



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**  
Facultad de Química e Ingeniería Química  
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Evaluación del adhesivo basado en el almidón de yuca  
para reducir los defectos de adhesión de los paños en la  
industria del cartón corrugado**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

**AUTOR**

Edgar Joaquin PISCO LAIME

**ASESOR**

Máximo Medardo LEYVA CABALLERO

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Pisco, E. (2023). *Evaluación del adhesivo basado en el almidón de yuca para reducir los defectos de adhesión de los paños en la industria del cartón corrugado*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Edgar Joaquin Pisco Laime
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73043047
URL de ORCID	No aplica.
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Máximo Medardo Leyva Caballero
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08207414
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8082-9959">https://orcid.org/0000-0001-8082-9959</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Juana Sandivar Rosas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08667298
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Víctor Manuel Fernández Guzmán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06690674
<b>Datos de investigación</b>	

Línea de investigación	C.0.4.5. Producción
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Nave de Producción de empaque de cartón corrugado País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Chosica Calle: Av. La capitana, Puerta N°8 Latitud: -12.00243 Longitud: -76.91096
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022 - 2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de procesos <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02</a>

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**  
Central Telefónica: 619-7000

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para La Facultad de Química e Ingeniería Química 2023", bajo la Presidencia de la **Dra. JUANA SANDIVAR ROSAS**; **Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN (Miembro)** y el **Ing. MÁXIMO MEDARDO LEYVA CABALLERO (Asesor)**; habiendo presentado para tal efecto la **TESIS** titulada: "**Evaluación del adhesivo basado en el almidón de yuca para reducir los defectos de adhesión de los paños en la industria del cartón corrugado**" después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: **EDGAR JOAQUIN PISCO LAIME**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**, acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

Dieciséis

(LETRAS)

(16)

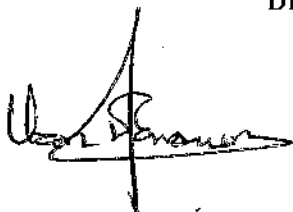
(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de diciembre del 2023.



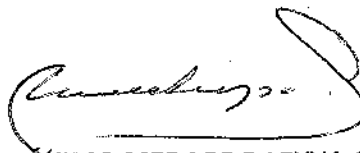
**Dra. JUANA SANDIVAR ROSAS**

Presidenta



**Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN**

Miembro



**Ing. MÁXIMO MEDARDO LEYVA CABALLERO**

Asesor



**Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INEANTE**  
Director de la E.P. de Ingeniería Química





Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **Máximo Medardo Leyva Caballero** en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°000026-2024-D-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es "Evaluación del adhesivo basado en el almidón de yuca para reducir los defectos de adhesión de los paños en la industria del cartón corrugado", presentado por el bachiller en Ingeniería Química Pisco Laime Edgar Joaquín para optar el título Profesional de Ingeniero Químico CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 11% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención el título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 08207414

Nombres y apellidos del asesor:

Máximo Medardo Leyva Caballero



## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mi familia, compuesta por Ysabel Santos Mendoza, Ysabel Laime Santos, Mellany Pisco y Luis Laime quienes me han brindado su apoyo y amor en todo momento de la vida. Asimismo, quiero agradecer a Kareen Peña quien me otorgó su apoyo académico y estuvo conmigo en el desarrollo de este trabajo.



## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de investigación representó un desafío significativo, y quiero expresar mi gratitud a mi familia por su ayuda en la consecución de esta meta. A lo largo de mi trayectoria académica, agradezco la presencia constante de ellos, quienes me brindaron momentos valiosos y la fortaleza necesaria para afrontar todas las circunstancias.

Quiero extender mi agradecimiento a mi madre y abuela, Ysabel Laime e Ysabel Santos, por su amor incondicional y por ser los principales impulsores de mis sueños. Aprecio profundamente la confianza que han depositado en mí.

Agradezco a mi hermana, Mellany Pisco, por su amor incondicional. Verla feliz y motivada en su día a día me hace sentir grato.

Agradezco a mi tío Luis Laime, que desde la distancia siempre se ha hecho presente. Me ha brindado su apoyo y siempre ha estado presente.

Agradezco a Kareen Peña, que siempre me ha motivado a seguir con el desarrollo de este trabajo de tesis.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.1 Formulación del problema .....	16
1.2 Antecedentes.....	16
1.3 Justificación .....	20
1.4 Objetivo general.....	23
1.5 Hipótesis .....	23
2. MARCO TEÓRICO .....	24
2.1 Empaque de cartón corrugado .....	24
2.2. Tipos de cartón corrugado .....	25
2.2.1. Cartón sencillo .....	25
2.2.2. Cartón simple .....	25
2.2.3. Cartón doble .....	26
2.3. Tipos de papel ondulado .....	26
2.4. Adhesivo para corrugados.....	28
2.5. Componentes del adhesivo .....	28

2.5.1. Almidón.....	28
2.5.1.1. Amilosa y amilopectina.....	29
2.5.1.2. Hinchazón y solubilidad.....	31
2.5.2. Agua .....	31
2.5.3. Hidróxido de sodio .....	32
2.5.4. Bórax .....	32
2.6. Parámetros del adhesivo .....	33
2.6.1. Viscosidad .....	33
2.6.2. Temperatura de gelatinización .....	35
2.6.3. pH.....	36
2.6.4. Porcentaje de sólidos.....	36
2.7. Formulación de adhesivos .....	37
2.8. Proceso de corrugado.....	37
2.8.1. Preparación del Sustrato.....	38
2.8.2. Aplicación de Adhesivo .....	38
2.8.3. Corrugado.....	38
2.8.4. Secado y Enfriamiento .....	39
2.8.5. Corte y Acabado.....	39
2.9. Prueba de yodo.....	39
2.10. Prueba de adhesión .....	40
2.11. Paños despegados .....	41

3. METODOLOGÍA.....	42
3.1 Equipos utilizados.....	42
3.2 Preparación de goma.....	43
3.3 Medición del porcentaje de sólidos.....	47
3.4 Medición de viscosidad del adhesivo .....	48
3.5 Medición de temperatura de gelatinización del adhesivo .....	49
3.6 Medición de aplicación de adhesivo .....	50
3.7 Medición PAT.....	54
4. RESULTADOS.....	56
4.1. Preparación de goma.....	56
4.1.1. Onda EB .....	56
4.1.2. Onda BC.....	57
4.2. Parámetros de medición de calidad del adhesivo .....	58
4.3. Prueba de aplicación del adhesivo .....	63
4.3.1. Onda EB .....	63
4.3.2. Onda BC.....	66
4.4. Pruebas PAT .....	71
4.4.1. Onda EB .....	71
4.4.2. Onda BC.....	74
5. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS .....	79
6. CONCLUSIONES .....	82

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
8. ANEXOS.....	87
8.1 Matriz de consistencia.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de onda. Trupal S.A. (2022).....	27
Tabla 2 Propiedades de la amilosa y amilopectina.....	30
Tabla 3 Fórmula de adhesivo regular .....	37
Tabla 4 Insumos consumidos en la elaboración del adhesivo .....	57
Tabla 5 Insumos consumidos en la elaboración del adhesivo .....	58
Tabla 6 Parámetros de medición de calidad del adhesivo .....	59
Tabla 7 Prueba yodo para la onda EB – Liner interno .....	63
Tabla 8 Prueba yodo para la onda EB – Liner externo.....	64
Tabla 9 Prueba yodo para la onda BC (onda B) – Liner interno .....	66
Tabla 10 Prueba yodo para la onda BC (onda B) – Liner externo .....	67
Tabla 11 Prueba yodo para la onda BC (onda C) – Liner interno .....	68
Tabla 12 Prueba yodo para la onda BC (onda C) – Liner externo .....	69
Tabla 13 Prueba PAT de la onda B – Liner interno .....	71
Tabla 14 Prueba PAT de la onda EB – Liner externo .....	72
Tabla 15 Prueba PAT de la Onda BC (Onda B) – Liner externo .....	74
Tabla 16 Prueba PAT de la Onda BC (Onda B) – Liner externo .....	75
Tabla 17 Prueba PAT de la onda BC (Onda C) - Liner interno .....	76
Tabla 18 Prueba PAT de la Onda BC (Onda C) – Liner externo .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del empaque de cartón corrugado .....	24
Figura 2 Cartón sencillo .....	25
Figura 3 Cartón simple .....	25
Figura 4 Cartón doble.....	26
Figura 5 Tipos de onda .....	27
Figura 6 Estructura de la amilosa y amilopectina .....	30
Figura 7 Curvas de viscosidad de almidones comunes .....	34
Figura 8 Proceso de corrugado.....	37
Figura 9 Prueba PAT .....	41
Figura 10 Medición de pH.....	43
Figura 11 Panel de control de la máquina de preparación del adhesivo.....	44
Figura 12 Ingreso de formulación del adhesivo .....	44
Figura 13 Alimentación de insumos del adhesivo.....	45
Figura 14 Tanque de almacenamiento del adhesivo.....	45
Figura 15 Diarama de bloques de la producción de adhesivo .....	45
Figura 16 Medición del porcentaje de sólidos en el refractómetro .....	47
Figura 17 Lectura del visor del refractómetro .....	47
Figura 18 Copa Stain Hall .....	48
Figura 19 El cernidor.....	48
Figura 20 Medición de viscosidad.....	49
Figura 21 Instrumentos de medición de la temperatura de gelatinización .....	50

Figura 22 Muestra sumergida en bandeja de agua .....	51
Figura 23 Separación de los componentes del paño de cartón corrugado.....	52
Figura 24 Componentes colgados.....	52
Figura 25 Aplicación de yodo .....	53
Figura 26 Aplicación de adhesivo .....	53
Figura 27 Aditamento para la onda B.....	54
Figura 28 Aditamento para la onda C.....	55
Figura 29 Viscosidad de la goma .....	60
Figura 30 Gráfico de caja de Viscosidad.....	60
Figura 31 Temperatura de gelatinización de la goma.....	61
Figura 32 Gráfica de caja de Temperatura de gelatinización .....	61
Figura 33 Porcentaje de sólidos de la goma .....	62
Figura 34 Gráfico de caja de % de sólidos .....	62
Figura 35 Prueba yodo para la onda EB – Liner interno.....	64
Figura 36 Prueba yodo para la onda EB – Liner externo .....	65
Figura 37 Prueba yodo de la onda EB – interno y externo.....	65
Figura 38 Prueba yodo para la onda BC (onda B) – Liner interno.....	67
Figura 39 Prueba yodo para la onda BC (onda B) – Liner externo .....	68
Figura 40 Prueba yodo para la onda BC (onda C) – Liner interno.....	69
Figura 41 Prueba yodo para la onda BC (onda C) – Liner externo .....	70
Figura 42 Gráfica de cajas de las pruebas de yodo de la onda BC.....	70
Figura 43 Prueba PAT de la onda EB – Liner interno.....	72

Figura 44 Prueba PAT de la onda EB – Liner externo.....	73
Figura 45 Gráfica de caja PAT – Onda B Interno y externo .....	73
Figura 46 Prueba PAT de la Onda BC (Onda B) - Liner interno .....	75
Figura 47 Prueba PAT de la Onda BC (Onda B) - Liner externo .....	76
Figura 48 Prueba PAT de la Onda BC (Onda C) – Liner interno .....	77
Figura 49 Prueba PAT de la Onda BC (Onda C) – Liner externo.....	78
Figura 50 Prueba PAT – Onda BC-interno y externo .....	78
Figura 51 Prueba de validación de hipótesis .....	82



## RESUMEN

La presente tesis aborda un desafío crítico en la industria del cartón corrugado la cual se enfoca en los defectos de adhesión de los paños de cartón corrugado. El defecto tiene el potencial de causar pérdidas significativas en la resistencia del empaque de cartón corrugado y en consecuencia afectar la calidad del producto contenido en el empaque, lo que a su vez impacta en la satisfacción del cliente. El objetivo principal de esta investigación es aumentar la adhesión de los papeles del paño de cartón corrugado utilizando un adhesivo basado en almidón de yuca.

En el cuerpo del estudio se realiza una revisión de la literatura para comprender las propiedades del almidón de yuca y su potencial aplicación en la fabricación de adhesivos industriales. Asimismo, se examinan las propiedades adhesivas del almidón de yuca en comparación con los adhesivos convencionales utilizados en la industria. Luego, se llevó a cabo pruebas para evaluar la adhesión de los papeles incorporando el almidón de yuca en la goma usada en el proceso de corrugado. Además, se analizaron parámetros críticos del adhesivo como la viscosidad, la temperatura de gelatinización, el porcentaje de sólidos y el espesor de aplicación. Igualmente, este adhesivo fue utilizado en el proceso de corrugado y se realizaron pruebas en la línea de producción para evaluar la resistencia PAT (Pin Adhesion Test o prueba de adhesión) de los paños de cartón corrugado. Los resultados de la investigación confirmarán la viabilidad que posee el adhesivo basado en el almidón de yuca para reducir los defectos de adhesión de los paños en comparación con los adhesivos convencionales formulados con almidón de trigo o almidón de maíz.

*Palabras claves:* almidón, cartón corrugado, adhesivos, prueba de adhesión (PAT)

## **ABSTRACT**

The current thesis addresses a critical challenge in the corrugated cardboard industry, specifically focusing on adhesion defects in corrugated cardboard sheets. The mentioned defect has the potential to cause significant losses in the strength of corrugated cardboard packaging, thereby affecting the quality of the product within the packaging and, consequently, impacting customer satisfaction. The primary objective of this research is to enhance the adhesion of corrugated cardboard sheets by utilizing a starch-based adhesive derived from cassava.

Within the body of the study, a literature review is conducted to comprehend the properties of cassava starch and its potential application in the manufacturing of industrial adhesives. Additionally, the adhesive properties of cassava starch are examined in comparison to conventional adhesives used in the industry. Subsequently, tests were carried out to evaluate the adhesion of papers by incorporating cassava starch into the glue used in the corrugation process. Critical adhesive parameters, such as viscosity, gelatinization temperature, solid content percentage, and application thickness, were analyzed. Furthermore, this adhesive was employed in the corrugation process, and tests were conducted on the production line to assess the Pin Adhesion Test (PAT) strength of corrugated cardboard sheets.

The research results will confirm the viability of the cassava starch-based adhesive in reducing adhesion defects in corrugated cardboard sheets compared to conventional adhesives formulated with wheat or corn starch.

*Keywords:* starch, corrugated cardboard, adhesives, pin adhesion test (PAT)

## INTRODUCCIÓN

La industria del cartón corrugado, desempeñando un papel esencial en la cadena de suministro de productos, se sustenta en la calidad y durabilidad de sus envases para asegurar la protección de los productos durante su manipulación, transporte y almacenamiento. Uno de los elementos cruciales que influye en la integridad de los envases de cartón corrugado es el adhesivo empleado para unir las diferentes capas de papel. Asimismo, la adherencia deficiente de los paños de cartón corrugado a menudo da lugar a una serie de defectos que afectan negativamente la calidad del producto final, incrementando los costos de producción y generando un aumento en el desperdicio de los materiales empleados.

La búsqueda de soluciones de calidad en el ámbito de los adhesivos se ha convertido en una prioridad para la industria del cartón corrugado. En este contexto, el almidón de yuca emerge como una materia prima prometedora para la formulación de adhesivos, debido a su amplia disponibilidad. Siendo un polisacárido natural extraído de las raíces de la planta de yuca su versatilidad lo convierte en un candidato atractivo para mejorar la adhesión en el cartón corrugado.

Por ende, el presente estudio tiene como objetivo principal llevar a cabo una evaluación detallada del adhesivo basado en almidón de yuca, con el propósito de reducir los defectos de adhesión de los paños en la industria del cartón corrugado. Este estudio se fundamenta en la necesidad de abordar los desafíos de calidad que actualmente enfrenta esta industria. Al investigar la viabilidad de los adhesivos a base de almidón de yuca, este estudio contribuirá al desarrollo de soluciones innovadoras que puedan beneficiar a las empresas del sector y a los consumidores finales.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática de la baja adhesión de los paños en la industria de los empaques de cartón corrugado es una cuestión crítica, debido a que tiene un impacto significativo en la eficiencia y calidad de todo el proceso de corrugado. En caso de la incorrecta detección del defecto de adhesión del producto en proceso, el problema tiene potencial de afectar a los procesos subsiguientes; tal es el caso del proceso de impresión y conversión de los paños de cartón corrugado. Asimismo, dependiendo de los controles de calidad de la liberación del producto terminado, la problemática tiene el potencial de llegar a afectar la resistencia del cartón corrugado y, por consecuencia, afectar el contenido del empaque.

Los factores que intervienen en la adherencia del adhesivo al ser aplicado a los papeles son la viscosidad, el porcentaje de sólidos, la temperatura de gelatinización y el espesor de la aplicación del adhesivo.

La deficiencia en la adhesión de los componentes causada por el incumplimiento de los factores de calidad del adhesivo mencionados conlleva a una pérdida notable en la resistencia a la compresión que estará sometido el cartón corrugado ejercida por el peso del contenido del empaque. Esto significa que los productos empaquetados corren un riesgo sustancial de daño durante el transporte y el almacenamiento, debido a la falta de integridad estructural del embalaje. Esto a su vez, se traduce en costos adicionales para las empresas, puesto que deben lidiar con productos dañados, devoluciones y reclamaciones de garantía.

Asimismo, la baja adhesión afecta negativamente la eficiencia del proceso de producción, ya que los paños de cartón corrugado que no se adhieren correctamente dan lugar

a desprendimientos y desperdicios, lo que aumenta la cantidad de material no conforme y recursos desperdiciados durante el proceso de corrugado.

En el estudio de Zapata (2018), sobre la “Reducción de mermas mejorando el desempeño del adhesivo utilizado en el proceso de fabricación de cartón corrugado”, se sumergió en la problemática de la producción de cartón corrugado al buscar minuciosamente las fuentes de origen de las mermas. Su enfoque se centró en una empresa cartonera peruana donde identificó un preocupante desafío en el despegado de planchas. Durante el primer mes de 2014, este problema representó un asombroso 19.96% de la merma total, equivalente a una pérdida significativa de 8.6 toneladas. Estos hallazgos destacan la importancia crítica de abordar la problemática de las mermas en el proceso de producción del corrugado, con implicaciones tanto económicas como operativas que exigen una atención inmediata.

