



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE FORMULACIÓN DEL ADHESIVO UTILIZADO EN
LA INDUSTRIA DEL CARTÓN CORRUGADO**

Lissa María Quiroa Ordóñez

Asesorado por el Ing. Sergio Alejandro Recinos

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE FORMULACIÓN DEL ADHESIVO UTILIZADO EN
LA INDUSTRIA DEL CARTÓN CORRUGADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LISSA MARÍA QUIROA ORDÓÑEZ

ASESORADO POR EL ING. SERGIO ALEJANDRO RECINOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE FORMULACIÓN DEL ADHESIVO UTILIZADO EN LA INDUSTRIA DEL CARTÓN CORRUGADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha febrero del 2019.



Lissa María Quiroa Ordóñez

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 26 de mayo de 2022.
REF.EPS.DOC.216.05.2022.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Lissa María Quiroa Ordoñez** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201313900**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE FORMULACIÓN DEL ADHESIVO UTILIZADO EN LA INDUSTRIA DEL CARTÓN CORRUGADO”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Sergio Alejandro Recinos
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
SAR/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 13 de julio de 2022.
REF.EPS.D.179.05.2022.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE FORMULACIÓN DEL ADHESIVO UTILIZADO EN LA INDUSTRIA DEL CARTÓN CORRUGADO"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Lissa María Quiroa Ordoñez, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

/ra



Guatemala, 27 de octubre de 2022.
Ref. EIQ.TG-IF.035.2022.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **088-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Lissa Maria Quiroa Ordoñez**.
Identificado con número de carné: **2774852230301**.
Identificado con registro académico: **201313900**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final EPS (6 meses), Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE FORMULACIÓN DEL ADHESIVO
UTILIZADO EN LA INDUSTRIA DEL CARTÓN CORRUGADO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Sergio Alejandro Recinos, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

[Handwritten signature]
Ingeniero Químico
César Alfonso García Guerra
No. 145 / CIQ G
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo





LNG.DIRECTOR.005.EIQ.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE FORMULACIÓN DEL ADHESIVO UTILIZADO EN LA INDUSTRIA DEL CARTÓN CORRUGADO**, presentado por: **Lissa María Quiroa Ordóñez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”



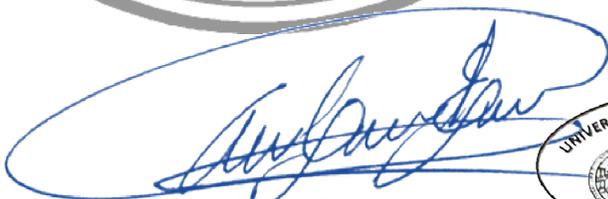
Ing. Williams G. Álvarez Mejía: M.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, enero de 2023.

LNG.DECANATO.OI.007.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE FORMULACIÓN DEL ADHESIVO UTILIZADO EN LA INDUSTRIA DEL CARTÓN CORRUGADO**, presentado por: **Lissa María Quiroa Ordóñez** , después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, quien con sus bendiciones y amor me acompaña en cada proceso.
- Mi madre** Vilma Ordóñez, por ser mi mayor motivación y ejemplo a seguir. Por todo su apoyo incondicional y ayuda en cada proceso de mi vida y carrera universitaria. Por siempre brindarme ánimos durante cada día. Por enseñarme a ser perseverante.
- Mi padre** Mainor Quiroa, por su acompañamiento, apoyo y guía.
- Mi hermana** Ana Lucía Quiroa, por ser mi mejor compañera de apoyo, lágrimas, desvelos, logros y metas cumplidas.
- Mi novio** Marvin Gálvez, por acompañarme en el proceso con su apoyo, comprensión y amor incondicional, por ser mi soporte ante cualquier situación.

Mis abuelas

Gloria Barrera, mi ángel que cuida de mí desde el cielo. Aura Montoya, mi ángel en la tierra. Por sus consejos, cuidados y enseñanzas. Mis modelos a seguir.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser mi mayor guía y muestra de amor que hoy me permite llegar a este momento.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios, por permitir formarme y fortalecerme académicamente.
Facultad de Ingeniería, Escuela de Química	Por ser mi segundo hogar durante toda mi carrera universitaria.
Mis padres	Por ser mi mayor inspiración, motivación y ejemplo a seguir, quienes con su amor y guía me han formado como la mujer que soy hoy en día.
Mi hermana	Por ser mi mayor apoyo durante cada proceso del proyecto y de mi vida. Por nunca rendirse conmigo y siempre darme ánimos.
Mi novio	Por todo su amor incondicional y dedicarse a hacerme ver que puedo ser capaz de todo lo que me propongo.
Mi demás familia	Abuelas, tíos y primos, por influir y apoyarme incondicionalmente durante cada etapa de mi vida.

Mis amigas

Natali Milián, Carmen López, Katherine Marroquín, Karla Santa María, por acompañarme durante todo el proceso de vida universitaria, por todos los momentos de felicidad y adversidad.

Mi asesor

Alejandro Recinos, por su acompañamiento durante el proceso de asesoría y guía durante la ejecución de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Cartón corrugado.....	3
2.2. Cartón corrugado: funciones y beneficios.....	5
2.3. Estructura del cartón corrugado	7
2.3.1. Papel <i>Kraft</i>	7
2.3.2. Papel <i>White Top</i> (blanco)	7
2.3.3. Tintas.....	8
2.3.4. Adhesivo	8
2.4. Estructura de la formulación de adhesivo.....	9
2.4.1. Almidón ($C_6H_{10}O_5$) _n	10
2.4.2. Almidón crudo o perla.....	12
2.4.3. Almidón base	12
2.4.4. Soda cáustica (NaOH).....	12
2.4.5. Bórax decahidratado ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$).....	14
2.4.6. Resina	14

2.4.7.	Expansor	16
2.4.8.	Agua de pozo (subterránea).....	17
2.5.	Gelatinización e hidrogeles del almidón.....	17
2.5.1.	Gelatinización del almidón.....	17
2.5.2.	Efectos de la variación de la temperatura en el punto de gelatinización.....	18
2.5.2.1.	Bajo punto de gelatinización.....	18
2.5.2.2.	Alto punto de gelatinización.....	18
2.6.	Pruebas a evaluar para la calidad del empaque de cartón corrugado	19
2.6.1.	Prueba FEFCO No. 9	19
2.6.2.	Prueba ECT.....	20
2.6.3.	Prueba PAT.....	20
2.6.4.	Prueba BCT.....	21
2.6.5.	Prueba de calibre	22
2.6.6.	Prueba de humedad	23
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	25
3.1.	Variables	25
3.2.	Delimitación de campo de estudio	25
3.3.	Recursos humanos disponibles	26
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	27
3.4.1.	Instrumentos de medición	27
3.4.2.	Material y equipo	28
3.4.3.	Reactivos de grado industrial	28
3.5.	Técnica cuantitativa.....	29
3.5.1.	Análisis de materia prima	29
3.5.2.	Ensayos para evaluación del adhesivo	31
3.5.2.1.	Punto de gel del adhesivo	31

3.5.2.2.	Viscosidad del adhesivo	31
3.5.2.3.	Determinación de pH del adhesivo por análisis volumétrico	32
3.5.3.	Pruebas realizadas a producto terminado	33
3.5.3.1.	Prueba FEFCO No. 9	33
3.5.3.2.	Prueba ECT	34
3.5.3.3.	Prueba PAT	34
3.5.3.4.	Prueba BCT	35
3.5.3.5.	Prueba de calibre.....	36
3.5.3.6.	Prueba de humedad	36
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	37
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	40
3.8.	Análisis estadístico	41
4.	RESULTADOS	45
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	57
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	69
	APÉNDICES	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de cajas de cartón	XXIV
2.	Estructura del cartón corrugado	3
3.	Proceso de fabricación de cartón corrugado	4
4.	Tamaños de flautas	5
5.	Estructura química del almidón de maíz	11
6.	Prueba FEFCO No. 9	19
7.	Prueba ECT.....	20
8.	Prueba PAT.....	21
9.	Prueba BCT.....	22
10.	Prueba de calibre	23
11.	Materia prima para elaboración de adhesivo.....	29
12.	Diagrama de flujo del procedimiento	38
13.	Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba de fórmula base	52
14.	Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba A.1.....	53
15.	Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba A.2.....	53
16.	Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba B.1.....	54
17.	Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba B.2.....	54

18.	Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba C.1	55
19.	Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba C.2	55
20.	Pruebas realizadas versus porcentaje de cumplimiento de prueba PAT	56

TABLAS

I.	Lista de variables manipuladas	25
II.	Descripción de pruebas realizadas	26
III.	Descripción de materias primas	30
IV.	Media general por cada prueba, a partir de repeticiones. Pruebas A (almidón), B (NaOH) y C (resina).....	45
V.	Media general de resultados, prueba de fórmula base a partir de repeticiones.....	45
VI.	Media general de resultados, prueba A.1, a partir de repeticiones	46
VII.	Media general de resultados, prueba A.2, a partir de repeticiones	46
VIII.	Media general de resultados, prueba B.1, a partir de repeticiones.	47
IX.	Media general de resultados, prueba B.2, a partir de repeticiones	47
X.	Media general de resultados, prueba C.1, a partir de repeticiones	48
XI.	Media general de resultados, prueba C.2, a partir de repeticiones	48
XII.	Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación	49
XIII.	Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación	49
XIV.	Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación	50

XV.	Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación.....	50
XVI.	Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación.....	51
XVII.	Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación.....	51
XVIII.	Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación.....	52

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Gramo
°C	Grado Celsius
Kg	Kilogramo
lb	Libra
mL	Mililitro
ft	Pie
%	Porcentaje
in	Pulgada
seg	Segundo
seg S.H.	Segundo Stein Hall
$\sum X_i$	Sumatoria de datos
lbf	Unidad de fuerza (libra fuerza)
lb/ft	Unidad de fuerza (libra sobre pie)
lb/in	Unidad de fuerza (libra sobre pulgada)

GLOSARIO

ACCCSA	Asociación de Corrugadores del Caribe, Centro y Sur América.
Almidón base	Sustancia nativa de maíz, que transfiere soporte y transporte al almidón crudo.
Almidón	El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. El almidón es utilizado en la industria del cartón corrugado, como un adhesivo. La viscosidad del adhesivo es punto de control crítico durante el proceso. Cuando la viscosidad no es la adecuada, afecta la calidad del producto final.
Amilopectina	Compuesto clasificado como un polisacárido. Es una cadena de polímeros ramificados que contiene cientos o miles de moléculas de glucosa.
Amilosa	Compuesto clasificado como un polisacárido. Es una cadena de polímeros lineales que contiene cientos o miles de moléculas de glucosa.
Box Compression Test (BCT)	Prueba de resistencia a la compresión y resistencia de la estiba de una caja (por sus siglas en inglés).

Calibre	Medida de espesor de la plancha.
Cartón corrugado	Estructura formada por un papel ondulado reforzado externamente por dos capas de papel pegadas con adhesivo.
<i>Double Backer</i> (doble engomador)	Sección del corrugador donde se une el papel externo con la cara sencilla para formar cartón corrugado.
<i>Edge Compression Test</i> (ECT)	Siglas en inglés para la prueba de aplastamiento de canto, que es utilizada para determinar la resistencia de un cartón corrugado verticalmente.
Flauta	Formación del corrugado medio en forma de ondulaciones que dan el calibre o espesor al cartón corrugado.
Flexografía	Sistema de impresión de alto relieve por prensa rotativa que usa placas flexibles, de material fotopolímero y tintas líquidas.
Hidrogeles	Estructuras poliméricas, de alto contenido en agua, consistencia blanda y elástica, con una gran capacidad de absorción.
Lixiviación	Proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y los

solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

**Lote de manufactura
(Batch)**

Sistema que garantiza la ejecución y preparación de lotes de una receta según el procedimiento, realizando el proceso de adición y mezcla de los componentes según el proceso. La cantidad total de materia prima se introduce al sistema al comienzo del proceso, obteniéndose la cantidad total de producto transcurrido un determinado tiempo.

NaOH

Hidróxido de sodio.

Papel medio

Papel que se utiliza en el medio y tiene la facilidad de formar las flautas en el cartón corrugado.

Papel sencillo

Papel que se utiliza en el exterior e interior de un cartón corrugado.

pH

Potencial de hidrógeno. Mide la acidez de una solución.

***Pin Adhesion Test*
(PAT)**

Es la prueba más importante, ya que su resultado indica la adherencia entre papeles o la fuerza necesaria que existe para la separación de los mismos. (Siglas en inglés).

pOH	Potencial de hidróxido. Mide la basicidad de una solución.
Punto de gel	Proceso donde los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan a 70-80°C y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas.
<i>Single Face</i> (cara sencilla)	Sección del corrugador que forma la unión del corrugado medio con el papel sencillo interno.
<i>Tack</i>	Pegado inicial del adhesivo.
TAPPI	Asociación Técnica de la Industria de Celulosa y Papel (por sus siglas en inglés).
<i>Test</i>	Distancia paralela que existe entre las caras planas que conforman una lámina y dan resistencia a la caja.
Tixotropía	Propiedad de algunos fluidos que consiste en la pérdida de resistencia o disminución de la viscosidad al someterlos a esfuerzos de cizalla, a medida que pasa el tiempo.
<i>Trim</i>	Cortes laterales que se hacen al cartón corrugado para quitar el desperdicio de los extremos.

Viscosidad

Propiedad y punto de control que mide qué tan espeso o ralo se encuentra el adhesivo.

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se consideró como objetivo evaluar el efecto que causa la variación de algunos componentes de la fórmula de adhesivo (almidón, NaOH, resina), respecto a la fórmula base que actualmente se utiliza, en una industria dedicada al diseño, fabricación y comercialización de cartón corrugado, en las diferentes pruebas de verificación, aprobación y de especificación del mismo.

Las pruebas se elaboraron a partir de la variación de concentración de almidón, NaOH y resina en la fórmula de adhesivo. Se realizó un lote de formulación por cada cambio de componente, ya sea disminución y/o aumento de concentración de cada uno. Se realizaron 3 repeticiones o tratamientos por cada formulación desarrollada. Se procedió a realizar las pruebas de especificación o ensayos al PT (FEFCO No. 9, ECT, PAT, BCT, calibre y humedad). El *test* evaluado fue el mismo para todas las fórmulas (175 #C) de tipo comercial. Se confirmó que, al variar el componente NaOH en 2 % del contenido en peso de almidón, el cumplimiento y desempeño a la resistencia a la compresión, PAT, aumenta 20 % respecto a los valores obtenidos con la fórmula base que actualmente se utiliza.

OBJETIVOS

General

Analizar y evaluar el efecto de las características del adhesivo en función de la variación de la cantidad de sus componentes (almidón, NaOH, resina), respecto a la fórmula base utilizada, en una empresa dedicada al diseño, fabricación y comercialización de cartón corrugado, por medio de diferentes pruebas de laboratorio utilizadas en dicha industria.

Específicos

1. Evaluar el efecto de las características del adhesivo, respecto a los valores obtenidos de las pruebas: FEFCO No. 9, ECT, PAT, BCT, calibre y humedad del cartón corrugado, en función de la variación de la cantidad de almidón en su fórmula.
2. Evaluar el efecto de las características del adhesivo respecto a los valores obtenidos de las pruebas: FEFCO No. 9, ECT, PAT, BCT, calibre y humedad del cartón corrugado, en función de la variación de la cantidad de NaOH en su fórmula.
3. Evaluar el efecto de las características del adhesivo, respecto a los valores obtenidos de las pruebas: FEFCO No. 9, ECT, PAT, BCT, calibre y humedad del cartón corrugado, en función de la variación de la cantidad de resina en su fórmula.

4. Comparar los valores de las pruebas realizadas entre la fórmula base y la fórmula modificada.
5. Determinar los parámetros de los puntos de control del adhesivo como: viscosidad y pH.
6. Determinar y evaluar costos económicos de la fórmula modificada seleccionada respecto a la fórmula base de adhesivo.

HIPÓTESIS

- Hipótesis de investigación nula (Ho):

La variación en la proporción de un componente de la fórmula de adhesivo no genera un efecto significativo en los resultados de adherencia del cartón corrugado.

$$PAT_{Base} = PAT_{A.1} = PAT_{A.2} = PAT_{B.1} = PAT_{B.2} = PAT_{C.1} = PAT_{C.2}$$

- Hipótesis de investigación alternativa (Hi):

La variación en la proporción de un componente de la fórmula de adhesivo genera un efecto significativo en los resultados de adherencia del cartón corrugado.

$$PAT_{Base} \neq PAT_{A.1} \neq PAT_{A.2} \neq PAT_{B.1} \neq PAT_{B.2} \neq PAT_{C.1} \neq PAT_{C.2}$$

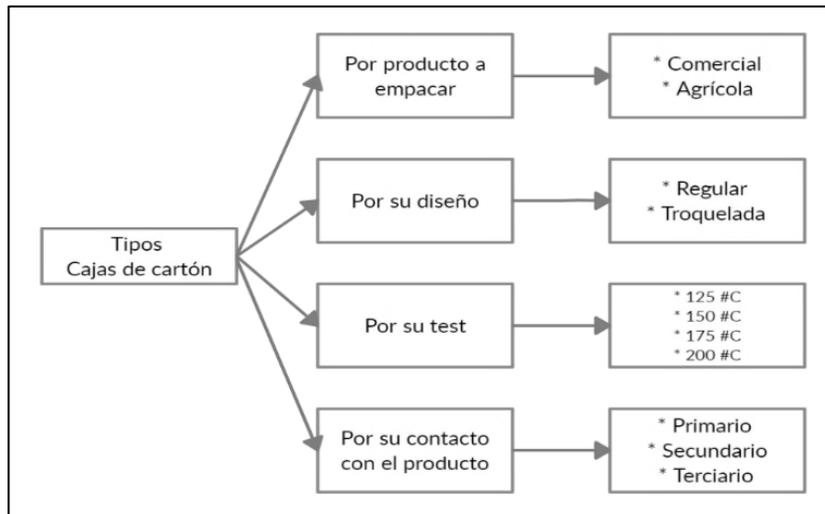
INTRODUCCIÓN

El empaque es un componente vital en todo sistema de producción, ya que es el encargado de resguardar y llevar productos al consumidor final. El cartón corrugado se ha convertido en un elemento esencial en la industria del empaque y embalaje. En Guatemala, el cartón corrugado es el número uno utilizado en este tipo de industria.

