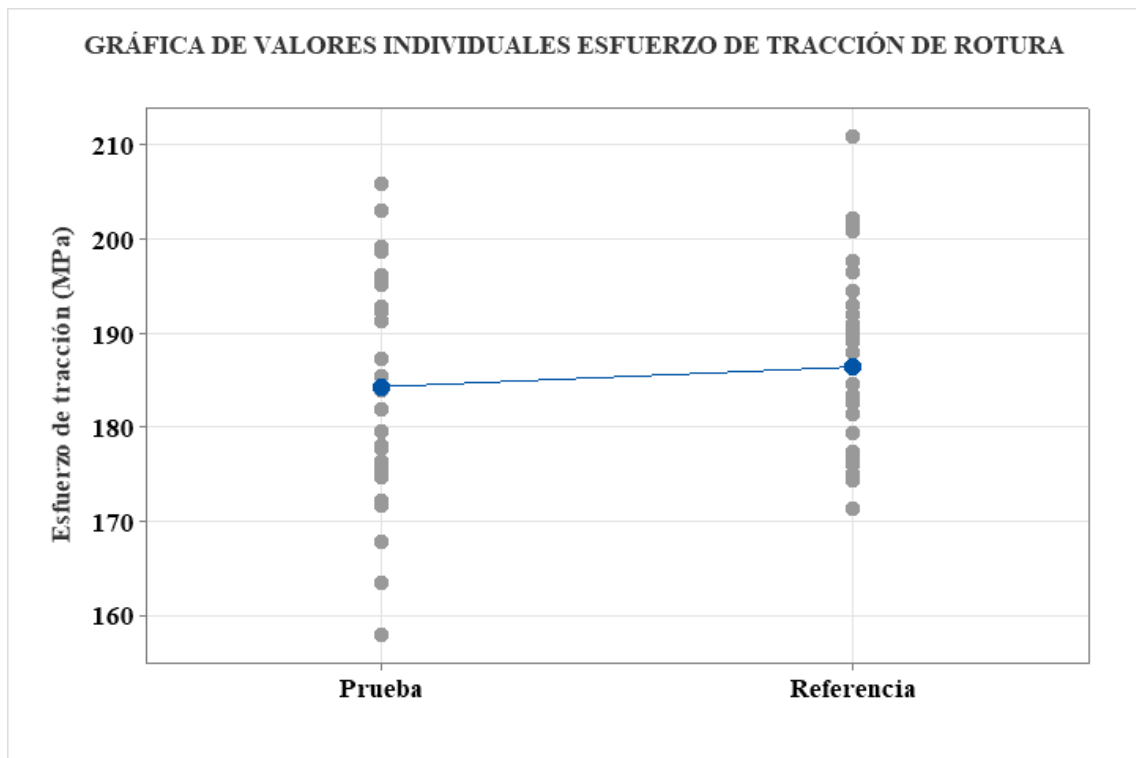
$H_1$ : No todas las medias de la variable esfuerzo de tracción son iguales

Dado que el valor de  $p$  fue  $0,472 > 0,05$  se aceptó  $H_0$ , por lo que se pudo concluir que las medias son iguales, por lo tanto, no existen diferencias significativas entre las medias de la prueba y referencia para la variable esfuerzo de tracción.

Del análisis de varianza se observó que los intervalos de confianza al 95% de ambas muestras se traslapan (Figura 47), así mismo se muestra el gráfico de valores individuales (Figura 48).



**Figura 47. Gráfica de intervalos de variable esfuerzo de tracción**



**Figura 48. Gráfica de valores individuales de variable esfuerzo de tracción**

## b. MODULO DE YOUNG

La Tabla 16, muestra los valores de módulo de Young promedio obtenidos de los mismos ensayos de tracción (prueba y referencia) donde se halló el valor de fuerza máxima de tracción.

**Tabla 16: Resultados de módulo de Young promedio**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>REFERENCIA 100% VIRGEN</b>	<b>PRUEBA 80% VIRGEN + 20% PCR</b>	<b>VARIACIÓN</b>
Módulo de Young	2428 MPa	2195 MPa	233 MPa

Los resultados obtenidos muestran una caída en el valor de módulo de Young del envase en sentido transversal o radial al estiramiento del material durante el proceso de soplado de 233 MPa, lo cual representa una reducción de 9,6% con respecto al material virgen, lo que indicaría que el envase con 20% PET-PCR tiene menor resistencia o rigidez, lo que, a su vez le confiere una mayor elasticidad o deformación elástica. El impacto de esta caída se podrá verificar más adelante con las pruebas complementarias de apilamiento y transporte.

En relación con los resultados obtenidos Ascencio *et al.* (2020) indican que, el vPET presenta un valor de módulo elástico ligeramente mayor que el rPET, así mismo, muestran que conforme la proporción de vPET aumenta en una muestra pura de rPET, el módulo elástico de la mezcla también se incrementa, es así que para muestras modificadas físicamente el valor de módulo elástico para una muestra pura de rPET está cerca los 2300 MPa, mientras que para una mezcla de 25:75 ( rPET : vPET) está por encima de los 2400 MPa y para el caso de las muestras modificadas químicamente, el valor de módulo elástico está cerca de 2400 MPa para un rPET puro y por encima de 2500 MPa para una mezcla de 25:75 ( rPET : vPET).

Benvenuta *et al.* (2018) reportan valores de módulo de Young de  $2360 \pm 30$  MPa para el rPET, y estos valores se incrementan a  $2420 \pm 30$  MPa, cuando este rPET es modificado con el extensor de cadena SGMA – SAN – SGMA, este debido al incremento de su masa molecular.

El rPET presenta un módulo de tracción cerca de 1500 MPa, este valor aumenta con la adición de 30% de PC (policarbonato) a 1760 MPa, y si a esta mezcla se le adiciona además el 2% de un extensor de cadena (copolímero acrílico de estireno), el módulo de tracción del rPET / PC aumenta a 2300 MPa (Y Srithep *et al.*, 2017).

Complementariamente, se realiza un análisis de varianza (ANOVA), prueba estadística paramétrica que permite determinar si existen o no diferencias significativas entre las medias de ambas muestras (prueba y referencia). Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05, donde se pudo concluir que los datos de la variable módulo de Young se ajustan a una distribución normal. Los resultados de estas pruebas se detallan en el Anexo 5-B.

Habiendo confirmado que los datos de la prueba y referencia siguen una distribución normal, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar si existen diferencias significativas entre las medias de la prueba y referencia para la variable módulo de Young. Los resultados del análisis se detallan en el Anexo 5-B.

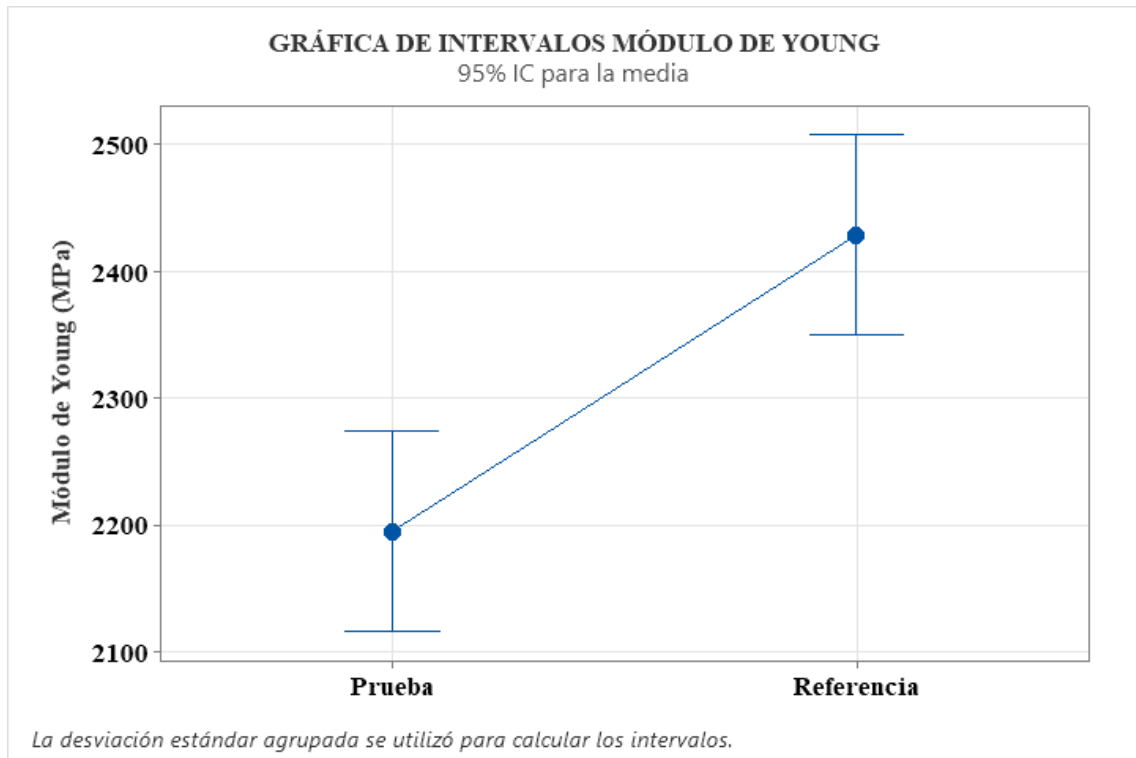
- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : Todas las medias de la variable módulo de Young son iguales

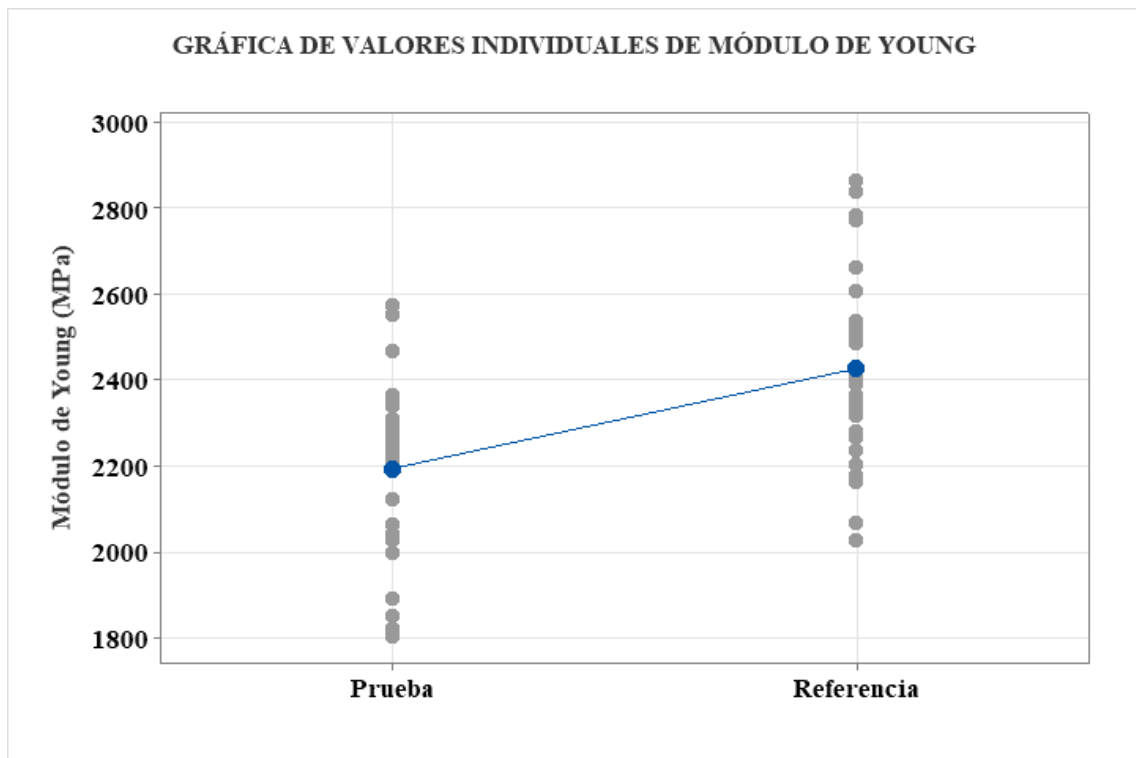
$H_1$ : No todas las medias de la variable módulo de Young son iguales

Dado que el valor de p fue  $0,0 < 0,05$  se rechazó la  $H_0$  y se aceptó  $H_1$ , por lo que se pudo concluir que las medias no son iguales, por lo tanto, si existen diferencias significativas entre las medias de la prueba y referencia para la variable módulo de Young.

Del análisis de varianza se observó que los intervalos de confianza al 95% de ambas muestras no se traslapan (Figura 49), así mismo se muestra el gráfico de valores individuales (Figura 50).



**Figura 49. Gráfico de intervalos de variable módulo de Young**



**Figura 50. Gráfico de valores individuais de variable módulo de Young**



### 4.3.3. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE APILAMIENTO

Se reporta una incidencia de 0 % de defectos de integridad en la inspección de la prueba de apilamiento estático, obtenido de evaluar 600 botellas de cada serie (prueba y referencia), pertenecientes a los dos primeros estratos del apilamiento con una sobrecarga del 50%. La evaluación se realizó luego de 7 días bajo esta condición.

Los resultados muestran que la resistencia al apilamiento del envase como producto terminado, no se ha visto afectada, lo cual reafirma lo reportado anteriormente en la prueba de resistencia a la compresión, además de confirmar que una caída del 9.6% en el valor de módulo de Young no afecta el nivel de apilamiento. Lo anterior da seguridad para mantener las condiciones actuales de apilamiento, sin la necesidad realizar cambios que pudieran afectar el flujo regular post producción del producto.

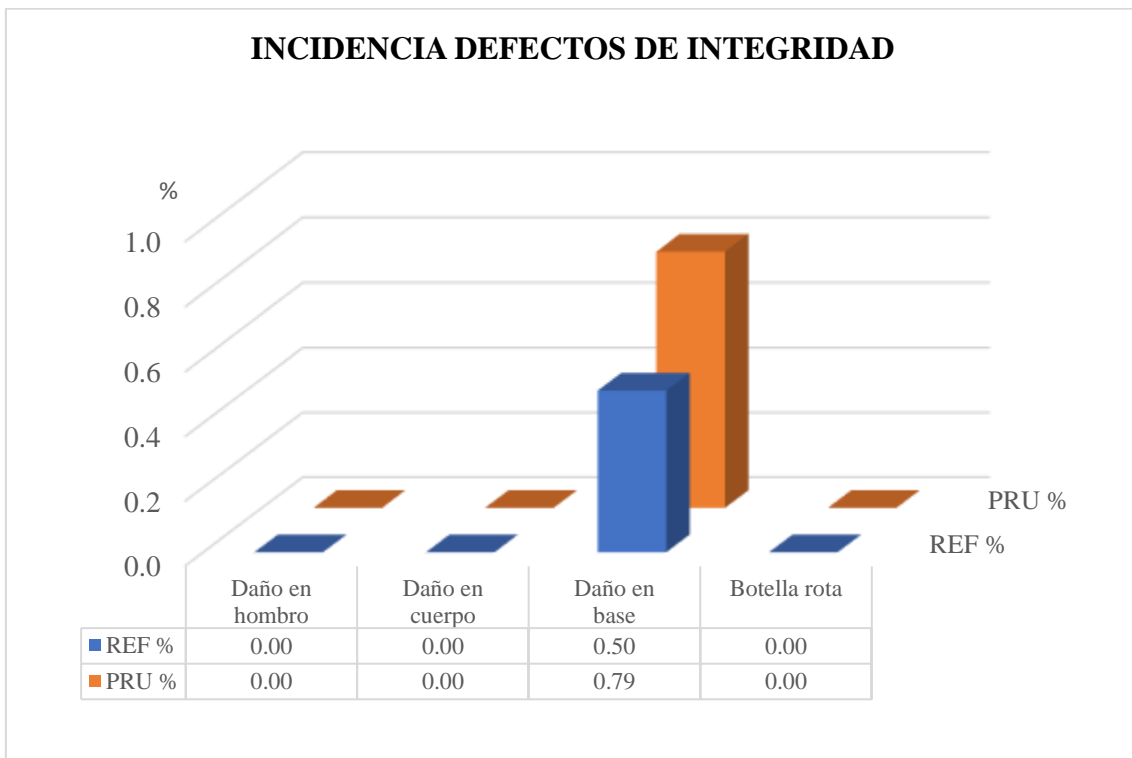
### 4.3.4. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRANSPORTE

La Tabla 17, muestra la incidencia de defectos de integridad reportados en la inspección de la prueba de transporte, obtenidos de evaluar 2400 botellas de cada serie (prueba y referencia). La evaluación se realizó en lugar de destino (Huancayo).

