



Aplicación de agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29) en el molino 2

Daniela Giraldo Rojas

Informe de práctica empresarial presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniera Química

Asesor interno

Farlán Taborda Agudelo, Ph.D.

Asesor Externo

Andrés Vélez, Director de operaciones y jefe de calidad

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química

Pregrado

Medellín

2023

Cita

(Giraldo Rojas, 2023)

Referencia

Giraldo Rojas, D. (2023). *Aplicación de agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29) en el molino 2*. [Practica empresarial]. Universidad de Antioquia, Medellín.

Estilo APA 7 (2020)



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Lina María González Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico a Dios por ser mi guía en este camino, por darme la fortaleza y la sabiduría para no desfallecer en los momentos de debilidad.

A mis padres y hermana por todo su amor, confianza, paciencia, bondad y apoyo incondicional, lo cual permitió que llegara hasta donde me encuentro hoy en día, ellos son el regalo más apreciado que Dios me dio en esta tierra.

A mis compañeros, en especial a Diana Fajardo por su apoyo y confianza en mi y en lo que podía lograr.

Agradecimientos

Agradezco a la universidad de Antioquia por permitirme crecer personal y profesionalmente, a mis profesores por compartir sus conocimientos de manera concisa y ética, en especial al profesor Farlan Taborda por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido hoy estar aquí. A la empresa Indugevi S.A. por la oportunidad de aprender y poner en práctica los conocimientos adquiridos, a su grupo de profesionales por la disposición para enseñar y guiarme en el mundo de la industria papelera, en especial a Andrés Vélez, Luisa Correa, Sebastián Mora, Andrea Carrillo, Jonathan Correa, Javier Ocampo y Diego Duque de Archroma, así como todo el equipo de planta que me aportaron conocimiento día a día.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Objetivos	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
2 Marco teórico	12
3 Metodología	16
3.1. Primera fase: Búsqueda de información.....	16
3.2. Segunda fase: Caracterización inicial del molino 2	16
3.3. Tercera fase: Montaje del punto de aplicación.....	20
3.4. Cuarta fase: Ubicación del IBC que contiene el aditivo	20
3.5. Quinta fase: Instalación de la bomba dosificadora.....	20
3.6. Sexta fase: Análisis de drenabilidad, retención y productividad en el molino.....	21
4 Resultados	22
4.1. Retención.....	23
4.2. Drenabilidad	24
5 Análisis.....	25
6 Conclusiones	27
Referencias	28

Lista de tablas

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados para la caracterización inicial del molino 2.....	16
Tabla 2. Resultados antes y después de la aplicación del aditivo, promedio de cada variable	22
Tabla 3. ANOVA de un factor para el gramaje 150 g/m ²	23
Tabla 4. ANOVA de un factor para el gramaje 190 g/m ²	23
Tabla 5. ANOVA de un factor para el gramaje 210 g/m ²	23
Tabla 6. ANOVA de un factor para el gramaje 370 g/m ²	23
Tabla 7. ANOVA de un factor para el gramaje 150 g/m ²	24
Tabla 8. ANOVA de un factor para el gramaje 190 g/m ²	24
Tabla 9. ANOVA de un factor para el gramaje 210 g/m ²	24
Tabla 10. ANOVA de un factor para el gramaje 370 g/m ²	24

Lista de figuras

Figura 1. Hoja de papel bajo el microscopio electrónico	13
Figura 2. Diagrama representativo del proceso de producción de papel en Indugevi	14
Figura 3. Como actúa la enzima entre el enlazamiento de las fibras	15
Figura 4. Seccionamiento de la tira de papel	18
Figura 5. Montaje del Schopper-Riegler	19

Siglas, acrónimos y abreviaturas

°C	Grados Celsius
cP	Una unidad de medida de la viscosidad equivalente a la centésima parte de un poise
cm	Centímetros
g	Gramos
h	Hora
IBC	Intermediate Bulk Container
kg	Kilogramo
L	Litro
m²	Metro cuadrado
mL	Mililitros
mm	Milímetro
min	Minuto
PhD	Philosophiae Doctor
pH	Es una medida del grado de acidez y alcalinidad de una sustancia o solución
°SR	Grados Schopper-Riegler
Ton	Tonelada
μs	MicroSiemens

Resumen

Indugevi es una empresa dedicada a la fabricación de papel a partir de productos 100% reciclados, la cual cuenta con 5 molinos para su producción, donde en el molino 2 se empleó el agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29) del proveedor Archroma, esto debido a que cuando se trabaja con los diferentes gramajes de papel se presenta pérdida de pasta en el efluente del sistema, y con la aplicación de este aditivo se busca que la mayor cantidad de fibra de la pasta se aglutine a la hoja de papel en formación sin afectar el proceso en general y que a la vez se dé la mayor drenabilidad, generando así una mayor productividad para el molino. Se inició midiendo en el efluente del molino conductividad, drenabilidad, pH, consistencia y retención, a fin de tener la caracterización de este, donde la recopilación de estos datos permitió conocer el estado inicial del molino antes de la aplicación del aditivo, para luego tener la aplicación de este.

Se encontró que, en los gramajes más representativos del molino (los cuales son 150 g/m², 190 g/m², 210 g/m² y 370 g/m²) hay una mayor retención de fibra en la hoja con un valor de 82.4%, 91.63%, 89.07% y 91.05%, y esto se ve reflejado en el peso promedio de la hoja con un valor de 158.51 g/m², 190.46 g/m², 214.83 g/m² y 370.3 g/m² respectivamente, llevando a una mayor resistencia del papel en cada gramaje. También se observó una mayor productividad en el molino y drenabilidad.

