



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

COORDINACIÓN GENERAL ACADÉMICA

Coordinación de Bibliotecas

Biblioteca Digital

La presente tesis es publicada a texto completo en virtud de que el autor ha dado su autorización por escrito para la incorporación del documento a la Biblioteca Digital y al Repositorio Institucional de la Universidad de Guadalajara, esto sin sufrir menoscabo sobre sus derechos como autor de la obra y los usos que posteriormente quiera darle a la misma.

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA



“Estudio del anclaje de los adhesivos en los papeles que componen el cartón corrugado”

TESIS

Que para obtener el Título de:
INGENIERO QUÍMICO

Presenta:

Diana Yaneli De la Mora García

Director de Tesis

M. en C. Alma Rosa Saucedo Corona

Asesor de Tesis

Dr. José Turrado Saucedo

Guadalajara, Jalisco; 5 de diciembre de 2019.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
Secretaría Académica / Coordinación de la Carrera de Ingeniería Química
Comité de Titulación de la Carrera de Ingeniería Química

CUCEI/CDIQ/749/2019

C. DIANA YANELI DE LA MORA GARCÍA
Pasante de la Carrera de Ingeniero Químico
Presente.-

Por este conducto le damos a conocer el Dictamen emitido por el Comité de Titulación de esta carrera en relación a su solicitud de aprobación de la modalidad y trabajo de titulación:

Modalidad: **TESIS, TESINA E INFORMES.**

Opción: **TESIS.**

Con el Título: **"ESTUDIO DEL ANCLAJE DE LOS ADHESIVOS EN LOS PAPELES QUE COMPONEN EL CARTÓN CORRUGADO"**

Que ha sido propuesta para desarrollarse el cronograma del plan de trabajo reportado en el protocolo correspondiente.

Con base al Artículo 13 fracción 1 del Capítulo II del Reglamento de Titulación del C.U.C.E.I. el comité emite el siguiente

*** DICTAMEN: P R O R R O G A**

Que queda asentado en el Acta de Sesión # 278 de este Comité con fecha: **21-11-2019.**

Y designa como Director de Tesis a: **M. EN C. ALMA ROSA SAUCEDO CORONA.**

Con base en el procedimiento académico - administrativo de titulación del C.U.C.E.I. se le otorga un plazo de un año a partir de esta fecha para la presentación de su trabajo. Una vez concluido el trabajo, el pasante deberá traer una copia borrador de su trabajo al comité de titulación para poder expedir el comprobante académico correspondiente como parte de sus trámites para la ceremonia de titulación.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"
Guadalajara, Jal., 02 de diciembre de 2019.


DR. ENRIQUE MICHEL VALDIVIA
PRESIDENTE



COMITÉ DE TITULACIÓN
INGENIERÍA QUÍMICA

EMV/*cibr

PARA EL CASO DE LA MODALIDAD DE TESIS Y DISEÑO DE EQUIPO, ESTE OFICIO TIENE VALIDEZ POR UN AÑO A PARTIR DE LA FECHA DE SU EXPEDICIÓN.

Bld. Marcelino García Barragán N° 1451, esq. Calzada Olímpica, C.P. 44430. Guadalajara, Jal., México
Tel. y fax: (33) 13785900 ext. 7534 y 7536
www.cucei.udg.mx



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS**

REPORTE PARA TESIS

Comité de Titulación de la Carrera de Ingeniería Química
P r e s e n t e.-

Hago constar que el egresado(a): **DIANA YANELI DE LA MORA GARCÍA**

Ha cumplido con el plan de trabajo autorizado por el Comité de titulación establecido en el oficio de aceptación con el número **CUCEI/CDIQ/265/2018** para la realización de la tesis titulada:

"ESTUDIO DEL ANCLAJE DE LOS ADHESIVOS EN LOS PAPELES QUE COMPONEN EL CARTÓN CORRUGADO"

Con esto someto a su revisión el borrador de la tesis y continuar con el proceso administrativo.

A T E N T A M E N T E

Guadalajara, Jal., a 17 de octubre de 2019.

El Director de la Tesis

M. EN C. ALMA ROSA SAUCEDO CORONA

Nombre y Firma



**COMITÉ DE TITULACIÓN
INGENIERÍA QUÍMICA**



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS**

IMPRESIÓN DEL TRABAJO RECEPCIONAL

A QUIEN CORRESPONDA:

Informo que el trabajo de **TESIS** con el título:

**"ESTUDIO DEL ANCLAJE DE LOS ADHESIVOS EN LOS PAPELES QUE COMPONEN EL
CARTÓN CORRUGADO"**

Ha sido revisado por este comité, y **se autoriza su impresión** para ser sometido a la evaluación profesional durante la ceremonia de titulación de:

DE LA MORA GARCÍA DIANA YANELI

Código: 209527605

**ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"**

Guadalajara, Jal., a 02 de diciembre de 2019.

EL PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

DR. ENRIQUE MICHEL VALDIVIA



**COMITÉ DE TITULACIÓN
INGENIERÍA QUÍMICA**

DEDICATORIAS

Esta tesis está dedicada a mis papás Ana Bertha García Vázquez y Carlos De la Mora quienes me han apoyado en todo momento y me han brindado su amor incondicional.

También, dedico esta tesis a mi mejor amiga Ana Ruth Rodríguez Arceo, quien ha estado conmigo en los mejores y en los peores momentos brindándome su apoyo y amistad a pesar del tiempo y la distancia.

AGRADACIMIENTOS

Este trabajo de tesis ha sido un gran reto y le agradezco a Dios por ayudarme a cumplir esta meta, por estar presente a lo largo de mi carrera, por bendecir mi vida al darme la oportunidad de disfrutar al lado de las personas que amo, y por ser mi fortaleza en todo momento buscando siempre lo mejor para mí.

Gracias a mis padres Ana y Carlos por todo su amor y por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar en mí; gracias a mi madre por siempre desear que obtenga lo mejor; gracias a mi padre por acompañarme cada noche de estudio, por cada consejo y por cada palabra que me han guiado en la vida.

Gracias a mi familia, a mis hermanos Uriel y Vania, a mis primos, mis tíos y mis abuelitos por su amor incondicional y por creer en mí, les agradezco porque su apoyo fue un gran impulso y motivación en la culminación de mi proyecto de titulación.

Gracias a la Universidad de Guadalajara y a mis profesores de la carrera por ser parte de mi formación educativa. Gracias al Dr. José Turrado y a mi directora de tesis la maestra Alma Saucedo, quienes me brindaron sus conocimientos y dedicaron su tiempo para aclarar cualquier duda que me surgiera en el desarrollo de mi tesis.

Agradezco a Salvador Pérez, un gran amigo que aportó sus conocimientos y me impulsó a lograr esta meta. A mis amigos, en especial a Diana Cortés, Marco Zepeda, Juan Vargas, Omar Sierra, Julissa Cuevas y Ankaret Herrera que estuvieron presentes en la realización de esta tesis apoyándome en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

1	Resumen	14
2	Introducción	15
3	Antecedentes	17
4	Justificación.....	19
5	Objetivo general	21
4.1	Objetivos específicos	21
6	Hipótesis.....	22
7	Marco Teórico.....	23
7.1	El cartón corrugado y su fabricación.....	23
7.1.1	Papel liner	25
7.1.2	Papel medium	25
7.2	Tipos de cartón corrugado	26
7.3	Verificación de propiedades para el cartón corrugado	29
7.3.1	Resistencia a la compresión (ECT, Edge Crush Test).....	29
7.3.2	Anclaje de adhesión por separación selectiva (PAT, Pin Adhesion Test).....	30
7.3.3	Perfil de gramaje.....	30
7.3.4	Contenido de humedad	31
7.3.5	Espesor.....	31
7.3.6	Densidad aparente.....	31
7.3.7	Porosidad Gurley	31
7.3.8	Lisura Bendtsen	32

7.3.9	Ceniza en madera, pulpa, papel y cartón: combustión a 525 ° C	32
7.4	Adhesivo para corrugados.....	33
7.5	Componentes del adhesivo	34
7.5.1	Agua.....	34
7.5.2	Almidón	34
7.5.2.1	Amilosa y amilopectina	35
7.5.3	Hidróxido de sodio	37
7.5.4	Bórax	37
7.5.5	Bactericidas	38
7.6	Parámetros de preparación del adhesivo.....	39
7.6.1	Viscosidad	39
7.6.2	Temperatura de gelatinización.....	41
7.6.3	pH	41
7.7	Aplicación del adhesivo y afinidad con el yodo	42
7.8	Factores que impactan la calidad de unión entre papel liner y medium	42
8	Metodología	44
8.1	Equipos utilizados.....	44
8.2	Determinación del contenido de Ceniza	44
8.3	Resistencia a la compresión, ECT (Edge Crush Test)	45
8.4	Anclaje de adhesión por separación selectiva, PAT (Pin Adhesion Test).....	47
8.5	Almidón en papel.....	48
8.5.1	Fotografías en Estereomicroscopio (almidón superficial en papel)	49
8.5.2	Observaciones en el microscopio (almidón en las fibras)	49

8.6	Perfil de Gramaje	50
8.7	Contenido de Humedad.....	51
8.8	Espesor.....	51
8.9	Densidad aparente.....	52
8.10	Porosidad Gurley	52
8.11	Lisura Bendtsen	53
9	Resultados y análisis de resultados	54
9.1	Determinación del contenido de ceniza	54
9.2	Lámina 1: Doble corrugado (Flauta B y Flauta C)	55
9.3	Lámina 2: Doble corrugado (Flauta B y Flauta C)	59
9.4	Lámina 3: Doble corrugado (Flauta E y Flauta C)	62
9.4.1	Papel liner blanco recubierto	64
9.4.2	Papel medium para Flauta E.....	68
9.4.3	Papel liner intermedio.....	72
9.4.4	Papel medium para Flauta C.....	76
9.4.5	Papel liner interno.....	80
9.5	Lámina 4: Corrugado sencillo (Flauta C)	84
9.6	Imágenes al estereomicroscopio (Líneas de adhesivo).....	87
9.7	Unión entre capas.....	90
10	Conclusiones.....	93
11	Referencias bibliográficas	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de fabricación del cartón corrugado [19].....	24
Figura 2. Láminas componentes del cartón corrugado.....	25
Figura 3. Tipos y combinaciones de flauta [19].	28
Figura 4. Dirección de la flauta en empaques de cartón corrugado [19].....	28
Figura 5. Evaluación de ECT [19].....	30
Figura 6. Uniones de los empaques de cartón corrugado [19].	33
Figura 7. Estructura de la amilosa y amilopectina [28].....	36
Figura 8. Curvas de viscosidad de almidones comunes (1: papa, 2: tapioca, 3: maíz ceroso, 4: maíz).	40
Figura 9. Efecto del proceso de corrugado [19]	43
Figura 10. Equipo de Resistencia a la Compresión L&W	46
Figura 11. Accesorio para la evaluación de compresión ECT	47
Figura 12. Accesorio para la evaluación de anclaje de adhesivo	48
Figura 13. Estereomicroscopio Leica MZ75	49
Figura 14. Microscopio Leica DMRME.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Gramajes [23]	26
Tabla 2. Tipos de cartón [3].....	27
Tabla 3. Tipos de flauta [24]	27
Tabla 4. Propiedades físicas de la amilosa y amilopectina [11].....	36
Tabla 5. Resultados Lámina 1	56
Tabla 6. Resultados Lámina 2	59
Tabla 7. Resultados Lámina 3	62
Tabla 8. Resultados Papel liner blanco recubierto	67
Tabla 9. Resultados Papel medium para Flauta.....	71
Tabla 10. Resultados Papel liner intermedio	75
Tabla 11. Resultados Papel medium para Flauta C	79
Tabla 12. Resultados Papel liner interno	83
Tabla 13. Resultados Lámina 4	84
Tabla 14. Imágenes al estereomicroscopio - Sección I	88
Tabla 15. Imágenes al estereomicroscopio – Sección II	89
Tabla 16. Imágenes al microscopio - Sección I.....	91
Tabla 17. Imágenes al microscopio - Sección II	92

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de contenido de humedad	51
Ecuación 2. Densidad	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. PAT Flauta B – Lámina 1	56
Gráfica 2. PAT Flauta C – Lámina 1	57
Gráfica 3. ECT – Lámina 1	58
Gráfica 4. PAT Flauta B – Lámina 2.....	60
Gráfica 5. PAT Flauta C - Lámina 2	61
Gráfica 6. ECT - Lámina 2.....	61
Gráfica 7. PAT Flauta C - Lámina 3	63
Gráfica 8. ECT - Lámina 3	63
Gráfica 9. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad - Papel liner blanco recubierto.....	64
Gráfica 10. Gramaje, Densidad - Papel liner blanco recubierto.....	65
Gráfica 11. Lisura, Porosidad - Papel liner blanco recubierto.....	65
Gráfica 12. Gramaje, Porosidad - Papel liner blanco recubierto	66
Gráfica 13. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad – Papel medium para flauta E.....	68
Gráfica 14. Gramaje, Densidad – Papel medium para Flauta	69
Gráfica 15. Gramaje, Porosidad – Papel medium para Flauta E	69
Gráfica 16. Lisura, Porosidad – Papel medium para Flauta E.....	70
Gráfica 17. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad – Papel liner intermedio.....	72
Gráfica 18. Gramaje, Densidad – Papel liner intermedio.....	73
Gráfica 19. Gramaje, Porosidad – Papel liner intermedio.....	74
Gráfica 20. Lisura, Porosidad – Papel liner intermedio	74
Gráfica 21. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad - Papel medium para Flauta C	76
Gráfica 22. Gramaje, Densidad - Papel medium para Flauta C	77

Gráfica 23. Gramaje, Porosidad – Papel medium para Flauta C.....	77
Gráfica 24. Lisura, Porosidad – Papel medium para Flauta C	78
Gráfica 25. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad – Papel liner interno.....	80
Gráfica 26. Gramaje, Densidad – Papel liner interno.....	81
Gráfica 27. Gramaje, Porosidad – Papel liner interno.....	81
Gráfica 28. Lisura, Porosidad – Papel liner interno	82
Gráfica 29. PAT Flauta C (Liner interno) - Lámina 4.....	85
Gráfica 30. PAT Flauta C (Liner externo) - Lámina 4.....	85
Gráfica 31. ECT - Lámina 4	86

1 Resumen

En México, los empaques de cartón corrugado se desarrollan a base de fibra reciclada, esto es un factor importante en el proceso de corrugado del papel medium debido a que el contenido de cargas minerales disminuye la flexibilidad de las fibras y conforme se recicla el papel se reduce el tamaño de fibras; además, el rodillo corrugador del medium se desgasta, obteniendo ondas desiguales y afectando la unión con el papel liner. Por otro lado, la aplicación del adhesivo a base de almidón de maíz utilizado en la unión de los papeles componentes es un factor importante en la calidad de estos empaques; considerando que es un proceso industrial, es difícil obtener líneas continuas de adhesivo. Considerando las problemáticas mencionadas anteriormente, se analizaron cuatro muestras de cartón corrugado y los papeles componentes, con el propósito de demostrar los efectos de resistencia de los empaques de cartón corrugado en base a las normas TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry). Los resultados de las evaluaciones de resistencia PAT (Pin Adhesion Test) y ECT (Edge Crush Test), presentan diferentes resultados en cada lámina, esto se debe a que cada empaque se fabrica con distinta calidad de fibra. El anclaje del adhesivo es una problemática constante en cada lámina, ya que el contenido de cargas, así como la velocidad a la que se fabrica el cartón, limita la penetración y aplicación del adhesivo.

2 Introducción

La industria del empaque se ha incrementado en los últimos años debido a la necesidad de los consumidores de obtener recipientes de calidad. Los empaques se clasifican según el material, ya sea madera, cartón corrugado o plástico. El 95% de los empaques que se utilizan en México son de cartón corrugado [1], esto se debe a que es un gran impulsor de innovación en el aspecto ecológico y económico que brinda alta durabilidad y resistencia, además de tener la capacidad de combinar con otros materiales, es resistente a la humedad, es reciclable, etc [2].

Estos empaques están conformados por dos tipos de papel, el papel liner que es una lámina plana y el papel medium es una lámina acanalada que se procesa a través de dos rodillos corrugadores [3]. Los papeles componentes son fabricados a base de fibra 100% reciclada, lo cual es un factor importante, ya que en el proceso de reciclaje llevan consigo cargas minerales además de un daño directo en el tamaño y flexibilidad de las fibras, afectando así en el proceso de fabricación y resistencia del empaque [1, 3].

La calidad de los empaques de cartón corrugado, depende de numerosos factores además del tipo de fibra utilizada. En el proceso de corrugado del papel medium, el rodillo corrugador se desgasta, por lo que se obtienen ondas desiguales, afectando en la unión entre el liner y medium [1]. Otro factor esencial es el adhesivo a base de almidón de maíz que se aplica en la unión de los papeles componentes; dado que es un proceso a velocidad industrial, es un reto la aplicación correcta del adhesivo. Sin embargo, las condiciones ambientales a las que se exponen los empaques de cartón corrugado ponen a prueba la resistencia y desempeño del adhesivo aplicado [1, 4].

En base a lo anterior, se realizó un análisis a los papeles que componen el cartón corrugado con el propósito de dar a conocer que las cargas minerales tienen un gran impacto en el proceso de corrugado del medium, así como en la unión del medium y el liner, ya que estas impiden el anclaje del adhesivo a base de almidón, dando como resultado empaques de baja calidad.

A continuación, se presenta una explicación del proceso de fabricación de las láminas de cartón corrugado, así como su composición y la importancia del gramaje de los papeles componentes. Además, se dan a conocer las normas TAPPI que serán utilizadas para corroborar las problemáticas ya mencionadas: resistencia a la compresión en columna del cartón, la resistencia del anclaje del adhesivo y las evaluaciones para conocer la calidad de los papeles. Por último, se

explica la composición e importancia de los adhesivos utilizados en la unión del medium y el papel liner.

3 Antecedentes

El diseño y la manufactura de empaques tiene como propósito portar mensajes impresos y confinar productos de forma temporal que permitan ser manipulados, transportados y almacenados. El cartón corrugado es el material más utilizado, ya que permite generar una estructura no rígida para protección a los impactos de los productos internos [5].

De acuerdo con datos obtenidos de la Cámara del Papel, en México la producción de papel para empaques ha incrementado 11.2% del 2015 al 2017, con una producción de 2,769,030 a 3,116,348t respectivamente, y la importación en los mismos años de 940,197 a 1,181,397t, esto representa un incremento del 20.4%; sin embargo, la exportación en este periodo fluctuó con el paso del tiempo, ya que en el 2015 la exportación fue de 3,746t, en 2016 disminuyó a 3,051t lo que representa un descenso del 18.5%, sin embargo en 2017 incrementó la exportación a 3,817t, es decir, un 20.1% [6].

Una lámina de cartón corrugado está formada por dos capas de papel liner y una de papel medium, los cuales en virtud de la limitación de fibra virgen se fabrican con fibra 100% reciclada [3]. Cada capa componente cumple una función específica. El papel liner es una estructura de mediana densidad específica que le confiere características de rigidez al empaque, mientras el papel medium es una estructura de baja densidad específica que aporta resistencia a la compresión ante situaciones de aplastamiento y resistencia a impactos; para cumplir su función, el papel medium se corruga para formar cavidades de aire entre los dos liners [7]. El adhesivo diseñado para la unión del papel liner con el papel corrugado, cumple con especificaciones de concentración de sólido, un material activo (almidón), aunado a la sosa cáustica y bórax que le permiten tener fluidez para facilitar la penetración en la estructura porosa de los papeles que se unen [8].

El modelo de adhesión mecánica es la fuerza capaz de mantener unidas las moléculas de materiales de distinta naturaleza, esto se debe al anclaje del adhesivo en los poros y rugosidad superficial de los materiales que requieren unirse por medio del adhesivo. La penetración del adhesivo en la orografía del papel medium provoca que la zona de contacto entre ambos materiales sea mayor a la superficie aparente de contacto. Por tanto, la rugosidad y porosidad aportada por la estructuración del papel son un factor favorable a la adhesión [9]. La absorción del papel medium determina la velocidad de penetración del almidón y la resistencia a la humedad, en tanto que la absorción del liner debe ser apropiada para la impresión equilibrado con una rápida penetración del almidón en el lado interno [10].

La Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel (TAPPI) hace mención a las normas para corroborar la fabricación de papel y empaques de cartón corrugado. Estas normas son fundamentales para determinar la resistencia a la compresión y el anclaje del adhesivo [11].

Anteriormente, se mencionaron los diversos aspectos que influyen en las propiedades de resistencia y calidad en un empaque de cartón corrugado, en la fabricación del mismo, es esencial tener en cuenta la presión de vapor, superficie de calentamiento, calidad y porosidad del papel; en tanto que en la preparación del adhesivo es fundamental que las cantidades de las sustancias que lo componen se encuentren en proporción correcta para una excelente adhesión, por lo que es de vital importancia tenerlos en cuenta, de lo contrario el empaque no será lo suficientemente resistente y puede dañar los productos [12]. La estructuración del cartón corrugado se puede evaluar mediante las normas TAPPI: T 821 Pin Adhesion Test (PAT) y T 838 Edge Crush Test (ECT) para determinar la evaluación de desprendimiento del papel liner del medio corrugado y su capacidad de carga axial respectivamente.

4 Justificación

La unión estrecha de los papeles componentes del cartón corrugado conduce a un empaque de alta capacidad de carga. El papel liner es una lámina plana y el papel medium es una lámina ondulada que se procesa a través de dos rodillos corrugadores el cual es adherido al papel liner por medio de un adhesivo a base de almidón modificado, el adhesivo que se coloca sobre las crestas de las ondas [13]. Sin embargo, para que el almidón se adhiera a la superficie del papel, deben proporcionarse fuerzas de adhesión mecánica para mantener unidas las moléculas de materiales de distinta naturaleza [9]. La porosidad del papel permite el anclaje del adhesivo favoreciendo a su vez una zona de contacto mayor entre ambos papeles.

Durante la operatividad de la máquina productora de cartón corrugado es importante controlar la temperatura en la superficie del papel, esto se debe a que la capacidad de absorción de calor varía debido a las características superficiales y estructurales internas del papel Kraft, los cuales absorben rápidamente el calor, por lo que puede generarse sobrecalentamiento, provocando que la viscosidad del almidón aumente, obteniendo cartón defectuoso [13].