**Tabla 17: Resultados de inspección de prueba de transporte**

<b>DEFECTOS DE INTEGRIDAD</b>	<b>REFERENCIA 100% VIRGEN</b>	<b>PRUEBA 80% VIRGEN + 20% PCR</b>
Daño en hombro	0%	0%
Daño en cuerpo	0%	0%
Daño en base	0,50%	0,80%
Botella rota	0%	0%

Los resultados muestran que la parte más sensible al daño es la base de la botella, se observa una diferencia de 0,3% en la incidencia de defectos de integridad entre la prueba (0,8%) y referencia (0,5%) que se muestran en la Figura 51, esta diferencia resalta lo reportado en la medida de espesor en esta zona, no obstante, ambos valores son menores a un AQL del 1% especificado para este tipo de defectos. Lo anterior da seguridad para mantener las condiciones actuales de transporte, sin la necesidad realizar cambios que pudieran afectar el flujo regular de distribución del producto a nivel nacional.



**Figura 51. Resultados de la inspección de la prueba de transporte**

#### **4.3.5. RESULTADO ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ACELERADO**

Se realizó una evaluación de tiempo de vida acelerado a la bebida no carbonatada tipo refresco Citrus Punch contenido en el envase con 20% PET-PCR. Este estudio fue ejecutado por un laboratorio externo acreditado (Intertek Testing Services Perú S.A.).

**Tabla 18: Resultados de estimaciones de estudio de tiempo de vida acelerado**

CONDICIONES	TIEMPO DE VIDA ESTIMADO	
	DÍAS	MESES
Temperatura 20°C	252,93	8,43
Temperatura 25°C	227,34	7,58
Temperatura 35°C	186,24	6,21

FUENTE: Adaptado de Intertek (2019).

Los resultados obtenidos al final del estudio de tiempo de vida acelerado mostrados en la Tabla 18, luego de aplicar la ecuación cinética de reacción de orden cero, tomando como criterio de evaluación los cambios de pH, proyectaron tiempos de vida útil mayor a 6 meses para las 3 condiciones de temperaturas evaluadas, con lo cual se cumple los 6 meses de vida útil especificado para este producto. Estos resultados confirman que la composición de esta nueva botella no afecta al producto contenido, por lo que el producto podría ser comercializado sin ninguna restricción. Mayores detalles de esta evaluación se presentarán en el Anexo 6.

#### **4.4. APLICACIÓN DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES**

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional describe las actividades ejercidas en la condición de Bachiller en Ciencias – Industrias Alimentarias en una empresa dedicada al rubro de alimentos, desempeñando el cargo Analista de Investigación y Desarrollo – Empaques, puesto que interviene directamente en la validación de todos los envases y materiales de empaque y embalaje que usa la compañía. La carrera de Industrias Alimentarias favoreció a un correcto manejo y desempeño dentro de la empresa, dado los conocimientos y competencias adquiridas durante la formación universitaria.

El proceso de validación de los materiales de empaque y embalaje para alimentos en esta compañía centra su desarrollo en dos fases, la primera es la prueba preliminar, donde se realiza la revisión documentaria de acuerdo con la legislación vigente del país y la evaluación de medidas de acuerdo con la ficha técnica y plano mecánico del material. La segunda parte conlleva a realizar un escalamiento a nivel de prueba industrial, donde se realiza monitoreo y control de calidad al producto en prueba, además de realizar pruebas complementarias de resistencia mecánica de tracción y compresión, fuerza de apertura de tapa, fuerza de sello, prueba de hermeticidad en cámara de vacío y prueba de transporte y apilamiento que ayudan

a caracterizar mejor el material en evaluación. así como el seguimiento del desempeño de este a lo largo de su vida en anaquel y su interacción con el producto.

El desarrollo de estas funciones pone en práctica los conocimientos adquiridos durante la formación de carrera, tal como se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19. Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el desempeño laboral**

<b>Cursos</b>	<b>Conocimientos adquiridos puestos en práctica</b>
Control de Calidad de Alimentos	Métodos estadísticos y control durante proceso
Envases y Embalajes de Alimentos	Diseño y selección de empaque y vida útil
Gestión de la Calidad	Documentación en los sistemas de gestión y normas
Resistencia de Materiales	Materiales para alimentos y propiedades mecánicas

El desarrollo del presente Trabajo de Suficiencia Profesional puso en práctica un protocolo de validación de un envase PET que contiene 20 % PET-PCR, aplicando conocimientos específicos en materiales de envase y embalaje para alimentos, análisis fisicomecánico, resistencia y propiedades mecánicas de materiales, control de calidad, cumplimiento de la normativa nacional e internacional, tiempo de vida acelerado e interacción envase - producto, tópicos que guardan relación con los cursos presentados en la Tabla 20.

**Tabla 20. Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el trabajo de suficiencia profesional**

<b>Cursos</b>	<b>Conocimientos adquiridos puestos en práctica</b>
Control de Calidad de Alimentos	Métodos estadísticos y control durante proceso
Envases y Embalajes de Alimentos	Materiales plásticos y vida útil
Gestión de la Calidad	Documentación en los sistemas de gestión y normas
Resistencia de Materiales	Propiedades mecánicas y carga axial

Por último, la formación académica universitaria, trajo consigo también el desarrollo de capacidades y competencias. El efecto combinado de ambos recursos facilitó el desenvolvimiento de las labores y actividades encomendadas dentro de la compañía. Entre estas habilidades adquiridas se destaca trabajo en equipo, comunicación, búsqueda de información técnico-científica y responsabilidad en el trabajo.

## V. CONCLUSIONES

1. Se logró validar el uso de una preforma PET con 20% de PET-PCR en su composición para envasado de una bebida tipo refresco.
2. Se logró la validación en proceso pre-productivo, se reportaron valores de 13,35 g de peso, 83,09 mm de altura, 27,37 mm de diámetro externo y 11,35 mm de altura tope precinto como medidas de preforma que cumplen con la especificación. Respecto a la botella obtenida del proceso de soplado, se obtuvieron valores de 237,41 mm para altura, 0,13 mm para espesor de hombro, 0,15 mm para espesor de cintura, 0,12 mm para espesor de panel, 0,13 mm para espesor de talón y 0,11 mm para espesor de base como medidas de botella que cumplen con la especificación.
3. Se logró la validación en proceso productivo, se reportaron valores de 6,25 lb/ pulg<sup>2</sup> de presión interna, 15,95 lbf·in de torque de aplicación y 12,36 lbf·in de torque de remoción, valores que cumplen con lo especificado en estos controles. Además, se verificó que las botellas toleran las condiciones de estrés mecánico propios de un proceso regular de producción de refrescos.
4. Se logró la validación en proceso post-productivo, en la prueba de compresión se reportaron valores de 216,4 N en la referencia y 208,3 N en la prueba, obteniendo una diferencia porcentual no significativa del 3,7%. En el ensayo de tracción se obtuvieron valores de esfuerzo de rotura de 186 MPa en la referencia y 184 MPa en la prueba, obteniendo una diferencia porcentual no significativa del 1,1%. De otro lado, se obtuvieron valores de Módulo de Young de 2428 MPa en la referencia y 2195 MPa en la prueba, obteniendo una diferencia porcentual significativa del 9,6%. En las pruebas complementarias de apilamiento y transporte se verificó que no existen diferencias significativas entre la referencia y prueba. El estudio de tiempo de vida acelerado otorgó un tiempo de vida útil de 6,2 meses a una temperatura de 35°C.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar ensayos de tracción con probetas de material de envase provenientes de ambos sentidos del estiramiento de la preforma (máquina y transversal), siempre y cuando la geometría y diseño del envase lo permitan.
- Para evaluar el impacto visual que pudieran tener las botellas PET con material reciclado, se recomienda realizar un análisis colorimétrico comparativo entre botellas PET con material 100% virgen y botellas PET con porcentaje de material reciclado.
- Se recomienda realizar una evaluación comparativa de permeabilidad al oxígeno entre botellas PET con material 100% virgen y botellas PET con porcentaje de material reciclado.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- AINIA Centro Tecnológico Agroalimentario & AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico. (2016). La correcta especificación de los envases. Recuperado de [https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos\\_publicaciones\\_empresas/la-correcta-especificacion-de-los-envases.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_publicaciones_empresas/la-correcta-especificacion-de-los-envases.pdf)
- Aliaga, C & Guillem, A. (2020). Incorporación de plásticos reciclados a materiales de envase. Revista Infopack International N. 275: 66 – 69. Recuperado de: <https://www.infopack.es/revista/275/>
- American Society for Testing and Materials. (2012). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Norma ASTM D882 - 12. Pennsylvania, Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials. (2015). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. Norma ASTM D695 - 15. Pennsylvania, Estados Unidos.
- Asensio, M., Nuñez, K., Guerrero, J., Herrero, M., Merino, J. C., & Pastor, J. M. (2020). Rheological modification of recycled poly(ethylene terephthalate): Blending and reactive extrusion. Polymer Degradation and Stability. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109258>
- Beltrán M. & Marcilla A. (2012). Tecnología de polímeros: procesado y propiedades. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Recuperado de: [https://kupdf.net/queue/86149756-tecnologia-de-polimeros-m-beltran-y-a-marcilla1\\_59c2e0ea08bbc50918687098\\_pdf?queue\\_id=1&x=1621949990&z=MjAwLjQuMjQ5LjE3](https://kupdf.net/queue/86149756-tecnologia-de-polimeros-m-beltran-y-a-marcilla1_59c2e0ea08bbc50918687098_pdf?queue_id=1&x=1621949990&z=MjAwLjQuMjQ5LjE3)

- Benvenuta Tapia, J. J., Hernández Valdez, M., Cerna Cortez, J., Díaz García, V. M., & Landeros Barrios, H. (2018). Improving the Rheological and Mechanical Properties of Recycled PET Modified by Macromolecular Chain Extenders Synthesized by Controlled Radical Polymerization. *Journal of Polymers and the Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1294-4>
- Bertomeu Cámos, M. (2015). Recomendaciones logísticas para el diseño e ingeniería de envases y embalajes. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/419797170/Recomendaciones-logisticas-para-el-diseno-e-ingenieria-de-envases-y-embalajes>
- Bertomeu Cámos, M. & Fortuny, A. (2016). El proyecto de desarrollo de packaging. Recuperado de [https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos\\_publicaciones\\_empresas/el-proyecto-de-desarrollo-de-packaging.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_publicaciones_empresas/el-proyecto-de-desarrollo-de-packaging.pdf)
- Congreso de la República de Perú. (2018). Ley n.º 30884. Ley que Regula el Plástico de un solo Uso y los Recipientes o Envases Descartables. Consultado 29 de oct. de 2020. Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/TraDocEstProc/Expvirt\\_2011.nsf/Repexpvirt?OpenForm&Db=201602248&View](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/TraDocEstProc/Expvirt_2011.nsf/Repexpvirt?OpenForm&Db=201602248&View)
- Díaz, R & Herranz, N. (2020). Materiales en contacto con alimentos: Seguridad y calidad. *Revista Infopack International* N. 275: 34 – 39. Recuperado de: <https://www.infopack.es/revista/275/>
- Flórez, L. (2021). Cómo llevar a la industria plástica hacia la economía circular. *Revista El empaque + conversión*, 7(1): 14 – 17. Recuperado de: <https://www.elempaque.com/revista-digital/>
- Gisbert, M. (2017). Modelos predictivos para la estimación de vida útil: Tipos y usos. Recuperado de: <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/modelos-predictivos-para-la-estimacion-de-vida-util-tipos-y-usos/>



- Krol, C. (2018). Botellas a partir de plantas: ¿Paño tibio o solución para la escasez de PET reciclado en Estados Unidos? Revista El empaque + conversión, 4(5): 32 – 33. Recuperado de: <https://www.elempaque.com/revista-digital/>
- Loganayagan, Keerthana, Abishek & Amudhan Vetrivel (2021). Study on plastic pet bottles characteristics to develop eco-friendly plastic paver blocks. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1059, No. 1, p. 012042). IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1059/1/012042>
- Luna, D & Salazar, J. (2018). Lamiempaqués: Producción responsable de alto impacto social. Revista El empaque + conversión, 4(5): 11 – 13. Recuperado de: <https://www.elempaque.com/revista-digital/>
- Martínez, A. (2014). Determinación de la Durabilidad de una Resina de Tereftalato de Polietileno, Af-626, en Envases Retornables por Inyección para Bebidas Gaseosas de Alta Rotación. Tesis para optar el título de Ingeniero. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Mercado Común del Sur. (2007). MERCOSUR/GMC/RES. N° 30/07. Reglamento técnico MERCOSUR sobre envases de polietilentereftalato (PET) post consumo reciclado grado alimentario (PET-PCR grado alimentario) destinados a estar en contacto con alimentos. Consultado 29 de oct. de 2020. Disponible en: [https://normas.mercosur.int/simfiles/normativas/5274\\_RES\\_030-2007\\_ES\\_PET-PCR.pdf](https://normas.mercosur.int/simfiles/normativas/5274_RES_030-2007_ES_PET-PCR.pdf)
- Ospina, J. (2015). Fundamentos de envase y embalaje. Recuperado de: <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/1105/Fundamentos%20de%20envases%20y%20embalajes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pascual, A. (2011). Guía de criterios de calidad y puntos de control en el diseño de envases y embalajes plásticos. Recuperado de [https://www.academia.edu/37551461/Gu%C3%ADa\\_de\\_criterios\\_de\\_calidad\\_y\\_puntos\\_de\\_control\\_en\\_el\\_dise%C3%B1o\\_de\\_envases\\_y\\_embalajes\\_pl%C3%A1sticos](https://www.academia.edu/37551461/Gu%C3%ADa_de_criterios_de_calidad_y_puntos_de_control_en_el_dise%C3%B1o_de_envases_y_embalajes_pl%C3%A1sticos)

- Rodriguez, E. (2021). Envasado sustentable de proteínas húmedas. Revista El empaque + conversión, 7(1): 22 – 23. Recuperado de: <https://www.elempaque.com/revista-digital/>
- Sidel (2021). Sidel presenta NUUK, el nuevo concepto de botella de rPET para agua inspirado en Groenlandia. Recuperado de: <https://www.sidel.com/es/acerca-de-sidel/medios/noticias-y-comunicados-de-prensa/nuuk-nw-336>
- Tiravanti, G. (2011). Síntesis, caracterización y propiedades mecánicas de resinas de poliéster insaturado a partir del reciclaje químico del poli (tereftalato de etileno). Tesis para optar el título de Licenciado. Facultad de Ciencias e Ingeniería. PUCP
- Tudball, M. (2020). Los plásticos de los océanos pueden acabar por sacar a flote el mercado del R-PET europeo. Revista Infopack International N. 273: 72 – 75. Recuperado de: <https://www.infopack.es/revista/273>
- Via Nature (2021). Nuestros zumos Via Nature ahora más frescos y naturales, gracias al proceso exclusivo Real Fresh y a nuestro nuevo envase 100% reciclado. Recuperado de: <https://vianature.es/publicaciones/zumos-frescos-y-naturales/>
- Vidal, N. (2014). 3 métodos para estimar la vida útil de un producto de alimentación. Recuperado de: <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/3-metodos-para-estimar-la-vida-util-de-un-producto-de-alimentacion/>
- Welle, F. (2011). Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview. Resources, Conservation and Recycling, 55(11), 865–875. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.009>
- Y Srithep., D Pholharn., A Dassakorn & J Morris (2017). Effect of chain extenders on mechanical and thermal properties of recycled poly (ethylene terephthalate) and polycarbonate blends. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 213, 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/213/1/012008>

Zimmermann, W. (2020). Biocatalytic recycling of polyethylene terephthalate plastic. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2176), 0190273. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0273>

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: DOCUMENTACIÓN SANITARIA

Se presenta el resultado del análisis de migración de metales pesados, de acuerdo con reglamento del D.S. 007-98-SA.