En el estudio realizado por González y Mosquera (2014), referente a la “Metodología para identificar y analizar los costos de calidad y de no calidad en un proceso productivo de cartón corrugado”, se encontraron hallazgos impactantes sobre la industria del cartón corrugado en Ecuador durante el primer semestre de 2014. Su investigación se centró en un grupo empresarial ecuatoriano dedicado a la manufactura de cartón corrugado. Uno de los resultados más sobresalientes fue la identificación de la baja adhesión de los componentes del paño de cartón corrugado como la causa más frecuente de no conformidades en el proceso. Esta revelación es de gran relevancia, debido que la adhesión deficiente tiene un impacto directo en la calidad y la resistencia de los envases de cartón corrugado. Lo más sorprendente es la magnitud de las pérdidas asociadas a esta problemática. Finalmente, el estudio estimó que las pérdidas económicas superaron los ciento noventa y siete millones de dólares en el período

analizado. Esta impactante cifra pone en relieve la gravedad del problema de la baja adhesión en la industria del cartón corrugado.

### **1.1 Formulación del problema**

¿En qué medida el adhesivo basado en almidón de yuca incide en la adhesión de los componentes del paño de cartón corrugado?

### **1.2 Antecedentes**

La industria del cartón corrugado desempeña un papel vital en la economía, proporcionando soluciones de embalaje esenciales para una variedad de productos. La calidad del cartón corrugado, depende en gran medida de las propiedades del adhesivo utilizado en su fabricación, por lo que es un factor crítico para asegurar la resistencia del producto y la satisfacción del cliente. Los defectos de adhesión, como el despegue o el debilitamiento de los paños corrugados, representan un desafío significativo en esta industria, debido a que este defecto genera un porcentaje significativo en la merma de producción del proceso de corrugado.

De acuerdo con el estudio realizado por Zapata (2018), referente a la “Reducción de mermas mejorando el desempeño del adhesivo utilizado en el proceso de fabricación del cartón corrugado”, se describió un proyecto de reducción de mermas en una planta de cajas de cartón peruana, mediante la mejora del desempeño del adhesivo utilizado en el proceso de fabricación del cartón corrugado. El proyecto utilizó técnicas estadísticas para identificar y resolver los problemas relacionados con la variabilidad en la viscosidad del adhesivo. Se aplicaron herramientas estadísticas como el diagrama de Pareto, gráficas de control y diagrama de causa-efecto para analizar y resolver los problemas identificados. Además, se evaluó la capacidad

potencial del proceso para saber si el proceso de fabricación del adhesivo era capaz de satisfacer los requerimientos y especificaciones del producto comparando la variación natural del mismo. El resultado fue exitoso, demostrando que el proceso después de las mejoras implementadas se encontraba bajo control.

El proyecto tuvo un impacto significativo en la reducción de mermas generadas en la empresa, disminuyendo el porcentaje de desperdicio del 3.24% al 2.2%, lo que generó una disminución del 1.04% del total de desperdicio sobre el total de consumo de papel. La reducción de 1% del total de merma de la cartonera peruana aplicando las herramientas estadísticas permitió generar un ahorro de S/.47, 355 para la empresa.

Como se mencionó, la principal problemática de los defectos de adhesión está relacionada directamente con los compuestos que conforman los adhesivos, puesto que las propiedades del adhesivo, como la viscosidad, la concentración de sólido y temperatura de gelatinización desempeñan un papel crítico en la calidad y la adhesión del cartón corrugado.

Siguiendo la problemática en mención, de la Mora (2019), en su “Estudio del anclaje de los adhesivos en los papeles que componen el cartón corrugado”, sostuvo que la fijación del adhesivo es un desafío continuo en cada paño de cartón corrugado, debido que la velocidad de producción del cartón, los componentes y parámetros del adhesivo afectan en las propiedades de resistencia del cartón corrugado, específicamente en la unión entre los papeles componentes del mismo.

Una de las áreas fundamentales que aborda de la Mora (2019), es la selección y las propiedades de los adhesivos utilizados en la producción de cartón corrugado. La elección de

adhesivos adecuados fue esencial para garantizar una unión fuerte y duradera entre las capas de papel. Para ello, se exploraron teorías relacionadas con la reología de los adhesivos, la viscosidad y la adhesión. La comprensión de estas propiedades fue esencial para identificar adhesivos que sean óptimos para el proceso de unión en la fabricación de cartón corrugado. También, describió los parámetros de preparación del adhesivo, como la viscosidad, la temperatura de gelatinización y el pH, y explicó la aplicación del adhesivo y su afinidad con el yodo.

Según lo indicado por Bonilla (2002), en su investigación titulada "Estudio de la Viabilidad de Técnica para la Obtención de Adhesivos a partir de Harina Refinada Extraída en Forma Artesanal e Industrial, Evaluando Tres Variedades de Yuca", se destacó que la raíz mencionada presenta un potencial para la producción de adhesivos debido a sus propiedades químicas. Esto en consecuencia de que el empleo del almidón extraído de la yuca después de someterse a un proceso de tratamiento enzimático proporciona un alto contenido de sólidos, lo cual permite su aplicación para cajas sometidas a cargas pesadas, entre valores de 10 kg a 15 kg. Mientras que, el uso de almidón de yuca sometida a un tratamiento químico proporciona un bajo contenido de sólidos, permitiendo su aplicación a cajas sometidas a cargas livianas, para valores cercanos a 5 kg.

Reforzando esta idea, Amaya y Marín (2020) en un estudio sobre la "Evaluación del proceso de obtención de un soporte adhesivo a partir de almidón de yuca para un apósito a escala laboratorio", se centraron en desarrollar un soporte adhesivo a escala de laboratorio utilizando almidón de yuca optimizando el proceso desde el pretratamiento de la materia prima hasta la evaluación de su viabilidad en el mercado. El énfasis en la vía seca para el



pretratamiento de la yuca, seguido de la caracterización detallada de propiedades fisicoquímicas y organolépticas, como lo son la densidad, la viscosidad, el pH, el porcentaje de humedad y cenizas; no solo proporcionó información esencial sobre la calidad del almidón, sino que también sentó las bases para la selección cuidadosa de condiciones de proceso. Asimismo, los dos diseños experimentales factoriales múltiples, uno empleando hidróxido de sodio y otro ácido clorhídrico como agentes hidrolíticos, añadieron un nivel de sofisticación al proyecto, permitiendo una caracterización precisa del adhesivo en función de variables clave como el porcentaje de almidón, la concentración del agente hidrolítico, la temperatura y el tiempo. La comparación con productos comerciales, mediante pruebas de adhesividad conforme a estándares de la FINAT, validó la prueba de adhesividad para las dos hidrólisis y de esta manera se escogieron los 9 mejores ensayos de cada una, presentando una adherencia en un rango de 1 a 2 Newton para los ensayos alcalinos y de 1 a 2,4 Newton para los ensayos ácidos.

Como se sabe, en la elaboración del adhesivo a base de almidón de yuca, se emplean ingredientes adicionales como soda cáustica, bórax y agua. De acuerdo con la investigación realizada por Hernández y Vergara (2008), en su estudio titulado "Elaboración y evaluación de un adhesivo a partir del almidón de yuca nativo, (*manihot sculenta crantz*), variedad m-tai, utilizando hidróxido de sodio como agente hidrolizante", se evaluó el proceso de obtención de un soporte adhesivo hecho a partir de almidón de yuca para un apósito a escala de laboratorio. La recolección de datos implicó el pretratamiento en seco de la materia prima (yuca - *Manihot Esculenta Crantz*), seguido de la caracterización y evaluación de diversas propiedades fisicoquímicas y organolépticas, como densidad, viscosidad, pH, porcentaje de humedad, contenido de cenizas, olor, color y sensación al tacto. Luego, se implementaron dos diseños

experimentales factoriales múltiples, uno utilizando hidróxido de sodio (NaOH) como agente hidrolítico para la ruta alcalina y otro utilizando ácido clorhídrico (HCl) para la ruta ácida. Ambos diseños consideraron variables como la concentración de almidón, la concentración del agente hidrolítico, la temperatura y el tiempo. Asimismo, se llevaron a cabo ensayos variando las concentraciones de almidón, en porcentaje, a niveles del 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, así como el hidróxido de sodio (NaOH), en porcentaje de volumen, a niveles del 0%, 0.66%, 1.33% y 2%, para la formulación del adhesivo. La evaluación del adhesivo se efectuó a temperatura ambiente, y se implementó un diseño experimental multinivel con dos factores (concentración de almidón y NaOH), y tres bloques aleatorizados por completo, con tres repeticiones cada uno, totalizando 60 experimentos. Posteriormente, se compararon los adhesivos resultantes con tres adhesivos comerciales a través de pruebas de adhesión, análisis sensoriales y evaluaciones de costos, demostrando que los adhesivos elaborados a partir de almidón de yuca son más económicos y, en muchos casos, presentan propiedades de adhesión igualmente efectivas o, en algunos casos, incluso superiores a las de los productos comerciales disponibles en el mercado.

### **1.3 Justificación**

La industria del cartón corrugado es un pilar fundamental en la cadena de suministro y logística, los empaques de cartón corrugado son utilizados para proteger y transportar una amplia gama de productos alimenticios, farmacéuticos y electrónicos. Los defectos de adhesión en los paños de cartón corrugado, como desprendimiento de capas o adhesión insuficiente debilitan la estructura del cartón corrugado, comprometiendo su capacidad para soportar cargas y proteger el contenido. Como resultado, los productos se dañan durante el transporte, lo que conlleva costos adicionales para las empresas y una pérdida de confianza por parte de los clientes.

Un escenario donde los envases de cartón corrugado destinados a contener productos alimenticios, como frutas, tienen el potencial de abrirse durante el transporte o en el estante de la tienda, lo que expone el contenido a la contaminación y el deterioro. Esto no solo tiene un impacto negativo en la satisfacción del cliente, sino que también generan problemas de salud y seguridad alimentaria, lo que podría dar lugar a retiros de productos costosos y daños a la reputación de la marca.

Con respecto a los desperdicios y los productos defectuosos, estos generan costos significativos en la industria del cartón corrugado. La fabricación de estos no solo conlleva al costo de los materiales desperdiciados, sino que también implica costos adicionales relacionados con el tiempo de producción perdido, el retrabajo y la reposición de los mismos. Por ejemplo, cuando se producen defectos de adhesión en los paños de cartón corrugado, es probable que una cantidad significativa de material se convierta en desecho. En consecuencia, la corrección de los defectos requiere un consumo adicional de materia prima, insumos y horas de trabajo, debido a que los trabajadores necesitan tiempo para inspeccionar y solucionar problemas de adhesión, lo que resulta en una pérdida de tiempo productivo, igualmente, cuando se detiene la producción para abordar problemas de adhesión, se reduce la capacidad de producción efectiva. Esto resulta en retrasos en los plazos de entrega y una menor capacidad para satisfacer la demanda del mercado. En una industria tan competitiva, la eficiencia operativa y la capacidad de cumplir con los plazos son factores críticos para la competitividad.

Respecto a la sostenibilidad, esta es una preocupación cada vez más importante en todas las industrias, y la industria del cartón corrugado no es una excepción. Los consumidores y las empresas están buscando activamente opciones más sostenibles con el medio ambiente en todos los aspectos de la cadena de suministro. En este contexto, la formulación de adhesivos basados en almidón de yuca es una respuesta directa a la creciente demanda de productos más sostenibles por lo que representa una

fuentes de materia prima renovable y biodegradable. Reforzando esta idea, utilizar el almidón de yuca en la formulación de adhesivos, las empresas reducen su dependencia de recursos no renovables, tales como los derivados del petróleo.

Además, los adhesivos de almidón de yuca suelen tener un impacto ambiental menor en términos de emisiones de carbono y consumo de energía en comparación con los adhesivos tradicionales. Esto es especialmente relevante en un momento en que la mitigación del cambio climático y la reducción de la huella de carbono son objetivos clave en todo el mundo. La adopción de adhesivos basados en almidón de esta raíz no solo reduce el impacto ambiental de la industria del cartón corrugado, sino que también mejoran la percepción de la empresa ante los consumidores conscientes del medio ambiente. Las empresas que adoptan prácticas sostenibles a menudo se benefician de una imagen positiva de marca y una mayor lealtad del cliente.

Por otro lado, la capacidad de innovar y adaptarse a las nuevas tendencias es fundamental para la competitividad en la industria del cartón corrugado, debido que los adhesivos son una parte esencial de la fabricación de estos y cualquier mejora en esta área marca la diferencia en el mercado altamente competitivo ofreciendo empaques con mayor resistencia a sus clientes.

Por último, en muchas partes del mundo existen regulaciones estrictas relacionadas con la gestión de alérgenos en los productos alimentarios y de envasado. Estas regulaciones son diseñadas para garantizar que los consumidores sean informados adecuadamente sobre la presencia de estas sustancias nocivas en los productos que consumen o utilizan. Para la industria del cartón corrugado, esto se traduce en la necesidad de informar claramente a los clientes sobre los insumos utilizados en la producción de los adhesivos, debido a que su composición contiene almidón de maíz (sulfitos) o trigo (gluten) los cuales son fuentes de alérgenos. Asimismo, el Reglamento (UE) N 1169/2011 del Parlamento Europeo

y del Consejo establece que las empresas declaren e informen sobre la presencia de alérgenos en los productos ofertados al cliente.

#### **1.4 Objetivo general**

Aumentar la adhesión de los componentes del paño de cartón corrugado utilizando un adhesivo basado en el almidón de yuca.

#### **1.5 Hipótesis**

Al desarrollar una evaluación del adhesivo basado almidón de yuca incidirá positivamente en la reducción de los defectos de adhesión de los paños en la industria del cartón corrugado.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Empaque de cartón corrugado

El empaque de cartón corrugado es un envase compuesto de tres o cinco papeles, dependiendo del tipo de cartón, siendo los papeles exteriores lisos y el papel medio ondulado; estos papeles se encuentran unidos por el adhesivo añadido en el proceso de corrugado (ver Figura 1). Según la Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón Ondulado (2007), las funciones del papel ondulado consisten en aportar la resistencia a la compresión y aumentar la rigidez a la flexión. Por otro lado, las funciones de los papeles lisos son de aportar resistencia al empaque y conferir la característica de impresión a la caja. Asimismo, las funciones del adhesivo consisten en unir y anclar los papeles en el proceso de corrugado; así como también, conferir resistencia al embalaje.

**Figura 1**

*Estructura del empaque de cartón corrugado*



Nota: Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón Ondulado (2007)

La combinación de estos papeles otorga una estructura con una gran resistencia mecánica a la compresión, debido a esto es un material utilizado como embalaje.

## 2.2. Tipos de cartón corrugado

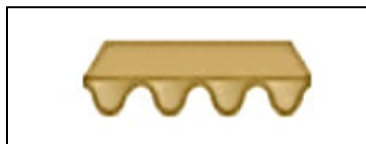
En la industria del cartón corrugado se produce tres tipos los cuales son descritos en los siguientes acápite.

### 2.2.1. Cartón sencillo

La estructura de este material es flexible y se encuentra conformado por una onda adherida a una capa de papel. Asimismo, este material también se denomina cara simple (ver Figura 2).

**Figura 2**

*Cartón sencillo*



*Nota.* Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón Ondulado (2007).

### 2.2.2. Cartón simple

La estructura de este material es rígida y se encuentra conformado por una onda adherida a dos capas de papel. Asimismo, este material también se denomina pared simple (Figura 3).

**Figura 3**

*Cartón simple*



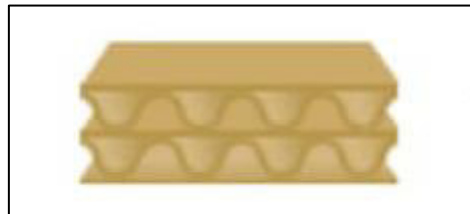
*Nota.* Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón Ondulado (2007).

### 2.2.3. Cartón doble

La estructura de este material es aún más rígida que el cartón simple y se encuentra conformado por dos ondas adheridas a tres capas de papel. Asimismo, este material también se denomina pared doble (ver Figura 4).

**Figura 4**

*Cartón doble*



*Nota.* Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón Ondulado (2007).

### 2.3. Tipos de papel ondulado

Dentro de los factores que intervienen en la calidad y resistencia de un empaque de cartón corrugado se encuentran el peso del papel (gramaje), el tipo de papel ondulado medio y la combinación de las flautas. Cabe mencionar que el gramaje es el peso del papel por metro cuadrado ( $\text{g/m}^2$ ). Asimismo, “el gramaje de los papeles, así como la altura de las ondas determinan su consistencia (ECT) y, sobre todo, su resistencia a la compresión vertical (BCT)” (Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón Ondulado, 2007, p. 13).



Los tipos de papel ondulado se diferencian por nomenclaturas internacionales. A continuación, se detallan en la Tabla 1 y en la Figura 5.

**Tabla 1**

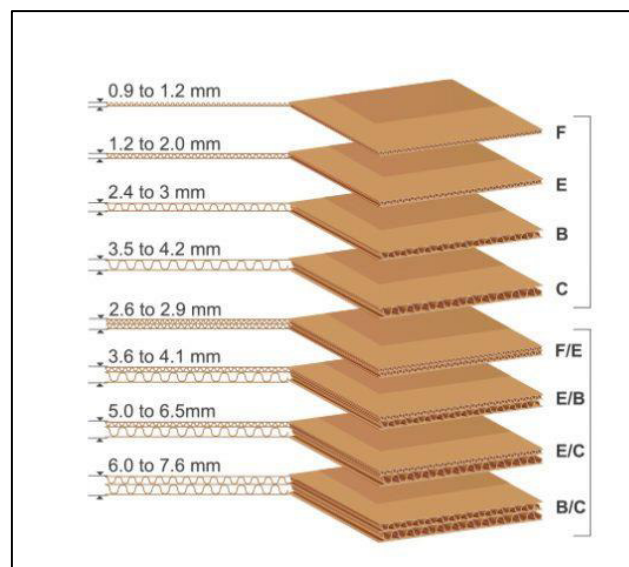
*Tipos de onda*

Onda	Altura de onda (mm)
A	4.2 – 4.8
B	3.5 – 4.2
C	2.6 – 2.9
D	2.0 – 2.6
E	1.2 – 2.0
F	0.9 – 1.2

*Nota.* Trupal S.A. (2022).

**Figura 5**

*Tipos de onda*



*Nota.* Trupal S.A. (2022).

## **2.4. Adhesivo para corrugados**

Es necesario mencionar que un adhesivo se define como “aquella sustancia que aplicada entre las superficies de dos materiales permite una unión resistente a la separación. Denominamos sustratos o adherentes a los materiales que pretendemos unir por mediación del adhesivo. El conjunto de interacciones físicas y químicas que tienen lugar en la interfase adhesivo/adherente recibe el nombre de adhesión” (Madrid, 2017, p.3). Respecto a lo mencionado, el adhesivo cumple con un rol fundamental y necesario en la formación y estructura del cartón corrugado.

Actualmente, se emplean adhesivos acuosos a base de almidón, el insumo en mención cumple con un rol activo en la adhesión y se presenta en forma de gránulos dispersos en agua que, al trabajarlos con elevadas temperaturas, se hinchan y revientan dotándolos de propiedades adhesivas.

