

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD Y PLANTEAMIENTO DE  
OPCIONES QUE CONDUZCAN A LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE  
PREPARACIÓN DE PASTA DE PAPEL “TISSUE” EN LA PLANTA DE GRUPO  
FAMILIA S.A. CAJICÁ**

**PRESENTADO POR:**

**CARLOS SANTIAGO FLECHAS ALARCÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA  
OCTUBRE DE 2010**

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD Y PLANTEAMIENTO DE  
OPCIONES QUE CONDUZCAN A LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE  
PREPARACIÓN DE PASTA DE PAPEL “TISSUE” EN LA PLANTA DE GRUPO  
FAMILIA S.A. CAJICÁ**

**CARLOS SANTIAGO FLECHAS ALARCÓN**

**PASANTÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**Director Interno**

**M.Sc CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA**

**Director Externo**

**Ing. DIEGO FERNANDO HERNÁNDEZ**

**Jefe de Control, Normas y Procesos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA  
OCTUBRE DE 2010**

*Infinitas gracias a mi Mama y mi Papa  
Por ser quienes me enseñaron a vivir correctamente,  
Por fomentar en mi el trabajo con esfuerzo y bien hecho.  
Y por todo el sacrificio realizado. Hoy todo esto es para ustedes*

*A Camila por ser la hermana que es,  
cada aporte, cada comentario,  
han sido de vital importancia  
en todo este proceso.*

*Al resto de mi familia,  
que sin su acompañamiento o sus consejos,  
el resultado no hubiera sido tan bueno.*

*A todos mis compañeros de universidad,  
que hoy me recuerdan las noches en vela  
por trabajos o exámenes, o de las grandes tertulias  
en cada salida o de los pequeños momentos de ocio.  
se hace inevitable nombrar también a mis otros amigos  
en especial al viejo Andrés, por acogerme cuando regrese  
de nuevo y que gracias a él este libro fue un éxito.*

## AGRADECIMIENTOS

*Mi agradecimiento para el Co-director de este proyecto Ing. Diego Fernando Hernández, a el director M.Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira por el apoyo brindado durante la ejecución del trabajo final.*

*A las directivas de Grupo Familia S.A., por la oportunidad de poder desarrollar la practica industrial y facilitar los medios para la culminación de la misma.*

*Al personal del laboratorio de calidad de la planta de Cajicá por su orientación y apoyo en el planeamiento y ejecución del trabajo y sus valiosos aportes durante este tiempo.*

*A los operarios de la planta preparadora de pasta y máquina de papel, por su tiempo y sus contribuciones para la formación de los perfiles operativos de las unidades de la planta.*

*A Claudia por hacer posible que este trabajo hoy sea una realidad.*

*A Gladys por acogerme en su hogar y permitir ser un miembro más de su familia.*

*Y a mi mamá, papa, hermana y demás familia, amigos, compañeros de estudio y profesores, por ser parte fundamental del epílogo de esta conquista.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
1.1.1 Objetivo general .....	19
1.1.2 Objetivos específicos.....	19
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 DESCRIPCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>20</b>
<b>1.4 IMPACTO ESPERADO .....</b>	<b>21</b>
<b>2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 PASTA DE PAPEL (FIBRA DE CELULOSA).....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 INDUSTRIA PAPELERA.....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Grupo Familia S.A. ....	23
2.2.2 Proceso papelerero. ....	23
<b>2.3 PREPARADORA DE PASTA PP6.....</b>	<b>26</b>
2.3.1 Materia prima. . ....	26
2.3.2 El pulpeo. . ....	26
2.3.3 Limpieza de alta densidad. ....	26
2.3.4 Destintado. . ....	27
2.3.5 Limpieza de finos. ....	28
2.3.6 Refinamiento y limpieza de gomas. ....	28
2.3.7 Dispersión de puntos negros. ....	28

2.3.8 Blanqueamiento. . . . .	28
2.3.8.1 Blanqueamiento oxidativo. . . . .	29
2.3.8.2 Blanqueamiento reductivo. . . . .	29
2.3.9 Limpieza de gomas. . . . .	29
2.3.10 Máquina de papel. . . . .	30
2.3.11 Unidades de clarificación. . . . .	31
<b>2.4 ENSAYOS DE MEDICIÓN Y PROPIEDADES DE LA PASTA . . . . .</b>	<b>32</b>
2.4.1 Consistencia. . . . .	32
2.4.2 “Freeness”. . . . .	32
2.4.3 Clasificación de fibras. . . . .	32
2.4.4 Colorimetría aplicada a la fibra de papel. . . . .	33
2.4.5 Puntos negros. . . . .	33
2.4.6 Cenizas. . . . .	33
<b>2.5 REVISIÓN DE ANTECEDENTES Y DOCUMENTOS . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>3. METODOLOGÍA. . . . .</b>	<b>35</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROCESO . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>4.1 CAUDALES . . . . .</b>	<b>36</b>
4.1.1 Corrientes de alimentación. . . . .	36
4.1.2 Corrientes de rechazo. . . . .	37
4.2 Agua de dilución. . . . .	37
<b>5. DESARROLLO EXPERIMENTAL . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>5.1 MUESTREO. . . . .</b>	<b>38</b>
5.1.1 Auditorías punto a punto. . . . .	38
5.1.2 Seguimiento a una carga del proceso y evaluación de factores que alteran la calidad. . . . .	39

<b>5.2 ESTIMACIÓN DE LOS RECHAZOS .....</b>	<b>40</b>
<b>6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>54</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>56</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. PUNTOS DE MUESTREO. AUDITORÍA PUNTO A PUNTO .....	38
TABLA 2. PUNTOS DE MUESTREO. AUDITORÍA DE SEGUIMIENTO .....	40
TABLA 3. PUNTOS DE MUESTREO DE RECHAZOS. AUDITORÍA PUNTO A PUNTO .....	40
TABLA 4. PUNTOS DE MUESTREO DE RECHAZOS. AUDITORÍA DE SEGUIMIENTO.....	41
TABLA 5. ESTADÍSTICOS DE RECHAZOS .....	48
TABLA 6. RECHAZOS POR UNIDADES. AUDITORÍA 2010.....	49