#### Análisis de migración metales en preforma PET con 20 % PET-PCR

<b>Migración de:</b>	<b>Método de ensayo</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Límite de cuantificación</b>	<b>Resultado</b>
Aluminio (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,3	0,9	<0,9
Bario (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,3	0,9	<0,9
Cobalto (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,01	0,03	<0,03
Cobre (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,4	1,2	<1,2
Hierro (mg/kg)	NTP 399.163-05	5	15	<15
Litio (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,2	0,6	<0,6
Manganeso (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,2	0,6	<0,6
Níquel (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,005	0,015	<0,015
Zinc (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,5	1,5	<1,5

FUENTE: Adaptado de SGS del Perú (2019)

También se presenta los resultados del análisis de migración de metales y metaloides indicados en el D.S. 038-2014-SA, que modifica el reglamento del D.S. 007-98-SA.

### Análisis de migración metales y metaloides en preforma PET con 20 % PET-PCR

Migración de:	Método de ensayo	Límite de detección	Límite de cuantificación	Resultado
Antimonio (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,03	0,09	<0,09
Arsénico (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,005	0,015	<0,015
Boro (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,4	1,2	<1,2
Cadmio (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,004	0,012	<0,012
Cromo (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,04	0,12	<0,12
Estaño (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,3	0,9	<0,9
Mercurio (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,004	0,012	<0,012
Plata (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,04	0,12	<0,12
Plomo (mg/kg)	NTP 399.163-05	0,005	0,015	<0,015
Selenio (mg/kg)	NTP 399.163-05	1	3	<1,5

FUENTE: Adaptado de SGS del Perú (2019)

Otros resultados que se muestran a continuación son el de migración total y específica de monómeros residuales de acuerdo con reglamento del D.S. 007-98-SA.

### Análisis de migración total en preforma PET con 20 % PET-PCR

Ensayo	Método de ensayo	Límite de detección	Límite de cuantificación	Resultado
Migración total (mg/dm <sup>2</sup> )	NTP 399.163-06	0,2	0,6	<0,6

FUENTE: Adaptado de SGS del Perú (2019)

### Análisis de migración específica de monómeros residuales en preforma PET con 20 % PET-PCR

Tipo de ensayo	Método de ensayo	Límite de detección	Límite de cuantificación	Resultado
Acrilonitrilo (mg/kg)	NTP 399.163-10	0,01	0,02	<0,09
Cloruro de Vinilo (mg/kg)	NTP 399.163-08	0,03	0,1	<0,015
Estireno % (w/w)	NTP 399.163-09	0,000003	0,00001	<0,00001

FUENTE: Adaptado de SGS del Perú (2019)

## ANEXO 2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE MEDIDAS DE PREFORMA

### ANEXO 2-A: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PESO

**a. Medidas de peso**

N°	PESO (g)	N°	PESO (g)	N°	PESO (g)	N°	PESO (g)
1	13,35	11	13,35	21	13,34	31	13,37
2	13,34	12	13,36	22	13,34	32	13,35
3	13,36	13	13,35	23	13,32	33	13,36
4	13,33	14	13,34	24	13,34	34	13,37
5	13,37	15	13,37	25	13,36	35	13,37
6	13,33	16	13,35	26	13,37	36	13,35
7	13,33	17	13,35	27	13,34	37	13,36
8	13,38	18	13,35	28	13,37	38	13,35
9	13,35	19	13,34	29	13,35	39	13,32
10	13,36	20	13,37	30	13,32	40	13,34

**b. Estadísticos descriptivos de variable peso**

Error estándar de Desv.									
N	Media	la media	Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	13,351	0,00245	0,0155	13,320	13,340	13,350	13,360	13,380	0,0200

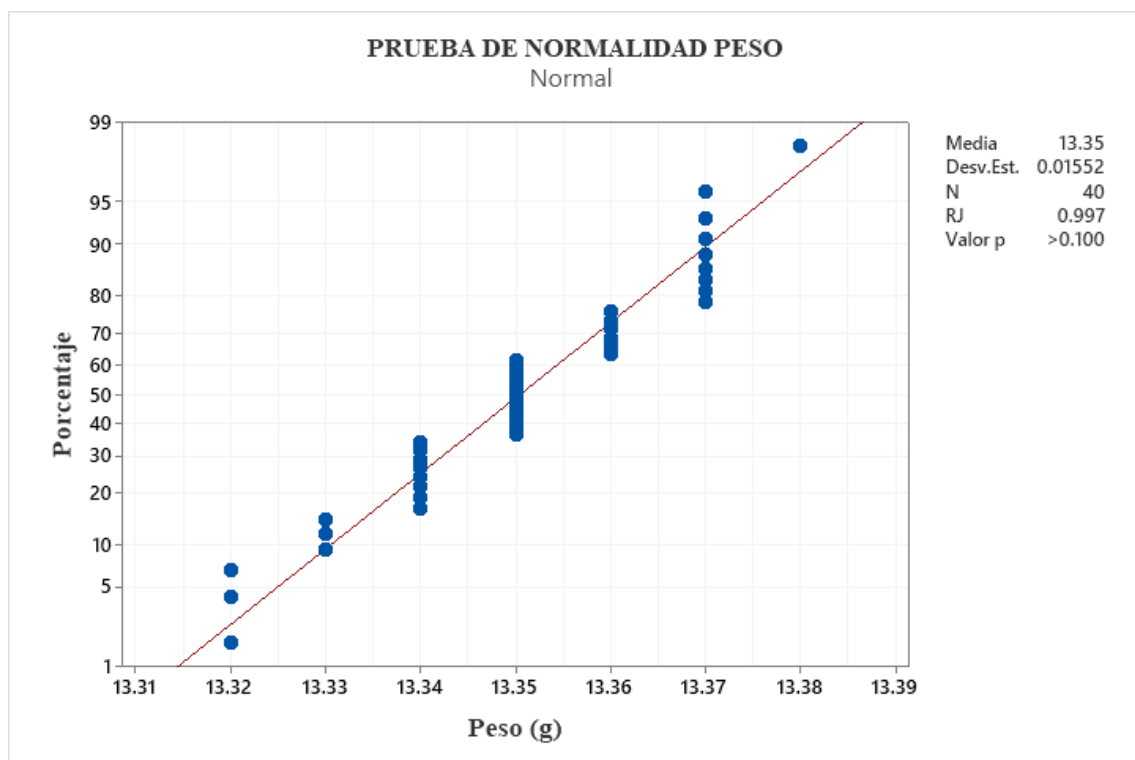
**c. Prueba de normalidad variable peso**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable peso se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable peso se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable peso no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable peso**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable peso se ajustan a una distribución normal.

## ANEXO 2-B: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ALTURA

### a. Medidas de altura

N°	ALTURA (mm)	N°	ALTURA (mm)	N°	ALTURA (mm)	N°	ALTURA (mm)
1	83,15	11	83,08	21	83,21	31	83,05
2	83,00	12	82,98	22	83,20	32	83,14
3	83,12	13	83,12	23	83,03	33	83,08
4	83,05	14	83,04	24	83,04	34	82,99
5	83,09	15	83,06	25	83,10	35	83,16
6	82,97	16	83,09	26	83,15	36	83,01
7	82,99	17	83,21	27	83,16	37	83,03
8	83,27	18	83,24	28	83,07	38	83,14
9	83,06	19	83,11	29	83,01	39	83,02
10	83,05	20	83,13	30	83,15	40	83,11

### b. Estadísticos descriptivos de variable altura

Error estándar de Desv.									
N	Media	la media	Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	<b>83,092</b>	0,0118	0,0746	82,970	83,032	83,085	83,148	83,270	0,115



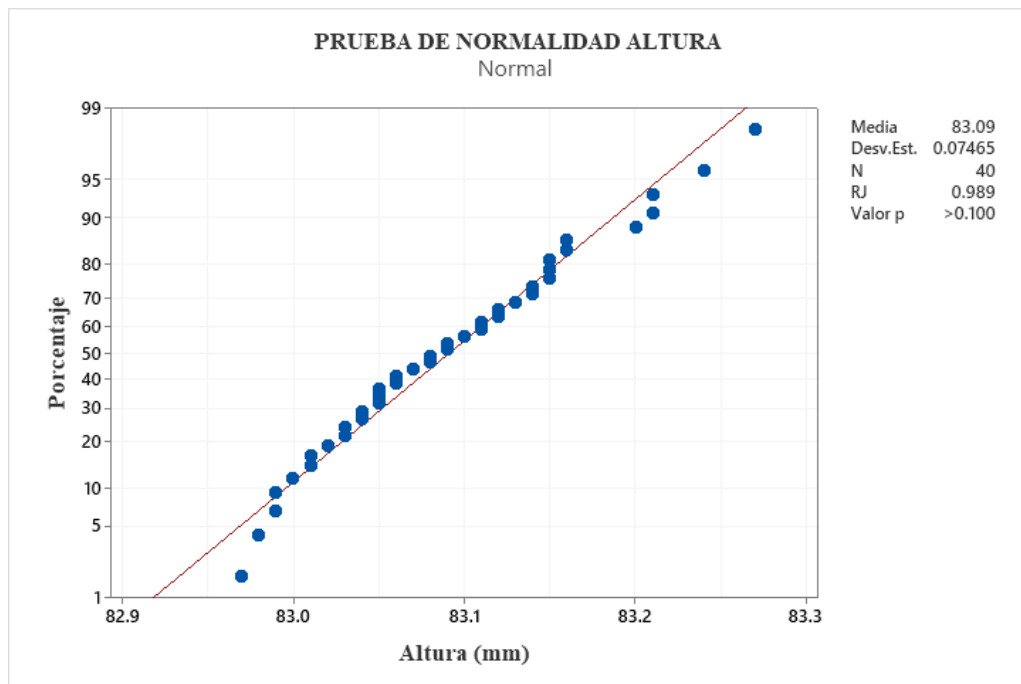
**c. Prueba de normalidad variable altura**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable altura se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable altura se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable altura no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable altura**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable altura se ajustan a una distribución normal.

## ANEXO 2-C: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DIÁMETRO EXTERNO DE ROSCA

### a. Medidas de diámetro externo de rosca

N°	DIA. EXT. (mm)	N°	DIA. EXT. (mm)	N°	DIA. EXT. (mm)	N°	DIA. EXT. (mm)
1	27,34	11	27,4	21	27,40	31	27,36
2	27,35	12	27,38	22	27,32	32	27,32
3	27,43	13	27,34	23	27,35	33	27,48
4	27,39	14	27,33	24	27,31	34	27,40
5	27,37	15	27,35	25	27,42	35	27,39
6	27,37	16	27,34	26	27,40	36	27,37
7	27,33	17	27,35	27	27,37	37	27,33
8	27,43	18	27,36	28	27,39	38	27,37
9	27,34	19	27,40	29	27,38	39	27,41
10	27,34	20	27,41	30	27,34	40	27,37

### b. Estadísticos descriptivos de variable diámetro externo de rosca

Error estándar de Desv.									
N	Media	la media	Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	<b>27,371</b>	0,00574	0,0363	27,310	27,340	27,370	27,400	27,480	0,0600

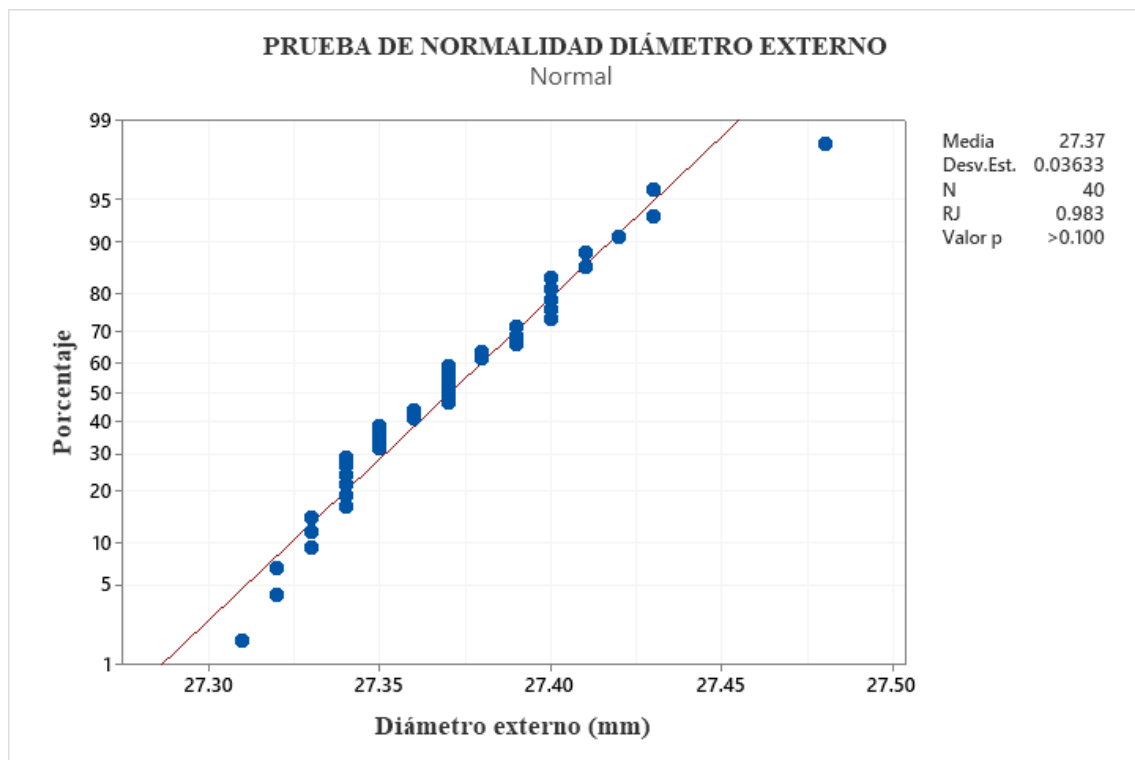
**c. Prueba de normalidad variable diámetro externo de rosca**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable diámetro externo de rosca se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable diámetro externo de rosca se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable diámetro externo de rosca no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable diámetro externo de rosca**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable diámetro externo de rosca se ajustan a una distribución normal.

