



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**IDENTIFICACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN LA APARIENCIA  
EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAPEL CORRUGADO MEDIO  
Y LINER DESTINADO PARA EL USO DE EMPAQUES.**

Johan Restrepo Cardona

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de ingeniería química  
Medellín, Colombia 2019



**IDENTIFICACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN LA APARIENCIA EN EL  
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAPEL CORRUGADO MEDIO Y LINER  
DESTINADO PARA EL USO DE EMPAQUES.**

Johan Restrepo Cardona

Informe de práctica como requisito para optar al título de:  
Ingeniero químico.

Natalia Andrea Gómez Vanegas

Asesora interna

Diego Fernando Orejuela Balanta

Asesor externo

Johan Restrepo Cardona

Ingeniero químico.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química.

Medellín, Colombia

2019.

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| Resumen.....   | 7  |
| Introducción .....   | 8  |
| 1 Objetivos .....  | 9  |
| 1.1 General.....   | 9  |
| 1.2 Específicos:.....  | 9  |
| 2 Marco Teórico .....  | 10 |
| 2.1 Etapas y equipos de proceso .....  | 10 |
| 2.1.1 Pulpeo o desfibración. ....  | 10 |
| 2.1.2 Refinación de la pulpa. ....   | 10 |
| 2.1.3 Refinador .....  | 11 |
| 2.2 Sustancias químicas.....   | 11 |
| 2.2.1 Potencial z.....   | 11 |
| 2.2.2 Demanda de carga.....  | 11 |
| 2.2.3 Parafinas. ....  | 11 |
| 2.2.4 Caolín. ....   | 12 |
| 2.2.5 Stickies.....  | 12 |
| a. Stickies primarios:.....  | 12 |
| b. Stickies secundarios.....   | 13 |
| 2.3 Procesamiento de imágenes.....   | 13 |
| 2.3.1 Conversión de imagen a escalas de grises:.....                         | 13 |
| 2.3.2 Detección del fondo: .....   | 13 |
| 2.3.3 Binarización: .....  | 14 |
| 2.3.4 Segmentación:.....   | 14 |
| 2.3.5 Conteo:.....   | 15 |
| 3 Metodología.....   | 16 |
| 3.1 Ensayos química del papel.....   | 16 |
| 3.2 Formación de hojas con talcos y parafinas. ....                          | 17 |
| 3.3 Comparación entre softwares para medición técnica de la apariencia. .... | 19 |
| 3.3.1 Conversión de la imagen a escalas de grises. ....                      | 19 |
| 3.3.2 Detección del fondo.....   | 19 |
| 3.3.3 Binarización. ....   | 20 |
| 3.3.4 Segmentación.....  | 21 |
| 3.3.5 Conteo.....  | 21 |
| 3.4 Seguimiento a equipos de planta.....                                     | 21 |
| 4 Resultados y análisis.....   | 22 |
| 4.1 Ensayos química del papel.....   | 22 |
| 4.1.1 Aceite hidráulico de compactadora.....                                 | 22 |
| 4.1.2 Aceite del sistema de lubricación de secado.....                       | 22 |
| 4.1.3 Resina adhesiva.....   | 24 |
| 4.1.4 PVA.....   | 24 |
| 4.1.5 Resina adhesiva + sustancias químicas del proceso.....                 | 25 |
| 4.1.6 PVA + sustancias químicas del proceso.....                             | 26 |
| 4.2 Impregnación y formación con parafina.....                               | 26 |
| 4.3 Ensayos con caolín.....  | 27 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.4 | Comparación de software para medición técnica de apariencia. .... | 30 |
| 4.5 | Seguimiento a equipos de planta.....                              | 33 |
| 5   | Conclusiones .....  | 35 |
| 6   | Referencias Bibliográficas .....                                  | 36 |





## LISTADO DE FIGURAS.

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Figura 1. campana de ajuste de Threshold.....  | 14                                   |
| Figura 2. Ventaba para la configuración de conteo de partículas. ....  | 15                                   |
| Figura 3. Proceso de formación de hojas de mano.....   | 16                                   |
| Figura 4. Desintegrador de hojas.....  | 17                                   |
| Figura 5. Formador de hojas manual.....  | 17                                   |
| Figura 6. Imagen muestra en formato RGB.....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 7. Identificación de pixeles del fondo y de las partículas. ....  | 20                                   |
| Figura 8. Binarización de imagen Red. ....   | 21                                   |
| Figura 9. Dosificación de aceite hidráulico, A-1 ml plancha, B-1 ml estufa, C-3 ml plancha, D-3 ml estufa, E- 5ml plancha, F-5 ml estufa. ....   | 22                                   |
| Figura 10. Dosificación de sistema de lubricación de secado, A-1 ml plancha, B-1 ml estufa, C-3 ml plancha, D-3 ml estufa, E- 5ml plancha, F-5 ml estufa. ....   | 23                                   |
| Figura 11. Dosificación de sustancias químicas del proceso, A- antiespumante plancha, B. antiespumante estufa, C-biosida plancha, D- biosida estufa, E- anti stickies plancha, F- anti stickies estufa, G- floculante plancha, H- floculante estufa. ....                    | 23                                   |
| Figura 12. Dosificación de Resina adhesiva, A-1 ml plancha, B- 3ml plancha, C- 5 ml plancha, D-1 ml estufa, E-3 ml estufa. F- 5 ml estufa.....   | 24                                   |
| Figura 13. Dosificación de PVA, A-1 ml plancha, B- 3ml plancha, C- 5 ml plancha, D-1 ml estufa, E-3 ml estufa. F- 5 ml estufa.....   | 25                                   |
| Figura 14. Combinación de dosificación de resina adhesiva+ sustancias químicas, A- antiespumante plancha, B. antiespumante estufa, C- biosida plancha, D- biosida estufa, E- antistickies plancha, F- antistickies estufa, G- floculante plancha, H- floculante estufa. .... | 25                                   |
| Figura 15. . Combinación de dosificación de PVA+ sustancias químicas, A-antiespumante plancha, B. antiespumante estufa, C- biosida plancha, D- biosida estufa, E- antistickies plancha, F- antistickies estufa, G- floculante plancha, H- .....                              | 26                                   |
| Figura 16. Hoja de mano con contenido de parafina y calentamiento en plancha .....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 17. Hoja de mano con contenido de parafina y calentamiento a 120°C.....   | 26                                   |
| Figura 18. Hoja de mano con parafina con calentamiento en plancha (Headbox).....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 19. Hoja de mano con parafina con calentamiento a 120°C (Headbox).....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 20. Blanco de muestra 1.....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 21. Blanco muestra 2 .....  | 28                                   |
| Figura 22. Comparación entre blanco y dosificaciones de Caolín 93:7.....   | 28                                   |
| Figura 23. Comparación entre los 3 tipos de Caolines usados.....   | 29                                   |
| Figura 24. Muestras desintegradas usadas en el ensayo. ....  | 29                                   |
| Figura 25. Resultados de hojas dispersadas con 2 min de agitación.....   | 30                                   |
| Figura 26. Dosificación con equipo de dispersión. ....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 27. Correlación obtenida entre el software 1 y 2.....   | 30                                   |
| Figura 28. Correlación entre software 1 y 3 (65 muestras). ....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 29. Calificación de muestras vs # puntos software 1.....  | 32                                   |
| Figura 30. Calificación muestras vs # puntos software 2. ....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 31. Calificación muestras vs # puntos software 3. ....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 32. Registro fotográfico de seguimientos a equipos de planta.....   | 33                                   |



## LISTADO DE TABLAS.

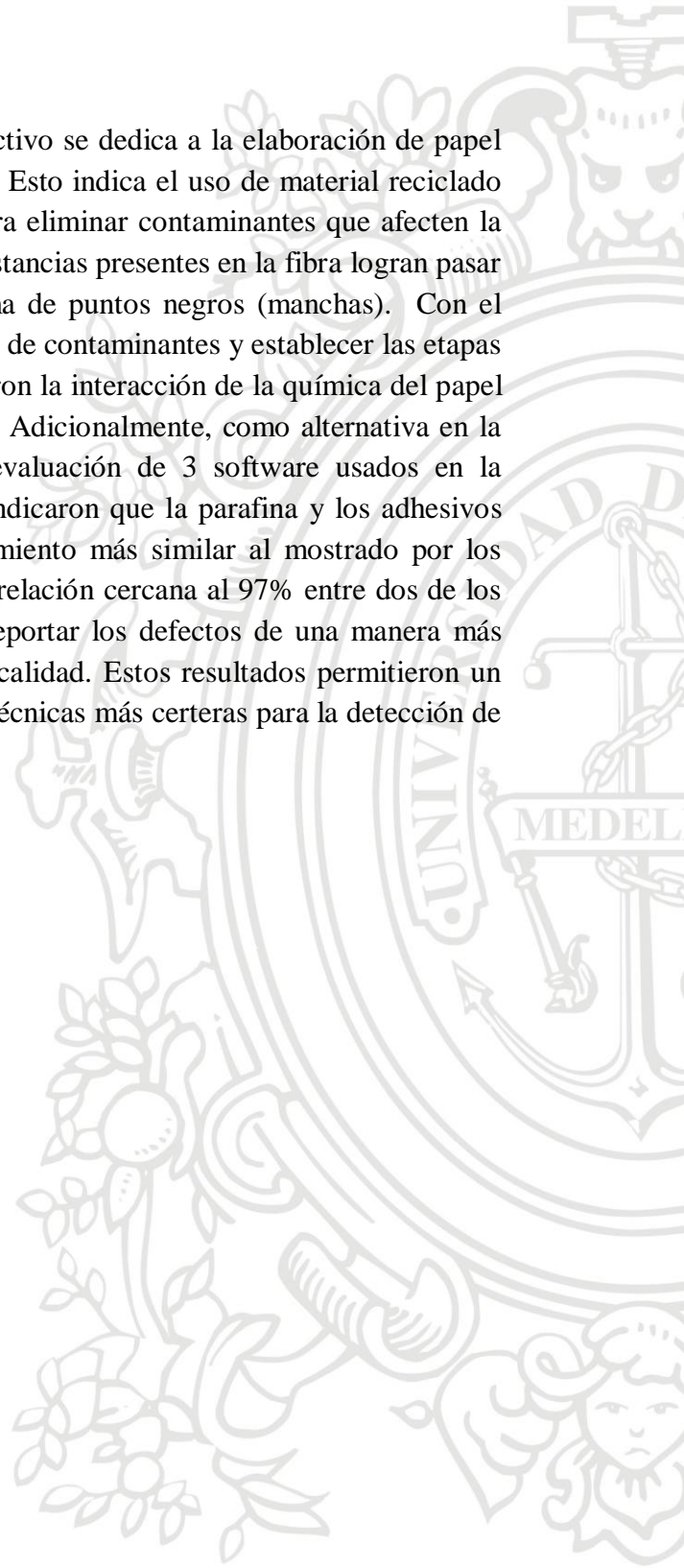
|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Métodos para la identificación de la incidencia de sustancias químicas en el proceso. .... | 17 |
| Tabla 2. Rangos tomados para la medición de puntos. ....  | 31 |



# **IDENTIFICACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN LA APARIENCIA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAPEL CORRUGADO MEDIO Y LINER DESTINADO PARA EL USO DE EMPAQUES.**

## **Resumen**

PAPELSA en una de las líneas de su proceso productivo se dedica a la elaboración de papel corrugado y Liner mediante el uso fibra secundaria. Esto indica el uso de material reciclado que debe pasar por múltiples etapas de limpieza, para eliminar contaminantes que afecten la elaboración de los mismos. Sin embargo, algunas sustancias presentes en la fibra logran pasar generando una mala apariencia en el papel en forma de puntos negros (manchas). Con el propósito de identificar los efectos de diferentes tipos de contaminantes y establecer las etapas más críticas en el proceso, en este trabajo se verificaron la interacción de la química del papel y de algunas sustancias usadas en los corrugadores. Adicionalmente, como alternativa en la cuantificación de la contaminación se realizó la evaluación de 3 software usados en la medición de puntos sobre el papel. Los resultados indicaron que la parafina y los adhesivos fueron las sustancias que presentaron un comportamiento más similar al mostrado por los defectos en planta. También se logró establecer una relación cercana al 97% entre dos de los softwares evaluados, lo cual permite relacionar y reportar los defectos de una manera más cercana a las inspecciones visuales del personal de calidad. Estos resultados permitieron un mejoramiento del proceso y una implementación de técnicas más certeras para la detección de los problemas indicados.





