

CURVA DE REFINACIÓN Y PUNTO ÓPTIMO EN EL
REFINADOR DE FIBRA LARGA

LAURA DANIELA VALENCIA POLO

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
MEDELLÍN
2019

Tabla de contenido

1	Resumen.....	3
2	Introducción.....	4
3	Objetivos	6
4	Marco Teórico	7
5	Metodología	11
6	Resultados y análisis.....	15
7	Conclusiones.....	25
8	Referencias Bibliográficas.....	26



CURVA DE REFINACIÓN Y PUNTO ÓPTIMO EN EL REFINADOR DE FIBRA LARGA.

1 Resumen

En Papelsa se produce papel liner y corrugado a partir de materia prima reciclada. En la producción de papel la pulpa presenta fibras largas y cortas que se ve influenciado principalmente por el tipo de materia prima alimentada al proceso, cada una de ellas debe pasar por un proceso de refinación con potencias específicas diferentes. Para el caso de la fibra larga, se debe realizar una refinación mayor para garantizar las propiedades, por el contrario, la fibra corta debido al tamaño es más propensa a dañarse provocando corte en las fibras por lo que requiere una menor refinación. Este proceso consiste en realizarle un tratamiento mecánico a la fibra con el fin de aumentar el área de superficie para que posteriormente se adhieran entre sí por el efecto de los químicos aplicados. Sin embargo, un exceso de refinación no solo afecta el consumo de energía, si no que altera las propiedades del papel ocasionando que se disminuyan las resistencias debido al acortamiento de las fibras. Debido a esto, se modificó la potencia específica y se tomaron muestras tanto a la salida como a la entrada del refinador de fibra larga, el cual es un equipo que cuenta con doble disco, uno fijo y otro rotatorio. A dichas muestras se le realizaron pruebas de control como el freeness que indica el nivel de tratamiento mecánico que se ha aplicado a la pulpa, el potencial Z, el cual mide la carga superficial de la fibra y la demanda de carga que brinda información sobre la cantidad y la naturaleza de los coloidales presentes en el agua. Adicionalmente, se formaron las hojas de mano y se le realizaron pruebas de resistencias para observar la variación de las propiedades con el fin de cumplir las especificaciones de calidad.

Se tuvo en cuenta diferentes factores presentes en el proceso entre los que se destacan no solo la alimentación de materia prima, sino también la consistencia a la entrada del refinador, el desgaste de los discos ya que, a mayor desgaste, mayor debe ser la potencia específica en el refinador para generar las mismas propiedades en el papel comparándolo cuando se hace uso de platos nuevos, entre otras. Los resultados obtenidos no proporcionan información contundente para obtener el punto óptimo de refinación, a pesar de esto, se pudo realizar la curva de refinación y se encontró que para los liners alimentando como materia prima bodega y DCP el punto óptimo es mayor o igual a 50 KW-h/t. Para el papel CM086 se logró encontrar que, cuando se alimenta 100% materia prima DCP el punto óptimo de refinación es igual o mayor a 55 kW-h/t y finalmente el rango de operación óptimo para el papel CM066 es mayor a 60 kW-h/t y menor a 70 kW-h/t de potencia específica.

2 Introducción

En la planta molino Papelsa se producen diferentes tipos de papel liner L30, L47 y LMP20 (papel liso, utilizado en la parte exterior e interior de las cajas) y corrugado CM066 y CM086 (papel que se usa en medio del papel liner) a partir de materia prima reciclada, que puede ser bodega, la cual hace referencia al cartón que trae la recicladora a nivel nacional o DCP que son los desperdicios de los corrugadores cuando las cajas son rechazadas por temas de calidad, por lo tanto, este material no ha sido maltratado ni expuesto a condiciones extremas. El número presente en la nomenclatura de cada tipo de papel hace referencia a la resistencia en libra fuerza que debe tener como mínimo al realizarle las pruebas de CFC y ring crush, según el tipo de papel, en caso de que se presente lo contrario, debe ser rechazado y enviado a batidores, es decir, recircularlo al proceso.

Durante la producción la pulpa presenta fibras largas y cortas en proporciones establecidas según la alimentación, las cuales deben pasar por un proceso de refinación con el fin de generar más presencia de cargas negativas en ellas aumentando el área de superficie para que puedan adherirse entre sí con ayuda de agentes externos (químicos) y mejorar la resistencia sin excederse para evitar la retención de humedad y permitir la formación de papel posteriormente.

Actualmente, el proceso de refinación no se encuentra estandarizado y se realiza de manera empírica ya que de acuerdo con las pruebas de resistencias que se le realizan a papel una vez finalizado el proceso, las cuales son llevadas a cabo en el laboratorio de calidad, se decide aprobar o rechazar el reel y se toma la decisión de aumentar o disminuir el refinado para que el papel cumpla con las especificaciones. La refinación es modificada sin identificar hasta qué punto se empieza a dañar la fibra o desperdiciar energía en el proceso. Para determinar el grado de refinación de la fibra, se realiza el método freeness el cual mide la drenabilidad de la pulpa y debe estar en un rango específico que varía para cada tipo de papel.

Debido a que la refinación se define como los KW/ton de papel es importante obtener el punto óptimo de refinación, ya que no solo garantiza la calidad del papel haciendo que cumpla con las propiedades necesarias y evitando el rompimiento de la fibra, sino también un mejoramiento en el proceso puesto que genera un ahorro energético, debido a que la

refinación es una de las etapas con mayor consumo energético en este tipo de industrias.

Por lo mencionado anteriormente y con el fin de analizar y encontrar valores adecuados para la refinación, se toman muestras a la entrada y a la salida del R6 cuando se estaba produciendo L47 y LMP20 y corrugado medio (CM066, CM086) realizando variaciones en la potencia específica del refinador R6 el cual es el refinador de fibra larga; a ambas muestras se les realizan pruebas de control y de calidad para observar la variación de las propiedades al cambiar el posicionamiento de los platos.