Entre la materia prima utilizada en la producción del cartón corrugado se encuentra: papel y adhesivo a base de almidón y tintas. Estas materias primas son variables, se deben controlar en el proceso para obtener una caja que cumpla con las especificaciones del cliente.

Las cajas de cartón corrugado pueden clasificarse por el tipo de producto a empacar, por su diseño, por su *test* o por su contacto con el producto. La diferencia más notable entre cada clasificación se encuentra en el precio y los acabados que implique la misma.

Figura 1. Tipos de cajas de cartón



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Wor 365.

El constante crecimiento de esta industria impulsa el desarrollo de la optimización del empaque y embalaje de cartón corrugado. Esto implica mantener el producto seguro y protegido hasta su destino final, a partir de una relación entre la calidad del papel, como materia prima, el desempeño final de la caja y los costos de producción.

Los bajos costos en la fabricación del cartón, su bajo peso, su capacidad de ser un material reciclable, resistente y de fácil manejo, lo convierten en un material del futuro ideal para el empaque y embalaje.

Como control en el proceso de fabricación de cartón corrugado, en función del adhesivo, se evalúan las características y calidad de pegado del mismo, por lo cual se realizaron varias pruebas que determinaron el buen desempeño de una caja como PT, al modificar los reactivos: almidón, NaOH y resinas en su fórmula. Tales pruebas son:

- FEFCO No. 9. Esta prueba permite evaluar la calidad del pegado bajo condiciones extremas (horas).
- ECT, fuerza de compresión máxima que una pieza de ensayo soporta sin que se produzca ningún colapso en esta (lb/in).
- PAT, fuerza necesaria para separar las capas de papel (lb/ft).
- BCT, fuerza de compresión máxima directa de la resistencia al apilado de los embalajes de cartón corrugado (lbf).
- Calibre, distancia paralela entre las paredes o papeles sencillos externos de la caja o lámina de cartón (in).
- Humedad, relación que hay entre la cantidad de agua que contiene el cartón y su peso (%).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto que causa la variación de los 3 componentes mencionados anteriormente en la fórmula del adhesivo, en las diferentes pruebas de especificación utilizadas en la industria del cartón corrugado, siendo la más importante de estas la prueba PAT, específicamente para el *test* (175 #C) de tipo comercial.

Para la verificación de dicho efecto se trabajó un lote de almidón por cada cambio en concentración de cada componente, se validó que los parámetros del adhesivo se encontraran dentro de los rangos de medición y puntos de control establecidos, y posteriormente se realizaron las pruebas de especificación al PT. Los resultados de las pruebas fueron utilizados para la selección de una nueva fórmula, que implicó el cumplimiento de las mismas, y que esto provocara un beneficio, tanto a nivel de producción como de economía para la empresa.

1. ANTECEDENTES

En el campo de investigación del adhesivo utilizado en la industria de cartón corrugado son muy pocos los estudios realizados, los cuales se describen a continuación:

En 1980, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, se realizó el trabajo de graduación *El almidón como adhesivo en la industria del Cartón Corrugado*. En dicha investigación se realizó el estudio de la formulación del almidón de maíz utilizado como adhesivo, proponiendo variación muy general en la combinación de ingredientes o componentes de la fórmula, así como condiciones de operación.¹

En 2008, en la Universidad de Sucre, Bolivia, Facultad de Ingeniería, Moisés Hernández realizó el trabajo de graduación *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*. En este se sometió a evaluación e investigación pruebas realizadas al adhesivo a temperatura ambiente, donde se planteó un diseño factorial multinivel con dos factores experimentales, correspondientes a las concentraciones de almidón y NaOH, en la fórmula.²

¹ WOC GARCÍA, Mario Roberto. *El almidón como adhesivo en la industria del cartón corrugado*. p. 1.

² HERNÁNDEZ RUIZ, Moisés; VERGARA NARVÁEZ, Andres. *Propuesta de grado para optar el título de ingeniero agroindustrial, modalidad investigativa*. p. 15.

2. MARCO TEÓRICO

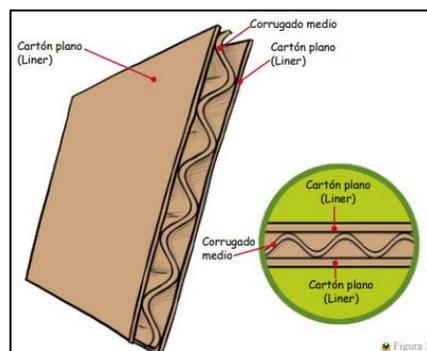
2.1. Cartón corrugado

El cartón corrugado es un material que tiene como base la celulosa, y está constituido por la unión de varios papeles lisos a uno o varios papeles ondulados, manteniendo una equidistancia entre ellos.

Esta simple pero ingeniosa estructura forma una serie de arcos conectados entre sí y que son bien conocidos por su capacidad de soportar cargas pesadas, otorgándole una considerable rigidez y resistencia. El aire circulante en las flautas provee una excelente protección contra las variaciones de temperatura.

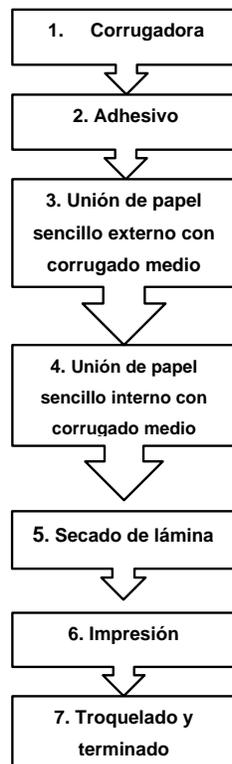
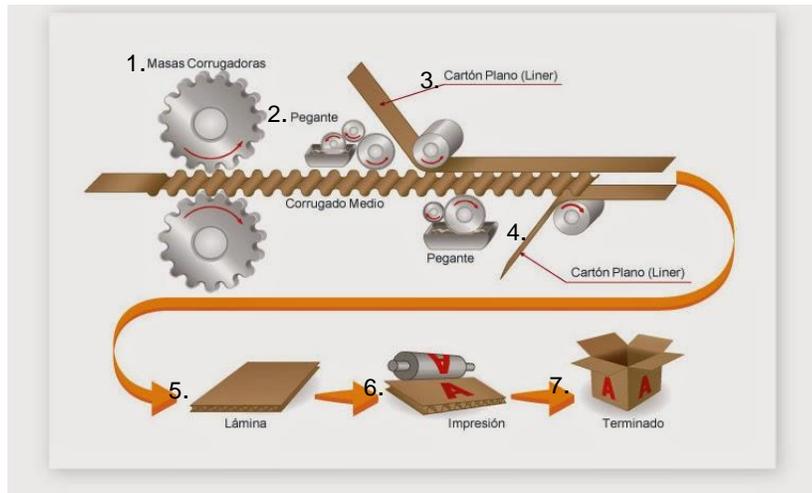
Las hojas lisas exteriores se llaman caras o cubiertas. Las hojas onduladas que forman los canales se llaman ondulado o corrugado.

Figura 2. Estructura del cartón corrugado



Fuente: CARTOPEL. *Características del cartón corrugado*. <https://docplayer.es/12861287-Caracteristicas-del-carton-corrugado.html>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

Figura 3. **Proceso de fabricación de cartón corrugado**

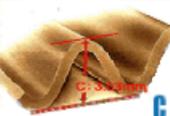


Fuente: ALBERTO, José. *Proceso de fabricación de cartón corrugado*.

<http://villaduana.blogspot.com/2014/07/proceso-fabricacion-carton-corrugado.html>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

Existen varios tipos de corrugado, con diferentes medidas de flauta y tipos de perfiles que ofrecen combinaciones de diseño para crear una variedad de empaques y embalajes. La simple cara (*single face*) es el tipo más elemental de cartón corrugado, y está formada por dos: papel sencillo y un papel medio, unidos entre sí por adhesivo. Entre cada cara y formación de cresta existe una distancia de separación entre las mismas, lo que confiere grosor y seguridad a la caja. Esta distancia se llama flauta. Una flauta es la configuración geométrica dada a un papel, en una máquina corrugadora, para un posterior pegado a elementos planos. Es posible diferenciar tres tipos de flautas:

Figura 4. **Tamaños de flautas**

Tipo de flauta	Altura de cresta	Número de flautas por 30 cm (1 pié)	Figura
A	4.75 mm (0.19")		
B	2.46 mm (0.097")	47	
C	3.53 mm (0.142")	39	

Fuente: Franja. *Cartón tipo flauta*. <https://www.etiquetasenrollo.mx/2015/04/carton-corrugado-y-microcorrugado/carton-tipo-flauta/>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

2.2. **Cartón corrugado: funciones y beneficios**

El cartón corrugado es el material más utilizado para la fabricación de empaques y embalajes, con una amplia gama de productos que van enfocados

a todo tipo de industria. Se adapta fácilmente a todos los medios de transporte, ya sea por tierra, mar o aire.

Estas versatilidades se deben en gran medida a la posibilidad de usar combinaciones de diferentes tipos de materias primas, con lo cual se puede adaptar la calidad del empaque y embalaje de cartón, casi a la medida de cada requerimiento específico y a cada sistema de distribución peculiar.

Una caja de cartón corrugado proporciona los siguientes beneficios:

- **Protección:** es un envase por medio del cual un producto es transportado con facilidad desde el fabricante hasta el consumidor. En este caso se puede utilizar desde una caja de cartón de línea hasta una de fabricación especial.
- **Almacenaje:** la caja de cartón es muy práctica para almacenar el producto hasta el momento de ser vendida. Al igual que en el caso anterior, se puede utilizar desde una caja de línea hasta una caja de fabricación especial.
- **Publicidad:** puede ser un anuncio de publicidad para un producto del cliente mientras la caja de cartón es transportada, almacenada o en exhibición de punto de venta. Para este caso las cajas exhibidoras son una elección perfecta.
- **Costo:** puede ser un medio para reducir el costo de empaque del cliente.

Además de todo esto, una caja de cartón corrugado es una estructura compleja de ingeniería, a pesar de su simple apariencia. Deriva del proceso de fabricación, que se compone de su diseño, elaboración, aprobación y uso.

2.3. Estructura del cartón corrugado

A continuación, se explica la estructura del cartón corrugado.

2.3.1. Papel *Kraft*

El papel *Kraft* es el nombre derivado del alemán que se le da a un tipo de papel realizado con pulpa de madera. Es un papel de gran resistencia que tradicionalmente se ha utilizado en la fabricación de productos para comercio y empaques en distintos tipos de negocios.

La fibra de madera de coníferas se mezcla con soda cáustica para producir la pulpa con la que se fabrica este tipo de papel. Hoy en día el proceso ha evolucionado mucho y los procesados se realizan a nivel industrial, dando lugar a grandes rollos de papel *Kraft* de gran calidad.

2.3.2. Papel *White Top* (blanco)

El papel utilizado en la fabricación de cartón corrugado normalmente se encuentra en su color marrón claro natural de la pasta con la que se fabrica, pero también puede encontrarse en diferentes colores oscuros o incluso en su modalidad en blanco. Para conseguir el blanco se utiliza la celulosa blanqueada o semiblanqueada y puede utilizarse de la misma forma. Dentro de las posibilidades suele ser más utilizada para aquellos casos en los que se necesite

preminencia de ciertos datos o logotipos, por ejemplo, ya que destacan mucho más sobre un fondo claro que sobre fondos marrones.

2.3.3. Tintas

Una tinta consiste en una mezcla polimérica en disolución que lleva incorporado pigmento para impartir color. En caso de no ir pigmentada, se denomina barniz o recubrimiento. Toda tinta o recubrimiento, una vez aplicado y seco, es una película sólida, muy fina.

Existen diferentes tipos de tintas (convencionales, curado por radiación), que poseen propiedades y aplicaciones diferenciadas. Generalmente, el uso de un tipo u otro de tinta, y las características finales de su composición, están en función de factores como el tipo de sustrato a imprimir, el acabado deseado y el proceso de impresión empleado (*offset*, flexografía o huecograbado, entre otros).

Las tintas y recubrimientos deben poseer la suficiente adhesión sobre el sustrato al que se aplican, independientemente de la naturaleza de este (cartón, plástico, metal, celulósico, vidrio). Además, deben combinar la dureza adecuada con la flexibilidad que se exija según el uso, han de ser mates o brillantes, con coeficientes de deslizamiento acordes al uso. Ante requerimientos así, las tintas deben permanecer inalterables, desempeñando su función gráfica en el envase.

2.3.4. Adhesivo

Un adhesivo es un material que permite la unión entre dos superficies en que actúan dos fuerzas fundamentales: la adhesión, que es la fuerza de unión que se produce entre el adhesivo y el sustrato, y la cohesión, que es la resistencia que se ejerce en el interior del adhesivo

El adhesivo estándar de base almidón para corrugados se formula con almidón de maíz o almidón de trigo, que son los almidones de más amplia disponibilidad en el mercado. El adhesivo de base almidón (o fécula) es una sustancia muy común y un ingrediente usual en todo el mundo en el proceso de fabricación de cartón corrugado.

Por otro lado, el adhesivo final hecho a partir de cada fuente será similar en lo referente a los parámetros de viscosidad y punto de gel. La viscosidad o espesor del adhesivo de almidón es muy importante y debe mantenerse en un rango específico para permitir la optimización del proceso de fabricación. Esto se debe a que la viscosidad controla el agarre y transferencia del adhesivo e influye en la velocidad con la que este migra hacia el interior del sustrato, debido a su consistencia. Lo mismo es válido para el punto de gel. Este parámetro es una medida de la temperatura requerida para activar el proceso de pegado del adhesivo.

2.4. Estructura de la formulación de adhesivo

El almidón es el elemento activo en la adherencia y consistencia del adhesivo. Cuando se presenta en forma de gránulos dispersos en agua, el almidón no es soluble en ella debido a su estructura altamente organizada (cristalina). Sin embargo, cuando se calienta una suspensión de almidón y agua, los gránulos de almidón de las zonas amorfas empiezan a absorber agua y a hincharse y cambian significativamente la estructura del gránulo, que empieza a gelatinizarse. Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa.

A medida que aumenta la temperatura, se incrementan la vibración y la movilidad molecular de los polímeros de almidón, se produce la rotura de enlaces intermoleculares y aumenta aún más la capacidad de absorber agua, pues se

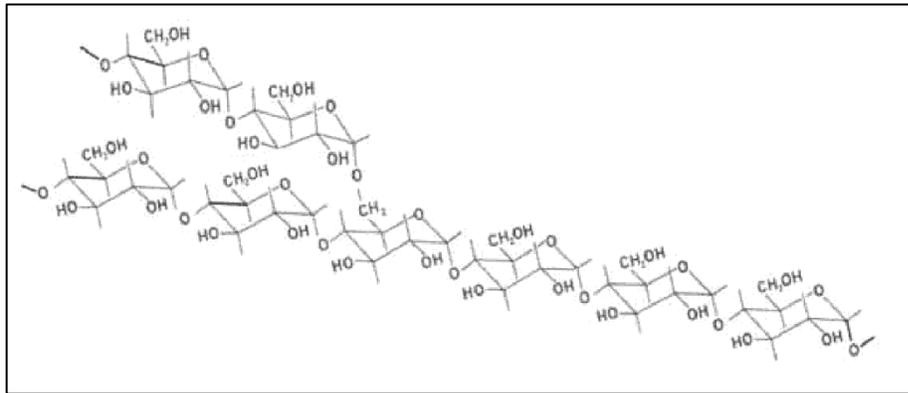
liberan zonas no disponibles hasta el momento. Dicha hinchazón provoca una disminución del tamaño y el número de regiones cristalinas, así como un exudado de amilosa. La gelatinización del almidón significa un aumento de la viscosidad de la fase continua de la masa.

De un estado de dispersión, el almidón pasa a un estado de disolución viscosa dotada de propiedades adhesivas. Gracias a la tecnología se puede manipular una variedad de parámetros del adhesivo para proveer características específicas de eficiencia. Estas incluyen incremento rápido de retención de agua, penetración y retrogradación del adhesivo, tan necesaria tanto para papel sencillo y medio de alto desempeño como de alto gramaje

2.4.1. Almidón ($C_6H_{10}O_5$)_n

El almidón es el principal constituyente del maíz (*Zea mays L.*) y las propiedades fisicoquímicas y funcionales de este polisacárido están relacionadas con su estructura. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa (27 %) y amilopectina (73 %). Estas moléculas se organizan en anillos concéntricos para originar la estructura granular. El valor de n en la fórmula empírica no tiene un valor exacto siempre, ya que varía desde 4 a 100, y dependerá de la cantidad de moléculas de glucosa que este contenga.

Figura 5. Estructura química del almidón de maíz



Fuente: Docsity. *Almidón - Apuntes - Química y bioquímica de los alimentos. Apuntes de ingeniería química.* <https://www.docsity.com/es/almidon-apuntes-quimica-y-bioquimica-de-los-alimentos/331484/>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

La proporción de estos dos polímeros, amilosa y amilopectina, varía según la fuente botánica y su organización física dentro de la estructura granular, confiriéndoles propiedades fisicoquímicas y funcionales únicas. A pesar de la química simple del almidón, las moléculas que lo conforman son variables y complejas.