## **2.5. Componentes del adhesivo**

El adhesivo regular utilizado en la formación del cartón corrugado, que se usa para unir el papel corrugado con los liners, contiene una mezcla de almidón (en su forma natural o modificada), agua, hidróxido de sodio (también conocido como sosa cáustica) y bórax.

### **2.5.1. Almidón**

Con relación al almidón, este “es un polímero de unidades de glucosa que están enlazadas mediante enlaces alfa-1,4-glicosídicos y alfa-1,6-glicosídicos” (Mann, K.-J., Kozich, M., Grüll, D., y Wastyn, M. M, 2019, p. 2). La fórmula general del almidón es  $(C_6H_{10}O_6)_n$ , donde n tiene los valores desde 250 a más de 1000. Este polímero en particular representa la

principal fuente de almacenamiento de energía en la mayoría de las plantas y se encuentra en abundancia en semillas, raíces y tubérculos, como el maíz, el arroz, el trigo, las papas, la yuca, entre otros. Su tamaño y forma están determinados por el proceso biosintético de la planta y las condiciones físicas que influyen en el entorno del tejido, debido que se sintetizan en las células de cada planta.

Los almidones tienen una amplia gama de aplicaciones en la industria. Algunos de los sectores más significativos que los emplean son la industria papelera, la industria de fabricación de pegamentos o adhesivos, la industria textil, la industria de perforación de pozos (utilizados en lodos de perforación) y la industria de tintes, entre otras. Un aspecto interesante es que, según lo señalado por Balangopalan (1988), en "Almidones de raíces", el almidón derivado de las raíces tiene la capacidad de producir adhesivos con propiedades de fluidez destacadas y una notable resistencia a la tensión.

Con respecto a la composición y estructura del almidón, se diferencia dos fracciones, la cual está constituido por la amilosa y amilopectina. La proporción de ambos polisacáridos varía según la procedencia del almidón, pero por lo general, el contenido de amilosa varía del 20% y de la amilopectina de un 80%.

#### **2.5.1.1. Amilosa y amilopectina**

Por un lado, “la amilosa está compuesta por cadenas prácticamente no ramificadas de unidades de glucosa anhidro (AGU), que están enlazadas preferentemente mediante enlaces alfa-1,4-glicosídicos.” (Mann, K.-J., Kozich, M., Grüll, D., y Wastyn, M. M, 2019, p.2) y su peso molecular promedio es de 50.000.

Asimismo, “la amilopectina está enlazada del mismo modo de numerosas unidades de

glucosa anhidro entre sí, solo que la masa molecular y el número de las ramificaciones son claramente mayores. El grado de ramificación de la amilopectina natural por norma general asciende a aproximadamente el 3-4 %, por consiguiente, de 100 enlaces entre las unidades de glucosa anhidro, 96-97 recaen en enlaces alfa-1,4 y 4-3 en enlaces alfa-1,6” (Mann, K.-J., Kozich, M., Grüll, D., y Wastyn, M. M, 2019, p.2).

Asimismo, los dos polímeros que componen el almidón le proporcionan características particulares, por ejemplo, la tendencia de las moléculas de amilosa para asociarse y cristalizar es alta comparada con la amilopectina. Por un lado, los geles de amilosa son duros debido al enrollamiento de las moléculas de la amilosa lineal; por otro lado, los geles de la amilopectina son suaves debido a las pocas interacciones moleculares propias de la forma ramificada, tal como se aprecia en la Figura 6. En la Tabla 2 se presentan algunas de las características de estos polisacáridos.

**Tabla 2**

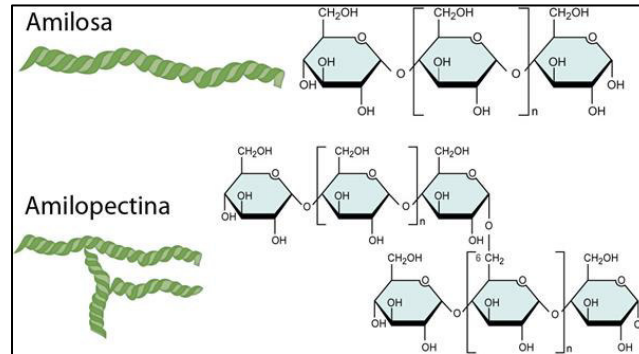
*Propiedades de la amilosa y amilopectina*

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura molecular	Línea alfa 1-4	Ramificada alfa 1-4 y 1-6
Dilución en solución	Inestable	Estable
Geles	Firme e irreversible	Suave y reversible
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable

*Nota.* de La Mora (2019).

**Figura 6**

*Estructura de la amilosa y amilopectina*



*Nota. de La Mora (2019).*

### **2.5.1.2. Hinchazón y solubilidad**

Es el máximo incremento en volúmenes y peso sufrido por el almidón cuando es introducido en agua. La solubilidad es el peso del almidón solubilizado, como resultado directo del hinchamiento de los gránulos hay un incremento de la solubilidad del almidón. Las modificaciones químicas afectan el poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones. También se encuentran diferencias dependiendo de la variedad, factores ambientales y edad de los cultivos.

### **2.5.2. Agua**

El elemento fundamental en la elaboración del adhesivo es el agua. Los niveles de humedad presentes en el adhesivo y el papel tienen un impacto en las características de unión del adhesivo. El agua facilita la disolución y cocción del almidón, asimismo, disminuye la temperatura necesaria para el almidón, regula la viscosidad y posibilita la expansión del almidón.

### **2.5.3. Hidróxido de sodio**

El hidróxido de sodio (NaOH) desempeña un papel crucial en la composición del adhesivo, y sus funciones son las siguientes: inflar los gránulos de almidón sin necesidad de aplicar calor, lo que proporciona viscosidad y consistencia al adhesivo; regular la temperatura de gelatinización del almidón según los requisitos, dependiendo de las cantidades de almidón, agua y sosa presentes; y en combinación con el bórax, contribuye a dar al adhesivo una textura pegajosa, aumentando su viscosidad y capacidad adhesiva.

Por un lado, un exceso de hidróxido de sodio hace que el almidón se vuelva más espeso, lo que resulta en una gelatinización prematura del adhesivo. Cuando se aplica a través de las guías del rodillo corrugador, el adhesivo tiende a volverse excesivamente viscoso. Por otro lado, una deficiencia de hidróxido de sodio provoca que la temperatura de gelatinización del adhesivo sea más alta, lo que requiere reducir la velocidad de la máquina.

### **2.5.4. Bórax**

El bórax es otro componente esencial en la preparación del adhesivo para la fabricación de paños de cartón corrugado debido a que confiere y estabiliza la viscosidad. Cuando se incorpora bórax a una solución de almidón, la viscosidad aumenta en función de la cantidad de bórax agregada. La adición de bórax transforma una solución de almidón de aspecto opaco a una con mayor viscosidad y transparencia generando como resultado un adhesivo con una fuerte capacidad de adherencia. Para ajustar la formulación del adhesivo, el hidróxido de sodio y el bórax deben ser incorporados con precaución para lograr la temperatura deseada, una fuerte adherencia para mantener el cartón unido a altas velocidades, y asegurar que la película de almidón se desarrolle de manera adecuada sin cristalización.

Un uso descontrolado del bórax afecta las propiedades finales del adhesivo; es decir, un exceso de bórax resulta en uniones quebradizas, daño al cartón, reducción de la resistencia al agua; y, además, incrementa la viscosidad del adhesivo a un punto que su manejo se torna difícil.

## **2.6. Parámetros del adhesivo**

Cada uno de los elementos presentes en la composición del adhesivo confiere propiedades particulares, como viscosidad, temperatura de gelatinización y pH. Estos factores deben ser rigurosamente regulados durante la fase de elaboración del adhesivo con el fin de garantizar la homogeneidad del producto adhesivo y, en consecuencia, asegurar la fabricación de cartón corrugado de alta calidad. Asimismo, es de suma importancia mantener un control preciso sobre el contenido de sólidos, porque tanto la viscosidad como la temperatura de gelatinización resultarán afectadas por variaciones en este parámetro.

### **2.6.1. Viscosidad**

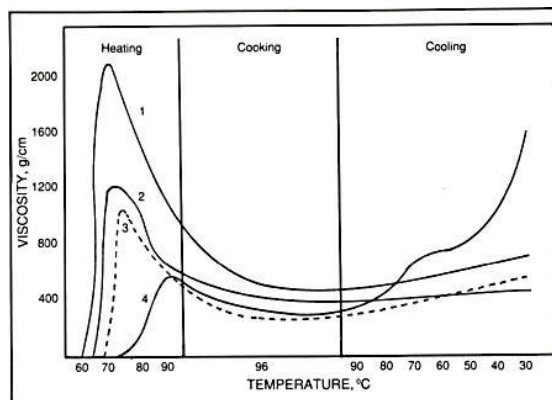
La viscosidad es el factor determinante de las propiedades reológicas del adhesivo, debido a lo mencionado, la preparación del adhesivo requiere una atención meticulosa. La forma más precisa de determinar la viscosidad del adhesivo es empleando la copa Stein Hall, que involucra el tiempo de escurrimiento de un punto a otro determinado. Asimismo, para un correcto control de proceso es determinante realizar un seguimiento de las condiciones de operación estandarizadas, la elección adecuada del tipo de almidón, la regulación de los sólidos presentes, el control de la calidad del agua, la agitación continua, así como la consideración del tiempo y la temperatura de almacenamiento.

Cualquier incremento en la concentración de sólidos en el almidón dará como resultado un aumento en la viscosidad y si una suspensión acuosa de almidón concentrado se calienta por encima de su temperatura de gelatinización, la viscosidad aumenta notoriamente, debido que los gránulos gelatinizados e hinchados rápidamente se liberan hasta que ellos consumen casi toda el agua disponible. Como resultado del alto hinchamiento, los gránulos son susceptibles de romperse fácilmente debido al alto torque de movimiento.

La Figura 7 muestra las variaciones de viscosidad en diferentes almidones (papa, yuca, maíz ceroso y maíz) a lo largo de los procesos de calentamiento, cocción y enfriamiento, utilizando una solución que contiene un 8% de almidón en peso disuelto en agua. Estas soluciones de almidón y agua se someten a agitación y calentamiento a una velocidad de 1,5°C por minuto, asimismo, se mantienen a una temperatura de 95°C durante un período de 60 minutos; y posteriormente, se enfrían hasta alcanzar los 50°C, manteniendo la agitación a una velocidad constante de 1.5°C por minuto.

**Figura 7**

*Curvas de viscosidad de almidones comunes*



*Nota.* De La Mora (2019).



La comparativa de la viscosidad entre los almidones más comúnmente utilizados. A pesar de que los almidones de papa, yuca, maíz ceroso y maíz, se someten a un rango de temperatura que va de 70 a 80°C, cada uno de ellos logra alcanzar niveles de viscosidad distintos. El almidón de papa, por ejemplo, registra una viscosidad superior a 2000 g/cm, mientras que el almidón de tapioca alcanza alrededor de 1200 g/cm, el almidón ceroso se sitúa en torno a los 1000 g/cm y el almidón de maíz llega a uno 600 g/cm. Sin embargo, cuando los almidones de papa, yuca y maíz vuelven a la temperatura ambiente, su viscosidad disminuye gradualmente en un intervalo que va de 400 a 800 g/cm; mientras que el almidón de maíz se eleva hasta alrededor de 1600 g/cm.

### **2.6.2. Temperatura de gelatinización**

Los gránulos de almidón se combinan con agua para formar una solución; no obstante, debido a su estructura organizada por puentes de hidrógeno, estos gránulos son insolubles en agua fría. Para superar esta limitación, se recurre al calentamiento, que descompone la estructura de los gránulos y permite su dispersión en la solución de agua. Este proceso inducido por el calor se conoce como gelatinización.

La temperatura de gelatinización constituye un punto crítico en el desarrollo de las propiedades adhesivas de una solución de almidón. A esta temperatura, los puentes de hidrógeno que mantienen la estructura de los gránulos se descomponen, lo que facilita la interacción de las moléculas con el agua y la desintegración de los gránulos. Este proceso conlleva un incremento significativo en el volumen de los gránulos, que llega a ser hasta 50 veces mayor que su volumen original debido a la absorción de agua. A medida que los gránulos aumentan de tamaño, se observa un aumento en la viscosidad, debido a que se establece un

mayor contacto entre ellos.

Por un lado, es crucial que la gelatinización del almidón ocurra de manera rápida después de la aplicación del adhesivo pues de lo contrario, se produce pérdidas de agua, pérdidas de almidón y separación de los componentes del adhesivo. Estos procesos adversos originan como resultado una unión adhesiva deficiente con presencia de almidón no gelatinizado. Por otro lado, una gelatinización excesivamente rápida resulta en una falta de humectación o penetración suficiente en el papel, lo que genera una película de adhesivo cristalina y superficial.

### **2.6.3. pH**

El valor de pH del almidón representa una propiedad de considerable importancia que no debe pasarse por alto si se busca lograr uniformidad en la solución de almidón. El rango de pH típico para los almidones naturales se sitúa entre 5.0 y 7.0. Un adhesivo de almidón que se ubique dentro de este rango de pH mostrará un comportamiento de dispersión coherente. Cualquier desviación hacia un pH más bajo o más alto tendrá como consecuencia el adelgazamiento de la película del adhesivo aplicado en el material. Cuando el pH es inferior a 5.0, esto podría indicar la presencia de sales ácidas o una posible actividad microbiológica no deseada en la solución. Por otro lado, un pH superior a 7.0 podría sugerir que se han incorporado sales alcalinas con el propósito de facilitar la conversión enzimática.

### **2.6.4. Porcentaje de sólidos**

El porcentaje de sólidos en un adhesivo se refiere a la proporción de la formulación total que está compuesta por componentes no volátiles (o sólidos) después de que el adhesivo ha sido aplicado y los solventes o el agua se han evaporado o eliminado. Este porcentaje es

importante porque afecta directamente las propiedades, el rendimiento del adhesivo, el secado y la resistencia.

Un alto porcentaje de sólidos generalmente significa que hay una mayor cantidad de sustancias no volátiles en la formulación, lo que influye en la viscosidad, la adherencia y otras características del adhesivo. A menudo, los adhesivos con un mayor porcentaje de sólidos se aplican en capas más delgadas, y suelen requerir menos tiempo de secado o curado.

## 2.7. Formulación de adhesivos

En la Tabla 3 se presenta una formulación de adhesivo utilizado en la industria del cartón corrugado.

**Tabla 3**

*Fórmula de adhesivo regular*

Fórmula	Almidón (%)	Agua (%)	NaOH (%)	Bórax (%)
Adhesivo Regular	Primario: 2.96 Secundario: 14.81	81.26	0.56	0.41

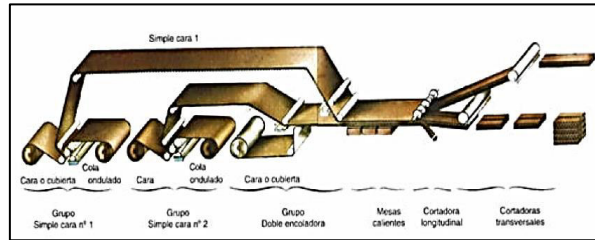
*Nota.* Koebernick, H., Josten, H., Brokjans, S., Westphal, R., y Rebier, J,-M (2000).

## 2.8. Proceso de corrugado

El proceso de corrugado transforma a los papeles en productos resistentes y versátiles para el embalaje (ver Figura 8). Las etapas constan de preparación del sustrato, aplicación de adhesivo, corrugado, secado y enfriamiento, corte y acabado.

**Figura 8**

*Proceso de corrugado*



*Nota. Proceso de corrugado. Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón Ondulado (2007)*

### **2.8.1. Preparación del Sustrato**

El proceso de corrugado comienza con la selección de un sustrato adecuado, generalmente papel o cartón Kraft. Estos materiales se desenrollan a partir de grandes rollos y se someten a una cuidadosa limpieza para eliminar impurezas que puedan afectar la calidad del producto final. La elección del sustrato es crítica porque determinará la resistencia y flexibilidad del material corrugado resultante.

### **2.8.2. Aplicación de Adhesivo**

Una fase esencial en el proceso es la aplicación de adhesivo. Se utiliza un adhesivo específico que está diseñado para unir de manera eficaz las capas del sustrato y mantener las ondulaciones en su lugar. Dicho adhesivo se aplica de forma uniforme sobre el sustrato, asegurando una adhesión efectiva en las etapas posteriores.

### **2.8.3. Corrugado**

La corrugación es la etapa central del proceso de corrugado. El sustrato, impregnado de adhesivo, se alimenta a través de una máquina corrugadora que consta de rodillos onduladores y rodillos de presión. Los rodillos onduladores tienen una forma característica que define el tipo

de ondulación deseada, que varía desde ondas más amplias hasta ondas más estrechas. A medida que el sustrato pasa por estos rodillos, se pliega en las ondulaciones deseadas, y el adhesivo se activa, asegurando que las ondulaciones queden permanentemente unidas al sustrato.

#### **2.8.4. Secado y Enfriamiento**

Tras la corrugación, las láminas corrugadas pasan por una etapa de secado y enfriamiento. Este paso es esencial para fijar las ondulaciones y garantizar la calidad del producto. Las láminas pasan a través de hornos de secado y sistemas de enfriamiento que regulan la temperatura y la humedad, asegurando que las ondulaciones queden en su posición definitiva y el producto quede listo para su siguiente procesamiento.

#### **2.8.5. Corte y Acabado**

Una vez que las láminas corrugadas están secas y enfriadas, se procede al corte y acabado. Estas láminas se cortan a las dimensiones específicas requeridas mediante máquinas de corte automatizadas. Dependiendo de las necesidades del cliente y del uso final del producto, las láminas corrugadas se someten a procesos adicionales, como impresión, laminación o recubrimiento, para mejorar su apariencia y funcionalidad.

### **2.9. Prueba de yodo**

La etapa crucial en la producción de cartón corrugado implica la aplicación de una línea de adhesivo que une ambos tipos de papel. Lograr una distribución uniforme del adhesivo en la capa intermedia es fundamental para garantizar una unión lo suficientemente resistente.

La fuerza de esta unión se debe a la capacidad del almidón para convertirse en adhesivo cuando se calienta. A medida que la línea de adhesivo se seca por completo, los papeles absorbentes se impregnan de la solución de almidón debido a su estructura porosa. El adhesivo

se introduce en los poros por presión y tamaño de poro. Es crucial que la penetración del adhesivo ocurra rápidamente porque el tiempo de contacto con el fluido debajo del rodillo de presión es de aproximadamente 0.03 segundos a la velocidad de operación.