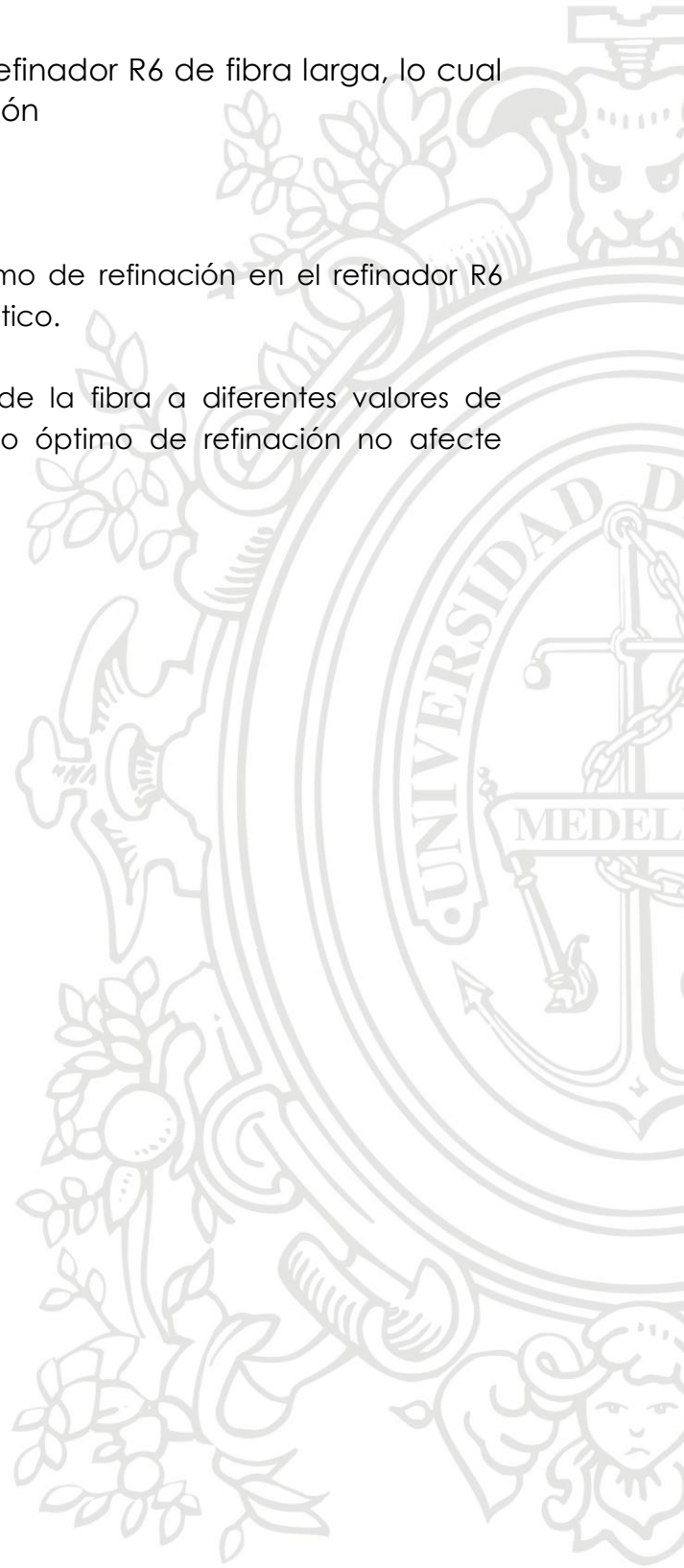
3 Objetivos

Objetivo general

Determinar la curva de refinación para el refinador R6 de fibra larga, lo cual permite obtener el punto óptimo de refinación

Objetivos específicos

- Realizar la identificación del punto óptimo de refinación en el refinador R6 que garantice el menor consume energético.
- Analizar y determinar las propiedades de la fibra a diferentes valores de refinación para garantizar que el punto óptimo de refinación no afecte negativamente la calidad del papel



4 Marco Teórico

Las cajas de cartón son ampliamente usadas debido a su resistencia y precio, comúnmente están conformadas por una capa de papel liner, seguida del papel corrugado y finalmente una segunda capa de papel liner; este conjunto debe contar con propiedades específicas que garanticen su resistencia y las condiciones de acuerdo con el uso.

Una vez el papel haya pasado por el proceso de secado y antes de enviarlo a los corrugadores que es donde se realizan las cajas que posteriormente se envían a los clientes, se le realizan diferentes pruebas entre las cuales se destacan las pruebas de resistencia.

Las pruebas de resistencia CFC y CMT se llevan a cabo solo para papeles corrugados. La primera de ellas evalúa la capacidad del medio corrugado para contribuir a la resistencia a la compresión de una caja corrugada, se mide a una tira de corrugado medio ondulada en dirección paralela a las flautas. El CMT da información sobre la resistencia al aplastamiento y provee una forma de estimar la resistencia potencial al aplastamiento horizontal a una tira de corrugado medio ondulada.

La prueba de ring crush por el contrario es realizada para papel liner y se utiliza para determinar la resistencia al aplastamiento del anillo de una tira de papel formada en un anillo con una longitud y anchura estandarizadas. Las cajas de papel se someten con frecuencia a cargas que pueden soportar por su resistencia a la compresión, lo que hace de esta propiedad una medida importante de las características de rendimiento de la caja de cartón y es útil para controlar el proceso de fabricación y medir la calidad del producto terminado.

Las otras pruebas que se analizaron son aplicables a todo tipo de papel. La prueba de resistencia al aire determina la porosidad en el papel de acuerdo con el método Gurley, da indicios del grado de refinación de la fibra. Es el modelo más popular y tradicional para la medida de la porosidad y permeabilidad al aire en materiales de valores medios. (DAEP, n.d.)

Tensil mide la resistencia a la tracción, es decir, la capacidad que tiene el material para mantener su integridad cuando está bajo tensión. Las muestras se cortan a los anchos prescritos, se sujetan y se tiran al punto de ruptura (APPLIED PAPER TECHNOLOGY, 1935).

La prueba de Mullen se emplea para medir la resistencia al estallamiento o a la perforación de un papel. (eskarton, n.d.). 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 al estallido del corrugado ("Métodos e instrumentos de prueba para el Cartón Corrugado," n.d.)

La prueba de compresión de corto alcance (SCT) determina la resistencia a la compresión del papel, debido a que solo se utiliza una longitud muy corta de papel en la prueba, se tiene más en cuenta la parte de fibra del material que soporta la carga que con los métodos de prueba tradicionales (prueba de aplastamiento en anillo, prueba de aplastamiento corrugado o prueba de aplastamiento lineal) por esta razón, la determinación de la resistencia a la compresión ahora se ha establecido como una alternativa a la prueba de aplastamiento del anillo (Zwick Roell, n.d.).

Para permitir una buena adherencia entre las fibras y mejorar la resistencia en el papel, se hace uso de dos químicos importantes en el proceso. El almidón catiónico ayuda a enlazar la pulpa que al igual que las fibrillas producidas en la refinación son de carga negativa, por lo tanto, genera una mayor adherencia entre sí. El otro químico usado es el X, que hace las veces de retención y drenaje, resistencia en seco y barredor de carga, ya que se adhiere a la basura y la enlaza con el papel para no saturar las aguas que son recirculadas en el proceso.

La refinación por su parte es una etapa fundamental en los procesos papeleros, en el cual se realiza un tratamiento mecánico de las fibras de pulpa para obtener modificaciones en su morfología; esto confiere propiedades especiales al papel que fueron mencionadas anteriormente debido a la formación de enlaces interfibrilares (fibra-fibra) que potencian los mecanismos de cohesión entre estas. Se debe tener en cuenta que estas características dependen del tipo de fibra y de las propiedades iniciales físicas y químicas (Cadena, 2008).

Al realizar el proceso de refinación, se presentan diferentes fenómenos, el primero de ellos es la fibrilación externa, efecto que se presenta solo en suspensiones de agua (Johansson, n.d.), en el cual el área superficial se incrementa por la liberación de fibrillas, siendo este uno de los principales efectos primarios de la operación de refinado que se produce por la eliminación parcial de las paredes externas de la fibra, lo que a su vez permite la penetración del agua en el interior de está provocando una fibrilación interna (Cadena, 2008), las fibrillas externas volverán a la superficie de la fibra en el proceso de secado. El segundo fenómeno que se presenta es la fibrilación interna que conduce a un incremento de flexibilidad a partir de la rotura de la estructura en capas más delgadas (delaminación), la acción posterior implica la liberación de las fibrillas y la producción de

microfibrillas en la superficie de las fibras, aumentando así la superficie específica de las fibras refinadas, otro fenómeno que puede ocurrir y que no es deseable es el posible acortamiento de las fibras (o corte) ya que provoca un menor drenaje, una pérdida de resistencia y contaminación del agua del proceso. Este último fenómeno está influenciado por las guarniciones en los refinadores, algunos equipos favorecen más la fibrilación que el corte, mientras otros, por ejemplo, los cónicos más el corte que la fibrilación (J. Soza, n.d.).

El refinador utilizado para otorgarle dichas propiedades al papel es de doble disco. La pasta de fibra llega a la carcasa del refinador a través del tubo de entrada y se distribuye uniformemente entre ambos resquicios de molido y lo atraviesa de dentro hacia afuera para luego ser refinada entre un conjunto de plato fijo y otro giratorio. Una vez tratada la pasta sale de la carcasa por la tubería de salida.