Palabras clave: Gramaje, Cartaretin FB-29, Archroma, retención, drenaje, papel, productividad.

Abstract

Indugevi is a company dedicated to the manufacture of paper from 100% recycled products, which has 5 mills for its production, where in mill 2 the retention and drainage agent (Cartaretin FB-29) from the supplier Archroma was used, this because when working with different weights of paper there is a loss of pulp in the effluent of the system, The application of this additive is intended to ensure that the greater amount of pulp fiber binds to the sheet of paper being formed without affecting the process in general and that at the same time there is greater drainability, thus generating greater productivity for the mill. We began by measuring conductivity, drainability, pH, consistency and retention in the mill effluent, in order to characterize it, where the collection of this data allowed us to know the initial state of the mill before the application of the additive, in order to later have the application of the additive.

It was found that, in the most representative grammages of the mill (which are 150 g/m², 190 g/m², 210 g/m² and 370 g/m²) there is a higher fiber retention in the sheet with a value of 82.4%, 91.63%, 89.07% and 91.05%, and this is reflected in the average weight of the sheet with a value of 158.51 g/m², 190.46 g/m², 214.83 g/m² and 370.3 g/m² respectively, leading to a higher strength of the paper in each grammage. Higher mill productivity and drainability were also observed.

Key words: Grammage, Cartaretin FB-29, Archroma, retention, drainage, paper, productivity.

Introducción

Indugevi es una empresa dedicada a la producción de cartón cuya fortaleza es el uso de recursos renovables y 100% reciclados, la cual cuenta con dos sedes productivas una en Sabaneta y otra en Guarne, Antioquia. En la actualidad son líderes a nivel nacional en producción de papel, cartón corrugado, cartón chip, empaques de cartón corrugado y single face.

La empresa cuenta con 5 molinos para la producción de papel, donde cuatro de ellos funcionan con rodillos formadores y el otro con mesa de formación; los molinos son alimentados por una suspensión acuosa de cartón 100% reciclado (llamada pasta), la cual entra a las cajas de formación de cada molino, donde por medio de un fieltro que pasa a través de los diferentes rodillos y la caja de vacío se constituye la hoja de papel y en el caso de la mesa de formación esta se distribuye en forma de cascada sobre la malla que forma la mesa, finalmente la hoja formada pasa por un tren de rodillos secadores, para obtener una bobina de papel, que según el gramaje es su peso y diámetro.

En el molino 2 el cual funciona con rodillos formadores, se empleó agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29) con el fin de que la mayor cantidad de fibras de la pasta se aglutine a la hoja de papel en formación y no se vaya en el efluente del sistema, y además se dé una mayor drenabilidad, esta última se debe a que el aditivo permite que la fibra se reorganice y pase por ella la mayor cantidad de agua, aumentando así la productividad del molino, ya que el papel disminuye el tiempo que pasa por el tren de secado, y este tiempo se ve reflejado en la humedad de la hoja de papel. El aditivo se aplicará en la entrada de pulpa a los formadores, esto con el fin de que la fibra tenga en este recorrido hacia los formadores un mayor tiempo de interacción.

Con la aplicación del agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29) se tendrá inicialmente la caracterización del molino 2, midiendo en el efluente conductividad, drenabilidad, pH, consistencia y retención, donde la recopilación de estos datos permitirá conocer el estado del molino antes de la aplicación del químico, para luego tener su aplicación y realizar estas mismas mediciones, y así analizar si se consiguió el objetivo de aglutinar la mayor cantidad de pulpa en la hoja de formación, aumento de la productividad en el molino y tener una mayor drenabilidad.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Aumentar la productividad del molino 2 mediante la aplicación de agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29).

1.2 Objetivos específicos

- Examinar en el molino 2 la retención y el drenaje en los diferentes gramajes que se están trabajando, sin la aplicación de Cartaretin FB-29.
- Registrar conductividad, pH, consistencia, velocidad del molino, humedad del papel y otras variables que son relevantes analizar antes y después de la aplicación del agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29).
- Establecer el punto de aplicación y la colocación del tanque IBC (Intermediate Bulk Container) del agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29).
- Analizar como cambiaron las diferentes variables en la hoja de papel a la hora de aplicar el agente de retención y drenaje al sistema.