## INTRODUCCIÓN

PAPELSA S.A. inicio como empresa alrededor del año 1970 bajo el nombre de productora de celulosa, PROCECOLSA con el objetivo principal de satisfacer el mercado de la pulpa de papel, en el año 1978 PROCECOLSA realiza el montaje de 2 plantas (corrugador y molino) empezando así en el ámbito de producción de papel corrugado medio y liner, además de cajas de cartón corrugadas, posteriormente en el año 1998 el grupo Smurfit Kappa realiza una inversión que consistió en la adquisición de PAPELSA.

La industria papelera ha sufrido innumerables cambios debido al ingreso de nuevas tecnologías enfocadas a aspectos medio ambientales, reducción en el peso de los empaques, compras por internet, y la reducción de los empaques secundarios con altas calidades de impresión, por otro lado, la tendencia creciente de intercambio de productos, en un mundo cada vez más globalizado, también presiona al desarrollo de optimizaciones de cajas de cartón, que deben mantener los productos, lo más frescos y protegidos posible para llegar a su destino final, por estos motivos para PAPELSA es de vital importancia producir un papel que genere seguridad y satisfacción en los consumidores finales. La contaminación del papel es una problemática que tiene en la plantas que usan como materia prima material reciclado en el proceso de producción, ya que, debido a la procedencia de la materia prima es necesario disponer de etapas de limpieza que puedan reducir de manera considerable este problema y aun así se pueden encontrar contaminantes en el producto final, por lo tanto, poder realizar una identificación primaria de las variables más susceptibles relacionadas a condiciones de proceso y funcionamiento de equipos generaría un camino para mitigar este problema. Los procesos de desintegración, limpieza, refinación, formación y secado son las etapas más importantes que componen la de producción del papel por lo tanto tener un conocimiento profundo en cada una de ellas es necesario para identificar el equipo o conjunto de equipos que influyen de manera directa en la apariencia, por otro lado, se abordará toda la química que actúa sobre el papel con el fin de visualizar si la interacción que tienen algunas de estas sustancias podrían afectar de manera negativa el proceso de producción, además se tendrán en cuenta algunas alternativas de los químicos usados para la limpieza de la fibra mediante ensayos a escala de laboratorio y posibles escalamientos en planta, finalmente se realizara un estudio de cuantificación de puntos contaminantes en múltiples muestras con el uso de varios softwares destinados a este ámbito en específico.

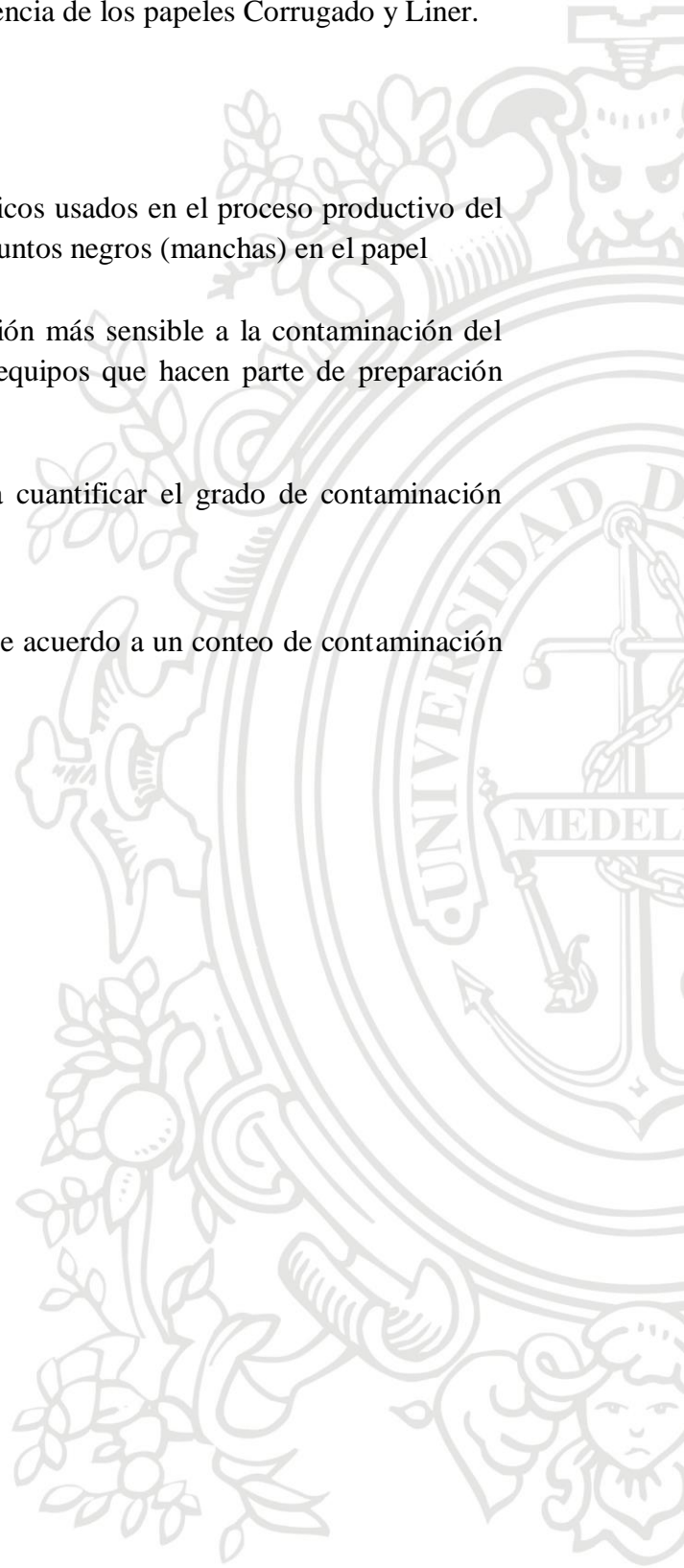
# 1 OBJETIVOS

## 1.1 General

Identificar los factores primarios que afectan la apariencia de los papeles Corrugado y Liner.

## 1.2 Específicos:

- Verificar la incidencia de los productos químicos usados en el proceso productivo del papel como posible causa de la aparición de puntos negros (manchas) en el papel
- Establecer la etapa en el proceso de producción más sensible a la contaminación del papel en relación al funcionamiento de los equipos que hacen parte de preparación pasta.
- Implementar un método técnico que permita cuantificar el grado de contaminación (presencia de puntos negros en el papel).
- Generar parámetros de aceptación del papel de acuerdo a un conteo de contaminación en una muestra (Dirt Count).



## **2 MARCO TEÓRICO**

Como conceptos claves para el abordar adecuadamente cada uno de los objetivos planteados, es necesarios tener conocimiento primordialmente del proceso de producción, así como de las sustancias que interactúan con la fibra, finalmente también es necesario conocer cómo se debe realizar el procesamiento de las imágenes que se requieren analizar para el conteo de punto negros presentes en el papel.

### **2.1 Etapas y equipos de proceso**

El proceso de fabricación de papel mediante el uso fibra secundaria reciclada está formado por etapas de vital importancia debido a que en ellas se involucran operaciones unitarias que están relacionadas a la separación de contaminantes que acompañan el papel (plásticos, metales, arena), desintegración de la materia prima, transporte de fluidos, transferencia de calor, reacciones químicas, refinación de la fibra, y formación de la hoja. A continuación, se enumeran algunas de las etapas mencionadas permitiendo una profundización en ellas para un mayor entendimiento en el proceso de producción.

#### **2.1.1 Pulpeo o desfibración.**

Después de que se realiza la recepción de la materia prima, el cartón reciclado que llega a la planta de producción de papel esta sufre un proceso de transformación que implica la desintegración de las pacas convirtiéndolas en una suspensión fibrosa, con el objetivo de individualizar fibras, hidratarlas para su posterior transporte por tubería hacia el sistema de preparación de pasta, todo esto es realizado con un equipo llamado pulper el cual es una cuba, normalmente a nivel inferior del suelo, en cuyo interior se encuentra una gran hélice. Al añadir la pasta de papel, comienza el proceso de disgregación de fibras, primero por el impacto al caer los fardos, después por el rozamiento de la hélice con la pasta y finalmente por el rozamiento de las mismas fibras entre sí. Esta acción genera calor que ayuda a la dispersión. [1][2]

#### **2.1.2 Refinación de la pulpa.**

Las fibras en suspensión preceden a un proceso mecánico de fricción, esto para aumentar la capacidad de afieltrarse entre sí, el proceso de refinación quizá es más notorio porque un cartón siempre será evaluado de acuerdo con sus resistencias físicas, por otra parte, hay papeles en donde las propiedades superficiales y ópticas son de mayor trascendencia que las resistencias físicas de acuerdo con su uso.

El proceso de refinación es mecánico, como se había mencionado su principal objetivo es fibrillar la suspensión, sin embargo, al mismo tiempo ocurre una introducción de moléculas de agua en algunas ramificaciones con el fin de hidratarlas, por otro lado, existe la posibilidad de que, durante este proceso mecánico ocurra un corte de las fibras generando así fibras de tamaños muchas más cortas debido a una fibrilación excesiva.[3]

### **2.1.3 Refinador**

Un refinador consiste básicamente de dos discos de metal, uno de los cuales es móvil y gira a gran velocidad, y en cuyas caras comunes existen unos surcos o ranuras de profundidad variable en el refinador, la obtención de fibras tiene lugar en dos etapas, el fiberizado o desfibrado y la fibrilación. El fiberizado consiste en convertir la estructura inicial de la madera en fibras simples y largas con un mínimo desperdicio. Este objetivo se consigue utilizando relativamente poca energía específica (energía por unidad de masa tratada), pero el diseño del disco refinador ha de ser muy preciso, pues se requiere una acción de rozamiento entre fibras, siendo preciso reducir el rozamiento entre fibra y disco, lo cual produce el acortamiento de la fibra. [1][4]

## **2.2 Sustancias químicas**

Poder establecer de alguna forma la relación que existe entre las sustancias de proceso y las propiedades de la fibra, permitirá identificar si la adición de un químico en específico afecta de manera directa la suspensión fibrosa, y es la culpable de la mala apariencia mostrada en el proceso de producción, mientras que, conocer cómo funcionan algunos aditivos como lo es el caolín, puede ayudar a esclarecer si es o no una alternativa adecuada para la eliminación de la contaminación.

### **2.2.1 Potencial z.**

Potencial eléctrico que existe en el plano de corte de una partícula, con una distancia corta de la superficie; es una función de la superficie cargada de una partícula. Elementos con un potencial Z positivo tienen una ventaja importante: remueven organismos muy pequeños cargados negativamente, muy debajo del rango de micrones por medio de atracción electrostática. [5][3]

### **2.2.2 Demanda de carga.**

Es la capacidad de una suspensión papelera en absorber especies químicas con carga eléctrica, hay 2 formas de medir la demanda de carga: aniónica y catiónica. La demanda de carga catiónica es comúnmente usada para predecir la respuesta de la máquina papelera a cambios por adición de promotores químicos, catiónicos, agentes floculantes, o en general para monitorear la química del lado húmedo. Normalmente la pulpa empleada para la fabricación de papel contiene una cantidad “basura” con una carga determinada que de no ser neutralizada puede afectar propiedades importantes del producto final como la resistencia y el encolado, por esta razón es necesario cuantificar la naturaleza y magnitud de esta carga con el fin de definir la cantidad de aditivos necesarios para neutralizarla o llevar dicha carga a un nivel que arroje la máxima eficiencia. [3]

### **2.2.3 Parafinas.**

Las parafinas son productos derivados del petróleo, su composición es principalmente de hidrocarburos de cadenas rectas, sin ramificaciones. Están caracterizadas por tener una



estructura “microcristalina” (cristales grandes y quebradizos) y longitudes de C18 hasta C40. Su peso molecular oscila entre 320 y 560, presentan consistencia sólida a temperatura ambiente. Su obtención se efectúa mediante procesos de extracción con solvente a partir de las fracciones de crudos parafínicos con rango de destilación entre 350 y 650 °C. las parafinas son sometidas a procesos de refinación (eliminación de aceite) para dar como resultado una variedad de grados, clasificados por su punto de fusión.[6]

#### **2.2.4 Caolín.**

El caolín es un silicato de aluminio hidratado, producto de la descomposición de rocas feldespáticas principalmente. El término caolín se refiere a arcillas en las que predomina el mineral denominado caolinita; puede tener diversos colores debido a las impurezas; brillo generalmente terroso mate; es higroscópico (absorbe agua); su plasticidad es de baja a moderada.