Los platos utilizados son de 42, uno de ellos rota sobre su propio eje y el otro se desplaza de manera perpendicular a la pulpa, es decir, acercándose o alejándose del otro plato de acuerdo con la potencia específica dada. Un factor importante es el desgaste de los platos, ya que es necesario aumentar la potencia específica cuando se utilizan platos usados para otorgarle las mismas propiedades al papel que si se usaran platos nuevos. El desgaste de platos se puede identificar con el gap, el cual mide constantemente la distancia entre ellos. Reporta continuamente la ubicación del plato fijo iniciando en cero (0) al momento de la calibración, por lo tanto, proporciona no solo información sobre la apertura de los platos, sino también da el valor del desgaste de los platos, ya que, a la misma potencia específica estos deben unirse más.

La pulpa a medida que se refina disminuye la drenabilidad, por lo tanto, va presentando un menor freeness (Papel & Propiedades, n.d.). Este es un análisis cuantitativo e indica el nivel de tratamiento mecánico que se ha aplicado a la pulpa (Zanuttini et al., 2006), da una medida de la velocidad a la cual una suspensión diluida de pulpa se puede drenar. Se ha demostrado que la libertad, o tasa de drenaje está relacionado con las condiciones de la superficie e hinchazón de las fibras (The, Time, & The, 1999). Además de estos factores, el resultado depende también de las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la prueba, como la alimentación, la consistencia y la temperatura, por esto el CSF (freeness) debe ser corregido por estas dos últimas variables. Cabe resaltar que una baja drenabilidad puede ser un limitante en la formación de papel ya que no se podría aumentar velocidad en la sección de secado y disminuiría la productividad.

Por otro lado, el potencial Z mide la carga superficial de la fibra, la medida está dada en mV. Cuando esta variable es muy alta, es decir, cercana a cero no hay buena adherencia entre las fibras y los químicos no se depositan sobre ellas.

La demanda de carga indica la cantidad y la naturaleza (aniónica o catiónica) de los coloidales presentes en el agua. Si la demanda es mayor a cero se presenta floculación, lo que hace que en los tanques de almacenamiento la pulpa quede suspendida y las bombas reciban mayor cantidad de agua y se presente el fenómeno de papel arrebatado, es decir, la pulpa no quede esparcida uniformemente y se presentan grumos en el papel. Si por el contrario la demanda de carga es menor de -200 la basura aniónica compite por los químicos.

Otro factor importante para el análisis es el tipo de materia prima, ya que determina que tanto o no se debe refinar, puesto que un papel más limpio, lo que significa que la fibra no ha sido sometida a condiciones extremas, requiere menos refinación ya que todavía proporciona una calidad buena tanto de fibra larga como de corta lo que se traduce a una mejor resistencia en el papel, por lo que la formación de la hoja se realiza de forma adecuada.

5 Metodología

Inicialmente, con el fin de determinar los rangos para realizar la variación de la potencia específica para cada tipo de papel estudiado, se consultó el histórico de valores de refinación. Conociendo lo anterior, en el laboratorio de control procesos se modificó el set point de potencia específica en el refinador 6 solamente durante 10 minutos para no afectar de manera considerable el proceso y no comprometer la calidad del reel.

Cuando el set point llega al valor deseado, se tomó muestra de pulpa tanto a la entrada como a la salida del refinador.

Una parte de cada muestra se utilizó para realizarle pruebas en el laboratorio de control procesos de freenes, el equipo usado para la medición de esta prueba está certificado por la norma TAPPI y consiste en una cámara de drenaje y un embudo de medición de tasa 1, montado en un soporte. La cámara de drenaje es un cilindro, cuyo fondo contiene una placa de malla de latón perforado y está cerrada con una tapa hermética. El extremo superior del cilindro está cerrado por una tapa similar y tiene insertada una llave de aire en el centro de la tapa superior para admitir aire (The et al., 1999). Para esta prueba se tomaron 100 ml de pulpa y se completó con agua en una probeta de 1 L. Una vez homogenizada la mezcla, se le registró la temperatura y se llevó al equipo de medición; en el cual se abrió la tapa inferior, se dejó drenar sin inyectar aire y se midió el volumen de agua que deja pasar la fibra por la descarga lateral del embudo. Para determinar la consistencia se abrió el flujo de aire para retirar el exceso de humedad a la pasta que queda formada en la malla, se dejó secar en una plancha hasta que estuviera totalmente seca e inmediatamente se pesó.

La demanda de carga es otra de las pruebas que se realizó en el laboratorio de control procesos, para esto se filtró la muestra y se tomaron 10 ml del líquido que se generó en este procedimiento y se llevó al equipo, el cual registra el valor automáticamente.

Las pruebas de conductividad y potencial Z se realizaron en un mismo equipo, se tomó la muestra completa y el equipo succiona parte de esta y registra el valor.

El resto de la pulpa se llevó al laboratorio de ambiental y allí se realizaron 8 hojas de mano para cada sección de donde se tomó la muestra (antes y después de R6). Este procedimiento consistió en diluir 500 ml de pulpa en 1.5 L de agua para conseguir una consistencia de aproximadamente 1,3% y 1,5%, se homogeniza la mezcla y una vez realizado esto se tomaron 100ml

que se llevaron al equipo de formadora de hojas, este equipo cuenta con dos válvulas de paso de agua y vacío. El cilindro de la formadora de hoja se llenó de agua hasta la altura mostrada en él, se agitó con el fin de que la hoja quede formada de manera correcta, es decir, sin grumos en la malla del fondo del equipo, el agua se retiró inmediatamente accionando la válvula de vacío, luego se eliminó el exceso de humedad con un rodillo y papel absorbente y se ponen sobre un espejo. Una vez estén formadas todas las hojas y dispuestas en los espejos, se llevaron a una prensa para que el proceso de secado sea más rápido y se dejaron secar 24 horas al ambiente.

Todas las hojas fueron llevadas al laboratorio de calidad con el fin de acondicionarlas a 23°C y 50% de humedad relativa durante 8 horas según la norma TAPPI (Method, Practice, & The, 2012) y allí se realizaron las pruebas de resistencia, ring crush exclusivamente para las muestras que se tomaron cuando se estaba produciendo liner; CFC y CMT solo para corrugados medios y las pruebas de resistencia a la tensión, resistencia al aire, mullen y SCT para cada una de las muestras.

Para todas las pruebas es necesario tener unas medidas exactas para las muestras excepto para la prueba de resistencia al aire y mullen. Para las pruebas de ring crush, CFC y CMT el ancho de la muestra debe ser de 12,7mm y de largo 152,4mm. Por otro lado, para la muestra de SCT no es necesario tener un largo específico, sin embargo, el ancho es importante y debe ser de 15 mm y finalmente la prueba de tensil debe tener un ancho de 15 mm al igual que la anterior y un largo mínimo de 10 cm. En la ilustración 1 se observa la distribución de la hoja de mano para las pruebas de resistencia.



Ilustración 1. Corte para las pruebas de resistencia

La prueba ring crush se ejerce una fuerza de compresión sobre una muestra que se ubicó en forma de anillo sobre un soporte especial para muestras y se colocó entre dos platos de una máquina de compresión, haciendo que la platina accionada se acerque a la platina rígida a una velocidad uniforme hasta que la muestra se derrumba (Frank, 2007) y se registró el valor.

Para realizar las pruebas CFC y CMT las muestras se pasaron por el equipo ondulator, inicialmente el equipo se calentó hasta alcanzar una temperatura de $177 \pm 8^{\circ}\text{C}$ y se introdujo la muestra en la parte superior para que entre en contacto con los discos calientes y forme la flauta. Para la prueba de CFC, la muestra inmediatamente después de que salió del ondulator se ubicó sobre el portamuestras que consiste en una mordaza ondulada la cual hace presión por medio de una palanca y se introdujo en la máquina de compresión, la cual realiza el mismo movimiento explicado en la prueba de ring crush y se registró el valor para cada una. Para el caso de la prueba de CMT, el procedimiento que se realizó es similar al mencionado anteriormente, sin embargo, el portamuestra en este caso consta de una base sobre la cual se ubicó la muestra y sobre ella se colocó el peine, se sostuvo la muestra con cinta adhesiva, se retiró el peine sin dañar las ondas de la pieza de ensayo y se llevó al equipo de compresión.