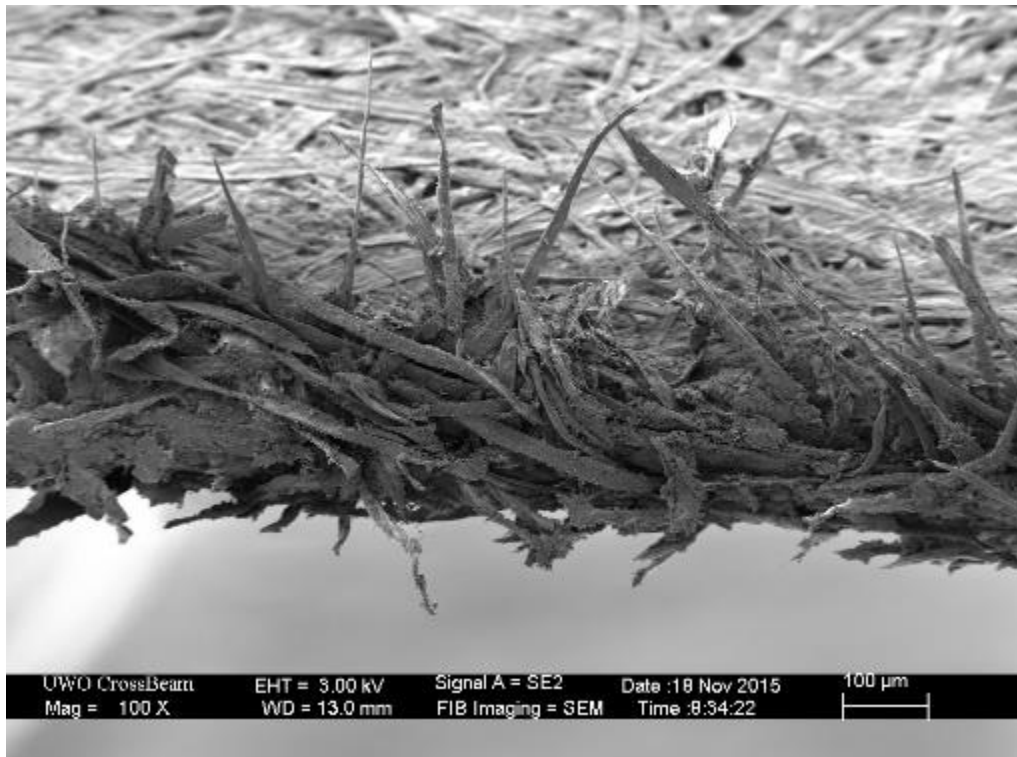
2 Marco teórico

El proceso de fabricación de papel se divide en una serie de operaciones, donde se inicia por la preparación de la pasta, lo cual consiste en adicionar pacas de cartón, plegadiza o fibra virgen en hojas prensadas con agua, a un aparato llamado púlper, el cual tiene una forma cilíndrica y en su parte inferior una hélice, la cual agita el material generando así una suspensión acuosa llamada pasta de papel. Por medio del frote continuo de la pasta contra la hélice, se consigue separar las fibras (de celulosa) de las cuales está formado el material, quedando una consistencia (porcentaje de materia seca) entre 6% y 12% (TORRASPAPEL S.A, 2019). Las pacas de material se almacenan en un lugar seco, a una temperatura ambiente.

Después la pasta se hace pasar por una serie de rejillas o depuradores mecánicos para separar fragmentos grandes que no se alcanzaron a desintegrar o basura que se tenía incorporada en las pacas de cartón o plegadiza como grapas, alambres, madera, plásticos entre otros, esta basura se presenta debido a que este material es reciclado (TORRASPAPEL S.A, 2019). Los plásticos recolectados son vendidos a empresas que se dedican hacer ladrillos de plástico o tejas para posteriormente hacer viviendas.

Luego la pasta pasa a un tanque de mezcla, llamado tanque de descarga, donde se le adiciona más agua para que las fibras se separen aún más y se acabe de homogenizar la mezcla, dando una consistencia entre 3% y 4%, cuando se logra esta consistencia la mezcla fluye al tanque de máquina, para posteriormente pasar a las cajas de formación. En esta etapa se le adicionan los aditivos y pigmentos que le dan las características a cada tipo de papel. La pasta se distribuye a las cajas de formación del molino, donde aquí posee una consistencia de 1%, en cada caja de formación se descarga el flujo en forma de cascada al rodillo formador que esta debajo de cada caja de formación, el cual está cubierto por una malla que permite formar la hoja de papel y eliminar la mayor cantidad de agua, esta se pega posteriormente al fieltro que la transporta a través de los diferentes rodillos y la caja de vacío formando la hoja con el gramaje que se desee. La formación de la hoja se da debido a que las fibras de celulosa que forman la pasta de papel se unen unas con otras a través de enlaces de hidrógeno y por naturaleza hace que la fibra contenga una carga aniónica, (Tejedor, 2010) En la figura 1 se puede ver como se configuran las fibras cuando se forma la hoja de papel.

Figura 1. Hoja de papel bajo el microscopio electrónico



Nota. Fuente <https://www.xataka.com/medicina-y-salud/dolor-pequenas-cosas-razon-que-molestan-cortes-hojas-papel-sola-imagen-1>

La hoja de papel ya formada pasa por una serie de rodillos secadores calentados con vapor, con una temperatura entre 120 °C y 130 °C; tras completar su recorrido el papel sale de la máquina y se enrolla automáticamente a un tubo que forma al final un rollo de papel, que según el gramaje es su peso y diámetro (DS Smith, 2023).

