



Universidad
Zaragoza



CARACTERIZACIÓN de MATERIAL CELULÓSICO de la EMPRESA SAICA



MÁSTER EN QUÍMICA SOSTENIBLE (2013-2014)

AUTOR: ALBERTO CABRERIZO MACHÍN

DIRECTORES: MIGUEL PELAYO GUILLÉN y JESÚS ANZANO LACARTE

MEMORIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS	2
2. PROCESO PRODUCTIVO	4
2.1. PRODUCCIÓN DE PASTA	4
2.2. PRODUCCIÓN DE PAPEL	5
2.3. PRODUCCIÓN DE CARTÓN.....	7
3. SISTEMA EXPERIMENTAL	10
3.1. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA.....	10
3.2. ENSAYOS GENERALES	10
3.3. ENSAYOS COMPRESIÓN	12
3.4. ENSAYOS TRACCIÓN	13
3.5. ENSAYOS FLEXIÓN	14
3.6. ENSAYOS SUPERFICIE	15
4. RESULTADOS	17
5. CONCLUSIONES	24
6. BIBLIOGRAFÍA	25

1. INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS

La civilización china fue la primera en desarrollar un proceso de fabricación de papel haya por el siglo II a.C. Durante unos 500 años, el arte de la producción estuvo limitado a la cultura China. Poco a poco el conocimiento se introdujo en otras civilizaciones: Japón, Asia Central, el pueblo árabe y finalmente Europa y España, alrededor del S. X. Desde entonces el papel ha constituido un producto muy integrado en nuestra vida, de gran importancia y sobre todo difícilmente sustituible. Los avances de la ciencia y los nuevos sistemas de telecomunicación, han permitido que el sector papelero crezca, gracias a mejoras en el procesado, almacenamiento y transporte del producto.

En esta memoria se describe lo aprendido durante la estancia de prácticas en el laboratorio de i + D + i de la empresa SAICA (Sociedad Anónima Industrias Celulosa Aragonesa). SAICA es una empresa líder dentro de la industria del papel reciclado. Fue fundada en el año 1943 y en la actualidad, tiene una capacidad de producción de 2,4 millones de toneladas al año de papel. La empresa se divide en tres secciones: SAICA Natur, SAICA Paper y SAICA Pack.

La sección de Natur se encarga de la gestión integral de los residuos, que es la materia prima para la producción de papel. La empresa dispone de más de 50 centros distribuidos por España, Reino Unido, Portugal y el sur de Francia.

En SAICA Paper se aprovecha el residuo, papel recuperado, como materia prima para fabricar un producto indispensable para nuestra sociedad, el papel, de origen 100 % reciclabl e y biodegradable. SAICA es una empresa comprometida con el desarrollo sostenible. La división de Paper dispone de cuatro fábricas y siete máquinas de papel: El Burgo de Ebro (Zaragoza) con tres máquinas de papel, otra en Zaragoza con 2 máquinas, una fábrica en Francia y otra en Reino unido con una máquina cada una. SAICA Paper no sólo distribuye papel a sus cartoneras, sino que también tiene sus propios clientes a los que les vende papel.

La sección de SAICA Pack es la encargada de diseñar, fabricar y entregar cualquier tipo de envase o embalaje de cartón ondulado. SAICA Pack cuenta con 43 plantas de producción distribuidas por seis países: España, Portugal, Francia, Italia, Reino Unido e Irlanda. Esta distribución geográfica facilita la cercanía con los clientes, al mismo tiempo que permite atender a clientes multinacionales que desean un único punto de contacto para gestionar sus compras.

Gracias a la colaboración y al trabajo realizado por las tres secciones y lo más importante gracias al cliente, se puede cerrar el denominado ciclo del papel. Este ciclo se inicia en el reciclado selectivo de los ciudadanos y termina en ellos mismos cuando compran un producto que se vende en una caja. Para que este ciclo no se rompa es necesario que todas las partes que lo forman cooperen y sean conscientes de la necesidad de reciclar el papel, no solo por el aspecto económico sino por un desarrollo sostenible.

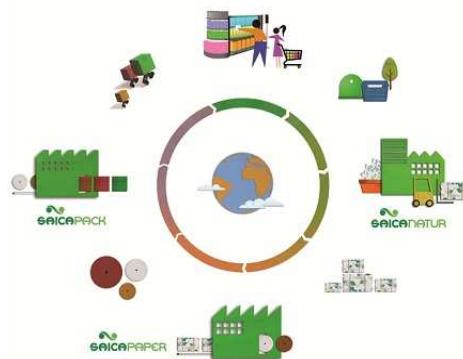


Figura 1.1. Ciclo de papel

El objetivo de este proyecto es aprender cómo funciona el sector papelero y en concreto el laboratorio de i + D + i. La estancia de las prácticas ha servido para aprender el trabajo que se realiza en un laboratorio de investigación así como las técnicas empleadas en la caracterización y análisis de muestras de papel.

A su vez, otro objetivo de este proyecto, ha sido la realización de un estudio comparativo entre dos grupos de muestras de papel, uno de fibra reciclada y otro de fibra virgen. En este estudio se analizarán una serie de propiedades del papel como la resistencia a la compresión y al estallido con la finalidad de determinar cuál de los dos grupos de muestras presenta las mejores características para la elaboración de una caja de cartón ondulado.

2. PROCESO PRODUCTIVO

Existe una gran variedad de tipos de papeles, cada uno con sus características y destinados a distintos usos. Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es el origen de la fibra que puede ser virgen o reciclada. Para ambos tipos de fibras la producción de papel se divide en dos etapas: producción de pasta papelera y producción de papel. La segunda etapa es común para los dos tipos de fibras, pero la producción de pasta papelera es diferente en función de cual sea su origen. Como la empresa SAICA utiliza como materia prima papel recuperado nos centramos en ese proceso.

El papel recuperado como materia prima se utiliza en la fabricación de determinados tipos de papeles como papel prensa, papel para embalaje, para cartón ondulado, etc.

La empresa SAICA, como ya hemos dicho, se divide en tres secciones: SAICA Natur que se encarga de la gestión de los residuos, SAICA Paper que es la encargada de producir el papel y SAICA Pack cuya misión es construir una caja a partir del papel producido en la sección de Paper o a partir de otros papeles que no produce SAICA y que compra en el mercado.

2.1. Producción de pasta papelera

El proceso de reciclado del papel comienza con la separación previa de cada ciudadano en su casa y con su depósito en los contenedores correspondientes. Este paso es el primer eslabón de toda la cadena de reciclaje y sin el cual todo lo demás no funciona. Una vez depositado el papel y el cartón en los contenedores azules, es recogido por una empresa la cual lo selecciona y clasifica, para posteriormente llevarlo a una empresa papelera, en este caso SAICA, donde se convierte el papel usado en papel reciclado.

Lo primero que se realiza cuando se recibe el papel son operaciones de seleccionado y embalaje. Como se describe el anexo A existen diversos tipos de papeles que se pueden utilizar en la elaboración de cartón ondulado. En función de las necesidades del cliente se utilizará un tipo de papel u otro, y para ello hay que realizar una selección previa.

Una vez seleccionado el papel, se introduce en un pulper junto a grandes cantidades de agua. El objetivo del pulper es separar las fibras que contiene el papel usado sin romperlas ya que posteriormente formarán el papel recuperado.

El siguiente paso es la eliminación de todo lo que no sea fibra. La pasta de papel se filtra por tamices de distintos tamaños para separar los distintos tipos de objetos (plásticos, alambres, tierra, metales...) que provienen del mal reciclado de los ciudadanos.

A continuación se realiza el destintado, que consiste como su propio nombre indica, en eliminar la tinta. Para ello se utiliza jabón y aire a presión. La combinación de ambas forma pompas que atrapan la tinta y suben a la superficie, donde unos potentes aspiradores recogen la mezcla de tintas que tenía el papel usado.

El último paso consiste en realizar sucesivos lavados a la pasta, seguido de un proceso de espesado que tiene como objetivo ir reduciendo la cantidad de agua que contiene la pasta. Una vez formada la pasta a partir de ella se producirá el papel.

2.2. Producción de papel.

Una vez producida la pasta papelera y antes de emplearla en la producción de papel, hay que acondicionar la pasta. Se realizan procesos de desfibrado, depuración ciclónica, fraccionado, depuración y dispersión, con el objetivo de mejorar las propiedades físicas-químicas de las fibras del papel.

Cuando tenemos la pasta limpia, ya se puede emplear en la producción del papel. La producción de papel está dividida en dos partes: una seca y otra húmeda.

Parte húmeda

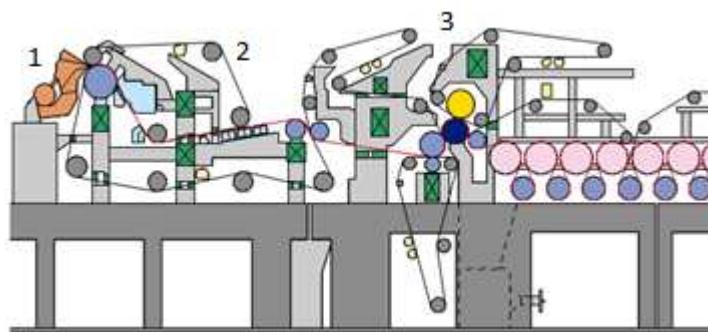


Figura 2.1. Máquina de papel parte húmeda

Caja de pastas o entrada (1):

La caja de pastas se alimenta con una suspensión de fibras, con un porcentaje de agua del 99 % y un 1 % de fibras. La función de este equipo es suministrar la suspensión de pasta a la máquina de papel de una manera perfectamente homogénea, con un flujo rectangular de la misma anchura que la máquina y a una velocidad homogénea y similar a la de la máquina de papel. Con ello se consigue que la distribución de las fibras sea uniforme y que el papel final sea lo más homogéneo posible.

Formador o mesa (2):

La función principal del formador es eliminar la mayor cantidad de agua de una manera progresiva y homogénea. La suspensión que viene de la caja de pastas se deposita sobre una o dos telas plásticas sin fin, que giran a la velocidad de la máquina, y que sirven de soporte a las fibras y permiten que el agua pase a través. Para aumentar la velocidad de drenaje, se utilizan equipos que proporcionan gradientes hidráulicos o vacío. Al final del formador el contenido en fibras habrá aumentado desde el 1% hasta el 18-20%.

Sección de prensas (3):

La función de la sección de prensas es seguir eliminando agua de manera uniforme y consolidar la hoja, por prensado de la misma. La hoja de papel húmedo se transfiere a las prensas mediante vacío, y se deposita sobre unas vestiduras plásticas denominadas fieltros (bayetas) con gran capacidad para absorber agua. La hoja soportada en los fieltros va pasando por varios efectos, cada vez con mayor presión lineal. Al final, la sequedad del papel es de aproximadamente el 50%.