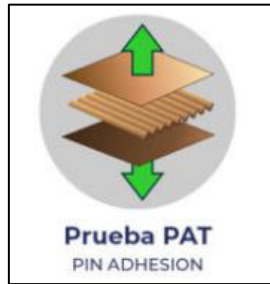
Para evaluar el contenido de almidón en el papel, se utilizan métodos como la tinción con yodo. Este método permite medir la profundidad de la penetración del adhesivo. La amilosa muestra una mayor afinidad por el yodo en comparación con la amilopectina, por lo que el yodo se utiliza para cuantificar los niveles de amilosa; sin embargo, la formación del color azul se ve influida por varios factores, como la temperatura, el pH, la agitación mecánica, la presencia de lípidos y la estructura de la amilopectina. Esto se debe a que las cadenas largas de la amilopectina también forman complejos con el yodo, lo que resulta en una mayor afinidad por el yodo y la aparición de un color azul adicional.

## **2.10. Prueba de adhesión**

La norma TAPPI T821, conocida como "Pin adhesion of corrugated board by selective separation" (PAT), en inglés, o su equivalente en español "Anclaje de adhesión de cartón ondulado por separación selectiva", despliega un procedimiento detallado para evaluar la resistencia de la unión entre los papeles que componen el cartón ondulado (ver Figura 9). Este método no solo se limita a medir la fuerza de adhesión, sino que también permite identificar posibles defectos de fabricación. Asimismo, la prueba PAT se enfoca en aspectos específicos, como la capacidad del adhesivo para penetrar de manera adecuada en el cartón y lograr una unión firme y uniforme entre el papel corrugado y el papel liner. Además, se centra en detectar problemas, como: la adhesión irregular, que podría manifestarse como áreas con una unión más débil.

## Figura 9

### *Prueba PAT*



*Nota.* Inovacor (2023).

Entre los parámetros cruciales que se evalúan durante la prueba se encuentran la calidad y porosidad del papel liner y medium. Estos factores influyen directamente en la capacidad de los papeles para mantener una unión sólida. Además, la aplicación precisa y la fluidez del adhesivo son fundamentales para asegurar un contacto efectivo entre los componentes del cartón.

La información detallada de la prueba PAT, proporciona a los fabricantes de cartón ondulado una herramienta valiosa para evaluar y mejorar la calidad de sus productos, así como para identificar y corregir posibles problemas de fabricación que podrían afectar la resistencia y durabilidad del cartón ondulado y sus aplicaciones finales, como los empaques.

### **2.11. Paños despegados**

El defecto de despegado de paños en el cartón corrugado es una problemática común que afecta la calidad y la integridad estructural de los envases y embalajes. Este fenómeno ocurre cuando las capas de cartón, ya sea la capa interior, la flauta o la capa exterior, se separan, comprometiendo la resistencia y la funcionalidad del material. Los factores que contribuye significativamente en la inadecuada adherencia entre las capas durante el proceso de fabricación

son: el alto punto gel del adhesivo, la inadecuada viscosidad del adhesivo, falta de presión del rodillo de presión y la incorrecta cantidad de soda caustica y/o bórax en la composición del adhesivo.

### **3. METODOLOGÍA**

Se prepara batches de adhesivo, con un peso de 570 kg, que contiene como insumo fundamental el almidón de yuca, se realiza la medición del porcentaje de sólidos y viscosidad de este. Luego el adhesivo preparado ingresa al proceso de corrugado mediante un tanque recolector y el rodillo engomador inyecta adhesivo para que se realice el pegado de la onda con el liner interno. Una vez formado la cara simple (onda y liner interno), se procede a unir con el liner externo mediante la aplicación de otro rodillo engomador. Inmediatamente, el paño de cartón corrugado se somete a un proceso térmico en la mesa secado. Finalizando con el proceso de corrugado, se procede a muestrear los paños de cartón corrugado en todo el perfil (mando, centro y transmisión).

En base a la norma TAPPI T402 Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products, las muestras se ambientaron 24 horas a 23°C y 50% de humedad relativa debido a que las condiciones tienen un efecto significativo en las propiedades físicas del papel y cartón. Además, las probetas no deben ser cortadas de áreas dañadas para evitar resultados erróneos.

#### **3.1 Equipos utilizados**

- Dispositivo de compresión REGMED
- Copa Stein Hall
- Cronómetro



- Termómetro Digital
- Refractómetro
- pH-metro
- Gotero
- Aditamentos de adhesión

### 3.2 Preparación de goma

La preparación de la goma se realiza en base al “Manual de Elaboración de cartón corrugado”, y en conjunto con la formulación detallada en el ítem 2.7.

1. Verificar el pH y temperatura del agua que ingresará en la preparación de la goma (Ver Figura 10). Los parámetros en mención son medidos a través de la ayuda de un pH-metro y un termómetro digital. Para fines de la preparación del adhesivo, se establece que el pH del agua va desde los 6.5 a 7.5; mientras que la temperatura del agua va desde los 38°C a 45°C.

**Figura 10**

*Medición de pH*



*Nota.* Elaboración propia.

2. Con la ayuda del panel de control se configura la máquina de preparación según las cantidades de la fórmula establecido en el punto 2.7 (ver Figura 11). Se ingresa la fórmula del adhesivo y se selecciona las variables a cambiar (ver Figura 12).

**Figura 11**

*Panel de control de la máquina de preparación del adhesivo*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 12**

*Ingreso de formulación del adhesivo*



*Nota. Elaboración propia.*

3. Se alimenta los materiales (almidón, agua, soda, bórax), según los pesos establecidos de la formula a trabajar (ver Figura 13). Los pesos son controlados a través de los visores del tanque de preparación.

**Figura 13**

*Alimentación de insumos del adhesivo*



*Nota.* Elaboración propia.

4. Bombear la goma prepara al tanque de almacenamiento para introducir e inyectar la goma en el proceso de corrugado (ver Figura 14).

**Figura 14**

*Tanque de almacenamiento del adhesivo*

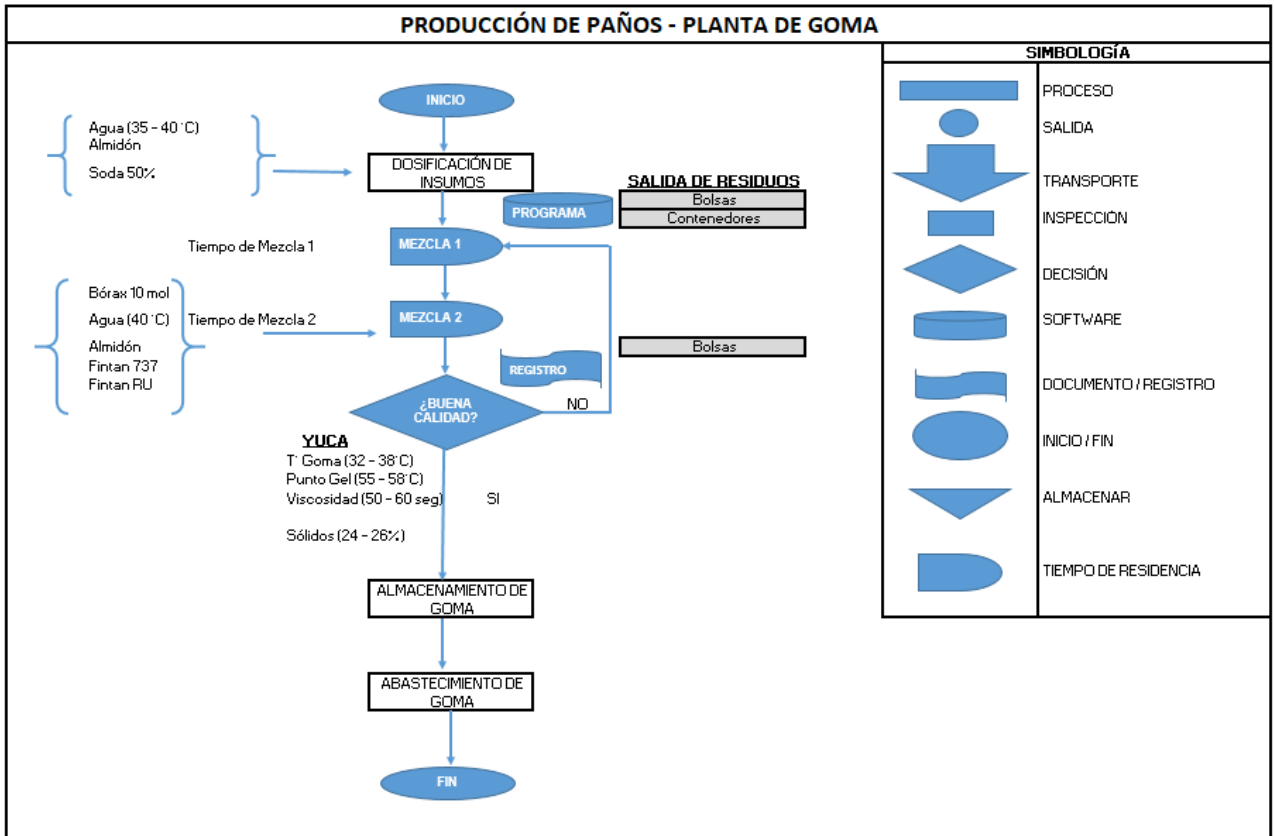


*Nota.* Elaboración propia.

La preparación de la goma se realiza por batch (proceso de producción discontinuo) que consiste en una serie de pasos detallados en la Figura 15. La goma preparada debe cumplir con los parámetros de calidad establecidos en el presente diagrama. Al cumplir los estándares, la goma es conducida a los tanques de almacenamiento donde serán añadidos en el proceso de corrugado.

**Figura 15**

*Diagrama de bloques de la producción de adhesivo*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.3 Medición del porcentaje de sólidos

La determinación del porcentaje de sólidos de goma se realiza utilizando el refractómetro, esta medición se basa en el principio de refractometría.

1. Emplear un vaso precipitado para realizar la toma de muestra.
2. Con la ayuda de un gotero, verter una gota de la muestra en el refractómetro (Figura 16)

**Figura 16**

*Medición del porcentaje de sólidos en el refractómetro*

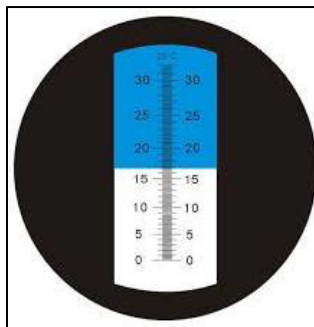


*Nota.* Elaboración propia.

3. Tomar la lectura en el visor del refractómetro (ver Figura 17).

**Figura 17**

*Lectura del visor del refractómetro*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.4 Medición de viscosidad del adhesivo

La determinación de la viscosidad de la goma se realiza utilizando la copa Stein Hall, los pasos se detallan a continuación:

1. Tomar la muestra en el tanque de preparación del adhesivo.
2. Llenar la copa Stein Hall con goma (ver Figura 18), empleando un cernidor para evitar la presencia de grumos que puedan afectar la lectura (ver Figura 19).

**Figura 18**

*Copa Stein Hall*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 19**

*El cernidor*



*Nota.* Elaboración propia.

3. Emplear un cronómetro para tomar el tiempo (en segundos) que demora en evacuar la goma por el agujero ubicado en la base de la copa, desde la marca superior hasta la marca inferior (ver Figura 20).

**Figura 20**

*Medición de viscosidad*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.5 Medición de temperatura de gelatinización del adhesivo**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, embeben agua de manera reversible; es decir, se hinchan ligeramente con el agua y volver luego al tamaño original al secarse; sin embargo, cuando se calientan en agua, los gránulos de almidón sufren el proceso denominado gelatinización, que es la disrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos. Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, la gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan.

1. Tomar una muestra de goma empleando un vaso precipitado y llevarlo a baño maría.
2. Agitar constantemente la muestra empleando un termómetro durante todo el momento y verificar contantemente el incremento de temperatura (ver Figura 21).
3. Agitar hasta que la goma adquiera una consistencia gelatinosa y que la temperatura se estabilice durante un instante. En ese instante se ha alcanzado el punto gel.

**Figura 21**

*Instrumentos de medición de la temperatura de gelatinización*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.6 Medición de aplicación de adhesivo**

El principio se basa en determinar la presencia de almidón en la goma. El almidón, consta de dos componentes, la amilosa y la amilopectina. La amilosa da un color azul intenso con el yodo, debido a la capacidad del halógeno para ocupar una posición en el interior de la espiral helicoidal de las unidades de glucosa, que forman la amilosa en suspensión acuosa; la amilopectina produce un color púrpura rojizo con el yodo, prevaleciendo el color azul de la amilosa; con lo cual se cuantifica la aplicación de la línea de goma en los componentes del cartón, y además, ver la continua y homogénea aplicación de la goma durante el proceso de producción de paños.

1. Cortar probetas del lado mando, centro y transmisión de la máquina con la ayuda de



una cuchilla. Estas muestras deben ser cogidas de la máquina mientras se encuentra en condiciones estándares de proceso y velocidad promedio.

2. Cortar probetas de 150 cm como máximo (en la dirección transversal máquina), y de largo (dirección máquina), igual al paño o como máximo de 180 cm. En el caso que se procese un solo paño en todo el perfil debe obtenerse probetas de largo máximo de 180 cm.
3. Sumergir la muestra en la bandeja con agua, introduciendo primero uno de los lados con corte transversal al sentido de la onda, con el fin de expulsar el aire mientras se introduce lentamente la muestra en el agua (ver Figura 22).

**Figura 22**

*Muestra sumergida en bandeja de agua*



*Nota.* Elaboración propia.

4. Esperar aproximadamente 10 minutos para conseguir la separación de los componentes del cartón. Las muestras con adhesivo con propiedades resistente a la humedad necesitan

mayor tiempo para la separación de los componentes (ver Figura 23).

**Figura 23**

*Separación de los componentes del paño de cartón corrugado*



*Nota. Elaboración propia.*

5. Colgar los papeles separados en parante de la bandeja (ver Figura 24).

**Figura 24**

*Componentes colgados*



*Nota. Elaboración propia.*

6. Aplicar con un pulverizador una solución de Yodo/Agua al 30/70 en la cara de cada componente del cartón que está en contacto con la goma y esperar aproximadamente 3

min. Las líneas con goma realzaran por el Yodo (ver Figura 25).

### **Figura 25**

#### *Aplicación de yodo*



*Nota.* Elaboración propia.

7. Controlar que la aplicación de la goma sea uniforme e ininterrumpida y verificar en un área bien iluminada y con la plantilla el espesor de la línea de goma (ver Figura 26):

- Cartones Industrial: 0.050” – 0.070” o 1.2 mm – 1.8 mm;
- Cartones Agroindustriales: 0.080” – 0.110” o 2.0 mm – 2.8 mm.

### **Figura 26**

#### *Aplicación de adhesivo*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.7 Medición PAT

La evaluación se realiza con el equipo Resistencia a la Compresión Regmed y con base a la norma TAPPI T821.

1. Para paños de cartón corrugado de “flauta B” y “flauta C” se cortan 2 probetas por paño obteniéndose 6 probetas en todo el perfil (mando – centro – transmisión). Para los paños de “flauta B” se cortan las probetas de 3.2 cm en la dirección paralela a las ondas y de 10.0 cm en la dirección perpendicular a las ondas. Para los paños de “flauta C” se cortan las probetas de 5.0 cm en la dirección paralela a las ondas y de 15.0 cm en la dirección perpendicular a las ondas.
2. Con el objetivo de lograr la separación entre el liner y medium se requiere el aditamento de adhesión por pines para onda C y B para la evaluación de anclaje de adhesivo (ver Figura 27 y Figura 28), en el cual se coloca la probeta de cartón corrugado previamente cortada.

**Figura 27**  
Aditamento para la onda B



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 28**

*Aditamento para la onda C*



*Nota.* Elaboración propia.

3. Posteriormente, insertar los aditamentos de presión entre el liner de evaluación y la onda o para separar hacia abajo el liner cuando la probeta esté bajo presión. Consiguiente a ello, introducir en el centro del equipo de medición de compresión REGMED, el ensamblaje del aditamento con la probeta para la evaluación de anclaje de adhesivo.
4. El equipo REGMED aplicará una presión a velocidad constante hasta separar el papel liner de la onda.
5. Para finalizar, el equipo proporcionara los resultados en las unidades Kgf.

## **4. RESULTADOS**

Las pruebas mencionadas en la metodología se llevaron a cabo en los paños de cartón corrugado obtenidos del proceso industrial. El proceso de evaluación inicia con la preparación del adhesivo, que implica la combinación de almidón de yuca, soda cáustica, bórax y agua en el tanque de preparación. Una vez completada la elaboración del adhesivo, se procede a medir variables críticas como el porcentaje de sólidos, la temperatura de gelatinización y la viscosidad. Este adhesivo se incorpora a los papeles durante el proceso de corrugado para dar forma al paño de cartón corrugado y se mide la aplicación del adhesivo a través de las pruebas de yodo.

Adicionalmente, mediante la evaluación de la prueba PAT y cortes de probetas, es posible examinar la resistencia de la unión entre los distintos papeles, analizar cómo el adhesivo se ancla en las fibras y estudiar la línea de adhesivo aplicada en el proceso de formación de los paños de cartón corrugado.

### **4.1. Preparación de goma**

Se realizó el cálculo de la cantidad de los insumos utilizados en la preparación del batch del adhesivo añadidos a los lotes de producción de paños de cartón corrugado en los distintos lotes de producción los cuales son identificados como paños con numeración desde el número 1 al 15.

#### **4.1.1. Onda EB**

Los consumos de los insumos utilizados para la formación del adhesivo para la onda tipo EB se detallan en Tabla 4. Cabe resaltar que el mismo tipo de goma es añadido a las distintas combinaciones de papel, las cuales poseen nomenclaturas de reconocimiento. Como

manera de ejemplo, para el paño 1 de onda B956EB-3, se utilizó 827.83 kg de almidón, 27.84 kg de soda cáustica, 10.39 kg de bórax y 1165.07 kg de agua, dando un total de 2031.14 kg de adhesivo añadido al proceso de corrugado del paño 1.