Figura 2. Diagrama representativo del proceso de producción de papel en Indugevi

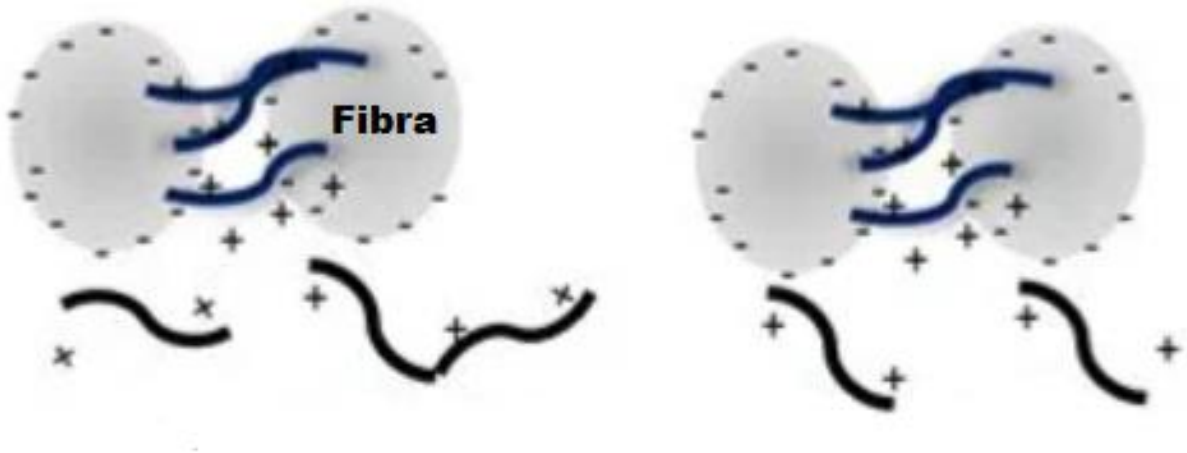


Entre el tanque de máquina y las diferentes cajas de formación, se da la aplicación del agente de retención y drenaje, ya que mientras la pasta sale del tanque y se distribuye en las cajas de formación, permite que el aditivo se adhiera a la fibra y se forme la hoja con el menor desperdicio de fibra, y a su vez que en los diferentes rodillos se dé una mayor drenabilidad, dando el beneficio de usar menos vapor a la hora de secar el papel y aumentar la velocidad de la máquina, para generar así mayor productividad.

El agente de retención y drenaje llamado Cartaretin FB-29 es un líquido amarillo-transparente catiónico, con carácter químico poliamidamina en solución acuosa, con una viscosidad entre 500-750 cP a 20°C, una densidad entre 1.08-1.10 g/mL a 25°C y un pH entre 6.5-7.5. El almacenamiento de este químico dura aproximadamente 1 año, en un recipiente cerrado y a una temperatura entre -4 °C a 40°C (ARCHROMA, 2023).

El aditivo por tener una carga catiónica y la fibra tener una carga aniónica hace que las fibras que pretendían irse en el efluente del sistema se quedan entrelazadas con otras fibras, permitiendo así una mayor retención, la ilustración de este proceso lo podemos ver en la figura 3.

Figura 3. Como actúa la enzima entre el enlazamiento de las fibras



Nota. Fuente <https://www.andicol.com.co/copia-de-barredores-de-carga>

3 Metodología

Para la metodología se emplearon varias fases, donde se incluyen aspectos cualitativos y cuantitativos a la hora de la aplicación del Cartaretin FB-29, los cuales se hicieron siguiendo una secuencia lógica, con el fin de tener una mayor retención de fibra y a la vez una mayor drenabilidad en el molino 2, llevando a una mayor productividad en este.

3.1. Primera fase: Búsqueda de información

Investigación y recopilación de información sobre la producción de papel en forma general para entender posteriormente a detalle la información brindada por el personal de la empresa Indugevi sobre la operación del molino 2, información consultada en bases de datos de la Universidad de Antioquia, libros específicos sobre la fabricación de papel, artículos científicos y material exclusivo de la empresa. Esta misma investigación se realizó con el aditivo Cartaretin FB-29, enfatizando en la ficha técnica y información general entregada por el proveedor Archroma.

3.2. Segunda fase: Caracterización inicial del molino 2

En esta fase se realiza la medición del pH, consistencia, drenabilidad y conductividad, con los datos obtenidos de consistencia se aplica la ecuación 1, para obtener el porcentaje de retención en la hoja de papel. A continuación, se mencionan los materiales y equipos utilizados para la medición de estas variables.

$$\%Retención = \frac{\%Consistencia\ de\ entrada - \%Consistencia\ de\ salida}{\%Consistencia\ de\ entrada} * 100\% \quad (Ec.1)$$

Materiales y equipos

Tabla 1. *Materiales y equipos utilizados para la caracterización inicial del molino 2*