Al seleccionar el tipo de almidón para la preparación del adhesivo se debe considerar, las propiedades reológicas del almidón y las cantidades de los productos químicos adicionados. La viscosidad es la resistencia al flujo que poseen las sustancias líquidas, la cual debe mantenerse en un rango específico, ya que a mayor viscosidad la penetración o anclaje en el papel será menor obteniendo una unión superficial, y a menor viscosidad se obtiene una mayor penetración, generando una falsa unión y una formación de líneas de adhesivo no continuas [14].

El adhesivo se constituye de varias sustancias que en conjunto proporcionan las características de adhesividad. [15]. La cantidad de bórax debe regularse conforme al origen del almidón y las características del papel, tiene la función de controlar la viscosidad, evita la sedimentación de la solución, proporciona brillo y determina la textura o fluidez. La sosa en la preparación del adhesivo se utiliza para disminuir la temperatura de gelatinización favoreciendo la productividad en el rodillo corrugador, mejora las características de anclaje en el papel y le confiere al almidón una estructura pegajosa [13].

El propósito del presente trabajo es analizar el efecto del adhesivo en las propiedades de resistencia del cartón corrugado. El PAT de acuerdo con T 821 om-11 evalúa la resistencia de la unión formada entre los papeles componentes, además, se conocen algunos defectos de fabricación tales como penetración pobre del adhesivo, adhesión irregular y cartón con una baja resistencia de

unión interna, lo cual depende de distintos parámetros, entre los que se pueden mencionar: calidad y porosidad del papel liner y medium, aplicación y fluidez del adhesivo para mayor contacto entre los papeles componentes; así como, los productos que intervienen en la preparación misma del adhesivo: almidón, sosa y bórax. El ECT de acuerdo con T 839 om-12 determina la resistencia axial del cartón corrugado.

5 Objetivo general

Analizar la calidad de los papeles liner y medium a base de fibra reciclada, así como el proceso de anclaje del adhesivo a base de almidón por medio de la evaluación PAT determinada por la técnica internacional T 821 om-11 y su impacto en las propiedades de resistencia a la carga axial de la estructura del cartón corrugado ECT mediante T 839 om-12.

5.1 Objetivos específicos

- Determinar el contenido de cargas minerales en los papeles medium y liner mediante la evaluación de ceniza T 244.
- Evaluar las propiedades de los papeles componentes del cartón corrugado.
- Evaluar la resistencia a la separación de capas PAT.
- Impacto del PAT sobre las resistencias del corrugado.
- Análisis de la aplicación del adhesivo en el cartón corrugado.
- Evaluar la penetración del adhesivo en las fibras del cartón corrugado mediante una solución de yodo.
- Determinar la capacidad de carga de un empaque de cartón corrugado con la evaluación de resistencia a la compresión ECT.

6 Hipótesis

La evaluación de ceniza determinará los minerales que contiene el cartón corrugado, lo cual tiene un gran impacto en la unión de los papeles componentes, el anclaje del adhesivo y en la resistencia de estos empaques, esto se verá reflejado en los resultados de las evaluaciones PAT y ECT.

7 Marco Teórico

7.1 El cartón corrugado y su fabricación

El cartón es un material con distintas aplicaciones y existen diversos tipos de cartón en función a su fabricación y estructura interna. Actualmente, el cartón corrugado es un material de bajo costo y biodegradable que se utiliza principalmente en la fabricación de empaques debido a que facilita la manipulación, almacenamiento, transporte y presentación de los productos, conservando su calidad desde el lugar de producción hasta su destino final [5].

Los empaques de cartón corrugado en México están estructurados con material reciclado a causa de la poca disponibilidad de fibra virgen. La fibra virgen proviene de los árboles y es más larga y más resistente, por lo que el papel obtenido de esta fibra será más resistente; en cambio, la fibra reciclada proviene de papel reciclado y es más corta, ya que el reciclaje del papel implica someterlo a procesos de reutilización [16]. Es importante saber que el producto final está elaborado con material reciclado, para comprender el efecto que tiene en las propiedades de resistencia del cartón corrugado, por lo que es necesario controlar la calidad de los papeles componentes y garantizar empaques con las especificaciones requeridas, esto se debe a la posibilidad de usar combinaciones de diferentes tipos de materias primas [17].

El cartón corrugado se fabrica utilizando dos o más láminas de papel Kraft sin blanquear. La lámina interna llamada medium se caracteriza por ser un papel ondulado, y las crestas de estas ondas están unidas a una o dos láminas de papel denominadas liners. A pesar de ser una estructura sencilla, un empaque de cartón corrugado es una estructura compleja de ingeniería con el objetivo de obtener un material con propiedades de resistencia únicas y calidad necesaria [13]. Sin embargo, el cartón corrugado pierde resistencia si sufre aplastamientos producidos por fuerzas externas [16].

En el proceso de obtención de cartón corrugado (Figura 1) intervienen fenómenos físico-químicos y de transferencia de masa y energía, por lo que los papeles componentes deben ser aptos para resistir la velocidad y condiciones del proceso de fabricación, ya que son sometidos a un conjunto de esfuerzos como tensión, velocidad de máquina, humedad, temperatura, entre otros [13, 18].

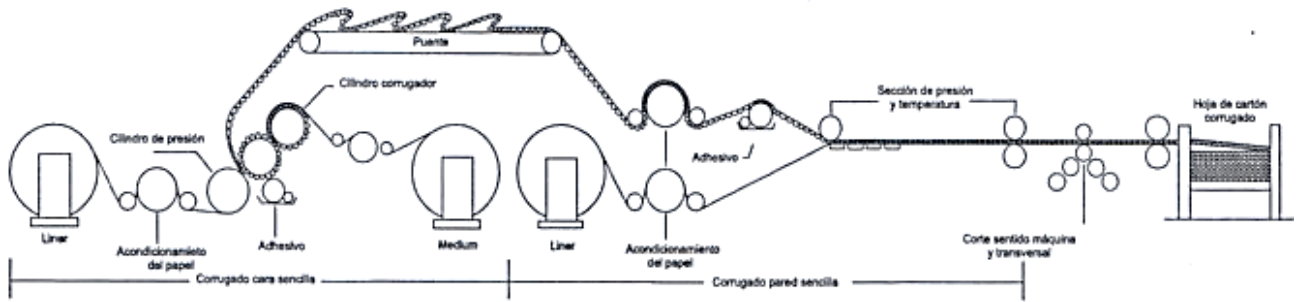


Figura 1. Proceso de fabricación del cartón corrugado [19]

El primer liner debe alcanzar el contacto con el medium en condiciones óptimas de temperatura y humedad para generar una buena unión, ya que el incremento de temperatura le transmite calor al adhesivo favoreciendo su anclaje en las fibras del cartón, mientras que el contenido de humedad permite controlar la penetración del adhesivo en el papel. Sin embargo, si el papel está muy seco, el agua del adhesivo es absorbida por las fibras de la superficie y no hay penetración del adhesivo; por otro lado, si el papel es muy húmedo no tiene capacidad para absorber el adhesivo y disminuye la velocidad de la máquina. Si la diferencia de humedad entre los liner es muy diferente, se produce un cartón no uniforme.

En el proceso de corrugado, el papel medium sufre esfuerzos mecánicos en la máquina corrugadora obligando a que la estructura se deforme, por esta razón el papel se precalienta pasando por unos rodillos utilizando calor y vapor con el propósito de acondicionar previamente el papel y facilitar la deformación. Después, el papel pasa a través de rodillos corrugadores los cuales doblan y corrugan el papel proporcionando el medium requerido [18].

Al terminar este proceso, el medium se une entre dos hojas de papel liner, y para desarrollarlo se aplica un adhesivo a base de almidón modificado de maíz a las crestas del medium mediante un conjunto de rodillos aplicadores y se adhiere inmediatamente a la primera capa. Este proceso se repite para adherir el papel medium al segundo papel liner, formándose una lámina de cartón corrugado. Por último, pasa por unos rodillos para establecer un buen enlace y penetración del adhesivo, fijando correctamente la lámina [20].

7.1.1 Papel liner

El papel liner es una estructura de mediana densidad específica que constituye las paredes de un empaque de cartón corrugado. Es importante que este papel se de fibra de buena calidad, ya que las fibras en estas capas le proporcionan rigidez al empaque, resistencia a la explosión y soporta esfuerzos mecánicos de tracción [18].

Los papeles liner que se encuentran unidos a los extremos de la flauta de una lámina corrugada, pueden ser liner interior o exterior, dependiendo de la posición que guarde una vez formado el empaque [21]. Estos papeles poseen dos caras, una de ellas es satinada o lisa cuya función es portar la impresión con algún mensaje, en tanto que la segunda cara es porosa, lo cual aunado a la temperatura le confiere la capacidad de unión con el adhesivo que acompaña al papel medium. Los parámetros de humedad y gramaje del papel son de vital importancia por su efecto sobre el producto terminado [16]. El gramaje de estos papeles es de 126 a 440 g/m² [22].

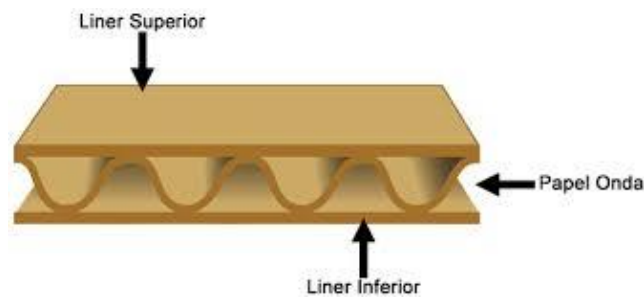


Figura 2. Láminas componentes del cartón corrugado

7.1.2 Papel medium

El papel medium es una estructura que se une a dos papeles liners con el propósito de amortiguar y aportar resistencia a la compresión ante situaciones de aplastamiento e impactos; para cumplir su función, el papel medium se corruga formando cavidades de aire entre los liners [16]. El gramaje de estos papeles es de 90 a 195 g/m² [22].

Este papel sufre un proceso de acondicionamiento térmico y de humedad hasta alcanzar la zona de presión entre los rodillos corrugadores y continua el proceso de calentamiento hasta la zona del adhesivo y posteriormente continua su calentamiento hasta la zona de contacto con el liner. Por lo que al papel se le exige que tome la forma de una onda y que a su vez permita la penetración (cantidad y profundidad) del adhesivo en su estructura [18].

En la deformación del papel la temperatura y humedad tienen una función muy importante. La temperatura del papel al llegar a los rodillos aplicadores es de 70 – 80°C; sin embargo, la resistencia a la tensión disminuye al incrementar el contenido de humedad, pero se incrementa la deformación, además, un papel demasiado seco absorberá inmediatamente el adhesivo ocasionando que se tenga un pegado muy débil, la humedad promedio del papel durante el corrugado es del 7%.

Si la humedad es muy alta se obtiene un corrugado no uniforme por la adhesión del papel al rodillo corrugador, generando una adhesión pobre y fisuras en el acanalado, o la obtención de un corrugado inclinado por adherencia al rodillo corrugador y por no soportar los esfuerzos de tensión y fricción a que se somete en las etapas siguientes del proceso. Si la humedad es baja se obtiene un corrugado de altura desigual con una adhesión débil, fisuras en las crestas del papel y el cartón presenta un espesor bajo, debido a que el papel corrugado tiende a recobrar su forma plana, produciendo un acanalado de menor tamaño que el del rodillo corrugador [13].

7.2 Tipos de cartón corrugado

La calidad y resistencia de un empaque de cartón corrugado depende de 3 aspectos: el gramaje del papel, tipo de medium y la combinación de las flautas [19].

El gramaje del papel es el peso de una lámina por metro cuadrado (g/m^2). Cuanto mayor es el gramaje de un papel, más resistente es y más seguridad ofrece al cartón ondulado. Cada calidad es adecuada para el transporte de un tipo de producto de acuerdo a su grado de fragilidad, volumen, peso, etc., y para determinadas condiciones de transporte. Estas son recomendaciones generales al momento de escoger la calidad de cartón en función del volumen y peso del producto [23].

Calidad	Medium	Gramaje
1 onda	E	360 – 370 g/m^2
1 onda	B	405 g/m^2
1 onda	C	370 g/m^2
1 onda	C	445 – 495 g/m^2
2 ondas	BC	605 g/m^2
2 ondas	BC	800 – 818 g/m^2

Tabla 1. Gramajes [23]

La fabricación de láminas de cartón corrugado se realiza de distintas formas, ya sea de cara sencilla, una lámina de papel liner unido a una lámina corrugada o medium; corrugado sencillo, dos láminas de papel liner unidas a cada superficie de una lámina corrugada; o doble corrugado, tres liners y dos láminas corrugadas unidas en medio de cada una de las tres primeras, cada ejemplo se muestra en la Tabla 1.

Además, la nomenclatura utilizada internacionalmente para la designación de los tipos de medium es a partir de letras. A cada una le corresponden ciertas especificaciones de altura, amplitud y número de flautas por unidad de longitud (Tabla 2). Los tipos de flauta utilizados en la formación de empaques de cartón corrugado es determinado en función de la aplicación y al tipo de producto que contendrá.



Tabla 2. Tipos de cartón [3]

Flauta	Número de flautas		Altura de la flauta	
	m	ft	mm	in
A	99 - 123	30 – 37	4.0 – 4.8	0.16 – 0.19
B	118 – 143	35 – 43	3.2 – 4.0	0.13 – 0.16
C	146 - 167	45 – 51	2.1 – 3.0	0.08 – 0.12
D	315	96	1.19	0.0469
E	238 - 333	72 – 101	1.1 – 1.8	0.04 – 0.07
F	370 - 416	112 – 127	0.75 – 0.9	0.03 – 0.04

Tabla 3. Tipos de flauta [24]

El medium o flauta “A” es utilizada para la fabricación de empaques que requieren de una mayor protección a la compresión horizontal, es decir, cuando los empaques se comprimen entre sí o contra las paredes de los transportes. Sin embargo, la flauta “C” es la más utilizada para el corrugado sencillo.

Si se requieren empaques con una estructura y resistencia mecánica mayor que la que puede brindar un corrugado sencillo se fabrica un doble corrugado utilizando la combinación de una flauta “C” y “B” o con las flautas “E” o “F”, las cuales son conocidas como micro-corrugado [19].

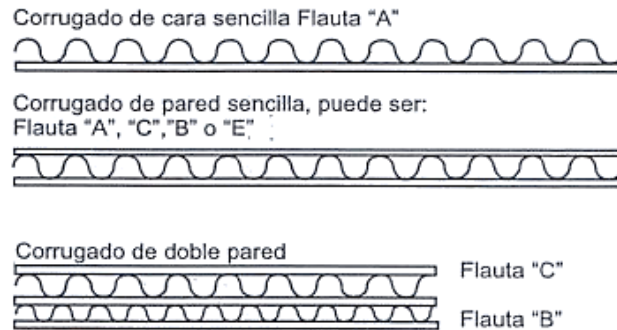


Figura 3. Tipos y combinaciones de flauta [19].

En la obtención del cartón corrugado, el sentido de la flauta es primordial en la resistencia a la compresión vertical que presentará el empaque armado [25]. Considerando el proceso de fabricación de las láminas de cartón corrugado la formación del medium siempre tendrá un sentido vertical, por lo que podría pensarse que este corrugado tiene una mayor resistencia a la estiba, sin embargo, en ocasiones se requiere que los diseños de empaque consideren la flauta en sentido horizontal, lo cual depende del medium. Las flautas más gruesas, es decir, las flautas A y C tienen una mayor resistencia mecánica a la compresión en forma vertical, en tanto que las flautas más delgadas B y E, su mayor resistencia se obtiene de empaques con flauta horizontal.

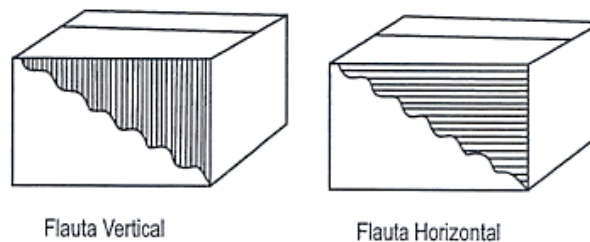


Figura 4. Dirección de la flauta en empaques de cartón corrugado [19].

7.3 Verificación de propiedades para el cartón corrugado

Las propiedades de resistencia de los papeles componentes (liner y medium) y el proceso por el cual son transformados a cartón corrugado, son parámetros que afectan la calidad y resistencia del empaque. Por esta razón, se han diseñado diversas normas con el fin de verificar las propiedades del cartón corrugado y sus distintos elementos con la finalidad de ejemplificar el comportamiento del empaque evitando que se dañe el contenido y el empaque al ser sometida a presión, ya que estas son apiladas en almacén y transportación [13].

En nuestro país, las normas empleadas para evaluaciones y definiciones relacionadas con el papel son las conocidas como TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), una sociedad profesional internacional que sirve a las industrias de pulpa y papel, empaque, conversión y afines [11].

No existen valores estandarizados para las evaluaciones a las que es sometido el papel, debido a esto es recomendable analizar los resultados de cada muestra. Algunas propiedades son importantes para cualquier tipo de papel, y los métodos para su medición son de uso generalizado. Sin embargo, existen otros métodos que se han desarrollado para asegurar el comportamiento adecuado de algunos papeles especiales y tienen una aplicación limitada [13].

7.3.1 Resistencia a la compresión (ECT, Edge Crush Test)

La norma TAPPI T839 “Edgewise compressive strength of corrugated fiberboard using the clamp method (short column test)” (ECT), o su traducción al español “Resistencia a la compresión de canto de cartón corrugado utilizando el método de abrazadera (evaluación de columna corta)”, es un método que se utiliza para determinar la capacidad de carga de un empaque de cartón corrugado, la cual se correlaciona con la resistencia a la compresión total del empaque armado; por lo tanto, permite conocer el comportamiento de la misma y de la contribución de los papeles componentes. Se puede usar para comparar la resistencia a la compresión de diferentes láminas de cartón corrugado del mismo tipo de flauta o para comparar distintas combinaciones de materiales.

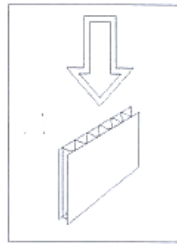


Figura 5. Evaluación de ECT [19]

7.3.2 Anclaje de adhesión por separación selectiva (PAT, Pin Adhesion Test)

Una buena adherencia del papel corrugado al papel liner es importante para la obtención de cartón ondulado y empaques de alta calidad. La norma TAPPI T821 “Pin adhesion of corrugated board by selective separation” (PAT) por su nombre en inglés, o su traducción al español “Anclaje de adhesión de cartón ondulado por separación selectiva”, evalúa la resistencia de la unión formada entre los papeles componentes, además, detecta algunos defectos de fabricación tales como penetración pobre del adhesivo, adhesión irregular y cartón con una baja resistencia de unión interna, lo cual depende de distintos parámetros, entre los que se pueden mencionar: calidad y porosidad del papel liner y medium, aplicación y fluidez del adhesivo para mayor contacto entre los papeles componentes.

Este procedimiento se desarrolló con el propósito de evaluar la fuerza que se requiere para separar selectivamente el liner interior o exterior del medium.

7.3.3 Perfil de gramaje

El término de gramaje se utiliza para expresar la masa por unidad de área del papel. Las unidades métricas SI en las que se expresa el gramaje son g/m^2 , cuyas unidades son las utilizadas en los métodos de evaluación TAPPI. La conversión de unidades se realiza cuando sea necesario.

El gramaje se calcula a partir de la relación entre la masa y el área. El área de las hojas de papel se determina a partir de medidas lineales y la masa o peso se determina pesando las mismas.

Los valores de muchas propiedades físicas se interpretan y se especifican con respecto al gramaje y, por lo tanto, la medición adecuada del peso base es fundamental para sus respectivos cálculos.

7.3.4 Contenido de humedad

Es importante conocer el contenido de humedad en los papeles componentes por razones económicas y por su efecto sobre propiedades como la capacidad de impresión, la contracción, la estabilidad dimensional y la resistencia física.

7.3.5 Espesor

El espesor es una propiedad importante del papel y cartón, y sus variaciones son importantes, especialmente para papeles y cartones utilizados con fines mecánicos. El espesor es una característica que afecta la rigidez a la flexión.

7.3.6 Densidad aparente

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia, en tanto que la densidad aparente es una magnitud aplicada en materiales de constitución heterogénea, y entre ellos, los porosos, los cuales forman cuerpos heterogéneos con intersticios de aire u otra sustancia, de forma que la densidad total de un volumen del material es menor que la densidad del material poroso si se compactase.

7.3.7 Porosidad Gurley

Este método es utilizado para medir la cantidad de tiempo requerido para que cierto volumen de aire fluya a través de una muestra de dimensiones dadas bajo una presión, una temperatura y una humedad relativa específicas, por lo que no es utilizada en papeles de superficie rugosa que no pueden sujetarse con seguridad para evitar fugas.

La presión de aire es generada por un cilindro cargado por gravedad que captura un volumen de aire dentro de una cámara usando un sello líquido. Este volumen de aire presurizado se dirige al anillo de la junta de sujeción, que sujeta la muestra de evaluación. El aire pasa a través de la muestra de papel y escapa a la atmósfera a través de orificios en la placa de sujeción corriente abajo.

La resistencia del papel al aire se puede usar como un indicador de la permeabilidad del fluido en dirección Z, así como otras variables tales como: grado de refinación, absorbencia (penetración de aceite, agua, etc.), y eficiencia de filtrado para líquidos o gases. La resistencia del aire está influenciada por la estructura interna y por el acabado superficial del papel. La estructura

interna se controla en gran medida por el tipo y longitud de las fibras, el grado de hidratación, la orientación y la compactación de las fibras.

7.3.8 Lisura Bendtsen

La lisura es una medida de la velocidad a la que el aire pasará entre un terreno plano y una hoja de papel o cartón cuando se realiza bajo condiciones específicas y a presión de operación.

El método es aplicable al papel y cartón que tienen valores de lisura Bendtsen entre 50 ml/min y 1200 ml/min. No es adecuado para papeles blandos que permiten que la región haga una impresión significativa en la superficie o para papeles de alta permeabilidad al aire que permiten que pase un flujo significativo de aire a través de la hoja, o para papeles que no estén planos bajo el anillo de metal pesado.