## ANEXO 2-D: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ALTURA TOPE PRECINTO

### a. Medida de altura tope precinto

N°	ALT. TOPE PRE. (mm)	N°	ALT. TOPE PRE. (mm)	N°	ALT. TOPE PRE. (mm)	N°	ALT. TOPE PRE. (mm)
1	11,35	11	11,33	21	11,36	31	11,32
2	11,35	12	11,34	22	11,36	32	11,39
3	11,38	13	11,39	23	11,33	33	11,30
4	11,40	14	11,40	24	11,37	34	11,37
5	11,35	15	11,34	25	11,37	35	11,36
6	11,35	16	11,38	26	11,38	36	11,38
7	11,33	17	11,39	27	11,31	37	11,35
8	11,34	18	11,32	28	11,33	38	11,31
9	11,40	19	11,36	29	11,30	39	11,30
10	11,35	20	11,39	30	11,37	40	11,34

### b. Estadísticos descriptivos de variable altura tope precinto

N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	11,354	0,00463	0,0293	11,300	11,330	11,350	11,380	11,400	0,0500

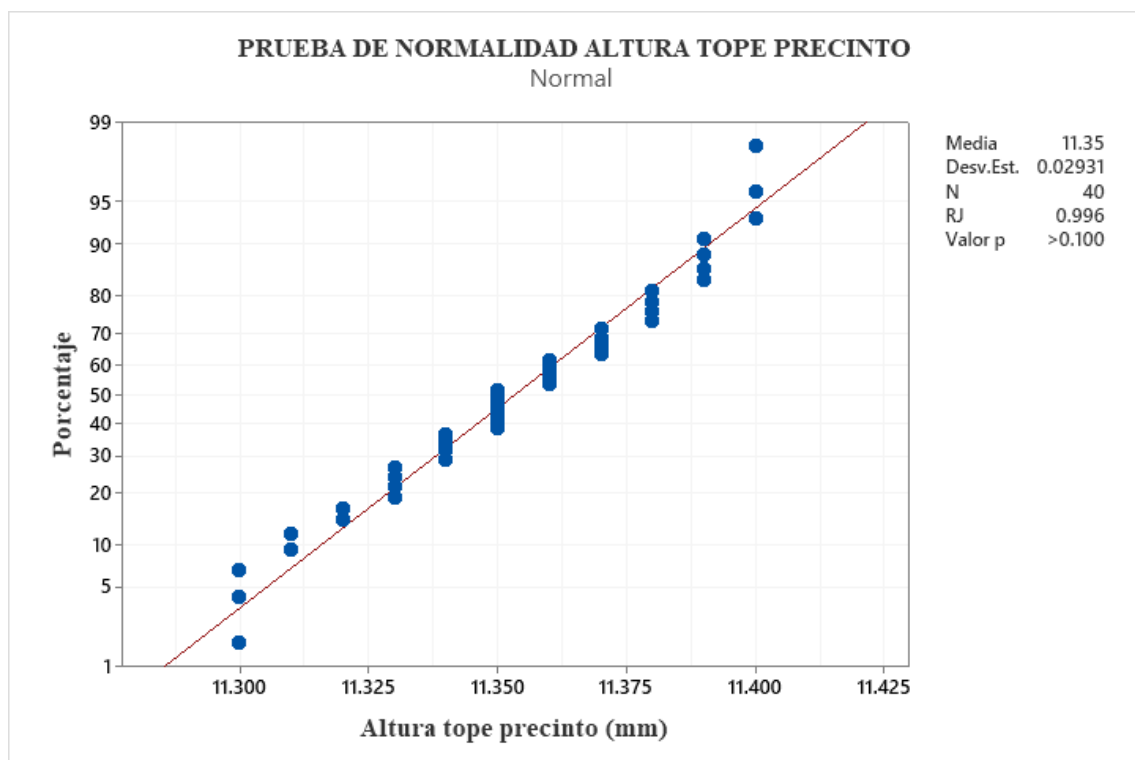
**c. Prueba de normalidad variable altura tope precinto**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable altura tope precinto se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable altura tope precinto se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable altura tope precinto no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable altura tope precinto**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable altura tope precinto se ajustan a una distribución normal.

### ANEXO 3: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE MEDIDAS DE BOTELLA

#### ANEXO 3-A: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ALTURA DE BOTELLA

**a. Medidas de altura de botella**

Nº	ALTURA (mm)	Nº	ALTURA (mm)	Nº	ALTURA (mm)	Nº	ALTURA (mm)
1	237,28	11	237,46	21	237,51	31	237,44
2	237,30	12	237,39	22	237,54	32	237,35
3	237,28	13	237,63	23	237,30	33	237,28
4	237,29	14	237,21	24	237,46	34	237,44
5	237,13	15	237,45	25	237,51	35	237,39
6	237,26	16	237,45	26	237,32	36	237,45
7	237,50	17	237,32	27	237,34	37	237,53
8	237,42	18	237,54	28	237,61	38	237,30
9	237,58	19	237,66	29	237,38	39	237,34
10	237,34	20	237,46	30	237,58	40	237,47

**b. Estadísticos descriptivos de variable altura de botella**

N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	237,41	0,0193	0,122	237,13	237,31	237,43	237,51	237,66	0,202

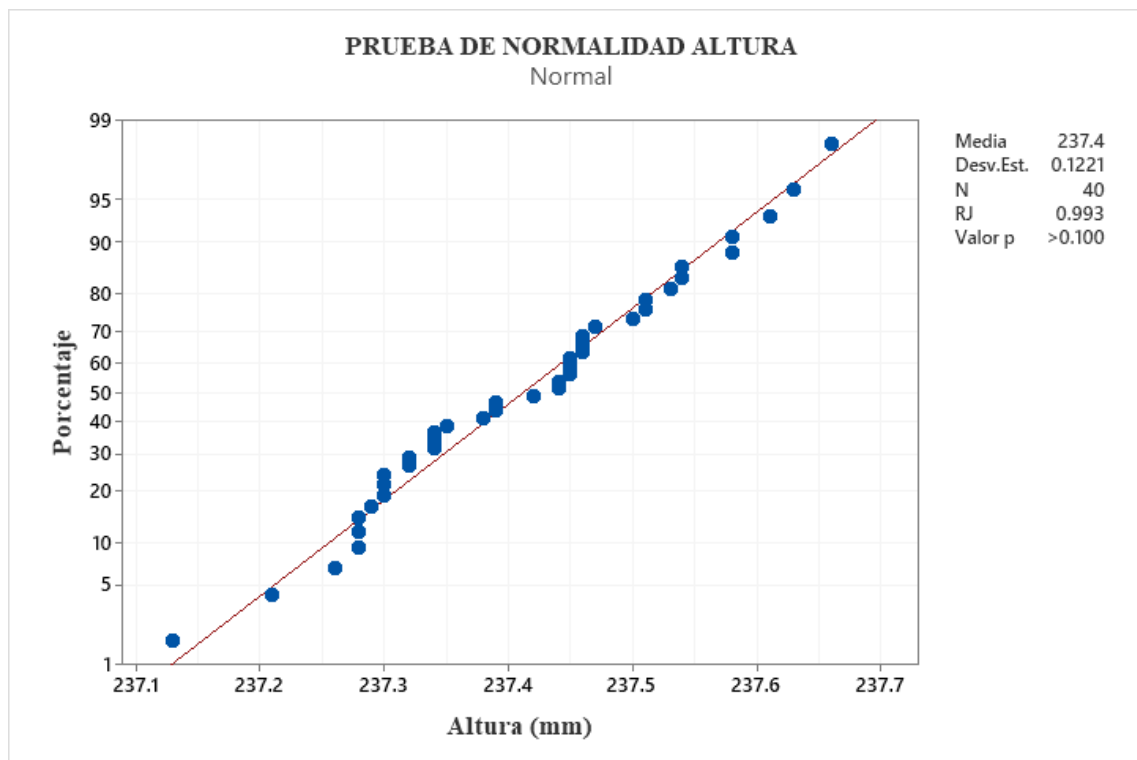
**c. Prueba de normalidad variable altura de botella**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable altura de botella se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable altura de botella se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable altura de botella no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable altura de botella**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable altura de botella se ajustan a una distribución normal.

**ANEXO 3-B: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE MEDIDAS DE ESPESOR DE BOTELLA**

**1. Espesor de hombro**

**a. Medidas de espesor de hombro**

N°	R1	R2	R3	R4	PRO	N°	R1	R2	R3	R4	PRO
1	0,10	0,14	0,12	0,12	0,12	21	0,11	0,14	0,11	0,12	0,12
2	0,10	0,12	0,13	0,13	0,12	22	0,12	0,12	0,14	0,12	0,13
3	0,10	0,14	0,13	0,12	0,12	23	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13
4	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	24	0,12	0,10	0,12	0,12	0,12
5	0,14	0,12	0,15	0,13	0,14	25	0,14	0,13	0,11	0,12	0,13
6	0,14	0,13	0,12	0,12	0,13	26	0,12	0,13	0,13	0,15	0,13
7	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	27	0,11	0,12	0,11	0,13	0,12
8	0,13	0,14	0,12	0,12	0,13	28	0,14	0,12	0,12	0,12	0,13
9	0,12	0,13	0,12	0,14	0,13	29	0,13	0,10	0,11	0,12	0,12
10	0,14	0,11	0,13	0,13	0,13	30	0,12	0,15	0,17	0,12	0,14
11	0,12	0,12	0,13	0,15	0,13	31	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,13	32	0,13	0,15	0,13	0,12	0,13
13	0,14	0,11	0,12	0,11	0,12	33	0,12	0,11	0,13	0,13	0,12
14	0,13	0,13	0,15	0,12	0,13	34	0,14	0,13	0,12	0,15	0,14
15	0,11	0,15	0,14	0,12	0,13	35	0,12	0,12	0,15	0,12	0,13
16	0,11	0,10	0,13	0,13	0,12	36	0,14	0,13	0,12	0,14	0,13
17	0,13	0,12	0,14	0,14	0,13	37	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
18	0,12	0,13	0,11	0,13	0,12	38	0,11	0,14	0,10	0,13	0,12
19	0,12	0,14	0,12	0,14	0,13	39	0,14	0,10	0,12	0,14	0,13
20	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	40	0,11	0,13	0,13	0,12	0,12

**b. Estadísticos descriptivos de variable espesor de hombro**

Error estándar de Desv.									
N	Media	la media	Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	0,1262	0,00091	0,00577	0,1150	0,1225	0,12625	0,1300	0,1400	0,0075



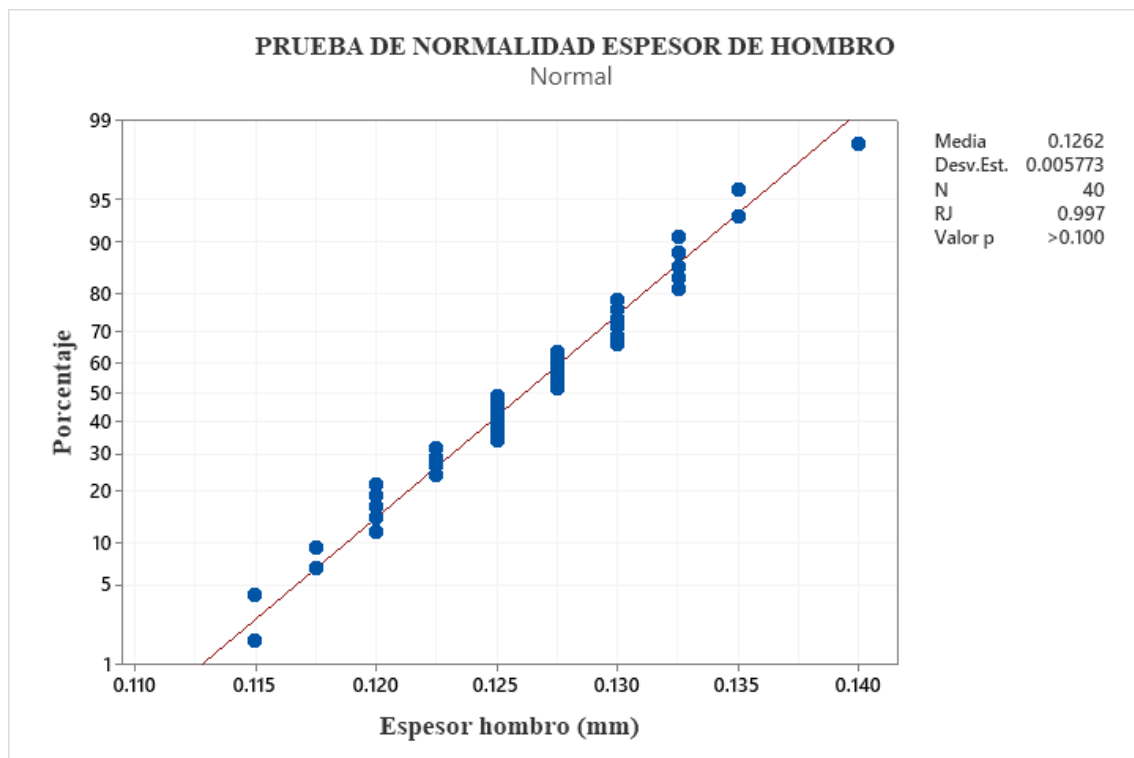
**c. Prueba de normalidad variable espesor de hombro**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable espesor de hombro se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable espesor de hombro se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable espesor de hombro no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable espesor de hombro**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable espesor de hombro se ajustan a una distribución normal.