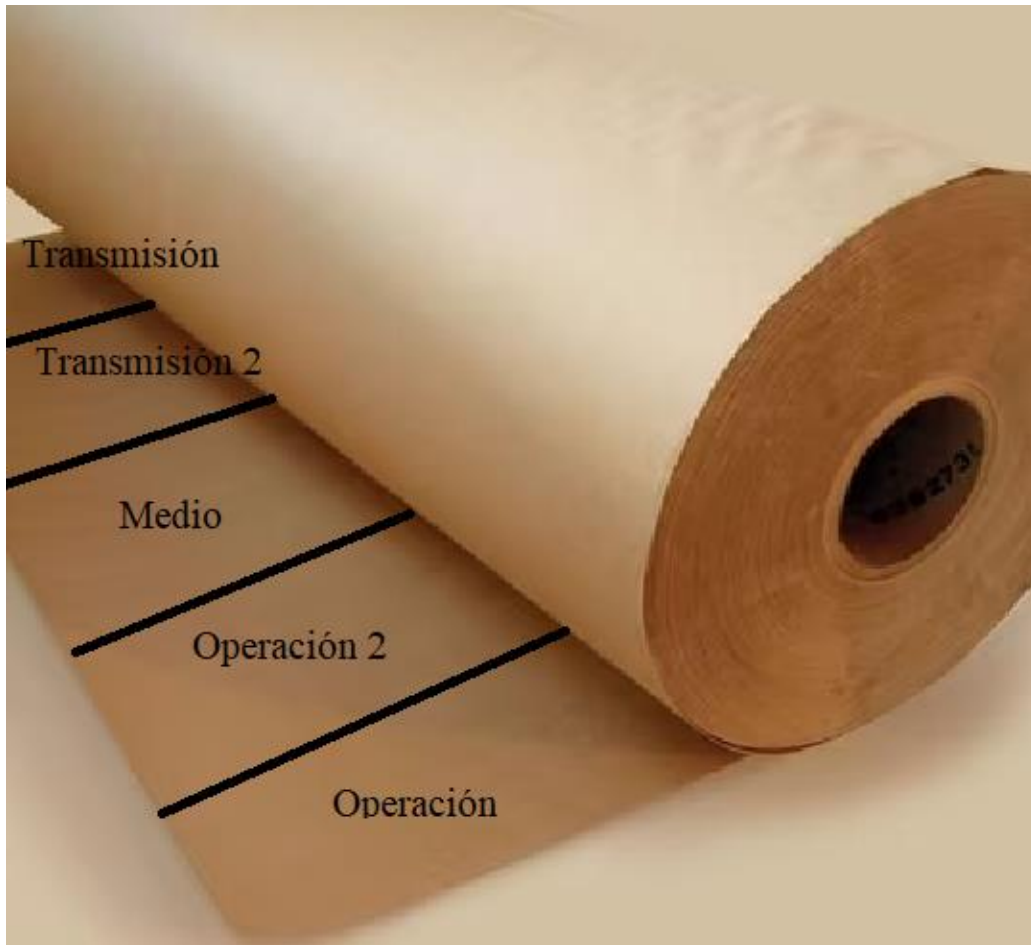
Materiales y equipos	Cantidad
Frasco de plástico con tapa de rosca	10
Medidor portátil de temperatura, pH, conductividad	1
Toma muestra	1

Rollo de toallas de papel adsorbente	20
Sistema de filtración al vacío, adaptado con la cámara de vacío del molino 2	1
Horno eléctrico	1
Beaker plástico de 1000 mL	1
Probeta plástica de 1000 mL	1
Probeta plástica de 100 mL	1
Agitador de plástico	1
Schopper-Riegler	1
Balanza de laboratorio	1

Se inició tomando una muestra en los frascos de plástico de la entrada de cada caja de formación, en total fueron 4 muestras cuando trabajan las 4 cajas de formación o 3 muestras cuando trabajan las 3 cajas de formación, a cada muestra se le midió la conductividad y el pH, (en la empresa se tenía un sistema de registro de la hora, fecha, nombre del operario en turno, velocidad, Ring Crush, peso base de la bobina que cayó en la hora que se tomó la muestra y la humedad de esa bobina). Se aclara que el Ring Crush determina la resistencia a la compresión en un anillo de soporte estándar; el anillo se forma con una probeta de 152 mm de largo, al colocar esta probeta en el soporte de ensayo, la mitad del ancho quedará libre y la mitad de la misma queda dentro de la ranura; el ancho de la ranura está definido por el diámetro del disco metálico interior del soporte que se elige según el espesor del papel, la carga se aplica con una placa plana sobre el borde del anillo (Zanuttini, 2008).

Para la medición del peso promedio y el Ring Crush se corta una tira de papel del final de la bobina la cual se recorta en secciones, como se muestra en la figura 4, donde cada sección es de 25 x 25 cm, después de tener cada sección se pesa en una balanza y se tiene el peso promedio, y para el Ring Crush se corta una tira de 15.2 cm largo y se ingresa en la probeta metálica para la compresión.

Figura 4. *Seccionamiento de la tira de papel*



Nota. Fuente <https://www.milanuncios.com/anuncios/bobina-papel-industrial.htm>

Después, utilizando el sistema de filtración al vacío, adaptado con la cámara de vacío del molino 2, se filtra 100 mL de cada una de las muestras recolectadas, usando como papel filtro toallas absorbentes, antes de medir los 100 mL cada muestra se agitó muy bien para que no se presentara sedimentación de la pulpa. Cada toalla absorbente se llevó al horno eléctrico por 5 min, para retirar la humedad y posteriormente se llevo a la balanza, para tener su peso inicial. Las muestras ya filtradas se llevan al horno eléctrico por 10 min a una temperatura de 105 °C, al paso de este tiempo cada muestra se lleva a la balanza para tener su peso final y así se determina la consistencia (ecuación 2) a la entrada de cada una de las cajas de formación.