7.3.9 Ceniza en madera, pulpa, papel y cartón: combustión a 525 ° C

Este método se aplica para determinar el contenido de ceniza en cualquier tipo de papel, pulpa, madera o productos de papel a una temperatura de ignición de 525°C.

El contenido de ceniza de una muestra de papel o cartón contiene residuos de productos químicos utilizados en su fabricación, residuos inorgánicos de la pulpa a partir de la cual se fabricó el papel y/o materiales de relleno, recubrimiento y pigmentación utilizados en la obtención del cartón. La cantidad y composición de la ceniza es una función de la presencia o ausencia de cualquiera de estos materiales.

7.4 Adhesivo para corrugados

Un adhesivo se define como una sustancia que se aplica entre dos superficies con la capacidad de mantener los materiales unidos y resistentes a su separación después de su aplicación [9]. En la fabricación de cartón corrugado, los papeles utilizados son a base de fibra reciclada, los cuales son más cerrados que los papeles a base de fibra virgen, por lo que se requiere de un adhesivo de viscosidad adecuada con la capacidad de humectar los papeles liner y medium.

El adhesivo aceptado por la industria del papel en la fabricación de los empaques de cartón corrugado durante varios años fue aquel basado en el silicato de sodio (hot melt). Este adhesivo posee una viscosidad baja y un contenido de sólidos de aproximadamente 25%. La alta alcalinidad del adhesivo ayuda a humectar las superficies para hacerlas más repelentes al agua. Además, las soluciones de silicato tienen la propiedad de aumentar rápidamente la viscosidad con pequeñas pérdidas de agua, lo cual permite alcanzar velocidades mucho más altas de producción [26].

Sin embargo, la principal desventaja del silicato de sodio es la capacidad de formar una película pobre de adhesivo. Además, con el tiempo y el calor, el silicato tiende a cambiar de una película húmeda a un sólido cristalino, por lo que la capacidad de mantener la unión entre los papeles componentes disminuye. Actualmente, los adhesivos hot-melt son utilizados en el cierre de empaques de cartón corrugado. Los hot-melts son sólidos a temperatura ambiente y se aplican películas adhesivas en estado fundido entre las uniones de un espesor de 0.2-0.8mm, después se adjuntan bajo presión de contacto y calor para obtener una humectación adecuada [26].

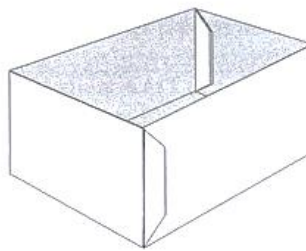


Figura 6. Uniones de los empaques de cartón corrugado [19].

En la actualidad el componente principal del adhesivo en la construcción de empaques de cartón corrugado es el almidón modificado, el cual mantiene la viscosidad a niveles bajos, los cuales son adecuados para la distribución y aplicación en la máquina corrugadora. En este tipo de adhesivo el contenido de sólidos se regula entre 15 y 25 %.

En la fábrica de papel, la degradación de adhesivos a base de almidón puede comenzar en el tanque de mezcla y continuará durante toda la dispersión y aplicación del almidón. El deterioro se origina en el suministro de almidón, el uso de agua de proceso mal tratada y por infección del aire ambiental, por lo que el uso de estos adhesivos debe hacerse máximo seis horas después de preparado. Para alargar la vida útil del adhesivo, se recomienda darle el tratamiento adecuado en almacenamiento y en uso: mantenerlo en un lugar cerrado, fresco, mantener cerrado el envase, evitar la contaminación.

La temperatura para cocinar no es suficiente para conservar el adhesivo, ya que los termófilos pueden activarse, dando como resultado una caída en el pH, pérdida de viscosidad y el desarrollo de mal olor, por lo que durante su fabricación se agrega un biocida que proteja el producto contra el ataque microbiológico; además, debe tener estabilizantes para controlar su calidad. La continuidad de estas recomendaciones se verá reflejada en la calidad de adhesión, es decir, en la resistencia y durabilidad del empaque.

7.5 Componentes del adhesivo

El adhesivo empleado en la formación del cartón corrugado, para unir el papel medium con el liner está compuesto por: almidón (nativo y/o modificado), agua, hidróxido de sodio (sosa cáustica), bórax y bactericidas. La adición de cada uno le proporciona al adhesivo las propiedades adhesivas necesarias para la unión entre los papeles componentes del cartón corrugado, sin ellos, el uso del almidón como adhesivo sería impráctico [13].

7.5.1 Agua

El agua es el componente principal para la preparación del adhesivo. Los niveles de humedad en el adhesivo y el papel influyen en las propiedades de unión del adhesivo. El agua permite la dilución y cocción del almidón, reduce la temperatura del almidón, ayuda a controlar la viscosidad y permite que el almidón se hinche [13].

7.5.2 Almidón

El almidón es un polímero de alto peso molecular de unidades de anhidroglucosa ($C_6H_{10}O_5$) producido por las plantas para el almacenamiento de energía y se sintetiza en forma granular. Estos

gránulos se encuentran en semillas, raíces, tubérculos, tallos y hojas, y varían en tamaño y forma dependiendo de su fuente botánica [27].

El almidón es un componente importante que se utiliza como adhesivo en la fabricación de empaques de cartón corrugado, por lo que debe cumplir con los requisitos de calidad en el contenido de humedad, viscosidad, pH y otras propiedades. Los adhesivos de almidón son económicos, fácilmente disponibles, fáciles de aplicar y deben dispersarse completamente en agua para transformar el almidón en un adhesivo eficiente. Las principales fuentes de almidón son el maíz, maíz ceroso, la papa, y la tapioca. Sin embargo, en la industria del papel la fuente principal es el almidón de maíz.

El almidón se utiliza en la industria del papel debido a sus propiedades adhesivas, sin embargo, los almidones se modifican química o físicamente con el propósito de mejorar la viscosidad, carga, unión a fibras y resistencia de la unión, así como también eliminar la retrogradación mediante la adición de agentes estabilizantes para una máxima eficiencia. Al enfriarse la pasta, la tendencia a la formación de gel o precipitación se reduce y se mejora la resistencia adhesiva entre los papeles componentes, lo cual significa que hay una mejor penetración del adhesivo.

Los almidones modificados tienden a expandirse después del contacto con el agua debido a la estructura granular; sin embargo, el contenido de humedad es un factor dominante porque afecta la resistencia de las películas de almidón. Un aumento de humedad del 35% al 65% puede disminuir la resistencia de la película más del 40%.

7.5.2.1 Amilosa y amilopectina

El conocimiento de la organización interna es la mejor manera de comprender las propiedades del almidón y así mejorar la estabilidad de sus productos. Las sustancias que se encuentran en los gránulos de almidón son amilopectina, amilosa, y moléculas intermedias entre amilosa y amilopectina, las cuales tienen estructuras y propiedades esencialmente lineales: lípidos, monoéster de fosfato y proteínas/enzimas. Aunque estos componentes se encuentran en concentraciones bajas tienen efectos significativos en la temperatura de pegado, la viscosidad, estabilidad y claridad del adhesivo.

La amilopectina y amilosa son dos biopolímeros compuestos de polisacáridos. La amilosa es una molécula lineal de 1000 a 3000 unidades de glucosa las cuales están unidas entre sí por enlaces glucosídicos α -1-4. La amilopectina es una molécula ramificada y se forma mediante la

ramificación con los enlaces de unidades de glucosa (α -1,6) unidos por enlaces (α -1,4) y que pueden tener varios millones de unidades de glucosa. Los gránulos de almidón de maíz contienen 70 a 80% de amilopectina y 20 a 30% de amilosa.

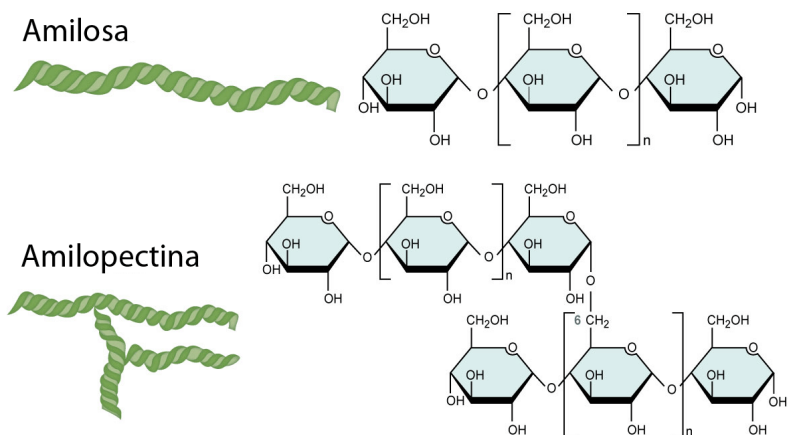


Figura 7. Estructura de la amilosa y amilopectina [28].

Las propiedades del adhesivo de almidón dependen de la proporción de amilosa y amilopectina, debido a que poseen distintas propiedades. Por ejemplo, la amilosa tiene una alta tendencia a retrogradarse y producir geles resistentes y películas fuertes, mientras que la amilopectina, en una dispersión acuosa, es más estable y produce geles suaves y películas débiles. La Tabla 1 resume las propiedades físicas de la amilosa y la amilopectina.

Amilosa	Amilopectina
Lineal, polímero sintáctico unido α -1,4.	Segmentos de cadena ramificados, α -1,4, puntos de ramificación α -1,6.
Soluciones acuosas diluidas inestables, puede ocurrir cristalización y precipitación.	Soluciones diluidas claras
Geles rígidos reversibles formados en aproximadamente el 5% de concentración.	Los geles son suaves, reversibles por calentamiento
Forma complejos insolubles con sustancias polares.	Puede formar complejos débiles con sustancias polares.
Complejo azul intenso formado con yodo-KI.	Complejo rojo a púrpura con yodo-KI.

Tabla 4. Propiedades físicas de la amilosa y amilopectina [11]

7.5.3 Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio (NaOH) tiene un efecto muy importante en la formulación del adhesivo, sus funciones son las siguientes: hinchamiento de los gránulos de almidón sin la adición de calor otorgando así viscosidad y/o consistencia al adhesivo; controlar la temperatura de gelatinización del almidón al nivel requerido, lo cual depende de la cantidad en que están presentes el almidón, el agua y la sosa; además, en conjunto con el bórax proporciona una textura pegadiza y aumenta la viscosidad y adherencia.

Al agregar hidróxido de sodio al adhesivo se reduce el calor requerido para que los gránulos de almidón se expandan. En presencia del hidróxido de sodio, los gránulos el almidón de maíz se expanden en agua a una temperatura de 59°C convirtiendo al almidón más cohesivo, mientras que en ausencia del hidróxido de sodio el almidón de maíz se expande a una temperatura en agua de 75°C y obteniendo una consistencia pastosa.

Si se agrega un exceso de hidróxido de sodio, el almidón se espesará ocasionando que el adhesivo gelatinice prematuramente y al ser aplicado mediante las guías del rodillo corrugador sería excesivo o demasiado viscoso. Por otro lado, la deficiencia de hidróxido ocasiona que el adhesivo tenga una temperatura de gelatinización mayor y como consecuencia la velocidad de la maquina deberá disminuir.

El hidróxido de sodio humecta el papel, lo que permite un buen contacto y penetración del adhesivo. Además, en la formulación del adhesivo eleva el pH, lo que imparte una propiedad no corrosiva al hierro y acero, eliminando la necesidad de equipo de acero inoxidable.

7.5.4 Bórax

El bórax es otro ingrediente esencial en la preparación del adhesivo para la formación de láminas de cartón corrugado, esto se debe a que imparte viscosidad, proporciona brillo y estabiliza la viscosidad.

Al agregar bórax a una solución de almidón, la viscosidad incrementará dependiendo de la cantidad de bórax agregado, lo cual puede ser desde un 10 hasta un 15% de bórax en peso respecto al almidón. La adición de bórax transforma una solución de almidón opaca a una transparente con una viscosidad más alta que la original, por lo tanto, la solución será un adhesivo con elevada adhesión. Si a esta mezcla (bórax-almidón) se le añade una cantidad igual de sosa caustica, la viscosidad y adherencia serán el doble de la que se alcanzaría por la sola adición de bórax. La sosa

cáustica por si misma cambiaría la solución de almidón de opaco a transparente, cohesivo y fluido, pero sin la misma efectividad de viscosidad y adherencia del que se tiene con la adición del bórax. Para ajustar la formulación del adhesivo, la sosa cáustica y el bórax deben ser añadidos con precaución para obtener la temperatura deseada, con adhesión elevada para mantener el cartón unido a velocidades altas mientras se desarrolla la película de almidón con una buena adición final y con propiedades sin cristalizar.

Una dosificación no controlada de bórax influye sobre las propiedades finales del adhesivo. Es decir, un exceso de bórax ocasiona uniones quebradizas y quemado del cartón, lo que reduce la resistencia al agua, y, además, la viscosidad del adhesivo se incrementa haciendo imposible su manejo.

El bórax realiza varias funciones en el adhesivo. Proporciona adherencia al adhesivo, mejora la retención de agua y aumenta la estabilidad de la viscosidad. Esta mezcla le proporciona viscosidad al adhesivo.

7.5.5 Bactericidas

Las soluciones de adhesivo a base de almidón son susceptibles a ser afectadas por las bacterias a pesar de la alcalinidad de la solución. Las bacterias tienen la capacidad de atacar el almidón rápidamente, provocando una pérdida de la viscosidad, retención pobre del agua en las flautas y la tendencia del gránulo de almidón a sedimentarse. Este problema se puede evitar con la adición de bactericidas en la formulación del adhesivo para evitar que los microorganismos ataquen la solución a base de almidón. Además, los bactericidas ayudan a conservar el almidón si se va a guardar el adhesivo por un periodo prolongado de tiempo.

7.6 Parámetros de preparación del adhesivo

Cada uno de los componentes del adhesivo, le proporcionan propiedades específicas, tales como: viscosidad, temperatura de gelatinización y pH. Estos parámetros deben ser controlados durante el proceso de preparación del adhesivo, con el propósito de obtener la uniformidad del adhesivo, y por tanto un cartón corrugado de buena calidad.

Además, es importante tener un control estricto sobre el contenido de sólidos, ya que tanto la viscosidad como la temperatura de gelatinización se verán afectadas. El porcentaje de sólidos adecuados es de 24 a 28%. Un incremento en el contenido de sólidos puede tener dos efectos sobre las propiedades del adhesivo. Primero, la velocidad de la máquina corrugadora puede aumentar, ya que la cantidad de agua que debe eliminarse mediante calentamiento es menor, por tanto, la demanda de calor desde los rodillos corrugadores disminuye, y en consecuencia el tiempo de secado y el tiempo de contacto del papel con el secador. Segundo, incrementa la viscosidad del adhesivo después de que comienza la gelatinización del almidón. Estos efectos incrementan la velocidad de la máquina y una mejor calidad de la unión de los papeles [29].

7.6.1 Viscosidad

La viscosidad es el criterio que determina las características reológicas del adhesivo. Los almidones no modificados presentan una acumulación de viscosidad a temperatura constante. Por esta razón, los almidones son modificados, para obtener la viscosidad deseada, la cual debe mantenerse en un rango específico para la optimización de la aplicación del adhesivo y del proceso de fabricación del cartón corrugado. Esto se debe a que la solución de almidón aumenta al enfriarse, ya que aumenta la resistencia adhesiva e influye en la velocidad con la que el adhesivo penetra al interior de las fibras de los papeles componentes.

La preparación del adhesivo se debe realizar cuidadosamente, puesto que hay parámetros que tienen un efecto sobre la viscosidad. La mejor manera de determinar la viscosidad del adhesivo es hacer un análisis del proceso: condiciones de operación estándar, selección adecuada del almidón, sólidos controlados, calidad del agua, agitación constante, el tiempo y temperatura de almacenamiento.

Un aumento en los sólidos del almidón causará un aumento de la viscosidad y un equipo contaminado dará como resultado una no uniformidad de la viscosidad del adhesivo. Las

consecuencias de la conversión defectuosa continuarán en la formulación de la viscosidad y conducirán a un control erróneo y deficiente del funcionamiento.

La Figura 8 representa curvas con cambios de viscosidad de distintos almidones durante el calentamiento, cocción y enfriamiento con un 8% de almidón en peso disperso en agua. Las dispersiones de almidón-agua se agitan y se calientan a una velocidad de 1,5°C/min, se mantienen a 95°C durante 60 min y luego se enfrían a 50°C, con agitación a una velocidad de 1.5°C/min.

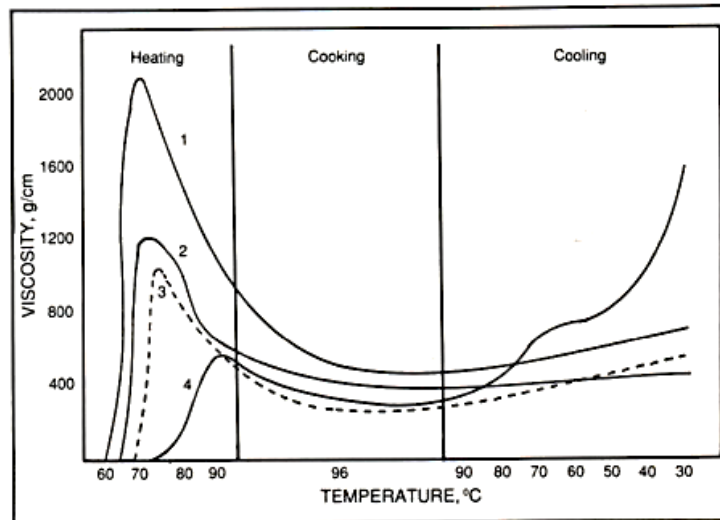


Figura 8. Curvas de viscosidad de almidones comunes (1: papa, 2: tapioca, 3: maíz ceroso, 4: maíz).

En la Figura 8 se aprecia una comparación de la viscosidad entre los almidones más utilizados. El almidón de papa, de tapioca y el de maíz ceroso, se calientan en un rango de temperatura de 70 a 80°C, sin embargo, cada uno logra una viscosidad distinta, siendo más de 2000g/cm para el almidón de papa, 1200g/cm para el almidón de tapioca y de 1000g/cm aproximadamente para el almidón ceroso; sin embargo, cuando estos almidones se encuentran a temperatura ambiente, su viscosidad disminuye lentamente en un rango de 400 a 800 g/cm.

En cambio, los almidones de maíz al ser calentados a 90°C su viscosidad aumenta a 600 g/cm aproximadamente, pero al estar a temperatura ambiente su viscosidad se eleva hasta 1600g/cm. A pesar de que los almidones de maíz requieren de mayor energía para ser calentados, en la industria del cartón corrugado son los más apropiados debido a que alcanzan viscosidades más elevadas, lo cual le proporciona al empaque las propiedades de resistencia requeridas.

7.6.2 Temperatura de gelatinización

Los gránulos de almidón se mezclan con agua para fabricar una solución; sin embargo, los gránulos son insolubles en agua fría debido a su estructura organizada por puentes de hidrógeno, por lo que la aplicación de calor es utilizada para fraccionar la estructura del gránulo. Al cambio que se produce en la solución de almidón con la aplicación de calor se denomina gelatinización.

La temperatura de gelatinización es la temperatura crítica en la que una solución de almidón desarrolla sus propiedades adhesivas. A esta temperatura, los puentes de hidrógeno se disocian, las moléculas comienzan a asociarse con el agua y los gránulos se desintegran favoreciendo la dispersión del almidón en agua, además, el volumen de los gránulos aumenta 50 veces su volumen original debido a la absorción de agua. A medida que los gránulos aumentan de tamaño, se desarrolla un incremento en la viscosidad ya que existe un mayor contacto entre los gránulos.

Los almidones modificados se gelatinizan a temperaturas inferiores a los almidones naturales. Para disminuir el tiempo de aplicación y gelatinización del adhesivo, se agrega sosa cáustica a la solución de almidón. Sin embargo, el hecho de que estos almidones se gelatinicen y se dispersen a temperaturas más bajas no es aconsejable el pegado a temperaturas más bajas.

Después de la aplicación del adhesivo, la gelatinización del almidón debe suceder rápidamente o de lo contrario podrían suceder pérdida de agua, pérdida de almidón, y separación de los componentes del adhesivo. Si estos procesos suceden, la unión del adhesivo será marginal y habrá almidón sin gelatinizar. Por otro lado, si la gelatinización es más rápida, el adhesivo no humectará o penetrará lo suficiente en el papel. Esto ocasionara una película cristalina y superficial de adhesivo.

7.6.3 pH

El valor de pH del almidón es una propiedad importante que no se debe ignorar si se espera uniformidad en la solución de almidón.

El rango de pH para almidones nativos es de 5.0 a 7.0. Un adhesivo de almidón en este rango tendrá un comportamiento de dispersión consistente, un pH menor o mayor da como resultado un adelgazamiento en la película del adhesivo colocado en el medium. Si el pH es inferior a 5.0, puede indicar que las sales ácidas están presentes o que se permitió que ocurriera la actividad microbiológica. Un pH superior a 7.0 puede indicar que se agregaron sales alcalinas para ayudar en la conversión enzimática.

7.7 Aplicación del adhesivo y afinidad con el yodo

La parte esencial en la formación del cartón corrugado es la aplicación de la línea de adhesivo, con la cual ambos papeles se unen. La distribución uniforme del adhesivo en el medium ocasionará una unión lo suficientemente resistente.

La fuerza de unión se debe a la propiedad que posee el almidón de transformarse en adhesivo al calentarse. La adherencia del almidón aumenta al igual que su viscosidad, mientras que la línea de adhesivo se seca completamente debido a que los papeles componentes absorben la solución de almidón; la absorción se debe a la estructura porosa del papel. El adhesivo penetra en los poros por presión y tamaño del poro.

La profundidad de penetración del adhesivo debe ocurrir rápidamente, ya que el tiempo de contacto para el fluido bajo el rodillo de presión es de aproximadamente 0.03 segundos a la velocidad de operación.

El contenido de almidón en papel se analiza mediante tinción con yodo y análisis de imagen, los cuales son métodos para analizar la profundidad del adhesivo.

La afinidad por el yodo de la amilosa es mucho mayor que la de la amilopectina, por esta razón, el yodo se ha usado para la cuantificación de contenidos de amilosa. Sin embargo, el desarrollo del color azul se ve afectado por distintos factores como la temperatura, el pH, la mezcla mecánica, la presencia de lípidos y la estructura de la amilopectina, ya que las cadenas largas de la amilopectina también pueden formar complejos con el yodo y dar afinidad de yodo y color azul adicionales. Los complejos de amilosa con lípidos reducen su capacidad para formar yodo complejo.