La prueba de resistencia al aire consiste en medir en segundos el tiempo que se demora en pasar el aire a través de la muestra en un espacio de 100 cm^3 aplicando una presión de 1.22 kPa por medio de una fuerza de gravedad generada por la caída controlada de un cilindro. La presión de aire es producida por un cilindro interno de un diámetro específico y de un peso normalizado, que flota libremente dentro de otro cilindro externo parcialmente relleno con aceite que actúa como sellante del aire. La muestra del material a ensayar se sujetó mediante unas placas de apriete.

Para llevar a cabo la prueba de resistencia a la tensión (Tensil), las muestras se cortaron con el ancho mencionado anteriormente, cada una se insertó en los agarres superior e inferior y el equipo aplica la fuerza hasta el punto de ruptura ("TAPPI T494 Paper and Paperboard Tensile Testing - ADMET," n.d.). Se modificaron los parámetros del equipo para aumentar la sensibilidad.

SCT la muestra de papel se coloca entre dos mordazas con una longitud libre de sujeción de $0,7\text{ mm}$. Cuando las mordazas se acercan entre sí, se reduce la longitud y se incrementan las tensiones en la tira ("Capítulo 4 Medición de la fuerza de compresión en el plano del liner y del fluting," n.d.).

Mullen la muestra de papel se colocó entre dos abrazaderas en forma de anillo en un dispositivo llamado probador Mullen y se usa presión hidráulica

para inflar un diafragma de goma que se expande contra la muestra que lo estira. La medida de la presión hidráulica total que expande el diafragma en el momento en que se rompe la muestra es su resistencia a la rotura.

Una vez realizadas todas las pruebas a las muestras, se organizaron los datos, se toma un promedio de las pruebas y se analizaron teniendo en cuenta la diferencia que existe entre el valor antes de refinación y después.



6 Resultados y análisis

Los resultados de las pruebas de resistencia realizadas a cada uno de los tipos de papel se reportan como la diferencia entre la prueba antes de refinación y después, por esta razón, algunos de los resultados toman valores negativos y de magnitud pequeña, lo cual quiere decir que el tratamiento mecánico realizado (refinación) no tuvo efecto sobre las fibras y debido a esto las propiedades de resistencia no presentaron mejoría. Adicionalmente, las pruebas CFC, CMT y ring crush consideran el peso de la muestra, debido a esto, al analizarlas se pesaron y se realizó una relación con el peso para evitar que este factor fuera influyente en las mediciones. Los resultados obtenidos para el L47, LMP20, CM066 y CM086 se presentan en la tabla 1, tabla 2, tabla 3 y tabla 4 respectivamente.

Tabla 1. Resultados de las pruebas de resistencia para L47

L47						
Potencia específica	Ring crush (lbf)	Resistencia al aire (seg/100cc)	Mullen (lbf/pulg ²)	SCT (kN/m)	Resistencia a la tensión (N/15mm)	Gap (mm)
45	-0,456	4,950	-0,458	-0,228	-0,458	4,9
50	4,297	9,225	11,963	0,138	11,963	4,9

Tabla 2. Resultados de las pruebas de resistencia para LMP20

LMP20						
Potencia específica	Ring crush (lbf)	Resistencia al aire (seg/100cc)	Mullen (lbf/pulg ²)	SCT (kN/m)	Resistencia a la tensión (N/15mm)	Gap (mm)
40	1,515	8,717	-5,235	-0,018	-5,235	7,3
45	1,989	5,400	4,453	0,045	4,453	7,3
50	2,121	9,400	7,661	0,170	7,661	7,3

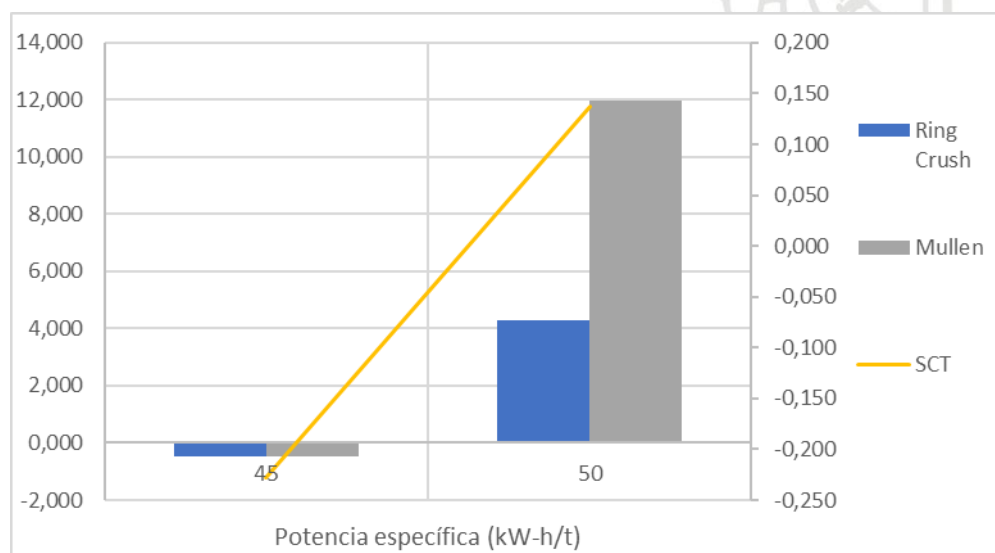
Tabla 3. Resultados de las pruebas de resistencia para CM066

CM066								
Potencia específica	CFC (lbf)	CMT (lbf)	Resistencia al aire (seg/100cc)	Mullen (lbf/pulg ²)	SCT (kN/m)	Resistencia a la tensión (N/15mm)	Gap (mm)	Formulación
60	3,095	-0,033	5,900	3,040	0,092	16,610	5,2	Bodega - DCP
65	3,835	4,125	12,375	-0,701	0,293	-3,323	5,2	Bodega - DCP
70	3,778	1,175	12,475	-0,125	0,183	13,113	7,6	Bodega
75	3,657	0,150	18,475	3,225	0,177	13,845	7,2	Bodega - DCP

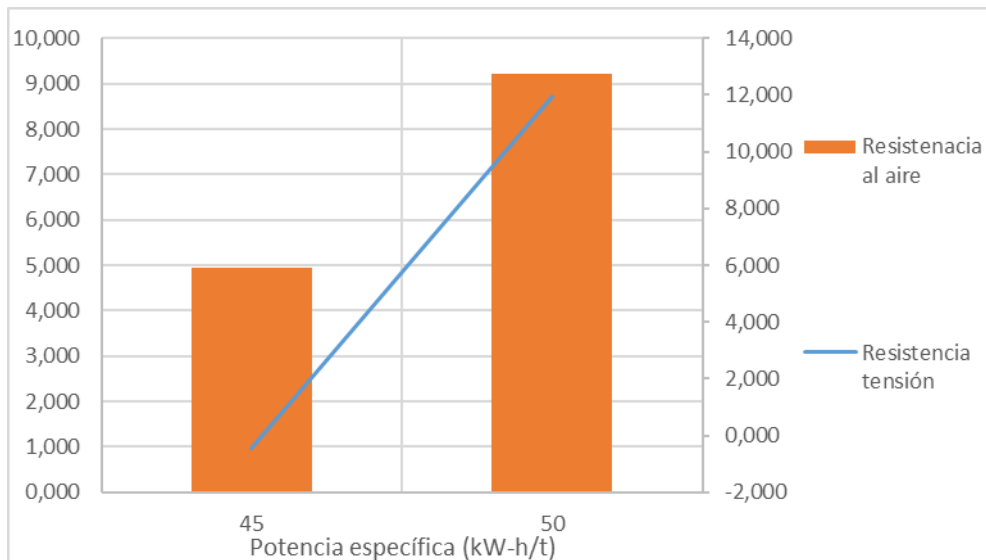
Tabla 4. Resultados de las pruebas de resistencia para CM086