**Tabla 4**  
*Insumos consumidos en la elaboración del adhesivo*

Paño	Onda	Insumos				
		Almidón de yuca (kg)	Soda cáustica (kg)	Bórax (kg)	Agua (kg)	Total (kg)
1	B956EB-3	827.83	27.84	10.39	1165.07	2031.14
2	B956EB-3	716.35	24.09	8.99	1008.18	1757.61
3	B1103EB-3	188.06	6.32	2.36	264.68	461.43
4	B1103EB-3	209.90	7.06	2.64	295.41	515.01
5	B1103EB-3	357.06	12.01	4.48	502.52	876.07
6	B1103EB-3	429.32	14.44	5.39	604.22	1053.37
7	B1103EB-3	1124.49	37.82	14.12	1582.59	2759.02
8	1104EB-3	730.19	24.56	9.17	1027.66	1791.57
9	1104EB-3	401.51	13.50	5.04	565.08	985.14
10	B958EB-3	941.94	31.68	11.83	1325.67	2311.13
11	B958EB-3	453.65	15.26	5.70	638.45	1113.05
12	1106EB-3	612.90	20.61	7.70	862.58	1503.79
13	B956EB-3	438.75	14.76	5.51	617.49	1076.51
14	B958EB-3	1032.17	34.71	12.96	1452.66	2532.51
15	914EB	17.66	0.59	0.22	24.86	43.34

#### 4.1.2. Onda BC

Los consumos de los insumos utilizados para la formación del adhesivo para la onda tipo EB se detallan en la siguiente Tabla 5. Cabe resaltar que el mismo tipo de goma es añadido a las distintas combinaciones de papel, las cuales poseen nomenclaturas de reconocimiento. Como manera de ejemplo, para el paño 1 de onda 967BC-3, se utilizó 20.54 kg de almidón, 0.69 kg de soda cáustica, 0.26 kg de bórax y 28.91 kg de agua, dando un total de 50.39 kg de adhesivo añadido al proceso de corrugado del paño 1.

**Tabla 5**  
*Insumos consumidos en la elaboración del adhesivo*

Probeta	Onda	Insumos				Total (g)
		Almidón de yuca (g)	Soda cáustica (g)	Bórax (g)	Agua (g)	
1	967BC-3	20.54	0.69	0.26	28.91	50.39
2	964BC	886.33	29.81	11.13	1247.41	2174.68
3	B974BC-3	2256.46	75.89	28.33	3175.69	5536.37
4	966BC-3	495.47	16.66	6.22	697.32	1215.67
5	966BC-3	1134.18	38.15	14.24	1596.23	2782.80
6	928BC-3	1557.92	52.40	19.56	2192.59	3822.48
7	B957BC-3	793.64	26.69	9.97	1116.96	1947.26
8	964BC	239.86	8.07	3.01	337.58	588.53
9	964BC	137.12	4.61	1.72	192.98	336.43
10	B971BC-3	355.87	11.97	4.47	500.85	873.15
11	A1103BC	1053.82	35.44	13.23	1483.13	2585.63
12	A1103BC	1011.65	34.02	12.70	1423.77	2482.15
13	B957BC-3	1386.27	46.62	17.41	1951.01	3401.32
14	B957BC-3	418.31	14.07	5.25	588.72	1026.35
15	928BC-3	2137.23	71.88	26.84	3007.90	5243.85

#### 4.2. Parámetros de medición de calidad del adhesivo

Se realizó la medición de los parámetros de calidad del adhesivo preparado, los cuales involucran la viscosidad, el porcentaje de sólidos y la temperatura de gelatinización. Estos parámetros son medidos por cada preparación de batch, con un promedio de 5 a 6 mediciones por turno. Los datos se detallan en la Tabla 6.

La variación de la toma de muestra de los parámetros de medición de la calidad del adhesivo, tales como la viscosidad, temperatura de gelatinización y porcentaje de sólidos se detallan en las figuras 29, 31 y 33 respectivamente. Asimismo, la distribución de los datos obtenidos se muestra en las figuras 30, 32 y 34 respectivamente.

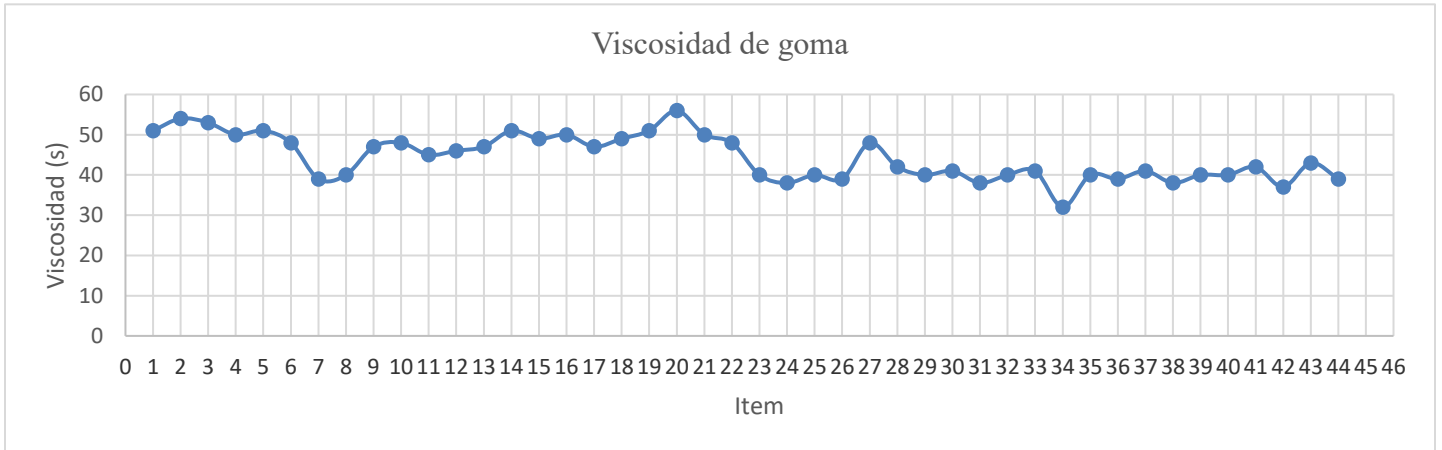


**Tabla 6**  
*Parámetros de medición de calidad del adhesivo*

Parámetros del adhesivo							
Ítem	Fecha	Turno	Hora	Onda	Viscosidad (s)	%Sólidos	T. Gel (°C)
1	30/11/2021	Mañana	07:30	1104EB	51	24.1	57.7
2	30/11/2021	Mañana	09:30	B956EB	54	26.0	57.4
3	30/11/2021	Mañana	11:30	121B	53	24.2	55.5
4	30/11/2021	Mañana	13:30	811C	50	24.9	55.9
5	30/11/2021	Mañana	15:30	811C	51	25.7	57.3
6	30/11/2021	Mañana	17:40	615C	48	24.4	55.5
7	30/11/2021	Noche	19:00	615C	39	24.3	56.3
8	30/11/2021	Noche	21:00	615C	40	24.6	57.6
9	30/11/2021	Noche	00:00	121B	47	24.4	55.9
10	30/11/2021	Noche	02:00	511C	48	25.3	56.2
11	30/11/2021	Noche	04:00	914EB	45	24.3	56.4
12	1/12/2021	Mañana	07:30	B1104EB	46	25.8	56.5
13	1/12/2021	Mañana	09:40	121B	47	25.7	57.8
14	1/12/2021	Mañana	11:30	964BC	51	24.4	57.7
15	1/12/2021	Mañana	13:40	961BC	49	25.2	56.7
16	1/12/2021	Mañana	15:30	961BC	50	25.9	56.5
17	1/12/2021	Mañana	17:40	961BC	47	25.3	56.4
18	1/12/2021	Noche	18:50	961BC	49	25.7	57.6
19	1/12/2021	Noche	21:30	615C	51	25.5	57.9
20	1/12/2021	Noche	00:00	A1103BC	56	25.3	57.3
21	1/12/2021	Noche	02:00	801C	50	24.6	56.8
22	1/12/2021	Noche	04:00	801C	48	25.5	56.5
23	2/12/2021	Mañana	06:40	B1103EB	40	25.5	57.3
24	2/12/2021	Mañana	10:30	B1103EB	38	25.9	56.9
25	2/12/2021	Mañana	12:10	B957EB	40	25.9	57.2
26	2/12/2021	Mañana	14:40	121B	39	25.9	57.4
27	2/12/2021	Mañana	16:35	AB957BC	48	24.1	55.8
28	2/12/2021	Noche	19:30	411C	42	25.1	55.9
29	2/12/2021	Noche	21:40	411C	40	24.7	56.6
30	2/12/2021	Noche	23:40	411C	41	25.8	56.6
31	2/12/2021	Noche	01:30	B957EC	38	25.7	55.2
32	2/12/2021	Noche	03:40	B957EC	40	25.0	57.4
33	2/12/2021	Noche	06:00	411B	41	24.9	56.1
34	3/12/2021	Mañana	06:50	121B	32	24.5	57.1
35	3/12/2021	Mañana	08:40	B1104EB	40	25.6	55.3
36	3/12/2021	Mañana	10:55	B1104EB	39	24.2	55
37	3/12/2021	Mañana	12:30	B1103EB	41	26.0	55
38	3/12/2021	Mañana	14:30	511B	38	24.8	56.6
39	3/12/2021	Mañana	16:40	801C	40	25.2	57.9
40	3/12/2021	Noche	22:00	801C	40	24.8	55.2
41	3/12/2021	Noche	00:00	961BC	42	25.6	57
42	3/12/2021	Noche	02:00	928BC	37	25.4	56.1
43	3/12/2021	Noche	04:00	A964BC	43	25.3	55.6
44	3/12/2021	Noche	06:00	121B	39	25.5	57.1