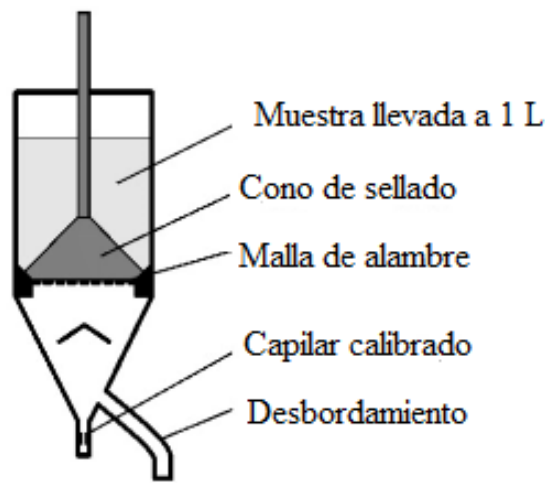
$$\text{Consistencia} = \frac{\text{Peso final de la muestra en la toalla absorbente} - \text{Peso inicial de la toalla absorbente}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \quad (\text{Ec.2})$$

Con la consistencia de cada una de las muestras se procede a determinar la drenabilidad en grados Schopper-Riegler ($^{\circ}$ SR), primero se debe conocer la cantidad de muestra que se lleva al equipo, lo cual consiste en tener una concentración de 0.2% m/m de muestra recolectada en un 1 L, para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$mL \text{ de muestra} = \frac{0.2\% \frac{m}{m} * 1000 \text{ mL}}{\text{Consistencia de cada una de las muestras}} \quad (\text{Ec.3})$$

Los mL de muestra se llevan a una probeta de 1000 mL y se completa el volumen hasta tener 1 L, se agita muy bien para no tener sedimento de pulpa y este se adiciona al equipo Schopper-Riegler, como se muestra en la figura 4, ya después se deja caer la palanca que mantenía en posición el cono de sellado y así se obtiene la cantidad drenada por el orificio del desbordamiento, en cada uno de los orificios se tenía recipientes captando el líquido. La cantidad drenada es llevada de nuevo a la probeta de 1000 mL y se mide en grados $^{\circ}$ SR, donde 1000 mL son 0 $^{\circ}$ SR y 0 mL son 100 $^{\circ}$ SR, de modo que para valores mayores de $^{\circ}$ SR la capacidad de drenabilidad de la fibra es menor.

Figura 5. Montaje del Schopper-Riegler



Nota. Fuente Roschy A., Fischer S., Kleemann S., 2003. Vergleich moderner Wet-End Methoden zur Bestimmung von Entwässerung und Retention im Labormaßstab. Wochenblatt für Papierfabrication, 130, 18, 1187-1196.

Se toman las muestras a la salida de las cajas de formación (rodillos formadores) y se realiza el mismo procedimiento mencionado anteriormente, con la diferencia que en este caso no se determina drenabilidad, ya que esta variable solo es medible a la entrada de las cajas de formación.

La toma de muestras inició el 6 de enero de 2023 y terminó el 3 de abril de 2023.

3.3. Tercera fase: Montaje del punto de aplicación

Se realizó el montaje del punto de aplicación del agente de retención y drenaje (Cartaretin FB-29), donde se tenía como antecedente que este debe estar en contacto con el efluente que entra a las cajas de formación, para que se dé una mayor homogenización del producto con las fibras de la pasta. Este montaje estuvo a cargo de los técnicos del proveedor Archroma, quedando justo antes de que la pulpa ingresara a las cajas de formación.

3.4. Cuarta fase: Ubicación del IBC que contiene el aditivo

El Cartaretin FB-29 viene contenido en un recipiente llamado IBC (Intermediate Bulk Container), el cual contiene 1000 L de producto, el recipiente se ubica a 3 m del molino 2 en un dique soportado por una base metálica, para prevenir cualquier accidente si se presenta algún tipo de derrame, este se encuentra instalado al inicio de la línea que lleva el producto hasta las cajas de formación del molino.

3.5. Quinta fase: Instalación de la bomba dosificadora

La bomba dosificadora va conectada al IBC, a una línea de agua potable y a la línea que administra el aditivo, la bomba cuenta con un montaje de dosificación, que permite chequear constantemente su funcionamiento y dosificación. Se empezó la aplicación del Cartaretin FB-29 (entre 2 a 3 kg/Ton), donde se dejó que el sistema funcionara con normalidad durante 1 hora, luego se inició la medición de las variables mencionadas en la segunda fase literal 3.2. Se verificó constantemente que el sistema funcionara con normalidad, por si se presenta alguna fuga o taponamiento de la línea. La línea de agua potable se dejó constantemente en 2 L/min, la utilización de esta línea se debe a que el producto tiene una alta viscosidad y esto previene que se tapone la tubería y que el producto tenga una mayor interacción con la fibra.

La toma de muestras inició el 4 de abril de 2023, día en que se realizó la instalación de todo el sistema de dosificación y finalizó el 18 de mayo de 2023.

3.6. Sexta fase: Análisis de drenabilidad, retención y productividad en el molino

En esta fase se analizaron todos los datos recopilados en los numerales 3.2 y 3.5, el antes y después de la aplicación del aditivo, comparando drenabilidad y retención en los gramajes más representativos del molino, los cuales son 150 g/m², 190 g/m², 210 g/m² y 370 g/m², y se examinaron como estas variables afectaron la humedad, peso promedio y resistencia de la hoja de papel. Además de lo anterior se observó cómo se vio afectada la productividad del molino, si tuvo un cambio favorable o se mantuvo constante, la cual se calculó por medio de la siguiente ecuación.

$$Productividad \left(\frac{Ton}{h} \right) = \frac{Velocidad \left(\frac{m}{min} \right) * 1.68 m * Peso \text{ promedio} \left(\frac{g}{m^2} \right) * 60 min}{1'000.000 \left(\frac{g}{Ton} \right)} \quad (Ec.4)$$

Para el análisis de los valores de drenabilidad y retención se procede a utilizar una técnica estadística llamada ANOVA de un factor, el cual genera una indagación de varianza para una variable dependiente cuantitativa respecto a una variable de factor (independiente). El análisis de varianza se utiliza para contrastar la hipótesis de que varias medias son iguales o saber si las medias de una variable son diferentes entre los niveles o grupos de otra variable. Esta técnica es una extensión de la prueba t para dos muestras.