7.8 Factores que impactan la calidad de unión entre papel liner y medium

Diversos factores afectan la unión del papel liner con el medium, y como consecuencia la calidad del empaque de cartón corrugado. El factor principal de proceso que afecta la unión entre los papeles componentes, es el rodillo corrugador. Al ser una pieza metálica, sometida a presión y fricción, presenta un desgaste en el centro de los rodillos después de cierto tiempo de uso, este fenómeno se produce por el uso de papeles de distintos tamaños con el mismo rodillo.

Un correcto mantenimiento de los rodillos garantiza una mayor duración de la superficie y permitirá la fabricación adecuada de las flautas con su longitud y altura deseadas en términos de

calidad y velocidad, evitando consumos excesivos de papel, deterioro de las ondas y un ahorro de tiempos muertos.

Para prevenir el desgaste prematuro de los rodillos se recomienda alinear y ajustar los rodillos para que embonen perfectamente, utilizar papeles lisos y tener la precaución de utilizar las presiones según el tipo de papel, ya que no siempre se requiere la misma. Además, es importante controlar los procesos que intervienen en el momento de fabricar el corrugado (humedad, calor, velocidad de la maquina, entre otros); así como las características de los papeles componentes (humedad, temperatura y porosidad) [4].

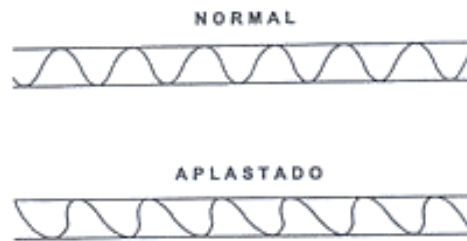


Figura 9. Efecto del proceso de corrugado [19]

La porosidad del papel se puede definir como la proporción que existe entre el volumen de espacios vacíos o poros y el volumen aparente del papel. Es una de las características del papel con mayor importancia para la adhesión del papel. Sin embargo, en la fabricación del papel lo más importante es la resistencia a la penetración de fluidos como aire, vapor de agua, etc. Cuando se trata de aire se habla de permeabilidad al aire, lo cual da un indicio de la estructura de la hoja y de su aptitud para que se produzcan los fenómenos de penetración por presión y capilaridad [13].

8 Metodología

Se obtuvieron cuatro muestras de láminas de cartón corrugado estructurado formado a velocidad industrial. Las primeras dos láminas analizadas se obtuvieron de una empresa, ambas de doble corrugado, en tanto que las otras dos láminas se obtuvieron de una segunda empresa, además, de una de estas láminas se obtuvieron los papeles componentes. La primera lámina que se analizó presentaba el problema de delaminación del liner interno y externo.

En base a la norma TAPPI T402, las muestras deben ambientarse 24 h a 23°C y 50% de humedad relativa debido a que las condiciones tienen un efecto significativo en las propiedades físicas del papel y cartón. Además, las probetas no deben ser cortadas de áreas dañadas para evitar resultados erróneos.

8.1 Equipos utilizados

- Equipo de Resistencia a la Compresión L&W.
- Estereomicroscopio Leica MZ75
- Equipo de lisura
- Densímetro de porosidad Gurley FRANK
- Micrómetro FRANK
- Microscopio Leica DMRME
- Microtomo American Optical 820
- Mufla

8.2 Determinación del contenido de Ceniza

La determinación de ceniza de un papel se realiza en base a la norma TAPPI T 211 a una combustión de 525°C.



1. Se utilizan crisoles limpios de porcelana o sílice de 50 a 100 ml.
2. Colocar los crisoles en un horno de secado a temperatura constante de $105^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante aproximadamente 2 h.
3. Enfriar los crisoles en un desecador que contenga alúmina anhidra durante 30 min y obtener el peso de cada uno.
4. La muestra seleccionada se corta en pedazos pequeños y se pesa 1 g libre de humedad.
5. Carbonizar la muestra en el crisol sobre una llama de un mechero Bunsen sin flamear.
6. Cuando el residuo haya terminado de carbonizar, se coloca el crisol con la muestra en la mufla a una temperatura de 25°C .
7. La temperatura comenzará a aumentar hasta llegar a la temperatura de $525 \pm 25^{\circ}\text{C}$ en un lapso de 60 min.
8. Al terminar, retirar el crisol de la mufla y colocarlo en un desecador que contenga alúmina anhidra y dejar enfriar durante 30 min.
9. Pesar el crisol con la ceniza.
10. Calcule el contenido de ceniza de la siguiente manera:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso de la ceniza, g}}{\text{Peso de la muestra libre de humedad, g}} \times 100$$

8.3 Resistencia a la compresión, ECT (Edge Crush Test)

A una sección de lámina de cartón corrugado, se le aplica una carga en forma vertical a largo del eje de las flautas. Los resultados obtenidos se expresan en lbf/in. Esta evaluación se

realizó en el equipo de Resistencia a la Compresión L&W, Figura 10. Las platinas deberán permanecer paralelas entre sí a lo largo de la evaluación.

Un sistema motorizado de desplazamiento se acciona para mover la platina y lograr una separación de al menos 2,36 in en un rango de carga de 0 a 500 lb_f, la velocidad de la platina accionada debe ser controlable a $0,49 \pm 0,008$ in por minuto. La precisión requerida es 0.5% de la lectura de la escala o 0.5 lb_f.



Figura 10. Equipo de Resistencia a la Compresión L&W

El procedimiento que se utilizó es en base a la norma TAPPI T839:

1. Cortar 10 probetas de 2,0 in x 2,0 in de una lámina de cartón corrugado formado a velocidad industrial con un dispositivo de doble cuchilla para cortar bordes paralelos y perpendiculares limpios.
2. De acuerdo con la norma TAPPI T839, la probeta es colocada en un par de bloques de guía metálicos los cuales forman un soporte para alinear la muestra verticalmente (Figura 11).



Figura 11. Accesorio para la evaluación de compresión ECT

3. Una vez colocada la probeta en el soporte, este se coloca en la platina inferior del Equipo Crush Tester y la platina inferior se desplaza hacia la platina superior con una velocidad preestablecida hasta que la probeta es aplastada en dirección paralela a las flautas, al completar el ciclo la platina inferior se desliza hacia abajo automáticamente. La fuerza máxima de resistencia durante la evaluación se registra en kN.
4. Los resultados obtenidos se reportan en lbf/in.

8.4 Anclaje de adhesión por separación selectiva, PAT (Pin Adhesion Test)

La evaluación se realiza con el equipo Resistencia a la Compresión L&W (Figura 14) y en base a la norma TAPPI T821.

1. Para láminas de cartón corrugado de “flauta A” o “flauta C” se cortan 10 probetas de 2,0 in x 6,0 in, en tanto que para láminas de “flauta B” se cortan 10 probetas de 1,25 in x 4,0 in, de una lámina de cartón corrugado formada a velocidad industrial con un dispositivo de doble cuchilla para cortar bordes paralelos y perpendiculares limpios. Las probetas fueron cortadas de modo que el corte de 2,0 in o 1,25 in estén en dirección de la flauta.
2. Con el objetivo de lograr la separación entre el liner y medium se requiere del accesorio para la evaluación de anclaje de adhesivo (Figura 12), en el cual se coloca la probeta de cartón corrugado previamente cortada.

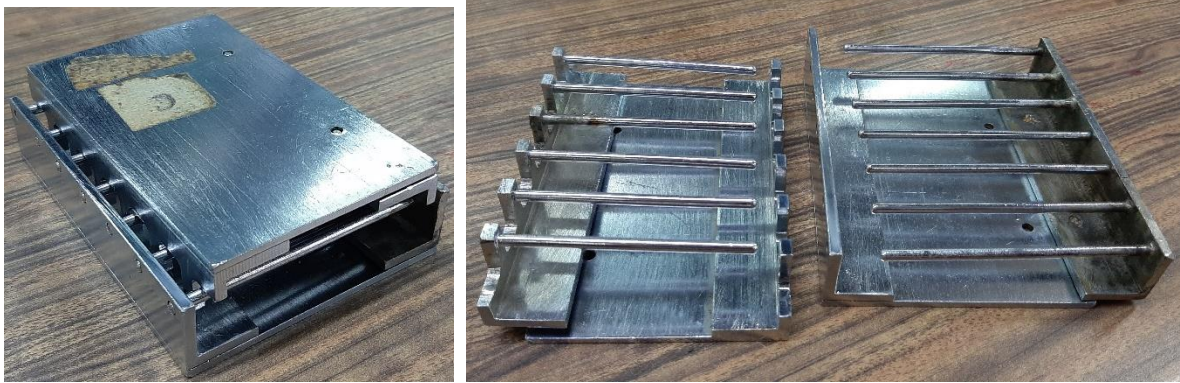


Figura 12. Accesorio para la evaluación de anclaje de adhesivo

3. Posteriormente, insertar los pasadores de presión entre el liner de evaluación y el medio acanalado para hacer contacto con el liner designado a separar hacia abajo cuando la probeta esté bajo carga. A continuación, insertar los pasadores de soporte entre cada uno de los pasadores de presión. Finalmente, completar el ensamblaje del accesorio para la evaluación de anclaje de adhesivo y centrarlo entre las platinas del equipo de Resistencia a la Compresión.
4. Aplicar una carga a velocidad constante hasta separar el papel liner de las crestas del medium. Los resultados obtenidos se reportan en lbf/ft.

8.5 Almidón en papel

De acuerdo a la norma TAPPI T419 “Starch in paper” o su traducción al español “Almidón en papel”, es un procedimiento que mide el contenido de almidón con una solución de yodo 0.01 N, debido a que el almidón reacciona en presencia del yodo; sin embargo, no es posible diferenciar entre el almidón impregnado en las fibras y el que se encuentra en la superficie del papel; por esta razón se realizaron dos procedimientos, uno para conocer la cantidad de almidón superficial de los papeles componentes del cartón corrugado y otro para conocer el almidón penetrado en las fibras.

8.5.1 Fotografías en Estereomicroscopio (almidón superficial en papel)

1. Después de la separación del liner y el medium mediante la evaluación de PAT, las líneas de adhesivo en el papel liner y las crestas del papel corrugado fueron teñidas con yodo 0.01 N.
2. Al secarse el yodo, se observaron con el Estereomicroscopio (Figura 13) para una mejor visualización del contenido de almidón, lo cual permitió conocer el ancho y distancia de las líneas de adhesivo de los papeles liner y una mejor observación del adhesivo en las crestas del papel corrugado.



Figura 13. Estereomicroscopio Leica MZ75

8.5.2 Observaciones en el microscopio (almidón en las fibras)

1. De una lámina de cartón corrugado formada a velocidad industrial se cortó una pequeña probeta de 0.4 in x 0.4 in con un dispositivo de doble cuchilla para cortar bordes paralelos y perpendiculares limpios.
2. En un vaso de precipitado derretir polietilenglicol a 45°C.
3. Al derretirse en su totalidad, dispersar una pequeña capa de polietilenglicol en un vaso desechable pequeño. Después, colocar un soporte de madera sobre la capa de polietilenglicol y presionar rápidamente. A continuación, se deja enfriar.
4. La probeta de cartón previamente cortada se coloca encima del soporte de madera con las flautas en vertical.
5. Posteriormente, verter polietilenglicol hasta que la muestra quede cubierta casi en su totalidad.

6. Con un micrótopo se realizan cortes finos de la probeta los cuales se colocan en un portaobjetos.
7. Agregar una pequeña gota de yodo a los cortes para observar el almidón penetrado en las fibras del cartón corrugado utilizando el microscopio (Figura 14).



Figura 14. Microscopio Leica DMRME

8.6 Perfil de Gramaje

El procedimiento realizado para cada papel componente del cartón corrugado fue en base a la norma TAPPI T410:

1. Sobre una superficie rígida se extiende el papel. Utilizando una regla graduada, se mide la longitud y se corta un número suficiente de muestras representativas a lo largo del papel en cuadros de 10 cm x 10 cm, tomando en cuenta que en las orillas hay una variación en el papel.
2. Después de ambientarlas, se colocan dentro de una bolsa para que estas no absorban humedad nuevamente. Se pesa cada muestra en una balanza asegurándose que la lectura cero sea lo suficientemente correcta para alcanzar la precisión de pesaje requerida.
3. El valor del gramaje se realiza relacionando los gramos del peso de la muestra entre el área en m^2 de cada probeta de papel (g/m^2).

Nota: Las probetas cortadas para este procedimiento, se utilizaron para las siguientes el resto de las evaluaciones.

8.7 Contenido de Humedad

La norma TAPPI T412 es un método que determina la cantidad de humedad en el peso original de una probeta de papel o cartón.

El procedimiento es el siguiente:

1. De la evaluación de perfil de gramaje, se tiene el peso de las probetas.
2. Colocar las probetas en un horno de secado, a temperatura constante de $105^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante aproximadamente 30 minutos.
3. Enfríe a temperatura ambiente en un desecador y vuelva a pesar.

Nota: Utilizar guantes o herramientas limpios y secos al pesar las muestras. Es necesario colocar cada probeta rápidamente en la balanza y cerrarla inmediatamente. Si hay una demora de unos pocos segundos en realizar la transferencia del desecador a la balanza, puede haber cambios significativos en el peso.

4. Para calcular la humedad de cada muestra como el porcentaje de pérdida del peso original de la probeta, se utiliza la siguiente fórmula:

$$(\%) \text{ Porcentaje de contenido de humedad} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de contenido de humedad

donde:

W_1 = peso inicial de probeta, g

W_2 = peso seco de la probeta, g

8.8 Espesor

Este método describe el procedimiento para medir el espesor de una hoja de papel o cartón mediante el uso de un micrómetro. El micrómetro aplica una carga específica relativamente alta, 50 kPa (7.3 psi). De acuerdo a la norma TAPPI T411 el procedimiento para conocer el espesor de una muestra de papel es el siguiente.

1. Con un micrómetro se mide el espesor de las muestras en cuatro puntos distintos.

2. Se realiza un promedio del espesor de cada muestra obteniendo un solo dato para cada muestra.
3. Este procedimiento se realiza a todas las muestras. Posteriormente se realiza el mismo proceso a cada papel componente.
4. Los resultados se reportan en mm.

8.9 Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente de los papales componentes se realiza en base a la norma ISO 534:2011 “Paper and board – Determination of thickness, density and specific volume” o su traducción al español “Papel y cartón - Determinación de espesor, densidad y volumen específico”.

Debido a que las unidades de la densidad son masa con respecto a volumen, la densidad se determina utilizando la ecuación 2:

$$Densidad = \frac{Gramaje}{1000 \times Espesor} = \frac{g/m^2}{1000 \times mm} = g/cm^3$$

Ecuación 2. Densidad

8.10 Porosidad Gurley

De acuerdo con la norma TAPPI T460, el procedimiento se realiza mediante un aparato de resistencia de aire que es un instrumento sellado con aceite el cual consiste en un cilindro exterior posicionado verticalmente que está parcialmente lleno con un fluido de sellado y un cilindro interno que puede deslizarse libremente en el cilindro exterior. La presión del aire, generada por el peso del cilindro interior, se aplica a la muestra que se mantiene entre las placas de sujeción. El procedimiento es el siguiente:

1. Colocar una probeta entre las placas de sujeción del aparato de resistencia de aire.
2. Utilizando un cronómetro, calcular el tiempo que tarda en atravesar 100ml de aceite a través de la muestra.
3. Los resultados se reportan en segundos (s).

8.11 Lisura Bendtsen

La norma ISO 8791 es un método para la determinación de la lisura del papel y cartón. El equipo utilizado para este método se conoce como Bendtsen y los resultados se expresa en ml/min.

El procedimiento para realizar la evaluación es el siguiente:

1. Identificar el lado tela y lado fieltro de cada probeta.
2. Nivelar el equipo y asegurarse que ninguna vibración pueda causar lecturas erróneas. Encender el suministro de aire.
3. Seleccionar el caudalímetro de área variable más adecuado para la evaluación, que dará una lectura en el 80% superior del rango con el peso del manóstato de 1,47 kPa.
4. Ajustar las válvulas en la parte inferior de los caudalímetros de área variable para que el aire fluya a través del medidor de flujo de área variable seleccionado. Cuando el flujo de aire haya comenzado, coloque suavemente el peso del manóstato de 1,47 kPa en la muestra y comience a girar.
5. Verificar la calibración del caudalímetro de área variable mediante la sustitución temporal del cabezal de medición por el tubo capilar apropiado. La lectura del flujo de aire debe coincidir con la lectura correcta para ese tubo capilar dentro de $\pm 5\%$.
6. Colocar la probeta con la superficie a evaluar en la parte superior sobre una superficie plana y utilizar una placa metálica para sujetar la probeta y mantenerla plana. Baje suavemente el manóstato sobre la probeta para evitar cualquier daño.
7. Registre el medidor de flujo leyendo al principio del flotador al menos 5 s después de bajar.
8. Repetir el procedimiento por ambos lados de las probetas (tela y fieltro).
9. Después de completar las evaluaciones, retirar el manóstato y apague el suministro de aire.

9 Resultados y análisis de resultados

Las evaluaciones mencionadas en metodología se aplicaron a las láminas de cartón obtenidas del proceso industrial.

La evaluación de ceniza se aplicó a los papeles componentes para observar el efecto que tiene el contenido de cargas minerales en el proceso de corrugado del papel medium, así como en la calidad de resistencia de los empaques de cartón corrugado debido a que son fabricados a partir de fibra reciclada. Esta resistencia se comprueba mediante la evaluación de ECT.

Además, mediante la evaluación de PAT y cortes finos fue posible observar la resistencia de la unión entre los papeles componentes, el anclaje que tuvo el adhesivo en las fibras y analizar la línea de adhesivo aplicada en el proceso de formación de las láminas de cartón.

Para complementar se analizaron los papeles componentes para conocer sus propiedades y el efecto que tienen en la aplicación del adhesivo y en la resistencia del cartón una vez formado.

9.1 Determinación del contenido de ceniza

Se realizó la evaluación de ceniza a uno de los papeles liner que componen la lámina de cartón corrugado para conocer la cantidad de cargas minerales contenida en el papel.

$$\% \text{ Cenizas} = 6.5$$

Como se mencionó anteriormente, los papeles son fabricados a base de fibra reciclada en la cual las cargas minerales tienen un impacto en la calidad del papel, sin embargo, durante el proceso de fabricación de los papeles también se agregan otros productos como son rellenos, productos químicos, entre otros, los cuales también afectan en la calidad del papel, por esta razón se realizó la evaluación de ceniza.

Como se mencionó anteriormente, los papeles son fabricados a base de fibra reciclada a los cuales se agregan rellenos, productos químicos, entre otros, este contenido de cargas minerales también afecta en la calidad del papel, por lo que se realizó la evaluación del contenido de ceniza.

9.2 Lámina 1: Doble corrugado (Flauta B y Flauta C)

La primera lámina evaluada fue un doble corrugado de flauta B y C que se obtuvo de International Paper, esta lámina presentaba un defecto de delaminación. La evaluación de PAT fue aplicada en ambas flautas, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5, al igual que los resultados de ECT. En la tabla se integra el valor de desviación estándar (s) calculada para cada grupo de probetas evaluadas.

No existen valores estándar para determinar si los valores de resistencia obtenidos son buenos o malos, ya que el origen y calidad de la materia prima con que se fabrica cada lámina de cartón es distinta. Además, en el proceso de corrugado del medium, el rodillo corrugador se desgasta principalmente de la parte central impidiendo la obtención de un medium uniforme; además, una mala aplicación y anclaje del adhesivo, impiden una buena adherencia entre los papeles componentes. Esto se observa en los resultados de la evaluación de PAT, ya que a pesar de que los datos fueron de la misma lámina, los resultados varían dependiendo de la zona cortada.

En la obtención de las láminas de doble corrugado, el papel liner externo debe tener una mayor resistencia debido a que es el que le proporciona la protección necesaria al producto contenido en el empaque, además es el papel que se adhiere a la flauta más pequeña; lo cual explica que los valores de resistencia PAT sean mayores en la flauta B respecto de la flauta C.

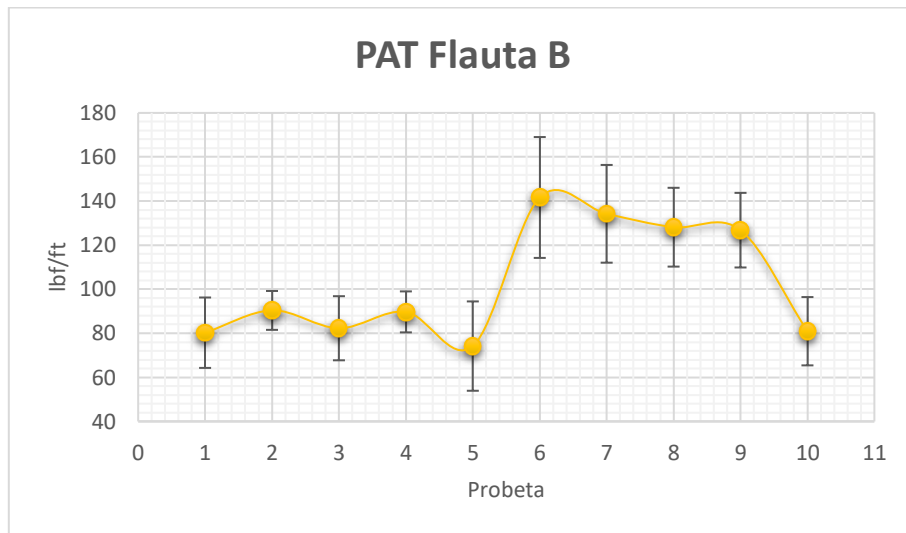
A pesar de que no existen valores fijos para determinar la resistencia del cartón, los resultados de ECT de esta lámina son altos.