Parte seca

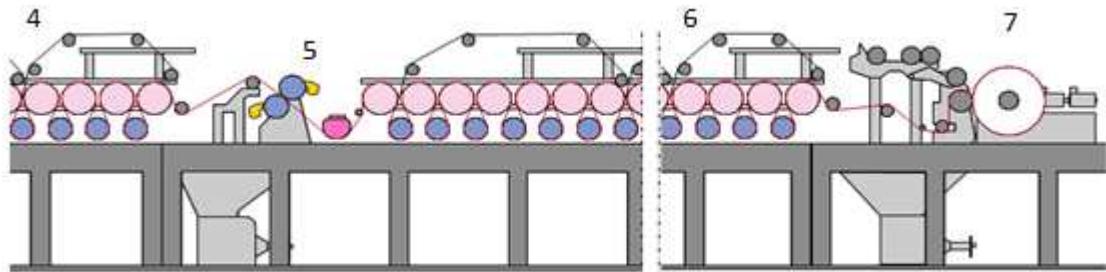


Figura 2.2. Máquina de papel parte seca

Sección de secado, pre-sequería (4) y post-sequería (6):

Después de las prensas la hoja de papel se envía a la sequería para evaporar el agua que queda. La hoja se hace pasar por una serie de cilindros rotatorios calentados con vapor. El papel se mantiene en íntimo contacto con la superficie de los secadores mediante un textil sintético y permeable al vapor, que se denomina tela de sequería. Esta tela también sirve para soportar y guiar la hoja a través de la sección de secado.

Prensa de encolado (5):

Se usa para aplicar soluciones acuosas al papel, con objeto de mejorar alguna de sus características. La aplicación más habitual es para mejorar las características de resistencia mecánica del papel, aunque también se pueden mejorar la capacidad de impresión o la resistencia a la penetración de agua. Uno de los aditivos más empleados es el almidón, que se adiciona para mejorar la resistencia del papel.

Enrolladora o pope (7):

Una vez acabado, el papel se enrolls de forma adecuada en grandes bobinas, denominadas “bobinas madre” para su posterior procesado fuera de máquina. Esta es la labor que realiza la enrolladora o pope. Mientras el papel se está enrollando, hay equipos de control que están midiendo de manera continua el gramaje y la humedad del papel para retroalimentar el sistema de control de la máquina.

Existen tratamientos adicionales que se realizan sobre el papel para mejorar las propiedades visuales en función de los requisitos del cliente.

Calandrado

El objetivo es la obtención de una superficie de papel lisa, lo que hace que quede más brillante. Se realiza por fricción o lijado a través de una calandra.

Estucado

El objetivo es mejorar el resultado de impresión obteniendo a su vez un mayor grado de blancura. Los productos utilizados son agua, pigmentos blancos y otros aditivos.

2.3. Producción de cartón

El siguiente paso una vez hemos obtenido el papel, es convertirlo en cartón para posteriormente formar la caja.

El cartón es un material que está formado por combinaciones de varias hojas de papeles unidas mediante una cola de almidón. En función de su posición tenemos hojas exteriores denominadas liner y hojas onduladas en el medio del cartón denominadas fluting.

Como se describe en el anexo B, existen distintos tipos de cartón en función del número de canales y del tipo de onda del papel ondulado, para formar los distintos tipos de caja.

El proceso consta de dos etapas, en la primera se obtiene la plancha de cartón (onduladora) y en la segunda etapa (transformación) la plancha se transforma en una caja.

Onduladora

En la siguiente imagen se muestra un esquema general del proceso llevado a cabo en la onduladora.

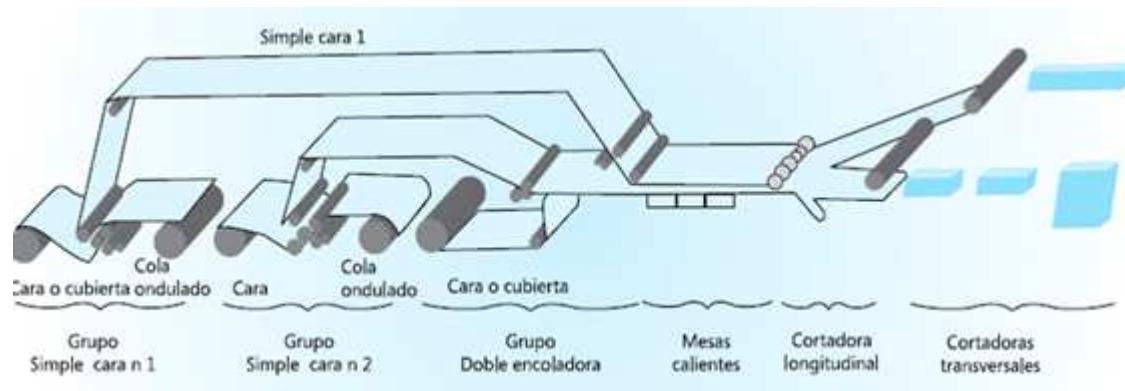


Figura 2.3. Vista general de un tren de ondulado

Simple cara

Si queremos un cartón que solo tenga un canal estaríamos en el caso simple cara 1, donde se ondula el fluting y se pega a la cara interna del cartón. En el caso de que queramos formar un cartón doble-doble (dos canales) se ondula un segundo fluting y se pega a la cara que irá en el medio del cartón.

En primer lugar se desenrolla el fluting y se acondiciona. Normalmente hay que calentarlo para favorecer el proceso de ondulación, pero en algunas ocasiones es necesario humedecerlo con vapor de agua. A continuación se introduce en el laberinto de ondulación y se adiciona cola con base de almidón en las crestas del fluting. Simultáneamente se desenrolla y se calienta el liner para ayudar al pegado con el fluting. Se forma el llamado simple cara.

Doble encoladora

En esta etapa la cara externa se une al grupo simple cara. Antes de la aplicación de la cola, se encuentran tres precalentadores, que preparan el grupo simple cara y el liner externo para el proceso de pegado. La cola almidonada se adiciona sobre las crestas del fluting del grupo simple cara y se une al liner externo.

Mesas calientes

Una vez se ha realizado el pegado, se necesita calor, para que la cola de almidón se gelatinice y adquiera las propiedades necesarias para que el cartón resista el procesado que sufrirá en la etapa de transformación. El calor puede ser transmitido a través de placas calientes, rodillos o patines.

Cortadora longitudinal y transversal

En esta parte del proceso se realizan cortes transversales y longitudinales a la plancha de cartón en función de las características que se requieran para la futura caja.

Apilamiento

Cuando las planchas ya están terminadas, se apilan y se llevan a la sección de transformación.

Transformación

El proceso de transformación del cartón ondulado se refiere a aquellos procesos que se llevan a cabo para dar forma a la caja.

Case maker

Con esta máquina se realizan las cajas más utilizadas, tipo B1. En primer lugar es necesario un alimentador, que introduzca las planchas. La primera sección por la que pasan las planchas es la unidad de impresión. La técnica utilizada es la flexografía y el objetivo de esta etapa es, básicamente, decorar el exterior de la caja. El módulo puede constar de hasta cinco unidades de impresión, cada una con un color, aunque la última puede ser utilizada para dar una capa barniz, con la función de mejorar la impresión. Un aspecto muy importante es llevar un exhaustivo control de la cantidad de tinta aplicada.

Una vez que la caja está impresa, el siguiente paso es realizar cortes y marcas en el cartón (slotter). Hay que controlar la presión aplicada sobre el cartón, para no dañar el cartón.

La última etapa sería el plegado y pegado de la caja.

Troqueladora

El troquelado es un proceso por el cual se realizan cortes y hendidos en el cartón. Una combinación de rodillos y cilindros aplican presión sobre la plancha y con la ayuda de cuchillas se realizan los cortes. Existen dos tipos de troqueladoras: rotativas (mayor tamaño, menor precisión) y planas (menor tamaño y mayor precisión).

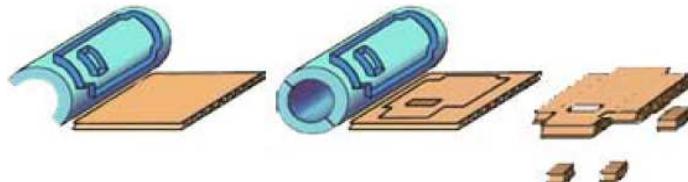


Figura 2.4. Troqueladora rotativa

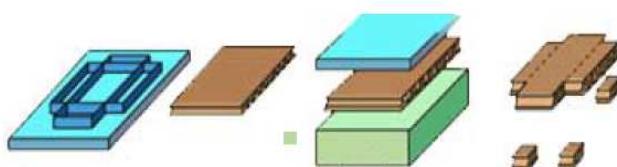


Figura 2.5. Troqueladora plana

En algunas ocasiones el troquelado rotativo puede ser una etapa más en una máquina case maker, pero lo más habitual es que sea una máquina independiente.

Impresión fuera de línea

Existen dos métodos de impresión fuera de línea: por flexografía o por el método offset. En el caso de la flexografía es similar al utilizado en la case maker, la tinta se adiciona sobre cilindros que pintan el sustrato. El método offset funciona por la acción combinada de varios cilindros. Tenemos un rodillo con agua, otro con tinta y un cilindro placa. Este último coge la tinta en sus zonas de impresión y el agua en las zonas de no impresión, quedándose los dos líquidos a igual altura. Esta tinta es transferida al cilindro de desplazamiento que junto a un último cilindro denominado de impresión pintan el papel.

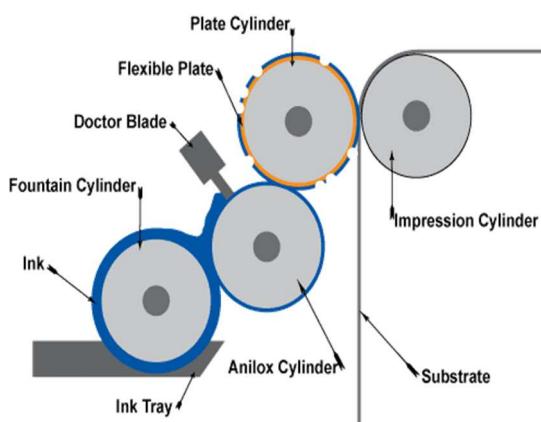


Figura 2.5. Flexografía

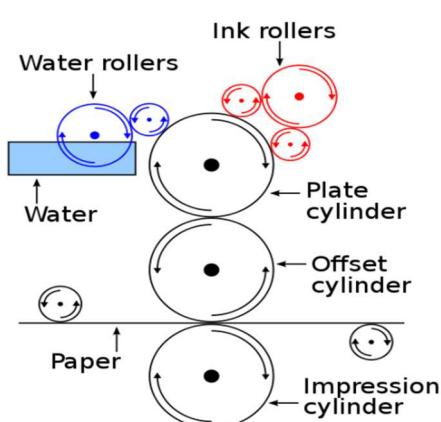


Figura 2.6. Offset

3. SISTEMA EXPERIMENTAL

En este apartado se describen de forma breve, las técnicas aprendidas y los ensayos realizados durante el periodo de prácticas en el laboratorio I + D + i de la empresa SAICA.