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1. DIAGRAMA DE PROCESO.....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 2. METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 3. FIBRA ÚTIL Y FINOS LIBRES DE CENIZA.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 4. PERFIL DE BLANCURA ISO .....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 5. PERFIL DE PUNTOS NEGROS .....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 6. HISTOGRAMA DE CONSISTENCIAS .....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 7. PERFIL DE FIBRA ÚTIL, FINOS Y CENIZAS EN PP6.....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 8. HISTOGRAMA DE FIBRA ÚTIL EN PP6 .....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 9. PERFIL PARA CONSISTENCIAS Y FIBRA ÚTIL EN PP6.....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 10. PERFIL DE PUNTOS NEGROS Y BLANCURA ISO EN PP6.....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN DE RECHAZOS DE PP6.....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 12 DISTRIBUCIÓN DE RECHAZOS DE TL002 .....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1. ESQUEMA ETAPA DE PULPEO.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO 2. ESQUEMA ETAPA DE LIMPIEZA DE ALTA DENSIDAD.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO 3. ESQUEMA ETAPA DE DESTINTADO.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO 4. ESQUEMA ETAPA DE LIMPIEZA DE FINOS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO 5. ESQUEMA ETAPA LIMPIEZA DE GOMAS .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO 6. ESQUEMA ETAPA DE LAVADO Y ESPESADOR.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO 7. ESQUEMA ETAPAS DE DISPERSIÓN Y BLANQUEAMIENTO.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO 8. ESQUEMA ETAPA FINAL DE LIMPIEZA .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO 9. ESQUEMA ETAPA DE CLARIFICACIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO 10. PROCEDIMIENTO PARA CHEQUEO DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 11. PROCEDIMIENTO PARA CHEQUEO DE “FREENESS” .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO 12. PROCEDIMIENTO PARA CLASIFICACIÓN DE FIBRAS .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO 13. PROCEDIMIENTO PARA CHEQUEO DE BLANCURA .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO 14. PROCEDIMIENTO PARA CHEQUEO DE PUNTOS NEGROS .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO 15. PROCEDIMIENTO PARA CHEQUEO DE CENIZAS.....</b>	<b>74</b>

## GLOSARIO

**Afieltrado:** Es una textura muy marcada en el papel y que se aprecia a simple vista, se crea con rodillos troquelados, los cuales aplican presión sobre el papel dejando una marca impresa

**Blanqueador óptico:** Los blanqueadores ópticos son agentes colorantes que absorben luz en la región ultravioleta y reemiten luz en la región azul del espectro visible (4200-4700Å).

**BPO##:** Abreviación que hace referencia a las bombas de pasta en la planta.

**Canalón:** Parte de la máquina conformada por un tanque de agua, cuya función es abastecer las cabezas de máquina, para diluir la pasta y dejarla en condiciones aptas.

**Celulosa:** Materia prima para la producción de papel, nada mas que es una pulpa hecha a partir de astillas de maderas principalmente eucaliptos.

**CN00#:** Abreviatura que hace referencia a cajas de nivel de la planta, regulando los flujos de pasta para etapas críticas del proceso.

**Crepado:** Proceso que aumenta la superficie específica del papel y abre las fibras, posibilitando mayor cantidad de absorción y mayor flexibilidad que las de una hoja de papel corriente.

**Conveyor:** Término de raíz lingüística anglo, que se usa en la planta de preparación de pasta para indicar la banda transportadora de materia prima que va hacia la etapa de pulpeo.

**Conversión:** Término que indica el área de la planta donde los grandes rollos se transforman en rollos de papel sanitario de 200 gramos aproximadamente.

**Convertidora:** Máquina que consiste en una cadena de transformación de grandes rollos procedentes de MP6 y que termina en el producto terminado empacado y listo para la distribución.

**Coating:** Sustancia que se aplica a la hoja de papel antes de la entrada al cilindro secador (yankee) para mejorar las propiedades de textura y suavidad.

**Dispersión:** Etapa del proceso del área de preparación de pasta que consiste en la dispersión de puntos negros.

**Efluentes:** Término asociado a los flujos de salida de aguas industriales contaminadas, con destino al tratamiento biológico o químico, para dejarla en óptimas

condiciones para ser devuelta al circuito acuífero de donde fue captada.

ESP00#: Abreviatura que hace referencia a los equipos espesadores de pasta.

Influentes: Flujos de agua que son captados de un medio acuífero no tratado.

Fibra: Es el nombre que se le da a la célula unitaria de crecimiento vegetal, de largo muchas veces el diámetro, de formato cilíndrico fino en las extremidades, es la unidad de la celulosa usada para la fabricación del papel.

Fibra corta: Fibra originada principalmente del eucalipto. Da origen a un papel más suave, mas liso, con mejor printabilidad, y con mayor facilidad de rasgado.

Fibra larga: Fibra originada principalmente del pino. Da origen a un papel de mayor resistencia como el Kraft, utilizado para embalajes de productos pesados

Fibra mecánica: Término asociado a la fibra que ya ha sido sometida a procesos de obtención de papel. También es un término asociado a la fibra recuperada, o fibra secundaria. La fibra mecánica es menos resistente porque ya ha sido quebrada.

Fibra química: De igual manera tiene el término asociado de fibra virgen, esta fibra celulósica originada de madera, derivada directamente de su fuente original y usada por primera vez en la fabricación de papel.

Fieltro: Tendido formado por fibras sintéticas cuya función es permitir que el agua presente en la pasta drene de forma fluida, este fieltro también es una banda transportadora que lleva la lamina de papel húmeda hacia el cilindro secador

Hood: Caparazón de la máquina de papel encargado del secado de la parte externa de la hoja por convección mediante la inyección de aire caliente.

Lignina: Compuesto químico presente en las paredes celulares de los organismos vegetales, este químico es un incrustante o cementante de las células fibrosas, la celulosa no es beneficiosa para la industria papelera.

Matizante: Término asociado a la sustancia de tono azul, que se usa para matizar los tonos amarillos o cremas en la hoja ya formada.

MP6: Siglas que se usan para indicar la máquina de papel número 6 de Grupo Familia S.A.

OBA: Siglas que abrevian *Optical Brightening Agents*, también conocidos como blanqueadores ópticos.

Pulpa: Término que se usa para denotar la suspensión de fibras en un medio fluidizado. El término pulpa difiere del término pasta ya que su referencia hace alusión a la suspensión de fibras con un solo origen.