Otras propiedades importantes son su blancura, su inercia ante agentes químicos, es inodoro, aislante eléctrico, moldeable y de fácil extrusión; resiste altas temperaturas, no es tóxico ni abrasivo y tiene elevada refractariedad y facilidad de dispersión. Es compacto, suave al tacto y difícilmente fusible. Tiene gran poder cubriente y absorbente y baja viscosidad en altos porcentajes de sólidos.

Los caolines de alta calidad son caracterizados por bajos niveles de impurezas como hierro, titanio y minerales de tierras alcalinas. Su blancura es importante en muchas aplicaciones al reducir la abrasión de los equipos de proceso.

Dentro de las aplicaciones más importantes del caolín se encuentra la industria papelera, donde este se usa como carga, pigmento de revestimiento, para mejorar propiedades de brillo, como recubrimiento de la pasta de celulosa, se estima que esta industria demanda del 45% de total del caolín producido.[7]

#### **2.2.5 Stickies.**

Los stickies son una mezcla de sustancias orgánicas de textura pegajosa y cerosa que se generan a partir del proceso de pulpeo de materia prima reciclada en la industria papelera, estas partículas son generalmente insolubles en agua e impermeables a los tratamientos químicos tradicionales; una vez fuera del pulper y a través del proceso de manufactura del papel, los stickies tienden a aglomerarse creando depósitos molestos en todo el sistema. Este tipo de sustancias se clasifican en:

- a. Stickies primarios:** son sustancias pegajosas provenientes de diversos tipos de materia prima como, por ejemplo, adhesivos tipo “Holt Melt”, aglutinantes utilizados en la encuadernación o empastado de libros, sobres, notas adhesivas, recubrimientos de revistas.



- b. Stickies secundarios:** se forman como resultado de interacciones físicas y químicas que se producen durante el proceso de fabricación del papel. Una razón potencial para la formación de los stickies secundarios es de tipo de choque de alteración en los parámetros del proceso críticos, tales como la temperatura, pH y la carga que promueven la desestabilización coloidal y aglomeración de sustancias disueltas.

Las principales propiedades que presentan los stickies son:

- Hidrofobicidad.
- Sensibilidad a la temperatura.
- Densidad cercana al agua.
- Tendencia a aglomerarse.
- Pueden reblandecerse con solventes.
- Forma variable.
- Deformables.
- Elasticidad.
- Adhesividad.

Para poder estimar y cuantificar la contaminación del papel, se procedió al análisis de los puntos negros resultantes en el papel los cuales se cree que existe la posibilidad que puedan estar formados por diferentes mecanismos que son los causantes de mala apariencia, entre estos se encuentran: Stickies, parafinas, ceras, PVA, grasas. Estos contaminantes presentes en forma de puntos negros o manchas en el papel, pueden generar para el analista de turno un criterio de rechazo, por esto es necesario tener a disposición un software que pueda establecer un rango de aceptación y rechazo que pueda de alguna u otra forma dejar atrás la subjetividad del análisis.

## **2.3 Procesamiento de imágenes.**

Obtener una imagen apropiada y luego poder realizar la comunicación con el software es de vital importancia para generar una medición acertada, no obstante, es necesario tener algunos conocimientos previos al uso de cada uno de los softwares, para poder identificar alguna anomalía en el proceso de cuantificación de puntos.

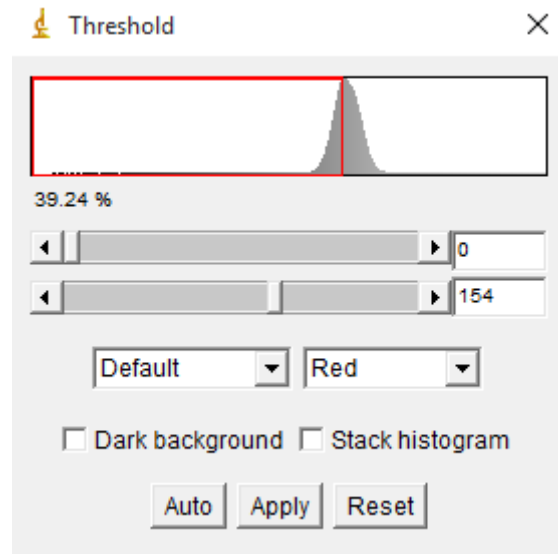
### **2.3.1 Conversión de imagen a escalas de grises:**

en una imagen digital el color de cada pixel se indica generalmente en el estándar RGB mediante la combinación de tres colores primarios (Rojo, Verde, Azul) cada uno de estos canales de colores contiene 256 niveles, por lo que combinados dan un total de 16777216 colores; por lo tanto, la imagen a analizar debió ser convertida a escalas de grises para reducir la información contenida en las muestras, y poder realizar los procesos siguientes en un solo canal de color o tonos de grises. [8], [9]

### **2.3.2 Detección del fondo:**

Para poder cuantificar de manera correcta los puntos presentes en las imágenes es necesario identificar las tonalidades de grises que le corresponde al fondo y las partículas. En el histograma de frecuencias resultante en la modificación de Threshold el eje horizontal indica

el tono de gris del 0 a 255 y el eje vertical indica el número de píxeles con ese nivel de gris como se muestra a continuación en la figura 1. [8][9]



**Figura 1.** Campana de ajuste de Threshold.

Debido a que las imágenes analizadas la concentración de partículas siempre menor al 50%, la mayoría de los píxeles pertenecerán al fondo, la posición del pico que corresponde a la cantidad de píxeles del fondo permitirá determinar la cantidad de la imagen, en una imagen con mucha luz el pico se encuentra hacia la derecha, nivel 255 correspondiente al blanco, si la imagen contiene poca luz el pico se encontrará en la izquierda, hacia el nivel 0 correspondiente al negro. En relación al tipo de imágenes que se manejan, el fondo será más claro que las partículas, pues estas obstruyen el paso de la luz, observándose casi negras; para imágenes que contengan un solo tipo de partículas, la tonalidad del gris del extremo izquierdo del pico, su parte más oscura, indicara el umbral para el cual los tonos por debajo de este pertenecen a las partículas y lo que se encuentren sobre el pertenecerán al fondo.

### 2.3.3 Binarización:

Una vez se obtiene el rango en donde se encuentran los píxeles del fondo y de las manchas en el paso anterior (detección de fondo), es necesario realizar una polarización con fin de convertir la imagen en tonos negros y blancos. Todos los tonos que se encuentran por debajo del umbral identificado para el fondo se convertirán en negro mientras que los demás se les asignara el color blanco. [8], [9]

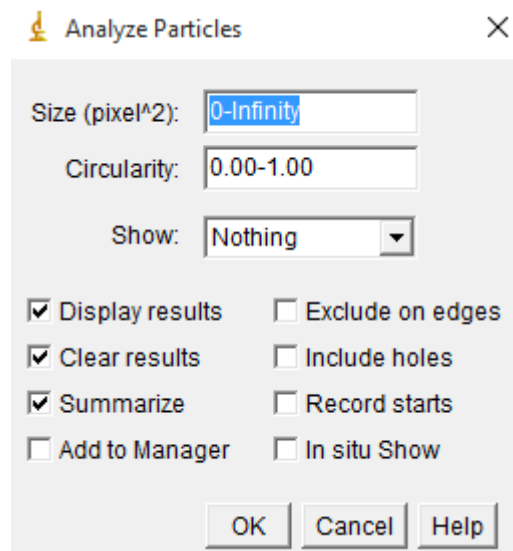
### 2.3.4 Segmentación:

Para contar el total de partículas es necesario diferenciar unas de otras agrupando todos los píxeles que forman cada una de las partículas en segmentos diferentes unos de otros. Para lograr esto se explora toda la imagen binarizada en búsqueda de píxeles negros, correspondientes a las partículas que no hayan asignados a alguna región. Al encontrarlos se marcan como pertenecientes a una nueva región, junto con todos sus píxeles vecinos, y los vecinos de estos se almacenan en una lista con la dirección  $x$ ,  $y$  de cada uno de ellos. Al terminar de explorar la imagen se tendrá una lista de todas las regiones de la imagen o

partículas, donde cada elemento será, a su vez, una lista que contiene todas las direcciones de los píxeles que forman ese segmento o partícula de la imagen. [8], [9]

### 2.3.5 Conteo:

El conteo de partículas se realiza definiendo el tamaño máximo y mínimo de las partículas, en caso de que se requiera realizar mediciones por intervalos de medición, es necesario realizar una macro con una rutina que proporcione los datos de cada lectura en los intervalos en específico, por otro lado, se puede controlar la forma de las partículas mediante el uso de una función llamada *Circularity* donde se consideran valores entre 0 y 1 (Circular perfecto) como se puede observar en la figura 2:



**Figura 2.** Ventana para la configuración de conteo de partículas.

### 3 METODOLOGÍA.

#### 3.1 Determinación de la incidencia de las sustancias químicas presentes en el proceso.

El desarrollo de estos ensayos tiene como objetivo principal poder descartar que, los químicos funcionales usados en el proceso de producción fueran los causantes del problema de apariencia, abarcando la interacción entre ellos, así como cada uno por sí solo. Cada una de las sustancias químicas analizadas están directamente relacionadas en el proceso de producción.

Los ensayos realizados consistieron en realizar hojas de mano modificando variables como dosificación de químicos y calentamiento asemejando las condiciones de proceso que se presenta en el proceso de producción del papel. Se tomaron diferentes muestras de los químicos que se usan en el proceso, con la fibra y el papel formado. Las sustancias en cuestión utilizadas fueron: Aceite hidráulico de compactadora, aceite de la zona de secado, antiespumante, control microbiológico, control de Stickies, adhesivos y ayudante a encolante.

Además de las sustancias químicas mencionadas anteriormente, se hicieron ensayos con materias primas empleadas en los corrugadores: tinta de impresión y adhesivo usado en el pegue de las aletas de las cajas, por otro lado, debido a que se tiene la hipótesis que la fibra secundaria usada en el proceso de producción viene contaminada con ceras y parafinas, se utilizó parafina sólida para hacer ensayos.