Los distintos tipos de ensayos son: generales, compresión, tracción, reflexión y superficie.

3.1. Acondicionamiento de muestras

La humedad es una propiedad que tiene gran influencia en la resistencia y elasticidad tanto del papel como del cartón. Sufren el llamado efecto histéresis, se comportan de manera distinta en función de si están ganando humedad o perdiéndola.

Para eliminar este efecto y saber siempre en que curva nos encontramos las muestras son preacondicionadas a 20°C y 15 % de humedad relativa durante 24 horas. Posteriormente se acondicionan durante otras 24 horas en el laboratorio en unas condiciones de $23 \pm 1^\circ C$ y $50 \pm 2\%$ de humedad relativa, y ya estarán listas para analizar.

De esta manera nos aseguramos que nuestras muestras se encuentran en la curva de absorción en el punto de equilibrio A.

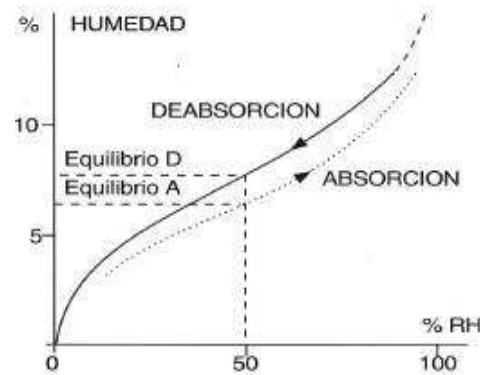


Figura 3.1. Ciclo histéresis del papel

3.2. Ensayos generales

Ensayos para papel: gramaje, espesor, porcentaje de humedad, porosidad Bendtsen, porosidad Gurley, contenido de cenizas, índice de formación.

Ensayos para cartón: gramaje, espesor, porcentaje de humedad.

Gramaje

Se mide el peso de la muestra en una balanza por unidad de superficie. Se expresa en g/m^2 . (Figura 1, Anexo C).

Micrómetro

El micrómetro mide el espesor del papel (micras) y del cartón (mm). (Figura 2, Anexo C).

Porcentaje de humedad

Se puede calcular de dos formas. Mediante una balanza halógena que calienta la muestra y nos da el resultado de manera directa del contenido en humedad o calculándolo por diferencia de pesada antes y después de meter la muestra en una estufa a una temperatura de 105 ° C.

(Figuras 3 y 4, Anexo C).

Porosidad Bendsten

Permite determinar la resistencia que opone el papel cuando se le hace pasar una corriente de aire bajo una diferencia de presión. Nos da un valor de caudal de aire (ml/min). La diferencia de presión aplicada para realizar el ensayo es de 1,47kPa.

(Figura 5, Anexo C).

Porosidad Gurley

Determina la resistencia que opone el papel al paso del aire. Se mide el tiempo (s) que tarda una corriente de 100 cm³ de aire en atravesar la muestra de papel. La porosidad Gurley y Bendsten son inversamente proporcionales.

(Figura 6, Anexo C).

Permeabilidad ISO

Al igual que la porosidad Bendsten y Gurley, nos da información sobre la resistencia al paso del aire a través del papel. Se hace pasar un caudal de aire a una presión de 2000kPa. El resultado se expresa en $\mu\text{m/s.Pa}$.

(Figura 7, Anexo C).

Contenido en cenizas

Con este ensayo se consigue información sobre la cantidad de sustancias inorgánicas presentes en el papel. La muestra se introduce en un crisol y se calcina a una temperatura de 525 ° C. Dividiendo el peso de las cenizas entre el de la muestra y multiplicándolo por 100, obtenemos el valor en porcentaje de cenizas.

(Figura 8, Anexo C).

Índice de formación

Este ensayo sirve para determinar la formación del papel, que está relacionada con la homogeneidad del mismo. La homogeneidad del papel es un factor muy importante para la formación de cartón. El índice utilizado para esta medida es el Bottom Number tanto del espesor como del gramaje.

(Figura 9, Anexo C).

3.3. ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Ensayos para papel: CMT, CCT, SCT.

Ensayos para cartón: BCT, ECT, FCT.

CMT (Concora Medium Test)

Indica la resistencia al aplastamiento en plano de probetas de papel onduladas en el laboratorio al ejercer una fuerza perpendicular a la superficie del papel. Se expresa en N, o en N*m²/g si es índice de CMT.

(Figura 10, Anexo C).

CCT (Corrugated Crush Test)

Indica la resistencia al aplastamiento sobre el canto de una probeta de papel ondulado. Se expresa en kN/m, o en N*m/g si es índice de CCT.

(Figura 11, Anexo C).

SCT (Short Compression Test)

Mide la resistencia a la compresión que puede soportar un papel. Se realizan medidas de SCT tanto en dirección máquina como través. El valor en dirección través nos da una idea de la compresión de la posterior caja, ya que estas una vez formadas, van a soportar el peso en esa dirección. Sus unidades son kN/m, o en Nm/g si lo expresamos como índice de SCT.

(Figura 12, Anexo C).

ECT (Edge Crush Test)

Determina la resistencia al aplastamiento en columna de una probeta de cartón ondulado en dirección través. Nos da información sobre la capacidad de la caja de resistir el aplastamiento. Se expresa en kN/m.

(Figura 13, Anexo C)

Existe relación entre el ECT y el BCT. La fórmula original de McKee para el cálculo del BCT utiliza el ECT y la rigidez a la flexión (SB) del cartón (siendo Z el perímetro de la caja). Pero como el parámetro que más influye en la rigidez a la flexión es el espesor (t) del cartón, normalmente se utiliza la fórmula simplificada.

$$BCT = k2 \times ECT \times \sqrt{t \times Z}$$

FCT (Flat Crush Test)

Este ensayo determina la fuerza máxima, aplicada perpendicularmente a la superficie del cartón, que soporta una probeta. Mide la resistencia del fluting a ser aplastado. Se expresa en kPa.

(Figura 14, Anexo C).

BCT (Box Compression Test)

Indica la capacidad de una caja de cartón ondulado para resistir una determinada fuerza sin deformarse. Se mide en N.
(Figura 15, Anexo C).

3.4. Ensayos de tracción

Ensayos para papel: carga de rotura, porcentaje de alargamiento, TEA, tenacidad, longitud de rotura, TSI, TSO, estallido, ZDTS, ply bond.

Ensayos para cartón: estallido, PAT, PET, pegado de pestañas.

TSI y TSO

El TSI está relacionado con las propiedades elásticas del papel. Se mide tanto en dirección máquina como en través. El método está basado en que la velocidad de transmisión de los impulsos ultrasónicos depende de las propiedades elásticas del papel. El TSO calcula el ángulo de orientación de las fibras de papel respecto de la dirección máquina
(Figura 16, Anexo C).

Tracción

Este ensayo indica la aptitud del papel a sufrir esfuerzos durante el manipulado. Nos da la siguiente información.

- La fuerza por unidad de longitud requerida para romper una probeta sometida a tracción. (kN/m).
- El alargamiento hasta el punto de rotura. (%).
- El trabajo hasta la rotura (TEA). (J/m²).
- El módulo de Young corresponde a la pendiente de la curva en la zona elástica. (kN/m).

(Figura 17, Anexo C).

Resistencia al estallido

Se mide la presión que, aplicada perpendicularmente a la superficie, es capaz de soportar una probeta de papel o cartón. Se expresa en kPa.
(Figura 18, Anexo C).

PET

Este ensayo mide la resistencia del cartón a la penetración dinámica de una cabeza piramidal. Se expresa en julios.
(Figura 18, Anexo C).

PAT

Mide la fuerza de pegado del fluting ondulado al liner en una probeta. Se expresa en N/mm.
(Figura 19, Anexo C).

ZDTS

Mide la tensión máxima que un papel puede resistir sin separación de capas cuando se le aplica una fuerza perpendicular a la superficie. Se expresa en kPa.
(Figura 20, Anexo C).

Ply bond

Es un ensayo similar al ZDTS. Determina la fuerza necesaria para separar el papel en dos capas. Se mide en J/m².
(Figura 21, Anexo C).

Pegado de pestañas

Este ensayo da información sobre si están bien pegadas las pestañas de la caja de cartón. Obtenemos la fuerza en N.
(Figura 22, Anexo C).

3.5. Ensayos de flexión

Ensayos para papel: rigidez Taber.

Ensayos para cartón: flexión a cuatro puntos, korutest.

Rigidez Taber

Cuantifica la resistencia que opone un papel a ser doblado. Se expresa en mN.
(Figura 23, Anexo C).

Flexión a cuatro puntos

Expresa la resistencia de una probeta de cartón a soportar una determinada carga estando solamente fijada por los extremos. Se fija la distancia que el cartón tiene que flexar y se mide la fuerza necesaria para conseguirlo. Se expresa en Nm.
(Figura 24, Anexo C).

Korutest

Este ensayo mide la resistencia que tiene el cartón a la torsión. Se realiza en dirección través.
(Figura 25, Anexo C).

3.6. ENSAYOS DE SUPERFICIE

Ensayos de papel: rugosidad Bendtsen, PPS, color y blancura, manchas, IGT, mottling, COBB, ángulo de contacto, penetración de líquido (EMCO), rugosidad con microscopio, ángulo de deslizamiento, precintos, COF y ángulo de contacto y penetración.

Ensayos de cartón: rugosidad Bendtsen, COBB, ángulo deslizamiento, precintos, COF.

Color y Blancura

Este ensayo nos da información sobre el color de los crudos, y sobre el color y la blancura en los papeles blancos. El color se define mediante tres coordenadas: L, a, b mientras que la blancura además de con las anteriores, también con la ISO Brightness y CIE Whiteness. Gracias a este ensayo, se elimina la distinta percepción que cada persona tiene para definir los colores.

(Figura 26, Anexo C).

PPS (Rugosidad Parker)

El ensayo PPS calcula el flujo de aire que escapa por las rugosidades del papel en el plano del cabezal de medición. Distintas presiones de contacto del cabezal con el papel pueden ser aplicadas en función del tipo de papel a analizar. Nos da el resultado en micras.

(Figura 7, Anexo C).

Rugosidad Bendtsen

Se define como la medida de la importancia de las irregularidades del plano de la superficie del papel, importancia que se concreta en la profundidad, anchura y número de irregularidades de dicho plano. La rugosidad tiene una gran influencia sobre la calidad de impresión, coeficientes de fricción, brillo y absorción. Se expresa como caudal de aire (ml/min).

(Figura 27, Anexo C).

Manchas en el papel

Cuantifica la cantidad y área de manchas en el papel. La cantidad se expresa en N°/m², el área en mm²/m², el tamaño medio de partícula en mm².

(Figura 28, Anexo c).

Rugosidad con microscopio

Mediante el uso de un microscopio confocal, se hace un barrido sobre la superficie de la muestra. Nos da un perfil de la rugosidad. Se mide en micras.