**2. Espesor de cintura**

**a. Medidas de espesor de cintura**

N°	R1	R2	R3	R4	PRO	N°	R1	R2	R3	R4	PRO
1	0,14	0,12	0,13	0,17	0,14	21	0,15	0,17	0,17	0,18	0,17
2	0,15	0,17	0,13	0,16	0,15	22	0,15	0,17	0,16	0,15	0,16
3	0,14	0,16	0,15	0,14	0,15	23	0,15	0,16	0,17	0,13	0,15
4	0,16	0,14	0,16	0,12	0,15	24	0,14	0,13	0,16	0,17	0,15
5	0,13	0,18	0,11	0,13	0,14	25	0,14	0,18	0,15	0,14	0,15
6	0,13	0,15	0,14	0,18	0,15	26	0,14	0,16	0,16	0,14	0,15
7	0,15	0,16	0,17	0,16	0,16	27	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15
8	0,15	0,18	0,15	0,15	0,16	28	0,14	0,14	0,12	0,15	0,14
9	0,14	0,17	0,15	0,16	0,16	29	0,13	0,13	0,13	0,15	0,14
10	0,14	0,17	0,16	0,18	0,16	30	0,15	0,16	0,18	0,16	0,16
11	0,15	0,15	0,18	0,16	0,16	31	0,15	0,15	0,18	0,17	0,16
12	0,13	0,19	0,16	0,15	0,16	32	0,13	0,16	0,16	0,17	0,16
13	0,16	0,14	0,14	0,13	0,14	33	0,14	0,12	0,16	0,17	0,15
14	0,16	0,18	0,18	0,15	0,17	34	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15
15	0,14	0,17	0,16	0,17	0,16	35	0,16	0,17	0,18	0,17	0,17
16	0,17	0,14	0,15	0,17	0,16	36	0,17	0,15	0,13	0,14	0,15
17	0,12	0,15	0,16	0,17	0,15	37	0,15	0,15	0,16	0,17	0,16
18	0,13	0,14	0,16	0,18	0,15	38	0,15	0,17	0,15	0,18	0,16
19	0,17	0,17	0,16	0,14	0,16	39	0,16	0,14	0,16	0,17	0,16
20	0,14	0,12	0,16	0,15	0,14	40	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16

**b. Estadísticos descriptivos de variable espesor de cintura**

Error estándar de Desv.									
N	Media	la media	Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	0,1534	0,00135	0,00852	0,1350	0,1475	0,15375	0,1600	0,1700	0,0125

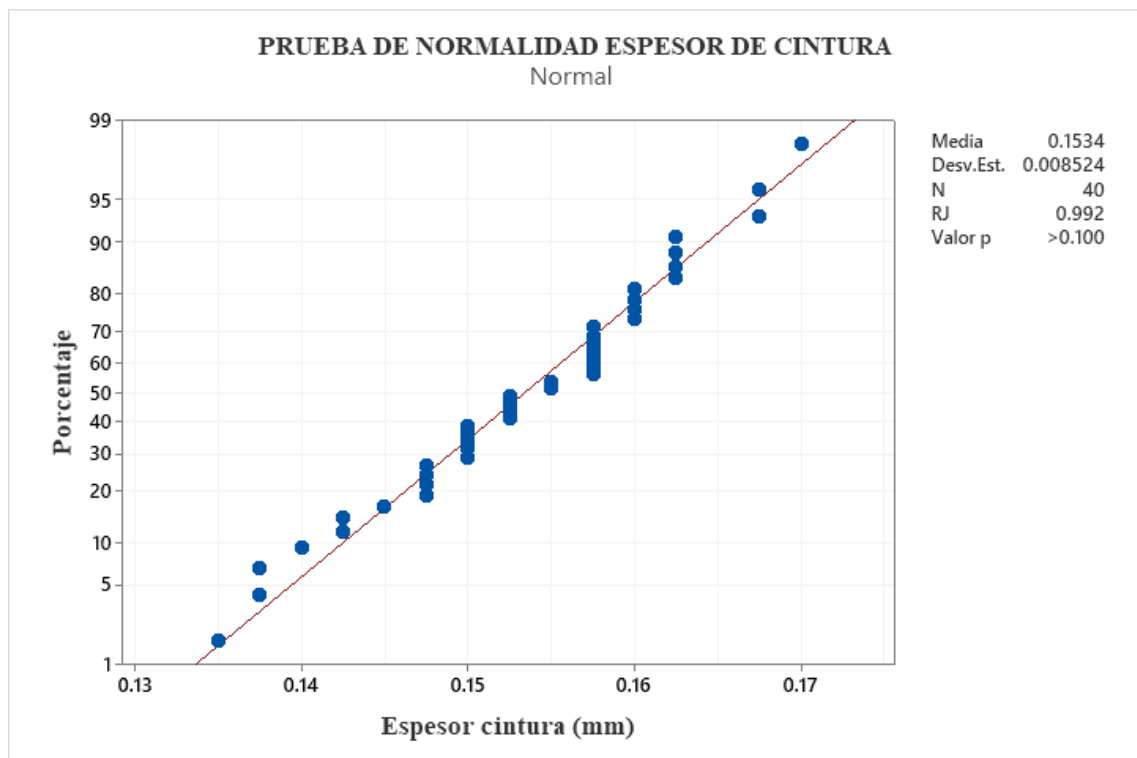
**c. Prueba de normalidad variable espesor de cintura**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable espesor de cintura se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable espesor de cintura se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable espesor de cintura no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable espesor de cintura**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable espesor de cintura se ajustan a una distribución normal.

### 3. Espesor de panel

#### a. Medidas de espesor de panel

N°	R1	R2	R3	R4	PRO	N°	R1	R2	R3	R4	PRO
1	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	21	0,10	0,10	0,14	0,14	0,12
2	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	22	0,11	0,13	0,11	0,12	0,12
3	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	23	0,10	0,13	0,12	0,10	0,11
4	0,13	0,10	0,10	0,11	0,11	24	0,10	0,10	0,09	0,12	0,10
5	0,11	0,13	0,11	0,12	0,12	25	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11
6	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	26	0,11	0,12	0,13	0,12	0,12
7	0,13	0,11	0,13	0,13	0,13	27	0,10	0,11	0,11	0,12	0,11
8	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	28	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11
9	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	29	0,12	0,10	0,09	0,11	0,11
10	0,13	0,13	0,10	0,12	0,12	30	0,13	0,15	0,14	0,12	0,14
11	0,11	0,12	0,13	0,11	0,12	31	0,13	0,13	0,15	0,14	0,14
12	0,10	0,13	0,12	0,12	0,12	32	0,13	0,12	0,14	0,13	0,13
13	0,12	0,11	0,10	0,12	0,11	33	0,13	0,11	0,12	0,13	0,12
14	0,11	0,14	0,13	0,13	0,13	34	0,11	0,12	0,15	0,12	0,13
15	0,12	0,11	0,12	0,13	0,12	35	0,13	0,13	0,11	0,12	0,12
16	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	36	0,14	0,11	0,11	0,11	0,12
17	0,11	0,11	0,14	0,13	0,12	37	0,12	0,12	0,14	0,13	0,13
18	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	38	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12
19	0,12	0,13	0,12	0,11	0,11	39	0,11	0,11	0,12	0,14	0,12
20	0,11	0,13	0,13	0,12	0,12	40	0,11	0,12	0,12	0,13	0,12

#### b. Estadísticos descriptivos de variable espesor de panel

Error estándar de Desv.									
N	Media	la media	Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	0,1197	0,00119	0,00754	0,1025	0,1150	0,12000	0,1250	0,1375	0,0100

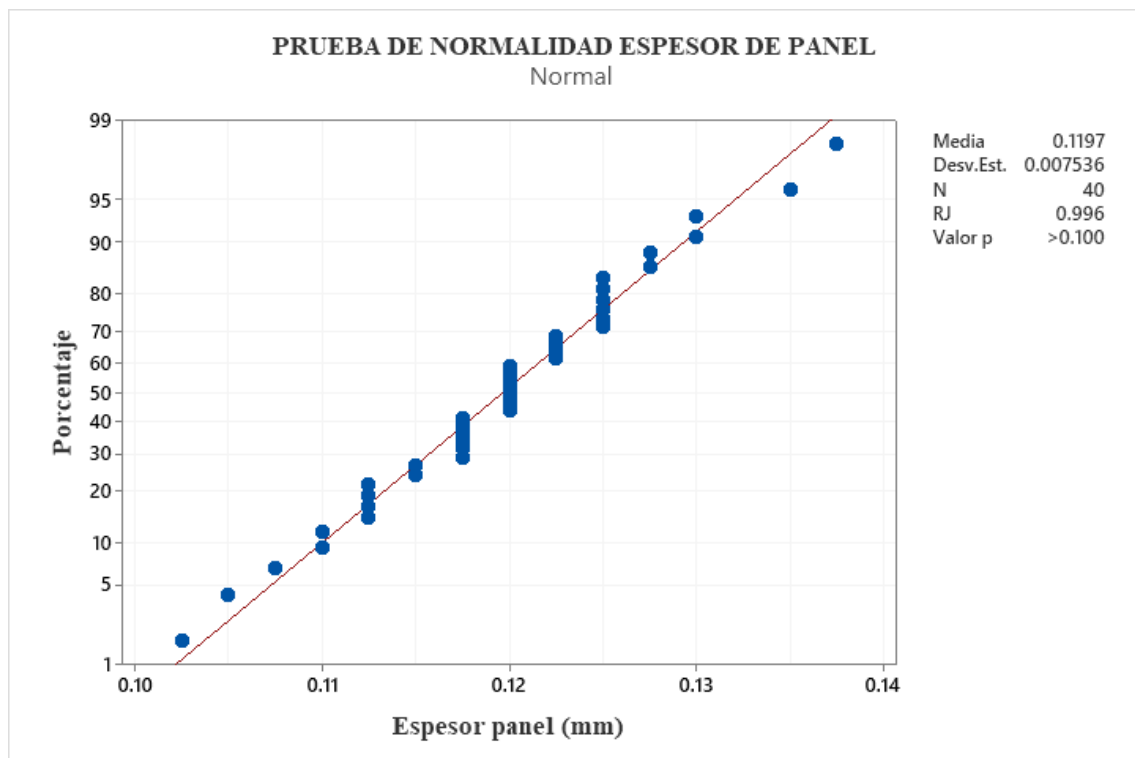
**c. Prueba de normalidad variable espesor de panel**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable espesor de panel se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable espesor de panel se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable espesor de panel no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable espesor de panel**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable espesor de panel se ajustan a una distribución normal.

#### 4. Espesor de talón

##### a. Medidas de espesor de talón

N°	R1	R2	R3	R4	PRO	N°	R1	R2	R3	R4	PRO
1	0,12	0,13	0,13	0,12	0,13	21	0,13	0,10	0,13	0,13	0,12
2	0,13	0,13	0,12	0,10	0,12	22	0,12	0,14	0,14	0,13	0,13
3	0,11	0,11	0,13	0,12	0,12	23	0,12	0,14	0,14	0,12	0,13
4	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	24	0,11	0,11	0,14	0,12	0,12
5	0,12	0,11	0,11	0,13	0,12	25	0,11	0,14	0,12	0,12	0,12
6	0,11	0,10	0,10	0,12	0,11	26	0,13	0,11	0,14	0,13	0,13
7	0,12	0,15	0,13	0,13	0,13	27	0,11	0,11	0,12	0,13	0,12
8	0,13	0,11	0,13	0,12	0,12	28	0,11	0,11	0,11	0,14	0,12
9	0,11	0,13	0,12	0,12	0,12	29	0,10	0,11	0,12	0,13	0,12
10	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	30	0,13	0,15	0,14	0,12	0,14
11	0,13	0,12	0,15	0,13	0,13	31	0,14	0,12	0,15	0,14	0,14
12	0,12	0,15	0,13	0,11	0,13	32	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14
13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	33	0,13	0,12	0,14	0,15	0,14
14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	34	0,12	0,14	0,14	0,15	0,14
15	0,14	0,15	0,12	0,11	0,13	35	0,13	0,14	0,14	0,12	0,13
16	0,13	0,15	0,14	0,13	0,14	36	0,15	0,13	0,12	0,13	0,13
17	0,12	0,14	0,14	0,12	0,13	37	0,14	0,12	0,14	0,14	0,14
18	0,13	0,11	0,14	0,12	0,13	38	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14
19	0,14	0,12	0,13	0,13	0,13	39	0,14	0,12	0,13	0,13	0,13
20	0,12	0,13	0,13	0,14	0,13	40	0,12	0,13	0,13	0,14	0,13

##### b. Estadísticos descriptivos de variable espesor de talón

Error estándar de Desv.									
N	Media	la media	Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	0,1274	0,00118	0,00745	0,1075	0,1206	0,13000	0,1325	0,1375	0,0119

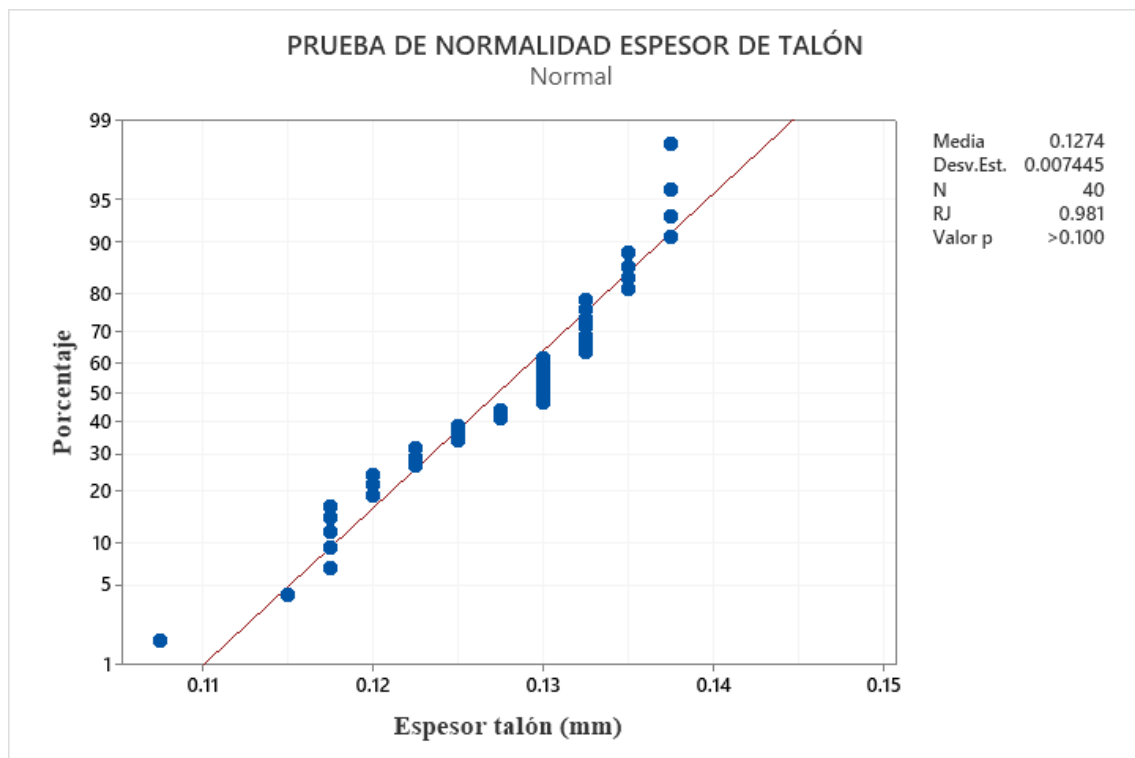
**c. Prueba de normalidad variable espesor de talón**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable espesor de talón se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable espesor de talón se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable espesor de talón no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable espesor de talón**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable espesor de talón se ajustan a una distribución normal.