**Pasta:** Término que se usa para denotar la suspensión de fibras en un medio fluidizado. El término pasta hace referencia a la suspensión de fibras de múltiples orígenes.

**PP6:** Abreviación que hace referencia a la planta preparadora de pasta numero 6 de Grupo Familia S.A.

**PRT00#:** Abreviatura designada para la unidad de prensa tornillo.

**Release:** Proceso asociado al crepado del papel en la máquina y cuya función es darle a la hoja una apariencia de volumen y mayor suavidad, este efecto se consigue mediante el diferencia de velocidad entre un rodillo de bobinado y la velocidad a la cual la máquina trabaja.

**Repulper:** Flujo de pasta de reciclaje que proviene de la máquina y que es producto de la merma que no fue bobinada.

**Rewinder:** Proceso opcional para rollos que salen de la máquina de papel, que consiste en rebobinar dos rollos hoja sencilla y formar un rollo hoja doble.

**SH00#:** Abreviatura que se designa para los equipos de limpieza denominados "screen" horizontal.

**SP00#:** Abreviatura que se designa para los equipos de limpieza denominados "screen" presurizados.

**SV00#:** Abreviatura que se designa para los equipos de limpieza de gomas denominados "screen" vertical.

**TA00#:** Abreviatura que hace referencia a los tanques de agua de la planta y su determinado número.

**TBL00#:** Abreviatura asociada a la torre de blanqueamiento de pasta.

**Tissue:** se denomina papel tissue a un tipo de papel cuyas características de suavidad, elasticidad y absorción responden a las necesidades provenientes del uso doméstico y sanitario.

**Yankee:** Término asociado al rodillo secador por conducción de la máquina de papel

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD Y PLANTEAMIENTO DE OPCIONES QUE CONDUZCAN A LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE PREPARACIÓN DE PASTA DE PAPEL “TISSUE” EN LA PLANTA DE GRUPO FAMILIA S.A. CAJICÁ\*

**AUTOR:** CARLOS SANTIAGO FLECHAS ALARCON \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Papel, celulosa, pulpa, fibra, destintado, blanqueamiento, máquina de papel, control de rechazos.

### DESCRIPCIÓN

La fabricación del papel alcanza cifras de producción que sitúan al Grupo Familia S.A., entre una de las más grandes industrias del mundo. El control de los rechazos y de los parámetros de calidad durante el proceso de preparación de pasta requiere de un estudio, seguimiento y evaluación en las etapas de limpieza y refinamiento de la misma, con el fin de preparar una pasta de calidad alta y a un bajo costo de operación.

La planta construida en Cajicá Cundinamarca se dedica exclusivamente a la fabricación de papel tipo “tissue”. El área en que focalizo este estudio es la planta preparadora de pasta. Esta pasta se obtiene del procesamiento de material de archivo reciclado, este material contiene altas cantidades de contaminantes que deben ser retirados, es en este punto donde se generan los mayores rechazos de la planta preparadora de pasta.

Este trabajo contiene herramientas y métodos empleados para la evaluación y seguimiento de las variables críticas del proceso tales como: auditorías punto a punto, auditoría de seguimiento, comparación entre los parámetros establecidos en el diseño y el operativo actual, lo que permitió elaborar los perfiles operativos de cada una de las unidades de la planta de preparación de pasta. Con esta evaluación y seguimiento de las unidades del proceso, se logró formular un listado de opciones de mejora para que fueran implementadas y con ello se consiga bajar la fibra presente en los rechazos. Además se pretende lograr que los parámetros de calidad aumenten y con ello disminuir la dosificación de químicos. Con la implementación de estas recomendaciones, la compañía podrá aumentar sus índices de producción y hacerla más competitiva.

---

\* Practica Empresarial, Grupo Familia S.A. Planta Cajicá

\*\* Escuela de Ingeniería Química., Director: M.Sc Crisóstomo Barajas Ferreira, Universidad Industrial de Santander, Co-Director; Ing. Diego Fernando Hernández J., Grupo Familia S.A.

## ABSTRACT

**TITLE:** QUALITY PARAMETERS EVALUATION AND OPTIONS APPROACH THAT LEAD TO THE OPTIMIZATION IN THE PROCESS OF PAPER PASTE “TISSUE” PREPARATION IN GRUPO FAMILIA S.A. FACTORY CAJICA\*

**AUTHOR:** CARLOS SANTIAGO FLECHAS ALARCON \*\*

**KEYWORDS:** Paper, cellulose, pulp, fiber, fade, paper machine, whitening, reject control.

### DESCRIPTION:

Papermaking reaches production numbers that places the Grupo Familia S.A. among one of the largest industries in the world. Control of Rejection and quality parameters in the process of preparation of “*pasta*” requires study, monitoring and evaluation stages of cleanliness and refinement of it, in order to prepare “*pasta*” of high quality at a low operating cost.

The factory built in Cajicá, Cundinamarca, is dedicated exclusively to the manufacture of paper type “*tissue*”. I focus this study in the area in where the “*pasta*” is prepared. This “*pasta*” is the result of processing recycled paper. This product contains high amounts of pollutants that should be removed, is at this point that the “*pasta*” preparation factory’s greatest rejection is generated.

This work contains tools and methods for the assessment and monitoring of critical process variables such as: audits point to point, follow-up audit, comparison between the parameters of design and operating current, which enabled the development of operational profiles each of the units of the plant. Thanks to this evaluation and monitoring of process units, it was possible to make a list of improvement options to be implemented and thereby it is possible to decrease the fiber in the rejections. Besides, it is expectable to increase the quality parameters and to decrease the dosage of chemicals. With the implementation of these recommendations, the company can increase production rates and make it more competitive.

---

\* Industrial Internship, Grupo Familia S.A. Planta Cajicá

\*\* Chemical Engineering Department, Director: M.Sc Crisóstomo Barajas Ferreira, Universidad Industrial de Santander, Co-Director: Ing. Diego Fernando Hernández J., Grupo Familia S.A.

## INTRODUCCIÓN

Grupo Familia S.A., es una compañía Colombiana con capital mixto de origen sueco, con más de 50 años de experiencia en la industria y mercado de papeles tipo “tissue”, que ha llevado la vanguardia en la fabricación de papel, productos de aseo, cuidado personal, y sus derivados. Con su gran variedad marcas y múltiples líneas de productos, participa en el mercado nacional y destina una parte de sus esfuerzos para lograr establecer nexos comerciales, abriéndose paso al mercado internacional llegando a más de 20 países en el mundo.