(Figura 29, Anexo C).

Mottling

Mide la uniformidad de la capa blanca del papel. Es un ensayo exclusivo para papeles blancos.

(Figura 30, Anexo C).

IGT

Permite predecir como imprimirá un papel en su manipulado en las cartoneras.
(Figura 31, Anexo C).

COBB

Es la cantidad de agua absorbida por la probeta de papel o cartón en un tiempo determinado. Se realizan medidas a distintos tiempos. Se expresa en g/m².
(Figura 32, Anexo C).

Ángulo de deslizamiento

Es el ángulo a partir del cual desliza un papel contra otra muestra del mismo. Se mide en grados.
(Figura 33, Anexo C).

EMCO

Este ensayo consiste en observar como penetran los líquidos en la muestra por la acción de ultrasonidos. La intensidad del ultrasonido varía con el tiempo según va sustituyéndose enlaces fibra-fibra por fibra-agua. Nos da un valor en tiempo (s).
(Figura 34, Anexo C).

Precintos

En este ensayo se determina la fuerza necesaria para despegar un precinto pegado a una probeta de papel o cartón. Se expresa en N/m.
(Figura 35, Anexo C).

COF

Se trata de un ensayo para determinar los coeficientes de fricción del papel y del cartón.
(Figura 35, Anexo C).

Ángulo de contacto y penetración

Nos da información sobre la tensión superficial del papel y la forma en que penetra el líquido en el mismo. El líquido empleado es agua destilada. Obtenemos datos de ángulo de contacto con el papel, volumen restante y área que abarca la gota de líquido. Este ensayo permite obtener información acerca de la absorción o adsorción de un líquido sobre un papel.
(Figura 36, Anexo C).

4. RESULTADOS

Una característica que tiene gran influencia sobre las propiedades del papel, es la procedencia de la fibra, que puede ser: virgen, reciclada o una combinación de ambas. La fibra virgen presenta mayor flexibilidad, mientras que la fibra reciclada (de menor tamaño debido que el proceso de reciclado acorta el tamaño de la fibra) presenta mayor resistencia a la compresión. Esta última propiedad es la más deseada en el mundo del cartón, ya que una caja debe tener buena resistencia a la compresión si no queremos que se dañe el producto que contiene.

En este apartado se describe un estudio comparativo realizado sobre un conjunto de muestras de papel formadas a partir de fibra reciclada y otro grupo de muestras en las que la fibra es de procedencia virgen. Ambos grupos de muestras son análogas. Las muestras de fibra reciclada son papeles recuperados de altas prestaciones (PRAP), mientras que las de fibra virgen son kraft liner crudo (entre el 80 y el 100 % de fibra virgen, ver Anexo 1).

Se han realizado varios ensayos: cenizas, TSI y TSO, SCT y estallido, con el objetivo de comparar y encontrar qué tipo de fibra es la más conveniente, en función de las necesidades del cliente, para la elaboración de una caja.

Cenizas

Con el ensayo de cenizas se obtiene información sobre la procedencia de la fibra. El ensayo consiste en calentar la muestra a una temperatura de 525° C durante 2 horas y se obtiene un resultado en porcentaje de cenizas. Durante el transcurso del ensayo se van eliminando los componentes orgánicos del papel, mientras que en las cenizas nos quedan compuestos inorgánicos como carbonatos o sulfatos. A mayor valor de cenizas, más cantidad de fibra reciclada contiene el papel. Esto es debido a que el papel de fibra virgen es prácticamente en su totalidad celulosa que no queda presente en las cenizas, mientras que en las cenizas de una fibra reciclada quedan estos aditivos inorgánicos que se adicionan durante la elaboración del papel recuperado.

En el siguiente cuadro se muestran los valores de cenizas obtenidos para los dos conjuntos de muestras. El número que acompaña al tipo de papel indica el gramaje.

Ensayo	Unidades	PRAP-140	PRAP-170	PRAP-185	PRAP-200	PRAP-250
Nº muestras		3	14	3	8	14
Cenizas	% sps	12,04	12,14	12,03	12,15	9,69
Ensayo	Unidades	K- 135	K- 170	K-186	K- 200	K- 275
Nº muestras		1	4	1	4	3
Cenizas	% sps	5,47	4,76	6,99	4,73	4,16

Cuadro 4.1. Resultados ensayo de cenizas

Observando los resultados, se confirma que en los papeles de fibra virgen presentan menores valores de contenido en cenizas que los de fibra reciclada.

TSI y TSO

Este ensayo es útil para medir las propiedades elásticas de una hoja de papel en la dirección del plano mediante la acción de ultrasonidos. Los valores más importantes a considerar por parte de los fabricantes de papel a partir de las mediciones son los siguientes.

TSI_{MD}: Índice de rigidez a la tracción de la hoja en dirección máquina.

TSI_{CD}: Índice de rigidez a la tracción de la hoja en dirección transversal de la máquina.

TSI_{MD/CD}: Relación de índices de rigidez a la tracción.

TSO: Orientación de la rigidez a la tracción. Se representa como el ángulo (α) de la rigidez a la tracción máxima en relación a la dirección máquina.

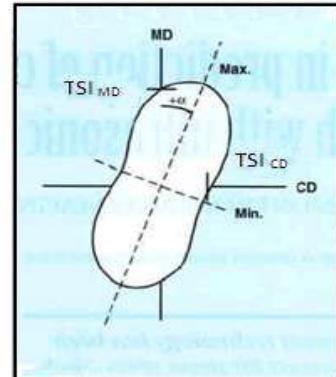
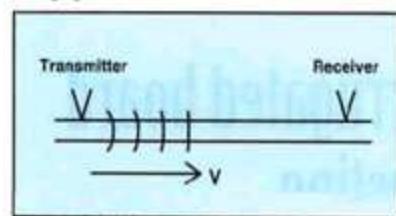


Figura 4.1. TSI y TSO

La velocidad de un pulso de ultrasonidos que se propaga en el plano de una hoja de papel se corresponde con las propiedades elásticas de la hoja expresadas por el TSI.

$$TSI = v^2 \times c$$

Donde TSI se expresa en kNm/g o MNm/kg, v es la velocidad de propagación del pulso ultrasónico en km/s y c una constante adimensional de valor cercano a 1.



En el siguiente cuadro se recogen los valores medios medidos para los dos grupos de muestras.

Figura 4.2. Propagación del pulso

Ensayo	Unidades	PRAP-140	PRAP-170	PRAP-185	PRAP-200	PRAP-250
TSI MD	kNm/g	9,41	9,58	8,95	8,29	9,55
TSI CD	kNm/g	4,82	4,54	4,99	4,75	4,47
TSI MD/CD		1,95	2,11	1,79	1,74	2,14
TSO	°	3,21	1,57	2,42	1,40	1,50
Ensayo	Unidades	K- 135	K- 170	K-186	K- 200	K- 275
TSI MD	kNm/g	12,57	12,27	8,94	12,18	10,44
TSI CD	kNm/g	4,56	4,16	4,01	4,21	4,58
TSI MD/CD		2,76	2,95	2,23	2,89	2,28
TSO	°	4,38	2,04	0,61	1,14	1,84

Cuadro 4.2. Resultados ensayo TSI y TSO.

Existe correlación entre el TSI CD y la resistencia a la compresión, a mayor valor, teóricamente más resistirá el papel la compresión. Los valores de TSI CD de las muestras de fibra recuperada, son mayores que los de fibra virgen por lo que se espera unos valores mayores de compresión. Por otro lado existe a su vez correlación entre el TSI CD/MD y el estallido. En este caso los valores son mayores para la fibra virgen, por lo que en teoría más resistirá el papel ese tipo de fuerzas.

SCT (Short Compression Test)

En este ensayo se mide la resistencia a la compresión que puede soportar un papel. Se realizan medidas en las dos direcciones del papel, pero la que realmente nos interesa es la realizada en dirección transversal, ya que será en esa dirección en la que la caja sufrirá la compresión.

Como ya hemos dicho en el apartado anterior a mayor TSI_{CD} se obtiene un mayor valor de compresión, por lo que cabe esperar que se obtengan mayores valores de compresión para los papeles de fibra recuperada.

La muestra de papel se coloca entre dos mordazas con una longitud libre de sujeción de 0,7 mm. Cuando las mordazas se acercan entre sí, la longitud se reduce y las piezas de ensayo se comprimen incrementándose las tensiones de la tira. La fuerza máxima obtenida constituye el resultado del ensayo.

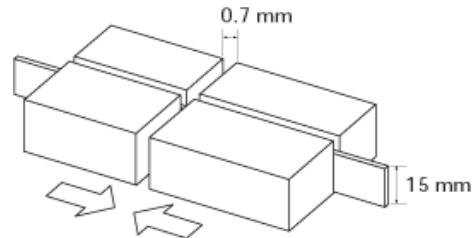


Figura 4.3. SCT

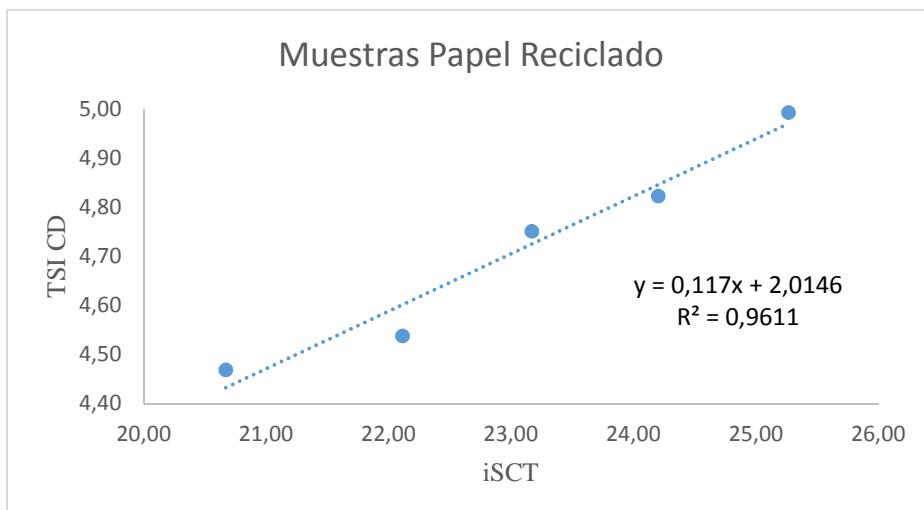
En el siguiente cuadro se muestran los valores medios obtenidos de SCT para los dos grupos de muestras. El índice de SCT que luego utilizaremos para realizar la representación gráfica es el resultado de dividir el SCT entre el gramaje.