**5. Espesor de base**

**a. Medidas de espesor de base**

N°	R1	R2	R3	R4	PRO	N°	R1	R2	R3	R4	PRO
1	0,13	0,11	0,12	0,09	0,11	21	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11
2	0,11	0,12	0,10	0,10	0,11	22	0,11	0,14	0,13	0,09	0,12
3	0,11	0,12	0,11	0,13	0,12	23	0,11	0,14	0,14	0,09	0,12
4	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	24	0,11	0,11	0,11	0,13	0,12
5	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	25	0,13	0,13	0,12	0,10	0,12
6	0,11	0,09	0,07	0,12	0,10	26	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13
7	0,11	0,11	0,13	0,09	0,11	27	0,10	0,12	0,13	0,13	0,12
8	0,11	0,09	0,10	0,11	0,10	28	0,11	0,10	0,13	0,10	0,11
9	0,09	0,12	0,11	0,11	0,11	29	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
10	0,09	0,12	0,12	0,09	0,11	30	0,11	0,13	0,13	0,10	0,12
11	0,11	0,09	0,10	0,12	0,11	31	0,10	0,11	0,14	0,13	0,12
12	0,10	0,12	0,12	0,09	0,11	32	0,12	0,10	0,13	0,11	0,12
13	0,13	0,11	0,10	0,11	0,11	33	0,13	0,10	0,11	0,11	0,11
14	0,09	0,11	0,10	0,11	0,10	34	0,11	0,13	0,13	0,09	0,12
15	0,13	0,11	0,12	0,11	0,12	35	0,11	0,12	0,12	0,09	0,11
16	0,13	0,12	0,11	0,10	0,12	36	0,12	0,11	0,10	0,11	0,11
17	0,12	0,14	0,12	0,10	0,12	37	0,14	0,11	0,10	0,11	0,12
18	0,10	0,12	0,13	0,14	0,12	38	0,14	0,12	0,11	0,11	0,12
19	0,14	0,11	0,09	0,11	0,11	39	0,13	0,10	0,13	0,11	0,12
20	0,13	0,11	0,10	0,12	0,12	40	0,13	0,10	0,12	0,13	0,12

**b. Estadísticos descriptivos de variable espesor de base**

Error estándar de Desv.									
N	Media	la media	Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	IQR
40	0,1126	0,00113	0,00717	0,0950	0,1075	0,11375	0,1175	0,1275	0,0100



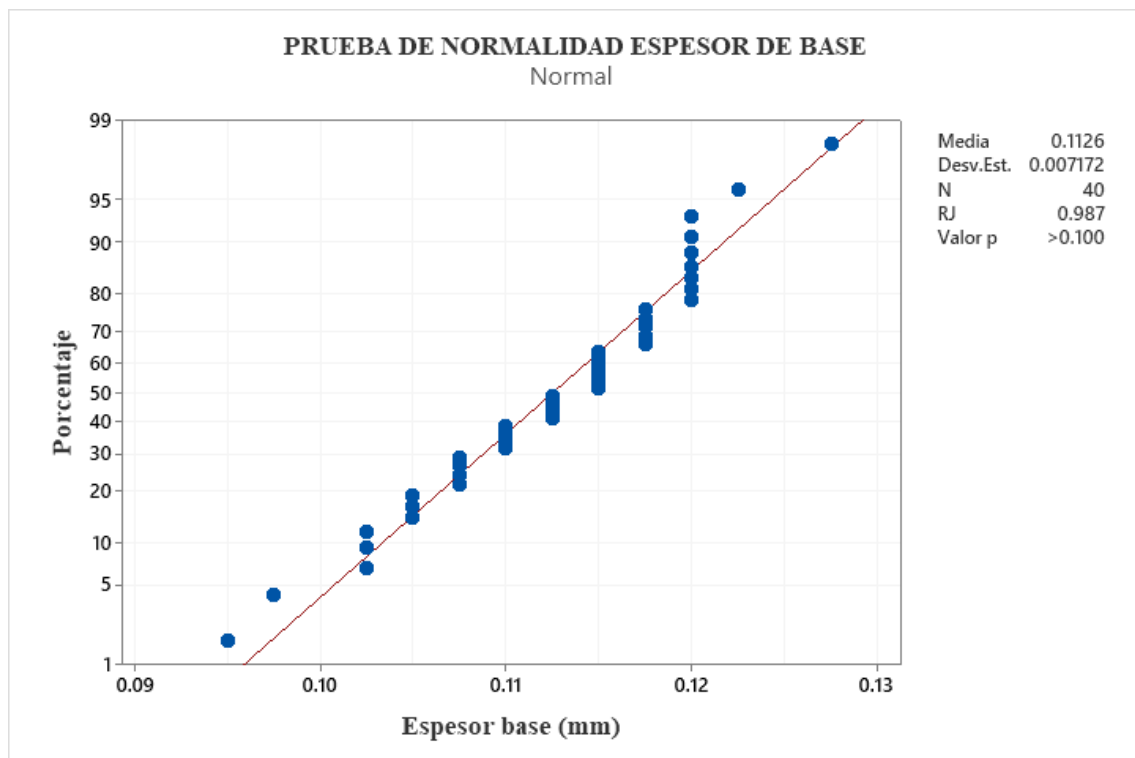
**c. Prueba de normalidad variable espesor de base**

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable espesor de base se ajustan a una distribución normal.

- **Prueba de hipótesis**

$H_0$ : La variable espesor de base se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable espesor de base no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable espesor de base**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable espesor de base se ajustan a una distribución normal.

## ANEXO 4: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN

### 1. Medidas de fuerza de compresión

N°	REFERENCIA PET 100% VIRGEN		PRUEBA PET 80% VIRGEN + 20% PCR	
	FUERZA MAX. (N)	DEFORMACIÓN EN F. MAX (mm)	FUERZA MAX. (N)	DEFORMACIÓN EN F. MAX (mm)
1	183	4,8	210	5,5
2	230	3,8	208	3,9
3	256	5,8	207	5,0
4	219	3,5	208	6,4
5	198	3,8	181	4,6
6	207	7,2	237	5,4
7	228	6,3	193	4,1
8	217	5,7	263	5,4
9	226	4,6	170	4,1
10	226	4,3	205	6,5
11	217	6,6	222	5,4
12	218	3,8	212	6,6
13	211	3,6	194	4,4
14	221	6,7	208	3,8
15	226	3,7	200	5,3
16	195	3,3	217	3,8
17	231	6,3	221	5,8
18	222	4,4	210	3,8
19	241	4,9	193	4,7
20	201	3,5	196	4,3
21	195	3,2	194	4,4
22	190	3,6	174	4,4
23	219	3,8	205	5,7
24	194	3,7	174	4,2
25	198	5,4	212	6,7
26	228	6,1	238	7,0
27	234	4,1	241	7,2
28	240	6,1	198	4,4
29	226	6,0	257	6,6
30	195	3,7	202	6,5
<b>Promedio</b>	216,4	4,7	208,3	5,2
<b>Mínimo</b>	183,0	3,2	170,0	3,8
<b>Máximo</b>	256,0	7,2	263,0	7,2

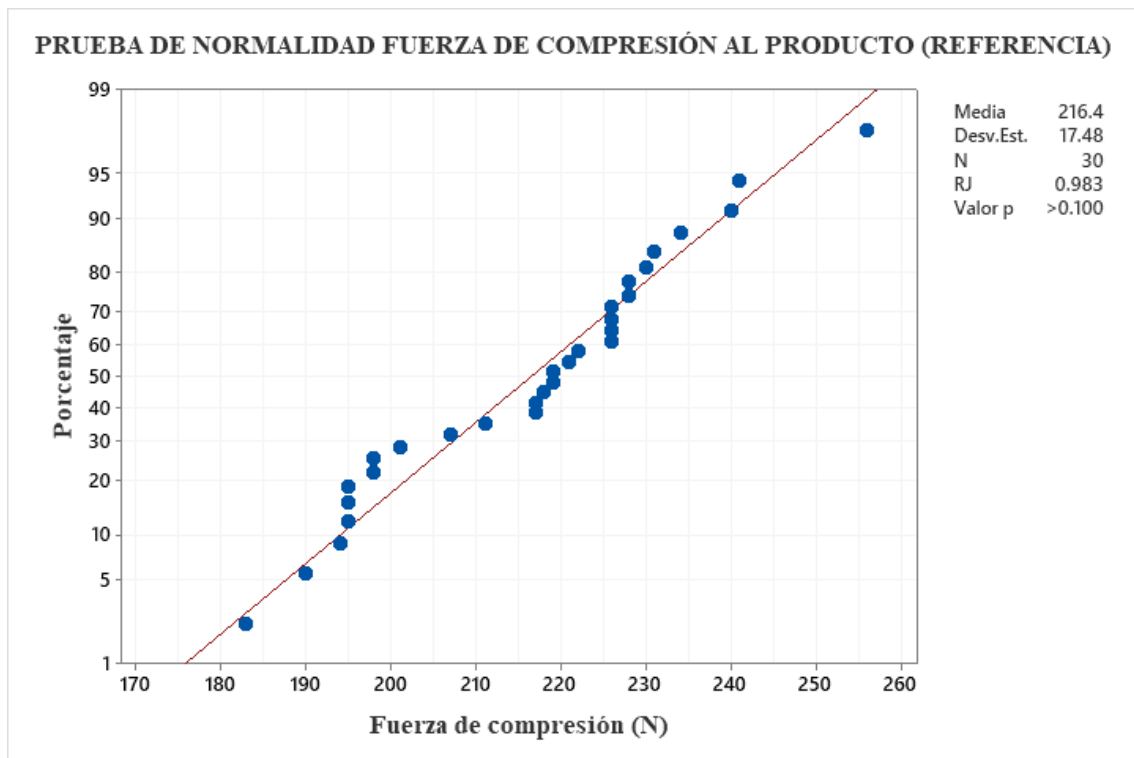
## 2. Prueba de normalidad variable fuerza de compresión (REFERENCIA)

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable fuerza de compresión se ajustan a una distribución normal.

- Prueba de hipótesis (REFERENCIA)

$H_0$ : La variable fuerza de compresión se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable fuerza de compresión no se ajusta a una distribución normal



**Prueba de normalidad variable fuerza de compresión (referencia)**

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable fuerza de compresión (referencia) se ajustan a una distribución normal.

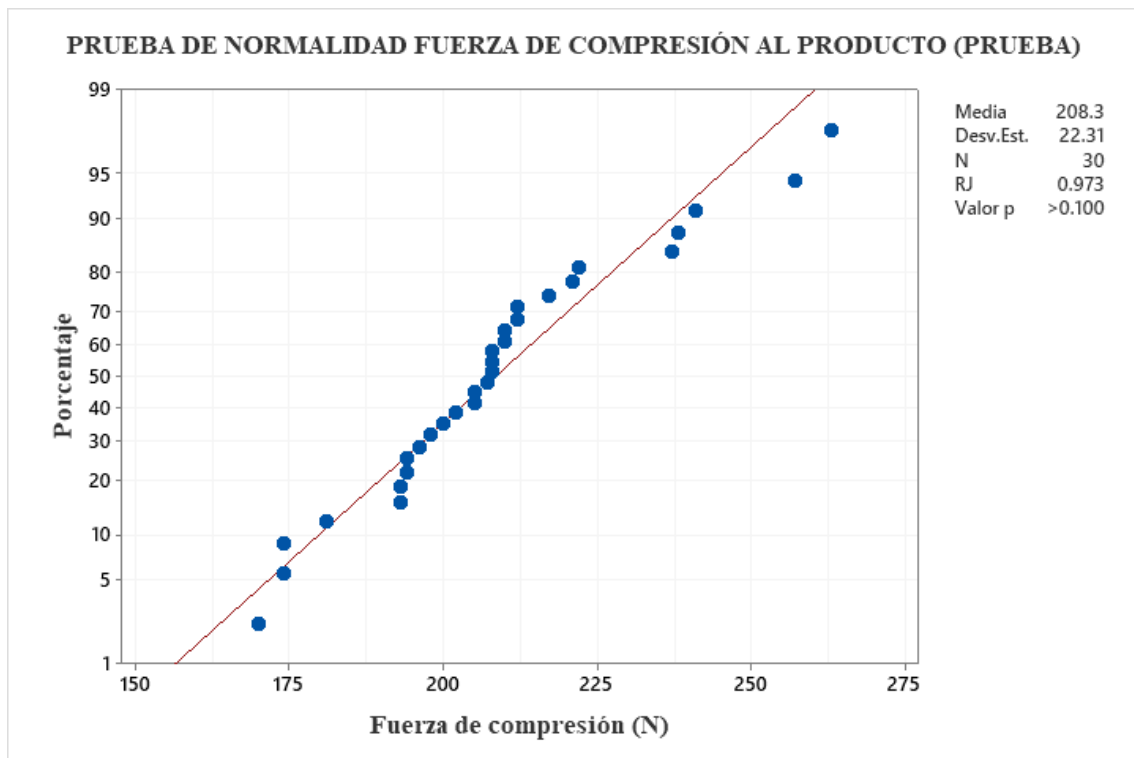
### 3. Prueba de normalidad variable fuerza de compresión (PRUEBA)

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable fuerza de compresión se ajustan a una distribución normal.

- Prueba de hipótesis (PRUEBA)

$H_0$ : La variable fuerza de compresión se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable fuerza de compresión no se ajusta a una distribución normal



#### Prueba de normalidad variable fuerza de compresión (prueba)

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable fuerza de compresión (prueba) se ajustan a una distribución normal.

#### 4. Análisis de varianzas (ANOVA) de variable fuerza de compresión

##### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

##### Información del factor

###### Factor Niveles Valores

Factor	2	Fuerza de compresión P; Fuerza de compresión R
--------	---	---------------------------------------------------

##### Análisis de Varianza

Fuente	GL	MC		Valor F	Valor p
		SC Ajust.	Ajust. Valor		
Factor	1	976,1	976,1	2,43	0,124
Error	58	23293,9	401,6		
Total	59	24269,9			

##### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
20,0404	4,02%	2,37%	0,00%

##### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Prueba	30	208,33	22,31	(201,01; 215,66)
Referencia	30	216,40	17,48	(209,08; 223,72)

*Desv.Est. agrupada = 20,0404*

### Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
Referencia	30	216,40	A
Prueba	30	208,33	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

<u>Diferencia de niveles</u>	<u>Diferencia de las medias</u>	<u>EE de diferencia</u>	<u>IC de 95%</u>	<u>Valor T</u>	<u>Valor p ajustado</u>
Fuerza de co - Fuerza de co	8,07	5,17	(-2,29; 18,42)	1,56	0,124

*Nivel de confianza individual = 95,00%*

## ANEXO 5: ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN

### ANEXO 5-A: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ESFUERZO DE TRACCIÓN

#### 1. Medidas de esfuerzo de tracción de rotura

N°	REFERENCIA PET 100% VIRGEN		PRUEBA PET 80% VIRGEN + 20%PCR	
	ESFUERZO MAX. (MPa)	DEFORMACIÓN EN F. MAX (%)	ESFUERZO MAX. (MPa)	DEFORMACIÓN EN F. MAX (%)
1	175	74,6	191	94,3
2	211	69,9	193	89,6
3	185	75,4	184	88,4
4	193	72,2	179	93,5
5	201	68,7	196	97,2
6	181	68,7	195	97,4
7	177	68,8	195	99,7
8	201	70,9	187	95,9
9	174	71,6	199	92,9
10	190	72,9	185	100,2
11	190	65,7	175	95,1
12	181	74,8	193	88,1
13	171	81,4	203	97,9
14	182	74,4	195	98,8
15	191	73,0	192	97,0
16	183	73,4	172	89,5
17	194	71,7	178	87,5
18	196	68,9	175	92,8
19	198	65,1	164	79,4
20	189	71,2	172	86,8
21	202	66,6	182	99,2
22	188	72,7	206	89,9
23	177	67,0	199	89,9
24	192	72,1	168	78,9
25	176	75,5	176	91,5
26	179	67,0	187	85,4
27	175	74,1	178	98,7
28	171	67,4	176	91,5
29	191	73,3	158	76,8
30	175	76,0	175	103,8
<b>Promedio</b>	186	71,5	184	92,3
<b>Mínimo</b>	171	65,1	158	76,8
<b>Máximo</b>	211	81,4	206	103,8