En este documento se muestra el seguimiento, la evaluación, y las posibles acciones de optimización del proceso en la planta de preparación de pasta de Grupo Familia S.A, planta Cajicá. El objetivo fundamental es preparar pasta de papel, con costo de operación bajo y alta calidad de la pasta antes de ser entregada a la máquina. Para esto es obligatorio cumplir con una alta eficiencia operativa en todas las etapas del proceso y cada una de las unidades que lo componen. Ésta meta es posible lograrla si se cuenta con un programa de seguimiento, evaluación, y cuantificación de los rechazos; además, de una estimación de las propiedades de la pasta, que finalicen en un resultado que logre disminuir la pérdida de fibra y prevenir las fallas operativas.

Algunas de las herramientas usadas para llevar a cabo este proyecto, son: auditorías punto a punto, seguimiento individual a las unidades de proceso, comparación de resultados con auditorías anteriores, verificación de los parámetros que se estipularon desde el diseño. El empleo de estas herramientas busca alcanzar el mejor rendimiento de la pasta. Los resultados obtenidos al emplear las herramientas ya mencionadas, condujeron a elaborar un plan de acciones para modificar parámetros en algunas de las unidades del proceso que presentaban un índice de producción significativamente bajo.

# 1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Determinar las acciones que conlleven a disminuir la pasta presente en los rechazos, además de establecer los causantes del detrimento en los parámetros de calidad de la pasta en el proceso de preparación.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar las etapas en las cuales se presentan las mayores pérdidas de fibra útil en el proceso de preparación de pasta.
- Realizar un seguimiento a las variables del proceso con el fin de establecer un perfil operacional de las unidades críticas.
- Evaluar la influencia de contaminantes en el detrimento de la calidad, y determinar las causas por las cuales los parámetros de calidad se ven afectados.
- Establecer un plan de acción para la reducción de los desperdicios en relación de las variables de estudio; caudal, consistencias sin afectar los parámetros de calidad dispuestos por la organización.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El área de preparación de pasta en la planta hoy tiene un alto costo operativo. Consecuencia de los altos niveles de rechazo y alta dosificación de químicos, esta situación es debido a la presencia de contaminantes en la materia prima y la calidad de algunos de los flujos de limpieza de las unidades de refinamiento. Para

que la planta pueda ejecutar acciones que conlleven a la optimización de sus procesos, se hace necesario, evaluar y conformar un perfil operativo de la planta en función de los parámetros de calidad, este proyecto hace alusión a las opciones de mejora que pueden conducir a disminuir el índice de rechazo e identificar las etapas del proceso donde la eficiencia es baja.

### **1.3 DESCRIPCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El proceso de fabricación del papel tipo “tissue” para papel familia blanco, genera pérdidas de fibra útil en la mayoría de unidades de limpieza y refinamiento de la planta preparadora de pasta. Estas etapas de limpieza hacen de la preparación de pasta, previa a la entrada de la máquina, uno de los procesos con menor rendimiento de materia y con altos costos operativos. Teniendo en cuenta los trabajos realizados de los años 2007 al 2009, el porcentaje de desperdicio respecto a la materia prima ingresada al proceso nunca llegó a ser inferior al 42%. Estos estudios incluyeron evaluaciones, estimaciones, y acciones respecto a unidades como; la celda de destintado y la generación de *fibra corta* durante la etapa de pulpeo. Sin embargo, dichos niveles de rechazo han sido una constante en el área de preparación de pasta, constante que se puede ver en los informes de producción que proporcionan un indicador del estado de los procesos de la compañía, es por ello que la dirección y el comité de producción de la empresa ha puesto como meta la reducción en los niveles de rechazo total, adoptando como objetivo llegar a cifras del 38%, siendo así de vital importancia disminuir el porcentaje de los rechazos producidos por la planta sin que ello afecte los parámetros de calidad.

Actualmente la planta preparadora de pasta tiene cifras de rechazo que oscilan entre el 44 y 42%, valores que distan bastante de la meta establecida por la organización. Sin embargo, gran parte de la sobrecarga en los flujos de rechazos se debe a la calidad de la materia prima que ingresa al proceso, puesto que contiene una alta presencia de contaminantes en las pacas de material reciclado.

Estas sobrecargas hacen que los índices de rechazos del proceso se encuentren por encima de los márgenes establecidos por la organización, además de ser cargas para las cuales las unidades de limpieza no están diseñadas, y con ello se está forzando su operación, razón por la cual algunas de estas unidades presentan múltiples problemas operacionales.

De igual manera las fallas operacionales en las etapas de refinación y limpieza de pasta, afectan de manera considerable al proceso, puesto que lo hace más costoso, y menos eficiente. Esto debido a que para cumplir con las normativas de calidad, se dosifican grandes cantidades de químicos, como por ejemplo, blanqueador óptico y *matizante* lo que da como resultado que hoy en día el proceso tenga una alta carga financiera debido a la compra y gasto de esta clase de químicos.

#### **1.4 IMPACTO ESPERADO**

Al finalizar el desarrollo de este proyecto se pretende que la compañía tenga un mejor perfil del comportamiento de las unidades de refinación y limpieza de pasta, además de implementar las acciones que se plantean en la finalización de este trabajo y que buscan reducir los rechazos generados por el proceso de preparación de pasta. Además, se pretende que la compañía tome las medidas necesarias para evitar la disminución de los parámetros de calidad en el transcurso de las etapas de limpieza y refinación, y con ello contribuir a las metas de la compañía para el mejoramiento en sus procesos de producción.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 PASTA DE PAPEL (FIBRA DE CELULOSA)

El papel es un *afieltrado* de fibras unidas tanto físicamente, por estar entrelazadas a modo de malla, como químicamente por formar puentes de hidrógeno<sup>1</sup>. Las *fibras* para su fabricación requieren de unas propiedades especiales como alto contenido en *celulosa*, tamaño de fibra adecuado; además de un bajo costo y fácil obtención de las mismas, por lo que las usadas con mayor frecuencia, son las vegetales o fibras vírgenes, provenientes principalmente de madera de eucaliptos. De igual manera, la fibra se puede obtener a partir de papel reciclado, siendo una materia prima que ya ha pasado por los procesos de obtención de fibra, eliminando toda clase de contenidos químicos perjudiciales de la celulosa y que representarían procesos adicionales de limpieza. Esta materia prima es adquirida por medio de empresas que recolectan esta clase de material en oficinas y ciudades.