El procedimiento usado a nivel de laboratorio para la formación y secado de las hojas de mano es el siguiente:

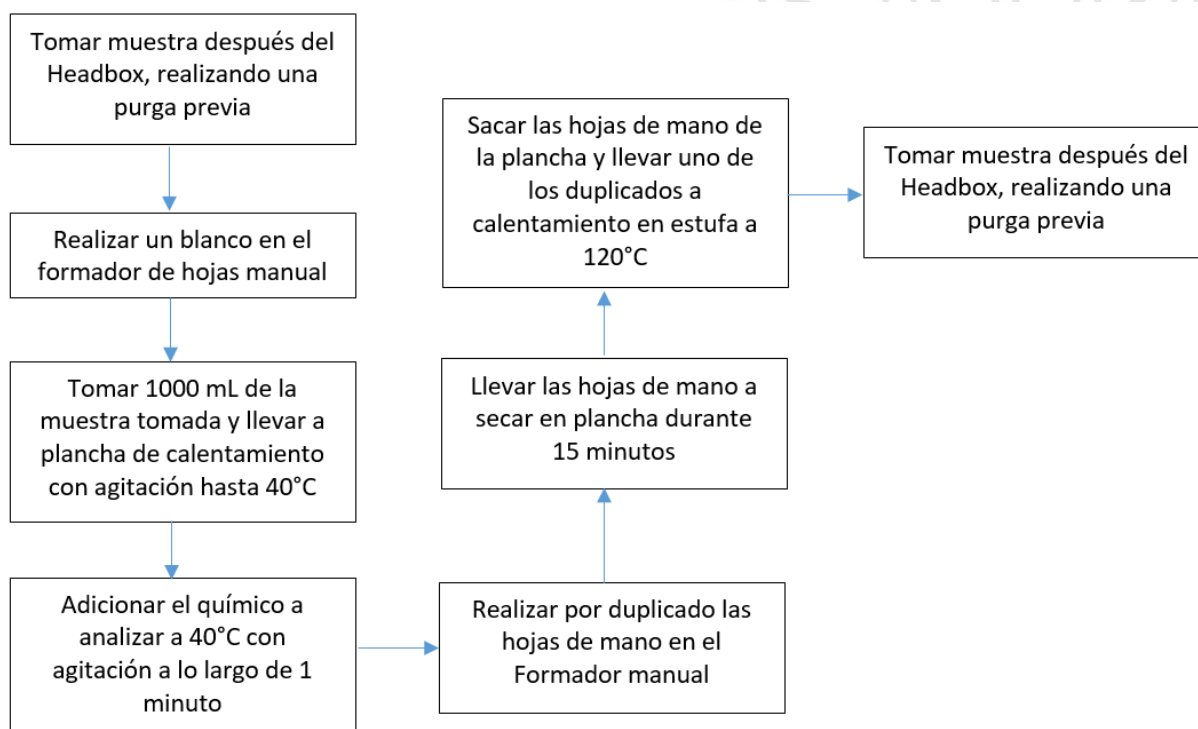


Figura 3. Proceso de formación de hojas de mano.





**Figura 4. Desintegrador de hojas.**




**Figura 5. Formador de hojas manual.**

En diagrama de flujo mostrado en la Figura 3 sufre modificaciones dependiendo del tipo de análisis que se requiere hacer, en algunas ocasiones no se tomó muestra después del Headbox si no que se tomaron muestras de las bobinas de papel para su posterior desintegración y formación de suspensión fibrosa con el equipo mostrado en la figura 4 mientras que la generación de la hoja se lograba con el equipo mostrado en la figura 5. Las dosificaciones de las sustancias químicas fueron de 1, 3 y 5mL. Para el caso de los adhesivos (Resina adhesiva, PVA) se quería ver la interacción de ellos con cada una las sustancias químicas del proceso por esto se realizaron mezclas dosificando 1,5mL de cada sustancia, sin embargo, las adiciones no se realizaron al mismo tiempo, se tuvieron una diferencia de aproximadamente de 30 segundos para la adición entre uno y otro.



### 3.2 Establecimiento de etapa del proceso más sensible a la contaminación.

Para poder alcanzar los objetivos planteados correspondientes a la incidencia de las sustancias químicas en el papel, se procedió a realizar el mismo procedimiento mostrado en la Figura 3, pero con diferentes sustancias químicas, en este caso específicamente se trabajó con parafina sólida y un caolín modificado a continuación se muestra en la siguiente tabla como se procedió en cada ensayo:

**Tabla 1.** Métodos para la identificación de la incidencia de sustancias químicas en el proceso.

| Método  | Descripción  | Imagen   |
|---|--|--|
| <b>Impregnación y formación con parafina (prueba 1)</b> | Para este ensayo se usó parafina sólida (vela), para el caso de la impregnación se derritió la vela y se dejó caer directamente sobre la muestra de papel que se tenía, como se muestra en la imagen |  |



|  |   |  |
|--|---|--|
| <p><b>Impregnación y formación con parafina (prueba 2)</b></p> | <p>Para el caso de la formación de hojas con presencia de este componente, se usaron 2 alternativas: la primera consistió en tomar muestras de hojas ya formadas para luego impregnarlas con la parafina y posteriormente usar el desintegrador que se muestra en la Figura 4, una vez obtenida la suspensión fibrosa se procedió a la realización de la hoja de mano.</p> <p>Al momento de realizar las hojas de mano, se hicieron por duplicado esto con el fin de llevar una a calentamiento en plancha y otra llevarlas a la estufa hasta 120°C.</p>  |    |
| <p><b>Ensayos de Talcos</b></p>                                | <p>La persistencia y la continuidad de la contaminación de las hojas de papel resultantes del molino, es necesario realizar una continua revisión de productos que ayuden a mitigar este problema, en este caso se empleó un caolín modificado con proteína y se verifico su acción sobre la suspensión fibrosa como se mencionó anteriormente.</p> <p>Debido a que es necesario determinar en qué punto del molino se puede replicar los resultados de los Reels que se están sacando, fue necesario realizar una verificación del punto óptimo donde se pueda muestrear y dilucidar la contaminación en las hojas.</p> <p>El ensayo realizado consistió en tomar una muestra de fibra proveniente del Head Box, ya que en este punto se pudo corroborar previamente que, en el momento en que se tenía inconvenientes con la apariencia las hojas de mano que resultaban de este lugar mostraba dicho fenómeno, una</p> |  |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p>vez obtenidas las muestras se realizaron blancos de cada una de ellas en el formador de hojas manual (ver imagen 1), posteriormente se empezaron a realizar las dosificaciones de las diferentes tipos de Caolín que el grupo de investigación de coloides tenía a disposición.</p> |  |
|--|--|--|

### **3.3 Implementación de un método para medición técnica de la apariencia y establecimiento de parámetros de aceptación.**

La cantidad de puntos que se aprecian en las bobinas de papel es bastante variable, la cantidad apreciable de estos puntos definen para el analista de calidad cuales se aceptan y cuáles no, debido a esto obtener una cuantificación y categorización de los puntos presentes en las hojas ayuda al operario a perder la subjetividad del proceso de revisión de la apariencia.

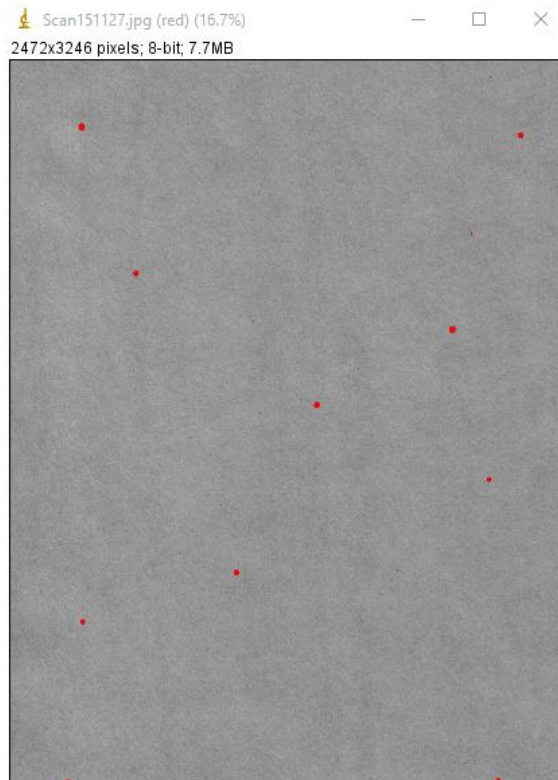
Se analizaron 3 Softwares, donde 2 de estos estaban listos para su uso, es decir, programados de tal forma que se hacían las lecturas inmediatas, sin embargo, software restante de licencia gratis fue necesario realizar la programación completa para usar una lectura adecuada, los pasos que se siguieron para realizar esta programación consistieron en:

#### **3.3.1 Conversión de la imagen a escalas de grises.**

Una vez cargada la imagen al software, se seleccionó la parte de ella que se desea analizar, posteriormente mediante el uso de una opción que divide la imagen en 3 más organizadas según el formato RGB (red, Green, blue). Para poder realizar los siguientes ajustes a la imagen a analizar, fue necesario establecer cuál de las 3 resultantes se pueden apreciar mejor los pixeles pertenecientes al fondo y las partículas.

#### **3.3.2 Detección del fondo.**

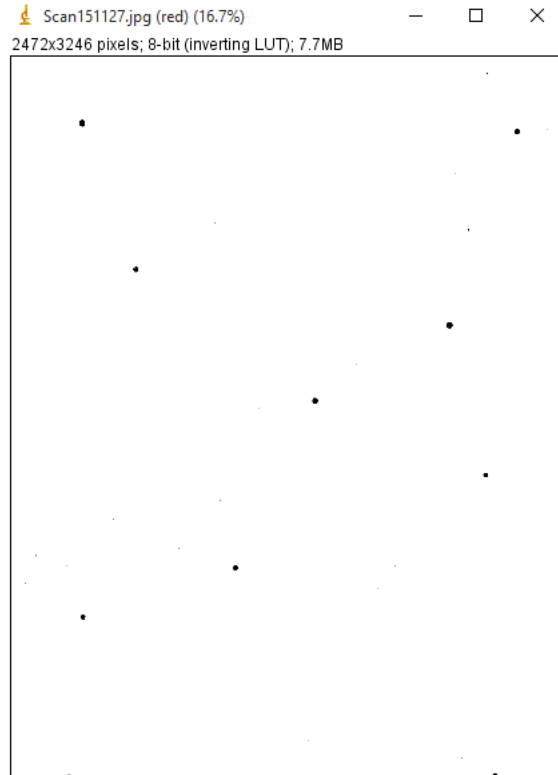
La identificación de los pixeles pertenecientes al fondo, se hizo con el histograma de frecuencias que se obtiene cuando se realiza la modificación del Threshold, esto se realizó de manera visual identificando según una sucesión de puntos impresos en diferentes hojas, ya que en este punto se tiene control del conteo y de las que se puede previsualizar como se muestra a continuación en la figura 6:



**Figura 6.** Identificación de pixeles del fondo y de las partículas.

### 3.3.3 Binarización.

Luego de identificados los pixeles correspondientes al fondo y a las partículas se procedió a la Binarización de la imagen, convirtiendo las escalas grises en tonos negros y blancos como se puede apreciar en la figura 7, la cual corresponde a una imagen con solo estas tonalidades mencionadas.



**Figura 7.** Binarización de imagen Red.

#### **3.3.4 Segmentación.**

El proceso de segmentación consistió en la categorización de los píxeles que hacen parte de la imagen, asignándolos a unas secciones en específico.

#### **3.3.5 Conteo.**

Para realizar el conteo fue necesario establecer la circularidad de los puntos analizados, el área de cada uno, y el total de puntos que se pueden apreciar en la imagen.

Una vez se pasó por cada uno de los pasos mencionados anteriormente, se preceda a la medición de muestras, para esto, se tomaron 65 muestras las cuales se analizaron con cada uno de los softwares disponibles y se realizó una comparación entre los mismos. Posteriormente se realizó la creación de nuevas Macros para el software de licencia gratis, debido a que la medición de los puntos difería mucho de acuerdo al escáner que se estuviese usando.

#### **3.4 Seguimiento a equipos de planta.**

El seguimiento de los equipos de planta se realizó en algunos lugares donde se consideraba había más posibilidad de que el tema de contaminación fuese más crítico, y se pudiera establecer según el tipo de alimentación de fibra secundaria y las condiciones de proceso que se estuvieran trabajando; una vez tomadas las muestras se realizaron hojas de mano en el formador de hojas manual y se procedió a una inspección visual y cuantificación de los puntos mediante el software de licencia libre.