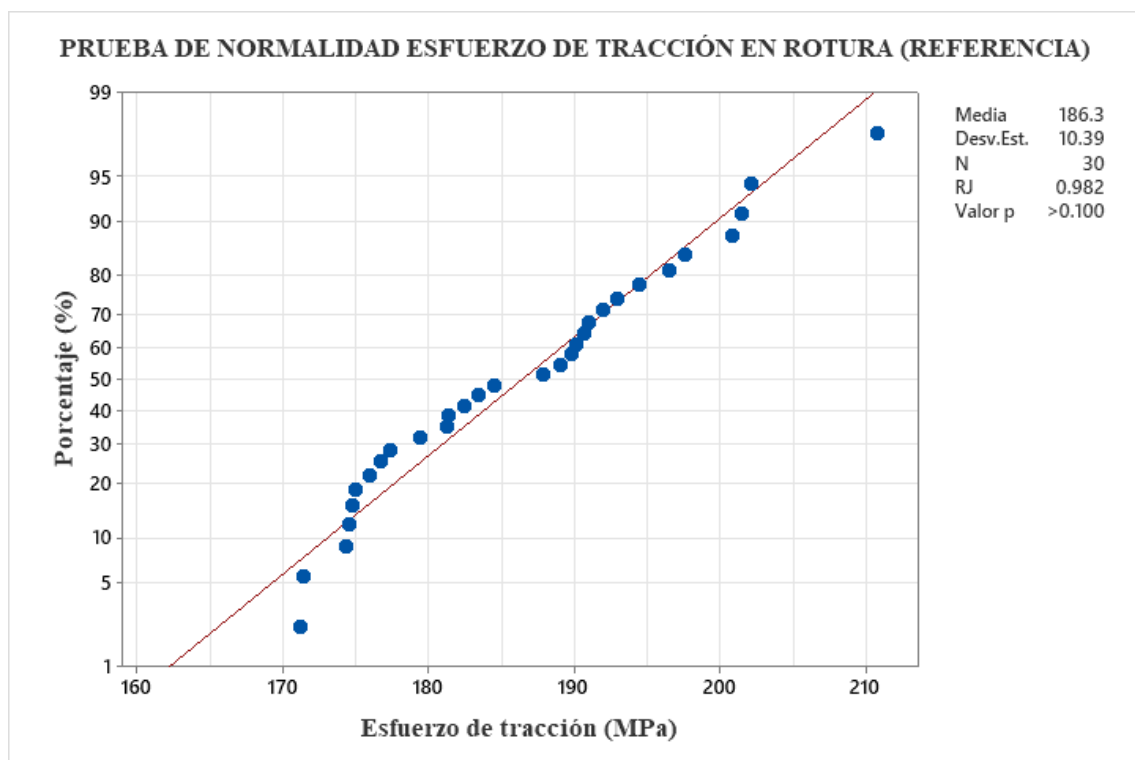
## 2. Prueba de normalidad variable esfuerzo de tracción (REFERENCIA)

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable esfuerzo de tracción se ajustan a una distribución normal.

- Prueba de hipótesis (REFERENCIA)

$H_0$ : La variable esfuerzo de tracción se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable esfuerzo de tracción no se ajusta a una distribución normal



Prueba de normalidad variable esfuerzo de tracción (referencia)

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable esfuerzo de tracción (referencia) se ajustan a una distribución normal.



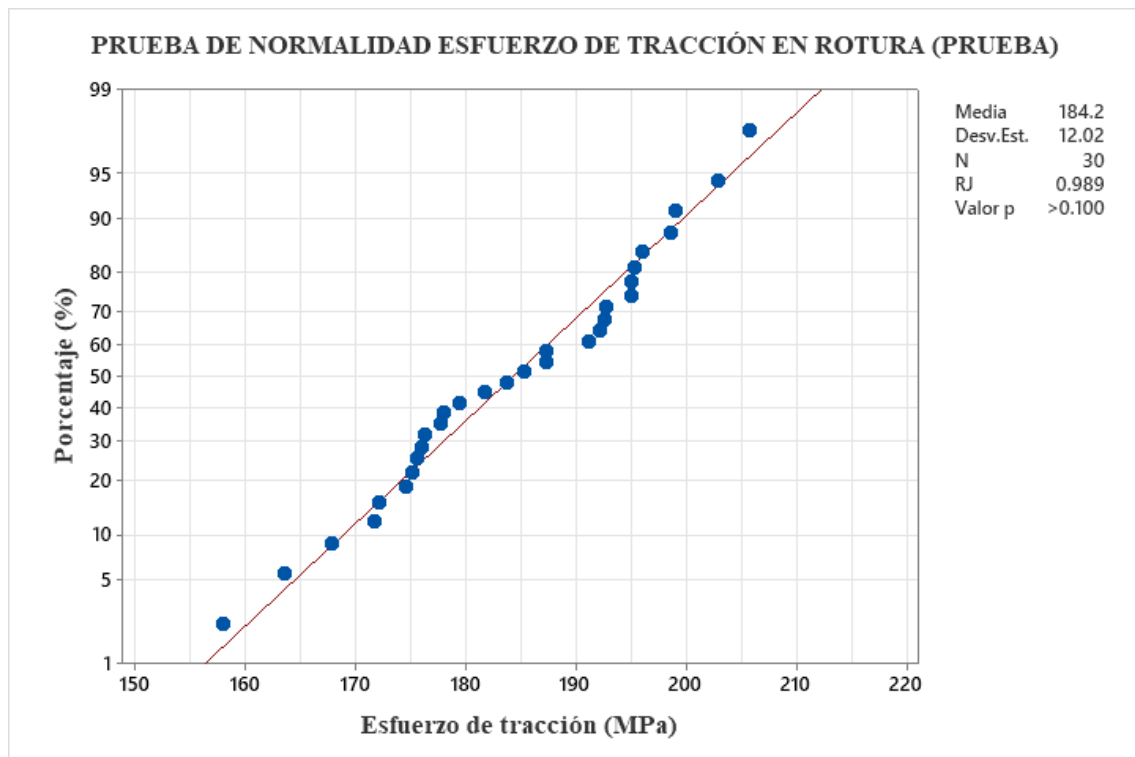
### 3. Prueba de normalidad variable esfuerzo de tracción (PRUEBA)

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable esfuerzo de tracción se ajustan a una distribución normal.

- Prueba de hipótesis (PRUEBA)

$H_0$ : La variable esfuerzo de tracción se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable esfuerzo de tracción no se ajusta a una distribución normal



#### Prueba de normalidad variable esfuerzo de tracción (prueba)

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable esfuerzo de tracción (prueba) se ajustan a una distribución normal.

#### 4. Análisis de varianza (ANOVA) de variable fuerza de tracción

##### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

##### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	2	Prueba; Referencia

##### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	65,86	65,86	0,52	0,473
Error	58	7323,84	126,27		
Total	59	7389,70			

##### Resumen del modelo

S	R-cuad. R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
11,2371	0,89%	0,00%

##### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Prueba	30	184,25	12,02	(180,14; 188,35)
Referencia	30	186,34	10,39	(182,23; 190,45)

*Desv.Est. agrupada = 11,2371*

### Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Referencia	30	186,34	A
Prueba	30	184,25	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

<b>Diferencia de niveles</b>	<b>Diferencia de las medias</b>	<b>EE de diferencia</b>	<b>IC de 95%</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p ajustado</b>
Referencia - Prueba	2,10	2,90	(-3,71; 7,90)	0,72	0,473

*Nivel de confianza individual = 95,00%*

## ANEXO 5-B: ANÁLISIS ESTADÍSTICO MÓDULO DE YOUNG

### 1. Medidas de módulo de Young

N°	REFERENCIA	PRUEBA
	PET 100% VIRGEN	PET 80% VIRGEN + 20% PCR
	MÓDULO YOUNG (MPa)	MÓDULO YOUNG (MPa)
1	2403	2228
2	2865	1806
3	2539	2340
4	2283	2366
5	2341	1892
6	2517	2041
7	2030	2348
8	2786	2305
9	2489	1804
10	2607	2284
11	2317	2259
12	2519	1998
13	2422	2574
14	2069	2468
15	2366	1823
16	2237	2243
17	2392	2312
18	2334	2302
19	2774	2282
20	2606	2066
21	2838	1850
22	2534	2125
23	2178	2553
24	2665	2272
25	2164	2287
26	2501	2027
27	2237	2210
28	2205	2311
29	2266	2222
30	2349	2246
<b>Promedio</b>	2428	2195
<b>Mínimo</b>	2030	1804
<b>Máximo</b>	2865	2574

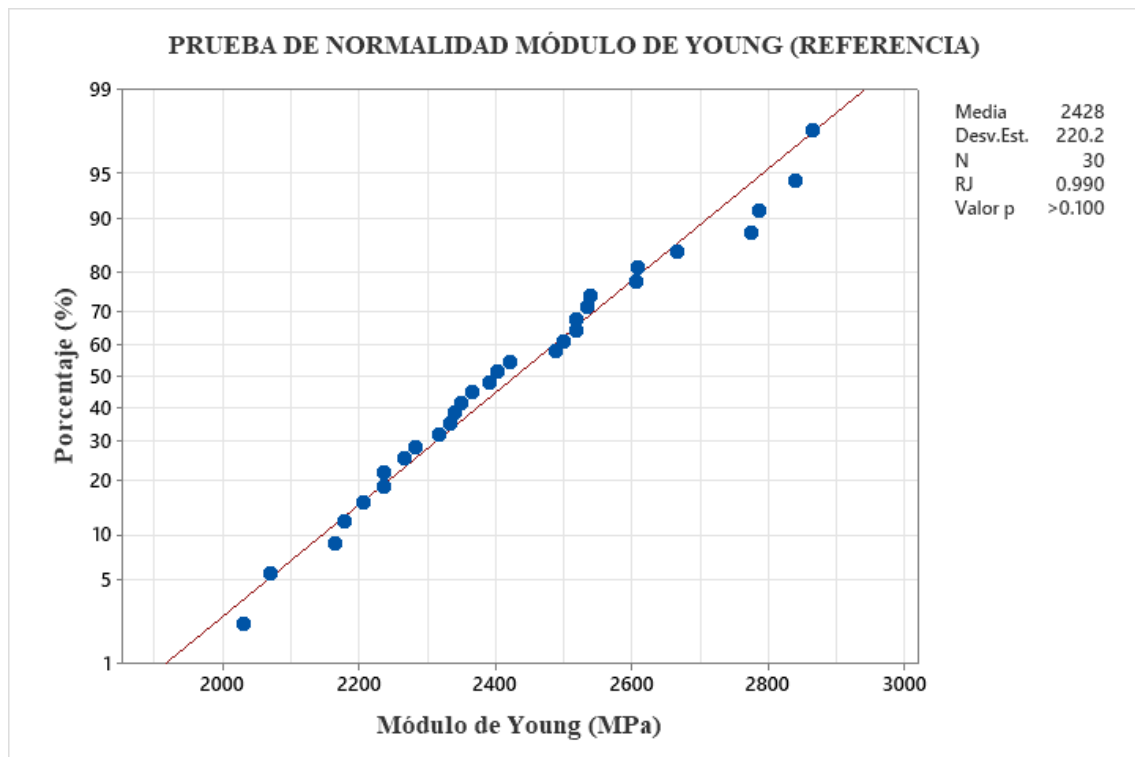
## 2. Prueba de normalidad variable módulo de Young (REFERENCIA)

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable módulo de Young se ajustan a una distribución normal.

- Prueba de hipótesis (REFERENCIA)

$H_0$ : La variable módulo de Young se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable módulo de Young no se ajusta a una distribución normal



Prueba de normalidad variable módulo de Young (referencia)

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable módulo de Young se ajustan a una distribución normal.

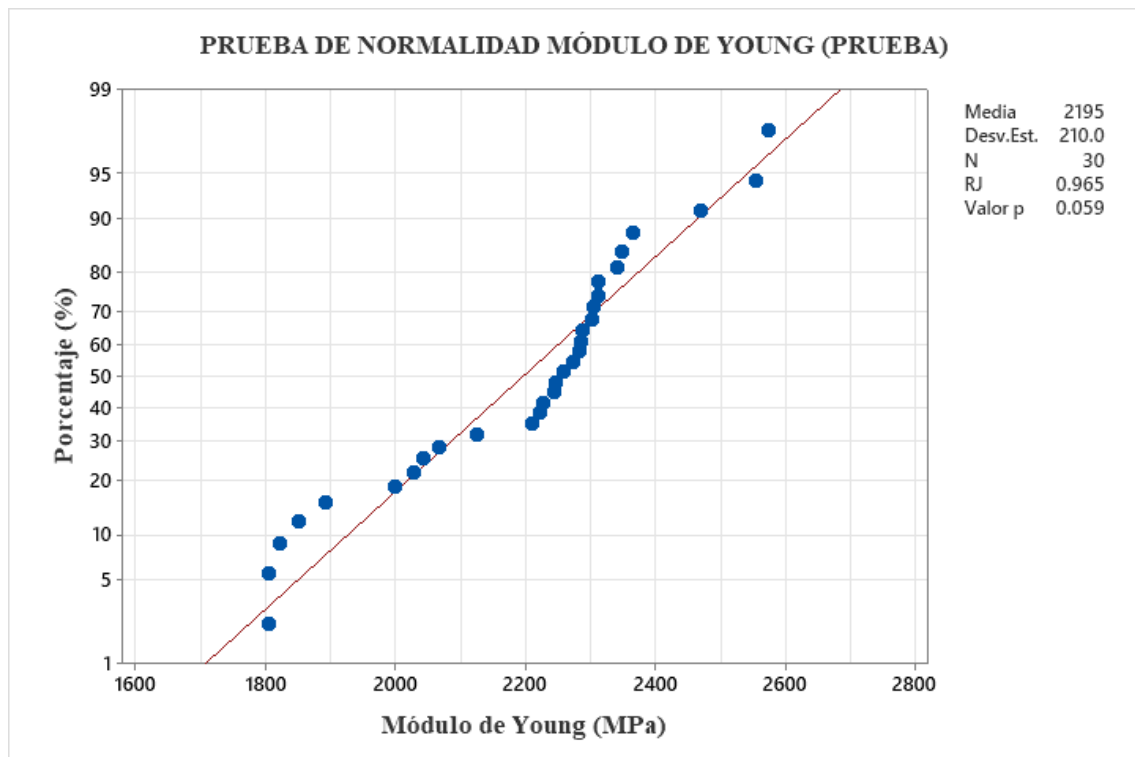
### 3. Prueba de normalidad variable módulo de Young (PRUEBA)

Previo a este análisis se realiza una prueba de normalidad de Shapiro Wilk con un nivel de significancia de 0,05 con el fin de verificar, si los datos de la variable módulo de Young se ajustan a una distribución normal.