*Papel reciclado:* Esta clase de material utilizado ya es papel. Es obtenido en su mayor parte de los documentos de archivo de oficinas, comercio en general y de papel proveniente de imprentas.

En teoría esta clase de papeles son de alta calidad. Sin embargo, este material que ingresa al proceso es un papel contaminado por ser utilizado en múltiples aplicaciones. Además de desconocerse su composición exacta y origen, no se puede garantizar que su calidad sea estándar. Es el caso de los periódicos mezclados con revistas, cajas de cartón usadas, facturas, papel tipo calcante y químico, entre otros.

---

<sup>1</sup> GARCIA HORTAL, José.A. (2007). Fibras Papeleras. Barcelona. Edicions UPC. [Artículo en línea] Disponible desde Internet en: <http://www.diclib.com>

*Papel de pasta virgen:* El abastecimiento de *pulpa* virgen se hace por medio de proveedores de papel que obtienen la fibra virgen a partir del procesamiento de celulosa del árbol de eucalipto u otras maderas. Una vez obtenida la pulpa de celulosa por medios químicos y mecánicos, es decir, disolviendo la *lignina*, y separando las fibras por fricción, se forman los rollos para su transporte y posterior comercialización.

*Plastipulpa:* Materia prima de buena calidad que se obtiene de reciclar los vasos y empaques plastificados, esta materia prima viene cargada con colores suaves pero no afectan demasiado el color, su contenido de humedad esta alrededor del 50%.

## **2.2 INDUSTRIA PAPELERA**

**2.2.1 Grupo Familia S.A.** La planta de Grupo Familia S.A., planta Cajicá, está dotada con tecnología de punta y ventajas competitivas como planta de tratamiento de aguas influentes y efluentes, planta de preparación de pasta, máquina de papel de alta velocidad y una línea de conversión con lo último en tecnología. Esta planta de producción arrancó en el 2005 generando 300 puestos de trabajo y está dedicada exclusivamente a la producción de papel tipo “tissue”. Actualmente, cuenta con una producción en salida de grandes rollos de 96 t/día, y de producto terminado listo para distribución de 140 t/día. El papel tipo “tissue” es la base para la transformación a papeles suaves, como lo son el papel higiénico, las servilletas, las toallas de cocina, y los pañuelos faciales.

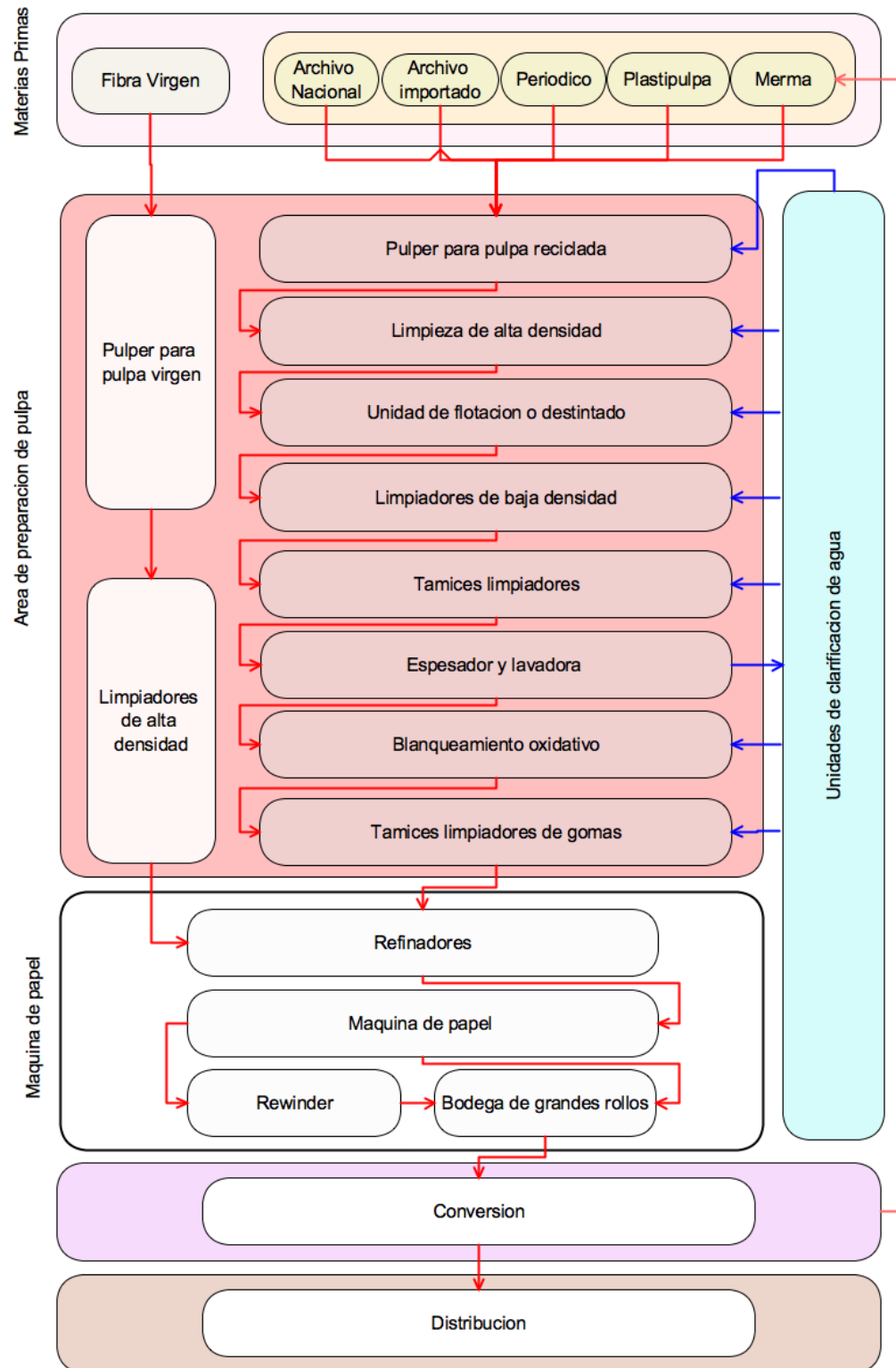
**2.2.2 Proceso papelerero.** La mayor parte de los rollos de papel, comienzan siendo papel reciclado en grandes pacas de archivo e imprenta que caen en un “*pulper*”, produciendo una *pasta* consistente y uniforme. Luego de la etapa de pulpeo, la fibra en suspensión se somete a procesos de depuración, donde inicialmente entra a las etapas de limpieza de sólidos de alta densidad. Estas unidades de limpieza