CM086								
Potencia específica	CFC (lbf)	CMT (lbf)	Resistencia al aire (seg/100cc)	Mullen (lbf/pulg ²)	SCT (kN/m)	Resistencia a la tensión (N/15mm)	Gap (mm)	Formulación
50	1,119	1,875	6,100	5,450	0,055	10,680	6	DCP
55	5,492	4,775	6,900	8,750	0,290	13,907	6,1	DCP
65	5,447	2,300	10,242	3,498	0,183	4,606	6,1	Bodega - DCP
70	2,475	-1,717	9,525	4,325	0,118	5,220	8,6	Bodega
75	6,267	3,480	19,033	8,875	0,230	16,355	7,6	Bodega
75	1,675	0,400	7,350	3,975	0,100	2,308	8,6	Bodega

En el papel L47 se tomaron dos muestras con la misma formulación y con variables similares de consistencia, porcentaje de fibra larga y dosificación de químicos, por lo tanto, es posible comparar los resultados y se observa en la gráfica 1 que al aumentar en solo 5 unidades la potencia específica, las propiedades del papel aumentaron considerablemente. A 45 KW-h/t de potencia específica las propiedades del papel no se desarrollan completamente como se puede observar en esta misma gráfica. En alguno de los casos las propiedades dan valores similares a la muestra tomada antes de refinar, por lo que el tratamiento mecánico no tuvo un efecto significativo en la pulpa.



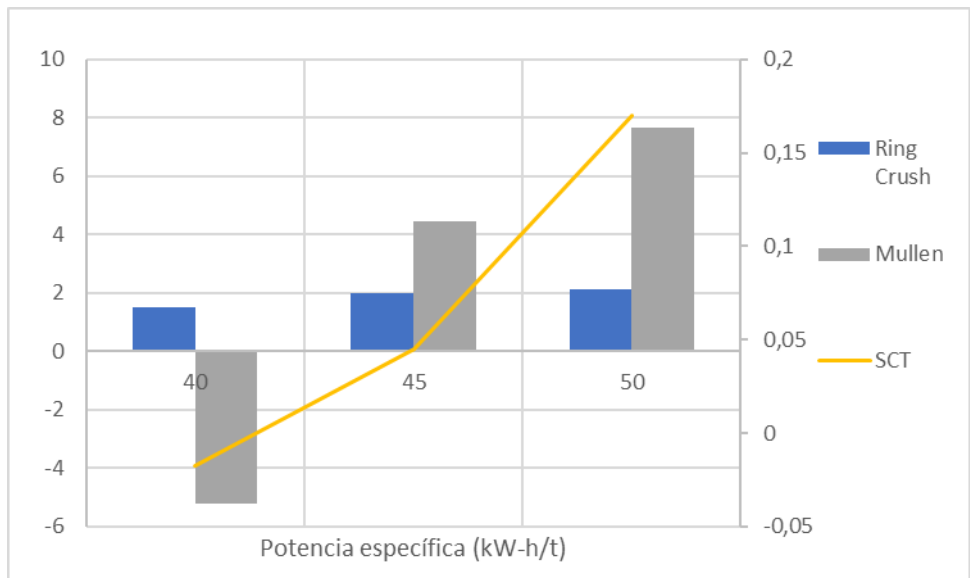
Gráfica 1. Comparación de las pruebas de resistencia de ring crush, mullen y SCT a 45 y 50 kW-h/t de potencia específica para L47.



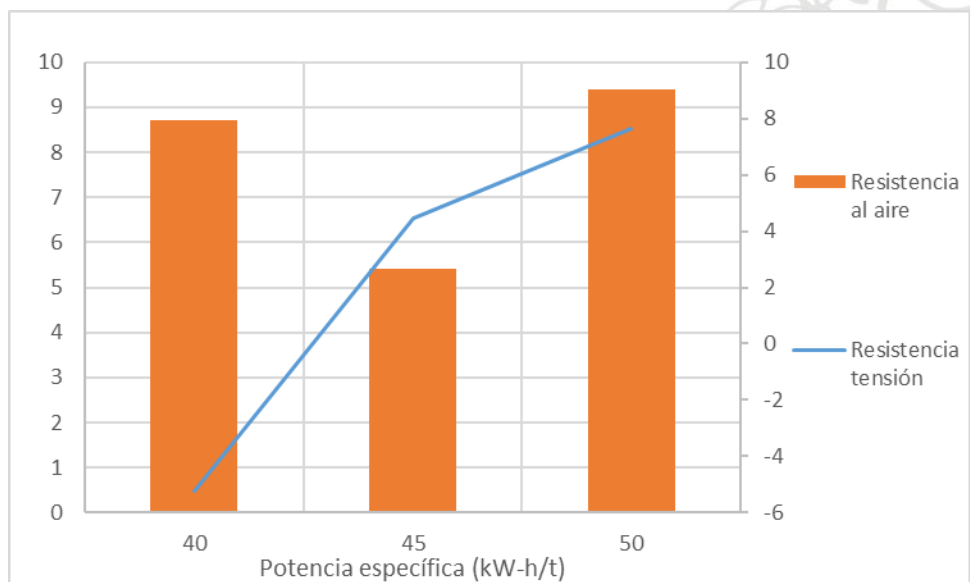
Gráfica 2. Comparación de las pruebas de resistencia al aire y a la tensión a 45 y 50 kW-h/t de potencia específica para L47.

Estos resultados dan indicios de que el punto óptimo para el completo desarrollo de la fibra es mayor o igual a 50 KW-h/t de potencia específica, además, se debe tener en cuenta que el gap se mantuvo constante por lo tanto las muestras no son afectadas por esta variable.

Para el papel LMP20 con una formulación de bodega y DCP se realizaron pruebas a 40, 45 y 50 KW-h/t y se observan en la gráfica 3 y 4 la tendencia esperada, ya que a menor refinación la fibra tiene un menor desarrollo de sus propiedades y por lo tanto puntajes más bajos en todas sus pruebas de resistencia, el parámetro de desgaste de los platos se mantuvo constante ya que estas pruebas se sacaron el mismo día. Debido a que a 50 KW-h/t la fibra aun no presenta disminución en sus propiedades, se espera que el punto óptimo de refinación sea mayor o igual a este valor de potencia específica.