4 Resultados

En las muestras tomadas antes y después de la aplicación del aditivo, como se explicó en los numerales 3.2 y 3.5 de la metodología, se obtiene la tabla 2, un promedio de cada una de las variables.

Tabla 2. Resultados antes y después de la aplicación del aditivo, promedio de cada variable

	Gramaje	Velocidad (m/min)	Peso promedio (g/m ²)	% Humedad	% Retención	Drenabilidad (°SR)	Productividad (Ton/h)	Ring Crush Promedio (kg en 15,2cm)
Antes	150	63,2	155,98	5,9	76,11	40	0,99	11,36
Después		62,2	158,51	5,7	82,4	43	1	10,61
Antes	190	53,7	189,81	6,1	83,27	35	1,03	16,25
Después		55,5	190,46	5,9	91,63	33	1,06	15,17
Antes	210	51,2	205,81	6,3	84,6	42	1,06	19,84
Después		50,5	214,83	6,3	89,07	36	1,1	20,3
Antes	370	27,1	369,09	7,4	82,04	31	1,01	43,45
Después		27,8	370,3	7,3	91,05	34	1,04	41,57

Se realizó un ANOVA de un factor para las variables que se midieron a la hora de adicionar el aditivo, drenabilidad y retención, con el fin de determinar si existe alguna diferencia entre las medias del antes y después de la aplicación. Los resultados se pueden observar a continuación.

4.1. Retención

Tabla 3. ANOVA de un factor para el gramaje 150 g/m²

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	252,62	1	252,62	4,51	0,04	4,20
Dentro de los grupos	1568,45	28	56,02			
Total	1821,07	29				

Tabla 4. ANOVA de un factor para el gramaje 190 g/m²

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	315,09	1	315,09	21,88	0,00	4,30
Dentro de los grupos	316,88	22	14,40			
Total	631,97	23				

Tabla 5. ANOVA de un factor para el gramaje 210 g/m²

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	149,95	1	149,95	1,55	0,22	4,20
Dentro de los grupos	2715,25	28	96,97			
Total	2865,19	29				

Tabla 6. ANOVA de un factor para el gramaje 370 g/m²

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1082,65	1	1082,65	37,26	0,00	4,01
Dentro de los grupos	1685,14	58	29,05			
Total	2767,79	59				

4.2. Drenabilidad

Tabla 7. ANOVA de un factor para el gramaje 150 g/m²

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	50,86	1	50,86	0,88	0,36	4,20
Dentro de los grupos	1612,51	28	57,59			
Total	1663,37	29				

Tabla 8. ANOVA de un factor para el gramaje 190 g/m²

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5,72	1	5,72	0,28	0,60	4,41
Dentro de los grupos	364,83	18	20,27			
Total	370,55	19				

Tabla 9. ANOVA de un factor para el gramaje 210 g/m²

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	93,35	1	93,35	1,12	0,30	4,24
Dentro de los grupos	2090,50	25	83,62			
Total	2183,85	26				

Tabla 10. ANOVA de un factor para el gramaje 370 g/m²

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	202,50	1	202,50	3,30	0,08	4,10
Dentro de los grupos	2333,10	38	61,40			
Total	2535,60	39				

5 Análisis

Con este proyecto se buscaba que en el molino 2 de la empresa Indugevi S.A. se tuviese una mayor productividad y a la vez una mayor retención de fibra, para que no se perdiera fibra en el efluente del sistema, por medio de la aplicación de un agente de retención y drenaje llamado Cartaretin F-29; el cumplimiento de esto se puede ver en los resultados obtenidos, ya que, en los gramajes más representativos del molino, los cuales son 150 g/m², 190 g/m², 210 g/m² y 370 g/m² se obtuvo una mayor retención de fibra en la hoja, como se observa en la columna seis de la tabla 2, comportamiento que se reafirma en el análisis estadístico ANOVA de un factor aplicado a esta variable antes y después, ya que F es mayor que el valor crítico para F, como se percibe en la tabla 3, 4 y 6 de los anexos para 150 g/m², 190 g/m² y 370 g/m² respectivamente; en el gramaje 210 g/m² en la tabla 2 se tiene un valor mayor después de la aplicación del aditivo, a la vista esto nos indica que se obtuvo una mayor retención, pero con el análisis estadístico se encuentra que F es menor que el valor crítico para F, indicando una igualdad entre la retención antes y después de la aplicación, esto nos lleva a pensar que la cantidad de aditivo no fue la indicada para este gramaje, o también tiene que ver el material que se utiliza para la producción de este gramaje, ya que en comparación a los otros gramajes se utiliza una mayor cantidad de plegadiza, material que tiene una capa de cartón, aluminio y plástico, que no permite que el aditivo penetre todas las fibras, dando resultados desfavorables.

La mayor retención en los gramajes 150 g/m², 190 g/m² y 370 g/m² se ve reflejado en el peso promedio, debido a que entre más retención se tenga la hoja tendrá más peso promedio, como se puede observar en la columna cuatro de la tabla 2, en cuanto al gramaje 210 g/m² su incremento de peso se debe al material que se utilizó para su fabricación, ya que la retención se mantuvo constante.