Ensayo	Unidades	PRAP-140	PRAP-170	PRAP-185	PRAP-200	PRAP-250
Gramaje	g/m ²	141,20	170,96	183,87	199,95	251,66
SCT DT	kN/m	3,42	3,78	4,65	4,63	5,20
iSCT DT	kN*m/kg	24,20	22,11	25,26	23,17	20,67
TSI CD	kNm/g	4,82	4,54	4,99	4,75	4,47
Ensayo	Unidades	K- 135	K- 170	K-186	K- 200	K- 275
Gramaje	g/m ²	135,30	171,12	185,00	201,60	275,58
SCT DT	kN/m	2,76	3,20	3,28	3,83	5,71
iSCT DT	kN*m/kg	20,36	18,72	17,70	19,01	20,70
TSI CD	kNm/g	4,56	4,16	4,01	4,21	4,58

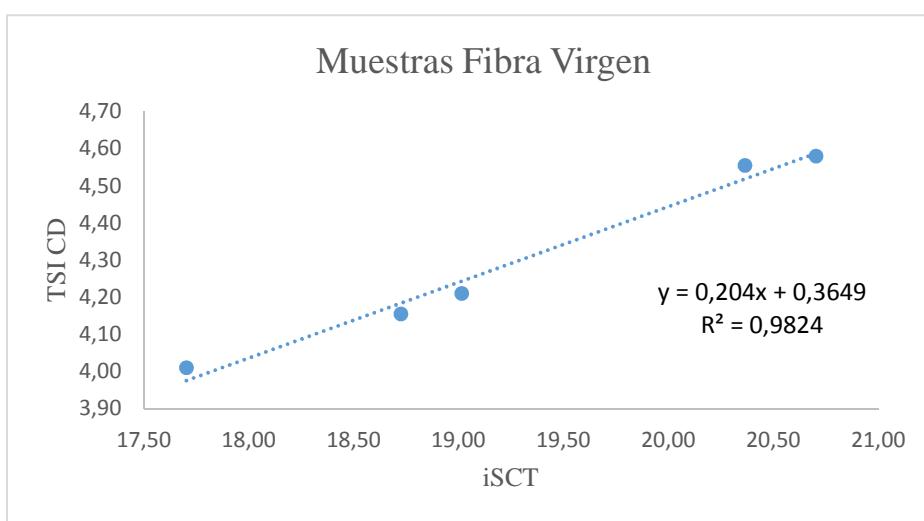
Cuadro 4.3. Resultados ensayo SCT

Los resultados han sido los esperados, ya que como podemos comprobar cuanto mayor es el valor de TSI_{CD} mayor es la resistencia a la compresión del papel. Además los valores de iSCT son mayores para la fibra reciclada que para la fibra virgen, por lo que las muestras de papel recuperado ofrecen una mejor resistencia a la compresión que los papeles de fibra virgen.

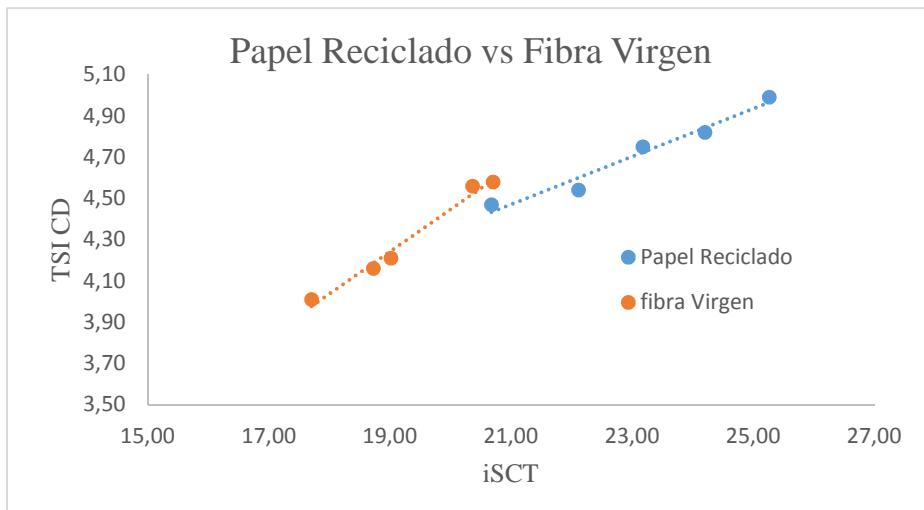
En las siguientes gráficas se representan los valores de TSI_{CD} frente a iSCT_{DT} para los dos tipos de muestras, así como una gráfica comparativa de ambos grupos.



Gráfica 4.1. TSI_{CD} vs iSCT muestras papel reciclado



Gráfica 4.2. TSI_{CD} vs iSCT muestras fibra virgen



Gráfica 4.3. TSI_{CD} vs iSCT Papel Reciclado vs Fibra Virgen

ESTALLIDO

El ensayo de estallido nos mide la presión límite que, aplicada perpendicularmente a su superficie, soporta una probeta de papel o cartón. La resistencia al estallido ha sido durante largo tiempo el criterio de resistencia dominante para el cartón corrugado. La resistencia al estallido del cartón corrugado es igual a la suma de las resistencias al estallido de los liners y un 10 % de la resistencia del fluting. En nuestro caso realizaremos el ensayo a las muestras de papel de los dos grupos.

Como ya hemos comentado existe una correlación entre el TSI CD/MD y el estallido. Este ensayo está relacionado con la flexibilidad de la fibra, y en teoría cabe esperar que las muestras con procedencia de fibra virgen tengan mayor valor de estallido que los de fibra recuperada.

En el ensayo de resistencia al estallido, se estira una región de forma circular del papel mediante una membrana de goma hasta una ampolla que finalmente estalla. Durante este proceso, la muestra sometida se ve afectada por fuerzas de tracción, de cizalladura y de flexión. Obtenemos el resultado del punto en el que rompe el papel expresado en kPa



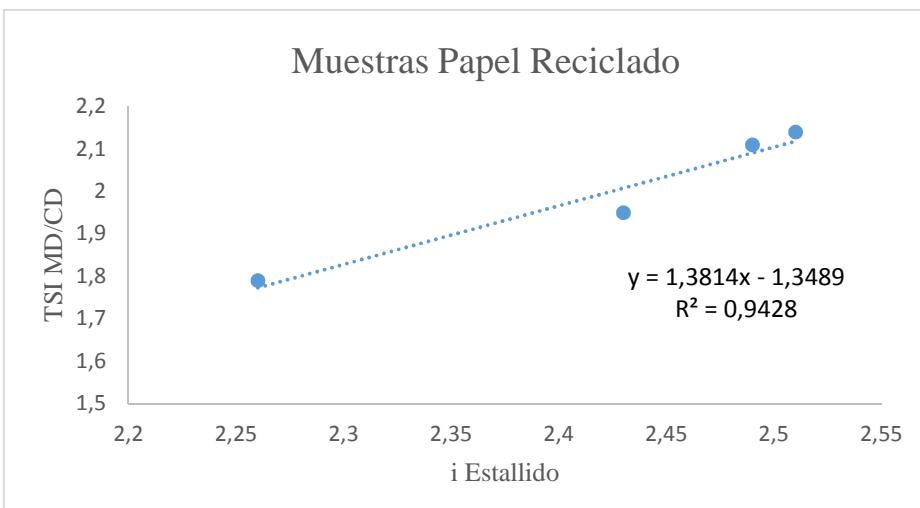
Figura 4.4. Estallido

En el siguiente cuadro se muestran las medias de los valores obtenidos de estallido de los dos grupos de muestras. El índice de estallido que luego utilizaremos para realizar la representación gráfica es el resultado de dividir el estallido entre el gramaje.

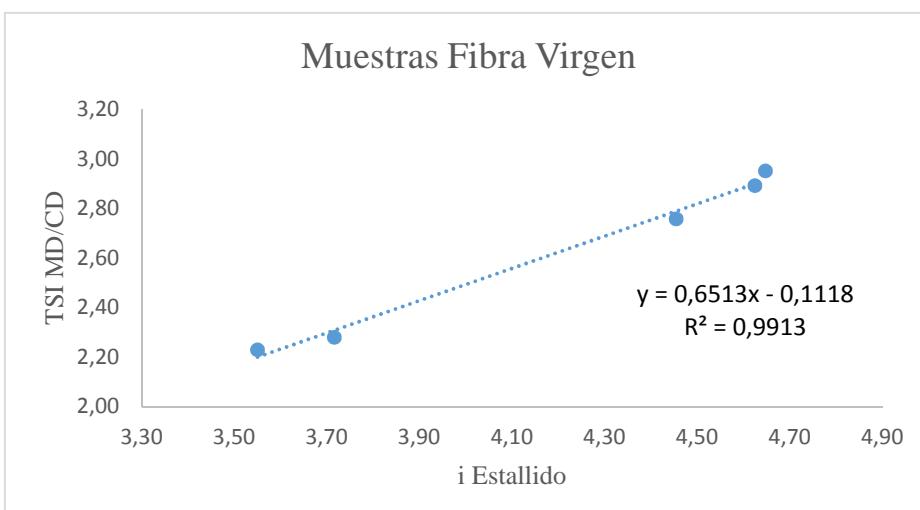
Ensayo	Unidades	PRAP-140	PRAP-170	PRAP-185	PRAP-200	PRAP-250
Gramaje	g/m ²	141,20	170,96	183,87	199,95	251,66
ESTALLIDO	kPa	342,63	426,04	416,25	516,78	632,78
i Estallido	kPa*m ² /g	2,43	2,49	2,26	2,58	2,51
TSI MD/CD		1,95	2,11	1,79	1,74	2,14
Ensayo	Unidades	K- 135	K- 170	K-186	K- 200	K- 275
Gramaje	g/m ²	135,30	171,12	185,00	201,60	275,58
ESTALLIDO	kPa	602,71	795,25	656,75	932,33	1024,11
i Estallido	kPa*m ² /g	4,45	4,65	3,55	4,62	3,72
TSI MD/CD		2,76	2,95	2,23	2,89	2,28

Cuadro 4.4. Resultados ensayo estallido

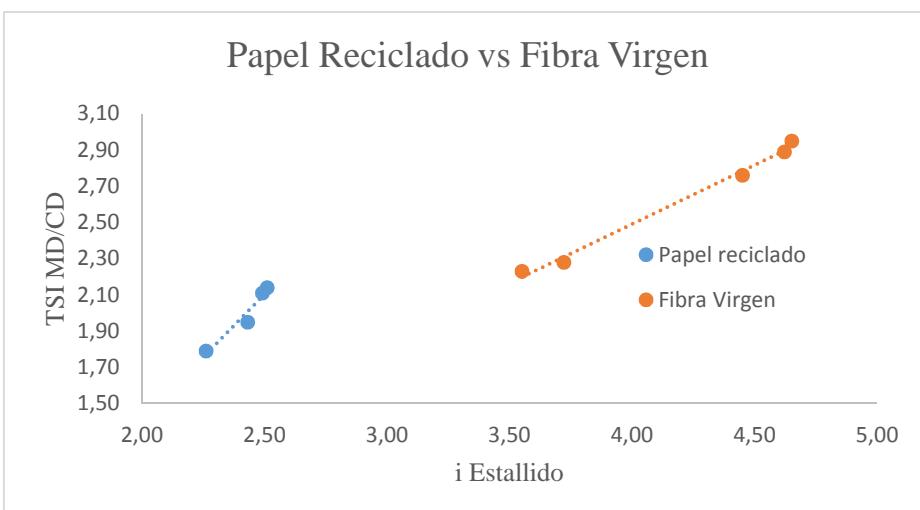
Como podemos observar, los resultados del ensayo han sido los esperados. Cuanto mayor es el valor de TSI MD/CD mayor es el índice de estallido. En todos los casos se ha cumplido esta regla menos en la muestra PRAP-200 que los valores de estallido han sido menores de lo que se deseaba, por lo que se excluirá ese punto en la construcción de la recta. A su vez se observa que los valores para las muestras de fibra virgen son mayores que para la fibra reciclada, debido a su mayor flexibilidad. A medida que se aumenta los ciclos de reciclado de la fibra esta se acorta y va perdiendo flexibilidad, por lo que si lo que se busca es esta propiedad ofrecen mejores prestaciones los papeles de fibra virgen.