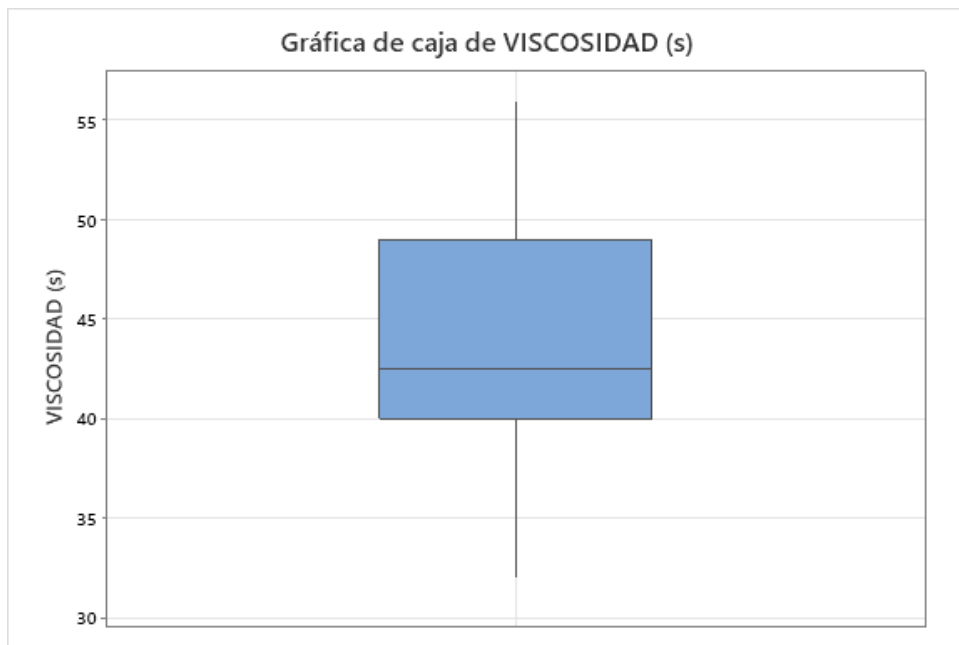
**Figura 29**

*Viscosidad de la goma*



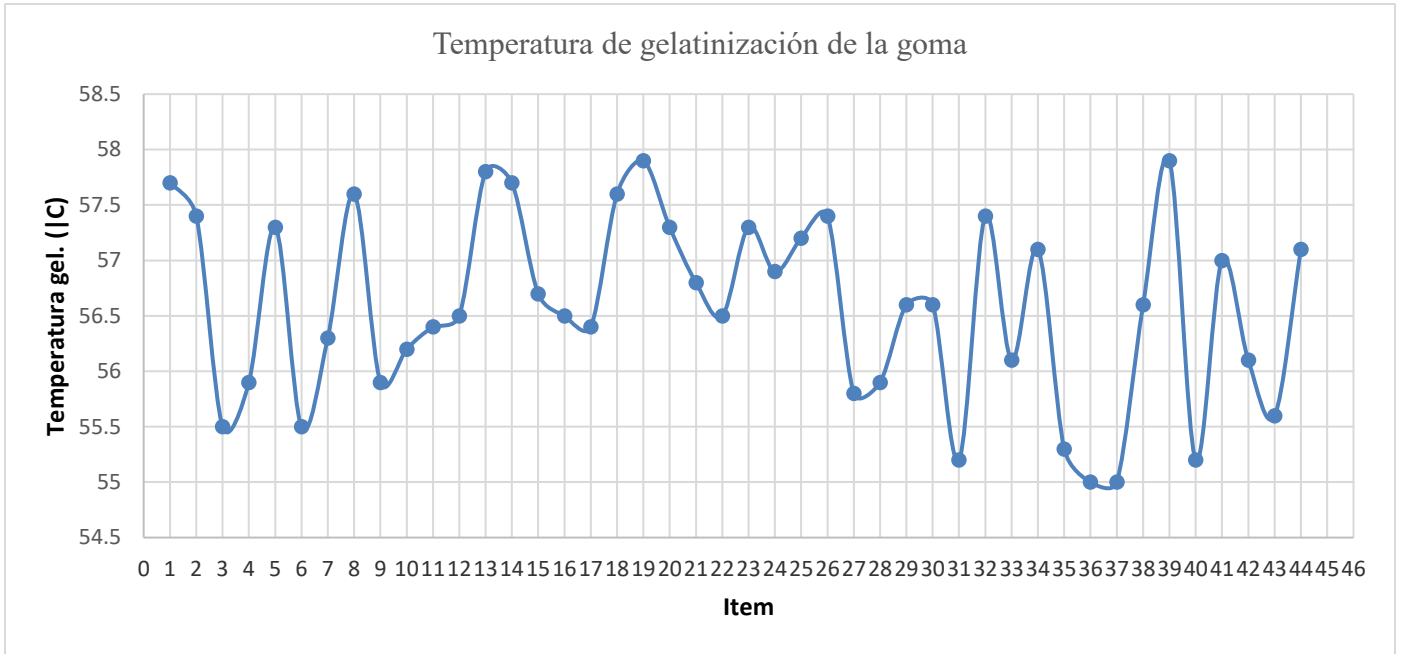
**Figura 30**

*Gráfico de caja de Viscosidad*



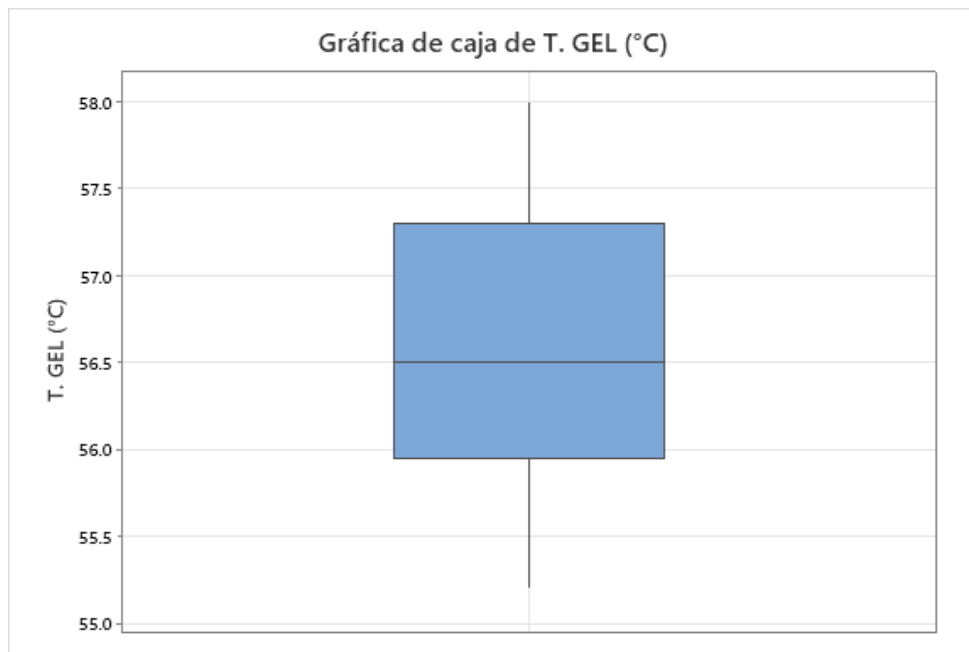
**Figura 31**

*Temperatura de gelatinización de la goma*



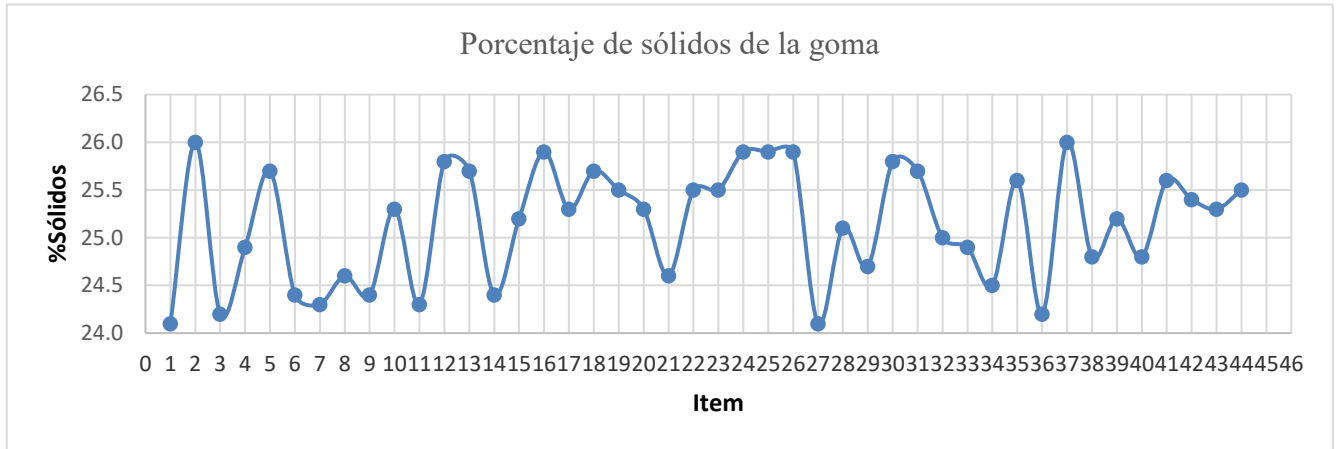
**Figura 32**

*Gráfica de caja de Temperatura de gelatinización*



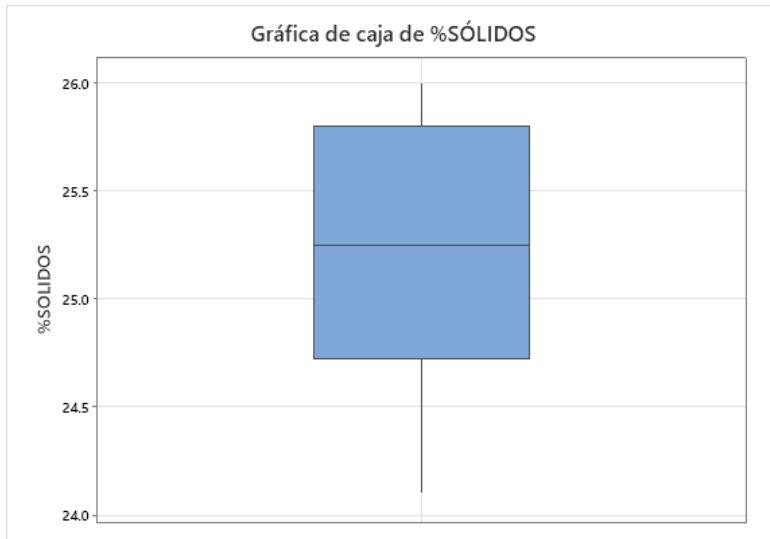
**Figura 33**

*Porcentaje de sólidos de la goma*



**Figura 34**

*Gráfico de caja de % de sólidos*



### 4.3. Prueba de aplicación del adhesivo

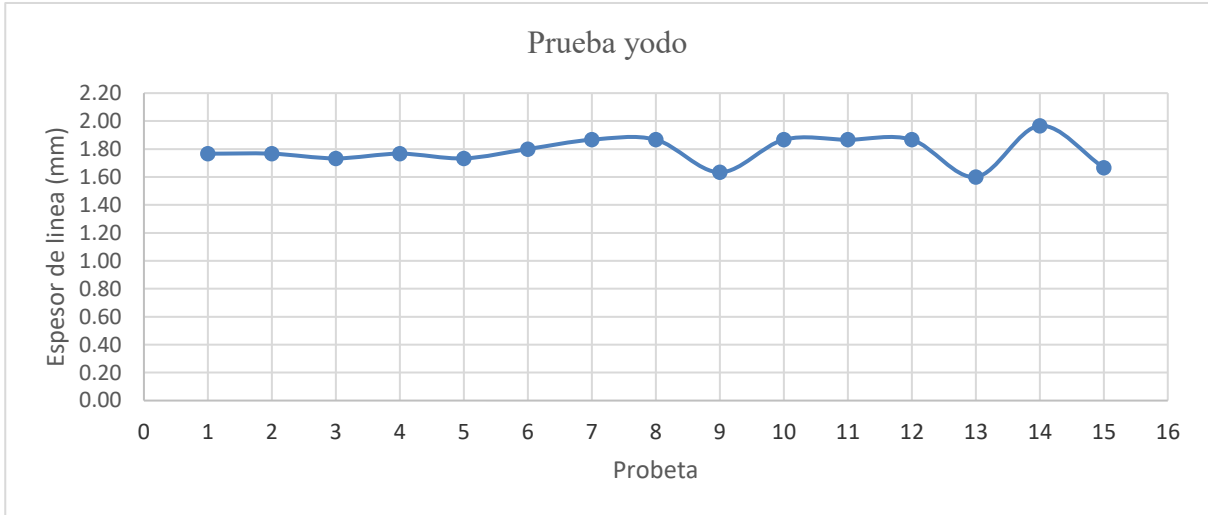
#### 4.3.1. Onda EB

Se realizó la medición la medición de la aplicación del adhesivo de los liners internos y externos con el papel ondeado, los resultados se detallan en la Tabla 7 y Tabla 8. La variación de la toma de datos de las pruebas de yodo se muestra en la figura 35 y figura 36. Asimismo, la variabilidad de la distribución de los datos es representados en la figura 37.

**Tabla 7**

*Prueba yodo para la onda EB – Liner interno*

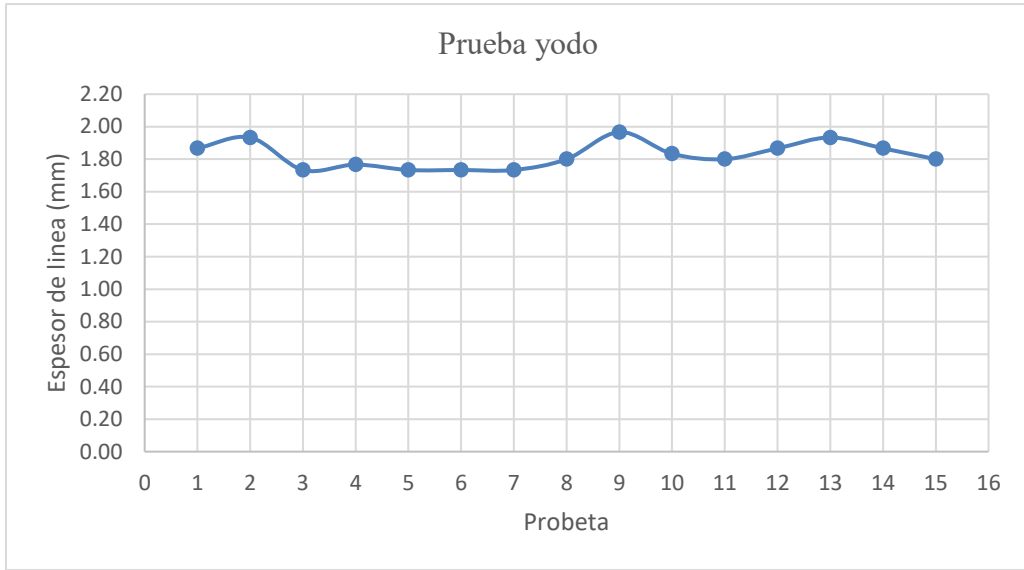
Probeta	Onda	Liner	Yodo: Onda B			Promedio
			Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	
1	B956EB-3	Interno	1.7	1.7	1.7	1.70
2	B956EB-3	Interno	1.7	1.8	1.8	1.77
3	B1103EB-3	Interno	1.8	1.8	1.7	1.77
4	B1103EB-3	Interno	1.8	1.8	1.8	1.80
5	B1103EB-3	Interno	1.8	1.7	1.8	1.77
6	B1103EB-3	Interno	1.8	1.8	1.8	1.80
7	B1103EB-3	Interno	2.0	1.8	1.9	1.90
8	1104EB-3	Interno	2.0	1.9	2.0	1.97
9	1104EB-3	Interno	1.7	1.6	1.6	1.63
10	B958EB-3	Interno	1.8	1.9	1.9	1.87
11	B958EB-3	Interno	1.8	1.8	1.9	1.83
12	1106EB-3	Interno	2.0	1.8	1.8	1.87
13	B956EB-3	Interno	1.6	1.6	1.6	1.60
14	B958EB-3	Interno	1.8	1.9	1.8	1.83
15	914EB	Interno	1.7	1.6	1.7	1.67

**Figura 35***Prueba yodo para la inda EB – Liner interno***Tabla 8***Prueba yodo para la onda EB – Liner externo*

Probeta	Onda	Liner	Yodo: Onda b			Promedio
			Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	
1	B956EB-3	Externo	1.80	2.00	2.00	1.93
2	B956EB-3	Externo	1.90	2.00	1.90	1.93
3	B1103EB-3	Externo	1.80	1.70	1.70	1.73
4	B1103EB-3	Externo	1.70	1.80	1.80	1.77
5	B1103EB-3	Externo	1.80	1.80	1.70	1.77
6	B1103EB-3	Externo	1.70	1.70	1.80	1.73
7	B1103EB-3	Externo	1.70	1.70	1.80	1.73
8	1104EB-3	Externo	1.70	1.80	1.70	1.73
9	1104EB-3	Externo	1.90	1.90	1.80	1.87
10	B958EB-3	Externo	1.90	1.90	1.80	1.87
11	B958EB-3	Externo	1.80	1.80	1.90	1.83
12	1106EB-3	Externo	2.00	1.90	1.90	1.93
13	B956EB-3	Externo	1.90	2.00	1.90	1.93
14	B958EB-3	Externo	2.00	2.00	1.90	1.97
15	914EB	Externo	1.70	1.80	1.70	1.73

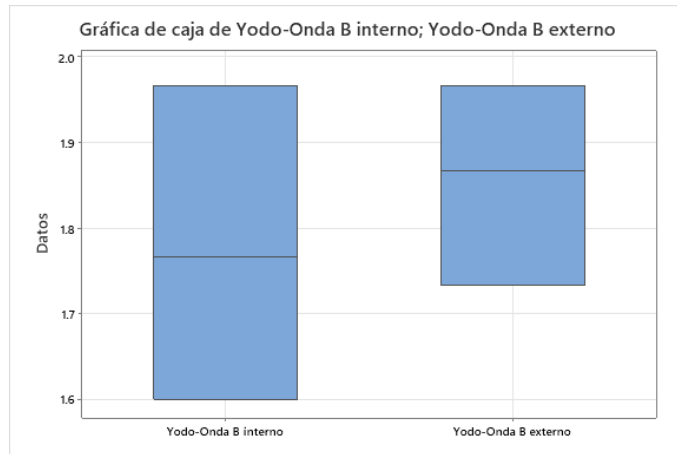
**Figura 36**

*Prueba yodo para la onda EB – Liner externo*



**Figura 37**

*Prueba yodo de la onda EB – interno y externo*



### 4.3.2. Onda BC

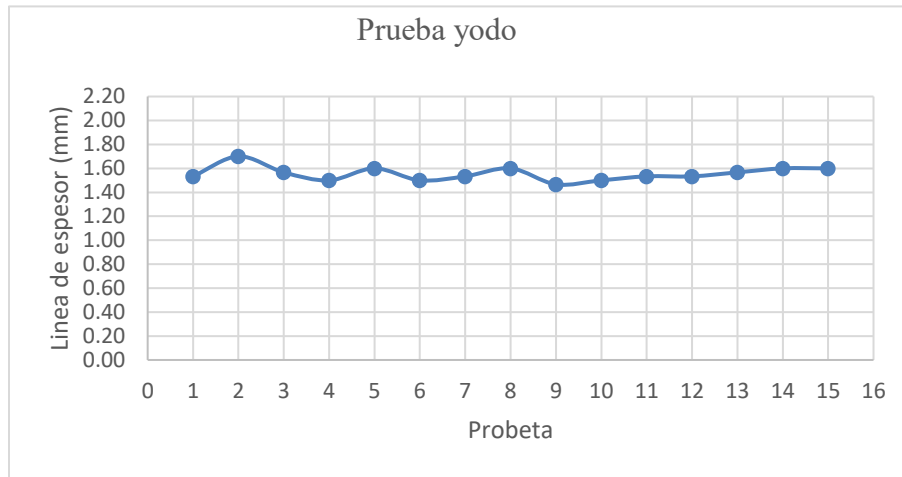
Se realizó la medición de la aplicación del adhesivo para la onda B de los liners internos y externos con el papel ondeado, los resultados se detallan en la Tabla 9 y Tabla 10. La variación de las pruebas yodo se muestran en el Figura 38 y Figura 39. Asimismo, para la onda tipo C los resultados se detallan en la Tabla 11 y Tabla 12. La variación de las pruebas yodo se muestran en el Figura 40 y Figura 41. En adición a lo mencionado, se incluye la distribución de los datos son representados en la Figura 42.

**Tabla 9**

*Prueba yodo para la onda BC (onda B) – Liner interno*

Probeta	Onda	Yodo: Onda B				Promedio
		Liner	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	
1	967BC-3	Interno	1.7	1.4	1.5	1.53
2	964BC	Interno	1.7	1.7	1.7	1.70
3	B974BC-3	Interno	1.4	1.7	1.6	1.57
4	966BC-3	Interno	1.5	1.6	1.4	1.50
5	966BC-3	Interno	1.7	1.6	1.5	1.60
6	928BC-3	Interno	1.5	1.6	1.4	1.50
7	B957BC-3	Interno	1.6	1.5	1.5	1.53
8	964BC	Interno	1.6	1.5	1.7	1.60
9	964BC	Interno	1.4	1.5	1.5	1.47
10	B971BC-3	Interno	1.4	1.4	1.7	1.50
11	A1103BC	Interno	1.5	1.6	1.5	1.53
12	A1103BC	Interno	1.5	1.5	1.6	1.53
13	B957BC-3	Interno	1.4	1.6	1.7	1.57
14	B957BC-3	Interno	1.5	1.6	1.7	1.60
15	928BC-3	Interno	1.5	1.6	1.7	1.60

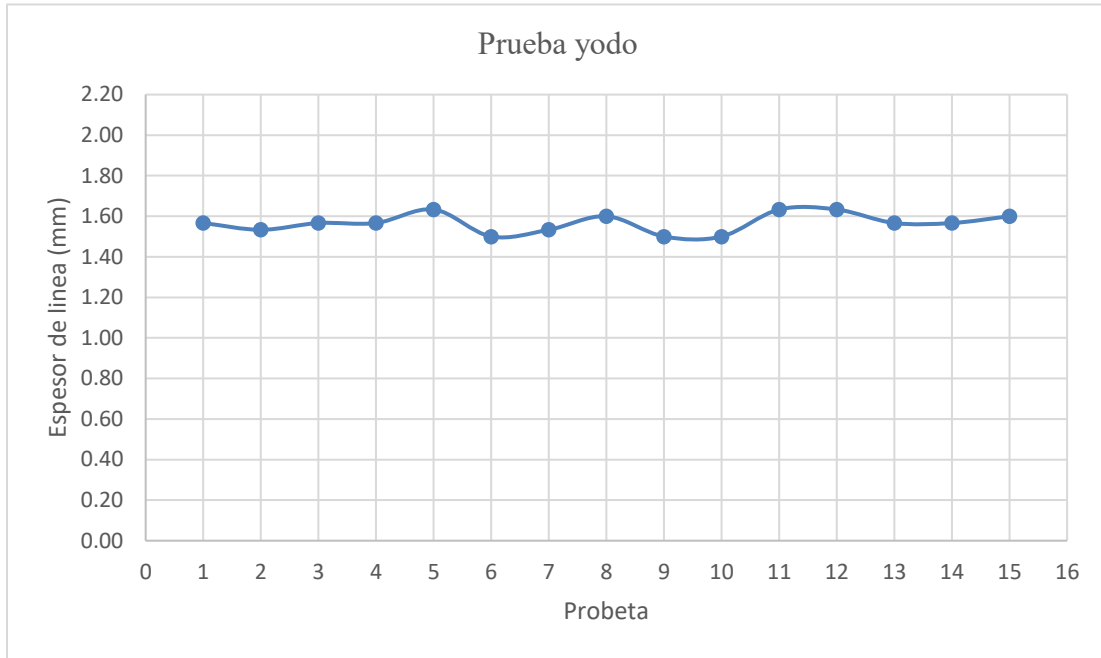


**Figura 38***Prueba yodo para la onda BC (onda B) – Liner interno***Tabla 10***Prueba yodo para la onda BC (onda B) – Liner externo*

Probeta	Onda	Yodo: Onda B				Promedio
		Liner	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	
1	967BC-3	Externo	1.6	1.5	1.6	1.57
2	964BC	Externo	1.4	1.7	1.5	1.53
3	B974BC-3	Externo	1.4	1.7	1.6	1.57
4	966BC-3	Externo	1.6	1.4	1.7	1.57
5	966BC-3	Externo	1.6	1.7	1.6	1.63
6	928BC-3	Externo	1.4	1.7	1.4	1.50
7	B957BC-3	Externo	1.5	1.5	1.6	1.53
8	964BC	Externo	1.6	1.7	1.5	1.60
9	964BC	Externo	1.5	1.4	1.6	1.50
10	B971BC-3	Externo	1.5	1.6	1.4	1.50
11	A1103BC	Externo	1.6	1.6	1.7	1.63
12	A1103BC	Externo	1.6	1.6	1.7	1.63
13	B957BC-3	Externo	1.5	1.5	1.7	1.57
14	B957BC-3	Externo	1.5	1.6	1.6	1.57
15	928BC-3	Externo	1.6	1.6	1.6	1.60

**Figura 39**

*Prueba yodo para la onda BC (onda B) – Liner externo*



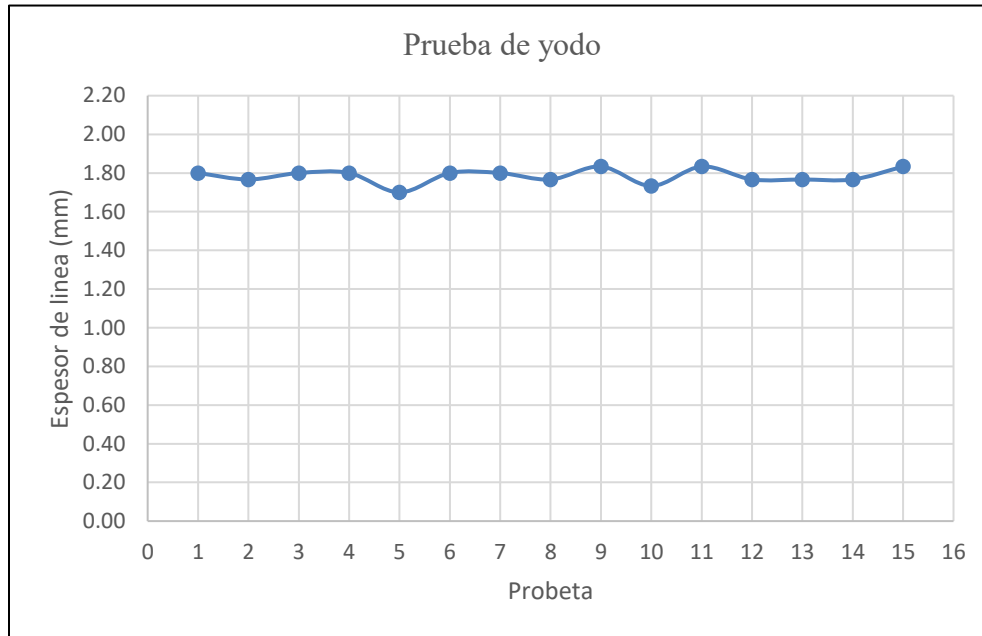
**Tabla 11**

*Prueba yodo para la onda BC (onda C) – Liner interno*

Probeta	Onda	Liner	Yodo: Onda C			Promedio
			Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	
1	967BC-3	Interno	1.7	1.9	1.8	1.80
2	964BC	Interno	1.7	1.8	1.8	1.77
3	B974BC-3	Interno	1.8	1.8	1.8	1.80
4	966BC-3	Interno	1.7	1.8	1.9	1.80
5	966BC-3	Interno	1.7	1.7	1.7	1.70
6	928BC-3	Interno	1.8	1.9	1.7	1.80
7	B957BC-3	Interno	1.8	1.8	1.8	1.80
8	964BC	Interno	1.7	1.8	1.8	1.77
9	964BC	Interno	1.8	1.8	1.9	1.83
10	B971BC-3	Interno	1.8	1.7	1.7	1.73
11	A1103BC	Interno	1.8	1.9	1.8	1.83
12	A1103BC	Interno	1.8	1.8	1.7	1.77
13	B957BC-3	Interno	1.7	1.9	1.7	1.77
14	B957BC-3	Interno	1.7	1.8	1.8	1.77
15	928BC-3	Interno	1.8	1.8	1.9	1.83