En cuanto a la productividad se mostró en los resultados un crecimiento de esta variable, como se puede ver en la columna ocho de la tabla 2, indicando que después de la aplicación del aditivo se nota una mayor productividad, esto se debe a la secuencia de varias variables, empezando con la drenabilidad, variable que tiende a ser mayor según los resultados mostrados en la columna siete de la tabla 2, pero el análisis estadístico ANOVA de un factor nos muestra que no es así, ya que en los gramajes representativos del molino F es menor que el valor crítico para F, indicando

una igualdad entre la drenabilidad antes y después de la aplicación, esto nos muestra que se tiene muchos finos de fibra, dando el taponamiento de los orificios que se producen cuando el aditivo reorganiza la fibra, por ello se da una mayor retención pero ningún cambio en la drenabilidad y esto se puede ver en el peso promedio que ganó la hoja de papel en los diferentes gramajes. La velocidad es otra variable que se tiene en cuenta en la productividad, variable que está sujeta a la observación humana, ya que si el operario observa que tiene muchos reventones en el papel o el papel está saliendo muy húmedo (se mide con un medidor de humedad, el valor debe estar entre 5 y 9) disminuye esta variable en el PLC, con los datos que se obtuvieron en la columna cinco de la tabla 2, respecto a la humedad, indica que la velocidad se puede aumentar, ya que se tuvieron valores bajos en comparación a antes de la aplicación del aditivo, por ello y por la ganancia de peso en la hoja se tiene una mayor productividad en el molino.

Una variable que también se tuvo en cuenta a la hora del análisis fue el Ring Crush promedio, la cual se le mide a cada bobina de papel que se produce en la compañía y esta medición está a cargo del analista de calidad, quedando consignada en la base de datos de la empresa, a estos valores se le sacó el promedio antes y después de la aplicación del aditivo como se ve en la tabla 2 columna nueve, datos que nos muestran que en gran parte de los gramajes se mantuvo constante o cambió levemente en su medida, esto se debe a la formación del papel, ya que cuando se forma la hoja de papel la distribución de fibra no se reparte de forma uniforme por toda la superficie, entonces a la hora de cortar la muestra para insertar en la probeta se corta de una esquina de la sección, como se ilustró en la figura 4, entonces no se ve reflejada toda la cantidad de fibra que ganó la hoja, donde teóricamente debería dar un Ring Crush mucho más alto, debido a que la retención de fibra en la hoja dio mucho mayor que antes de la aplicación del aditivo, como se mostró en el primer párrafo.

La conductividad y el pH en el efluente del sistema tiene valores promedio de 3600 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 6.3 respectivamente, valores apropiados para la aplicación del agente de retención y drenaje, ya que para tener una buena aplicación del aditivo se necesita que el efluente esté en un rango entre 4.5 y 7 de pH, y una conductividad menor a 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

6 Conclusiones

- Se obtuvo una mayor productividad en el molino 2, con valores de 1, 1.06, 1.1 y 1.04 para cada uno de los gramajes representativos del molino, los cuales son 150 g/m², 190 g/m², 210 g/m² y 370 g/m²; también se consiguió una mayor retención con valores de 82.4%, 91.63% y 91.05% para 150 g/m², 190 g/m² y 370 g/m² respectivamente, donde en el gramaje 210 g/m² se ganó peso promedio pero la retención se mantuvo constante.
- Con la medición de la conductividad y el pH, en la caracterización que se realizó antes de la aplicación del aditivo, brindó los criterios para tomar la decisión de que el químico se podía aplicar con tranquilidad en el sistema, ya que se tuvo valores promedio de 6.5 y 3600 µs/cm, valores que se encuentran en el rango de estabilidad del químico, las cuales son un pH entre 4.5-7 y una conductividad menor a 4000 µs/cm.
- El punto de aplicación del agente de retención y drenaje se llevó a cabo con la premisa de que se adicione justo antes de las cajas de formación para tener una mayor interacción con la fibra, premisa que se encuentra en la ficha técnica del producto.
- La materia prima utilizada en la empresa Indugevi genera muchos finos de fibra, ya que la drenabilidad se mantuvo constante en los gramajes representativos del molino, esto debido a que los finos taponan los orificios que se producen cuando el aditivo reorganiza la fibra, por ello se da una mayor retención, pero ningún cambio en la drenabilidad

Referencias

ARCHROMA. (2023). *CARTARETIN® FB-29 Líquido*. Argentina: ARCHROMA.

DS Smith. (02 de Enero de 2023). *DS Smith*. Obtenido de DS Smith:
<https://www.dssmith.com/es/noticias/nuestras-historias/2022/5/como-se-fabrica-el-papel>

Tejedor, A. S. (16 de Enero de 2010). *Química Orgánica Industrial*. Obtenido de Química Orgánica Industrial: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php#:~:text=En%20el%20papel%2C%20las%20fibras,i%C3%B3nicos%20y%20los%20enlaces%20covalentes>.

TORRASPAPEL S.A. (2019). Fabricación de papel. *LECTA Group*, 1-57.

Zanuttini, M. (2008). Características generales del papel. En M. Zanuttini, *Propiedades del papel* (pág. 257). Argentina: Papel Misionero S.A.I.F. C.