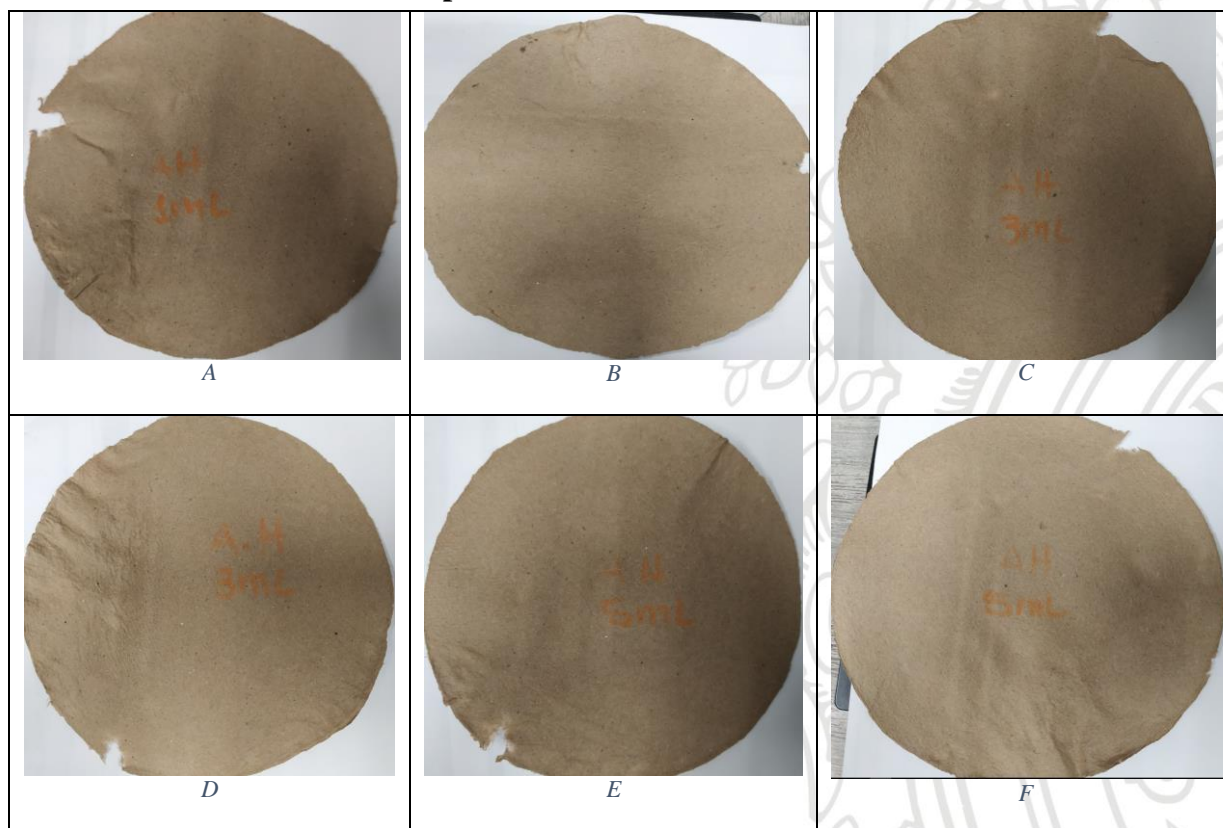


## 4 RESULTADOS.

### 4.1 Ensayos química del papel

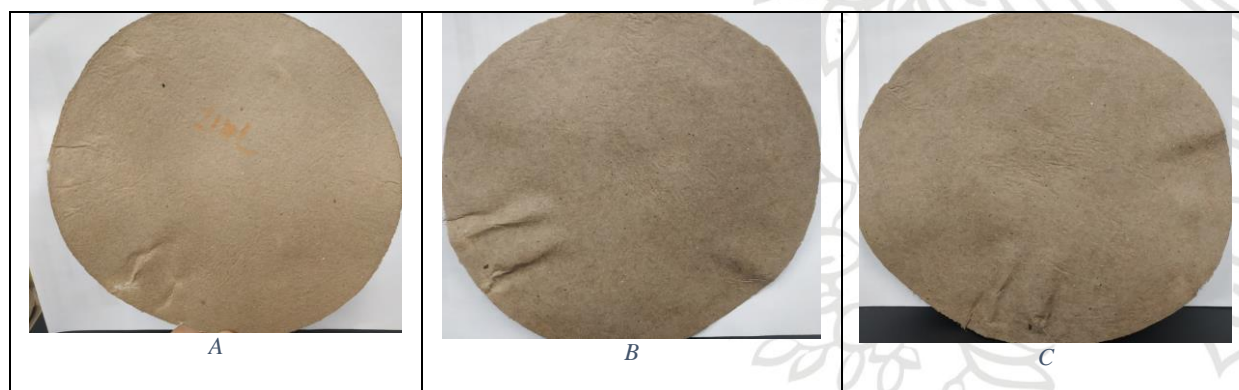
Los ensayos realizados con la química del papel mostraron diversos resultados a continuación se puede observar un registro fotográfico de las hojas de mano realizadas.

#### 4.1.1 Aceite hidráulico de compactadora.

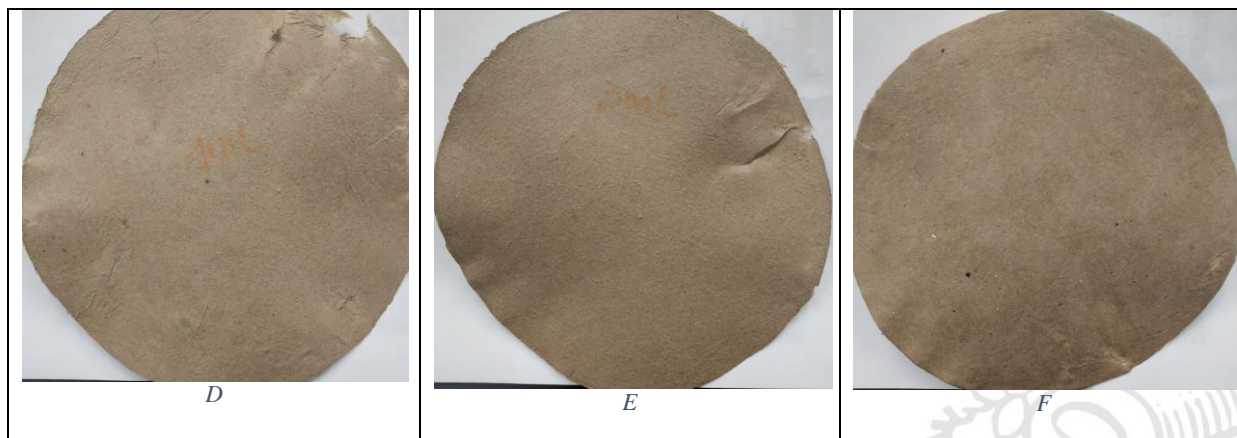


**Figura 8.** Dosificación de aceite hidráulico, A-1 ml plancha, B-1 ml estufa, C-3 ml plancha, D-3 ml estufa, E- 5ml plancha, F-5 ml estufa.

#### 4.1.2 Aceite del sistema de lubricación de secado

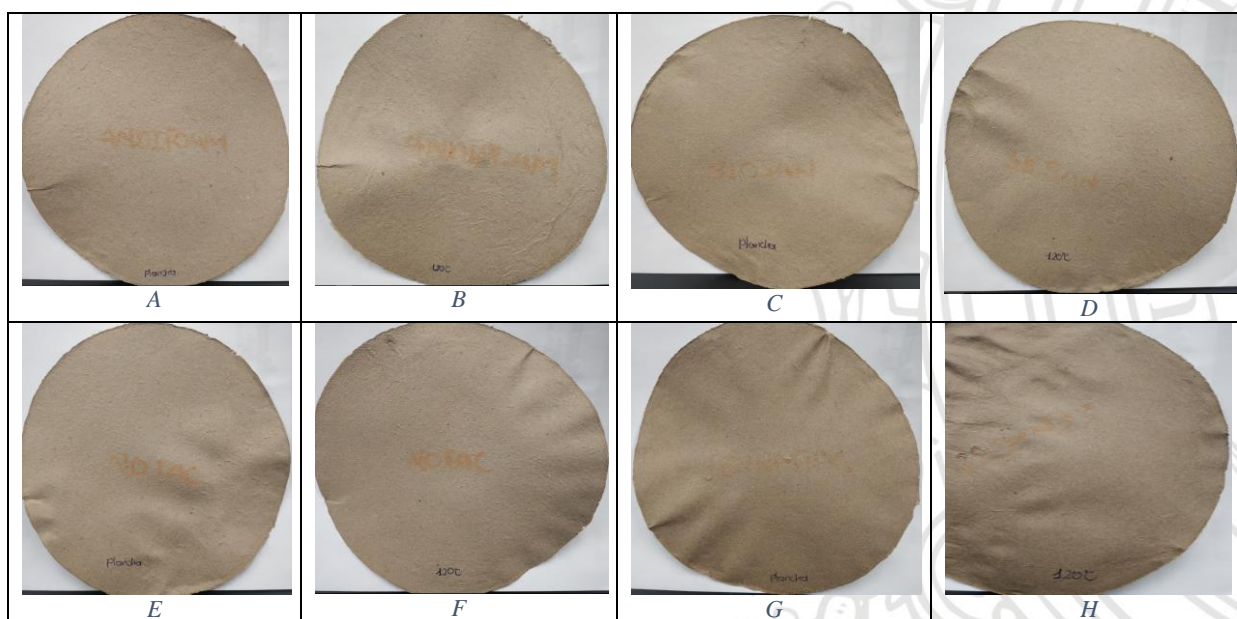






**Figura 9.** Dosificación de sistema de lubricación de secado, A-1 ml plancha, B-1 ml estufa, C-3 ml plancha, D-3 ml estufa, E- 5ml plancha, F-5 ml estufa.

Los ensayos realizados con los aceites pertenecientes a la compactadora hidráulica y secado, como se muestran en las figuras 8 y 9, se evidenció que al realizar la hoja de mano cada uno de ellos dejaba un rastro en forma de manchas localizadas por toda hoja y a medida que se aumentó la dosificación se observó que la impregnación del aceite fue mucho más visible hasta cubrir completamente la hoja.



**Figura 10.** Dosificación de sustancias químicas del proceso, A- antiespumante plancha, B. antiespumante estufa, C-biosida plancha, D- biosida estufa, E- anti stickies plancha, F- anti stickies estufa, G- floculante plancha, H- floculante estufa.

Los resultados observados en la figura 10, muestran que, si hay un cambio en la formación del papel, estos cambios no son parecidos a los que se presentan en el proceso de producción, ya que las hojas formadas dejan ver manchas muy grandes que parecen una impregnación más que a una aglomeración y formación de puntos, por otro lado, estas impregnaciones se localizaron en algunos puntos de la hoja, también se pudo apreciar que el antiespumante fue la sustancia química que más cubrió el papel con una tonalidad más oscura sin que se pueda apreciar un daño de apariencia.

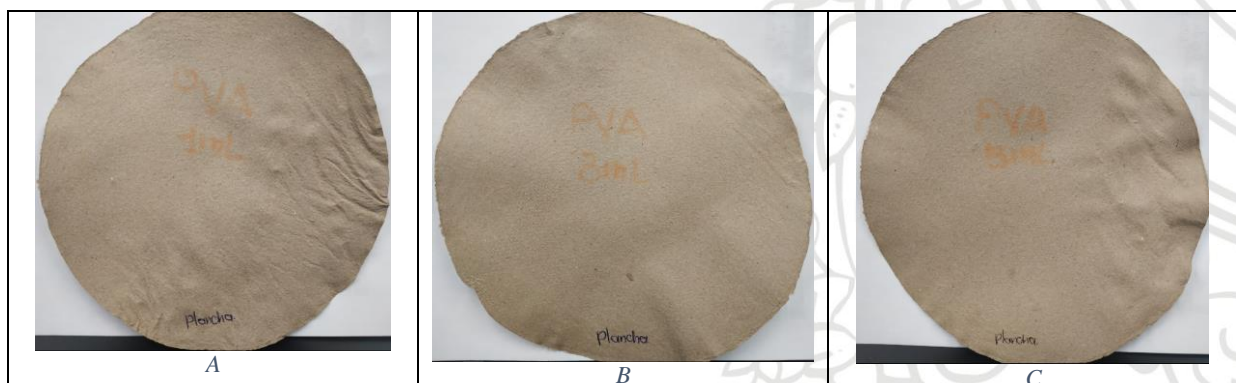
#### 4.1.3 Resina adhesiva.