Gráfica 4.4. TSI_{MD/CD} vs i estallido muestras papel reciclado



Gráfica 4.5. TSI_{MD/CD} vs i estallido muestras fibra virgen



Gráfica 4.6. TSI_{MD/CD} vs i estallido papel reciclado vs fibra virgen

ALABEO

El alabeo siempre ha constituido un problema en la producción de cartón corrugado. Para definir el alabeo, se ha asumido que una sección de una hoja alabeada puede ser descrita como parte de un círculo, tal como se muestra en la imagen. Esto puede considerarse válido si se considera una parte lo suficientemente corta del arco.

El alabeo en dirección transversal es más difícil de controlar; los problemas de alabeo en la dirección máquina pueden resolverse ajustando la tensión de las bobinas del ondulador. El alabeo reduce la productividad y origina problemas de desperdicios en la salida del ondulador y en el equipo de transformación. A su vez genera problemas en algunas máquinas de embalaje.

El alabeo está relacionado con la orientación de la fibra, es decir, con el TSO. Un ángulo TSO fuera de los límites $\pm 5^\circ$ indica un mayor riesgo de problemas de estabilidad dimensional en el cartón corrugado como el alabeo o doblado.

La orientación de la fibra y los efectos de tensiones/deformaciones se miden de forma directa mediante el método de ultrasonidos utilizado en la medida del TSI. Este método es por tanto la herramienta perfecta para predecir el comportamiento del papel en el proceso de transformación.

En el siguiente cuadro se muestran la media de las medidas realizadas para los dos tipos de muestras.

Ensayo	Unidades	PRAP-140	PRAP-170	PRAP-185	PRAP-200	PRAP-250
TSO medio	°	3,21	1,57	2,42	1,40	1,50
Ensayo	Unidades	K- 135	K- 170	K-186	K- 200	K- 275
TSO medio	°	4,38	2,04	0,61	1,14	1,84

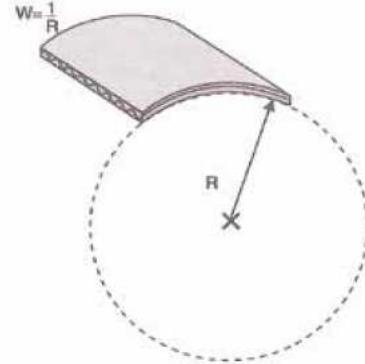


Figura 4.5. Alabeo

Cuadro 4.5. Resultados ensayo TSO

Los resultados obtenidos para los dos tipos de muestras se encuentran entre los límites de $\pm 5^\circ$, por lo que en un principio no deberían surgir problemas de alabeo en el cartón en el caso de que se usase este tipo de papeles para la elaboración de la caja.

5. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha realizado un estudio comparativo sobre dos grupos de muestras de papel, una de ellas de fibra virgen y otra de fibra reciclada. El objetivo es determinar cuál de los dos grupos de muestras presenta mejores propiedades para la elaboración de una caja de cartón ondulado, para lo que se han realizado determinados ensayos.

Analizando los resultados obtenidos, se observa que las muestras de papel reciclado presentan una mayor resistencia a la compresión que la fibra virgen. Esta propiedad es la más deseada en el mundo del cartón, ya que si tenemos cajas apiladas y alguna se aplasta, el producto se puede dañar. En cambio en el ensayo de estallido, relacionado con la flexibilidad de la fibra, se obtienen mejores resultados para la fibra reciclada.

Con la información que se dispone, se puede concluir que, si lo que el cliente busca es una mejor flexibilidad de la caja lo mejor sería la fibra virgen. Si lo que se busca es una buena resistencia a la compresión lo mejor es utilizar cartón ondulado de fibra reciclada. Al final como en el mundo del cartón lo que se busca es que la caja resista para evitar el daño en el producto que contiene lo ideal es la fibra reciclada.

Unido a las buenas propiedades de los productos obtenidos el papel reciclado posee otras muchas ventajas: se consigue reducir la tala forestal, se reduce el consumo de energía y agua del procesado, disminuyen los efluentes contaminantes, se evita el uso de papel en incineradoras, además de reducir el espacio de los vertederos transformando un residuo en un producto.

La industria del papel recuperado está muy comprometida con el desarrollo sostenible, pero no hay que olvidar que dependen de las industrias de papel de fibra virgen, ya que el reciclado de una fibra no es infinito.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de elaboración del cartón ondulado, Volumen I, AFCO (Asociación de Fabricantes de Cartón Ondulado) (2007).
2. Métodos e Instrumentos de Prueba para el Cartón Corrugado, *Hakan Markström* (1999).
3. Lista europea de papeles para cartón ondulado, Cepi Container Board (2012).
4. Documento de referencia de las mejores técnicas disponibles en la industria de la pasta y el papel (Documentos BREF), Ministerio de Medio Ambiente (2006).
5. International fibreboard case code, FEFCO (European Federation of Corrugated Board Manufacturers) (2007).
6. Production and converting of corrugated board, *Osmo Laakso, Faisto Rintamaki and Finnish Corrugated Board Association* (2001).

ANEXOS

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO A	2
A.1. TIPOS DE PAPEL	2
ANEXO B	4
B.1. CARTÓN	4
B.2. TIPOS DE CAJAS	6
ANEXO C	10
C.1. ENSAYOS GENERALES	10
C.2. ENSAYOS COMPRESIÓN	12
C.3. ENSAYOS TRACCIÓN	13
C.4. ENSAYOS FLEXIÓN	14
C.5 ENSAYOS SUPERFICIE	15

Anexo A.

A.1. Tipos de papel

En el siguiente cuadro se muestran los distintos tipos de papel que se pueden emplear en la elaboración de cartón ondulado según la “Lista europea de papeles para cartón ondulado”, Cepi Container Board (2012).

Nomenclatura General	SAICA PAPER
LINER	LINER
Crudos	Crudos
Kraftliner crudo	
Liner altas prestaciones	X
Testliner crudo 1	
Testliner crudo 2	X
Testliner crudo 3	X
Bicolor crudo	X
Blancos	Blancos
Blanco integral	
Kraftliner blanco	
Kraftliner estucado blanco	
Kraftliner semi-estucado blanco	
Kraftliner blanco jaspeado	
Liner blanco reciclado ISO B=80	X
Liner blanco reciclado calidad A	X
Liner blanco reciclado calidad B	X
Liner blanco reciclado calidad C	X
Liner jaspeado reciclado	
Liner blanco reciclado estucado	
Liner blanco reciclado semiestucado	
Color	Color
Kraftliner coloreado	
Testliner con color	
FLUTING	FLUTING
Semiquímico	X
Medium	X
Medium 2	X
Medium de altas prestaciones	

Cuadro A.1. Tipos de papel

En la columna de la izquierda están recogidos todos los papeles que se disponen para la producción de cartón ondulado, con su nomenclatura general. En la columna de la derecha están marcados con una X los papeles que produce SAICA, todos ellos reciclados. Por motivos de privacidad de la empresa no se han escrito los nombres comerciales de los papeles de SAICA.

Crudos

Un papel kraftliner es aquel que contiene al menos un 80 % de fibra virgen y en muchos de los casos incluso un 100 %. Una de las mejores propiedades de este papel es su alto valor de estallido.

El liner reciclado de altas prestaciones es un papel análogo al kraftliner, pero 100% en fibra reciclada. Poseen mayores valores de resistencia a la compresión, pero menores de resistencia al estallido en comparación con sus análogos de fibra virgen.

Los papeles testliner son papeles que contienen menos del 80 % de fibra virgen, pero por lo general predomina la fibra reciclada. Se clasifican según su valor de estallido, mayor valor para el 1, luego el 2 y el de menor valor el 3.

Blancos

El kraftliner blanco es un papel fabricado con fibra virgen, presenta características similares al kraftliner, con la diferencia de que está blanqueado.

Los papeles blancos reciclados o White liner, son papeles donde predomina la fibra reciclada. Están clasificados por calidades: A, B y C. Esta calidad se define por su blancura ISO, mayor para el A, luego B y finalmente C.

Los papeles estucados son aquellos que han recibido una capa externa de un compuesto denominado estuco con el objetivo de mejorar su acabado dándole mayor suavidad y blancura. Su principal ventaja es que su acabado liso y menos absorbente que el de los papeles no estucados permite mejor definición de los detalles y un rango cromático más amplio. El estucado se suele realizar con compuestos derivados del Caolín (como la caolinita) y del yeso.

Fluting

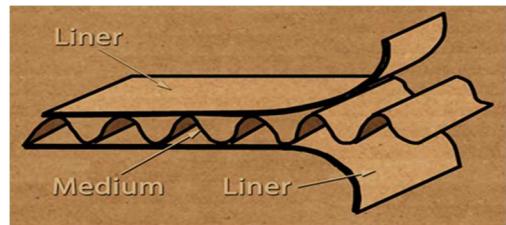
Los papeles fluting son los que conforman la tripa de cartón, es decir, lo que no se ve. Por ello no tienen el mismo acabado que los Liner.

El papel semiquímico está constituido por fibra virgen. Mientras que los otros 3 tipos de fluting que aparecen en el cuadro son de fibra reciclada. Estos últimos se clasifican en función de su SCT, es decir, de su resistencia a la compresión. Los papeles con mayor resistencia se les concede la categoría medium de altas prestaciones, a los de valores de SCT intermedios se les denomina medium y a los de valores más bajos medium 2.

Anexo B.

B.1. Cartón

El cartón es un material que está formado por combinaciones de varias hojas de papeles unidas mediante una cola de base en almidón. En función de su posición tenemos una hoja exterior (liner), una hoja ondulada en el medio (fluting) y una hoja interior (liner).



Los papeles liners confieren características de imprimabilidad a la caja y aportan resistencia al embalaje. Son papeles que suelen estar encolados por lo que presentan buena resistencia al mojado.