retiran los sólidos mas pesados como los metales, la madera, las arenas y demás contaminantes pesados contenidos en la materia prima. Luego de la separación de alta densidad sigue una etapa de destintado que elimina la mayor cantidad de tinta presente en la pasta. A continuación la suspensión de fibra entra a otras etapas de limpieza que refinan la pasta retirando las partículas de baja densidad y las gomas presentes en este punto del proceso, en seguida, la pasta entra a una unidad de *dispersión* de puntos negros que ayuda a darle a la pasta una apariencia homogénea, evitando con ello variaciones entre lote y lote. Después está la torre de blanqueamiento que le entrega a la pasta un aspecto más blanco gracias a una reacción oxidativa. Seguida de la etapa de blanqueamiento, la pasta entra en la última unidad de limpieza de gomas antes de ser entregada a la máquina.

Una vez que la pasta se encuentra refinada y blanqueada, ingresa a la máquina formadora de hojas, compuesta de una serie de bandas filtradoras y de rodillos de presión, que transforman la pasta en una delgada lámina. Luego un gran cilindro se encarga de secar la hoja ya formada conocido como “*yankee*”, y en seguida la delgada lámina es enrollada en bobinas que se transforman en grandes rollos con pesos que oscilan entre 2 y 3 toneladas para luego ser conducidos a la bodega de almacenamiento de grandes rollos.

Para transformar esos grandes rollos en los pequeños rollos de papel higiénico que se conocen, cada rollo es transportado a las máquinas *convertidoras*, las cuales convierten los grandes rollos de 2 y 3 toneladas en pequeños rollos de 300 gramos. En esta parte del proceso se le da al papel higiénico la textura, el grabado, el aroma, y dependiendo del caso una impresión o troquelado distintivo de cada producto. Luego los rollos son empacados dependiendo la presentación que se esté fabricando, se embalan por pacas y son puestos en estibas listos para ser enviados a la bodega de distribución. (VER FIGURA 1)

Figura 1. Diagrama de proceso



Fuente: El autor

## **2.3 PREPARADORA DE PASTA PP6**

**2.3.1 Materia prima.** Se almacena en los patios de materias primas y se clasifica en dos tipos; fibra virgen y fibra reciclada, a su vez la fibra reciclada se subdivide en cinco tipos según su procedencia; archivo importado, archivo nacional, periódico, plastipulpa y merma. Las dos materias de archivos nacional e importado son fibras que combinan en mayor proporción fibra corta, y en menor medida *fibra mecánica*; la fibra que contiene el papel periódico es una materia prima rica en fibra mecánica que no es conveniente para la fabricación de papel familia blanco. Por su parte la plastipulpa es una materia prima de buena calidad pero que en algunos casos viene con altas cargas de color.

**2.3.2 El pulpeo.** Esta operación se realiza en el “*pulper*” que es un tanque de gran volumen que lleva un agitador en su interior, cuya función principal es desintegrar y mezclar el papel con agua para formar una pasta consistente y fluida. Con ello se separa la celulosa de los contaminantes comunes del papel reciclado, como metales plásticos, y otros. (VER ANEXO 1). Adicionalmente se agregan dos productos de vital importancia en el proceso, un tensoactivo, y dos productos que realizan el destintado y hacen la deslignificación, estos productos cumplen con la función de separar las fibras de la tinta y sintetizar la lignina, ayudando a la deslignificación; por su parte el tensoactivo entra en acción en el proceso de destintado, proceso que se profundizará más adelante.

**2.3.3 Limpieza de alta densidad.** A la salida del “pulper” la unidad conocida como pera hace la separación de los contaminantes más grandes, entre los que se encuentran plásticos, cartones y material metálico de tamaño apreciable. Continúan las etapas de separación mecánica de contaminantes, para retirar sólidos pequeños de densidad mayor a la de la fibra, entre los que se encuentran principalmente ganchos y metales. La corriente de proceso pasa a un filtro horizontal en donde se hace la primera limpieza de gomas, debido a que

representan un riesgo para el correcto funcionamiento de las etapas posteriores, lo que ocasiona obstrucciones a ciertas unidades y daños a la hoja de papel cuando se forma en la máquina de papel. (VER ANEXO 2).

**2.3.4 Destintado.** La unidad de destintado es la unidad donde se hace la separación de la tinta de la pasta. Este proceso de flotación es una operación de separación basada en la flotación selectiva de las partículas de tinta como consecuencia de la diferencia entre sus propiedades físicas y fisicoquímicas de superficie y las fibras de celulosa. La flotabilidad de los materiales depende solamente de sus características superficiales y es independiente de la densidad de los mismos. Para lograr la flotación selectiva de las partículas de tinta del resto de la suspensión, es necesaria la acción de un reactivo de flotación adicionado en el “*pulper*”, el cual es un compuesto químico tensoactivo que se incorpora a la solución para ayudar a la aglomeración de las partículas, modificando las características de superficie de las mismas haciéndolas hidrofóbicas. Estos agentes son tensoactivos que estabilizan la espuma para evitar que la tinta se incorpore de nuevo a la mezcla, disminuyen la tensión superficial del agua, mejoran la cinética de la interacción burbuja – partícula y disminuyen el fenómeno de coalescencia de la espuma. Además el agente espumante aumenta la afinidad en las partículas de tinta por las burbujas de aire, logrando así una suspensión de menor densidad que asciende y forma una capa de espuma sobre la superficie de la celda<sup>2</sup>. La separación de la tinta se logra haciendo circular pequeñas burbujas de aire en la fase líquida por la parte inferior del equipo, lo que permite una agitación constante de la suspensión. La celda retira la tinta y la espuma por medio de una salida en el interior de la unidad, enviando el rechazo hacia un tanque de lodos y evacuando la pasta por medio de unas bombas de succión. (VER ANEXO 3).