El almidón tiene una gran variedad de aplicaciones en las industrias no alimentarias, sirve para dar mayor resistencia a los pañuelos y toallas de papel y permite aprovechar más el papel reciclado en cartón. Se utiliza en las películas y hojas de plástico, así como en las fórmulas de fibras naturales que reemplazan a las de plástico. En estos procesos cumple con varias propiedades funcionales tales como adhesivo, agente lubricante o aditivo.

2.4.2. Almidón crudo o perla

Funciones:

- Absorbe el agua para el inicio del pegado
- Al gelatinizar forma parte del adhesivo

2.4.3. Almidón base

Funciones:

- Sirve de soporte y transporte al almidón crudo.
- Confiere viscosidad al adhesivo.
- Retiene el agua para el almidón crudo (absorbe 20 veces su peso en agua).
- Controla la absorción de agua del médium.
- Proporciona *tack* o agarre.

2.4.4. Soda cáustica (NaOH)

El hidróxido de sodio, conocido como soda cáustica, es un compuesto químico de fórmula NaOH, que forma una solución fuertemente alcalina cuando se disuelve en agua.

La soda cáustica es utilizada en muchas industrias, sobre todo como base química fuerte en la fabricación de pulpa y papel, textiles, agua potable, jabones, entre otros.

En la industria del cartón corrugado se utiliza como parte de la fórmula de adhesivo, cuyas funciones son las siguientes:

- Disminuye el punto de gel.
- Confiere al almidón una estructura pegajosa.
- En exceso puede quemar al cartón (cartón quebradizo).
- Junto con bórax regula la viscosidad y aumenta el *tack*, por lo cual, por debajo de temperaturas de gel de 58° C, la mezcla se espesaría prematuramente y no habría adecuada aplicación.
- Tiene afinidad por las fibras de papel, lo cual favorece la penetración del adhesivo, mejorando substancialmente las características de unión.
- Su contenido debe oscilar entre 1,0 – 3,0 % del peso de almidón.

Esta base aporta un nivel de alcalinidad (pH) alto a la mezcla. El aumento del pH de la mezcla implica un aumento de la viscosidad y *tack* del adhesivo. La importancia de lograr el control de la viscosidad con exactitud y el pH está relacionada con beneficios tales como reducir el consumo del adhesivo, costos de producción, reducción de los desperdicios y la adecuada adherencia.

El crecimiento o hinchamiento y la temperatura de gelatinización del almidón pueden ser controlados por la cantidad de NaOH que se le añada. Existen límites prácticos en la cantidad de soda que se puede añadir, un exceso de esta puede causar que las partículas gelatinizadas se rompan en partículas más pequeñas, lo cual bajará la viscosidad, así mismo puede ocurrir que la temperatura de gelatinización sea demasiado baja y esto provoque una adherencia baja o frágil.

2.4.5. Bórax decahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

El bórax (tetraborato de sodio decahidratado) es un mineral natural de la clase de los boratos. El bórax es un cristal blanco y suave que se disuelve de forma muy fácil en agua. Se encuentra en alimentos, plantas, agua, suelo e, incluso, el cuerpo humano.

Es utilizado en la fórmula de adhesivo en la industria del cartón corrugado debido a:

- Confiere gomosidad al adhesivo.
- Mejora la fluidez y la capacidad del adhesivo para formar películas.
- Hace al adhesivo compacto y con un fijado (*tack*) elevado.
- Proporciona estabilidad durante el almacenaje y bombeo del adhesivo.
- En exceso produce pegados quebradizos.
- Afecta al punto de gel, ya que reacciona con la soda produciendo metaborato de sodio, consumiendo sosa durante la reacción.
- Ayuda a mantener los sólidos en suspensión, evitando la sedimentación.
- Su contenido en mezcla oscila entre 1,0 – 2,0 % del peso de almidón.

2.4.6. Resina

Se puede considerar como resina natural a aquellas sustancias orgánicas segregadas por muchas plantas, que sufren un proceso de polimerización o secado, dando lugar a productos sólidos. Es muy apreciada en el ámbito de la construcción por sus propiedades químicas y sus usos asociados, como por ejemplo la producción de barnices y adhesivos.

Una resina sintética posee propiedades similares a las resinas naturales y que han ido reemplazando el uso de estas. La habilidad de explotar las ventajas de un producto de resina de alto desempeño con base en lo requerido provee una herramienta de producción eficiente en costo. Los productos líquidos son fáciles de controlar, no crean problemas de polvo y pueden agregarse además a una variedad de formulaciones de adhesivo especializado.

En algunas industrias se llega a utilizar una decena de resinas diferentes según la aplicación. Para la adhesión, es bastante dependiente de la temperatura ambiente (la adhesión aumenta con la temperatura). Y otro aspecto muy importante que aporta el adición de resinas es una reducción de la viscosidad y una mejora en la dispersión de las cargas.

Las resinas son termocurables, por lo cual necesitan de calor y humedad para cumplir con su función en el adhesivo. Por esta razón ocurre un secado con vapor de las láminas de cartón, para realizar la curación y por lo que se recomienda que el cartón permanezca, después de salir del corrugador, un tiempo estimado de 24 horas antes de ser corrido en las máquinas de conversión.

El tipo de resina más utilizado en la industria del adhesivo es la resina de tipo epóxido, para fines de este trabajo de investigación se utilizó la resina de tipo epóxido. La reacción de estas resinas consigo mismas o con endurecedores polifuncionales dan lugar a polímeros termoestables, que presentan habitualmente buenas propiedades mecánicas y alta resistencia química y térmica. Las resinas de tipo epóxido tienen un amplio rango de aplicaciones como adhesivos estructurales.

Tipos:

- Epóxidos, siliconas, polietileno, polipropileno, polibutileno, acrílicos, poliestireno, furanos y poliéter.

Funciones:

- Resina líquida de tipo epóxido, que garantiza una mejor flexibilidad con resultados consistentes y duraderos, confiriéndole a las cajas mayor adherencia y mejor resistencia a la humedad.
- Incrementa el pegado inicial.
- Mantiene la viscosidad y punto de gel del adhesivo estable.
- Su contenido en la mezcla oscila entre 4,0 – 5-0 % del peso de almidón.

2.4.7. Expansor

El expansor es un agente acondicionador y estabilizador que facilita la penetración del almidón en los sustratos del papel. Al reducir la tensión de la superficie, ayuda a la fase líquida del adhesivo de almidón a migrar rápidamente en los sustratos de papel que se van a adherir.

Funciones:

- Por su efecto generador de volumen reduce la tensión de superficie, facilitando y compensando la aplicación de adhesivo en cavidades donde el adhesivo por sí solo no podría rellenar.

2.4.8. Agua de pozo (subterránea)

Solvente universal en el que se diluyen el resto de reactivos de la fórmula del adhesivo, es la sustancia presente en mayor cantidad, facilita la disolución y transporte de los mismos debido a sus propiedades y, en especial, a su carácter polar y pH.

2.5. Gelatinización e hidrogeles del almidón

Los hidrogeles formados a partir de almidón, con y sin adición de sales y ácidos, han demostrado una gran capacidad de retención de agua. Esta propiedad puede aprovecharse para incorporar en el hidrogel sustancias capaces de actuar como antimicrobianos, limitando así el crecimiento de bacterias y hongos.

El proceso de gelatinización puede estar influenciado por diversos factores como tiempo, temperatura, humedad, almacenamiento y preparación del material.

2.5.1. Gelatinización del almidón

Funciones:

- Proceso de hidratación e hinchamiento del gránulo de almidón.
- A partir de cierta temperatura se rompen los enlaces por puente de hidrógeno, se separan las cadenas y empiezan a hincharse los gránulos.
- Debido al hinchamiento, los gránulos absorben agua y llegan a reventar.
- Se produce una pasta de almidón de características adhesivas. La viscosidad aumenta.

- El incremento de viscosidad se debe a la disminución de la movilidad de los gránulos debido al hinchamiento y reventamiento.
- La temperatura a la que la viscosidad aumenta considerablemente se conoce como temperatura de gelatinización.

En la preparación del adhesivo de almidón se incorporan varios aditivos:

- La soda, cuya función consiste en disminuir la temperatura de la gelatinización y, de esta manera, permitir un encolado más rápido.
- El bórax, que reduce y controla la viscosidad del adhesivo, facilitando así su distribución y fluidez.

2.5.2. Efectos de la variación de la temperatura en el punto de gelatinización

Los efectos de la variación de la temperatura en el almidón influyen directamente el punto de gel de la mezcla.

2.5.2.1. Bajo punto de gelatinización

- Unión frágil debido a una prematura gelatinización en la superficie del papel sin la suficiente penetración de las fibras.
- Formación de grumos en la bandeja, los cuales limpian el rodillo aplicador formando zonas secas de adhesivo en el corrugado medio.

2.5.2.2. Alto punto de gelatinización

- Baja velocidad en el corrugador debido a que es necesario entregar más calor en la línea de adhesivo para alcanzar el punto de gelatinización.

2.6. Pruebas a evaluar para la calidad del empaque de cartón corrugado

Las pruebas de evaluación permiten validar la calidad del cartón corrugado como producto final.

2.6.1. Prueba FEFCO No. 9

Esta prueba permite evaluar la calidad del pegado bajo condiciones extremas. Se rasga una muestra de cartón de 4 x 1 in, a la cual se le coloca una pesa de 250 gramos en un lado de la muestra. Y se le coloca un gancho en el otro extremo. La muestra debe permanecer sumergida al menos 24 horas sin sufrir rotura. Esto es una garantía de que los papeles no se van a delaminar por efecto de la humedad en una cámara de refrigeración.

Figura 6. Prueba FEFCO No. 9



Fuente: ACCCSA. *¿Que medir en el proceso de corrugado?*

<https://issuu.com/revistacorrugando/docs/corrugando-04>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

2.6.2. Prueba ECT

El ECT se define como la fuerza de compresión máxima que una pieza de ensayo soportará sin que se produzca ningún fallo (colapso) en ella. La prueba se aplica sobre una muestra de 2 x 2 in, la cual es sujeta por un dispositivo, luego se aplica una carga a velocidad constante hasta que la muestra colapse. El valor obtenido en este ensayo ayuda a estimar la resistencia de la caja.

Figura 7. Prueba ECT



Fuente: ACCCSA. *¿Que medir en el proceso de corrugado?*

<https://issuu.com/revistacorrugando/docs/corrugando-04>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

2.6.3. Prueba PAT

Esta prueba es la de mayor importancia, ya que determina la fuerza necesaria para separar las capas de papel, es decir, evaluar la calidad de adherencia del pegado en los papeles. En la primera etapa se corta una muestra de 6 x 2 in y se inserta un juego de pines entre las flautas.

En la segunda etapa, la estructura formada es sometida a una fuerza de aplastamiento hasta que los pines se separan. La fuerza aplicada mide la resistencia de la unión entre los papeles sencillos y medios. Los resultados mínimos esperados en esta prueba son de 55 lb/ft para las cajas de tipo agrícola y de 45 lb/ft para las cajas de tipo comercial.

Figura 8. **Prueba PAT**



Fuente: ACCCSA. *¿Que medir en el proceso de corrugado?*

<https://issuu.com/revistacorrugando/docs/corrugando-04>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

2.6.4. Prueba BCT

La fuerza de compresión de una caja de cartón corrugado es una medición directa de la resistencia al apilado de los embalajes de cartón corrugado. El método BCT es un ensayo de carga de dirección superior a inferior, comprimiéndose entre placas planas paralelas a una velocidad constante. La fuerza de deformación queda registrada de forma continua hasta el momento en que se produce el fallo de compresión.

Figura 9. Prueba BCT



Fuente: ACCCSA. *¿Que medir en el proceso de corrugado?*

<https://issuu.com/revistacorrugando/docs/corrugando-04>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

2.6.5. Prueba de calibre

Es una de las propiedades más importantes del cartón corrugado. El bajo calibre provoca pérdida de resistencia en la caja. En el cabezal corrugador, el calibre puede alterarse también por varios factores:

- Insuficiente calor y vapor del papel medio
- Deficiente formación de flauta
- Mucha presión en el rodillo de presión

El calibre consiste en la medición de la distancia paralela que existe entre las caras exteriores de una muestra de cartón, debe medirse periódicamente durante el proceso y actuar de manera inmediata cuando se detecta una pérdida de este.

Figura 10. **Prueba de calibre**



Fuente: ACCCSA. *¿Que medir en el proceso de corrugado?*
<https://issuu.com/revistacorrugando/docs/corrugando-04>. Consulta: 26 de febrero de 2020.

2.6.6. Prueba humedad

Esta también es una de las propiedades más importantes del cartón corrugado. Consiste en medir la humedad de la caja, con ayuda de un analizador que determina el porcentaje de humedad. Para fines de especificaciones estos valores deberán estar en un rango entre 6 % y 9 %.

Un valor por debajo del 6 % indica que la lámina o caja de cartón está muy tostada, por lo que tenderá a quebrarse y despegarse con facilidad. Un valor por encima del 9 % indica que la lámina o caja de cartón está muy húmeda, por lo que no tendrá buena resistencia y tenderá a deformarse.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación se muestran las variables consideradas para el presente trabajo de investigación:

Tabla I. **Lista de variables manipuladas**

Variable	Parámetro que determina	Dimensional
Concentración de almidón	Confiere viscosidad y controla la absorción del agua en la fórmula del adhesivo.	lb
Concentración de NaOH	Para regular viscosidad y mejorar el <i>tack</i> en la fórmula del adhesivo.	lb
Concentración de resina	Para incrementar el pegado y mantener la viscosidad en la fórmula del adhesivo.	lb

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El campo de estudio abarcó los componentes utilizados en la formulación del adhesivo, entre ellos: almidón, NaOH, resina, utilizados en la fabricación de cartón corrugado. Dicho estudio se realizó en una empresa dedicada a la

producción y comercialización de cartón corrugado, como material de empaque, ubicada en la zona 12 capitalina.

Se desarrollaron seis pruebas descritas a continuación:

Tabla II. **Descripción de pruebas realizadas**

Nombre	Dimensional
Prueba FEFCO No. 9	hora
Prueba ECT	lbf/in ²
Prueba PAT	lbf/ft ²
Prueba BCT	lbf
Prueba Calibre	in
Prueba Humedad	%

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

3.3. Recursos humanos disponibles

Entre los recursos humanos disponibles para la elaboración de este trabajo de investigación se contó con el personal de producción en la elaboración y supervisión de cada lote de adhesivo, supervisores de producción y analista de laboratorio, así como las personas que supervisaron la ejecución, elaboración y revisión del proyecto:

- Desarrollo del proyecto: Lissa María Quiroa Ordoñez, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Asesor: Ing. Qco. Sergio Alejandro Recinos, catedrático, asesor y supervisor de EPS, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Supervisor de ejecución: Ing. Eduardo Barrios, gerente de planificación de una empresa dedicada a la producción y comercialización de cartón corrugado.
- Supervisor de laboratorio químico: Ing. Mario Morales, coordinador del laboratorio de una empresa dedicada a la producción y comercialización de cartón corrugado.
- Revisor de Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala: Ing. Cesar Alfonso García Guerra.
- Supervisor-asesor de unidad EPS: Ing. Alejandro Recinos, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.4. Recursos materiales disponibles

El material y equipo que se utilizó en el presente trabajo de graduación fue brindado por una empresa dedicada a la producción y comercialización de cartón corrugado:

3.4.1. Instrumentos de medición

- Viscosímetro, Stein Hall (seg/100c.c. S.H.)
- Balanza analítica, *Kern MLS-D* (g)
- Analizador de humedad, *Kern MLS-D* (105 °C) (%)
- Compresómetro de muestras, IDM test SC-500 (PAT y ECT), (lbf/in²)
- Compresómetro de muestras, HANNA HN-1BCT (BCT) (lbf)
- Termohigrómetro (°C, %)
- Analizador para punto de gel, Dr. Brown's Bottle Warmer (°C)
- Termómetro, HB Instruments (°C)
- Metro, Trupper (m)
- Micrómetro, HB Instruments (in)

- Bureta (mL)
- Cronómetro, Extech Instruments 365515 (seg)

3.4.2. Material y equipo

- Equipo lote de manufactura (*batch*)
- Cortadora Billerud
- Cuchilla
- Pesas (250 g)
- Pinzas
- Ganchos
- *Beaker*
- Probeta
- Soporte
- Computadora de escritorio/ portátil
- Agitador

3.4.3. Reactivos grado industrial

- Almidón de maíz
- Hidróxido de sodio
- Resina epóxida
- Bórax
- Expansor
- Agua de pozo
- Fenolftaleína
- Ácido clorhídrico

3.5. Técnica cuantitativa

La caracterización de los componentes, almidón, NaOH y resinas, utilizados en fórmula en el proceso de producción de cartón corrugado como adhesivo en esta industria, se realizó a través de una técnica cuantitativa para el análisis de datos de las diferentes pruebas de especificación realizadas para la aprobación del mismo: FEFCO No. 9, ECT, PAT, BCT, calibre y humedad.

3.5.1. Análisis de materia prima

- Se ubicaron y obtuvieron las materias primas en una industria dedicada a la producción y comercialización de cartón corrugado.

Figura 11. **Materia prima para elaboración de adhesivo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

- Se pesaron las cantidades respectivas de materias primas a utilizar para preparar un lote de fórmula, para cada una de las diferentes pruebas.