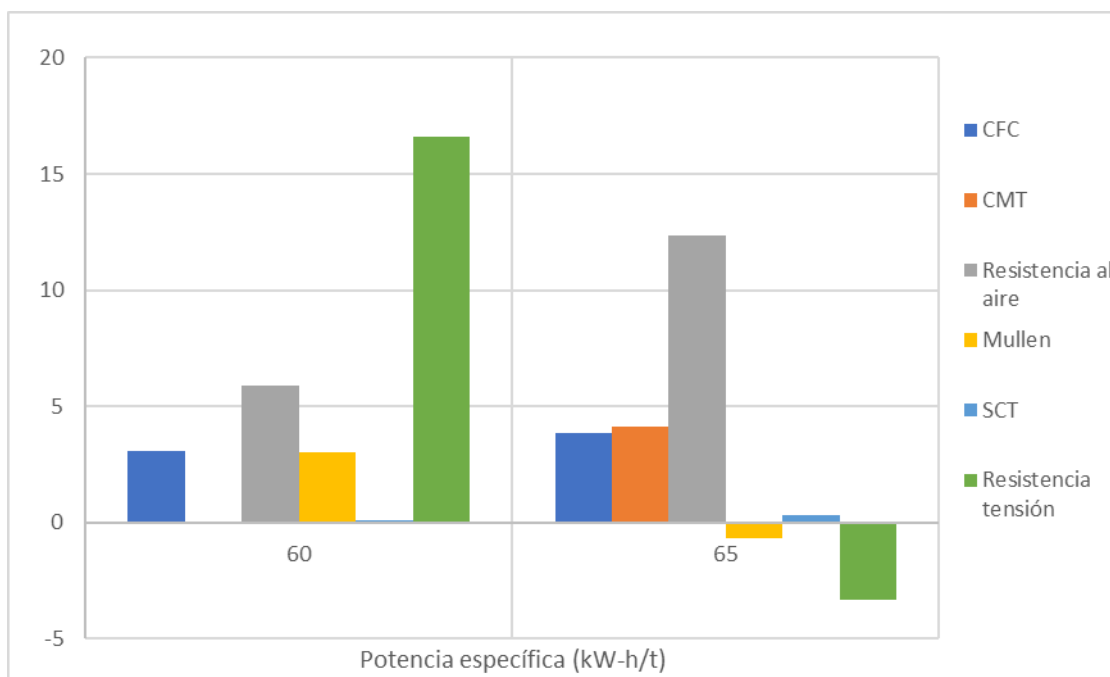


Gráfica 3. Comparación de las pruebas de resistencia de ring crush, mullen y SCT a 40, 45 y 50 kW-h/t de potencia específica para LMP20.



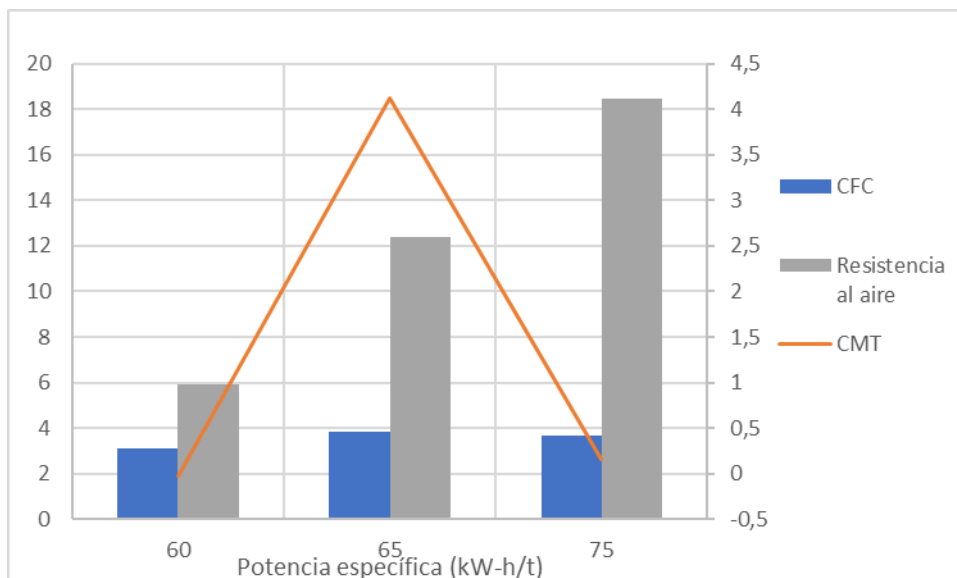
Gráfica 4. Comparación de las pruebas de resistencia al aire y a la tensión a 45 y 50 kW-h/t de potencia específica para LMP20.

Respecto al análisis del papel CM066 se debe tener en cuenta que las pruebas se realizaron con diferente formulación, por lo tanto, se analizan por separado. Dos de ellas tienen la misma proporción de bodega y DCP con el mismo valor del gap y se observa en la gráfica 5 que las propiedades de resistencia aumentan a mayor potencia específica.

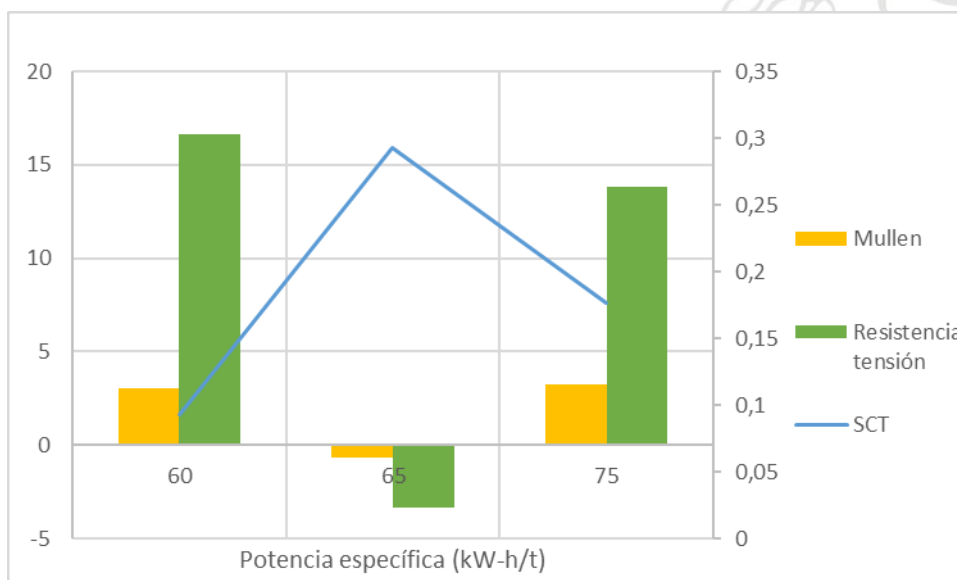


Gráfica 5. Comparación de todas las pruebas de resistencia a 60 y 65 kW-h/t de potencia específica para CM066

Adicionalmente, se analizaron las muestras que tiene una formulación similar a las anteriores como lo es la muestra tomada a 75 kW-h/t que tiene una formulación de bodega y DCP con menor porcentaje de DCP que las anteriores, por lo tanto, se comparan las tres pruebas entre sí y se observan en las gráficas 6 y 7 que a 75 KW-h/t de potencia específica las propiedades de resistencia en el papel disminuyen. Debido a que la formulación utilizada para esta muestra es con menos cantidad de DCP, es decir, que requiere más refinación para obtener el adecuado desarrollo de la fibra, se podría pensar que aún no se han desarrollado y que se requiere aumentar potencia específica.



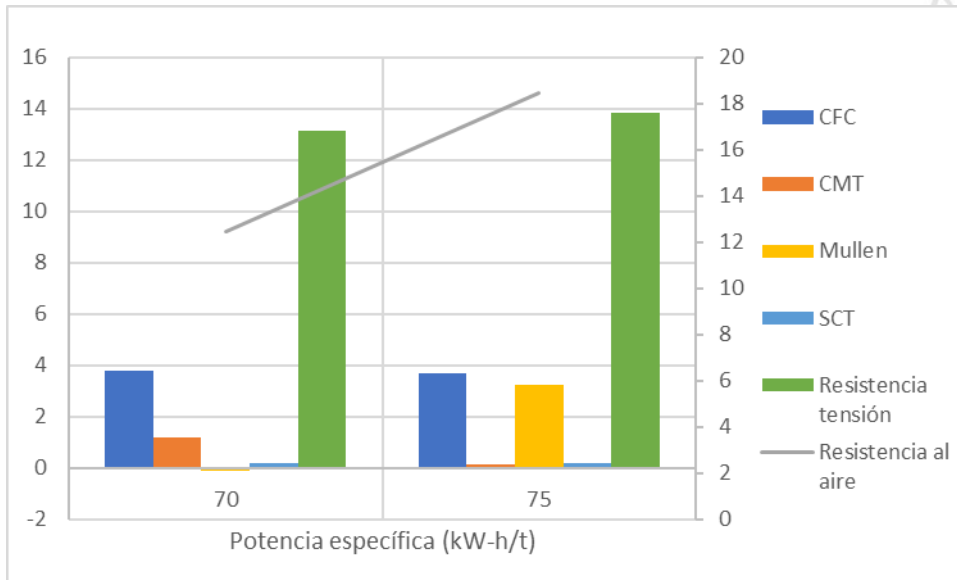
Gráfica 6. Comparación de las pruebas de resistencia de CFC, CMT y resistencia al aire a 60, 65 y 75 kW-h/t de potencia específica para CM066