---

<sup>2</sup> ALLIOT, M. L., AVILA, A. T. Destintado de papel por flotación: Influencia de los factores de forma, Facultad de Ingeniería Química – U.N.L. – Santiago del Estero 2654 – (3000) Santa Fe

**2.3.5 Limpieza de finos.** El tren de limpieza de finos es la unidad donde son retirados los contaminantes más finos. Este limpiador retira las arenas y las partículas finas y consta de cuatro etapas en secuencia. Estas unidades limpian por el diferencial de densidad existente entre los finos y la pasta, debido a un efecto ciclón que ocurre en cada uno de los trenes de limpieza. (VER ANEXO 4).

**2.3.6 Refinamiento y limpieza de gomas.** El aceptado proveniente del tren de limpieza de baja densidad pasa a través de filtros presurizados y un segundo filtro horizontal. Esta serie de equipos permiten retirar gomas presentes en esta parte del proceso, además de recuperar las fibras que han pasado a las corrientes de rechazo de las primeras etapas de limpieza en esta misma parte de proceso. (VER ANEXO 5).

**2.3.7 Dispersión de puntos negros.** Dicha dispersión se realiza por medio de un equipo dispersador de puntos negros. Sin embargo, para que la dispersión tenga la efectividad esperada, primero se tiene que retirar agua de la pasta y adicionalmente se hace un lavado por medio de duchas. En este punto del proceso se pierde gran cantidad de fibra por medio de agua que la arrastra. Seguido del lavado de la pasta, ésta entra a la unidad que realiza la dispersión de las partículas mediante un aumento súbito de la temperatura, lo que permite a los puntos negros restantes quedar dispersos de forma homogénea en la pasta. (VER ANEXO 6).

**2.3.8 Blanqueamiento.** El objetivo principal del blanqueo de la pasta es aumentar la blancura de la fibra evitando causar daños en la calidad de la misma. En estas etapas se le confiere a la pasta la blancura que corresponda según los estándares establecidos para su comercialización. Sin embargo, este proceso está complementado por la dosificación de un *blanqueador óptico* al final del área de preparación de pasta.

Son múltiples las etapas del proceso en las cuales se realiza un blanqueamiento. Para ello existen varios tipos de blanqueamiento los cuales, según el efecto buscado actúan de distinta manera en puntos claves del proceso.

Dichos blanqueamientos realizados son:

**2.3.8.1 Blanqueamiento oxidativo.** La fase de blanqueamiento oxidativo es usada para aumentar la blancura de la pasta. El agente oxidante utilizado es peróxido de hidrógeno que sirve únicamente para incrementar el brillo de la pasta. Esto representa un beneficio al mejorar la calidad de la misma y aumentar los valores en la medición de la blancura ISO. Su efecto está en romper los enlaces entre las moléculas de glucosa para producir la degradación de las moléculas de celulosa. El buen desempeño de la oxidación se obtiene con valores de pH elevado en la mezcla, por lo que se requiere el uso de hidróxido de sodio. El buen desempeño del blanqueamiento oxidativo se obtiene con valores de pH entre 8,7 y 9,0. (VER ANEXO 7).

**2.3.8.2 Blanqueamiento reductivo.** La etapa de blanqueamiento reductivo, busca reducir los problemas de tonalidad generados por las tintas que no se degradan con el blanqueamiento oxidativo.

**2.3.9 Limpieza de gomas.** Es la última etapa de limpieza previa a la entrada de la pasta a la máquina de papel. Esta unidad es un filtro vertical que se encarga de extraer las últimas gomas presentes en la pasta, las cuales se reagrupan por las diferencias de temperatura en los procesos previos. Es de vital importancia retirar estas gomas, pues al ingresar en la máquina pueden generar orificios en la hoja de papel generando consecuencias como problemas operativos en el área de conversión y la pérdida de resistencia que provoca revientes constantes. (VER ANEXO 8)

**2.3.10 Máquina de papel.** La máquina de papel es una gran estructura que está constituida en varias etapas.

En primer lugar se encuentran las boquillas de alimentación, a través de las cuales entran las mezclas de pasta previamente diluías. Son dos grupos de boquillas que consisten en capa superior, donde entra la mezcla refinada y alienada, y una capa inferior en donde entra la mezcla no refinada. La corriente refinada, con las fibras orientadas en dirección de las boquillas, se mezcla con las fibras de la corriente no refinada, de modo que se entrelazan con el fin de darle una mejor configuración de resistencia al papel.

Cuando las corrientes diluidas abandonan las boquillas, entran en contacto con una malla que se encuentra en constante movimiento. Esta malla es acanalada para favorecer la organización de la fibra una vez caiga sobre la malla. El contacto es muy corto, puesto que se forma un canal entre la malla y una tela denominada *fieltro* que entra en contacto con la malla y retira la fibra húmeda que se encuentre en su superficie.

Posteriormente, el fieltro conduce la pasta húmeda hacia la siguiente etapa, que es el secado, en donde un rodillo prensa-succión, retira un porcentaje elevado del agua que se encuentra en contacto con la pasta y al mismo tiempo presiona al fieltro contra la superficie del “yankee”.

El Yankee es un rodillo secador. Éste retira la pasta del fieltro debido a un aditivo que se aplica en su superficie denominado “*coating*”. La fibra permanece en contacto con el rodillo durante muy poco tiempo, ya que éste se encuentra a una temperatura superior a 100°C, secando la fibra por conducción muy rápidamente, disminuyendo la humedad de la lámina ya formada al 1%. El secado es muy rápido en la cara del papel que está en contacto con el rodillo. Pero en el lado exterior se requiere de igual manera retirar el exceso de humedad, por lo que se

utiliza un caparazón, denominado “*hood*”, que alimenta aire caliente, con una temperatura cercana a los 400°C, realizando el secado por convección. Cuando el papel se acerca al final de una vuelta sobre el Yankee, es retirado mediante una cuchilla y otro aditivo aplicado sobre el rodillo, conocido como “*release*”, el cual también se aplica antes que la fibra entre en contacto con el rodillo. El rodillo gira a más de 100 revoluciones por minuto, de manera que toda la operación de formación de la hoja ocurre en cuestión de fracciones de segundo<sup>3</sup>.