Tabla III. Descripción de materias primas

	FORMULACIÓN				
	Reactivo Cantidad	Fórmula Base	Prueba A	Prueba B	Prueba C
Reactivos variables	Almidón (Peso)	716 lb	A.1 = (-2,0) p/p % A.2 = (+2,0) p/p %	716 lb	716 lb
	NaOH (del peso de almidón)	2,50 %	2,50 %	B.1 = (2,0) % B.2 = (2,60) %	2,50 %
	Resina (del peso de almidón)	4,60 %	4,60 %	4,60 %	C.1 = (4,0) % C.2 = (4,70) %
Reactivos fijos	Bórax (del peso de almidón)	1,10 %	1,10 %	1,10 %	1,10 %
	Expansor (del peso de almidón)	0,36 %	(0,36) %	(0,36) %	(0,36) %
	Agua (Peso)	2433 lb	2433 lb	2433 lb	2433 lb

** Por cada prueba que se realizó de la tabla III (A, B, C), se prepararon 3 lotes de cada uno. La prueba se realizó para el *test* 175 Flauta #C.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

- En el contenedor 1 se mezcló: 2 % del total de agua, NaOH y 33,3 % del total de bórax. Se agitó y disolvió.
- En el contenedor 2 se mezcló: 19 % del total de agua y se calentó a 57 °C. Se agitó automáticamente y se añadió el 13 % del total de almidón base.
- Luego, se mezcló el contenedor 1 y 2, y se agitó durante 20 minutos.
- En el contenedor 3 se mezcló: 63 % del total de agua, se agitó vigorosamente, y posteriormente se agregó la resina, 87 % del restante de almidón, el restante 66,7 % de bórax, y el expansor.
- Al contenedor 2 se añadió el restante 16 % de agua de enfriamiento y se mezcló por 5 minutos.
- Luego se añadió la solución del paso 7 a la solución del paso 6 y se mezcló vigorosamente durante 20 minutos.

3.5.2. Ensayos para evaluación del adhesivo

Los ensayos de evaluación determinan parámetros de operación del adhesivo durante su proceso de producción.

3.5.2.1. Punto de gel del adhesivo

- Se conectó el calentador de inmersión. Se agregó el agua necesaria caliente por debajo del punto de ebullición.
- Se llenó la tasa de muestra de almidón con 200 mL aproximadamente.
- Con una varilla de metal, se agitó vigorosamente la mezcla de 20 a 30 veces, vueltas de paleta. (Asegurando que la mezcla se encontrara totalmente homogénea y sin grumos antes de continuar con la prueba).
- Se colocó el vaso de muestra dentro del calentador de inmersión.
- Se insertó el termómetro en el vaso de muestra.
- Se agitó constantemente la muestra, usando un movimiento envolvente, hasta que el almidón se gelatinizó.
- Se anotó la temperatura de gelatinización, que debería oscilar en un rango entre 62 °C y 64 °C. Sin embargo, las temperaturas por encima de los 60 °C son aceptables y no causan ningún problema.

3.5.2.2. Viscosidad del adhesivo

- Antes de iniciar con el procedimiento se utilizaron guantes para protección.
- Se verificó que el viscosímetro se encontraba limpio antes de utilizarlo.
- Se sumergió el viscosímetro Stein Hall en el reactor.
- Se llenó de solución la copa. Se retiró y colocó por encima del reactor.
- Se colocó la copa en posición vertical.

- Se dejó correr parte de la solución por el orificio inferior. Cuando la solución llegó a la marca establecida en la copa, se empezó a tomar el tiempo.
- Se detuvo el tiempo justamente, cuando el flujo de descarga por debajo de la copa empezó a correr de manera continua.
- Se anotó el tiempo en segundos.
- Se repitieron los pasos del 3-8, 2 veces más.

3.5.2.3. Determinación de pH del adhesivo por análisis volumétrico

- Se verificó que el equipo e instrumentos de laboratorio se encontrara limpio.
- Se preparó una solución de X cantidad molar de HCl.
- Se vertió la solución anterior en la bureta, y esta se colocó en el soporte asignado.
- En un *beacker*, se tomó una muestra cuantificada de mezcla de adhesivo preparado, se utilizó guantes de seguridad.
- Se añadió a la mezcla anterior unas gotas de indicador Fenolftaleína, y se esperó que la mezcla se tornara de color rosado.
- Se añadió poco a poco la solución de HCl preparada a la mezcla del adhesivo.
- Se detuvo el flujo de la solución de HCl, hasta que la mezcla de adhesivo adquirió nuevamente el color lechoso inicial.
- Se anotó la cantidad volumétrica consumida de la solución de HCl.
- Luego, se determinó la concentración de OH⁻, y luego obtener el valor del pOH. Posteriormente se determinó el valor del pH del adhesivo.

3.5.3. Pruebas realizadas a producto terminado

Las pruebas de validación realizadas al producto terminado determinan el cumplimiento de la calidad y funcionalidad de las cajas de cartón corrugado.

3.5.3.1. Prueba FEFCO No. 9

- Se obtuvo el material (PT) que fue sometido a prueba.
- Se anotó el número de orden de producción y número de material para su identificación.
- Se cortaron 10 muestras, como lo indica la prueba (las medidas deben ser: 4 x 1 in).
- Se realizaron los cortes necesarios, tanto en el lado del doble como en el lado *single*.
- Se les agregó el peso de 250 libras, en la parte inferior de cada muestra.
- Luego se les añadió ganchos de soporte a las muestras, en la parte superior.
- Se llenó con agua el equipo, hasta la marca establecida.
- Se tomó cada muestra una por una, y se sumergió poco a poco en el equipo sin soltarla.
- Se retiró la muestra, quitando el exceso de agua.
- Nuevamente se volvió a sumergir la muestra anterior, colocando el gancho superior en el soporte, se soltó la muestra poco a poco. Se empezó a tomar el tiempo desde que se colocó la muestra 1.
- Se repitieron los pasos del 8 al 10, hasta realizar lo mismo con las 5 muestras del lado *single*.
- Se suspendió el ensayo al momento de observar que los papeles se habían separado por completo en todas las muestras.

- Se repitieron los pasos del 8 al 10, hasta realizar lo mismo con las 5 muestras del lado doble.
- Se suspendió el ensayo cuando los papeles se separaron por completo en todas las muestras.

3.5.3.2. Prueba ECT

- Se obtuvo el material (PT) que fue sometido a prueba.
- Se anotó el número de orden de producción y número de material para su identificación.
- Se verificó en el Menú que el equipo se encontrara en el Programa de ECT CLAMP.
- Se cortaron 10 muestras, de tamaño 2 x 2 in, como lo indica la prueba. Se utilizó el equipo cortador Billerud.
- Se introdujo la muestra en el dispositivo CLAMP TAPPI #839.
- Se giraron las perillas del dispositivo hacia el lado izquierdo, hasta que se aseguró la muestra.
- Se introdujo el dispositivo en el equipo.
- Se presionó la tecla *Test*.
- Se anotó el valor dado de ECT para la muestra.
- Se repitieron los pasos del 5 al 9, hasta obtener 10 valores de ECT.

3.5.3.3. Prueba PAT

- Se obtuvo el material (PT) que fue sometido a prueba.
- Se anotó el número de orden de producción y número de material para su identificación.
- Se verificó que el equipo se encuentre en el Programa de PAT (A - C.)

- Se cortaron 10 muestras, de tamaño 6 x 2 in como lo indica la prueba. Se utilizó el equipo cortador Billerud.
- Se introdujo la muestra en el dispositivo PAT A-C, verificando el sentido y cuadratura de los pines. (Se verificó el sentido de las muestras, 5 debieron ir con el papel sencillo externo hacia arriba, y 5 muestras debieron ir con el papel sencillo externo hacia abajo).
- Se introdujo el dispositivo en el equipo.
- Se presionó la tecla *Test*.
- Se anotó el valor dado de PAT para la muestra.
- Se repitieron los pasos del 5 al 8, hasta obtener 10 resultados.

3.5.3.4. Prueba BCT

- Se obtuvo el material (PT) que fue sometido a prueba.
- Se anotó el número de orden de producción y número de material para su identificación.
- Se armó como mínimo 10 unidades del material.
- Se encendió el equipo.
- Se verificó que la precarga aplicada al inicio sea de 50 lbf, si es caja comercial, o 100 lbf si es caja agrícola.
- Se colocó una caja armada al centro del equipo.
- Se presionó la tecla ▼ cuando el equipo de la instrucción indicó: *Test Ready*.
- Se presionó la tecla *Start*.
- Al terminar la prueba de compresión, se presionó la tecla *Peak*, y se anotó dicho valor.
- Se retiró la muestra y se introdujo la siguiente.
- Se repitieron los pasos del 6 al 9, hasta completar las 10 unidades.

3.5.3.5. Prueba de calibre

- Se obtuvo el material (PT) que fue sometido a prueba.
- Se anotó el número de orden de producción y número de material para su identificación.
- Se cortó una sección de la lámina en forma de triángulo de aproximadamente 15 cm de cada lado.
- Se colocó la muestra en el instrumento para medición de calibre, se realizó con mucho cuidado para no dejar caer de un solo la palanca, ya que esto podía afectar en el espesor o grosor de la muestra.
- Se anotó el parámetro en unidades de milésimas de pulgadas.
- Se repitieron los pasos del 3 al 5, 9 veces más. Hasta completar 10 muestras.

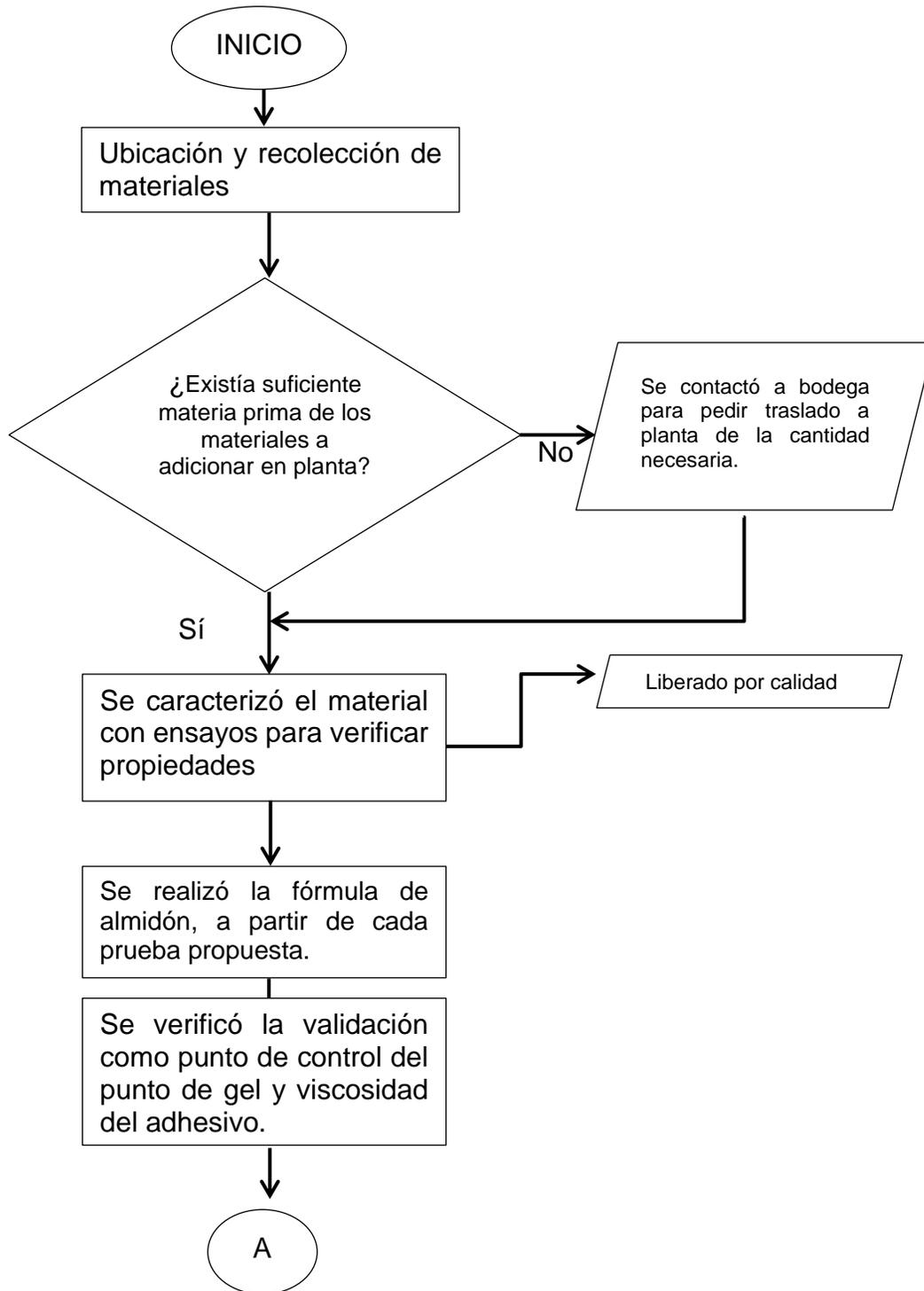
3.5.3.6. Prueba de humedad

- Se obtuvo el material (PT) que fue sometido a prueba.
- Se anotó el número de orden de producción y número de material para su identificación.
- Se encendió el analizador de humedad y se verificó en el Menú que el equipo se encontraba en el Programa de No.1 en automático.
- Se cortaron 10 muestras, de tamaño 2 x 2 in, como lo indica la prueba. Se utilizó el cortador Billerud.
- Se colocó la muestra en el plato del centro del analizador.
- Se cerró el equipo.
- Cuando el equipo indicó el fin de la prueba, se abrió y retiró la muestra.
- Se anotó el parámetro de humedad en unidades de porcentaje.
- Se repitieron los pasos del 5 al 8, 9 veces más.

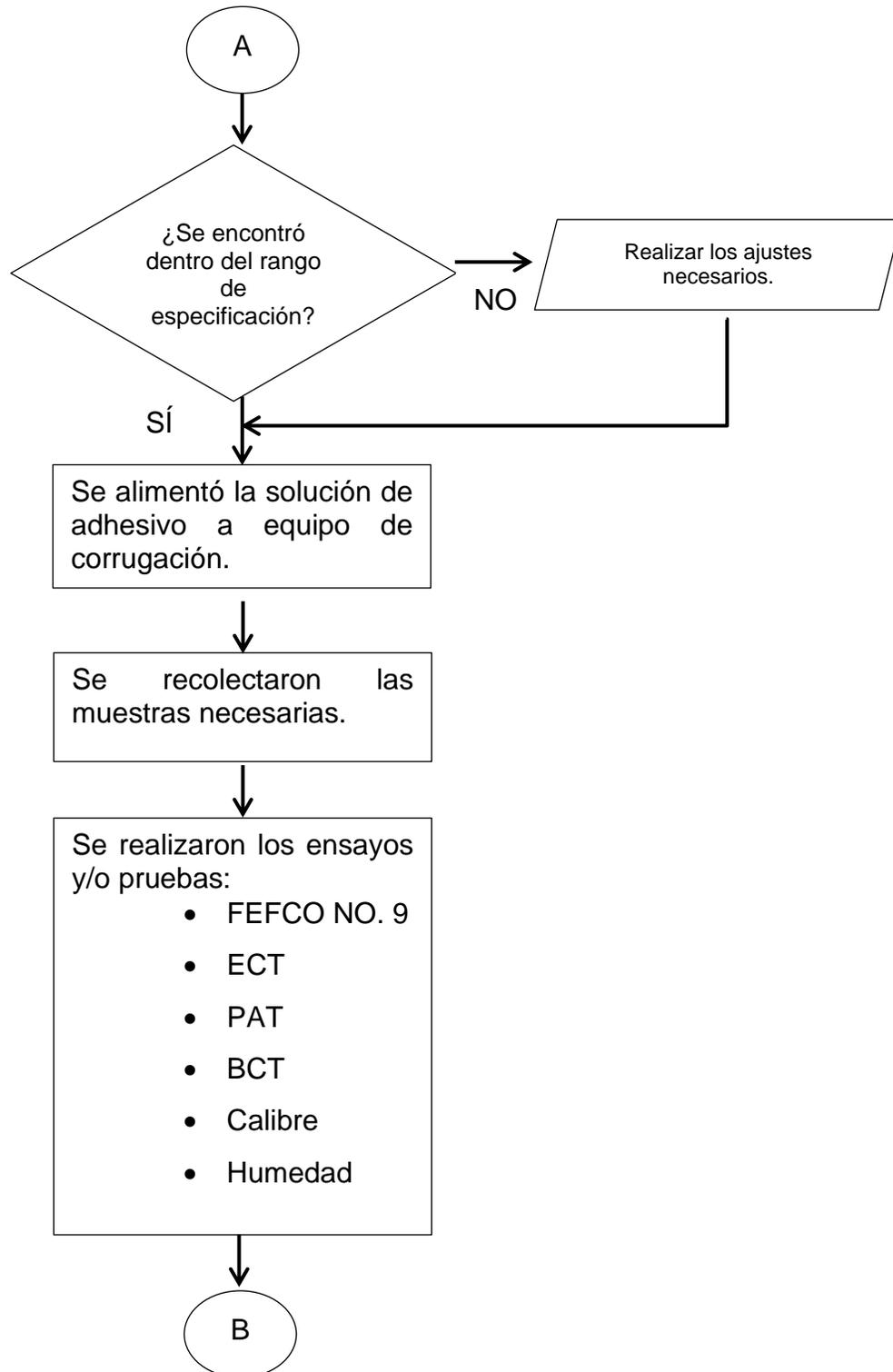
3.6. Recolección y ordenamiento de la información

- Se realizó la ubicación y recolección de los materiales.
- Se verificaron las propiedades de los materiales, los cuales se encontraron debidamente identificados y liberados por el departamento de calidad.
- Luego, se procedió a realizar el lote químico de almidón, según cada prueba a realizar, dependiendo del cambio del componente a evaluar.
 - Se verificaron los puntos de control, punto de gel y viscosidad. Se encontraron estables y dentro de rango para proceder a utilizar el adhesivo en el proceso.
- Se utilizó el adhesivo en el proceso de corrugación.
 - Luego se tomaron las muestras de PT necesarias, producidas con la fórmula de interés a evaluar.
- Se realizaron las pruebas de especificación para validación del PT.
 - Se obtuvieron los datos de los resultados.
- Se procedió a la tabulación de los mismos.
 - Se procedió al análisis e interpretación de resultados.
- Posteriormente se elaboró el informe final para su revisión y entrega.