Gráfica 7. Comparación de las pruebas de resistencia mullen, SCT y resistencia a la tensión a 60, 65 y 75 kW-h/t de potencia específica para CM066

Para resolver esta inquietud, se decide analizar el material que tiene como alimentación bodega, es decir que requiere más refinación con este comparándolo con la prueba realizada con 75 KW-h/t y alimentación bodega y DCP, el cual es un poco más limpio y se obtiene que a 70 KW-h/t las pruebas de resistencia dan mejores resultados como se presenta en la gráfica 8, es decir, se comprueba que al aplicar 75 KW-h/t de potencia específica, se maltrata la fibra y se estarían produciendo finos, lo cual no es lo ideal en el proceso, adicionalmente, el gap es mayor para la potencia específica de 70, lo que significa que se está refinando menos, entonces, se despeja la duda de que el desgaste de platos sea tan alto cuando se

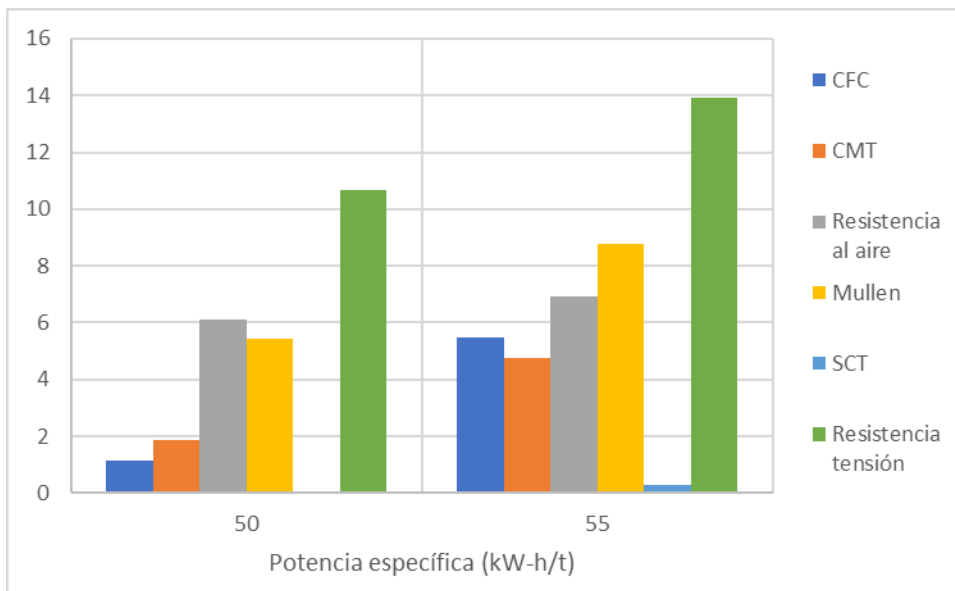
estaba alimentando el papel más limpio y que esta sea la razón por la cual el análisis realizado anteriormente proporcione resultados inferiores en las pruebas de resistencia a 75 KW-h/t. Se tuvo en cuenta la dosificación de almidón catiónico y del químico X y se confirma que son constantes.



Gráfica 8. Comparación de las pruebas de resistencia a 70 y 75 kW-h/t de potencia específica para CM066

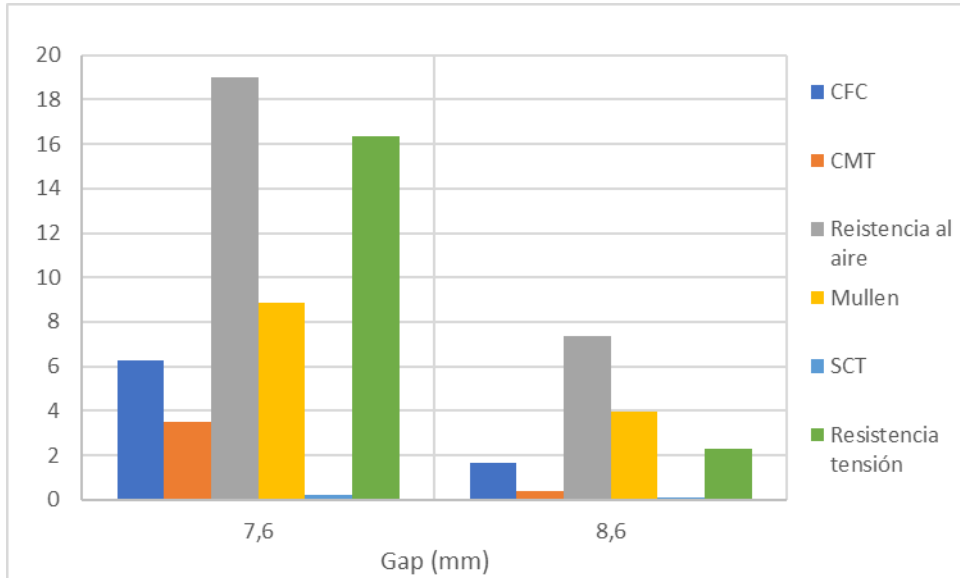
De acuerdo con lo anterior, se podría asumir que el punto óptimo de refinación cuando se está produciendo CM066 a partir de bodega y DCP se encuentra por debajo de 70, teniendo en cuenta un gap de 7,2 mm.

Para el corrugado medio 86, se analizan las propiedades por grupo, inicialmente, para las pruebas que se realizaron con materia prima DCP, además, como estas muestras se tomaron el mismo día, el desgaste de los platos es muy similar, el gap registra una caída de 0,1 mm. se observa en la gráfica 9 que a 50 KW-h/t de potencia específica las propiedades en el papel no se desarrollan completamente ya que a 55 KW-h/t las pruebas de resistencia dan mejores resultados, por lo que se puede decir que el punto óptimo para el CM086 alimentando limpio se encuentra con una refinación mayor o igual a 55 KW-h/t de potencia específica.

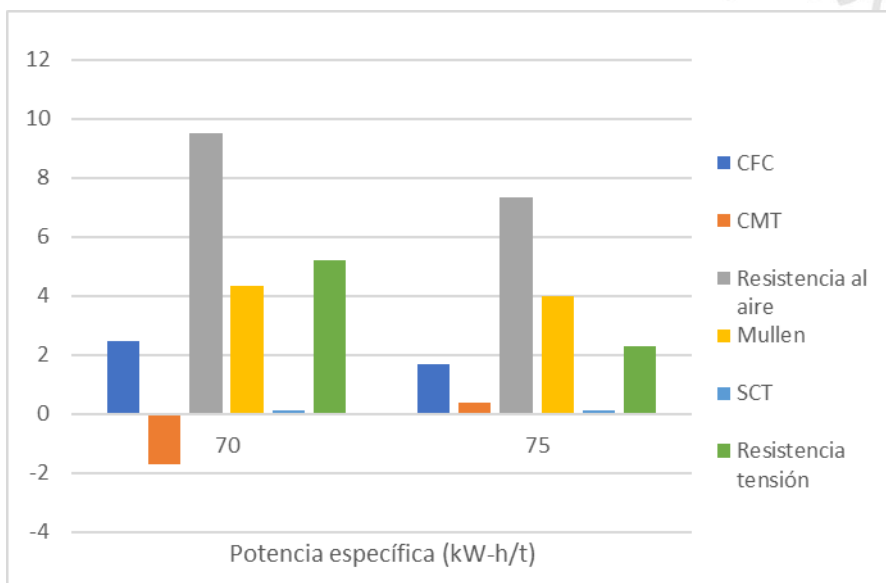


Gráfica 9. Comparación de las pruebas de resistencia a 50 y 55 kW-h/t de potencia específica para CM086