**Figura 40**

*Prueba yodo para la onda BC (onda C) – Liner interno*

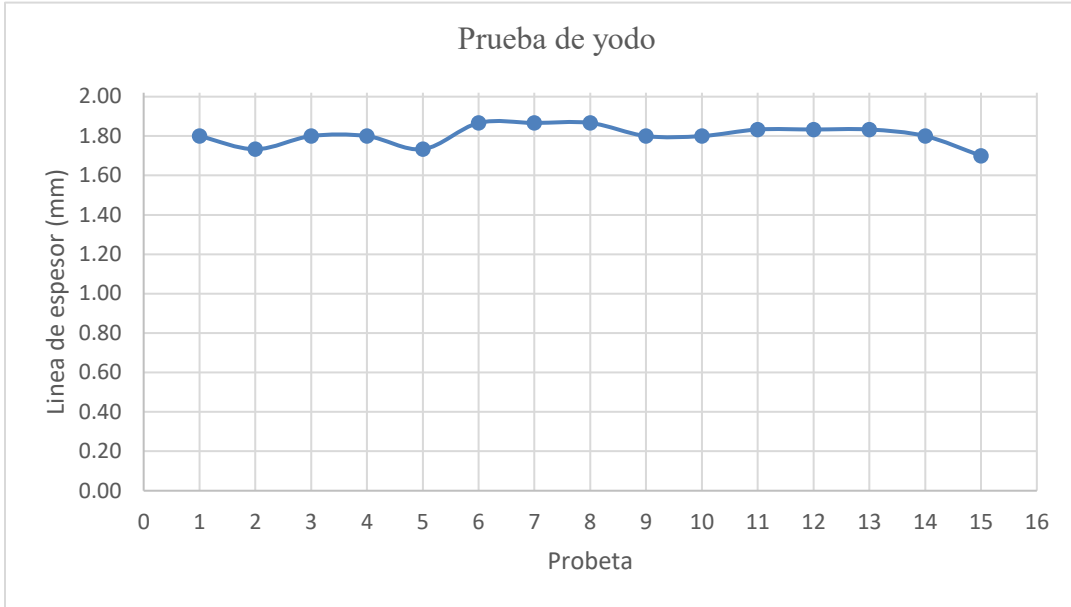


**Tabla 12**

*Prueba yodo para la onda BC (onda C) – Liner externo*

Probeta	Onda	Liner	Yodo: Onda C			Promedio
			Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	
1	967BC-3	Externo	1.7	1.9	1.8	1.80
2	964BC	Externo	1.7	1.7	1.8	1.73
3	B974BC-3	Externo	1.9	1.7	1.8	1.80
4	966BC-3	Externo	1.8	1.8	1.8	1.80
5	966BC-3	Externo	1.8	1.7	1.7	1.73
6	928BC-3	Externo	1.9	1.9	1.8	1.87
7	B957BC-3	Externo	1.9	1.9	1.8	1.87
8	964BC	Externo	1.8	1.9	1.9	1.87
9	964BC	Externo	1.9	1.7	1.8	1.80
10	B971BC-3	Externo	1.8	1.8	1.8	1.80
11	A1103BC	Externo	1.9	1.8	1.8	1.83
12	A1103BC	Externo	1.9	1.7	1.9	1.83
13	B957BC-3	Externo	1.8	1.8	1.9	1.83
14	B957BC-3	Externo	1.8	1.8	1.8	1.80
15	928BC-3	Externo	1.7	1.7	1.7	1.70

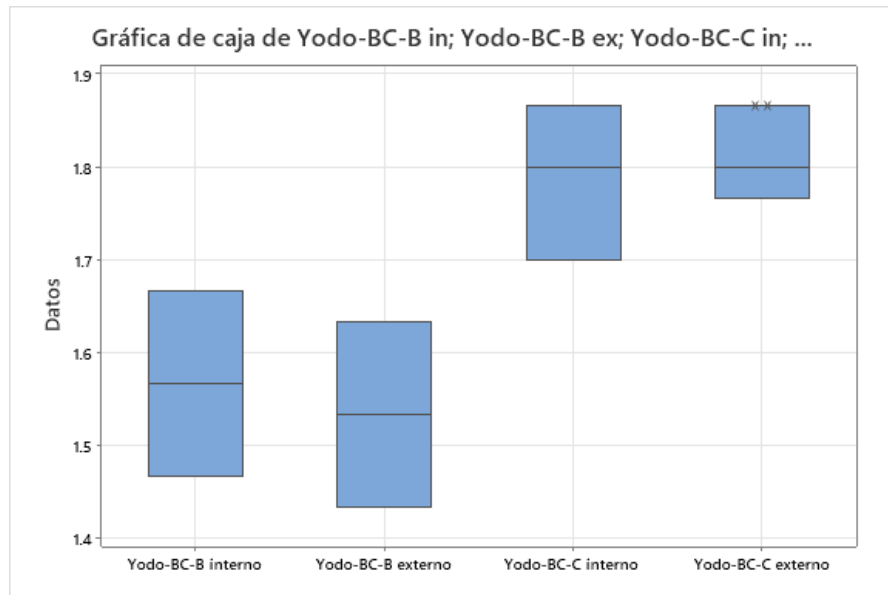
**Figura 41**



*Prueba yodo para la onda BC (onda C) – Liner externo*

**Figura 42**

*Gráfica de cajas de las pruebas de yodo de la onda BC*



#### 4.4. Pruebas PAT

##### 4.4.1. Onda EB

Se realizó la medición la medición de la adherencia de los liners internos y externos con el papel ondeado, los resultados se detallan en la Tabla 13 y Tabla 14. La variación de las pruebas PAT se muestran en el Figura 43 y Figura 44. Asimismo, la variabilidad de la distribución de datos se detalla en la Figura 45.

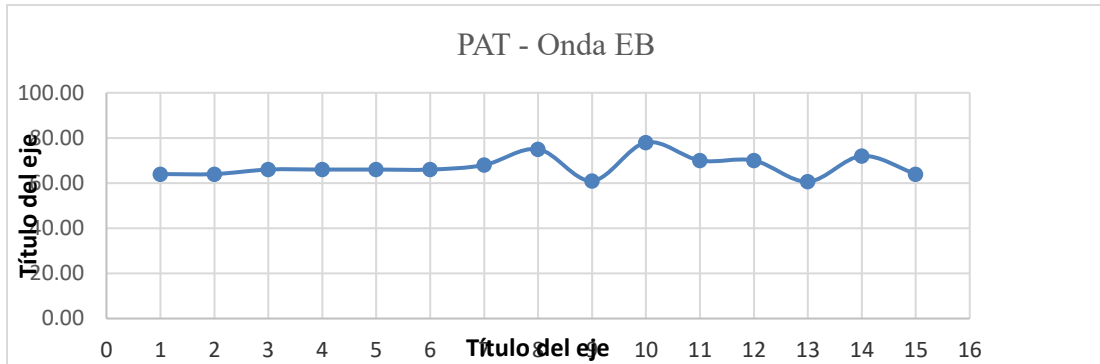
**Tabla 13**

*Prueba PAT de la onda B – Liner interno*

Probeta	Onda	Pat: Onda B				Promedio
		Liner	M	C	T	
1	B956EB-3	Interno	65.00	64.00	63.00	64.00
2	B956EB-3	Interno	65.00	64.00	63.00	64.00
3	B1103EB-3	Interno	66.00	66.00	66.00	66.00
4	B1103EB-3	Interno	66.00	66.00	66.00	66.00
5	B1103EB-3	Interno	66.00	66.00	66.00	66.00
6	B1103EB-3	Interno	66.00	66.00	66.00	66.00
7	B1103EB-3	Interno	68.00	68.00	68.00	68.00
8	1104EB-3	Interno	75.00	75.00	75.00	75.00
9	1104EB-3	Interno	61.00	61.00	61.00	61.00
10	B958EB-3	Interno	78.00	78.00	78.00	78.00
11	B958EB-3	Interno	70.00	70.00	70.00	70.00
12	1106EB-3	Interno	70.00	70.00	70.00	70.00
13	B956EB-3	Interno	61.00	61.00	60.00	60.67
14	B958EB-3	Interno	72.00	72.00	72.00	72.00
15	914EB	Interno	64.00	64.00	64.00	64.00

**Figura 43**

*Prueba PAT de la onda EB – Liner interno*



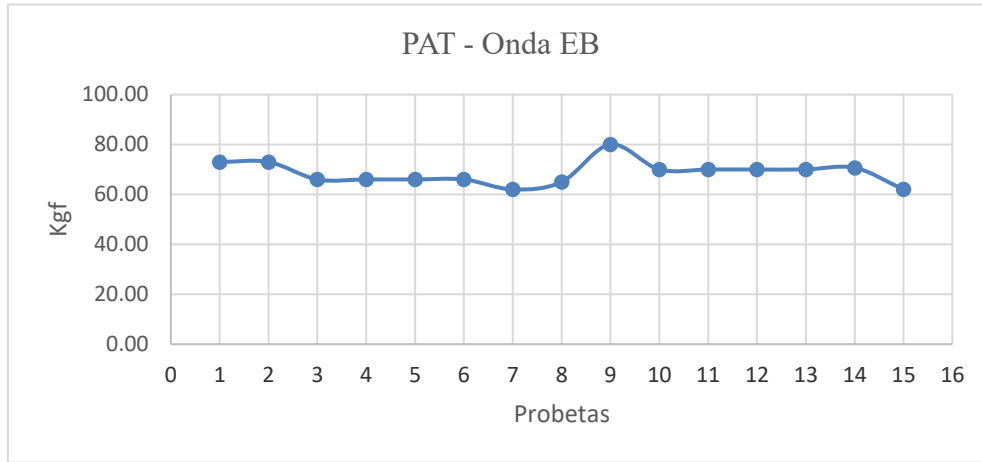
**Tabla 14**

*Prueba PAT de la onda EB – Liner externo*

Probeta	Onda	PAT: Onda B				Promedio
		Liner	M	C	T	
1	B956EB-3	Externo	72.00	73.00	74.00	73.00
2	B956EB-3	Externo	72.00	73.00	74.00	73.00
3	B1103EB-3	Externo	66.00	66.00	66.00	66.00
4	B1103EB-3	Externo	66.00	66.00	66.00	66.00
5	B1103EB-3	Externo	66.00	66.00	66.00	66.00
6	B1103EB-3	Externo	66.00	66.00	66.00	66.00
7	B1103EB-3	Externo	62.00	62.00	62.00	62.00
8	1104EB-3	Externo	65.00	65.00	65.00	65.00
9	1104EB-3	Externo	80.00	80.00	80.00	80.00
10	B958EB-3	Externo	70.00	70.00	70.00	70.00
11	B958EB-3	Externo	70.00	70.00	70.00	70.00
12	1106EB-3	Externo	70.00	70.00	70.00	70.00
13	B956EB-3	Externo	70.00	70.00	70.00	70.00
14	B958EB-3	Externo	72.00	70.00	70.00	70.67
15	914EB	Externo	62.00	62.00	62.00	62.00

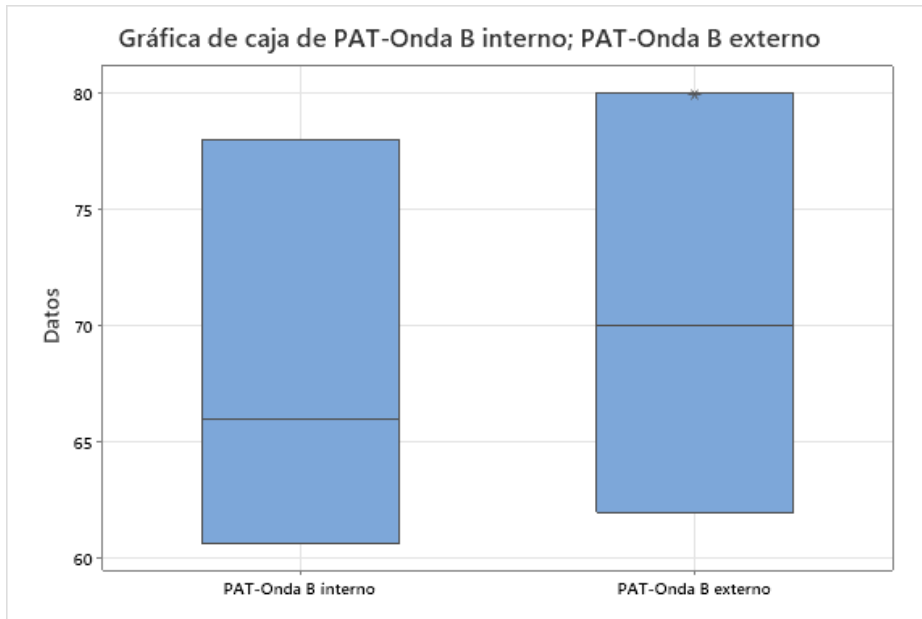
**Figura 44**

*Prueba PAT de la onda EB – Liner externo*



**Figura 45**

*Gráfica de caja PAT – Onda B Interno y externo*



#### 4.4.2. Onda BC

Se realizó la medición la medición de la adherencia de los liners internos y externos con el papel ondeado tipo B, los resultados se detallan en la Tabla 15 y Tabla 16. La variación de las pruebas PAT se muestran en el Figura 46 y Figura 47. Asimismo, para la onda tipo C los resultados se detallan en la Tabla 17 y Tabla 18. La variación de las pruebas PAT se muestran en el Figura 48 y Figura 49. En adición a lo mencionado, se incluye la distribución de datos en la Figura 50.

**Tabla 15**

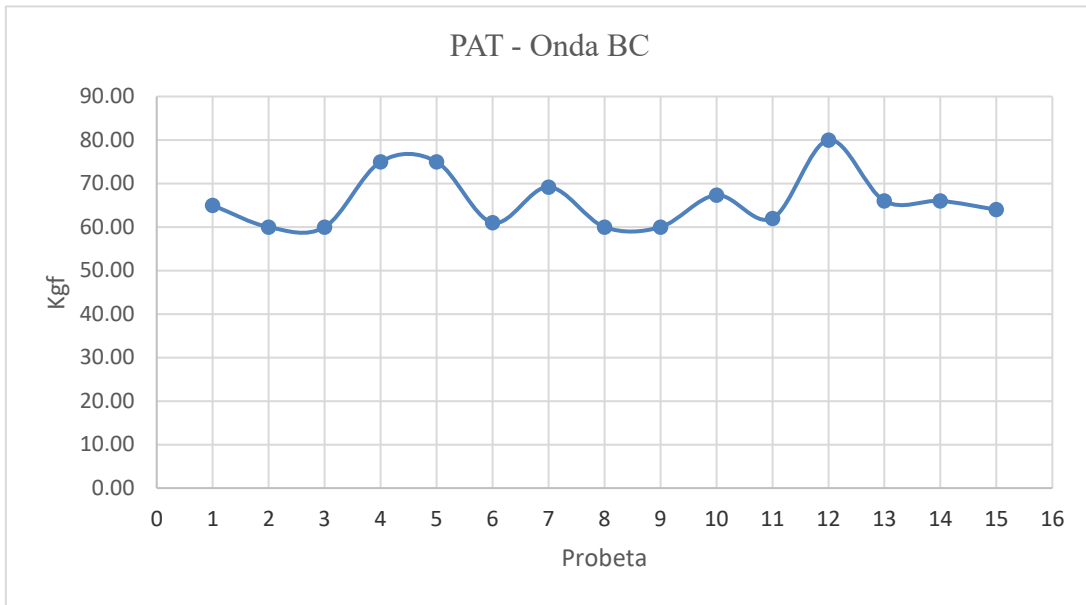
*Prueba PAT de la Onda BC (Onda B) – Liner externo*

Probeta	Onda	Pat: Onda B				Promedio
		Liner	M	C	T	
1	967BC-3	Interno	65.00	65.00	65.00	65.00
2	964BC	Interno	60.00	60.00	60.00	60.00
3	B974BC-3	Interno	60.00	60.00	60.00	60.00
4	966BC-3	Interno	75.00	74.00	76.00	75.00
5	966BC-3	Interno	75.00	74.00	76.00	75.00
6	928BC-3	Interno	61.00	61.00	61.00	61.00
7	B957BC-3	Interno	69.20	69.20	69.20	69.20
8	964BC	Interno	60.00	60.00	60.00	60.00
9	964BC	Interno	60.00	60.00	60.00	60.00
10	B971BC-3	Interno	71.00	67.00	64.00	67.33
11	A1103BC	Interno	62.00	62.00	62.00	62.00
12	A1103BC	Interno	80.00	80.00	80.00	80.00
13	B957BC-3	Interno	64.00	66.00	68.00	66.00
14	B957BC-3	Interno	66.00	66.00	66.00	66.00
15	928BC-3	Interno	64.00	64.00	64.00	64.00



**Figura 46**

*Prueba PAT de la Onda BC (Onda B) - Liner interno*



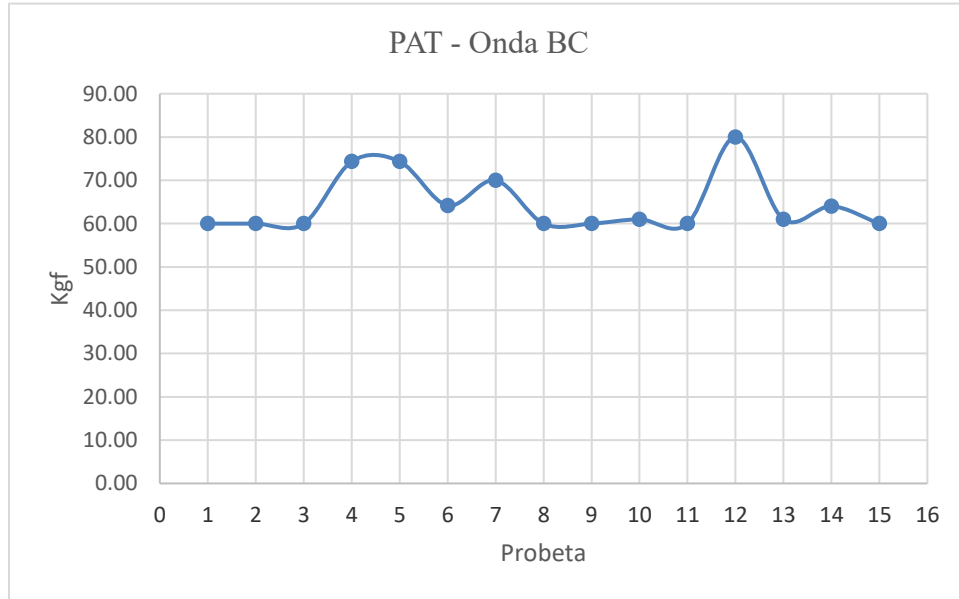
**Tabla 16**

*Prueba PAT de la Onda BC (Onda B) – Liner externo*

Probeta	Onda	Liner	Pat: onda b			Promedio
			M	C	T	
1	967BC-3	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00
2	964BC	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00
3	B974BC-3	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00
4	966BC-3	Externo	74.00	75.00	74.00	74.33
5	966BC-3	Externo	74.00	75.00	74.00	74.33
6	928BC-3	Externo	64.20	64.20	64.20	64.20
7	B957BC-3	Externo	70.00	70.00	70.00	70.00
8	964BC	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00
9	964BC	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00
10	B971BC-3	Externo	58.00	61.00	64.00	61.00
11	A1103BC	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00
12	A1103BC	Externo	80.00	80.00	80.00	80.00
13	B957BC-3	Externo	60.00	61.00	62.00	61.00
14	B957BC-3	Externo	64.00	64.00	64.00	64.00
15	928BC-3	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00