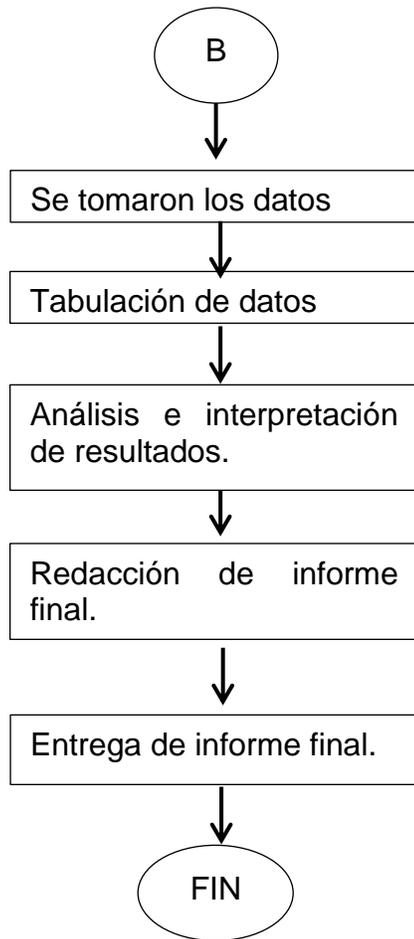
Figura 12. Diagrama de flujo del procedimiento



Continuación de la figura 12.



Continuación de la figura 12.



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 365.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para la determinación de los parámetros de control del adhesivo se realizó la preparación de cada lote dependiendo del cambio del componente a evaluar. Durante la preparación y previo a enviar el adhesivo al proceso de corrugación, se realizó la liberación del mismo con base en los puntos de control como viscosidad, punto de gel y temperatura. Si alguno no cumplía con los parámetros

de aceptación, se debían hacer las modificaciones necesarias para cumplir con los mismos. Para la elaboración de este informe no se realizó ninguna modificación, ya que todos los parámetros cumplieron para su utilización.

Para la determinación de las pruebas de especificación del producto terminado, se tomaron las muestras necesarias, producidas con la fórmula de interés a evaluar. Las muestras de PT se dejaron en el laboratorio de análisis, durante 24 horas luego del proceso, para realizar un proceso de curación y secado. Posteriormente se realizó cada una de las pruebas de especificación a cada una de las muestras, el número de muestras a analizar es de 10 por cada prueba de especificación, para cada lote diferente de preparación. Se realizaron 3 repeticiones por cada prueba o lote preparado.

3.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de datos se utilizaron los siguientes métodos:

- Número de repeticiones por prueba (3 por repetición)

La siguiente ecuación indica la cantidad de repeticiones del experimento que se realizaron para disminuir la dispersión de los datos:

$$N = \frac{z^2 * P * Q}{E^2}$$

Donde:

N = número de repeticiones

Z = confiabilidad

P = Probabilidad de éxito

Q = Probabilidad de fracaso

E = Error estimado

- Media

La siguiente ecuación indica el promedio de una medición. Indica el valor alrededor del cual se agrupan los datos, dando una idea de cómo están centrados y proporciona mayor facilidad para realizar comparaciones:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Donde:

\bar{X} = Media de los datos

$\sum X_i$ = Sumatoria de valores

n = Número de datos

- Desviación estándar

Es una medida de dispersión, indica cuánto pueden alejarse los valores respecto de la media:

$$\partial = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Donde:

∂ = desviación estándar

\bar{X} = media de los datos

X_i = valor individual de cada dato

n = número de datos

- Varianza de un factor

Para un análisis experimental de resultados, el análisis de la varianza permite aprobar hipótesis, ya sea la hipótesis nula o hipótesis alternativa. Un ANOVA consiste en determinar si el factor que se va a estudiar (tratamiento) influye sobre la variable respuesta (variable dependiente). Para ello, compara la varianza entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos para determinar si los grupos forman parte de una misma población o son poblaciones separadas con características distintas.

La hipótesis nula (H_0) indica que, al aplicar tratamientos, las variables respuesta son iguales, mientras que la hipótesis alternativa (H_a) describe que por lo menos una de las variables respuesta difiere de las demás.

$$H_0: PAT_{Base} = PAT_{A.1} = PAT_{A.2} = PAT_{B.1} = PAT_{B.2} = PAT_{C.1} = PAT_{C.2}$$

$$H_a: PAT_{Base} \neq PAT_{A.1} \neq PAT_{A.2} \neq PAT_{B.1} \neq PAT_{B.2} \neq PAT_{C.1} \neq PAT_{C.2}$$

Un ANOVA puede realizarse con ayuda del programa Microsoft Excel. Para el presente trabajo de investigación los factores serán el cambio de un componente en la fórmula del adhesivo, mientras que la variable respuesta será la prueba de especificación PAT. Para aceptar o rechazar una hipótesis estadística, se hará basándose en la distribución de Fisher. Se utilizó una confiabilidad del 95 % y se comparó la F crítica con la F calculada a partir de los siguientes criterios para el análisis de varianza:

Si $F > F_{Crítica}$, se rechaza la hipótesis nula

Si $F < F_{Crítica}$, se acepta la hipótesis nula

4. RESULTADOS

Tabla IV. **Media general por cada prueba, a partir de repeticiones.**
Pruebas A (almidón), B (NaOH), C (resina)

P. de control \ Prueba (Fórmula)	Fórmula Base	A.1	A.2	B.1	B.2	C.1	C.2	Rango P. de control
Viscosidad (seg S.H.)	59	45	67	54	64	58	62	40 - 80
Punto de Gel (°C)	63	62	63	64	62	63	63	62 - 64
Temperatura (°C)	37,5	38	37,5	38,5	36	38	38	37 - 39
pH	12,62	12,50	12,75	12,58	12,97	12,55	12,71	12,2 - 13,1

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla V. **Media general de resultados, prueba de fórmula base, a partir
de repeticiones**

PRUEBA: Fórmula Base				
REPETICIÓN \ ENSAYO	1	2	3	MEDIA GENERAL
ECT (lb/in)	31,266	31,566	31,357	31,396
BCT (lbf)	481,800	484,400	483,700	483,300
PAT (lb/ft)	46,367	46,593	46,390	46,450
CALIBRE (in)	0,150	0,151	0,151	0,151
HUMEDAD CARTÓN (%)	8,255	8,242	8,250	8,249
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,900	12,000	11,930	11,943
FEFCO No. 9 (horas)	24,100	24,150	24,000	24,083

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla VI. **Media general de resultados, prueba A.1, a partir de repeticiones**

PRUEBA: A.1				
REPETICIÓN ENSAYO	1	2	3	MEDIA GENERAL
ECT (lb/in)	28,996	29,201	29,357	29,185
BCT (lbf)	462,700	466,300	464,800	464,600
PAT (lb/ft)	48,626	48,535	49,036	48,733
CALIBRE (in)	0,153	0,153	0,153	0,150
HUMEDAD CARTÓN (%)	8,283	8,295	8,369	8,316
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,100	12,200	12,200	12,167
FEFCO No. 9 (horas)	24,200	24,250	24,150	24,200

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla VII. **Media general de resultados, prueba A.2, a partir de repeticiones**

PRUEBA: A.2				
REPETICIÓN ENSAYO	1	2	3	MEDIA GENERAL
ECT (lb/in)	31,836	32,013	32,085	31,978
BCT (lbf)	533,000	538,600	539,800	537,133
PAT (lb/ft)	40,840	39,390	40,343	40,191
CALIBRE (in)	0,154	0,155	0,155	0,155
HUMEDAD CARTÓN (%)	7,695	7,760	7,840	7,765
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,800	12,900	13,000	12,900
FEFCO No. 9 (horas)	23,900	23,750	23,600	23,750

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla VIII. **Media general de resultados, prueba B.1, a partir de repeticiones**

PRUEBA: B.1				
REPETICIÓN				
ENSAYO	1	2	3	MEDIA GENERAL
ECT (lbf/in²)	30,543	30,224	30,829	30,532
BCT (lbf)	432,100	427,600	435,600	431,767
PAT (lbf/ft²)	53,900	53,546	54,212	53,886
CALIBRE (in)	0,150	0,150	0,151	0,150
HUMEDAD CARTÓN (%)	8,463	8,302	8,262	8,342
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,200	12,200	12,200	12,200
FEFCO No. 9 (horas)	25,200	25,350	25,500	25,350

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla IX. **Media general de resultados, prueba B.2, a partir de repeticiones**

PRUEBA: B.2				
REPETICIÓN				
ENSAYO	1	2	3	MEDIA GENERAL
ECT (lb/in)	30,661	30,436	30,414	30,504
BCT (lbf)	390,900	396,600	389,500	392,333
PAT (lb/ft)	44,457	43,469	43,320	43,749
CALIBRE (in)	0,151	0,152	0,151	0,151
HUMEDAD CARTÓN (%)	8,733	8,769	8,772	8,758
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,800	11,900	11,900	11,867
FEFCO No. 9 (horas)	23,100	22,950	22,850	22,967

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla X. **Media general de resultados, prueba C.1, a partir de repeticiones**

PRUEBA: C.1				
REPETICIÓN				
ENSAYO	1	2	3	MEDIA GENERAL
ECT (lb/in)	29,352	29,881	29,899	29,711
BCT (lbf)	309,800	314,400	313,300	312,500
PAT (lb/ft)	45,499	45,467	46,252	45,740
CALIBRE (in)	0,150	0,150	0,151	0,150
HUMEDAD CARTÓN (%)	7,548	7,869	8,019	7,812
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,700	11,700	11,900	11,767
FEFCO No. 9 (horas)	23,900	24,200	24,250	24,117

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XI. **Media general de resultados, prueba C.2, a partir de repeticiones**

PRUEBA: C.2				
REPETICIÓN				
ENSAYO	1	2	3	MEDIA GENERAL
ECT (lb/in)	30,974	31,130	30,861	30,988
BCT (lbf)	479,600	484,100	478,800	480,833
PAT (lb/ft)	49,943	50,624	50,112	50,226
CALIBRE (in)	0,153	0,153	0,150	0,152
HUMEDAD CARTÓN (%)	7,790	7,939	7,765	7,831
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,900	12,100	12,200	12,067
FEFCO No. 9 (horas)	24,150	24,300	24,150	24,200

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XII. **Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación**

PRUEBA: Fórmula Base			
ENSAYO \ DATO	DATO DE ESPECIFICACIÓN	DATO MEDIA GENERAL	% CUMPLIMIENTO
ECT (lb/in)	29,000	31,396	108,26
BCT (lbf)	469,000	483,300	103,05
PAT (lb/ft)	45,000	46,450	103,22
CALIBRE (in)	0,145	0,151	103,98

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XIII. **Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación**

PRUEBA: A.1			
ENSAYO \ DATO	DATO DEESPECIFICACIÓN	DATO MEDIA GENERAL	% CUMPLIMIENTO
ECT (lbf/in²)	29,000	29,185	100,64
BCT (lbf)	447,000	464,600	103,94
PAT (lbf/ft²)	45,000	48,733	108,29
CALIBRE (in)	0,145	0,153	105,56

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XIV. **Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación**

PRUEBA: A.2			
DATO	DATO DE ESPECIFICACIÓN	DATO MEDIA GENERAL	% CUMPLIMIENTO
ENSAYO			
ECT (lb/in)	29,000	31,978	110,27
BCT (lbf)	496,000	537,133	108,29
PAT (lb/ft)	45,000	40,191	89,31
CALIBRE (in)	0,145	0,155	106,55

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XV. **Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación**

PRUEBA: B.1			
DATO	DATO DEESPECIFICACIÓN	DATO MEDIA GENERAL	% CUMPLIMIENTO
ENSAYO			
ECT (lb/in)	29,000	30,532	105,28
BCT (lbf)	432,000	431,767	99,95
PAT (lb/ft)	45,000	53,886	119,75
CALIBRE (in)	0,145	0,151	103,61

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XVI. **Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación**

PRUEBA: B.2			
DATO ENSAYO	DATO DE ESPECIFICACIÓN	DATO MEDIA GENERA L	% CUMPLIMIENTO
ECT (lb/in)	29,000	30,504	105,19
BCT (lbf)	399,000	392,333	98,33
PAT (lb/ft)	45,000	43,749	97,22
CALIBRE (in)	0,145	0,151	104,37

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XVII. **Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación**

PRUEBA: C.1			
DATO ENSAYO	DATO DE ESPECIFICACIÓN	DATO MEDIA GENERA L	% CUMPLIMIENTO
ECT (lb/in)	29,000	29,711	102,45
BCT (lbf)	342,000	312,500	91,37
PAT (lb/ft)	45,000	45,740	101,64
CALIBRE (in)	0,145	0,150	103,68

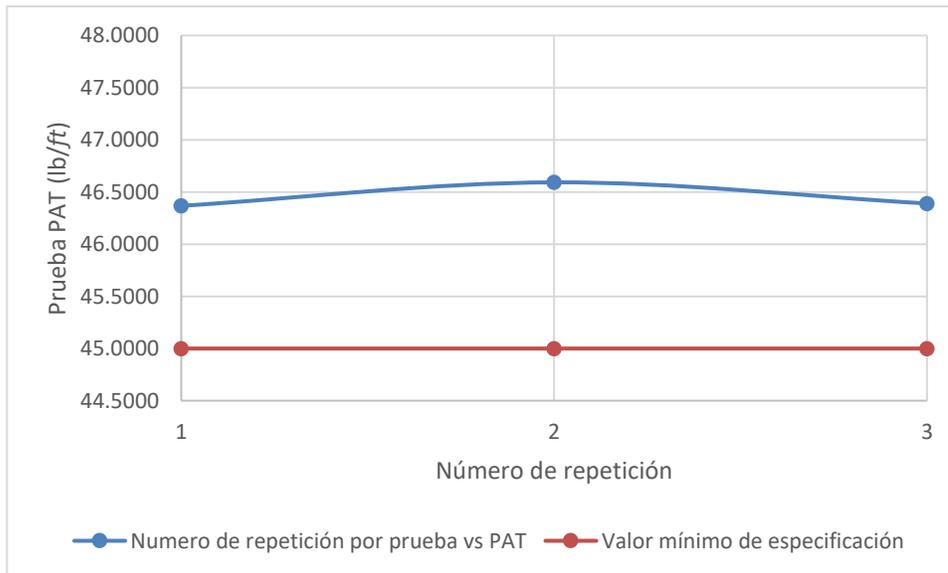
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XVIII. **Porcentaje de cumplimiento de resultados respecto a datos de especificación**

PRUEBA: C.2			
DATO ENSAYO	DATO DE ESPECIFICACIÓN	DATO MEDIA GENERA L	% CUMPLIMIENTO
ECT (lb/in)	29,000	30,988	106,86
BCT (lbf)	469,000	480,833	102,52
PAT (lb/ft)	45,000	50,226	111,61
CALIBRE (in)	0,145	0,152	104,83

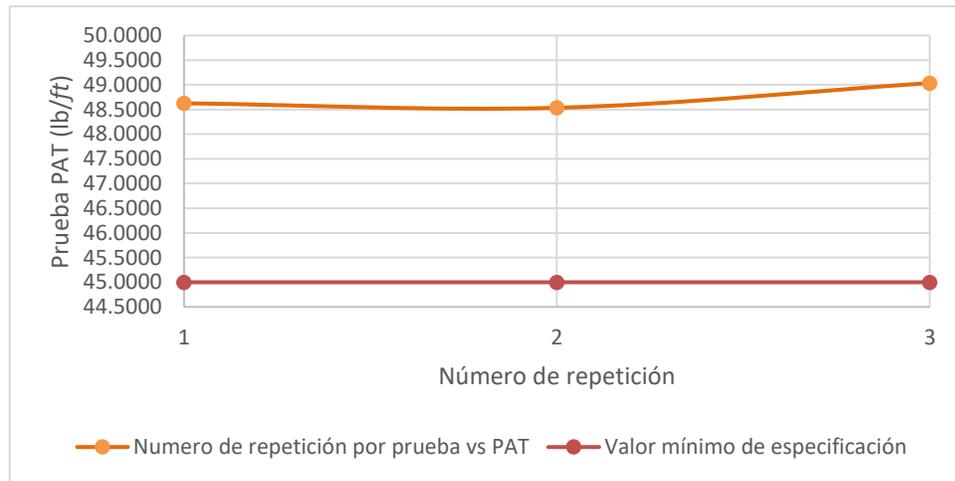
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 13. **Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba de fórmula base**