- Prueba de hipótesis (PRUEBA)

$H_0$ : La variable módulo de Young se ajusta a una distribución normal

$H_1$ : La variable módulo de Young no se ajusta a una distribución normal



Prueba de normalidad variable módulo de Young (prueba)

Dado que el valor  $p > 0,1$  se acepta  $H_0$ , por lo que se puede concluir que los datos de la variable módulo de Young (prueba) se ajustan a una distribución normal.

#### 4. Análisis de varianza (ANOVA) de variable módulo de Young

##### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

##### Información del factor

<u>Factor</u>	<u>Niveles</u>	<u>Valores</u>
Factor	2	Prueba; Referencia

##### Análisis de Varianza

<u>Fuente</u>	<u>GL</u>	<u>SC Ajust.</u>	<u>MC Ajust.</u>	<u>Valor F</u>	<u>Valor p</u>
Factor	1	814016	814016	17,58	0,000
Error	58	2684885	46291		
Total	59	3498901			

##### Resumen del modelo

<u>S</u>	<u>R-cuad.</u>	<u>R-cuad. (ajustado)</u>	<u>R-cuad. (pred)</u>
21,5153	23,26%	21,94%	17,88%

##### Medias

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>IC de 95%</u>
Prueba	30	2194,8	210,0	(2116,2; 2273,4)
Referencia	30	2427,7	220,2	(2349,1; 2506,4)

*Desv.Est. agrupada = 215,154*

### Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Referencia	30	2427,7	A
Prueba	30	2194,8	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

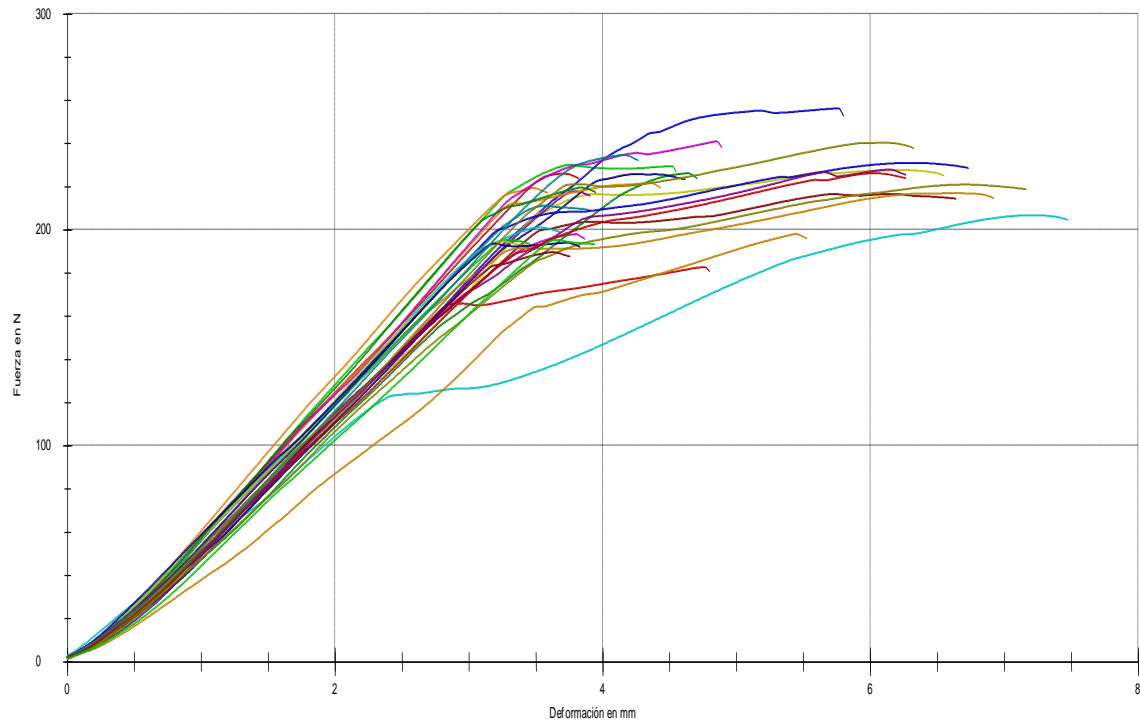
<b>Diferencia de niveles</b>	<b>Diferencia de las medias</b>	<b>EE de diferencia</b>	<b>IC de 95%</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p ajustado</b>
Referencia - Prueba	233,0	55,6	(121,8; 344,2)	4,19	0,000

*Nivel de confianza individual = 95,00%*

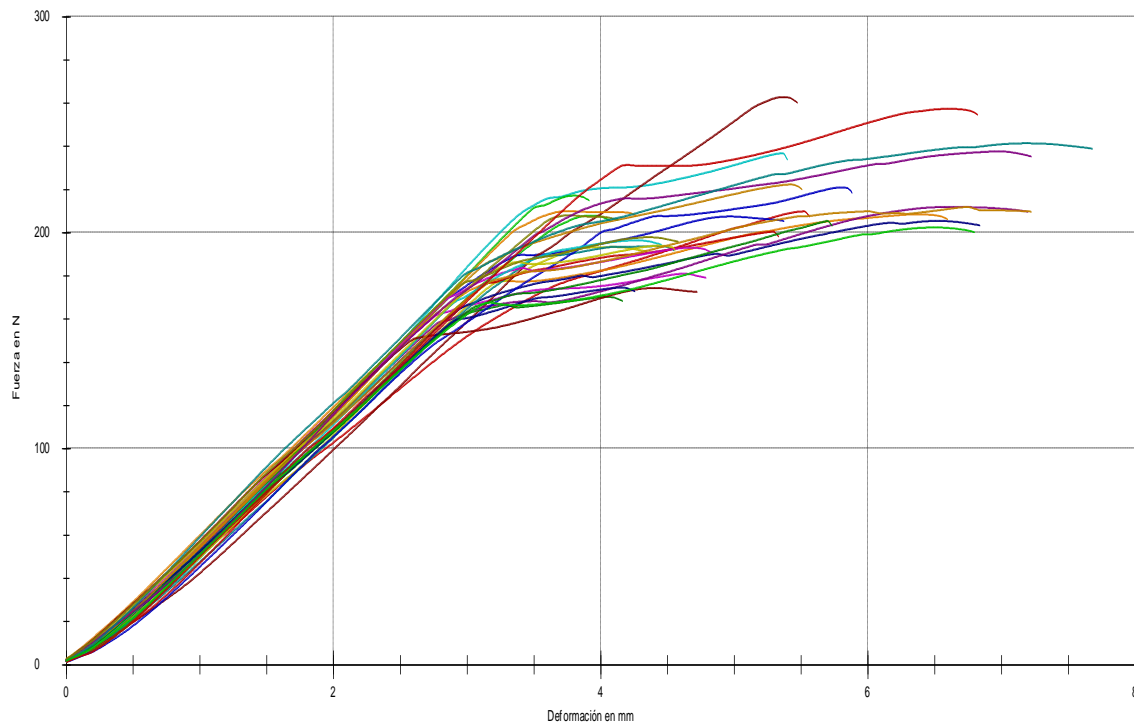


## ANEXO 6: GRÁFICAS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN

### 1. Gráfica de fuerzas de compresión (Referencia)

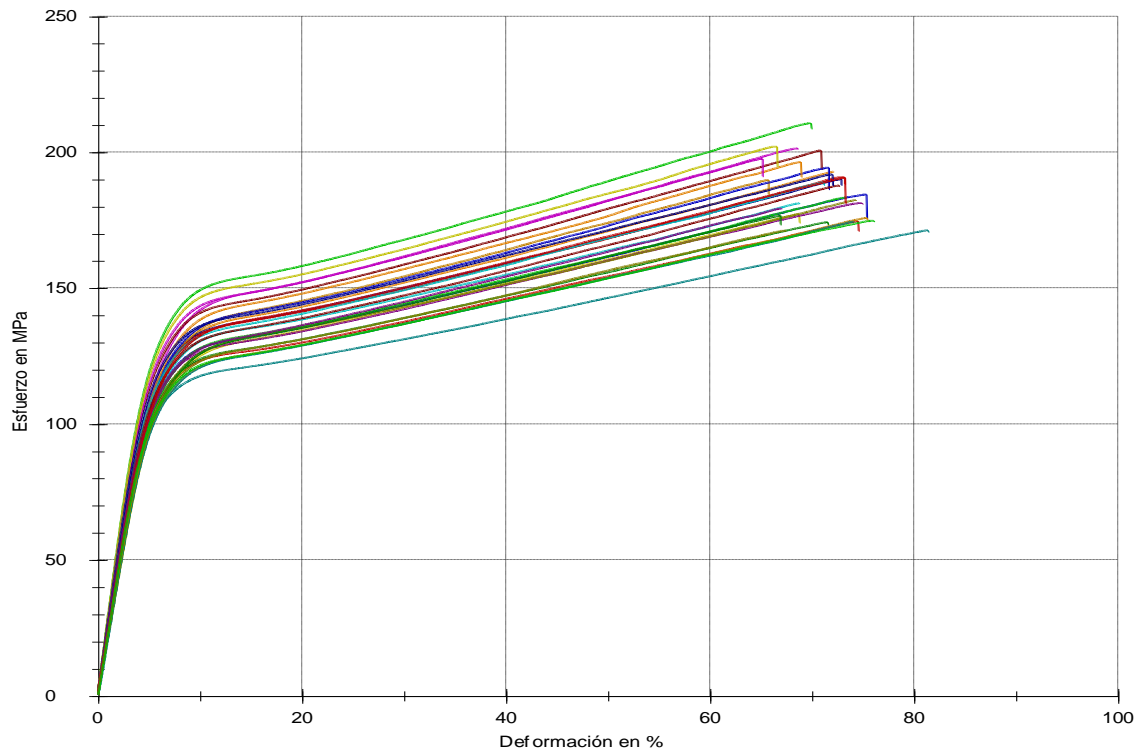


### 2. Gráfica de fuerzas de compresión (Prueba)

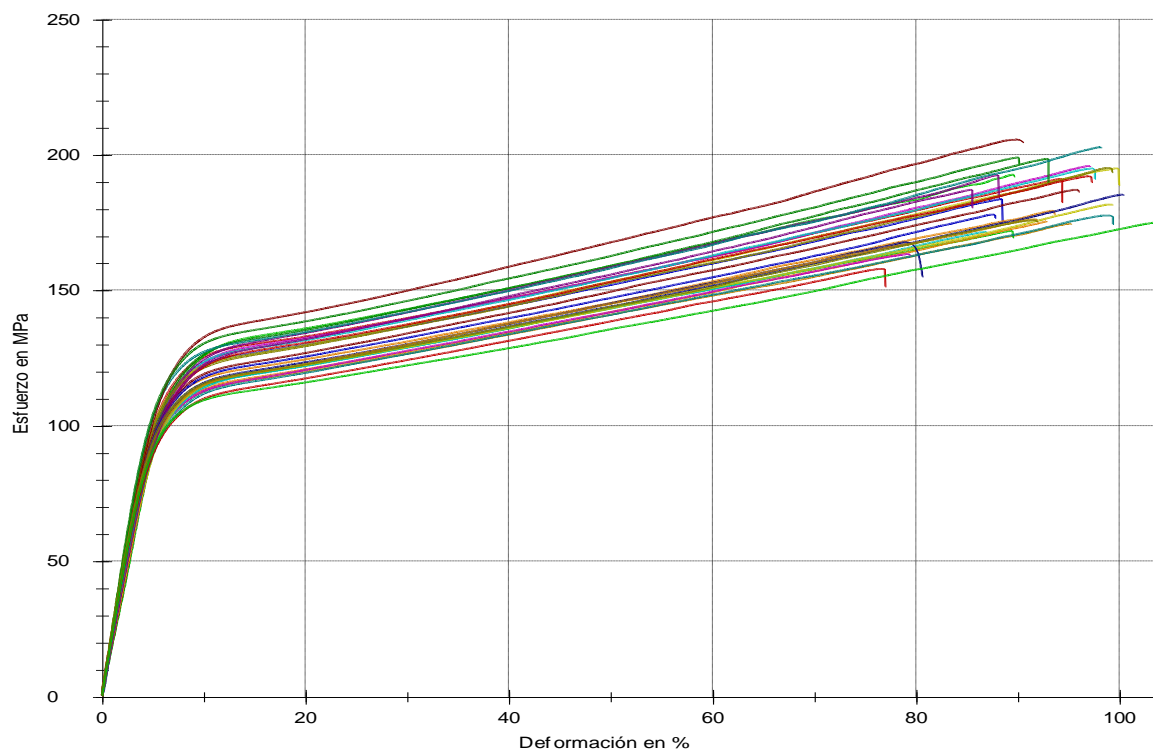


## ANEXO 7: GRÁFICAS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

### 1. Gráfica de esfuerzo de tracción (Referencia)



### 2. Gráfica de esfuerzo de tracción (Prueba)



## ANEXO 8: ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ACELERADO DEL REFRESCO

### 1. Frecuencia de análisis

Análisis	Día 0	20°C				25°C				35°C			
		7 días	14 días	21 días	30 días	7 días	14 días	21 días	30 días	7 días	14 días	21 días	30 días
Organoléptico (color, olor, sabor, aspecto)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
pH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Vitamina C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Recuento de Mohos y Levaduras	X n=5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	X n=5
Recuento de Aerobios en placa	X n=5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	X n=5
Numeración de Coliformes Totales	X n=5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	X n=5

FUENTE: Intertek (2019)

### 2. Resultados microbiológicos

ENSAYO	VIA N° 1	VIA N° 2	VIA N° 3	VIA N° 4	VIA N° 5	Especificación
Recuento de Aerobios en placa a 30°C (UFC/ml)	< 1*	< 1*	< 1*	< 1*	< 1*	10 – 10 <sup>2</sup> c=2
Recuento de Mohos (UFC/ml)	< 1*	< 1*	< 1*	< 1*	< 1*	1 – 10 c=2
Recuento de Levaduras (UFC/ml)	< 1*	< 1*	< 1*	< 1*	< 1*	1 – 10 c=2
Numeración de Coliformes Totales (NMP/mL)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3 c=0

FUENTE: Intertek (2019)

### 3. Resultados de las características organolépticas

ENSAYO ORGANOLÉPTICO	RESULTADOS GENERALES
COLOR	Anaranjado
OLOR	Olor afrutado(naranja), libre de olores extraños
SABOR	Sabor afrutado(naranja), ligeramente dulce y ácido. Libre de sabores extraños.
ASPECTO	Líquido fluido, sin presencia de dos fases. Libre de materias extrañas visibles en suspensión.

FUENTE: Intertek (2019)

### 4. Resultados de medida de pH

EVALUACIÓN	DIA 0	SEMANA 1			SEMANA 2			SEMANA 3			SEMANA 4		
		20°C	25°C	35°C	20°C	25°C	35°C	20°C	25°C	35°C	20°C	25°C	35°C
pH	3.05	3.04	3.04	3.04	3.04	3.03	3.03	3.02	3.03	3.03	3.02	3.01	3.00

FUENTE: Intertek (2019)

### 5. Resultados de contenido de vitamina C

EVALUACIÓN	DIA 0	SEMANA 1			SEMANA 2			SEMANA 3			SEMANA 4		
		20°C	25°C	35°C	20°C	25°C	35°C	20°C	25°C	35°C	20°C	25°C	35°C
Vitamina C (mg/kg)	510,4	508,0	509,0	507,7	507,7	506,4	505,0	505,0	503,7	503,3	504,7	504,5	502,3

FUENTE: Intertek (2019)