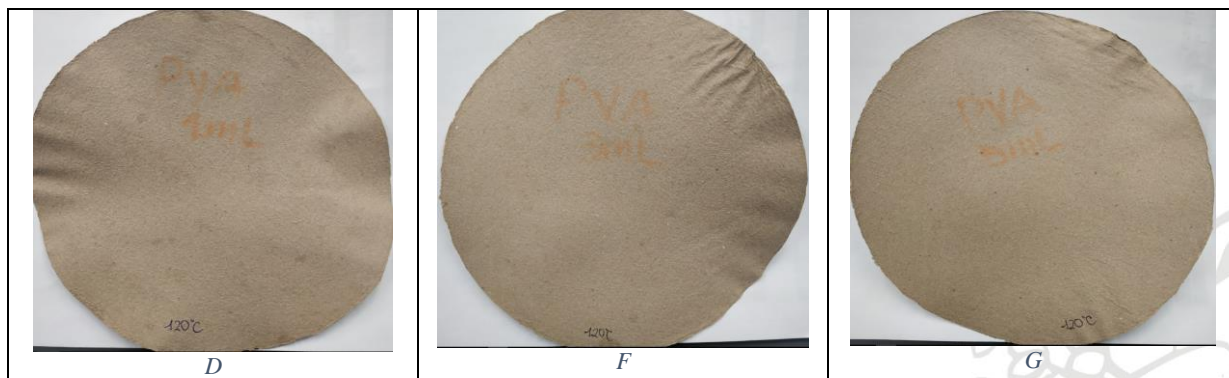
**Figura 11.** Dosificación de Resina adhesiva, A-1 ml plancha, B- 3ml plancha, C- 5 ml plancha, D-1 ml estufa, E-3 ml estufa. F- 5 ml estufa.

Las hojas de mano realizadas con Resina adhesiva pertenecientes a las Figura 11 son las que arrojaron resultados mucho más parecidos a los problemas que se están presentando actualmente de contaminación, aunque se produjeron manchas con una tonalidad más clara, la dispersión en toda la hoja y los diámetros fueron similares a los encontrados cuando se tiene problemas de apariencia, siendo más notorio el ensayo realizado con una dosificación de 3mL en calentamiento con estufa a 120°C, también se observó que al momento de secar la hoja en la estufa se presentaba la expansión de las manchas mencionadas.

#### 4.1.4 PVA



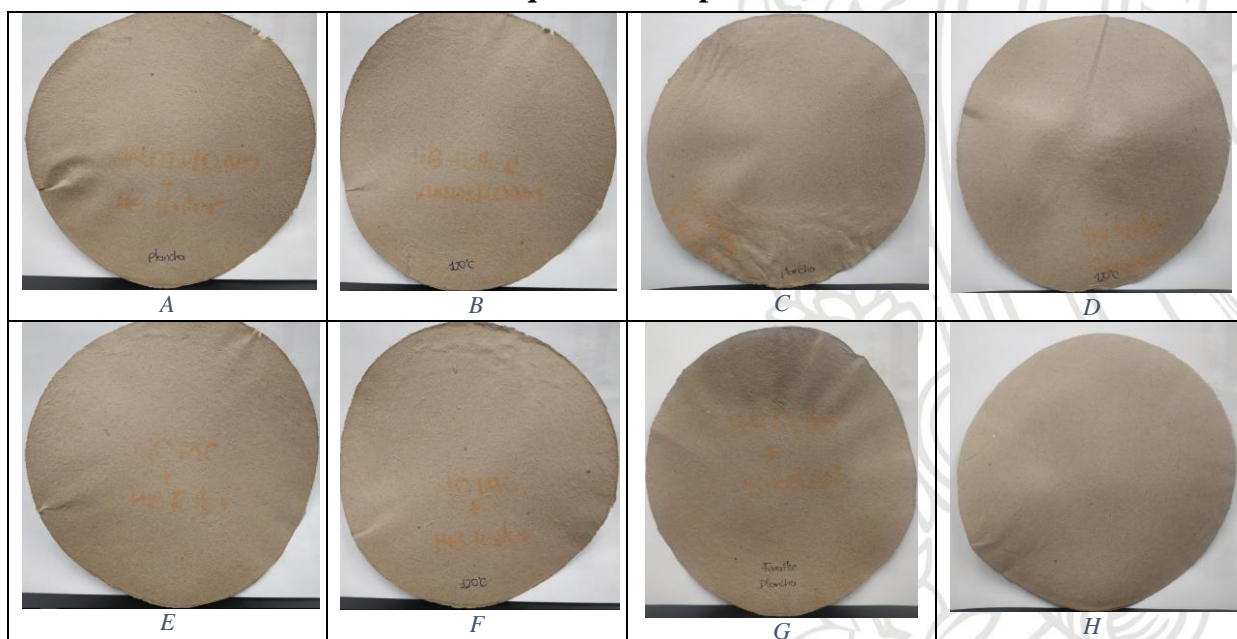




**Figura 12.** Dosificación de PVA, A-1 ml plancha, B- 3ml plancha, C- 5 ml plancha, D-1 ml estufa, E-3 ml estufa. F- 5 ml estufa.

Para el caso del PVA se observó unas pequeñas manchas con una tonalidad más clara a las que se obtienen en planta como se puede ver en la Figura 12, localizados en algunas partes de hoja, también se encontró que en el momento de ingresar la hoja de mano a la estufa a una temperatura más elevada la mancha sufría un fenómeno de esparcimiento, es decir, se incrementaba un poco el área de la misma, también se pudo ver que a medida que se aumentaba la concentración de la sustancia química se veía un aumento en el número de manchas encontradas.

#### 4.1.5 Resina adhesiva + sustancias químicas del proceso.



**Figura 13.** Combinación de dosificación de resina adhesiva+ sustancias químicas, A-antiespumante plancha, B. antiespumante estufa, C- biosida plancha, D- biosida estufa, E-antistickies plancha, F- antistickies estufa, G- floculante plancha, H- floculante estufa.

#### 4.1.6 PVA + sustancias químicas del proceso.

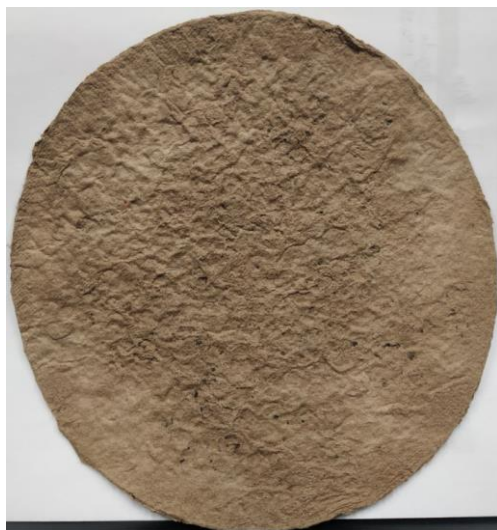


**Figura 14.** Combinación de dosificación de PVA+ sustancias químicas, A-antiespumante plancha, B. antiespumante estufa, C- biosida plancha, D- biosida estufa, E- antistickies plancha, F- antistickies estufa, G- floculante plancha, H-Floculante estufa.

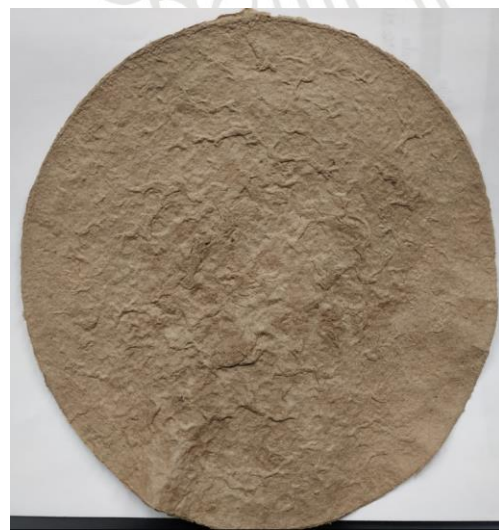
En los ensayos relacionados a las sustancias químicas que están presente en el proceso de producción en el molino las cuales corresponden al registro fotográfico de las ilustraciones 13 y 14, no se presentaron resultados que muestren que puedan llegar a interactuar de forma negativa en la apariencia, los resultados fueron similares a los blancos realizados.

#### 4.2 Impregnación y formación con parafina.

A continuación, se muestra el registro fotográfico tomado en este ensayo:

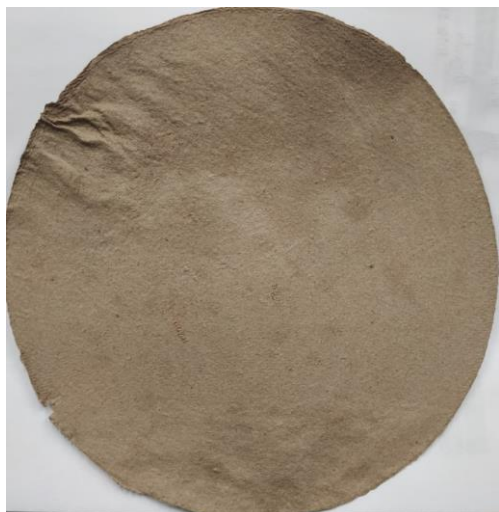


a



b.





c



d

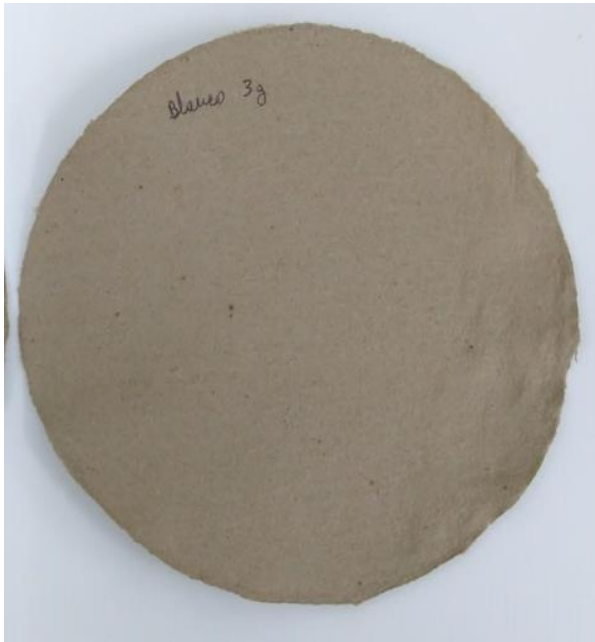
Los resultados que se pueden apreciar en las hojas de mano obtenidas con la impregnación de parafina sólida muestran una relación con los aceites, es decir, se puede observar un papel con manchas aceitosas en los lugares en los que se ubica la sustancia evaluada, inicialmente la impregnación fue excesiva dando como resultado una hoja arrugada y quemada en el momento de secar en la estufa como se puede apreciar en las figuras 15-a y 15-b. En el momento de realizar dosificaciones menores se pudo ver una hoja con una especie de sombra o manchas con tonalidad clara a lo largo de la hoja, como se puede observar en las figuras 15-c y 15-d, no obstante, este resultado no concuerda con la misma tonalidad, cantidad y forma de los puntos negros formados en planta.

Los ensayos realizados impregnando parafina derretida sobre la hoja, mostraron manchas que tienen una tonalidad parecida a los puntos que se tienen en planta, sin embargo, los diámetros obtenidos son mucho más grandes, por otro lado, las hojas formadas después de la desintegración con parafina generaron manchas con tonalidades más claras en toda su extensión.