Probeta	PAT				ECT	
	Flauta B (lb _f /ft)	Desviación Estándar (s)	Flauta C (lb _f /ft)	Desviación Estándar (s)	(lb _f /in)	Desviación Estándar (s)
1	80.26	15.98	59.80	4.61	80.93	2.38
2	90.37	8.82	69.24	2.07	74.19	2.38
3	82.28	14.55	71.04	3.34	80.93	2.38
4	89.70	9.30	59.80	4.61	80.93	2.38
5	74.19	20.27	77.33	7.79	75.31	1.59
6	141.63	27.42	67.89	1.11	74.19	2.38
7	134.21	22.18	66.99	0.48	77.56	0.00
8	128.14	17.88	62.05	3.02	75.31	1.59
9	126.79	16.93	69.24	2.07	76.44	0.79
10	80.93	15.50	59.80	4.61	79.81	1.59

Máximo	141.63		77.33		80.93	
Mínimo	74.19		59.80		74.19	
Prom.	102.85		66.32		77.56	
Desv. Est.	26.38		5.86		2.85	

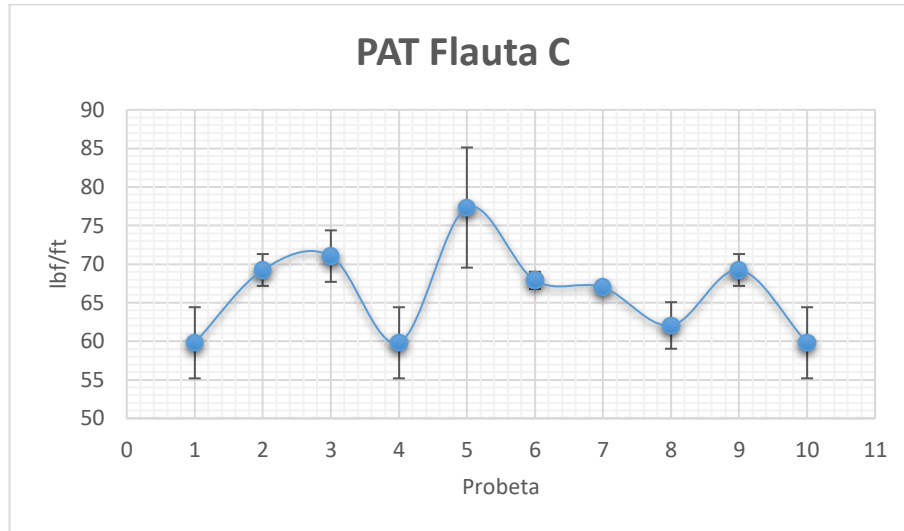
Tabla 5. Resultados Lámina 1

En la Gráfica 1 se muestra la diferencia del anclaje de liner con el medium (PAT) a lo ancho de la lámina, considerando la diferencia que hay entre la probeta 5 y 6, esto explica la delaminación del cartón corrugado, ya que la unión de los papeles componentes no fue de manera uniforme. En las probetas 1 a 5 los valores de PAT son relativamente uniformes.



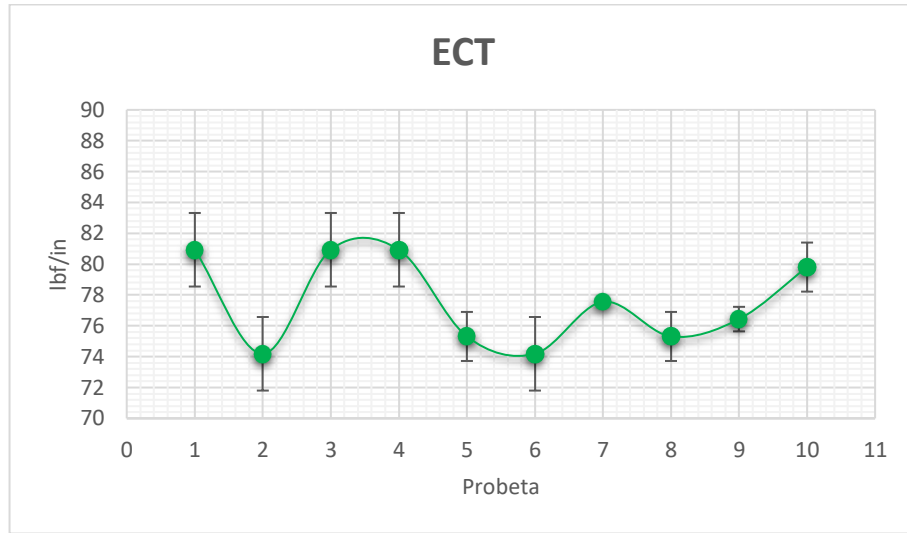
Gráfica 1. PAT Flauta B – Lámina 1

En la Gráfica 2 existe una variación en los resultados, sin embargo, el corrugado y anclaje del medium se observa por la diferencia entre las probetas 4 y 5. Las probetas 1 a 5 presentan desviaciones estándar más elevadas; esto significa que hay variación en los resultados, lo cual se relaciona con el defecto de delaminación.



Gráfica 2. PAT Flauta C – Lámina 1

En la Gráfica 3 se observa una diferencia significativa de valores entre las primeras tres probetas. Sin embargo, las diferencias entre las secciones de fabricación del cartón se dividen en dos secciones, las probetas 1 a 4 y 5 a 10. Las probetas 1 a 4 son datos con mayores diferencias entre sí a diferencia de las probetas 5 a 10, además, las desviaciones estándar son mayores en los primeros cuatro datos. En los resultados de esta evaluación, la adhesión de los papeles componentes es un factor importante para su compresión, sin embargo, la calidad de la materia prima, así como las propiedades de los papeles, influyen en su resistencia.



Gráfica 3. ECT – Lámina 1

9.3 Lámina 2: Doble corrugado (Flauta B y Flauta C)

La segunda lámina evaluada fue un doble corrugado de flauta B y C que se obtuvo de International Paper. La evaluación de PAT fue aplicada en ambas flautas, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 6, al igual que los resultados de ECT.

En la obtención de las láminas de doble corrugado, el papel liner externo debe tener una mayor resistencia debido a que es el que le proporciona la protección necesaria al producto contenido en el empaque, además es el papel que se adhiere a la flauta más pequeña; lo cual explica que los valores de resistencia PAT sean mayores en la flauta B respecto de la flauta C.

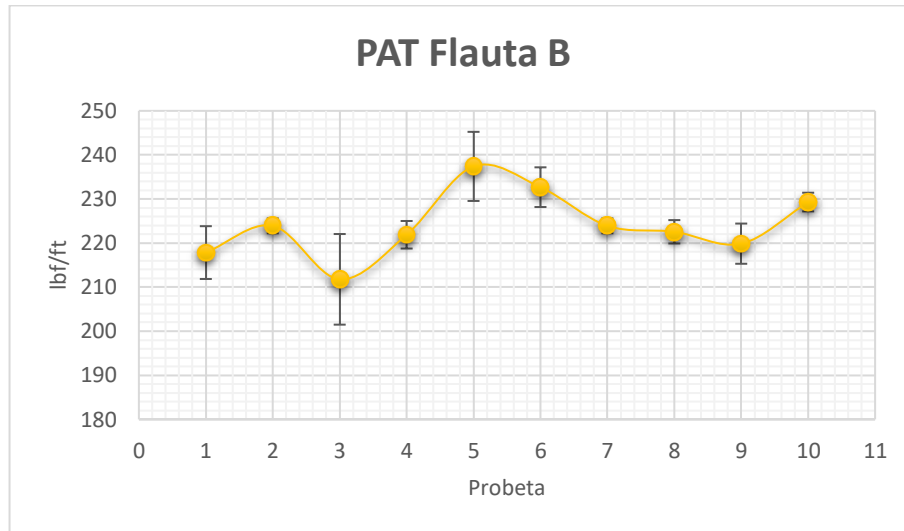
A pesar de que no existen valores fijos para determinar la resistencia del cartón, los resultados de la evaluación de ECT de esta lámina fueron los más elevados, lo cual indica que su resistencia a la compresión en columna es muy buena.

Probeta	PAT				ECT	
	Flauta B (lb _f /ft)	Desviación Estándar (s)	Flauta C (lb _f /ft)	Desviación Estándar (s)	(lb _f /in)	Desviación Estándar (s)
1	217.84	5.99	144.78	3.69	106.78	0.40
2	223.91	1.70	142.53	5.28	105.66	1.19
3	211.77	10.28	161.86	8.39	105.66	1.19
4	221.89	3.13	150.62	0.45	106.78	0.40
5	237.40	7.84	145.23	3.37	109.03	1.19
6	232.68	4.50	155.57	3.94	107.91	0.40
7	223.91	1.70	152.87	2.03	107.91	0.40
8	222.56	2.65	147.48	1.78	109.03	1.19
9	219.86	4.56	152.87	2.03	106.78	0.40
10	229.31	2.12	146.13	2.73	107.91	0.40

Máximo	237.40		161.86		109.03	
Mínimo	211.77		142.53		105.66	
Prom.	226.31		149.99		107.35	
Desv. Est.	8.57		5.92		1.21	

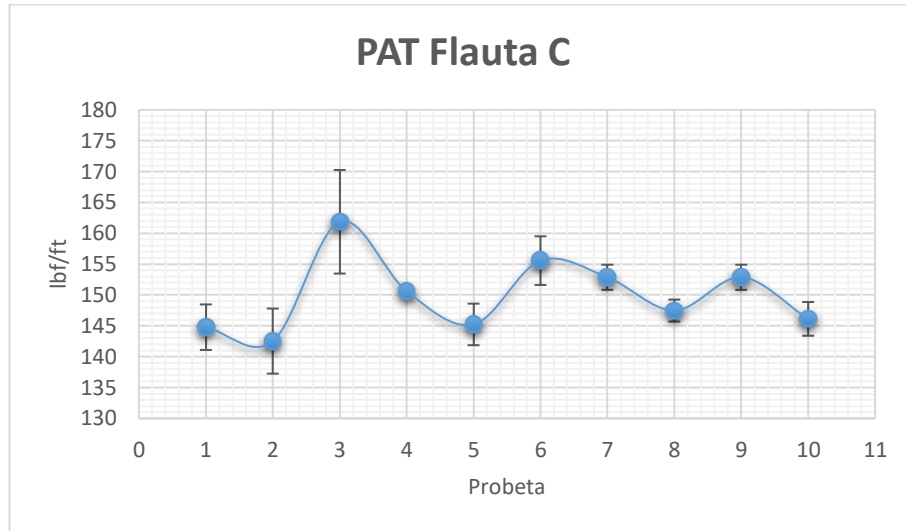
Tabla 6. Resultados Lámina 2

En la Gráfica 4 se observa una baja desviación estándar, ya que los resultados de presión están en un rango de 210 a 240 lbf/ft. Además, considerando la diferencia que hay en las probetas 1 a 5 se explica la delaminación del cartón corrugado, ya que la unión de los papeles componentes no fue de manera uniforme.



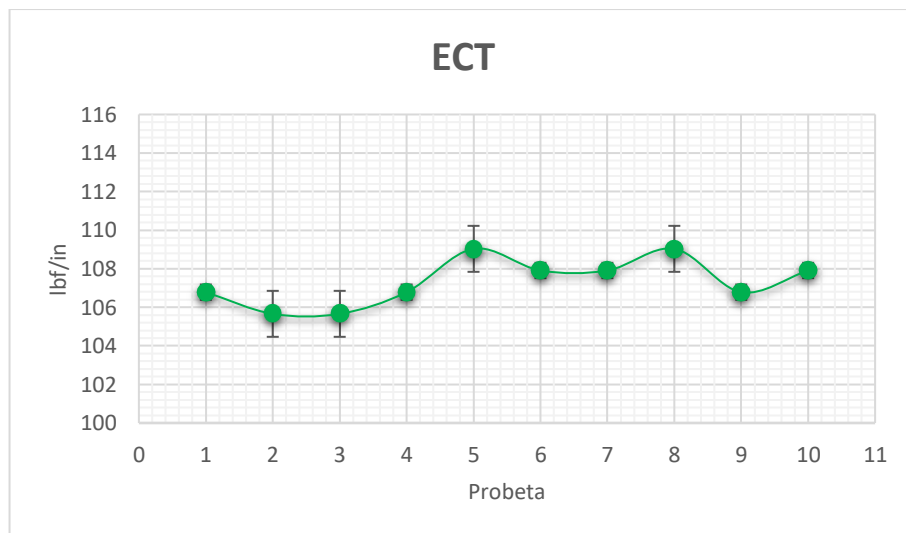
Gráfica 4. PAT Flauta B – Lámina 2

En la Gráfica 5 se observa el corrugado del medium y el anclaje del adhesivo debido a la diferencia de valores entre las probetas 2 y 3. No obstante, los resultados de las probetas 1 a 5 son variables y con desviaciones estándar elevadas.



Gráfica 5. PAT Flauta C - Lámina 2

En la Gráfica 6 se observa que los resultados de las presiones no son muy variables, ya que los datos están en un rango de presión de 105 a 110 lbf/in, obteniendo así una baja desviación estándar. En los resultados de esta evaluación, la adhesión de los papeles componentes es un factor importante para su compresión, sin embargo, la calidad de la materia prima, así como las propiedades de los papeles, también influyen en su resistencia.



Gráfica 6. ECT - Lámina 2

9.4 Lámina 3: Doble corrugado (Flauta E y Flauta C)

La tercera lámina evaluada fue un doble corrugado de flauta E y C que se obtuvo de Mercapapel. La evaluación de PAT fue aplicada únicamente a la flauta C, debido a que el accesorio para el anclaje de adhesivos solamente está diseñado para flautas A, B y C, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 7, al igual que los resultados de ECT.

En la obtención de las láminas de doble corrugado, el papel liner externo debe tener una mayor resistencia debido a que es el que le proporciona la protección necesaria al producto contenido en el empaque, además es el papel que se adhiere a la flauta más pequeña; sin embargo, en el caso de esta lámina es difícil realizar una comparación entre la resistencia de ambas flautas.

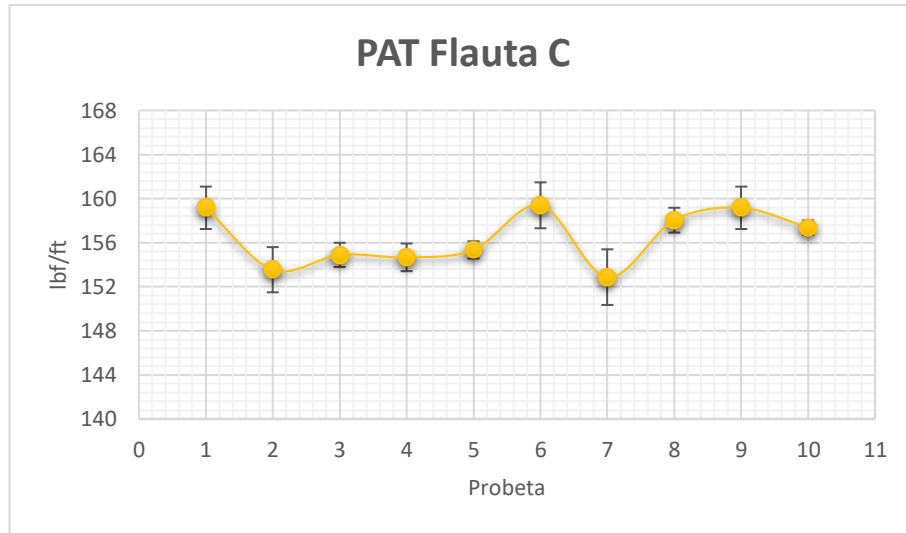
A pesar de que no existen valores fijos para determinar la resistencia del cartón, los resultados de la evaluación ECT de esta lámina son altos, lo cual indica que su resistencia a la compresión en columna es buena.

Probeta	PAT		ECT	
	Flauta C (lb _f /ft)	Desviación Estándar (s)	(lb _f /in)	Desviación Estándar (s)
1	159.2	1.92	91.61	0.36
2	153.5	2.05	93.86	1.23
3	154.9	1.10	92.17	0.04
4	154.7	1.26	93.30	0.83
5	155.3	0.78	92.17	0.04
6	159.4	2.08	89.92	1.55
7	152.9	2.53	92.73	0.44
8	158.0	1.13	90.49	1.15
9	159.2	1.92	92.17	0.04
10	157.4	0.65	92.73	0.44

Máximo	159.39		93.86	
Mínimo	152.87		89.92	
Prom.	156.45		92.12	
Desv. Est.	2.47		1.20	

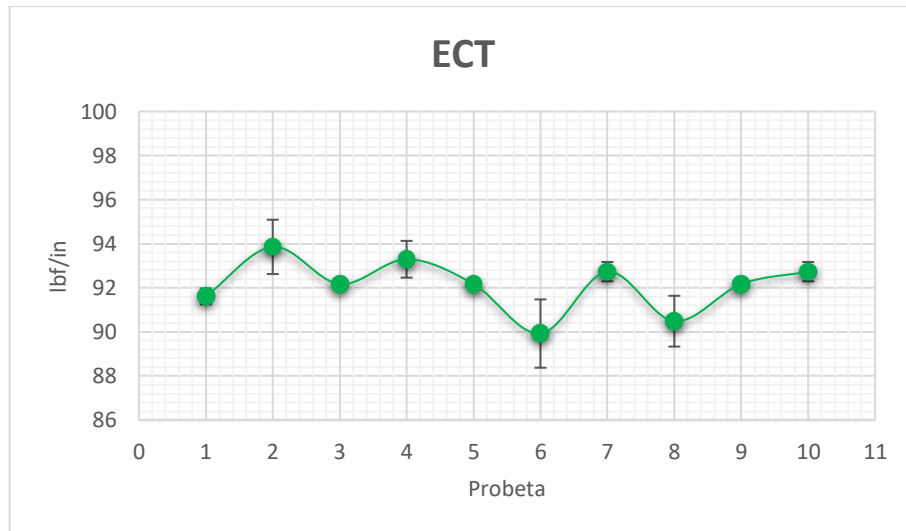
Tabla 7. Resultados Lámina 3

La Gráfica 7 presenta una desviación de resultados baja; sin embargo, el corrugado del medium y el anclaje del adhesivo se observa en las probetas centrales 5 a 7 principalmente.



Gráfica 7. PAT Flauta C - Lámina 3

En la Gráfica 8 se observa que los resultados de las presiones no son muy variables, ya que los datos están en un rango de presión de 88 a 95 lb/in.



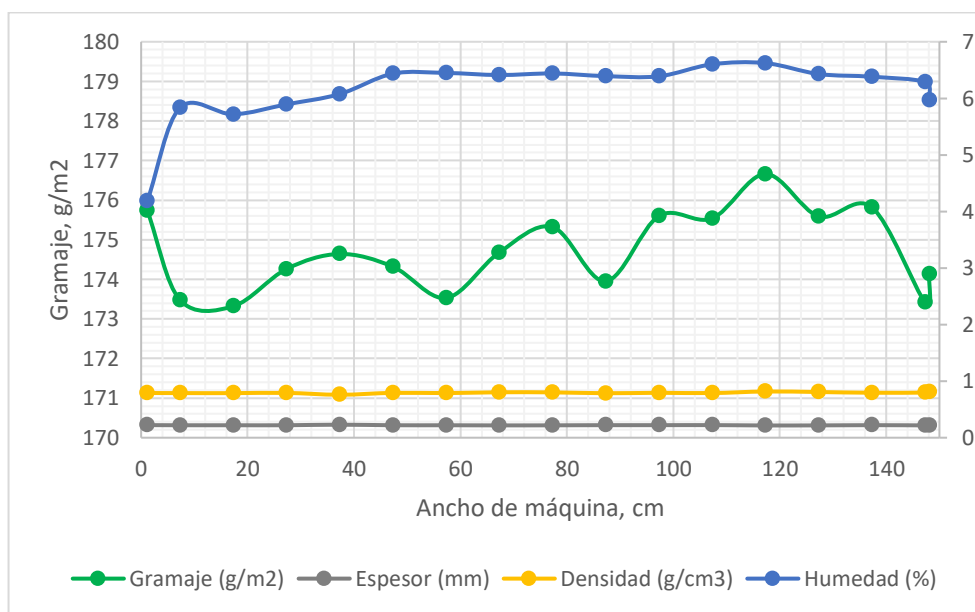
Gráfica 8. ECT - Lámina 3

9.4.1 Papel liner blanco recubierto

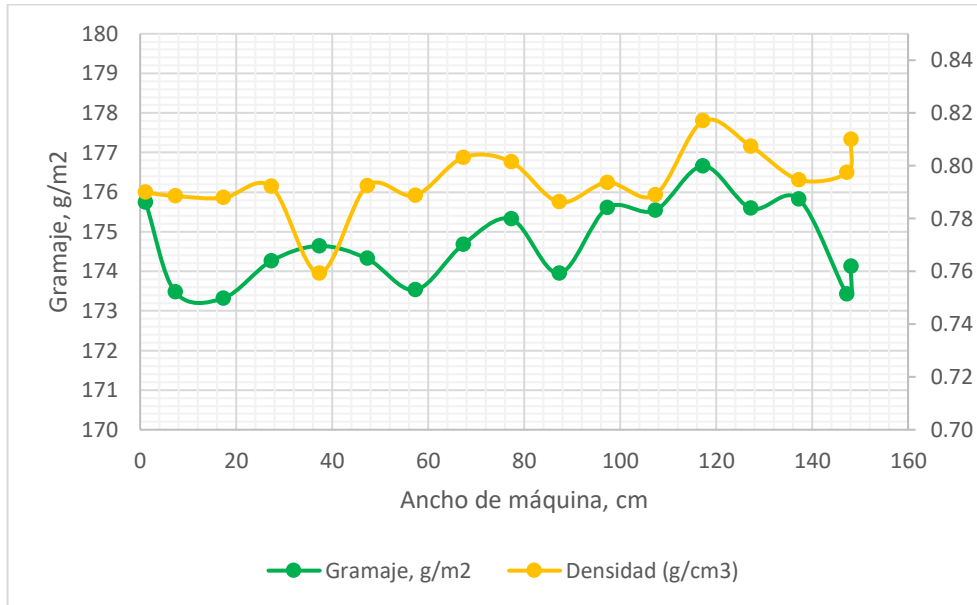
Los papeles componentes de esta lámina se utilizaron para analizar el gramaje, espesor, porosidad, humedad, densidad y lisura, ya que los resultados de estas evaluaciones influyen en la resistencia y en la penetración del adhesivo de los empaques de cartón corrugado.

Durante el proceso de fabricación de los papeles componentes del cartón corrugado, no se tiene el cuidado necesario con los extremos del papel, por lo que sus características son variables. Sin embargo, al fabricar las láminas de cartón, los extremos de los papeles son eliminados, por lo que no influyen directamente en las propiedades de la lámina fabricada.