**Figura 47**

*Prueba PAT de la Onda BC (Onda B) - Liner externo*



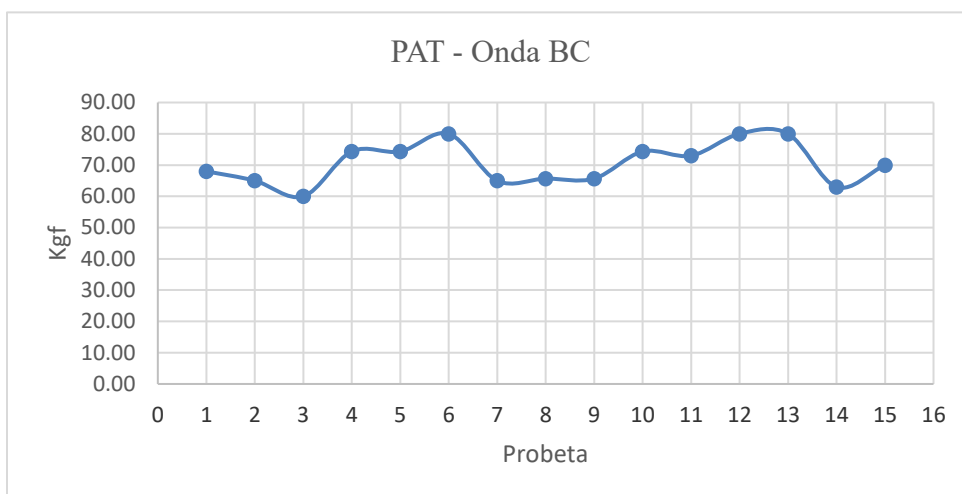
**Tabla 17**

*Prueba PAT de la onda BC (Onda C) - Liner interno*

Probeta	Onda	Pat: Onda C				Promedio
		Liner	M	C	T	
1	967BC-3	Interno	68.00	68.00	68.00	68.00
2	964BC	Interno	65.00	65.00	65.00	65.00
3	B974BC-3	Interno	60.00	60.00	60.00	60.00
4	966BC-3	Interno	74.00	75.00	74.00	74.33
5	966BC-3	Interno	74.00	75.00	74.00	74.33
6	928BC-3	Interno	80.00	80.00	80.00	80.00
7	B957BC-3	Interno	65.00	65.00	65.00	65.00
8	964BC	Interno	64.00	68.00	65.00	65.67
9	964BC	Interno	64.00	68.00	65.00	65.67
10	B971BC-3	Interno	74.00	74.00	75.00	74.33
11	A1103BC	Interno	73.00	73.00	73.00	73.00
12	A1103BC	Interno	80.00	80.00	80.00	80.00
13	B957BC-3	Interno	80.00	80.00	80.00	80.00
14	B957BC-3	Interno	63.00	63.00	63.00	63.00
15	928BC-3	Interno	70.00	70.00	70.00	70.00

**Figura 48**

*Prueba PAT de la Onda BC (Onda C) – Liner interno*



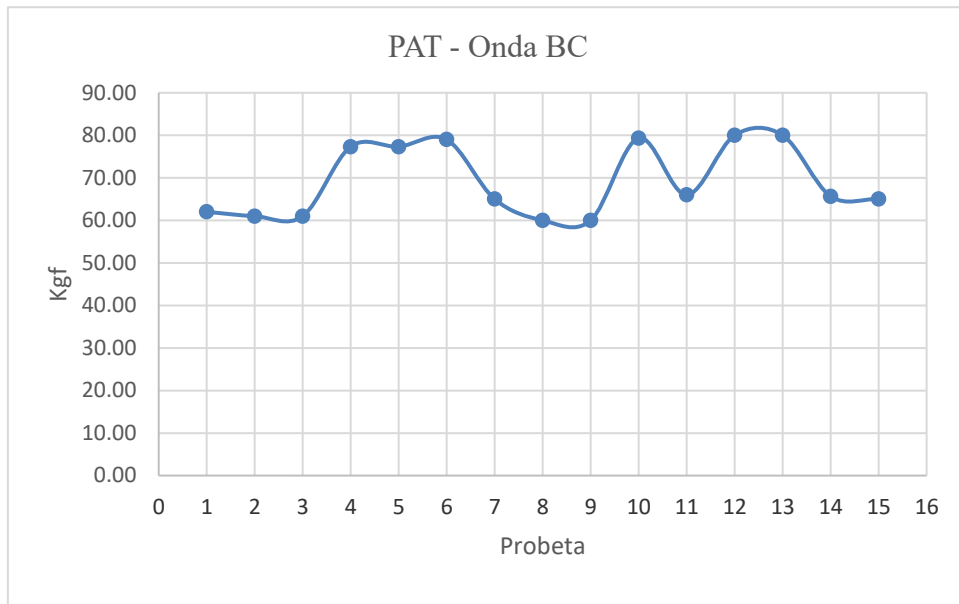
**Tabla 18**

*Prueba PAT de la Onda BC (Onda C) – Liner externo*

Probeta	Onda	Pat: Onda C				Promedio
		Liner	M	C	T	
1	967BC-3	Externo	62.00	62.00	62.00	62.00
2	964BC	Externo	61.00	61.00	61.00	61.00
3	B974BC-3	Externo	61.00	61.00	61.00	61.00
4	966BC-3	Externo	79.00	78.00	75.00	77.33
5	966BC-3	Externo	79.00	78.00	75.00	77.33
6	928BC-3	Externo	79.00	79.00	79.00	79.00
7	B957BC-3	Externo	65.00	65.00	65.00	65.00
8	964BC	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00
9	964BC	Externo	60.00	60.00	60.00	60.00
10	B971BC-3	Externo	87.00	79.00	72.00	79.33
11	A1103BC	Externo	66.00	66.00	66.00	66.00
12	A1103BC	Externo	80.00	80.00	80.00	80.00
13	B957BC-3	Externo	80.00	80.00	80.00	80.00
14	B957BC-3	Externo	65.00	66.00	66.00	65.67
15	928BC-3	Externo	65.00	65.00	65.00	65.00

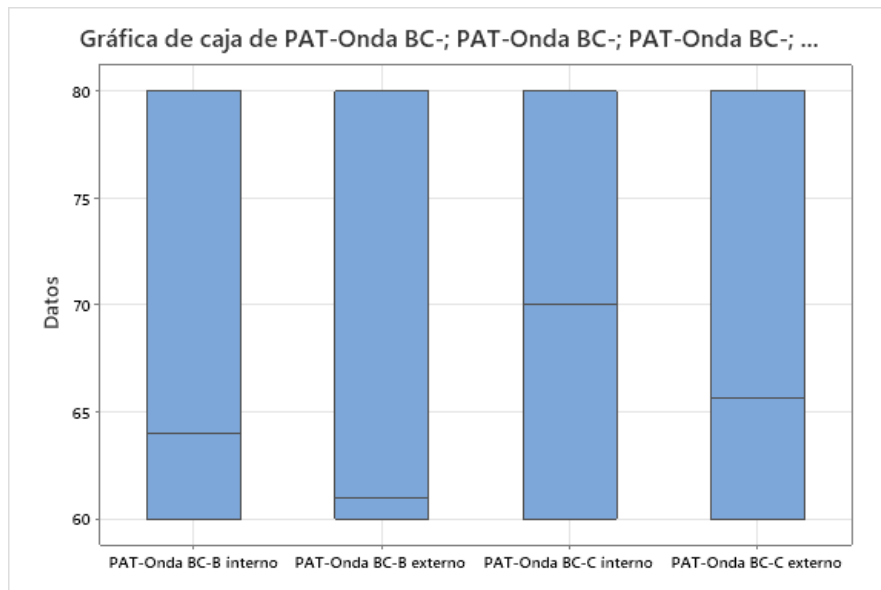
**Figura 49**

*Prueba PAT de la Onda BC (Onda C) – Liner externo*



**Figura 50**

*Prueba PAT – Onda BC-interno y externo*



## 5. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo al plan de calidad de trabajo de la empresa cartonera peruana, el valor del PAT tiene un valor de 70 Kg-f, con una desviación estándar de 10 Kg-f. Al término de la evaluación del adhesivo con una población muestral de 75 mediciones, se obtuvo un promedio muestral de los valores del PAT de 67.56 Kg-f y con una tolerancia de 10%.

De acuerdo a los resultados y a la información de calidad interna se establece lo siguiente:

$H_0$  = Al desarrollar una evaluación del adhesivo basado almidón de yuca incidirá positivamente en la reducción de los defectos de adhesión de los paños en la industria del cartón corrugado (Media = 70 Kg-f)

$H_a$  = Al desarrollar una evaluación del adhesivo basado almidón de yuca no incidirá positivamente en la reducción de los defectos de adhesión de los paños en la industria del cartón corrugado (Media  $\neq$  70 Kg-f)

Entonces se establece:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_a: \mu \neq \mu_0$$

$$\mu_0 = 70 \text{ Kg-f}$$

$$X = 67.56 \text{ Kg-f}$$

$$\sigma = 10 \text{ Kg-f}$$

$$n = 75$$

$$\alpha = 0.1$$

Asimismo, se establece lo siguiente:

(1) Hipótesis Nula y Alternativa

Se deben poner a prueba las siguientes hipótesis nula y alternativa:

$$H_0: \mu = 70$$

$$H_a: \mu \neq 70$$

Esto corresponde a una prueba de dos colas, para la cual se utilizará una prueba  $z$  para una media, con desviación estándar conocida de la población.

(2) Región de Rechazo

Basándonos en la información proporcionada, el nivel de significancia es  $\alpha = 0.1$ , y el valor crítico para una prueba de dos colas es  $Z_c = 1.64$ .

La región de rechazo para esta prueba de dos colas es  $R = \{z: |z| > 1.645\}$ .

(3) Estadísticas de Prueba

La estadística  $z$  se calcula de la siguiente manera:

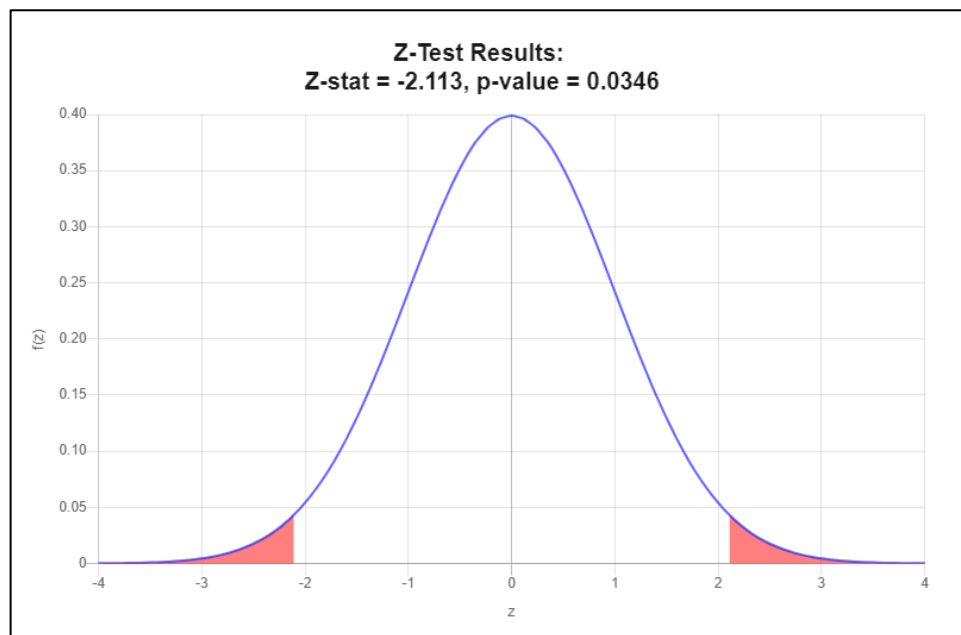
$$z = \frac{X - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} = \frac{67.56 - 70}{10/\sqrt{75}}$$

$$z = -2.113$$

Asimismo, utilizando el enfoque del valor p: El valor p es  $p = 0.0346$ , y dado que  $p=0.0346 < 0.1$  se obtiene la figura 51.

**Figura 51**

*Prueba de validación de hipótesis*



## 6. CONCLUSIONES

De las 15 probetas de cartón corrugado, de tipo EB y BC, producidas en las fechas 30/11/2021, 01/12/2021, 02/12/2021 y 03/12/2021, se evaluó la calidad del adhesivo a base de almidón de yuca, como la prueba de viscosidad, la prueba de punto de gel, el porcentaje de sólidos y la prueba yodo. El punto de gelatinización del adhesivo utilizado en las fechas de producción, con respecto a las especificaciones de la empresa la cual es de 55 °C a 58 °C, refleja un cumplimiento de la característica de la goma y permite trabajar a velocidades altas a la máquina corrugadora. Por otro lado, el porcentaje de sólidos del adhesivo con respecto a las especificaciones de la empresa, la cual es de 24% a 26%, refleja un cumplimiento de la goma con respecto al parámetro en mención, lo cual permite que los componentes sólidos que ayudan a formar el anclaje al término de la evaporación del agua sea la apropiada.

La viscosidad, en comparación con las especificaciones internas de la empresa cartonera la cual es de 50 s hasta 60 s, sugiere que el adhesivo es poco viscoso por lo que dificulta la penetración de la goma hacia los papeles. Esto se demuestra en el espesor de la línea de goma, la cual es una línea fina y demuestra la baja viscosidad del adhesivo en mención.

Dado que se observa que  $|z| = 2.113 > z_c = 1.645$ , se concluye que se rechaza la hipótesis nula. No obstante, los resultados de la prueba PAT de la norma TAPPI T821, sugieren que la adhesión de los papeles liners internos y externos con los papeles corrugados de tipos B y C varían desde los 60 Kgf hasta los 80 Kgf. Estos valores contrastados con las especificaciones internas de las pruebas PAT de una cartonera



peruana demuestran que los resultados obtenidos se encuentran dentro de  $70 \pm 10$  Kgf. Por lo mencionado, la formulación de un adhesivo con base de almidón de yuca no reduce los defectos de adhesión de los paños corrugados. No obstante, se encontró información que sugiere que el adhesivo con base de almidón de yuca cumple con la característica de adhesión de la goma a base de maíz, con la que trabaja la empresa cartonera peruana; así que se concluye que el almidón de yuca es una alternativa viable para la formulación de adhesivos utilizados en la industria del cartón corrugado.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaya, Y. A., y Marín, N. (2020). *Evaluación del proceso de obtención de un soporte adhesivo a partir de almidón de yuca para un apósito a escala laboratorio*. [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América, Colombia].

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7798/1/6142387-2020-1-IQ.pdf>

Asociación Española de fabricantes de envases y embalajes de cartón ondulado. (2007). *Manual de elaboración de cartón ondulado*.

<https://afco.es/>

Bonilla, A. M. (2002). “Estudio de la Viabilidad de Técnica para la Obtención de Adhesivos a partir de Harina Refinada Extraída en Forma Artesanal e Industrial, Evaluando Tres Variedades de Yuca. [Tesis de pregrado, Universidad de San Buenaventura].

[https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/66155/tesis\\_obtencion\\_adhesivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/66155/tesis_obtencion_adhesivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mann, K.-J., Kozich, M., Grüll, D., y Wastyn, M. M. Oficina Española de patentes y marcas. Composición de adhesivo a base de almidón (2019)

<https://patents.google.com/patent/ES2700662T3/es>

Koebnick, H., Josten, H., Brokjans, S., Westphal, R., y Rebier, J.-M. Oficina Española de patentes y marcas. Composición y aplicación de la misma en la preparación de papel y cartón corrugado.

<https://patents.google.com/patent/ES2285996T3/es?q=es2285996>

De la Mora, D. Y. (2019). Estudio del anclaje de los adhesivos en los papeles que componen el cartón corrugado. [Tesis de pregrado, Universidad de Guadalajara].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12104/85167>

González, P. A., y Mosquera, D. Y. (2014). Metodología para identificar y analizar los costos de calidad y de no calidad en un proceso productivo de cartón corrugado. [Tesis de pregrado, Universidad ICESI].  
[https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/77789/1/T00331.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/77789/1/T00331.pdf)

Hernández, M., y Vergara, A. (2008). *Elaboración y evaluación de un adhesivo a partir del almidón de yuca nativo, (manihot sculenta crantz), variedad m-tai, utilizando hidroxido de sodio como agente hidrolizante*. [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre].  
<https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/255/668.38H557.pdf;jsessionid=4B21E181C27AC2938236D1AC9E886A05?sequence=2>

Mittal, K. L. (2003). Handbook of adhesive technology [Manual de tecnología adhesiva]. 2<sup>nd</sup> ed.

Marcelo, M. N., Celestino, D., Martínez, B. L., Hinojosa, Luisa del Rosario., Vásquez, J., García, A. L. (2023). *Descriptorios para yuca*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12955/2067>

Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). (2000). "Pin adhesion of corrugated board by selective separation" (TAPPI T 821). Atlanta, GA: TAPPI Press.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). (2000). "Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products" (TAPPI T 402). Atlanta, GA: TAPPI Press.

Zapata, D. (2018). *Reducción de mermas mejorando el desempeño del adhesivo utilizado en el proceso de fabricación del cartón corrugado*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura].

<http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1382>

## 8. ANEXOS

### 8.1 Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿En qué medida el adhesivo basado en almidón de yuca incide en la adhesión de los componentes del paño de cartón corrugado?	Aumentar la adhesión de los componentes del paño de cartón corrugado utilizando un adhesivo basado en el almidón de yuca.	Al desarrollar una evaluación del adhesivo basado almidón de yuca incidirá positivamente en la reducción de los defectos de adhesión de los paños en la industria del cartón corrugado.	Defectos de adhesión de los paños de cartón corrugado	Evaluación del adhesivo basado en el almidón de yuca	PAT (Pin Adhesion Test)	Pruebas experimentales  Análisis de laboratorio