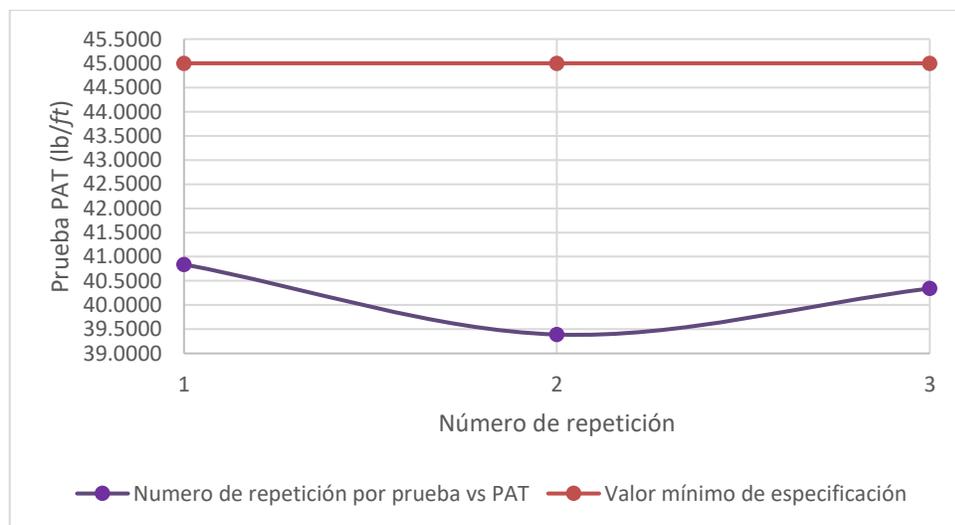
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 14. **Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba A.1**



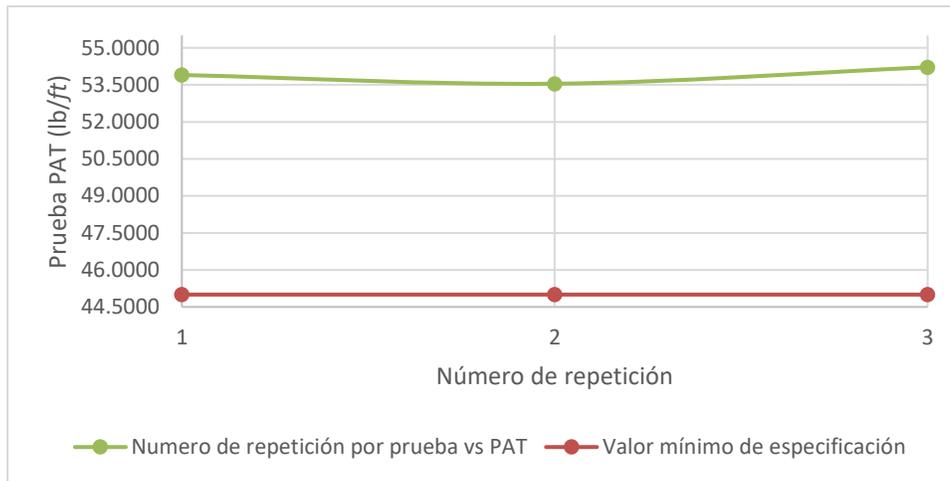
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 15. **Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba A.2**



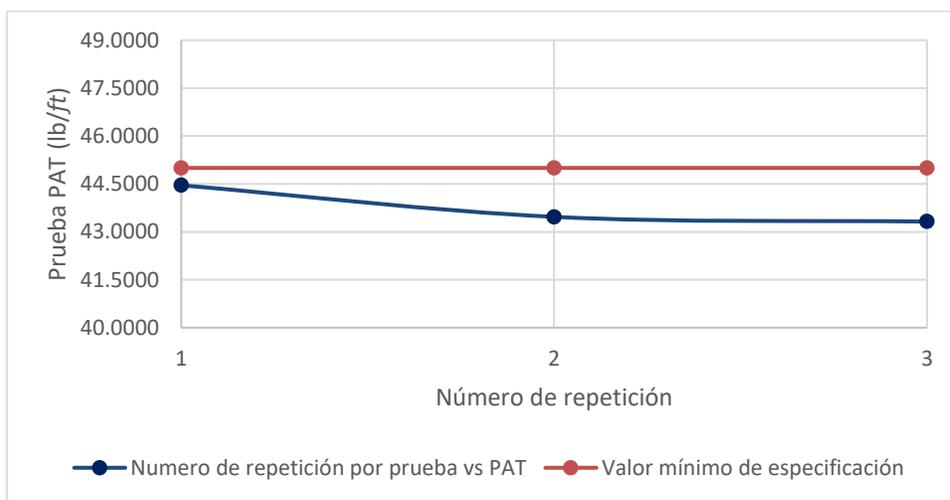
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 16. **Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba B.1**



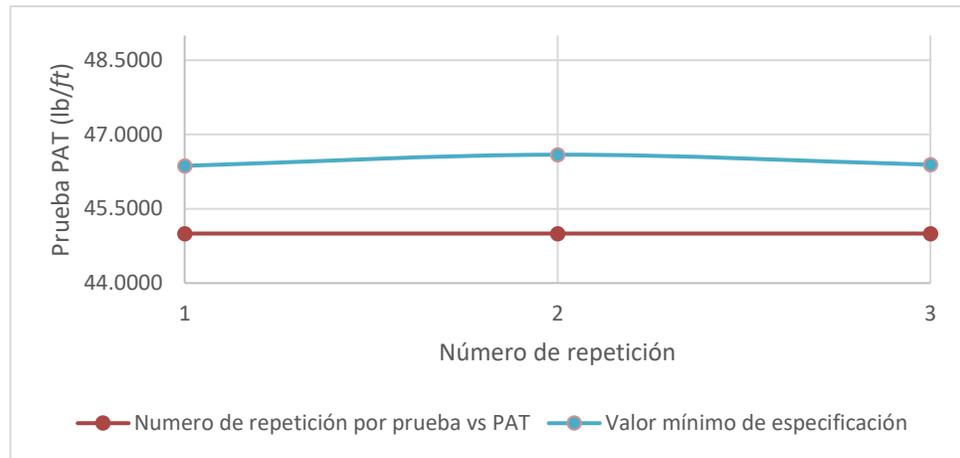
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 17. **Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba B.2**



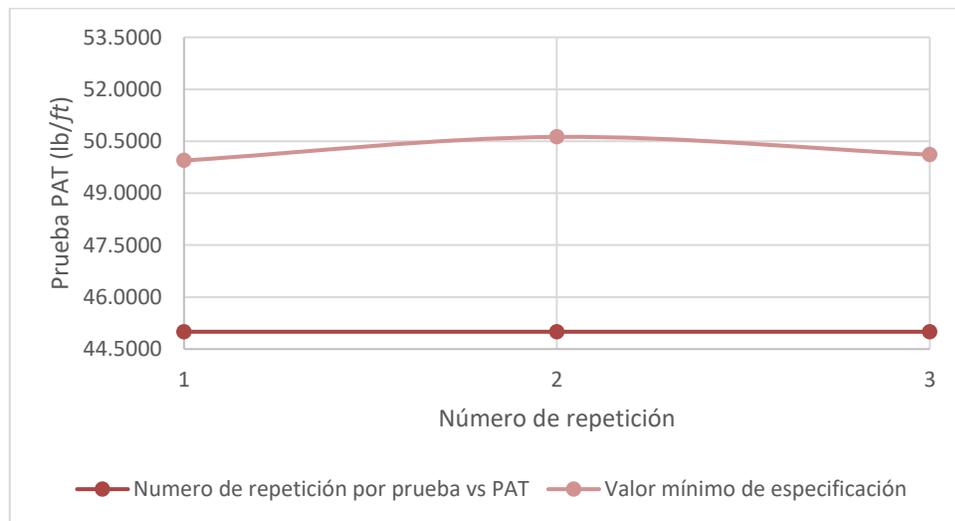
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 18. **Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba C.1**



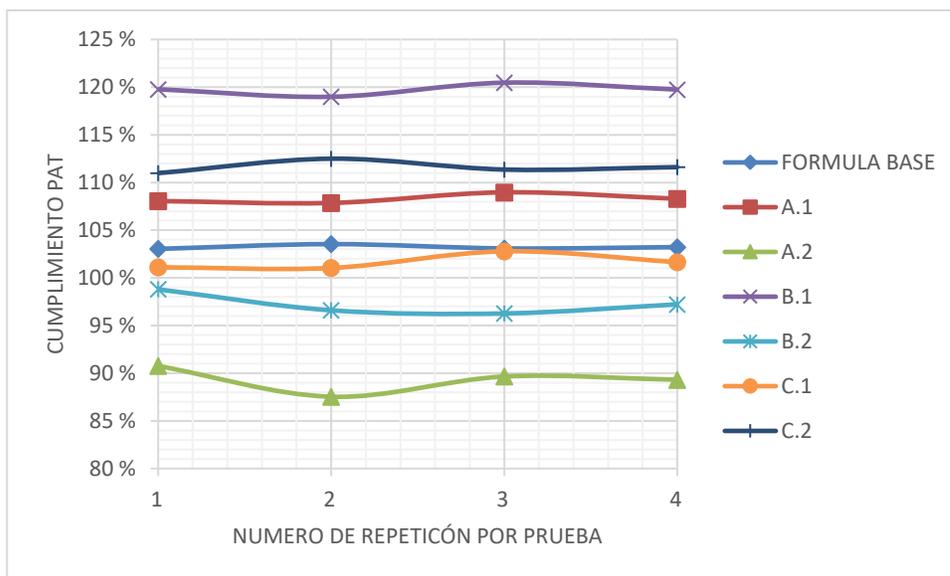
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 19. **Número de repetición versus valor de especificación de prueba PAT para prueba C.2**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 20. Pruebas realizadas versus porcentaje de cumplimiento de prueba PAT



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo evaluó el efecto que causa la variación de algunos componentes (almidón, NaOH, resina) de la fórmula del adhesivo utilizado, en una industria dedicada al diseño, fabricación y comercialización de cartón corrugado, respecto a la fórmula base utilizada.

Dicho estudio se realizó analizando las diferentes pruebas de validación, aprobación y especificación al cartón corrugado como producto final, siendo las siguientes: FEFCO No. 9, ECT, PAT, BCT, calibre y humedad, siendo la más importante la prueba PAT, que valida la calidad de adherencia de los papeles.

Se realizaron seis fórmulas diferentes de adhesivo, variando tres de los componentes principales en la fórmula (almidón, NaOH, resina). Se realizó una variación de menor proporción y una variación de mayor proporción de cada componente, respecto a la fórmula base, como se observa en la tabla III, para evaluar el efecto de las características del adhesivo en cada prueba. Se trabajó con el *test* 175 C, tipo comercial, por ser el más utilizado en la industria, cubriendo el 80 % de producción de planta.

Debido a la composición química del polímero y sus altas características de adherencia, el adhesivo utilizado en la industria del cartón corrugado es realizado a base de almidón de maíz. Los requerimientos generales para validar la calidad del adhesivo son: viscosidad adecuada, pH, gelatinización y absorción, como se puede observar en la tabla IV. Parte de estos requerimientos se cumplen cuando se agregan varios componentes a la fórmula, entre ellos el agua, que desempeña

el mayor porcentaje en peso en la misma. Sin embargo, esta debe cumplir con parámetros para desempeñar su función en la fórmula.

El almidón perla únicamente es soluble en agua, cuando esta se calienta. El almidón pierde su estructura semicristalina, ya que los gránulos se transforman, se hinchan y se rompen, y es ahí donde las moléculas de amilasa comienzan a brotar fuera del granulo, para desarrollar sus propiedades adhesivas, incrementando la viscosidad de la mezcla. Se le denomina gelatinización o punto de gel a la transformación que sufre el granulo, que es la temperatura requerida a la que la mezcla consigue su propiedad de espesor.

El punto de gel del almidón crudo o perla, en mezcla con agua caliente, se encuentra alrededor de 70°C a 80°C, según ACCCSA, y una viscosidad muy baja, lo cual implica que su aplicación industrial como adhesivo sea imposible. Sin embargo, la temperatura o punto de gel se puede disminuir, agregando a la fórmula un tercer componente, como lo es una base fuerte, para este estudio el uso de NaOH, lo que implica un adhesivo altamente alcalino. Por lo que una cantidad considerable de NaOH controla el punto de gel disminuyéndolo y aumentando su viscosidad, desarrollando mejor calidad de adherencia, dada la necesidad de poder desarrollar condiciones de disminución de energía y aumento de velocidad en máquina.

Aunque el NaOH proporcione cierta viscosidad en presencia del almidón base, la viscosidad de esta mezcla acuosa aún no es la requerida para proporcionar condiciones estables de adherencia. Una mínima cantidad de un compuesto de boro, principalmente el tetraborato de sodio decahidratado, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, bórax, se agrega como cuarto componente a la mezcla, con el objetivo de consumir la soda en la reacción, su estructura aniónica construye uniones entre sus cadenas y las moléculas de polímero del almidón que ya se

encuentra gelatinizado, logrando un incremento de la viscosidad y proporcionando mayor resistencia y fuerza de adherencia.

Del requerimiento de la estabilización constante del punto de gel y viscosidad del adhesivo, se tiene la necesidad de un quinto componente en la mezcla: la resina, pues tiene un rango amplio de aplicación por su estructura y estabilidad, ya que la reacción de esta con el adhesivo da lugar a un polímero termoestable, que logra una estabilización en la mezcla y presenta buenas propiedades mecánicas y térmicas, como su alta resistencia a la flexión y elasticidad, siendo este punto importante en las características de un adhesivo, así como el coeficiente de expansión térmico, lo que agrega mayor tensión en la interfase del pegado del adhesivo. Estas características fortalecen la calidad de adherencia, incluso cuando el adhesivo se encuentre seco.

El componente seis en la mezcla de adhesivo es el químico expansor, es el componente con menor contenido en peso en la fórmula, sin embargo, la adición de este es muy importante, siendo el objetivo del expansor lograr la apertura del poro de la fibra de los papeles, reduciendo la tensión superficial, y lograr mayor penetración de la mezcla.

Para validar los requerimientos de calidad del adhesivo en cada prueba realizada, previo a su utilización en el proceso, como se puede observar en la tabla III, se realizó la medición de viscosidad, punto de gel, temperatura y pH en cada lote de fórmula preparado. Todas las mezclas preparadas cumplieron con los requerimientos del proceso para su utilización posterior en el proceso de corrugación, proporcionando un adecuada viscosidad y punto de gel, así como su estabilización térmica y pH, con el objetivo de desarrollar la velocidad regularmente utilizada en el proceso. El efecto del pH es importante durante la elaboración del adhesivo, este debe garantizarse durante el proceso, el rango de

pH recomendado en la elaboración del adhesivo debe oscilar entre 12,2 y 13,1 para evitar inconvenientes, ya que su variación genera fluctuaciones en la viscosidad y punto de gel, generando inestabilidad de los hidrogeles, disminuyendo su calidad de adherencia y ocasionando paros improductivos en máquina.

Después de la validación y aprobación de calidad de requerimiento del adhesivo luego de su preparación, se procedió a su utilización en el proceso referente a las pruebas: A.1, A.2, B.1, B.2, C.1, C.2. Con la trazabilidad correspondiente del PT, se procedió a realizar las pruebas de especificación al cartón corrugado.

Como se puede observar en la tabla V, se procedió a realizar las pruebas de especificación al PT, producido con la fórmula base, con el objetivo de crear el marco de referencia y la elección de la fórmula propuesta. Por cada prueba de especificación: FEFCO No. 9, ECT, PAT, BCT, calibre y humedad, se realizaron 10 tratamientos y un total de 3 repeticiones. Con el objetivo de obtener mayor precisión promedio de datos por cada repetición, los cuales se pueden observar en las tablas VI a la XI.

En la tabla XII se puede observar el porcentaje de cumplimiento de la prueba de fórmula base, respecto a los rangos de los parámetros de especificación, en la cual se cumple con todos los parámetros, validando la calidad del adhesivo utilizado. Y, como se puede observar en la figura 15, obteniendo un cumplimiento promedio del 103 % en la prueba PAT, como prueba crítica para validar la adherencia de la fórmula que actualmente se utiliza en el proceso, lo cual confirma su validación como fórmula base, cumpliendo con los parámetros establecidos.

En la tabla XIII y figura 16 se puede observar el porcentaje de cumplimiento de los parámetros de especificación para la prueba A.1, para la cual se utilizó menor contenido de almidón en la fórmula, reduciendo en un 2 % su contenido respecto a la fórmula base, lo que generó una disminución considerable en la viscosidad de la fórmula y una leve disminución del punto de gel. Esto implicó un aumento en el pegado, derivado de un ligero exceso de agua que no fue absorbida por la cantidad de gránulos de almidón, retirada por la vaporización de la misma. Se obtuvo un cumplimiento adecuado de pruebas de especificación, así como del 108 % para la prueba PAT, como prueba crítica para validar la adherencia de la fórmula propuesta, por lo que se recomienda su uso.

En la tabla XIV y figura 17 se puede observar el porcentaje de cumplimiento de los parámetros de especificación para la prueba A.2, para la cual se utilizó mayor contenido de almidón en la fórmula, aumentando en un 2 % su contenido respecto a la fórmula base, lo cual generó un aumento considerable en la viscosidad de la fórmula y comportamiento estable del punto de gel. Esto disminuyó el efecto de la característica de calidad de adherencia, debido al aumento de sólidos en la formulación, que implicó un aumento en la viscosidad, lo cual provocó el aumento de la velocidad de la máquina que no generó una adecuada aplicación, y que a pesar de cumplir dentro del rango establecido y obtener un cumplimiento adecuado de pruebas de especificación, no cumple con el valor de la prueba PAT, con un 89 %, por lo que no se recomienda su uso.

En la tabla XV y figura 18 se puede observar el porcentaje de cumplimiento de los parámetros de especificación para la prueba B.1, para la cual se utilizó un 2 % de NaOH de su contenido en peso en la fórmula, lo cual generó una disminución considerable en la viscosidad, respecto a la fórmula base, y un ligero aumento del punto de gel. Esto implicó un aumento en el pegado, debido a un control adecuado de contenido de NaOH en la fórmula del adhesivo que controla

el punto de gel, viscosidad y capacidad de penetración del mismo, derivado de una mejor proporción de cocimiento del mismo y su formación de hidrogeles. Se obtuvo un cumplimiento adecuado de pruebas de especificación, así como del 120 % para la prueba PAT, como prueba crítica para validar la adherencia de la fórmula propuesta, por lo que se recomienda su uso.