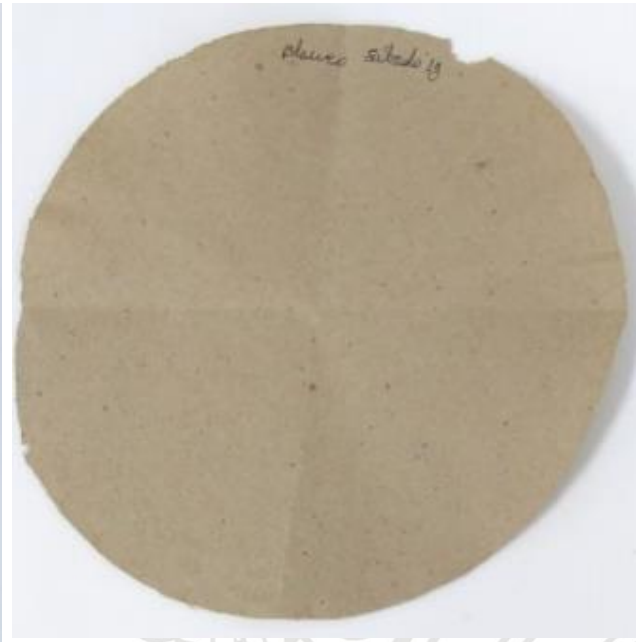
#### **4.3 Ensayos con caolín.**

Los tipos de caolín trabajados generaron diferentes efectos en las hojas formadas, en el siguiente registro fotográfico se puede apreciar los resultados más relevantes.

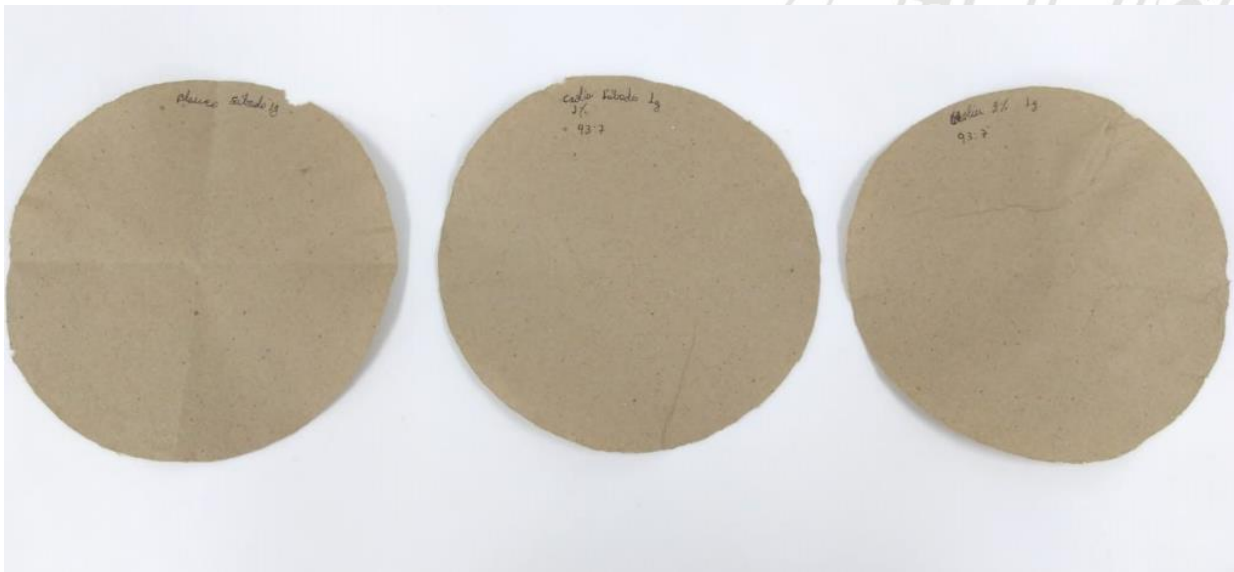




**Figura 15.** Blanco de muestra 1.

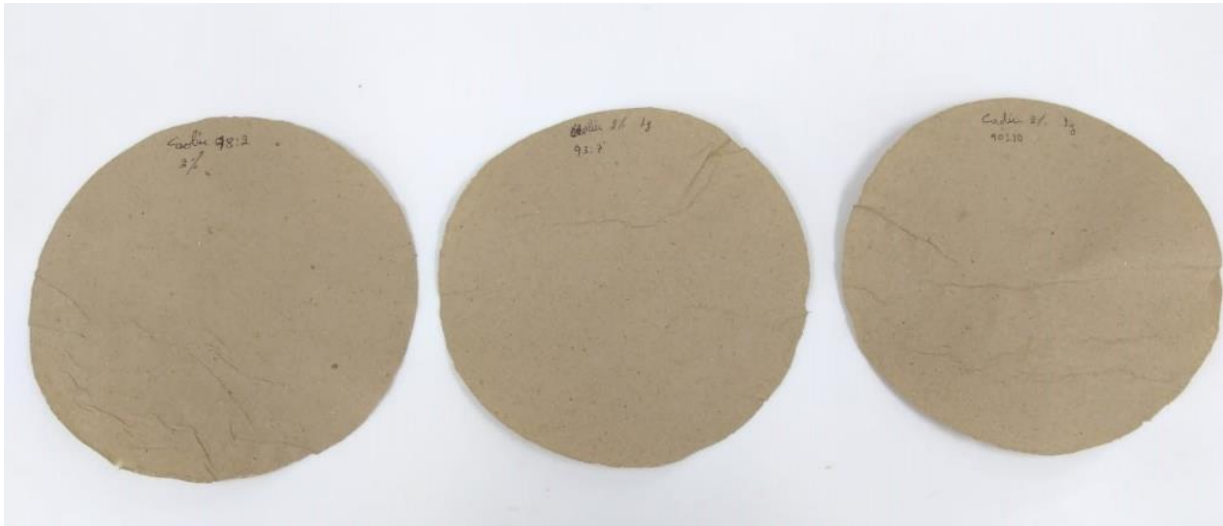


**Figura 16.** Blanco muestra 2.



**Figura 17.** Comparación entre blanco y dosificaciones de Caolín 93:7.

Se dispuso de 2 muestras para la realización del ensayo, esto para generar una repetitividad del ensayo, en las figuras 15 y 16 se pueden observar los blancos realizados para cada una de ellas, en estas imágenes se puede apreciar que hay presencia de puntos negros en la hoja formada, lo que es muy importante para poder ver la eficacia de los caolines modificados. En la Figura 17, se puede apreciar la homogenización del caolín 93:7 con el equipo de dispersión, los resultados obtenidos muestran una acción totalmente contraria a la hipótesis que se había planteado inicialmente (acción dispersante), ya que, la hoja formada con el caolín dio presencia de un aumento de puntos en comparación al blanco realizado por lo que se supondría que el funcionamiento es aglomerante.



**Figura 18.** Comparación entre los 3 tipos de Caolines usados.

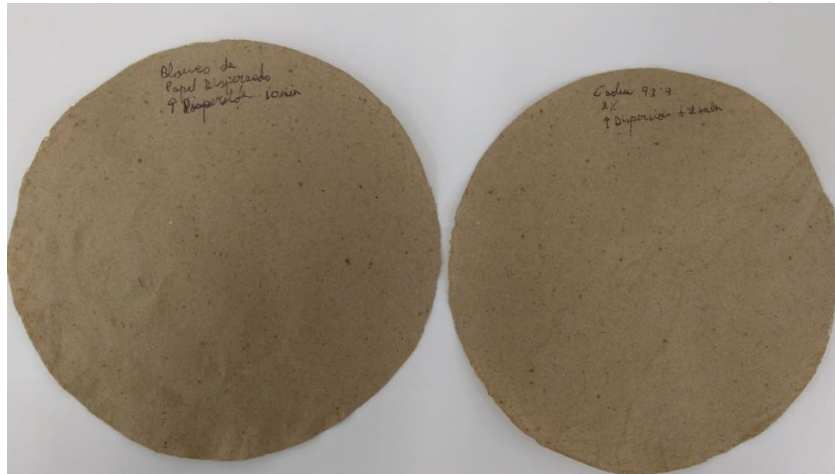
En la Figura 18 se puede observar la acción de los 3 diferentes tipos de caolín modificados, en principio se vio que al aumentar el contenido de proteína se veía una pequeña diferencia en las hojas formando tendiendo a mejorar, sin embargo, las diferencias eran mínimas. Por otro lado, se analizó el comportamiento del caolín usando hojas desintegradas, se realizó dispersión por alrededor de 10 min, y luego dosificación con agitación durante 2 minutos, cuando se obtenía la hoja de mano se podía ver gran presencia de puntos, sin embargo, en el momento de poner dichas hojas a contra luz, se podía apreciar que esto se debía más a aglomeración de fibra poco dispersa en toda la extensión de la hoja

Debido a que en algunos de los ensayos no se pudo apreciar demasiada presencia de contaminación en las hojas formadas, se realizó otro ensayo que consistió en desintegrar unas muestras con un conteo de puntos mayor como se muestra a continuación.



**Figura 19.** Muestras desintegradas usadas en el ensayo.

En la figura 19 se puede observar una hoja típica del momento en el que se tiene mala apariencia en el proceso, en esta se puede ver una gran cantidad de puntos negros de múltiples tamaños alrededor de toda la hoja que sirvió como insumo para probar la eficacia del caolín usado. Una vez se hizo la desintegración, se procedió a realizar las dosificaciones de los caolines tratados obteniendo los siguientes resultados.



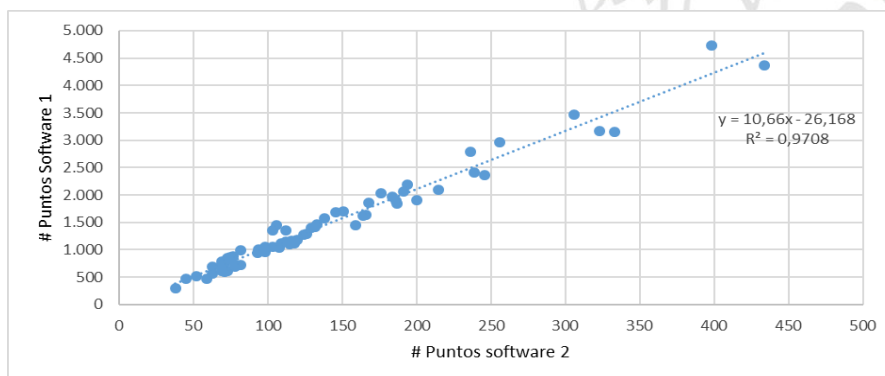
**Figura 20.** Resultados de hojas dispersadas con 2 min de agitación.

Al iniciar las pruebas se empezó a realizando dosificaciones de 1% en peso del caolín 93:7, y se pudo observar una leve mejoría, por dicha razón se aumentó a un 2%, por lo tanto, se asumía en un principio que mecanismo de acción del material usado era dispersante. Por otro lado, se usó el equipo de dispersión para homogenizar las dosificaciones que se estaban realizando con el caolín 93:7 por 2 min a las muestras tomadas de la suspensión fibrosa después del Headbox como se puede observar en la figura 20.

#### 4.4 Comparación de software para medición técnica de apariencia.

el manejo de cada uno de los programas empleados en la medición de apariencia se realizó de acuerdo a la capacitación recibida por parte de uno de ellos, y la ayuda de otro proveedor que actualmente trabaja con el otro software en PAPELSA.