Figura B.1. Cartón

El papel ondulado o fluting, aporta resistencia a la compresión de la caja, aumenta la rigidez a la flexión, elasticidad parcial ante situaciones de aplastamiento y resistencia a impactos de la caja. No tienen el mismo acabado que los liner, no están encolados por lo que tienen peor resistencia al mojado.

El cartón puede estar formado por uno o varios canales en función del número de papeles que lo formen, de esta manera, podemos encontrar cartones de uno, dos o tres canales.

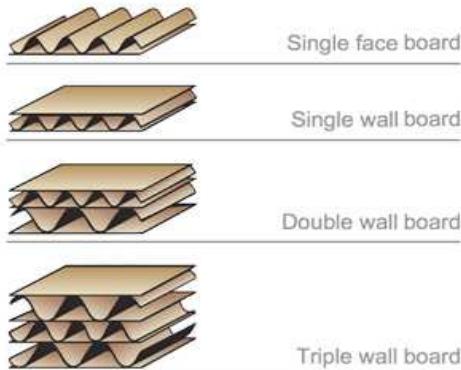


Figura B.2. Tipos de canales

Otro factor a tener en cuenta a la hora de construir un cartón es el tamaño de la onda. Las ondas más utilizadas y demandadas en el mercado son: B, C y E.

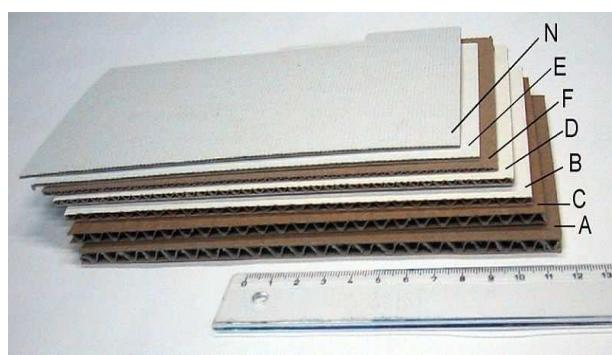


Figura B.3. Tipos de onda

Para describir un cartón hay que tener en cuenta: el espesor del papel (t), espesor del cartón (h), altura de onda (hc), paso de onda (λ), dirección máquina (DM) y dirección través (DT). Tanto la dirección máquina como través del cartón coinciden con la del papel, y cada una de ellas le proporciona al cartón unas propiedades. En la DT es la dirección que soportará la compresión la caja, mientras que la DM proporciona flexibilidad.

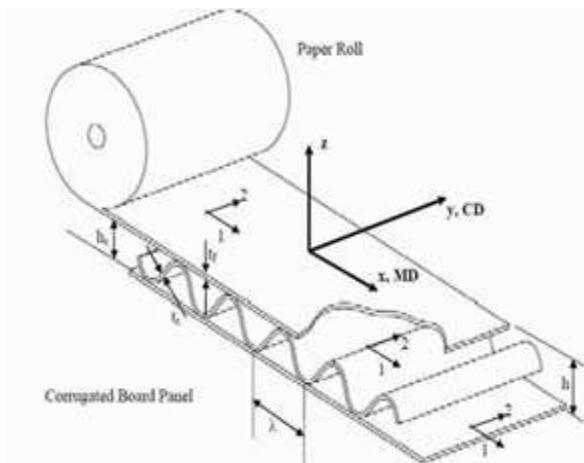


Figura B.4. Parámetros

En el siguiente cuadro se muestran el paso de onda y la altura para cada tipo de onda.

Paso de onda (mm)	< 2	2	2 - 3	3 - 4	6 - 7	7 - 8	8 - 9	> 9
Tipo de onda	O	G ó N	F= mini micro	E = micro	B = baja	C = media	A = alta	K=muy alta
Altura (mm)	<0,5	0,5 - 0,75	0,75 - 1,25	1,25 - 2	2,0 - 3,25	3,25 - 4,25	4,25 - 5,5	> 5,5

Cuadro B.1. Parámetros del cartón

B.2. Tipos de cajas

Independientemente de la forma de la caja, se sigue un patrón de nomenclatura para el dimensionado: longitud (L) x anchura (B) x altura (H) en mm.

1. Rollos y planchas comerciales



Figura B.5. Rollos y planchas

2. Cajas de tipo ranurado

Consisten básicamente en una pieza con juntas de fabricación encolada, cosida o pegada con cinta y solapas superiores e inferiores. Se despachan extendidas en un plano, listas para su uso y se cierran utilizando las solapas superiores e inferiores.

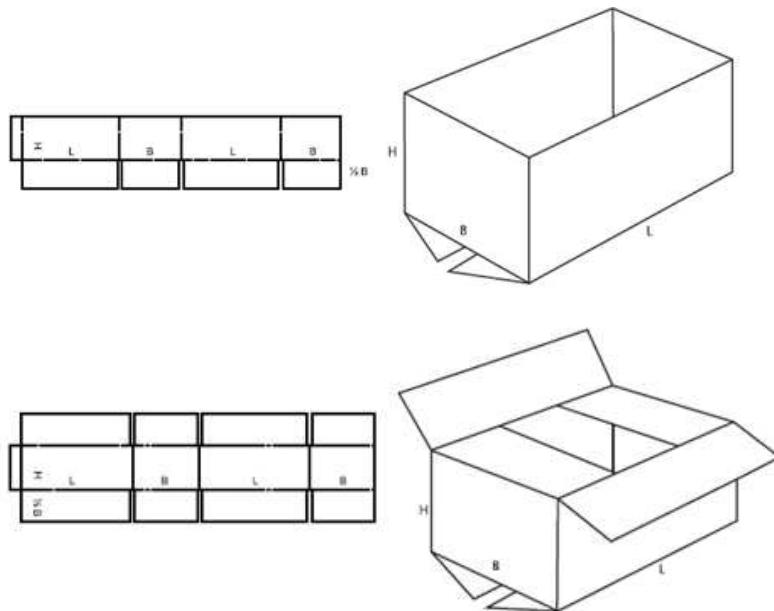


Figura B.6. Cajas de tipo ranurado

3. Cajas telescópicas

Fabricada con más de una pieza, se caracterizan por una tapa y/o fondo que se desliza sobre el cuerpo de la caja.

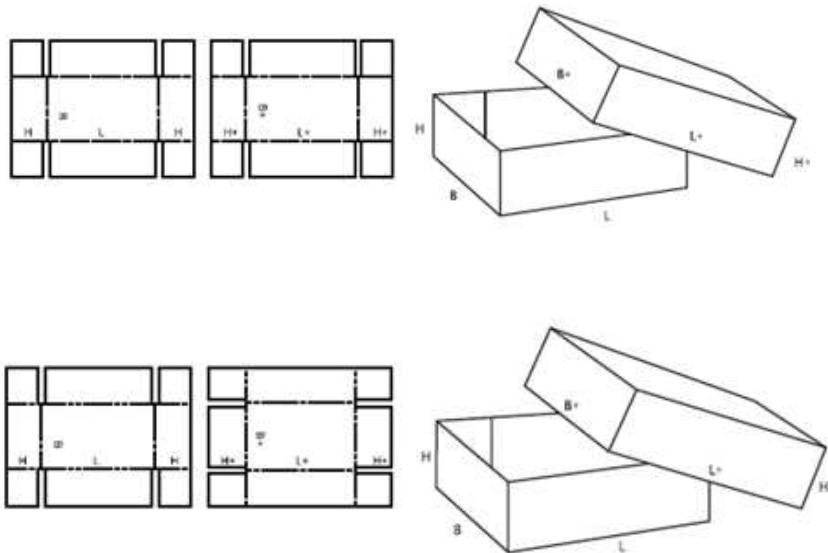


Figura B.7. Cajas telescópicas

4. Cajas plegables y bandejas

Son en general de una única pieza de cartón ondulado. El fondo de la caja se pliega para formar dos, o todas las paredes laterales, y la tapa. Pueden incorporarse al diseño elementos de cierre, asas, paneles expositores, etc.

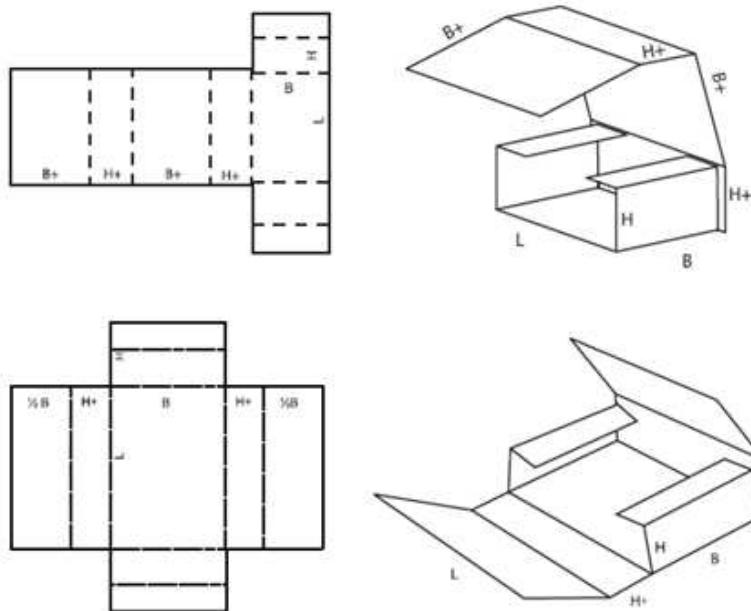


Figura B.8. Cajas plegables y bandejas

5. Cajas de tipo deslizante

Constan de varias piezas de forros interiores y fundas que deslizan en diferentes direcciones uno dentro de otro. Este grupo incluye también fundas exteriores para otras cajas.

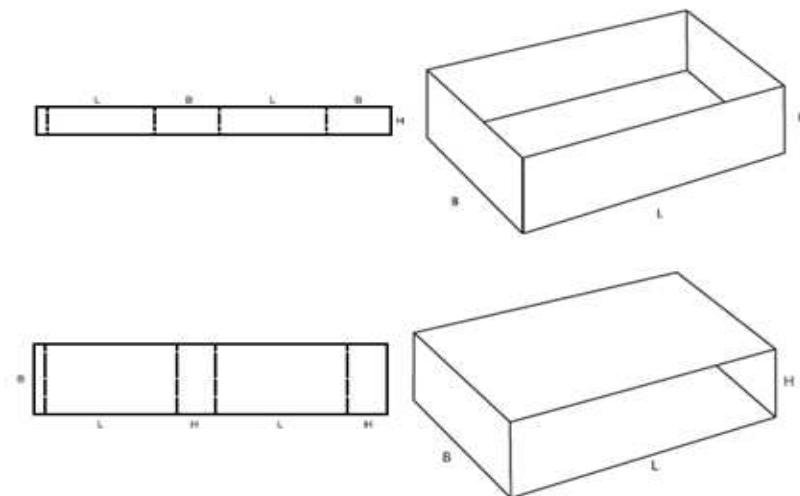


Figura B.9. Cajas de tipo deslizante

6. Cajas tipo rígido

Formadas por dos piezas separadas, para los extremos y un cuerpo; requieren un grapado u otra operación similar antes de que puedan utilizarse.