En la tabla XVI y figura 19 se puede observar el porcentaje de cumplimiento de los parámetros de especificación para la prueba B.2, para la cual se utilizó un 2,60 % de NaOH de su contenido en peso en la fórmula, lo cual generó un aumento en la viscosidad y una ligera disminución del punto de gel. Esto implicó una mala calidad de pegado, debido a que el aumento de viscosidad, a pesar de encontrarse dentro de rango, generó cristalización del cartón, lo que provocó el fácil despegado del mismo, ya que su aplicación durante el proceso no fue óptima. Se obtuvo un cumplimiento adecuado de pruebas de especificación respecto a calibre y ECT, sin embargo, no cumple con el valor de BCT. Derivado de lo quebradizo del cartón, la caja no soporta la resistencia a la compresión de la estiba, y la prueba PAT, con un 97 %, por lo que no se recomienda su uso.

En la tabla XVII y figura 20 se puede observar el porcentaje de cumplimiento de los parámetros de especificación para la prueba C.1, para la cual se utilizó un 4 % de resina de su contenido en peso en la fórmula. Esto generó un comportamiento estable de viscosidad y punto de gel, respecto a la fórmula base, lo cual implicó una estable resistencia al pegado. Se obtuvo un cumplimiento adecuado de pruebas de especificación, para ECT y calibre, sin embargo, no existió un cumplimiento óptimo para la resistencia a la compresión de la estiba, lo cual indica un cartón débil, debido a que no se le proporcionó la cantidad necesaria del agente termocurable, que no permitió que la acción del pegado fuera óptima en condiciones ambientales. Y hubo un cumplimiento del 102 % para la prueba PAT, como prueba crítica para validar la adherencia de la fórmula

propuesta, por lo que se recomienda su uso, únicamente tomando en cuenta que el proceso de secado y curado de la lámina debe ser mayor a 24 horas.

En la tabla XVIII y figura 21 se puede observar el porcentaje de cumplimiento de los parámetros de especificación para la prueba C.2, para la cual se utilizó un 4,70 % de resina de su contenido en peso en la fórmula. Esto generó un comportamiento estable de viscosidad y punto de gel, respecto a la fórmula base, e implicó una estable resistencia al pegado. Se obtuvo un cumplimiento adecuado de pruebas de especificación, incluyendo la resistencia a la compresión de la estiba, que, en comparación con lo que la fórmula C.1 indica, proporcionó la cantidad necesaria del agente termocurable que confirió la acción del pegado para que fuera óptima, estabilizando la propiedad de hidrogeles en el adhesivo, para su secado en condiciones ambientales. Hubo un cumplimiento del 112 % para la prueba PAT, por lo que se recomienda su uso.

En la figura 22 se puede observar el comportamiento del promedio de cada tratamiento de las pruebas realizadas, en función de la prueba crítica de especificación PAT. El mejor resultado lo brindó la prueba A.1, logrando un cumplimiento de 120 % de la calidad y resistencia a la adherencia entre papeles. Por eso se valida para la preparación de un lote de adhesivo el uso de los siguientes componentes y sus respectivas cantidades: almidón = 716 libras, NaOH = 14,32 libras, resina epóxida = 32,95 libras, bórax = 7,88 libras, expansor = 2,60 libras y agua = 2433 libras. Por esto se recomienda su uso y aplicación a escala industrial en el proceso, generando un ahorro de 0,50 % de materia prima respecto a NaOH y un 11 % de ahorro económico por lote de preparación, generando ahorros al proceso de fabricación de adhesivo.

CONCLUSIONES

1. El efecto que tiene variar el contenido de almidón en 2 % menor, comparado con la fórmula base, aumenta un 8 % de cumplimiento como prueba de especificación PAT de la resistencia a la compresión. El efecto que tiene variar el contenido de almidón en 2 % mayor, comparado con la fórmula base, disminuye en 11 % de cumplimiento como prueba de especificación PAT de la resistencia a la compresión.
2. El efecto que tiene variar el contenido de NaOH en 2 %, en la fórmula de adhesivo, aumenta un 20 % de cumplimiento como prueba de especificación PAT de la resistencia a la compresión. El efecto que tiene variar el contenido de NaOH en 2,60 % en la fórmula de adhesivo, disminuye un 3 % de cumplimiento como prueba de especificación PAT de la resistencia a la compresión.
3. El efecto que tiene variar el contenido de resina en 4 %, en la fórmula de adhesivo, aumenta un 2 % de cumplimiento como prueba de especificación PAT de la resistencia a la compresión. El efecto que tiene variar el contenido de resina en 4,70 % en la fórmula de adhesivo, aumenta un 12 % de cumplimiento como prueba de especificación PAT de la resistencia a la compresión.
4. Existe diferencia significativa de 20 % de resistencia a la compresión, entre los valores obtenidos de la prueba de especificación de la fórmula modificada y los valores obtenidos de la prueba de especificación de la fórmula base. Se acepta la hipótesis alternativa.

5. Los parámetros de los puntos de control de las especificaciones del adhesivo se validan para: viscosidad = 40 – 80 segundos; y pH = 12,2 - 13,1.

6. El efecto que tiene la fórmula modificada seleccionada, B.1, que consiste en variar el contenido de NaOH en 2 %, en la fórmula de adhesivo, genera un ahorro del 11 % en monto monetario, por lote de preparación.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio variando cada uno de los componentes de la fórmula del adhesivo, con el objetivo de contar con un campo más amplio de cada materia prima a utilizar, y evaluar las ventajas, desventajas y resultados de cada uno.
2. Implementar la medición de pH al adhesivo, por el método de volumetría, para validar sus propiedades fisicoquímicas.
3. Implementar los resultados del presente trabajo de investigación a escala industrial, con el objetivo de obtener mejoras en las propiedades mecánicas del producto final y, como consecuencia, mayores beneficios económicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO AYALA, Álvaro Miguel y AGUAS ACERO, Alejandra. *Desarrollo de una propuesta para la producción y evaluación de un adhesivo a partir del almidón de papa a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Facultad de Ingeniería, Universidad de América, 2018. 144 p.
2. ANDERSON MARROQUÍN, Milton Giovany. *Fabricación y proceso de control de calidad en cajas de cartón corrugado, para el mercado agrícola de exportación*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 97 p.
3. ARACRI SILVANI, Félix. *Los adhesivos de almidón para corrugado*. [en línea]. <<http://consultoresfca.blogspot.com/2009/04/introduccion-los-adhesivos-de-almidon.html>>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
4. Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 12960:2001. Adhesivos para papel y cartón, embalaje y productos sanitarios desechables: determinación de la resistencia a la cizalla*. [en línea]. <<https://www.une.org/encuentratunorma/buscanorma/norma?c=N0025696>>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
5. Asociación Técnica de la Industria de la Celulosa y del Papel. *Normas y métodos de contenedores corrugados*. [en línea].

<https://www.tappi.org/globalassets/documents/standards/tm_guidelines_complete.pdf>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].

6. CAFCCO. *Workshop de cartón corrugado: Sustentabilidad y Optimización*. [en línea]. <<https://cafcco.com.ar/edicion-38/#fb0=1>>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
7. CHÁVEZ BRITO, Daniel. *Elaboración de goma modificada a partir de la dextrina de yuca para uso en la industria cartonera*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil, 2012. 118 p.
8. DÍAZ CASTRO, Laura Jazmín y FIALLOS FIERRO, Fernando Fabián. *Obtención de un nuevo adhesivo a partir del almidón modificado (carrier) de maíz para la industria cartonera ecuatoriana*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil, 2011. 247 p.
9. El Empaque. *Avances en adhesivo para corrugados de base almidón*. [en línea]. <<http://www.eempaques.com/temas/Avances-en-adhesivo-para-corrugados-de-base-almidon+5001254>>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
10. GARDE BELZA, José Angel. *Colas y adhesivos*. [en línea]. <<http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/Colas%20y%20adhesivos?OpenDocument>>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
11. GONZÁLEZ VELÁZQUEZ, Xiadani. *Diseño, síntesis y caracterización fisicoquímica de un hidrogel nanofuncionalizado basado en*

polietilenglicol. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Facultad de Química, Universidad Autónoma del estado de México, 2016. 81 p.

12. HERNÁNDEZ RUIZ, Moisés y VERGARA NARVÁEZ, Andrés. *Propuesta de grado para optar el título de ingeniero agroindustrial, modalidad investigativa*. Trabajo de graduación de Ing. Agroindustrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, 2008. 82 p.
13. LEAL, Miriam. *Proceso de elaboración de adhesivo a base de almidón*. [en línea]. <https://prezi.com/fvyl1ymu5a7_/proceso-de-la-elaboracion-de-adhesivo-a-base-de-almidon/>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
14. MENESES, Juliana; CORRALES, Catalina María y VALENCIA, Marco. *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. [en línea]. <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
15. POREL, Wayne. *Informe de adhesivos avanzados*. [en línea]. <<https://www.harperlove.com/PDF/SpanishNewsMay18.pdf>>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
16. RODRÍGUEZ TARANGO, José Antonio. *Embalajes de cartón corrugado: ingeniería y diseño*. México: Instituto Mexicano de profesionales en Envase y Embalaje S.C., 2004. 66 p.
17. SALGADO ORDOSGOITIA, Rodrigo; PATERNINA CONTRERAS, Ana; COHEN MANRIQUE, Carlos y RODRÍGUEZ MANRIQUE, Jhonatan. *Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres*

Especies de Ñame: Criollo (Dioscorea alata), Espino (Dioscorea rotundata) y Diamante 22. [en línea]. <https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000400093>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].

18. TOVAR BENÍTEZ, Tomas. *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea Mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Trabajo de graduación en Lic. en Química en Alimentos. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad del estado de Hidalgo, 2008. 68 p.
19. VELÁSQUEZ, Jorge; ACEVEDO, María y VILLA, Alexandra. *Producción de almidón zwitteriónico a partir de almidón de papa para la industria papelera*. [en línea]. <<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/7099>>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].
20. VERGARA, Andrés; HERNÁNDEZ, Moisés y RAMÍREZ DÍAZ, Roberto. *Evaluación de la adhesión de un pegante realizado con almidón nativo de yuca (manihot sculenta crantz) variedad m-tai*. *Revista de Investigación*. [en línea]. <<https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/181>>. [Consulta: 5 de agosto de 2021].

APÉNDICES

Apéndice 1. Análisis de pruebas de especificación a PT

Fórmula base. Repetición 1

REPETICIÓN: 1											
MATERIAL	10301231					TEST	175 C				
OP	2846329					PRUEBA	FÓRMULA BASE				
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lbf/in ²)	31,3875	31,8597	29,2685	29,1685	31,9048	30,3557	32,4182	35,0111	31,7347	29,5545	31,266
BCT (lbf)	475	483	468	475	524	478	475	469	490	481	481,8
PAT (lbf/ft ²)	46,7292	43,1437	45,757	47,6913	50,0653	44,7591	45,0827	45,6029	47,5535	47,2889	46,367
CALIBRE (in)	0,151	0,151	0,152	0,149	0,15	0,151	0,152	0,152	0,15	0,15	0,151
HUMEDAD CARTON (%)	8,43	8,28	8,19	8,26	7,92	8,15	8,17	8	8,53	8,62	8,255
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,9										11,9
FEFCO No, 9 (horas)	24,1										24,1

Fórmula base. Repetición 2

REPETICIÓN: 2											
MATERIAL	10301231					TEST	175 C				
OP	2846330					PRUEBA	FÓRMULA BASE				
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	32,4311	31,9082	30,283	30,1719	31,9101	29,9826	32,9191	29,1716	32,9642	33,9179	31,566
BCT (lbf)	470	478	461	481	520	503	492	472	463	504	484,4
PAT (lb/ft)	45,9982	44,9017	46,0182	48,917	49,9974	45,9728	46,1201	44,9171	46,0927	46,9917	46,593
CALIBRE (in)	0,148	0,148	0,149	0,152	0,153	0,147	0,151	0,154	0,153	0,154	0,151
HUMEDAD CARTON (%)	8,49	8,28	8,26	8,16	7,84	8,42	8,39	8,01	7,94	8,63	8,242
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12										12
FEFCO No, 9 (horas)	24,15										24,15

Fórmula base. Repetición 3

REPETICIÓN:3											
MATERIAL	10301231					TEST	175 C				
OP	2846329					PRUEBA	FÓRMULA BASE				
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	33,0123	31,7365	31,0928	32,0986	29,9901	30,9109	33,0121	29,7558	29,9624	31,9985	31,357
BCT (lbf)	457	491	524	491	509	463	473	459	501	469	483,7
PAT (lb/ft)	45,4975	45,9716	45,9793	47,0272	50,0237	45,7265	45,0827	47,9764	44,9826	45,6324	46,34
CALIBRE (in)	0,15	0,149	0,148	0,153	0,152	0,148	0,151	0,149	0,152	0,154	0,151
HUMEDAD CARTON (%)	8,29	8,92	8,02	7,92	7,99	7,83	8,23	8,09	8,5	8,71	8,25
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,93										11,93
FEFCO No, 9 (horas)	24										24

Continuación del apéndice 1.

Prueba A.1. Repetición 1

REPETICIÓN:1											
MATERIAL	10271437						TEST	175 C			
OP	2844270						PRUEBA	A,1			
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	30,137	29,3975	29,1691	29,56	28,3451	28,6209	31,4903	26,398	28,6375	28,2064	28,996
BCT (lbf)	458	466	453	482	452	476	463	441	458	478	462,7
PAT (lb/ft)	47,5096	50,0458	46,2108	46,9194	49,7365	48,3777	47,9601	49,1249	48,0292	52,3499	48,626
CALIBRE (in)	0,152	0,155	0,153	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154	0,15	0,15	0,153
HUMEDAD CARTON (%)	8,12	8,19	8,12	8,57	8,43	8,22	8,31	8,43	8,29	8,15	8,283
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,1										12,1
FEFCO No, 9 (horas)	24,2										24,2

Prueba A.1. Repetición 2

REPETICIÓN:2											
MATERIAL	10271437						TEST	175 C			
OP	2844270						PRUEBA	A,1			
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	30,7519	29,9972	29,0916	28,8651	29,0871	28,7692	30,1987	27,081	29,1614	29,0103	29,201
BCT (lbf)	460	455	476	480	462	479	470	449	450	482	466,3
PAT (lb/ft)	49,9862	48,9771	48,7629	44,818	50,9764	45,0871	47,9735	47,0813	48,8722	52,8176	48,535
CALIBRE (in)	0,152	0,154	0,15	0,154	0,153	0,153	0,154	0,154	0,153	0,152	0,153
HUMEDAD CARTON (%)	8,13	8,32	7,87	8,82	8,25	8,04	7,99	8,56	8,38	8,59	8,295
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,2										12,2
FEFCO No, 9 (horas)	24,25										24,25

Prueba A.1. Repetición 3

REPETICIÓN:3											
MATERIAL	10271437						TEST	175 C			
OP	2844270						PRUEBA	A,1			
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	29,5391	28,1208	28,8793	29,7654	29,021	28,9999	29,9772	28,8547	29,7642	30,6456	29,357
BCT (lbf)	450	456	470	467	490	479	451	445	459	481	464,8
PAT (lb/ft)	49,0294	48,9976	49,1972	47,8611	49,2174	49,2079	48,9725	47,6679	50,2437	49,9656	49,036
CALIBRE (in)	0,151	0,156	0,149	0,153	0,153	0,149	0,155	0,156	0,155	0,156	0,153
HUMEDAD CARTON (%)	8,27	8,65	8,97	7,87	8,31	8,45	8,36	8,74	8,02	8,05	8,369
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,2										12,2
FEFCO No, 9 (horas)	24,15										24,15

Continuación del apéndice 1.

Prueba A.2. Repetición 1

REPETICIÓN:1											
MATERIAL	10247752					TEST	175 C				
OP	2850820					PRUEBA	A,2				
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	31,3504	30,5846	31,4434	32,1915	29,5317	32,2954	31,5485	33,7229	32,0093	33,6813	31,836
BCT (lbf)	536	535	555	507	544	553	511	542	542	505	533
PAT (lb/ft)	33,0516	30,973	31,7189	32,1968	32,4298	48,0275	47,8871	46,3871	51,7204	54,0121	40,84
CALIBRE (in)	0,155	0,155	0,153	0,152	0,153	0,156	0,151	0,156	0,154	0,151	0,154
HUMEDAD CARTON (%)	7,59	7,83	7,5	7,57	7,72	7,76	7,6	7,65	7,9	7,83	7,695
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,8										12,8
FEFCO No, 9 (horas)	23,9										23,9

Prueba A.2. Repetición 2

REPETICIÓN:2											
MATERIAL	10247752					TEST	175 C				
OP	2850820					PRUEBA	A,2				
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	32,0642	29,6427	30,7538	33,1234	29,0005	31,3854	31,9766	34,6623	33,8652	33,6531	32,013
BCT (lbf)	500	523	507	501	568	550	555	565	539	578	538,6
PAT (lb/ft)	34,128	32,1437	31,017	33,2101	31,5418	45,0127	48,2001	45,2011	45,2355	48,2114	39,39
CALIBRE (in)	0,156	0,155	0,154	0,155	0,156	0,156	0,153	0,156	0,154	0,152	0,155
HUMEDAD CARTON (%)	7,29	7,93	7,61	7,64	7,99	7,84	7,82	8,03	8	7,45	7,76
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,9										12,9
FEFCO No, 9 (horas)	23,75										23,75

Prueba A.2. Repetición 3

REPETICIÓN:3											
MATERIAL	10247752					TEST	175 C				
OP	2850820					PRUEBA	A,2				
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	30,4389	29,6645	31,6452	33,2563	29,8748	30,6529	32,0182	33,6671	34,7652	34,8623	32,085
BCT (lbf)	522	514	510	511	499	560	568	571	563	580	539,8
PAT (lb/ft)	38,2598	31,0024	30,57	35,2091	32,2356	44,2017	49,2538	48,2393	46,2172	48,2395	40,343
CALIBRE (in)	0,157	0,152	0,155	0,156	0,157	0,155	0,155	0,156	0,154	0,155	0,155
HUMEDAD CARTON (%)	7,17	7,99	7,73	7,64	8,04	8,11	7,99	7,82	8,01	7,9	7,84
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	13										13
FEFCO No, 9 (horas)	23,6										23,6

Continuación del apéndice 1.