En la Gráfica 9 se observa que el espesor del papel se mantiene en un rango de valores constantes. Los valores del gramaje del papel son elevados, esto se debe a que es el liner externo y debe tener una mayor resistencia para proteger el contenido del producto. El contenido de humedad no es muy variable a lo ancho de la máquina, se mantiene prácticamente constante a excepción del primer punto, es decir, el extremo del papel. Aunque en esta figura la densidad del papel se observa como constante, en la Gráfica 10 se contempla una variación a lo ancho de la máquina.

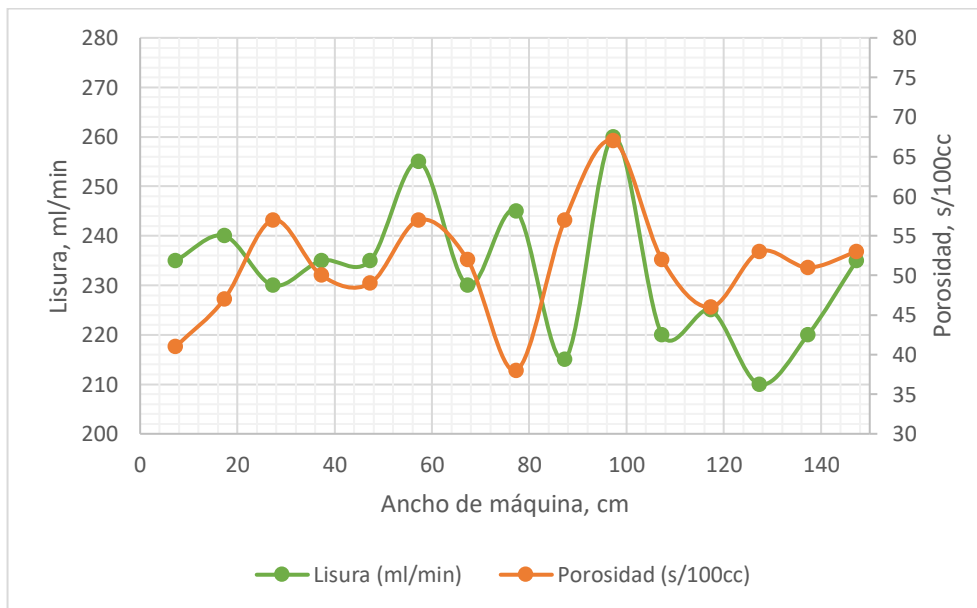


Gráfica 9. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad - Papel liner blanco recubierto

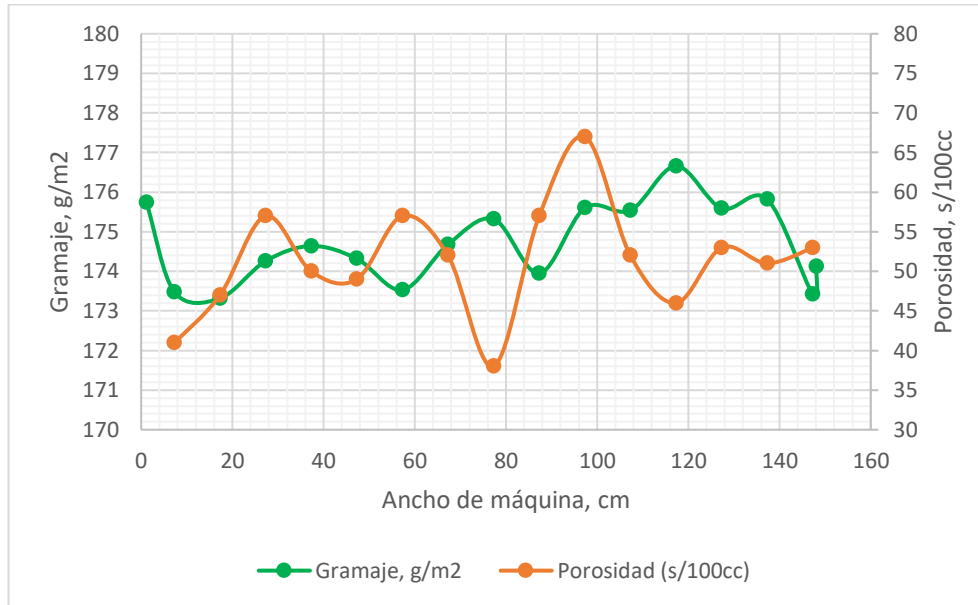


Gráfica 10. Gramaje, Densidad - Papel liner blanco recubierto

En las Gráficas 11 y 12 se observan las variaciones de la lisura, porosidad y gramaje, a lo ancho de la máquina. No obstante, en las gráficas se observa una relación que tiene la porosidad con la lisura y el gramaje del papel.



Gráfica 11. Lisura, Porosidad - Papel liner blanco recubierto



Gráfica 12. Gramaje, Porosidad - Papel liner blanco recubierto

En la Tabla 8 se observan valores bajos en las desviaciones estándar de las propiedades evaluadas. El perfil de gramaje es de gran importancia, ya que los valores de resistencia, espesor y volumen se especifican con respecto al gramaje. Además, los papeles con gramajes altos son utilizados como liner en la obtención del cartón corrugado. En base a los valores de espesor y densidad es posible conocer si el papel cumple con las especificaciones requeridas.

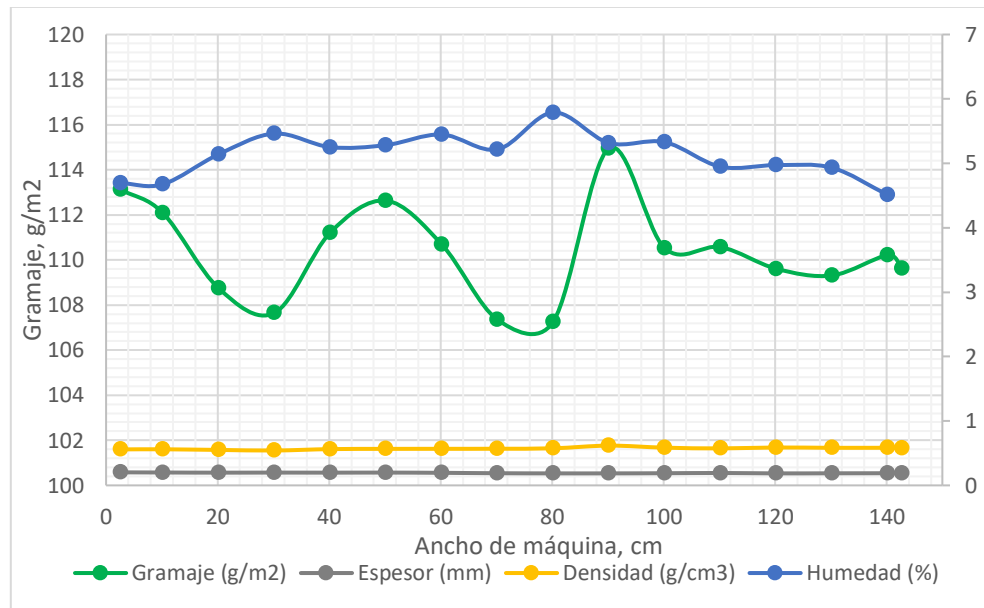
El contenido de humedad es importante por su efecto en la capacidad de impresión, la resistencia física y el manejo del papel. La porosidad del papel está influenciada por la estructura interna y su acabado superficial. Si los valores de tiempo son bajos, significa que es un papel poroso y posee mayor absorbencia de líquidos o gases, esto permite una mayor penetración del adhesivo. La lisura es la permeabilidad al aire que permiten que pase un flujo significativo de aire a través de la hoja.

	Espesor (mm)	Perfil de gramaje (g/m ²)	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Porosidad (s/100cc)	Lisura (ml/min)
Promedio	0.22	175	0.79	6.15	51	233
Máximo	0.23	177	0.82	6.62	67	260
Mínimo	0.22	173	0.76	4.18	38	210
Des. Est	0.00	1	0.01	0.57	7	14

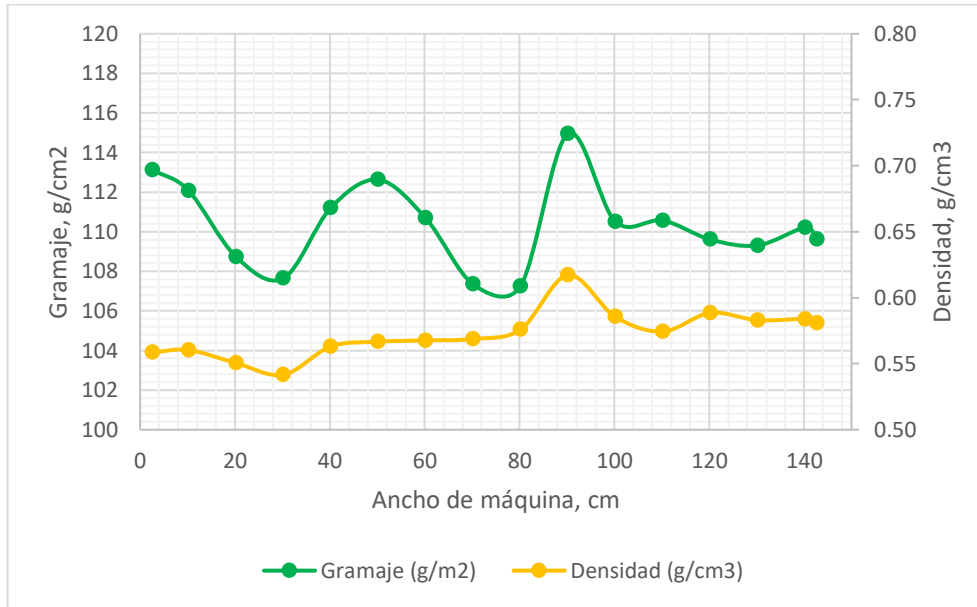
Tabla 8. Resultados Papel liner blanco recubierto

9.4.2 Papel medium para Flauta E

En la Gráfica 13 se observa que el espesor del papel se mantiene en un rango de valores pequeños y constantes. Los valores del gramaje del papel son más bajos, esto se debe a que es un papel medium y no se requieren valores elevados para facilitar el proceso de corrugado. El contenido de humedad tiene algunas variaciones a lo ancho de la máquina, aunque se puede considerar constante. Aunque en esta figura la densidad del papel se observa como constante, en la Gráfica 14 se contemplan algunas variaciones a lo ancho de la máquina.

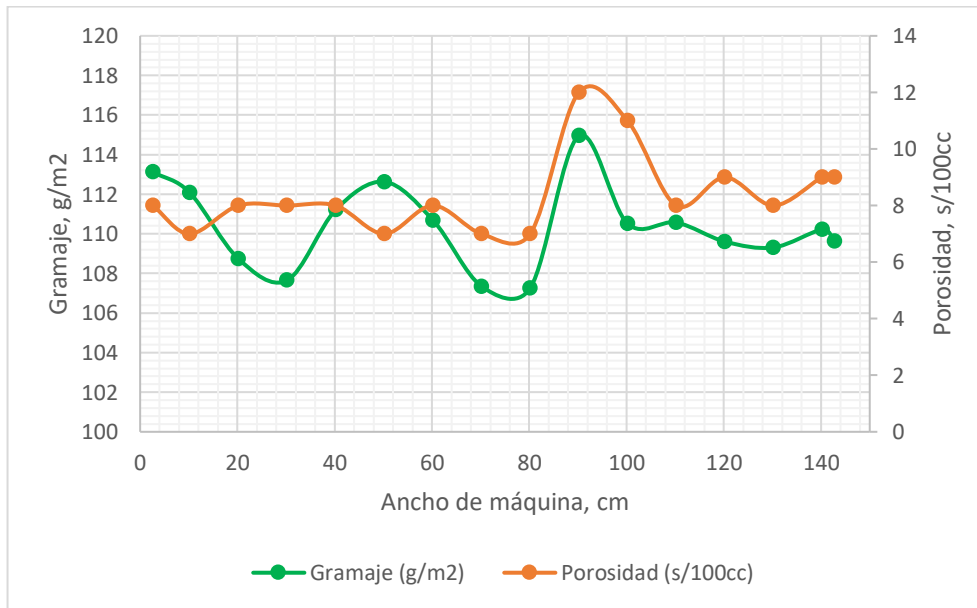


Gráfica 13. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad – Papel medium para flauta E

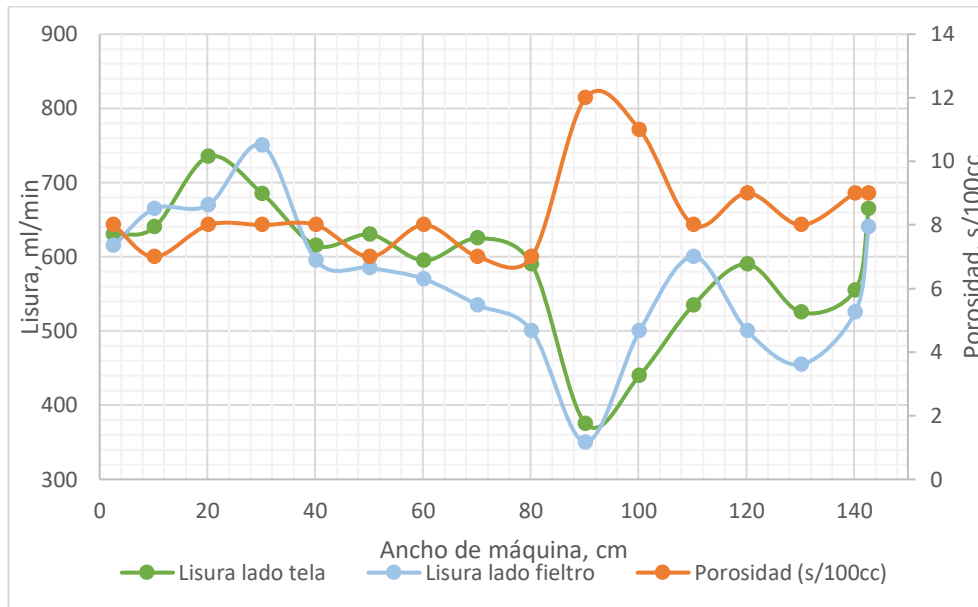


Gráfica 14. Gramaje, Densidad – Papel medium para Flauta

En las Gráficas 15 y 16 se observan las variaciones de la lisura, porosidad y gramaje, a lo ancho de la máquina. Además, en las gráficas se observa la relación que tiene la porosidad con la lisura y el gramaje del papel.



Gráfica 15. Gramaje, Porosidad – Papel medium para Flauta E



Gráfica 16. Lisura, Porosidad – Papel medium para Flauta E

En la Tabla 9 se observan los valores de las propiedades evaluadas, lo cual es importante ya que en base al perfil de gramaje se especifican los valores de resistencia, espesor y volumen. Además, los papeles con gramajes bajos son utilizados como medium en la obtención del cartón corrugado. En base a los valores de espesor y densidad es posible conocer si el papel cumple con las especificaciones requeridas.

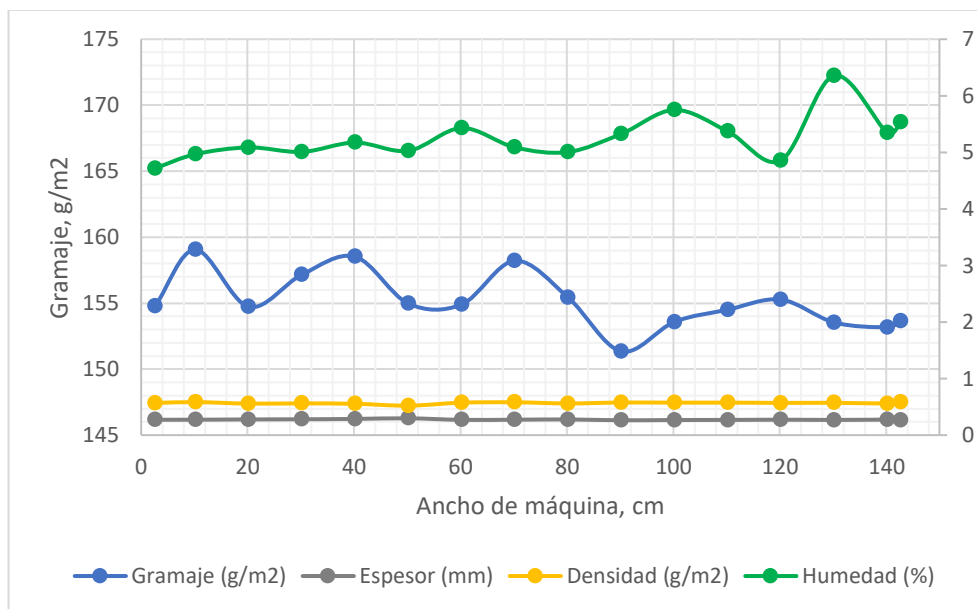
El contenido de humedad es importante por su efecto en la capacidad de impresión, la resistencia física y el manejo del papel; un contenido de humedad alto limitará la impresión. La porosidad del papel está influenciada por la estructura interna y su acabado superficial. Si los valores de tiempo son bajos, significa que es un papel poroso y posee mayor absorción de líquidos o gases, esto permite una mayor penetración del adhesivo. La lisura es la permeabilidad al aire que permiten que pase un flujo significativo de aire a través de la hoja.

	Espesor (mm)	Perfil de gramaje (g/m ²)	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Porosidad (s/100cc)	Lisura (ml/min)	
						Lado tela	Lado fieltro
Promedio	0.19	110	0.57	5.08	8	589	566
Máximo	0.20	115	0.62	5.79	12	735	750
Mínimo	0.19	107	0.54	4.33	7	375	350
Des. Est	0.01	2	0.02	0.39	1	90	96

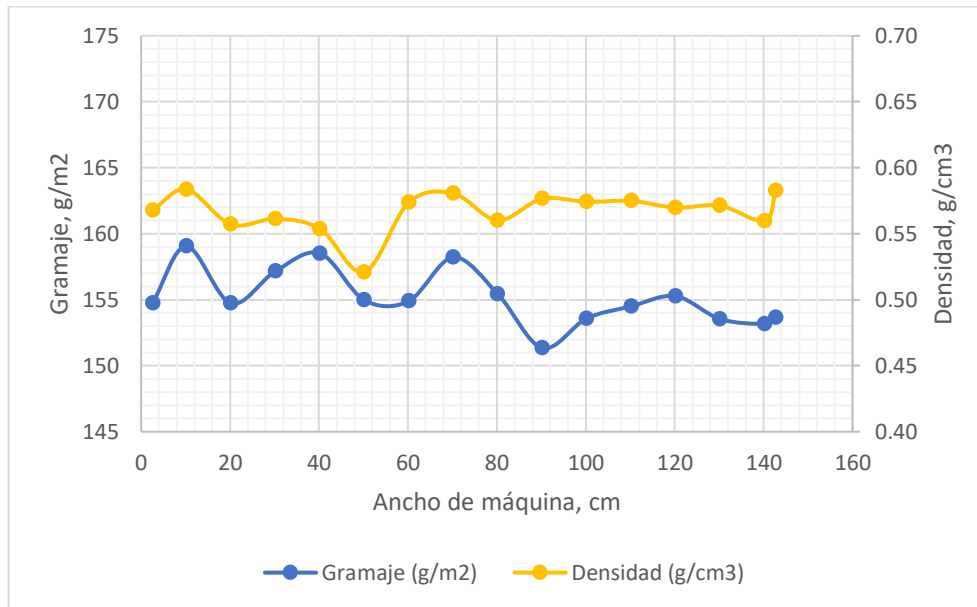
Tabla 9. Resultados Papel medium para Flauta

9.4.3 Papel liner intermedio

En la Gráfica 17 se observa que el espesor del papel se mantiene en un rango de valores pequeños y constantes. Los valores del gramaje del papel son más bajos con respecto del papel liner blanco, esto se debe a que es el liner intermedio y no se requiere de un gramaje muy alto. El contenido de humedad no es muy variable a lo ancho de la máquina, se mantiene prácticamente constante a excepción del extremo del papel. Aunque en esta figura la densidad del papel se observa como constante, en la Gráfica 18 se contempla una variación a lo ancho de la máquina.

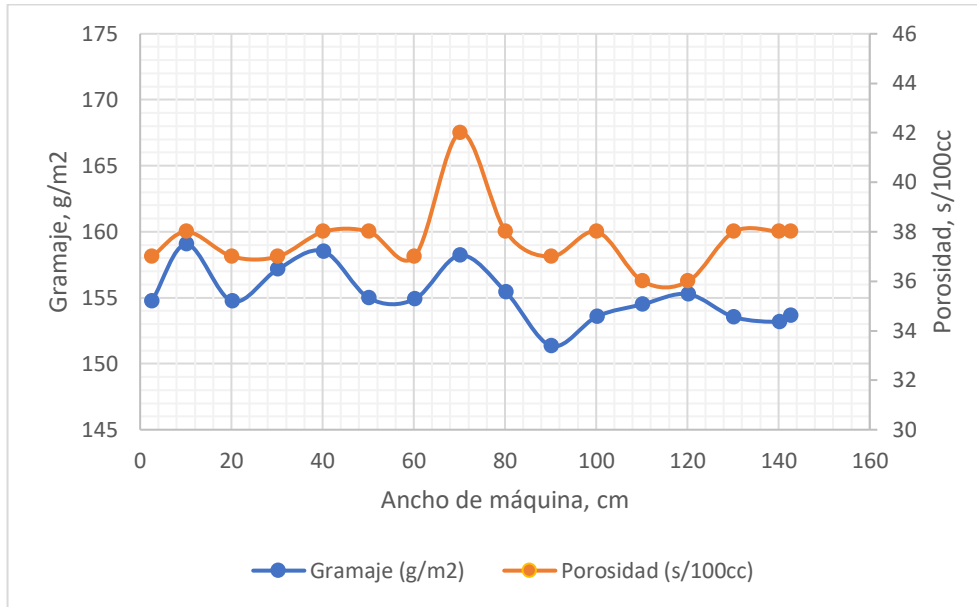


Gráfica 17. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad – Papel liner intermedio

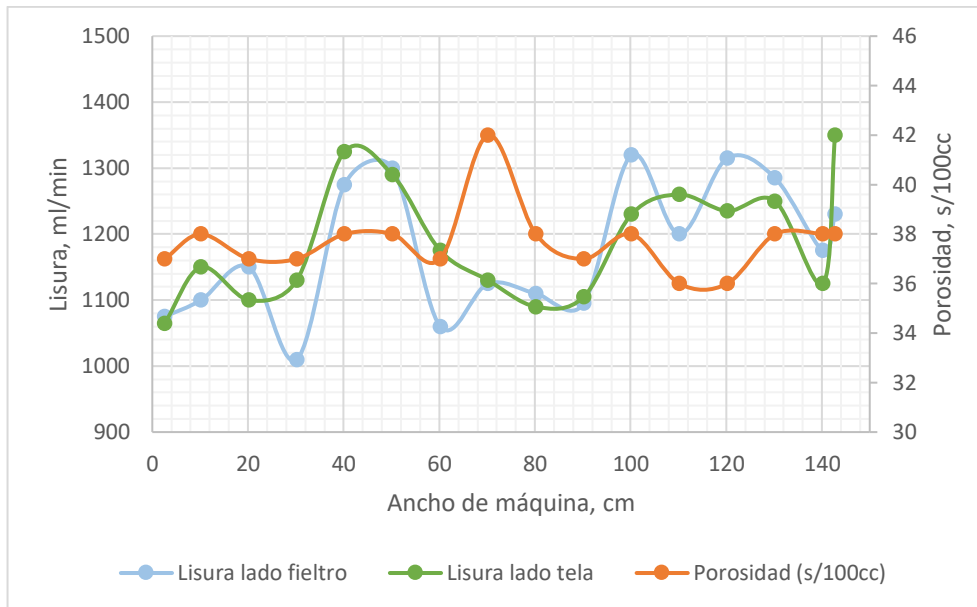


Gráfica 18. Gramaje, Densidad – Papel liner intermedio

En las Gráficas 19 y 20 se observan las variaciones de la lisura, porosidad y gramaje, a lo ancho de la máquina. Además, en las gráficas se observa la relación que tiene la porosidad con la lisura y el gramaje del papel.