Por otro lado, para determinar la influencia que tiene el desgaste de los platos en la refinación, se analizan la misma potencia específica de 75 con igual alimentación, la cual es bodega y diferencia del gap de 1 mm y se encuentra en la gráfica 10 que las propiedades mejoran considerablemente con un menor gap, es decir que, a 8,6 mm de desgaste se podría pensar que la fibra aún no se ha desarrollado completamente ya que un mayor valor de gap significa menor refinación y aunque se encuentra una inconsistencia en los resultados comparando los resultados a las potencias específicas de 75 y 70 con el mismo gap y alimentación como se observa en la gráfica 11, ya que se presentan mejores pruebas de resistencia a 70, lo que llevaría a pensar que a 75 la fibra ya ha generado gran cantidad de ruptura y por ende menos resistencia, sin embargo, la diferencia entre los resultados no es significativa, por lo tanto, la hipótesis planteada anteriormente con la comparación de la diferencia del desgaste de platos, tendría mayor peso.



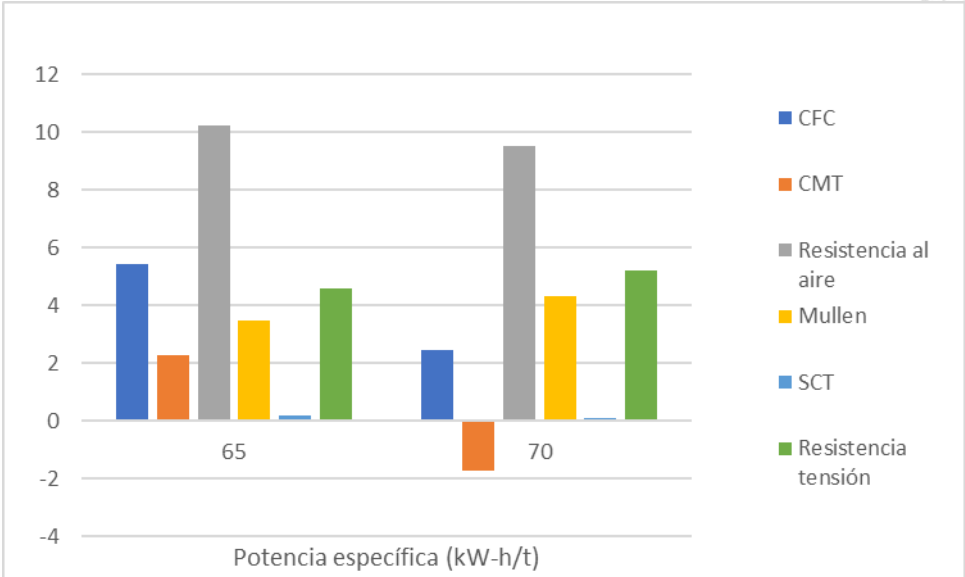
Gráfica 10. Comparación de las pruebas de resistencia a 75 kW-h/t de potencia específica para diferente gap en el CM086



Gráfica 11. Comparación de las pruebas de resistencia a 70 y 75 kW-h/t de potencia específica para CM086

Otro de los análisis realizados en este papel fue comparar la potencia específica de 65 y 70, en el cual los resultados arrojados favorecieron significativamente en dos pruebas (CFC y CMT) a 65 KW-h/t como se aprecia en la gráfica 12. Estas pruebas son las de mayor peso, ya que con estas se decide rechazar o aceptar el papel, sin embargo, la alimentación de ambos ensayos es diferente, el de 65 es más limpio, lo que quiere decir que se refina menos, el otro factor influyente y razón de peso que evita obtener una conclusión frente a esta comparación es el desgaste entre los platos, ya que

en la primera prueba 65KW-h/t el gap tiene un valor de 6,1mm y para 70 KW-h/t el gap es de 8,6mm, lo que significa que ese valor de potencia específica no es en realidad lo que se está presentando en el proceso, sin embargo, no se sabría si a la pulpa se le está realizando un mayor o menor tratamiento mecánico comparado con la potencia específica de 65 KW-h/t y gap de 6,1 mm.



Gráfica 12. Comparación de las pruebas de resistencia a 65 y 70 kW-h/t de potencia específica para CM086

7 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, no fue posible encontrar el punto óptimo de refinación, en el cual la fibra desarrollara todas sus propiedades con el menor consumo energético para cada uno de los papeles. A pesar de ello, se lograron analizar las propiedades de resistencia a diferentes potencias específicas y se encontró que para los liners L47 y LMP20 alimentando como materia prima mayor proporción de bodega y DCP en menor cantidad, el punto óptimo de refinación es mayor o igual a 50 kW-h/t de potencia específica.

Por otro lado, para los corrugados medios no se puede generalizar el valor de potencia específica con los resultados proporcionados por las pruebas, específicamente, para el corrugado medio 66 se logró determinar un rango de operación óptimo mayor a 60 kW-h/t y menor a 70 kW-h/t de potencia específica, en el cual el proceso de refinación no genera corte o ruptura en la fibra y aumenta sus propiedades de resistencia.

Para el papel CM086 se logró encontrar que, cuando se alimenta materia prima DCP el punto óptimo de refinación es igual o mayor a 55, sin embargo, con los resultados obtenidos no se puede asegurar un rango de operación para otro tipo de alimentación.

8 Referencias Bibliográficas

APPLIED PAPER TECHNOLOGY, I. (1935). Tensile , Stretch , TEA, 30067.

Cadena, E. M. (2008). *Estudio del refinado de pastas de papel utilizando métodos biotecnológicos (enzimas)*.

Capítulo 4 Medición de la fuerza de compresión en el plano del liner y del fluting. (n.d.). Retrieved April 8, 2019, from https://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=492:capitulo-4-medicion-de-la-fuerza-de-compresion-en-el-plano-del-liner-y-del-fluting&catid=39:edicion-1&Itemid=18

DAEP. (n.d.). Medidor de porosidad al aire Gurley, 5926.
eskarton. (n.d.). MULLEN Vs. ECT | EsKartón. Retrieved April 8, 2019, from <https://eskarton.com.mx/historias-del-carton-corrugado/mullen-vs-ect/>

Frank, B. (2007). Ring crush of paperboard (rigid support method) (Five-year review of T 822 om-02), 1–8.

J. Soza, R. G. (n.d.). ESTUDIO DE REFINACIÓN DE MEZCLAS DE CELULOSA FIBRA CORTA-FIBRA LARGA EN REFINADOR PILOTO ESCHER WYSS, 1–8.

Johansson, A. (n.d.). Correlations between fibre properties and paper properties.

Method, O. T., Practice, S., & The, T. (2012). Forming handsheets for physical tests of pulp, 1–10.

Métodos e instrumentos de prueba para el Cartón Corrugado. (n.d.). Retrieved April 8, 2019, from http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=522

Papel, F., & Propiedades, D. (n.d.). Formación Fabricación de papel.

TAPPI T494 Paper and Paperboard Tensile Testing - ADMET. (n.d.). Retrieved April 8, 2019, from <https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/tappi-t494-paper-paperboard-tensile-testing/>

The, S., Time, D., & The, S. (1999). Freeness of pulp (Canadian standard method), 1–9.

Zanuttini, M., Mec, P., Pulp, G. W., Mec, P., Presurizada, P., Wood, P. G., ... La, N. (2006). Pulpado de muy alto rendimiento.

Zwick Roell. (n.d.). Compression Test (SCT) Determining Short-Span Compression Strength. Retrieved April 8, 2019, from <https://www.zwickroell.com/en/paper-and-cardboard/paper/short-span-compression-test-sct-test>