Prueba B.1. Repetición 1

REPETICIÓN:1											
MATERIAL	10278407					TEST			175 C		
OP	2856452					PRUEBA			B,1		
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	32,5763	29,4152	28,9681	33,8143	33,4991	30,9695	27,5891	31,5913	27,5326	29,47	30,543
BCT (lbf)	411	454	447	434	430	415	459	412	438	421	432,1
PAT (lb/ft)	58,7028	66,9531	46,2815	48,9598	64,7141	51,8901	52,9298	49,8219	49,6301	49,1164	53,9
CALIBRE (in)	0,148	0,145	0,155	0,15	0,145	0,153	0,155	0,144	0,152	0,153	0,15
HUMEDAD CARTON (%)	8,2	8,14	8,49	8,25	8,71	8,54	8,67	8,42	8,57	8,64	8,463
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,2										12,2
FEFCO No, 9 (horas)	25,2										25,2

Prueba B.1. Repetición 2

REPETICIÓN:2											
MATERIAL	10278407					TEST			175 C		
OP	2856452					PRUEBA			B,1		
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	31,4841	30,1459	29,2485	29,5674	32,5612	31,5941	29,5782	31,4102	28,5471	28,1044	30,224
BCT (lbf)	419	432	425	430	440	432	409	416	431	442	427,6
PAT (lb/ft)	60,0254	65,0149	55,7841	47,2541	59,5986	50,1258	50,1493	48,2341	51,1247	48,1467	53,546
CALIBRE (in)	0,15	0,148	0,151	0,154	0,146	0,154	0,15	0,145	0,149	0,154	0,15
HUMEDAD CARTON (%)	8,31	8,1	8,14	8,89	8,91	8,01	8,09	8,22	8,15	8,2	8,302
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,2										12,2
FEFCO No, 9 (horas)	25,35										25,35

Prueba B.1. Repetición 3

REPETICIÓN:3											
MATERIAL	10278407					TEST			175 C		
OP	2856452					PRUEBA			B,1		
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	29,3279	31,0124	30,2589	30,1487	32,587	33,1112	31,4523	32,147	30,1478	28,0977	30,829
BCT (lbf)	419	422	435	447	445	440	431	432	439	446	435,6
PAT (lb/ft)	59,0147	63,2478	55,9987	52,1587	56,214	51,2139	52,0143	50,5743	52,471	49,2101	54,212
CALIBRE (in)	0,151	0,15	0,15	0,153	0,151	0,152	0,151	0,148	0,148	0,152	0,151
HUMEDAD CARTON (%)	8,43	8,15	8,87	8,47	8,32	7,87	8,15	8,29	7,91	8,16	8,262
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,2										12,2
FEFCO No, 9 (horas)	25,5										25,5

Continuación del apéndice 1.

Prueba B.2. Repetición 1

REPETICIÓN:1												
MATERIAL	10292753				TEST				175 C			
OP	2857557				PRUEBA				B,2			
PRUEBA												
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO	
ECT (lb/in)	29,9856	29,5127	30,211	32,2196	32,0004	29,9987	32,0124	31,0107	30,1296	29,5317	30,661	
BCT (lbf)	371	336	432	400	375	415	402	419	358	401	390,9	
PAT (lb/ft)	45,5999	48,2129	47,8646	47,9137	46,6844	41,8935	40,4819	43,7886	40,5611	41,5695	44,457	
CALIBRE (in)	0,152	0,151	0,15	0,152	0,15	0,153	0,15	0,151	0,15	0,153	0,151	
HUMEDAD CARTON (%)	8,8	8,71	8,7	8,81	8,64	8,69	8,76	8,78	8,69	8,75	8,733	
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,8										11,8	
FEFCO No, 9 (horas)	23,1										23,1	

Prueba B.2. Repetición 2

REPETICIÓN:2												
MATERIAL	10292753				TEST				175 C			
OP	2857557				PRUEBA				B,2			
PRUEBA												
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO	
ECT (lb/in)	30,7639	28,5056	30,4505	30,326	32,1926	29,9702	31,6108	30,905	30,101	29,5374	30,436	
BCT (lbf)	370	389	399	407	410	415	400	410	388	378	396,6	
PAT (lb/ft)	46,0021	47,5201	45,2873	46,2174	45,558	40,1931	39,1114	42,579	41,0028	41,2146	43,469	
CALIBRE (in)	0,151	0,155	0,149	0,153	0,155	0,152	0,151	0,151	0,152	0,151	0,152	
HUMEDAD CARTON (%)	8,75	8,74	8,85	8,69	8,81	8,79	8,74	8,78	8,79	8,75	8,769	
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,9										11,9	
FEFCO No, 9 (horas)	22,95										22,95	

Prueba B.2. Repetición 3

REPETICIÓN:3												
MATERIAL	10292753				TEST				175 C			
OP	2857557				PRUEBA				B,2			
PRUEBA												
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO	
ECT (lb/in)	30,0154	29,6871	31,297	30,1477	31,2698	29,2365	28,9631	32,2587	31,0014	30,2587	30,414	
BCT (lbf)	349	381	364	402	408	411	402	419	358	401	389,5	
PAT (lb/ft)	45,2253	45,3387	44,2171	46,2174	44,2815	42,236	40,1864	43,201	41,0008	41,2966	43,321	
CALIBRE (in)	0,149	0,152	0,153	0,151	0,15	0,155	0,15	0,149	0,148	0,151	0,151	
HUMEDAD CARTON (%)	8,81	8,8	8,75	8,7	8,82	8,75	8,69	8,71	8,8	8,89	8,772	
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,9										11,9	
FEFCO No, 9 (horas)	22,85										22,85	

Continuación del apéndice 1.

Prueba C.1. Repetición 1

REPETICIÓN:1											
MATERIAL	10281883				TEST				175 C		
OP	2857880				PRUEBA				C,1		
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	29,2336	29,6876	28,4154	29,2662	31,1314	28,4782	30,8909	28,5918	28,2081	29,6164	29,352
BCT (lbf)	310	293	290	293	331	290	339	307	308	337	309,8
PAT (lb/ft)	45,3691	45,2297	45,7894	44,5879	45,8719	48,5217	49,5746	45,1187	46,2587	46,2031	45,499
CALIBRE (in)	0,15	0,149	0,15	0,151	0,148	0,149	0,151	0,151	0,15	0,151	0,15
HUMEDAD CARTON (%)	8,08	8,05	7,55	7,28	7,56	7,06	7,35	7,37	7,9	7,28	7,548
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,7										11,7
FEFCO No, 9 (horas)	23,9										23,9

Prueba C.1. Repetición 2

REPETICIÓN:2											
MATERIAL	10281883				TEST				175 C		
OP	2857880				PRUEBA				C,1		
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	29,3369	30,0102	28,9947	29,6573	31,0247	29,2049	29,876	31,2058	29,5115	29,9861	29,881
BCT (lbf)	323	324	289	296	310	331	314	320	305	332	314,4
PAT (lb/ft)	45,0219	44,9971	45,0268	45,9513	46,2108	47,581	43,2557	46,5481	45,5593	44,5214	45,467
CALIBRE (in)	0,148	0,149	0,15	0,152	0,149	0,149	0,15	0,152	0,15	0,153	0,15
HUMEDAD CARTON (%)	8,1	7,95	7,86	7,69	7,75	8,02	7,99	7,45	7,82	8,06	7,869
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,7										11,7
FEFCO No, 9 (horas)	24,2										24,2

Prueba C.1. Repetición 3

REPETICIÓN:3											
MATERIAL	10281883				TEST				175 C		
OP	2857880				PRUEBA				C,1		
PRUEBA											
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
ECT (lb/in)	29,458	31,0217	29,9874	29,6231	32,2547	28,5852	29,0124	30,2551	30,2544	28,5413	29,899
BCT (lbf)	310	325	301	299	310	305	316	308	320	339	313,3
PAT (lb/ft)	44,6677	44,1702	45,6336	44,7571	45,1274	45,1822	44,0802	48,9353	45,3556	47,0826	46,252
CALIBRE (in)	0,15	0,149	0,151	0,152	0,152	0,151	0,15	0,15	0,151	0,152	0,151
HUMEDAD CARTON (%)	8,05	7,86	8	7,88	8,06	8,11	8,14	8,22	7,91	7,96	8,019
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,9										11,9
FEFCO No, 9 (horas)	24,25										24,25

Continuación del apéndice 1.

Prueba C.2. Repetición 1

REPETICIÓN:1												
MATERIAL	10282475				TEST				175 C			
OP	28598726				PRUEBA				C,2			
PRUEBA												
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO	
ECT (lb/in)	31,3532	31,1699	30,3473	29,3232	32,4844	32,1521	29,1422	31,9576	29,3232	32,4844	30,974	
BCT (lbf)	456	497	516	501	466	517	469	445	479	450	479,6	
PAT (lb/ft)	56,0233	48,3357	54,1425	50,3062	47,3981	49,4387	50,3993	47,4541	48,7838	47,149	49,943	
CALIBRE (in)	0,155	0,154	0,15	0,155	0,156	0,149	0,154	0,151	0,153	0,15	0,153	
HUMEDAD CARTON (%)	7,9	8	7,91	7,95	8,13	8,24	7,15	7,55	7,54	7,53	7,79	
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,9										11,9	
FEFCO No, 9 (horas)	24,15										24,15	

Prueba C.2. Repetición 2

REPETICIÓN:2												
MATERIAL	10282475				TEST				175 C			
OP	28598726				PRUEBA				C,2			
PRUEBA												
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO	
ECT (lb/in)	32,258	31,6325	31,4219	29,9981	32,148	32,9864	29,9999	31,2889	29,8663	29,6952	31,13	
BCT (lbf)	460	491	510	496	508	514	488	455	461	458	484,1	
PAT (lb/ft)	55,0017	49,8874	53,2294	52,5471	49,5826	50,1235	51,3369	48,5213	48,1259	47,8859	50,624	
CALIBRE (in)	0,152	0,153	0,152	0,154	0,152	0,151	0,152	0,153	0,154	0,156	0,153	
HUMEDAD CARTON (%)	8,01	8,11	7,96	8,18	8,11	7,99	7,58	7,84	7,65	7,96	7,939	
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,1										12,1	
FEFCO No, 9 (horas)	24,3										24,3	

Prueba C.2. Repetición 3

REPETICIÓN:3												
MATERIAL	10282475				TEST				175 C			
OP	28598726				PRUEBA				C,2			
PRUEBA												
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO	
ECT (lb/in)	31,8955	30,2185	32,5824	29,8745	31,4178	31,5896	30,0258	31,2647	29,8745	29,8741	30,862	
BCT (lbf)	458	485	487	495	501	497	485	459	470	451	478,8	
PAT (lb/ft)	54,5976	53,6112	51,5218	51,1233	50,1113	48,7123	48,6933	47,4129	47,4899	47,8417	50,112	
CALIBRE (in)	0,15	0,151	0,152	0,152	0,15	0,151	0,15	0,149	0,148	0,151	0,15	
HUMEDAD CARTON (%)	7,84	7,79	7,56	8,01	7,75	7,61	7,59	7,6	7,99	7,91	7,765	
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,2										12,2	
FEFCO No, 9 (horas)	24,15										24,15	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Apéndice 2. **Datos estadísticos por prueba**

Fórmula base

ENSAYO	PRUEBA: BASE	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ECT (lb/in)	31,396	0,154
BCT (lbf)	483,300	1,345
PAT (lb/ft)	46,450	0,124
CALIBRE (in)	0,151	0,001
HUMEDAD CARTÓN (%)	8,249	0,007
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,943	0,051
FEFCO No. 9 (horas)	24,083	0,076
Cumplimiento PAT	103 %	0,003

Prueba A.1

ENSAYO	PRUEBA: A.1	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ECT (lbf/in²)	29,185	0,181
BCT (lbf)	464,600	1,808
PAT (lbf/ft²)	48,733	0,267
CALIBRE (in)	0,153	0,001
HUMEDAD CARTÓN (%)	8,316	0,047
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,167	0,058
FEFCO No. 9 (horas)	24,200	0,050
Cumplimiento PAT	108 %	0,006

Continuación del apéndice 2.

Prueba A.2

ENSAYO	PRUEBA: A.2	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ECT (lb/in)	31,978	0,128
BCT (lbf)	537,133	3,630
PAT (lb/ft)	40,191	0,737
CALIBRE (in)	0,155	0,001
HUMEDAD CARTÓN (%)	7,765	0,073
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,900	0,100
FEFCO No. 9 (horas)	23,750	0,150
Cumplimiento PAT	0,893	0,016

Prueba B.1

ENSAYO	PRUEBA: B.1	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ECT (lb/in)	30,532	0,303
BCT (lbf)	431,767	4,010
PAT (lb/ft)	53,886	0,333
CALIBRE (in)	0,150	0,001
HUMEDAD CARTÓN (%)	8,342	0,106
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,200	0,000
FEFCO No. 9 (horas)	25,350	0,150
Cumplimiento PAT	1,198	0,007

Continuación del apéndice 2.

Prueba B.2

ENSAYO	PRUEBA: B.2	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ECT (lb/in)	30,504	0,137
BCT (lbf)	392,333	3,761
PAT (lb/ft)	43,749	0,618
CALIBRE (in)	0,151	0,001
HUMEDAD CARTÓN (%)	8,758	0,022
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,867	0,058
FEFCO No. 9 (horas)	22,967	0,126
Cumplimiento PAT	0,972	0,014

Prueba C.1

ENSAYO	PRUEBA: C.1	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ECT (lb/in)	29,711	0,311
BCT (lbf)	312,500	2,402
PAT (lb/ft)	45,740	0,444
CALIBRE (in)	0,150	0,001
HUMEDAD CARTÓN (%)	7,812	0,241
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	11,767	0,116
FEFCO No. 9 (horas)	24,117	0,189
Cumplimiento PAT	1,016	0,010

Continuación del apéndice 2.

Prueba C.2

ENSAYO	PRUEBA: C.2	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ECT (lb/in)	30,988	0,135
BCT (lbf)	480,833	2,857
PAT (lb/ft)	50,226	0,355
CALIBRE (in)	0,152	0,001
HUMEDAD CARTÓN (%)	7,831	0,094
HUMEDAD ALMIDÓN (%)	12,067	0,153
FEFCO No. 9 (horas)	24,200	0,087
Cumplimiento PAT	1,116	0,008

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Apéndice 3. Fotografías del proceso

Elaboración y medición de puntos de control del adhesivo

FECHA: 14.09.2013 TURNO DE: 18:00 - 06:00
 NOMBRE DEL OPERADOR: hugo pc

I. ALAMBÓN PREPARADO

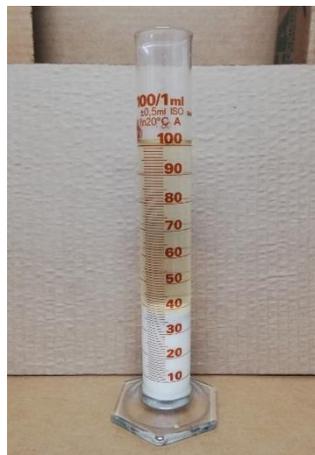
Carga	Horse	Corriente	Sodio		Borax		Strongwell		Furiproof		Mynanol	
			Lib	KG	Lib	KG	Lib	KG	Lib	KG	Lib	KG
1.000	400	400	14	12	24							
500	400	400	14	12	24							
500	400	400	14	12	24							
500	400	400	14	12	24							
TOTAL			56	48	96							
TOTAL Lib			56	48	96							
TOTAL Kg			26	22	44							

TANQUE	NUMERO DE CARGAS	PULGADAS INICIALES	PULGADAS FINALES
COMERCIAL	4	40	34
ASPIRACIA			
IMPEDIDOR DE CAENTE			

II. CONTROL DE CALDERA

CALDERA #	TANQUE DE MANTENIR	PULGADAS INICIALES	PULGADAS FINALES	CONSUMO TOTAL
Dos	Dos	40-246.451	346-246.451	456.451

VO. BO. Supervisor [Signature]



Continuación del apéndice 3.

Ensayo físicos de pruebas de especificación



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Wor 365.

Apéndice 4. **Descripción del equipo utilizado**

Equipo	Descripción
Balanza analítica	Marca: Kern Modelo: MLS-D
Compresómetro de muestras BCT	Marca: HANNA INS. Modelo: HN-1BCT
Compresómetro de muestras ECT	Marca: IDM test Modelo: SC-500 TS
Compresómetro de muestras PAT	Marca: IDM test Modelo: SC-500 TS
Medidor de humedad	Marca: Kern Modelo: MLS-D
Analizador de punto de gel	Marca: <i>Dr. Brown's</i> Modelo: Bottle Warmer
Cortadora	Marca: IDM test Modelo: Neumática <i>Billerud</i>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 365.