Los resultados obtenidos en la medición de las 65 muestras consideradas inicialmente deojo prever que hay una buena correlación entre el software 1 y 2, ya que las mediciones realizadas, aunque no coincidían en el total de puntos que cada uno media, si lo hacía en las proporciones resultantes, como se puede ver a continuación:



**Figura 21.** Correlación obtenida entre el software 1 y 2.

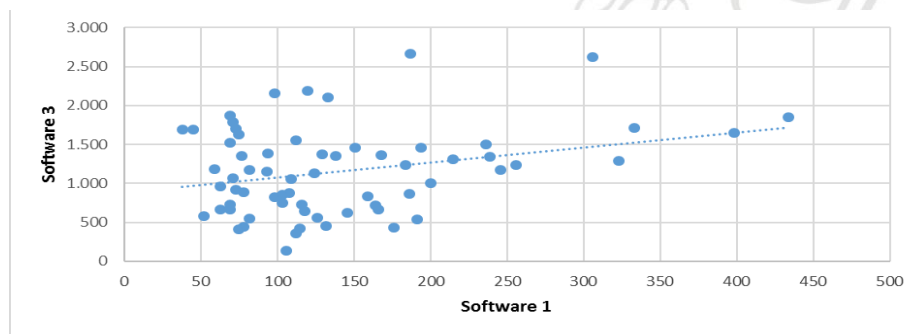


La figura 21 muestra que hay una relación directa entre el software 1 y 2, se puede apreciar que el número total de puntos que se detectan es muy diferente, esto es debido a que cada uno funcionaba de acuerdo al reconocimiento de puntos con el que viene configurado cada software, dicha discrepancia se podía apreciar en los rangos de puntos más pequeños, que generalmente son lo que no son perceptibles al ojo humano, para las mediciones realizadas los rangos tomados para este análisis son los que se aprecian en la tabla 2.

**Tabla 2.** Rangos tomados para la medición de puntos.

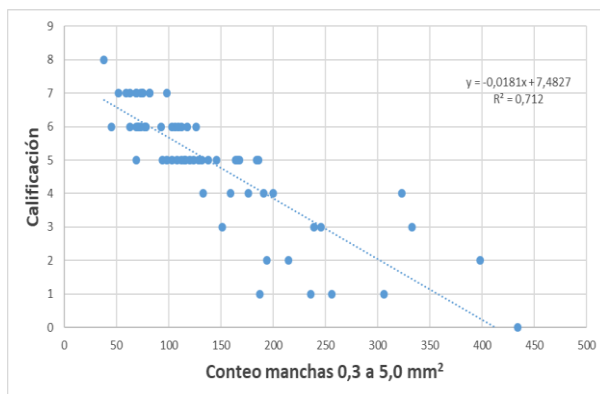
|                         | Número de puntos |             |             |             |             |             |                |
|-------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Área (mm <sup>2</sup> ) | 0,071/0,100      | 0,101/0,200 | 0,200/0,300 | 0,300/0,500 | 0,500/1,000 | 1,000/5,000 | 5,000/infinito |
| Diámetro (mm)           | 0,301/0,357      | 0,357/0,505 | 0,505/0,618 | 0,618/0,798 | 0,798/1,128 | 1,128/2,523 | 2,523/Infinito |

Mediante la ejecución de cada medición se logró establecer que el rango desde donde se puede tener apreciación de los puntos para que afecten la apariencia es el que corresponde a 0,3 mm<sup>2</sup>. De igual forma se realizó la comparación entre del software 1 y 3 (licencia gratis), en cuales se pudo observar lo siguiente:

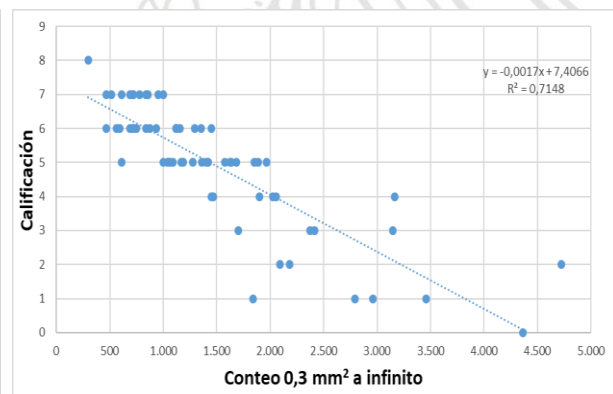


**Figura 22.** Correlación entre software 1 y 3 (65 muestras).

Se puede observar que no hay ninguna relación entre el software 1 y 3 como se muestra en la figura 22, ya que hay una dispersión de puntos a lo largo de las mediciones que no se asemejan de ninguna forma. Realizando una inspección visual con las personas que se encuentran en el molino, se logró realizar una calificación de cada una de las hojas analizadas en un rango de 1-10, posteriormente se realizó un análisis en base a los puntos obteniendo los siguientes resultados:

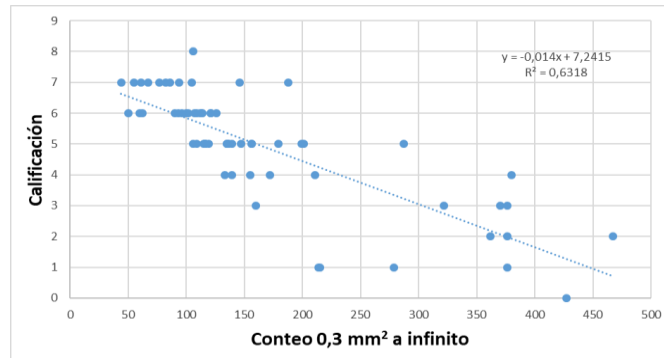


a



b



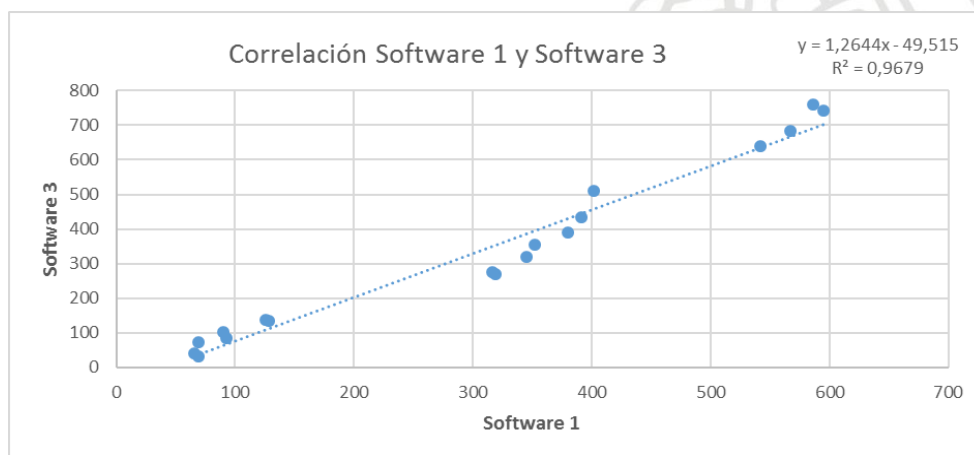


C

**Figura 23.** Calificación de muestras vs # puntos, a-software 1, b-software 2, c- software 3.

En las gráficas 23-a y 23-b se pudo establecer que en el software 1 y 2 hay una clara tendencia a que las muestras correspondientes a calificaciones malas (1-5) contienen mayor número de puntos, mientras que para muestras con calificaciones buenas o aceptables (6-10) hay un menor número de puntos detectado, estos resultados concuerdan con lo presupuestado, sin embargo para el software de licencia gratis no se pudo observar esta misma relación, puesto que números de puntos altos estaban presentes en muestras con calificaciones buenas como malas.

Los resultados por el software 3 no presentaron una buena correlación como se observa en la figura 23-c, pero en este caso se pudo observar que las imágenes resultantes para el análisis dependían mucho del escáner usado, el que se estaba usando en particular, no proporcionaba unas buenas imágenes, debido a que contenía una cubierta plana de plástico, la cual la incidencia de luz generaba unas sombras que interferían con el conteo de puntos, esto se corroboró mediante el escaneo de la misma muestra diferentes veces y se pudo ver que el número de puntos cada vez eran diferentes, por este motivo se decidió realizar una nueva programación de la rutina de conteo usando un nuevo escáner que no le afectara las incidencias de luz y la calidad de la imagen fuera superior; fueron en total 18 imágenes analizadas y se compararon con el software 1 y se pudo evidenciar una correlación cercana al 97% como se observa en la figura 24.



**Figura 24.** Correlación obtenida para 18 muestras analizadas.

#### 4.5 Seguimiento a equipos de planta.

El seguimiento realizado en algunas zonas del molino, especialmente en los puntos donde se cree que es más posible la variación de apariencia si cambia alguna condición el proceso, se realizó mediante la comparación de hojas de mano cómo se puede ver a continuación:



**Figura 25.** Registro fotográfico de seguimientos a equipos de planta.

En cada una de las imágenes analizadas no se pudo establecer relación alguna, ya que las variables que se analizaban, como % de fibra corta y fibra larga, flujos de cada corriente, equipos que no estaban en funcionamiento, no manifestaron diferencia alguna en las hojas de mano realizadas, debido a que siempre mostraron resultados muy parecidos que no da paso a relación alguna. La figura 25 muestra claramente lo que se obtiene en cada una de las etapas, estos resultados fueron muy diversos ya que en algunos había presencia hasta de plásticos, y

muchos otros contaminantes no identificados que dificultaron poder observar alguna tendencia relación entre los parámetros de trabajo con la mala apariencia.



## 5 CONCLUSIONES

La apariencia mostrada en los ensayos con los químicos que se encuentran en el proceso de producción no generaron los puntos negros que actualmente se tienen en planta, en su mayoría ninguno generó algún cambio representativo en el papel, algunos químicos como el floculante generaron parches localizados en toda la extensión de la hoja pero sin generar la mala apariencia, por otro lado, los aceites proporcionaron unas manchas de una tonalidad clara descartando así cualquier posibilidad de que estos fueran los causantes de la mala apariencia en el papel.

Las dispersiones y tamaños de las manchas encontradas en los ensayos realizados con los adhesivos presentan similitud con los que se tienen en planta, sin embargo, el resultado es muy diferente en cuanto a su tonalidad ya que es un poco más clara a las que se presentan en el molino, por otro lado, se pudo observar que al momento de someter las hojas a calentamiento en estufa a 120°C estas sufrían una expansión (Aumento de diámetro).

El seguimiento en los equipos de planta no mostro los resultados deseados, ya que las variables en el proceso eran demasiadas y no se podía encontrar una relación directa entre estas y la contaminación en forma de puntos negros sobre el papel.

La comparación de los 3 software para la medición técnica del papel dejo ver que 2 de ellos tienen una correlación directa cercana al 97%, es decir, ambos miden de igual forma los puntos negros presentes en el papel, manteniendo siempre la misma proporción en las 65 muestras analizadas. El software de licencia libre no mostró buenos resultados en las mediciones realizadas, sin embargo, se pudo establecer que el escáner interfiere de manera directa en los resultados obtenidos, por otro lado, la configuración de la macro se puede modificar de manera tal, que se elimine el ruido de la imagen y se logren mediciones más precisas y comparativas con los demás programas.



## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. B. Aguilar, “Procesos de la elaboración del papel para la producción de cartón corrugado,” *revista de Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, p. 198, 2014.
- [2] “Fabricación del Papel.” [Online]. Available: <http://www.cutes-europe.com/vacio/papel/fabricaciondelpapel/index.html>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [3] O. Diego, “Optimización de dosificación de químicos catiónicos en la máquina papelera por medio de estudios basados en el Potencial Z, la demanda de carga y la conductividad,” 2013. [Online]. Available: <https://www.wikiestudiantes.org/optimizacion-de-dosificacion-de-quimicos-cationicos-en-la-maquina-papelera-por-medio-de-estudios-basados-en-el-potencial-z-la-demanda-de-carga-y-la-conductividad/>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [4] “Producción de pasta con refinador mecánico | Textos Científicos.” [Online]. Available: <https://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/pasta-refinador-mecanico>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [5] P. Zeta, “Potencial Zeta - Lenntech Potencial Zeta - Lenntech,” pp. 1–2, 2009.
- [6] J. Sánchez, “Purificación de parafinas de petróleo por hidrogenación catalítica,” 2003.
- [7] P. N. Olvera Venegas and L. E. Hernández Cruz, “El Caolín y sus aplicaciones industriales,” *PADI Boletín Científico Ciencias Básicas e Ing. del ICBI*, vol. 1, no. 2, 2014.
- [8] B. Alarcon, “Automatizar El Conteo .,” *Inst. Biomed. Val.*, p. 8, 2016.
- [9] M. Buitrago and A. Pi, “Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Telecomunicación Algoritmo para la detección de células retinianas de sepia implementado en ImageJ,” 2016.