Gráfica 19. Gramaje, Porosidad – Papel liner intermedio



Gráfica 20. Lisura, Porosidad – Papel liner intermedio

En la Tabla 10 se observan los valores obtenidos de las propiedades evaluadas. El perfil de gramaje es de gran importancia, ya que los valores de resistencia, espesor y volumen se especifican con respecto al gramaje. Conocer los valores de espesor y densidad son útiles para saber si el papel cumple con las especificaciones de acuerdo con el propósito para el cual será utilizado; además, el espesor es una característica que afecta la rigidez a la flexión.

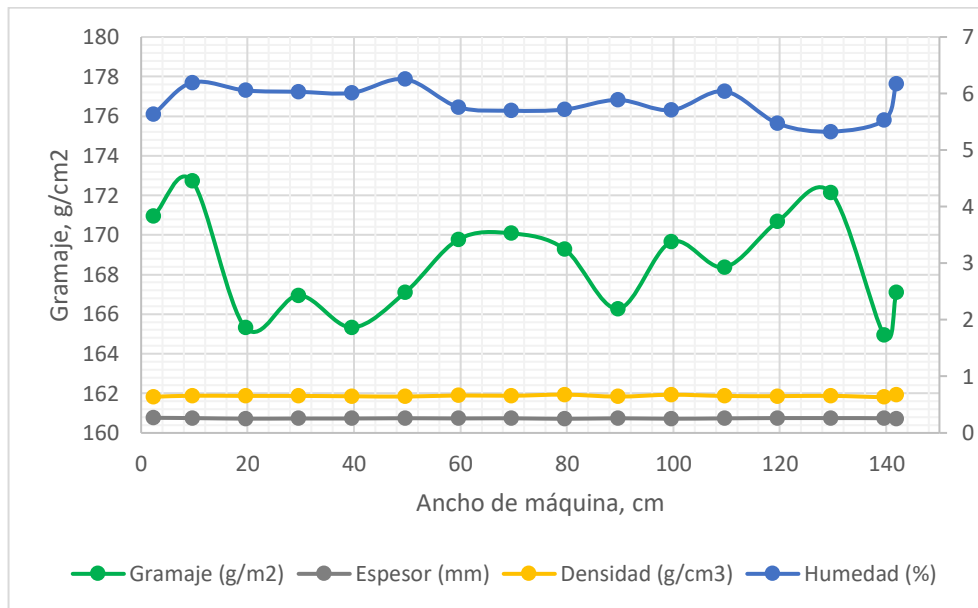
El contenido de humedad es importante por su efecto en la capacidad de impresión y el manejo del papel, el contenido de humedad elevado limita la impresión y absorción del adhesivo, por lo que es necesario controlar la humedad del papel. La porosidad del papel está influenciada por la estructura interna y su acabado superficial. Si los valores de tiempo son bajos, significa que es un papel poroso y posee mayor absorbencia de líquidos o gases, esto permite una mayor penetración del adhesivo. La lisura es la permeabilidad al aire que permiten que pase un flujo significativo de aire a través de la hoja, esto nos permite conocer el lado fieltro y tela del papel.

	Espesor (mm)	Perfil de gramaje (g/m ²)	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Porosidad (s/100cc)	Lisura (ml/min)	
						Lado tela	Lado fieltro
Promedio	0.27	155	0.57	5.25	38	1177	1188
Máximo	0.30	159	0.58	6.36	42	1320	1350
Mínimo	0.26	151	0.52	4.72	36	1010	1065
Des. Est	0.01	2	0.02	0.40	1	101	89

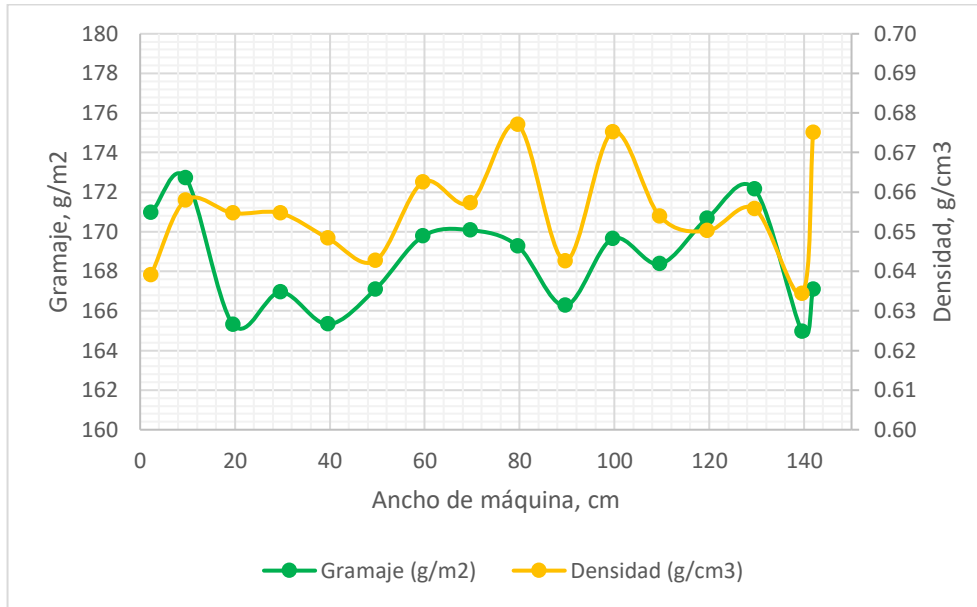
Tabla 10. Resultados Papel liner intermedio

9.4.4 Papel medium para Flauta C

En la Gráfica 21 se observa que el espesor del papel se mantiene constante. Los valores del gramaje del papel son más altos con respecto del medium E, esto se debe a que es una flauta más grande y se requiere de un gramaje más alto. El contenido de humedad se mantiene constante. Aunque en esta figura la densidad del papel se observa como constante, en la Gráfica 22 se contempla una variación a lo ancho de la máquina.

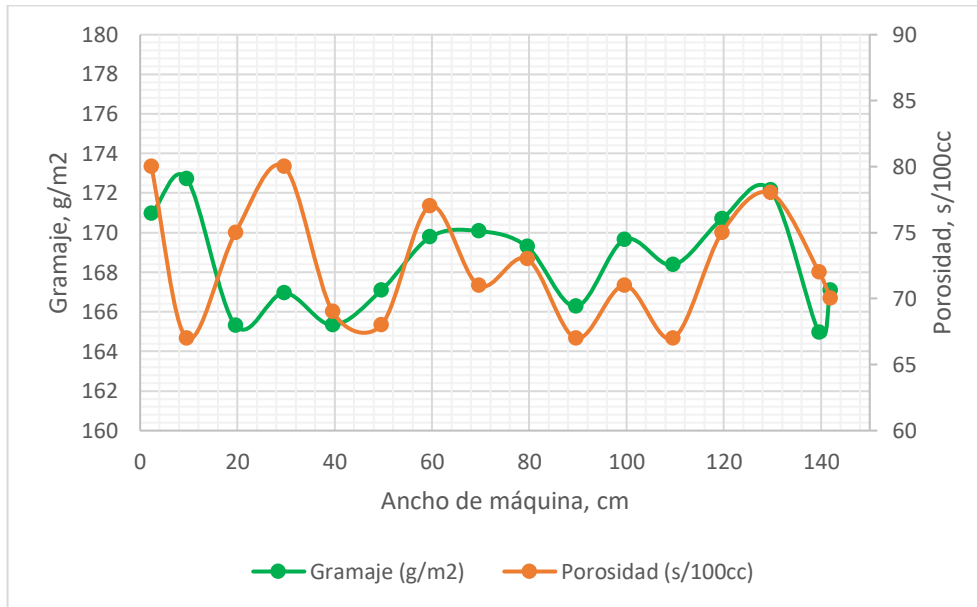


Gráfica 21. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad - Papel medium para Flauta C

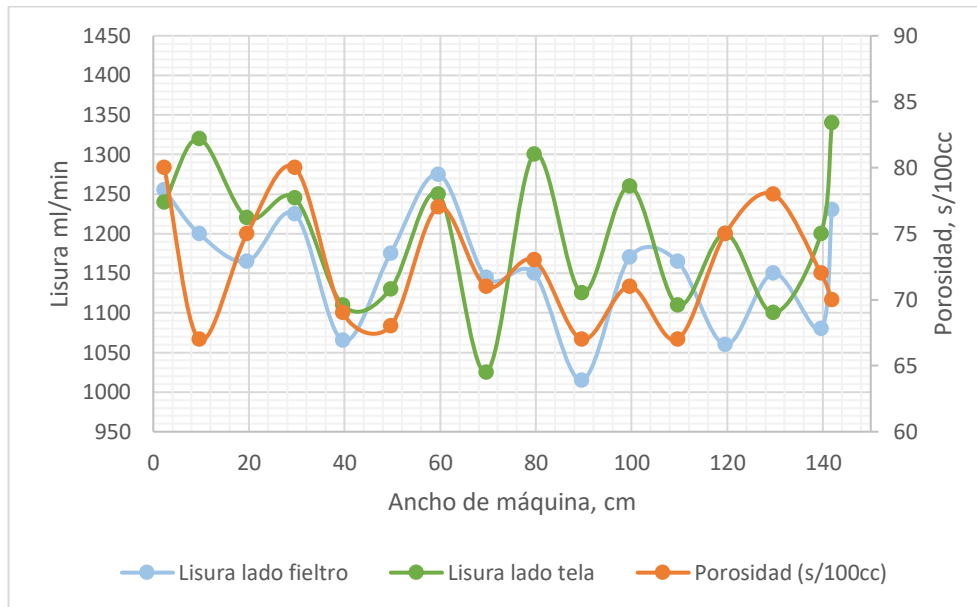


Gráfica 22. Gramaje, Densidad - Papel medium para Flauta C

Además, en las Gráficas 23 y 24 se observa la relación que tiene la porosidad con la lisura y el gramaje del papel.



Gráfica 23. Gramaje, Porosidad – Papel medium para Flauta C



Gráfica 24. Lisura, Porosidad – Papel medium para Flauta C

En la Tabla 11 se observan valores bajos en las desviaciones estándar de las propiedades evaluadas. El perfil de gramaje es importante, ya que los valores de resistencia, espesor y volumen se especifican con respecto al gramaje. Conocer los valores de espesor y densidad son útiles para saber si el papel cumple con las especificaciones de acuerdo con el propósito para el cual será utilizado; además, el espesor es una característica que afecta la rigidez a la flexión.

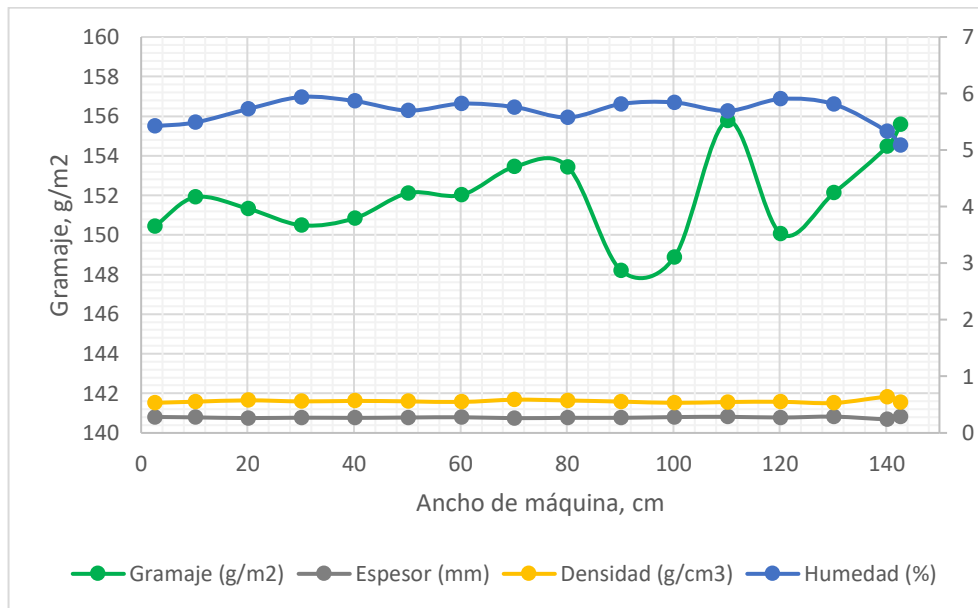
El contenido de humedad es importante por su efecto en la capacidad de impresión, la resistencia física y el manejo del papel el contenido de humedad elevado limita la impresión y absorción del adhesivo, por lo que es necesario controlar la humedad del papel. La porosidad del papel está influenciada por la estructura interna y su acabado superficial. Si los valores de tiempo son bajos, significa que es un papel poroso y posee mayor absorbencia de líquidos o gases, esto permite una mayor penetración del adhesivo. La lisura es la permeabilidad al aire que permiten que pase un flujo significativo de aire a través de la hoja, esto nos permite conocer el lado fieltro y tela del papel.

	Espesor (mm)	Perfil de gramaje (g/m ²)	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Porosidad (s/100cc)	Lisura (ml/min)	
						Lado tela	Lado fieltro
Promedio	0.26	169	0.66	5.84	73	1158	1198
Máximo	0.27	173	0.68	6.25	80	1275	1340
Mínimo	0.25	165	0.63	5.33	67	1015	1025
Des. Est.	0.01	2	0.01	0.28	5	73	90

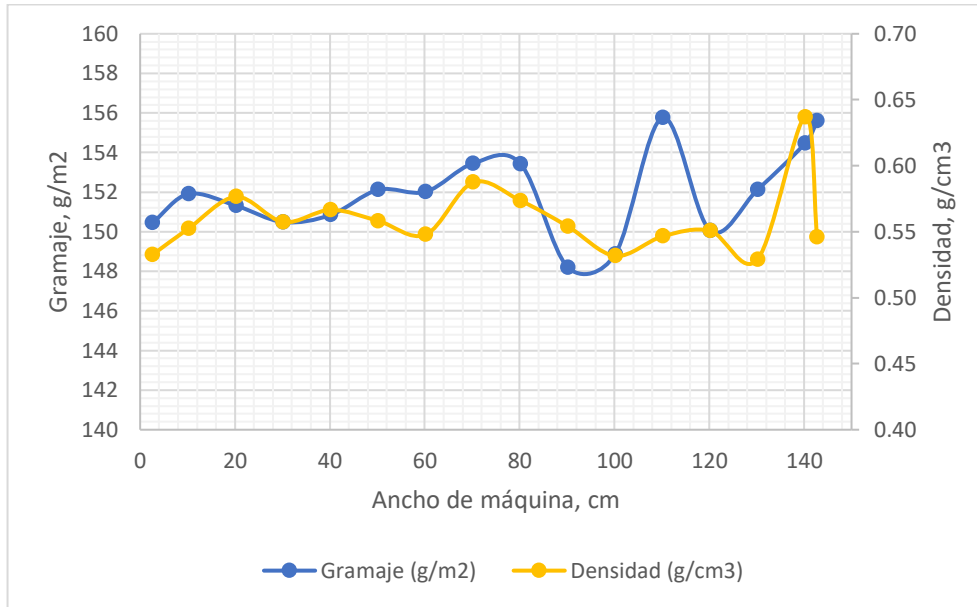
Tabla 11. Resultados Papel medium para Flauta C

9.4.5 Papel liner interno

En la Gráfica 25 se observa que el espesor del papel se mantiene en un rango de valores constantes. Los valores del gramaje del papel son más bajos con respecto del papel liner blanco y del liner intermedio, esto se debe a que es el liner interno y no se requiere de un gramaje muy alto. El contenido de humedad se considera constante. En esta figura la densidad del papel se observa como constante, en la Gráfica 26 se contempla una variación a lo ancho de la máquina.

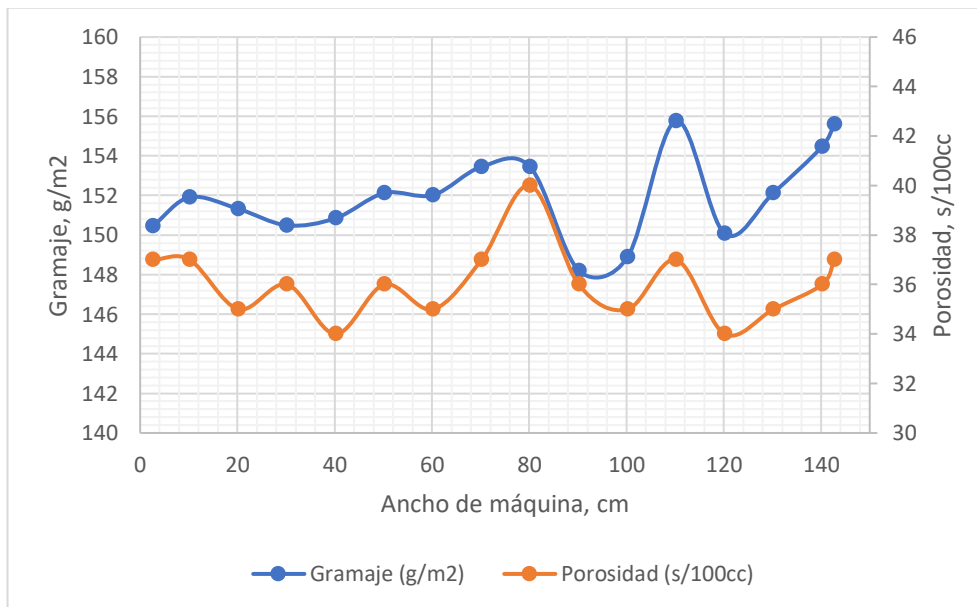


Gráfica 25. Gramaje, Espesor, Densidad, Humedad – Papel liner interno

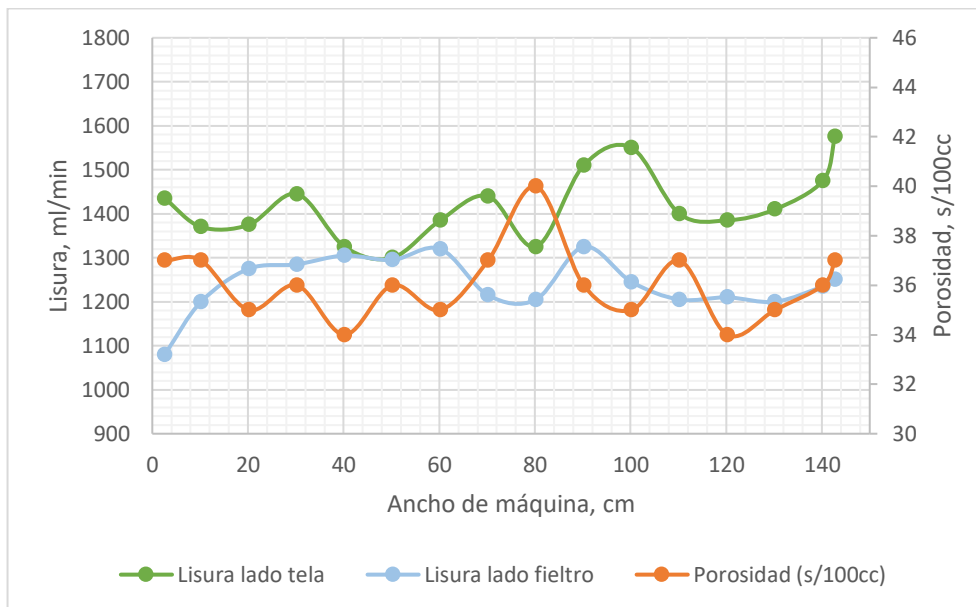


Gráfica 26. Gramaje, Densidad – Papel liner interno

Además, en las Gráficas 27 y 28 se observan las variaciones de la lisura, porosidad y gramaje a lo ancho de la máquina, así como la relación de la porosidad con la lisura y el gramaje del papel.



Gráfica 27. Gramaje, Porosidad – Papel liner interno



Gráfica 28. Lisura, Porosidad – Papel liner interno

En la Tabla 12 se observan valores bajos en las desviaciones estándar de las propiedades evaluadas. En base al perfil de gramaje se especifican los valores de resistencia, espesor y volumen. Conocer los valores de espesor y densidad son útiles para saber si el papel cumple con las especificaciones de acuerdo con el propósito para el cual será utilizado.

El contenido de humedad es importante por su efecto en la capacidad de impresión, la resistencia física y el manejo del papel. La porosidad del papel está influenciada por la estructura interna y su acabado superficial. Si los valores de tiempo son bajos, significa que es un papel poroso y posee mayor absorbencia de líquidos o gases, esto permite una mayor penetración del adhesivo. La lisura es la permeabilidad al aire que permiten que pase un flujo significativo de aire a través de la hoja, esto nos permite conocer el lado fieltro y tela del papel.