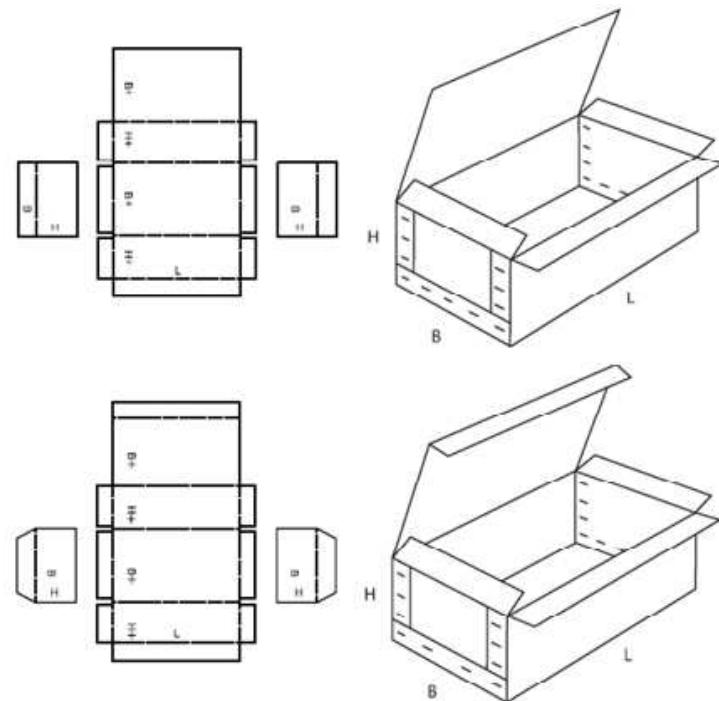


Figura B.10. Cajas de tipo deslizante

7. Cajas de encolado rápido

Están hechas generalmente de una sola pieza, se entregan extendidas en un plano o plegadas y listas para su utilización por medio de un sencillo montaje.

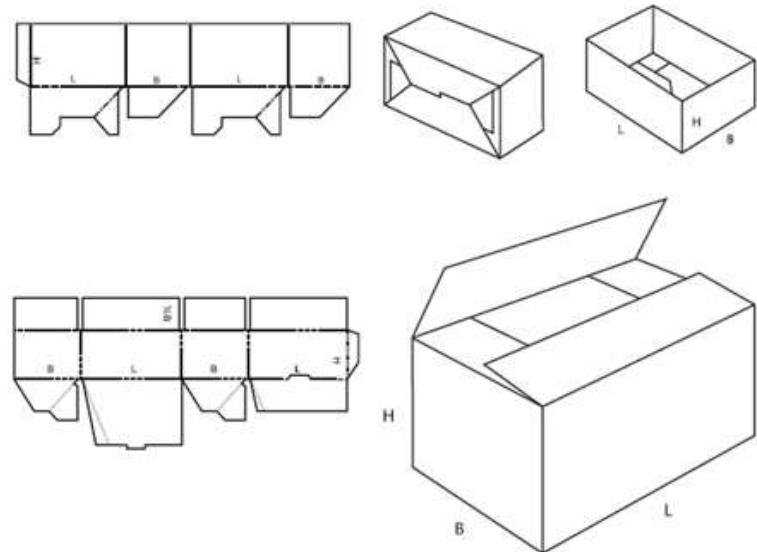


Figura B.11. Cajas de encolado rápido

8. Acondicionadores interiores

Acondicionadores interiores: como forros, refuerzos, casilleros, divisiones interiores, tanto si se ajustan a un modelo de caja o como piezas sueltas. El número de piezas de los acondicionadores interiores mostrados es arbitrario y puede aumentarse o disminuirse de acuerdo con las necesidades.

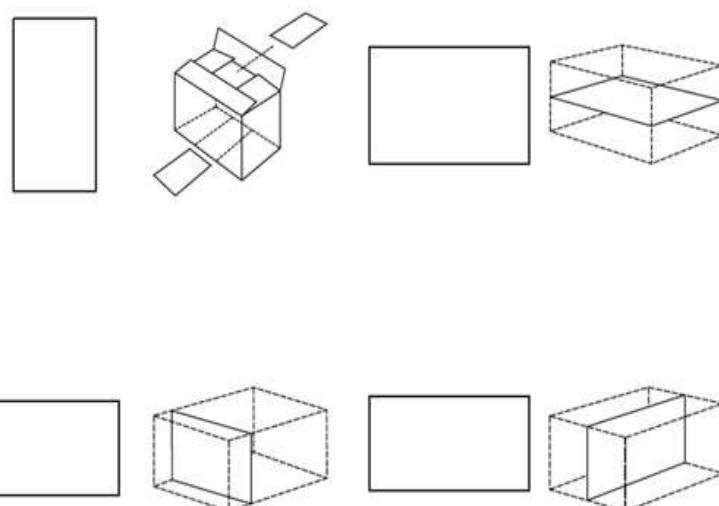


Figura B.12. Acondicionamientos interiores

ANEXO C. NSTRUMENTACIÓN Y EQUIPOS

C.1. Ensayos generales

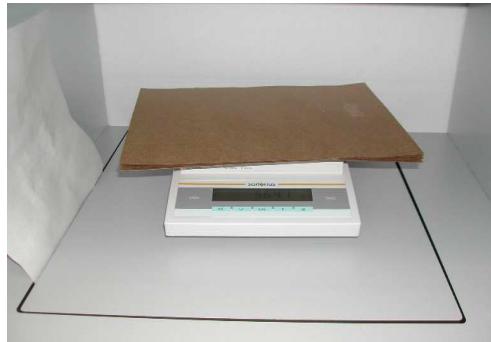


Figura C.1. Gramaje



Figura C.2. Micrómetro



Figura C.3. Balanza halógena



Figura C.4. Estufa

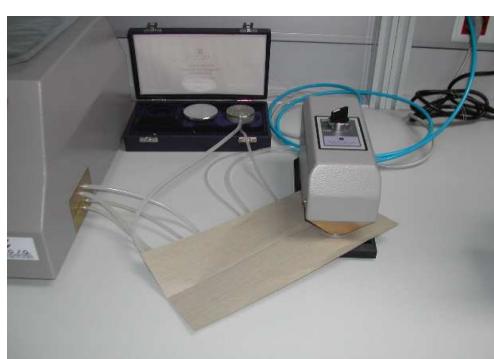


Figura C.5. Porosidad Bendtsen



Figura C.6. Gurley



Figura C.7. Permeabilidad ISO y PPS



Figura C.8. Contenido en cenizas



Figura C.9. Índice de formación

C.2. Ensayos de compresión



Figura C.10. CMT

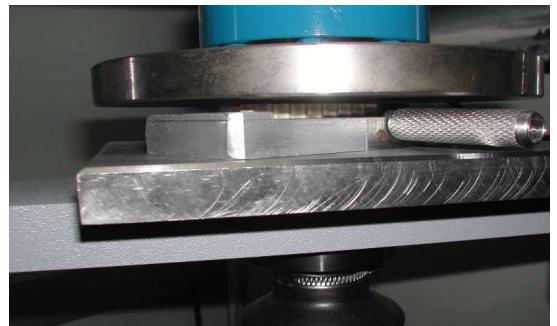


Figura C.11. CCT



Figura C.12. SCT

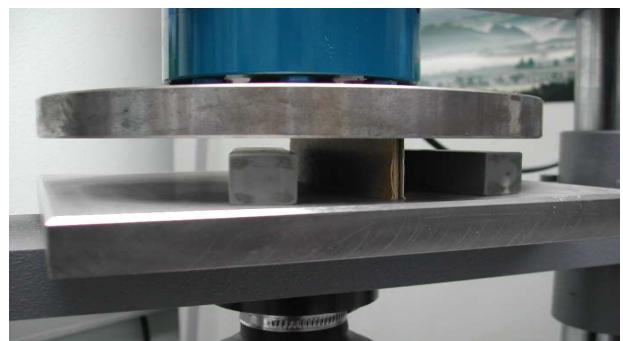


Figura C.13. ECT



Figura C.14. FCT



Figura C.15. BCT

C.3. Ensayos de tracción



Figura C.16. TSI y TSO



Figura C.17. Tracción



Figura C.18. Estallido y PET

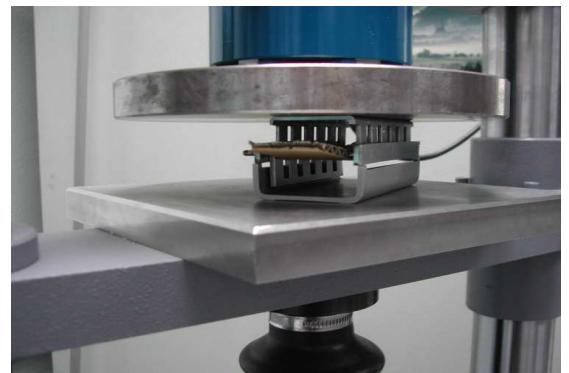


Figura C.19. PAT



Figura C.20. ZDTS



Figura C.21. Ply bond



Figura C.22. Pestañas

C.4. Ensayos de flexión



Figura C.23. Rigidez Tabber



Figura C.24. Flexión a cuatro puntos



Figura C.25. Korutest

C.5. Ensayos generales



Figura C.26. Color y blancura

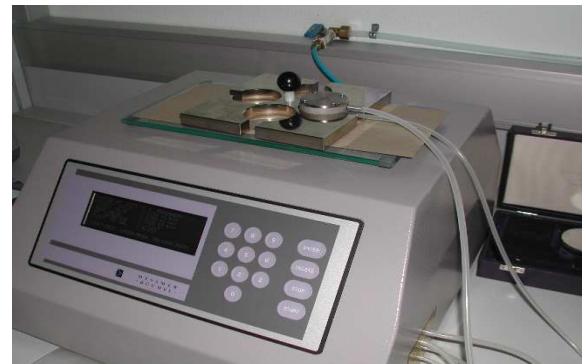


Figura C.27. Rugosidad Bendtsen



Figura C.28. Manchas



Figura C.29. Rugosidad microscopio



Figura C.30. Mottling



Figura C.31. IGT



Figura C.32. COBB

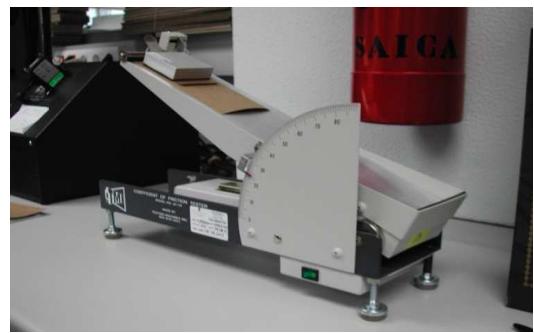


Figura C.33. Ángulo de deslizamiento



Figura C.34. EMCO



Figura C.35. Precintos y COF



Figura C.36. Ángulo de contacto y penetración