	Espesor (mm)	Perfil de gramaje (g/m ²)	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Porosidad (s/100cc)	Lisura (ml/min)	
						Lado tela	Lado fieltro
Promedio	0.27	152	0.56	5.67	36	1419	1241
Máximo	0.29	156	0.64	5.94	40	1575	1325
Mínimo	0.24	148	0.53	5.09	34	1300	1080
Des. Est	0.01	2	0.03	0.24	1	79	62

Tabla 12. Resultados Papel liner interno

9.5 Lámina 4: Corrugado sencillo (Flauta C)

La cuarta lámina evaluada fue un corrugado sencillo de flauta C que se obtuvo de Mercapapel. La evaluación de PAT fue aplicada para separar el liner interno del medium y el liner externo del medium, los resultados se muestran en la Tabla 5, al igual que los resultados de ECT. Los resultados de este liner interno de la evaluación PAT fueron los más elevados, esto significa que existe un buen anclaje del adhesivo.

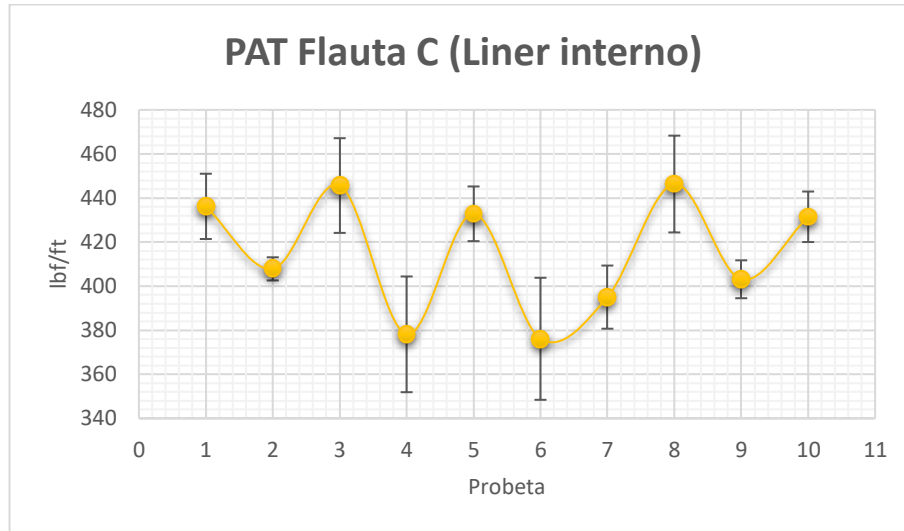
A pesar de que no existen valores fijos para determinar la resistencia del cartón, los resultados de la evaluación ECT de esta lámina son altos, lo cual indica que su resistencia a la compresión en columna es buena.

Probeta	PAT				ECT	
	Flauta C liner interno (lb _f /ft)	Desviación Estándar (s)	Flauta C liner externo (lb _f /ft)	Desviación Estándar (s)	(lb _f /in)	Desviación Estándar (s)
1	436.21	14.80	181.20	5.91	68.57	0.24
2	407.85	5.25	181.65	6.23	68.57	0.24
3	445.66	21.49	161.86	7.76	71.94	2.15
4	378.14	26.26	168.61	2.99	68.57	0.24
5	432.84	12.41	169.06	2.67	67.44	1.03
6	376.11	27.69	171.75	0.76	68.57	0.24
7	395.02	14.32	179.40	4.64	70.82	1.35
8	446.34	21.96	160.51	8.71	67.44	1.03
9	403.12	8.59	185.24	8.77	69.69	0.56
10	431.48	11.46	169.06	2.67	67.44	1.03

Máximo	446.34		185.24		71.94	
Mínimo	376.11		160.51		67.44	
Prom.	415.28		172.83		68.90	
Desv. Est.	26.72		8.59		1.50	

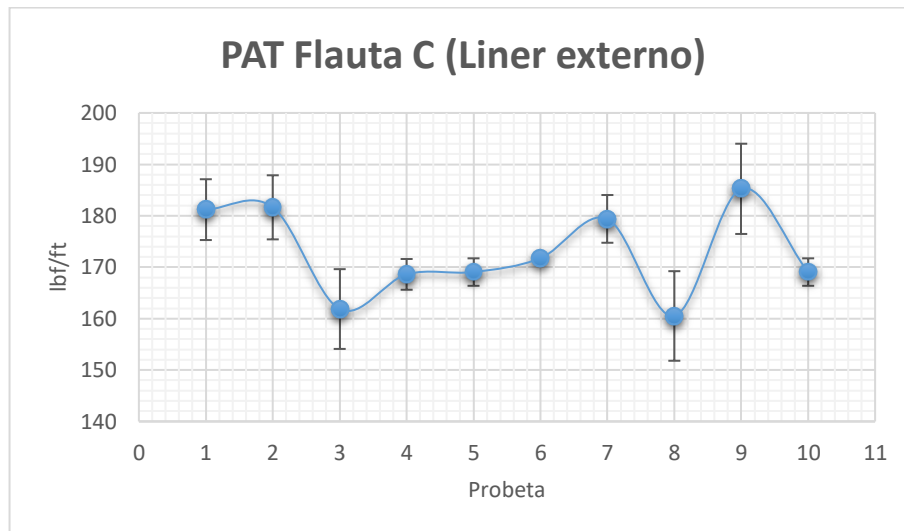
Tabla 13. Resultados Lámina 4

En la Gráfica 29 se muestran los resultados del anclaje de liner con el medium (PAT) a lo ancho de la lámina, obteniendo una desviación estándar elevada debido a la diferencia de valores.



Gráfica 29. PAT Flauta C (Liner interno) - Lámina 4

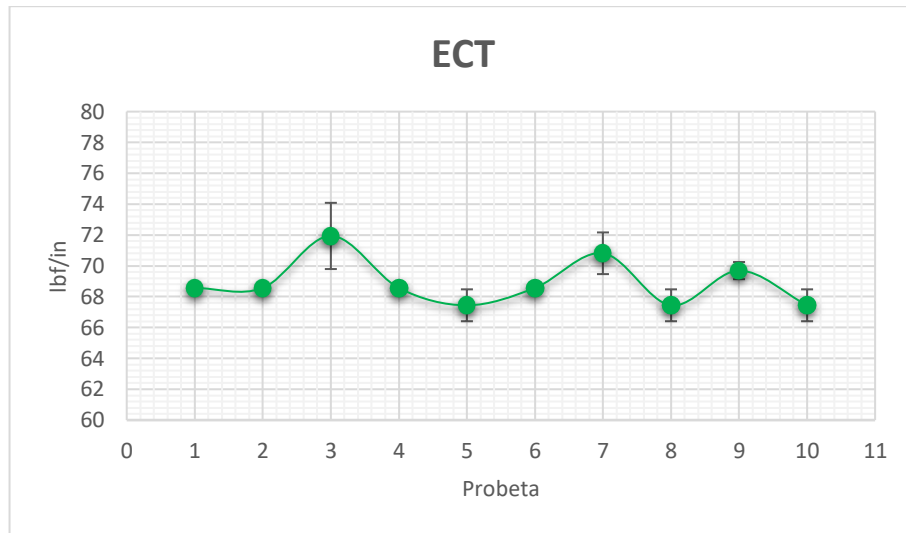
En la Gráfica 30 se observa una fluctuación de valores, es decir, una desviación estándar alta, aunque menor a la otra flauta. Estas diferencias se observan mejor en las probetas 7 a 10.



Gráfica 30. PAT Flauta C (Liner externo) - Lámina 4

En la Gráfica 31 se observa que los resultados de las presiones no son muy variables, ya que los datos están en un rango de presión de 67 a 71 lbf/in, obteniendo así una baja desviación

estándar. La adhesión de los papeles componentes es un factor importante en la resistencia a la compresión.



Gráfica 31. ECT - Lámina 4

9.6 Imágenes al estereomicroscopio (Líneas de adhesivo)

Después de realizar la evaluación de PAT, el papel liner y el medium se tiñeron con la solución de yodo para observar las líneas de adhesivo, las cuales no siempre son aplicadas correctamente debido a que es un proceso industrial. En las Tablas 14 y 15 se observan las imágenes con el propósito de representar esta problemática, ya que tiene un gran impacto en la unión de los papeles componentes, así como en la calidad y resistencia a la compresión de lámina de cartón corrugado formada, estos daños se observan en las fotografías de ECT.

En las imágenes de las láminas 1 y 2 se observan zonas con ausencia de adhesivo, y otras con exceso de adhesivo, lo cual da como resultado una línea irregular. Sin embargo, en el caso de las láminas 3 y 4 es difícil apreciar el adhesivo, sin embargo, en base a los resultados obtenidos en la evaluación de PAT, se llega a la conclusión que el adhesivo se penetró en el cartón debido a la porosidad de los papeles componentes.

En las fotografías de ECT se observan los resultados de la resistencia en columna de cada lámina, los cuales son variables debido a que cada una posee características diferentes, además de que sufren una fractura o daño al llegar a su punto límite de compresión.


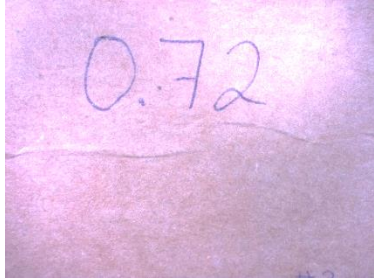


Lámina	PAT	ECT
1		
2		

Tabla 14. Imágenes al estereomicroscopio - Sección I

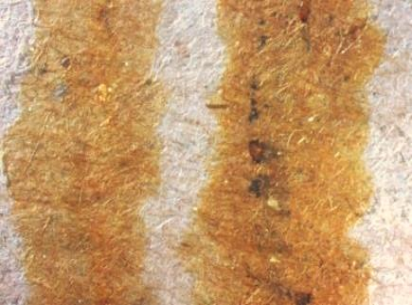

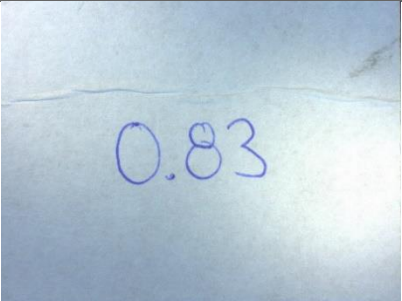

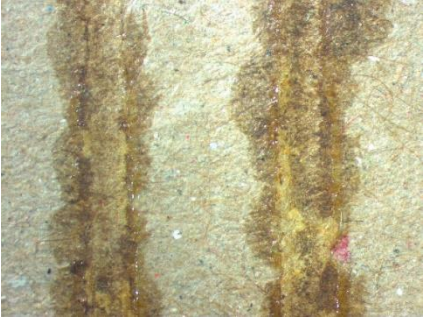
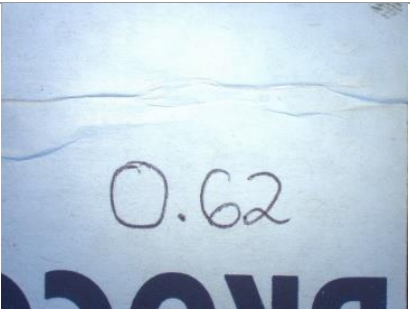
Lámina	PAT		ECT
3			
4			

Tabla 15. Imágenes al estereomicroscopio – Sección II

9.7 Unión entre capas

En las tablas 16 y 17 se observan las imágenes seleccionadas con el propósito de dar a conocer el anclaje del adhesivo en los papeles componentes del cartón corrugado, esto es importante ya que mientras exista una mayor penetración del adhesivo en las fibras mayor será el enlace y por consecuencia un cartón con mayor resistencia, impactando en los resultados de las evaluaciones de PAT y ECT.

En la imagen 1 a) se observa la formación de la flauta y la unión con el papel liner. En las imágenes 1 b) y 1 c) se aprecia una línea de adhesivo no uniforme. Además, en la imagen 1 c) existe una menor cantidad de adhesivo a diferencia de la imagen 1 b). Esto es consecuencia de la porosidad del papel y/o del contenido de ceniza.

En la fotografía 2 a) se observa la forma de la flauta, sin embargo, esta se fracturó al realizar el corte con el microtomo por diversos factores: 1) la calidad de la fibra con que se fabricó el cartón; 2) la calidad o cantidad del adhesivo que se utilizó en la unión del medium y liner; 3) la incorrecta formación del medium. Además, en la imagen 2 b) se observa que el adhesivo se encuentra en zonas en donde no se requiere el adhesivo.

En la imagen 3 a) se observa la forma del medium flauta, sin embargo, no hay una unión entre estos papeles debido a una incorrecta formación del medium ya que no posee la altura ideal, además se observa adhesivo en zonas que no lo requieren. En las fotografías 3 b) y 3 c) se aprecia una línea de adhesivo uniforme, sin embargo, hay zonas con ausencia del mismo.

En la fotografía 4 a) se observa la formación del medium y la unión con el papel liner mediante la línea de adhesivo. En las fotografías 4 b) y 3 c) se aprecia una línea de adhesivo delgada y uniforme, esto se debe a que el papel posee suficiente porosidad que permitió la penetración del adhesivo proporcionándole resistencia al cartón.






Lámina			
1	 <p data-bbox="621 573 653 602">a)</p>	 <p data-bbox="1104 589 1136 618">b)</p>	 <p data-bbox="1598 589 1629 618">c)</p>
2	 <p data-bbox="621 1000 653 1029">a)</p>	 <p data-bbox="1104 992 1136 1021">b)</p>	

Tabla 16. Imágenes al microscopio - Sección I



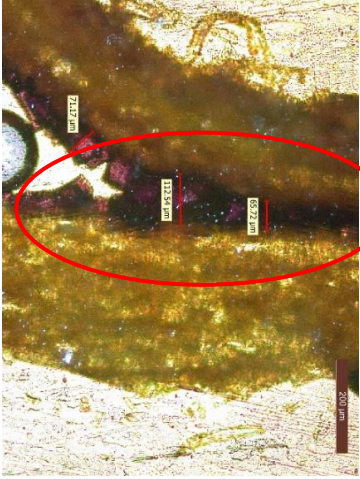


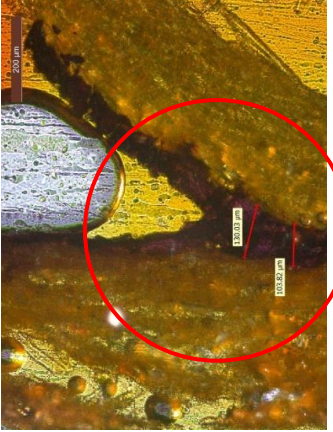
Lámina			
3	 <p data-bbox="659 639 695 667">a)</p>	 <p data-bbox="1129 704 1165 732">b)</p>	 <p data-bbox="1581 716 1617 743">c)</p>
4	 <p data-bbox="659 1175 695 1203">a)</p>	 <p data-bbox="1129 1170 1165 1198">b)</p>	 <p data-bbox="1581 1224 1617 1252">c)</p>

Tabla 17. Imágenes al microscopio - Sección II

10 Conclusiones

Cada papel componente del cartón corrugado posee propiedades físicas y de resistencia diferentes, ya que las condiciones del proceso de estructuración del papel, calidad de la fibra (menor longitud y flexibilidad) y alto contenido de ceniza influye en la estructuración del cartón corrugado. El contenido de cargas minerales de los papeles componentes impacta en la unión de los mismos, ya que limita la penetración del adhesivo. La evaluación del perfil de gramaje, espesor, densidad, humedad, porosidad y lisura para cada papel componente en la lámina de corrugado, demostró la irregularidad en la estructuración del papel base y la repercusión en la calidad del empaque como cartón corrugado.

El adhesivo base almidón impacta significativamente en la resistencia del cartón corrugado, cuando su aplicación es uniforme y adecuada en la unión entre los papeles componentes. Sin embargo, el contenido de cenizas y la porosidad del papel son factores que influyen en la penetración del adhesivo, puesto que un papel poco poroso y con un contenido de cenizas elevado limitará la adherencia del adhesivo.

La evaluación del cartón corrugado a través de la evaluación de PAT (Pin Adhesion Test) permite conocer la importancia que tiene la aplicación del adhesivo, ya que las imágenes permiten observar las zonas con exceso y con ausencia de adhesivo, lo cual afecta la unión entre el papel medium y el papel liner. El análisis mediante la microscopía permite observar no solo las zonas regulares e irregulares en la línea del adhesivo, con ello se observan la penetración del mismo en la estructura del papel influida por la porosidad del mismo, esto da como resultado una mayor resistencia en cuanto a la separación del papel liner del papel medium (ondulado). Respecto a la evaluación de compresión ECT (Edge Crush Test), se concluye finalmente que tanto las propiedades de cada papel, el mantenimiento en los rodillos corrugadores y las condiciones del adhesivo durante su aplicación influyen directamente, en la calidad y resistencia del cartón corrugado.

11 Referencias bibliográficas

- [1] Restrepo, V. (2009). Adhesivos, una solución natural. En Maripapel, 22(3), 12-15. Recuperado de: https://issuu.com/latinpressinc/docs/mari_22-3all
- [2] Havenko, S., Bernatsek, V. & Khadzhyanova, S. (2017). Investigation of stress-strain state of micro-corrugated cardboard components in the process of its laminating and manufacturing packaging. *Mechanika*, 23(3), 334-340.
- [3] División Corrugado. (2011). En Grupak. Recuperado de: http://grupak.com.mx/division_corrugado.html
- [4] Restrepo, V. (2009). Planificación en máquinas corrugadoras. En Maripapel, 22(4), 16-19. Recuperado de: https://issuu.com/latinpressinc/docs/mari_22-4all
- [5] Cartón corrugado: tipos y usos en el embalaje. (2019). En Rajapack. Recuperado de: <https://www.rajapack.es/blog-es/productos/carton-corrugado-tipos-usos-embalaje/>
- [6] Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel. (2017). Informe anual 2017. p. 38
- [7] ACCCSA Revista y Publicaciones S.A. (2011). Ahorro significativo. *Corrugando*, 2(21), 8-9. Recuperado de: <http://pdf.corrugando.com/CORRUGANDO-21.pdf>
- [8] Deladrière, N. (2001). *Adhesivos para la industria del cartón ondulado*. España: Cerestar, Grupo Ferruzzi.
- [9] Madrid, M. (2017). Tecnología de la adhesión. *Departamento Técnico de Loctite España*.
- [10] Mentado, I., Morales, L., Morales, V., Holguín, S., Zaxárovich, G. & Flores, G. (2016). Implementación de un sistema de gestión de calidad en un laboratorio de pruebas de una planata de empaques de cartón corrugado. *Instituto Politécnico Nacional*, 15, 2-4. Recuperado de: <https://docplayer.es/25963889-Implementacion-de-un-sistema-de-gestion-de-calidad-en-un-laboratorio-de-pruebas-de-una-planta-de-empaques-de-carton-corrugado.html>
- [11] Kearney, R. (1990). *Starch and Starch products in Paper Coating*. Atlanta: TAPPI PRESS.
- [12] Zinke, W. (1984). *Coragum para la fabricación de cartón corrugado*. Barcelona, Glucosa y derivados, S.A.
- [13] Turrado, J., Ramírez, R., López S., Pérez, S. & Ruiz, C. (1994). *Seminario sobre cartón corrugado*. Guadalajara, Jal.: Lorentzen & Wettre.
- [14] Silvani, F. (2009). Los adhesivos de almidón para corrugado. En *La ciencia del envase y embalaje: Asesoría y capacitación gratuita*. Recuperado de: <http://consultoresfca.blogspot.mx/2009/04/introduccion-los-adhesivos-de-almidon.html>
- [15] Markström, H. (1977). *Corrugated adhesives preparation*. Atlanta: Tappi Press.

- [16] Cartón corrugado. (2017). En *El Aparato*. Recuperado de: www.elaparato.com/enciclopedia/c/ca/carton%20corrugado.htm
- [17] BeMiller, J. & Whistler, R. (2009). *Starch Chemistry and Technology*. San Diego, California: Elsevier.
- [18] Becerra, S. F. (1981). *Influencia de los adhesivos usados en el pegamento de cartón corrugado, durante el proceso de recirculación de papel desperdicio y sobre el producto terminado*. (Tesis de pregrado, Universidad de Guadalajara) Guadalajara, Jalisco.
- [19] Rodríguez, J. (2007). *Embalajes de cartón corrugado: ingeniería y diseño*. México: IMPEE.
- [20] ¿Cómo se hace el cartón? Explicación paso a paso. (2016). En *Caja de cartón*. Recuperado de: <http://blog.cajadecarton.es/como-se-hace-el-carton/>
- [21] Cajas de carton corrugado. Tipos de flauta. (2019). En *Guia impresión*. Recuperado de: <http://guiaimpression.com.ar/lib/noticias/345.php>
- [22] El cartón Corrugado. (2019). En *Telisa*. Recuperado de: www.telisacr.com/responsabilidad-social/el-carton-corrugado/
- [23] ¿Cómo calcular la calidad de una caja de cartón? (07 de Julio de 2016). En *Kartox*. Recuperado de: kartox.com/blog/calcular-la-calidad-una-caja-carton/
- [24] Generalidades. (s.f). En *Envases Microonda S.A. de C.V.* Recuperado de: <http://www.microonda.com.mx/fabricantes-cajas-microcorrugadas/generalidades/>
- [25] Conde, I., García, B., Liarte, E. & Jiménez, M.A. (2012). Analysis of adhesive joints in corrugated board under shear loading. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 38, 50-57.
- [26] Brockmann, W.; Klingen, J.; Schröder, B. & Geib, P. (2009). *Adhesive Bonding: Materials, Applications and Technology*. Alemania: Wiley-VCH.
- [27] Petryk, N. (1998-2019). Almidones o féculas. En *Alimentación Sana*. Recuperado de: <http://alimentacion-sana.org/informaciones/Chef/almidones.htm>
- [28] ¿Qué es el almidón resistente? (18 de Agosto 2018). En *Curiosoando*. Recuperado de: <https://curiosoando.com/que-es-el-almidon-resistente>
- [29] Garfias, H. & Vazquez, R. (1991). *Parámetros que intervienen en la fabricación del cartón corrugado* (Tesis de pregrado, Universidad de Guadalajara) Guadalajara, Jalisco.