Finalmente, la hoja desprendida pasa por otro rodillo más lento que le da al papel un aumento en la suavidad, efecto conocido como *crepado*. Luego el papel es enrollado en unidades de 50 kilómetros de longitud, aproximadamente. Todo esto ocurre de manera continua, gracias al gran nivel de automatización de la unidad formadora de papel.

**2.3.11 Unidades de clarificación.** El agua retirada de la máquina de papel, del lavador y del espesador, es conducida a tanques de almacenamiento y posteriormente es enviada a las unidades de clarificación, que se encargan de retirar los desperdicios de fibra producidos en el proceso. A estas unidades también llega fibra útil que ha sido arrastrada por los múltiples flujos de agua especialmente el flujo que proviene del espesador. Este proceso se realiza mediante el uso de un floculante y un coagulante, generando la aglomeración de los sólidos haciéndolos menos densos que el agua. Posteriormente se hace visible una capa consistente que flota sobre el líquido. Esta capa es retirada mediante unas paletas que la empujan a un canal de rebose en uno de los costados de la unidad. El agua clarificada es retirada por una abertura a media altura dentro del equipo. Su funcionamiento está determinado por el volumen de agua residual

---

<sup>3</sup> VOITH PAPER. Products finder, [catálogo disponible en línea]

<[http://www.voith.com/en\\_productsandservices\\_productfinder\\_bymarkets\\_papertechnology.php](http://www.voith.com/en_productsandservices_productfinder_bymarkets_papertechnology.php)>

disponible, de modo que sólo opera cuando se encuentre al máximo de su capacidad. (VER ANEXO 9).

## **2.4 ENSAYOS DE MEDICIÓN Y PROPIEDADES DE LA PASTA**

**2.4.1 Consistencia.** La consistencia determina la masa en base seca en 100 gramos de mezcla pasta- agua. Esta medida de consistencia permite establecer el flujo de materia sólida en una corriente del proceso. Este valor es la base para la obtención de los demás datos: fibra útil, finos, cenizas, volumen en el “freeness”, la formación de hojas, además de la estimación de los rechazos.(VER ANEXO 10).

**2.4.2 “Freeness”.** Es la facilidad con la que la pasta (fibra) drena (suelta) el agua. Indica el tratamiento al cual ha sido sometida la pasta así: un valor alto de “freeness”, indica poco tratamiento de la pasta o que no ha sido tratada como ocurre con las pastas vírgenes; por el contrario, un valor bajo es indicativo de la refinación a que ha sido sometida la pasta.(VER ANEXO 11).

**2.4.3 Clasificación de fibras.** El contenido de fibras permite establecer un perfil de longitud de las fibras de celulosa presentes en cada corriente. De este modo se puede obtener el contenido de fibra útil, así como determinar el contenido de desperdicio en cada uno de los puntos evaluados, de manera que se establezca la cantidad de material no apto para ser papel. Este contenido de fibras se obtiene mediante un equipo de clasificación, el cual opera en continuo, mediante recipientes en cascada, que cuentan con tamices, de modo que se van separando las fibras de acuerdo a sus longitudes. Una vez alcanzado el estado estable del equipo, se vacían los recipientes de manera que se deja salir el agua y se recoge el sólido. Posteriormente el sólido es secado y pesado, determinando así las fracciones de fibra retenida por cada malla. El faltante en el resultado representa el contenido de finos totales. (VER ANEXO 12).

**2.4.4 Colorimetría aplicada a la fibra de papel.** La colorimetría es la ciencia de medición del color que permite que la frecuente impresión sensorial individual del color sea expresada como una cantidad numérica. El requerimiento por papeles de alta blancura se alcanza mediante procesos de blanqueamiento y la adición de agentes de blanqueo óptico (*OBA*). Los *OBA*'s aumentan los valores de brillo y blancura elevando los valores de reflectancia en el espectro visible. La colorimetría del papel esta regida por los parámetros ya establecidos por la compañía. Sin embargo, la blancura es una medida que tiene valores asociados. Por lo tanto un incremento en los valores de blancura también altera valores de coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ . Estas coordenadas miden distintas características calorimétricas del papel ejemplo de los matices azul-amarillo, verde-rojo, y oscuridad del papel. (VER ANEXO 13).

**2.4.5 Puntos negros.** Los puntos negros son definidos como la materia extraña de alto contraste y de color muy definido respecto al resto de la hoja. El sensor de detección con el que cuenta el escáner crea una imagen digital línea por línea basándose en una gama de 256 grises. Ésta es enviada al computador para ser sometida a un algoritmo de contraste de grises detectando así el contenido de suciedad o puntos negros presentes en la imagen de la muestra analizada. (VER ANEXO 14).

**2.4.6 Cenizas.** Para determinar el contenido de cenizas, es necesario conocer el valor de la consistencia mencionado anteriormente. Su utilidad consiste en la determinación del contenido de desperdicios en las corrientes de pastas, o aguas, de manera que se establezca la cantidad de celulosa alimentada en cada zona que no sea apta para la formación de papel. Su determinación se realiza mediante la oxidación controlada de una muestra homogénea de alguna corriente en particular, de masa conocida. Este procedimiento se realiza en una mufla, con temperatura constante de  $550^{\circ}\text{C}$ , y un incinerador a  $900^{\circ}\text{C}$ , introduciendo cada muestra. (VER ANEXO 15).

## 2.5 REVISIÓN DE ANTECEDENTES Y DOCUMENTOS

En estudios anteriores realizados por los practicantes Diego Flórez, Catalina Mejía<sup>4</sup>, e Iván Vanegas<sup>5</sup>, se demostró que el desperdicio generado en las etapas de destintado y pulpeo de fibra, son mucho mayores que los esperados en el diseño y producen la mayor parte del rechazo del proceso con promedios de 44% del total de la materia prima ingresada. Por esta razón, ellos vieron la necesidad de realizar un análisis del funcionamiento del equipo y observar e intervenir las variables críticas que determinan la pérdida de fibra útil. De esta manera lograron reducir los rechazos de la celda de destintado y la generación de finos por el excesivo pulpeo de la pasta. Estos rechazos disminuyeron en un 3% y lograron acercar más la generación de rechazos a lo plasmado en el diseño.

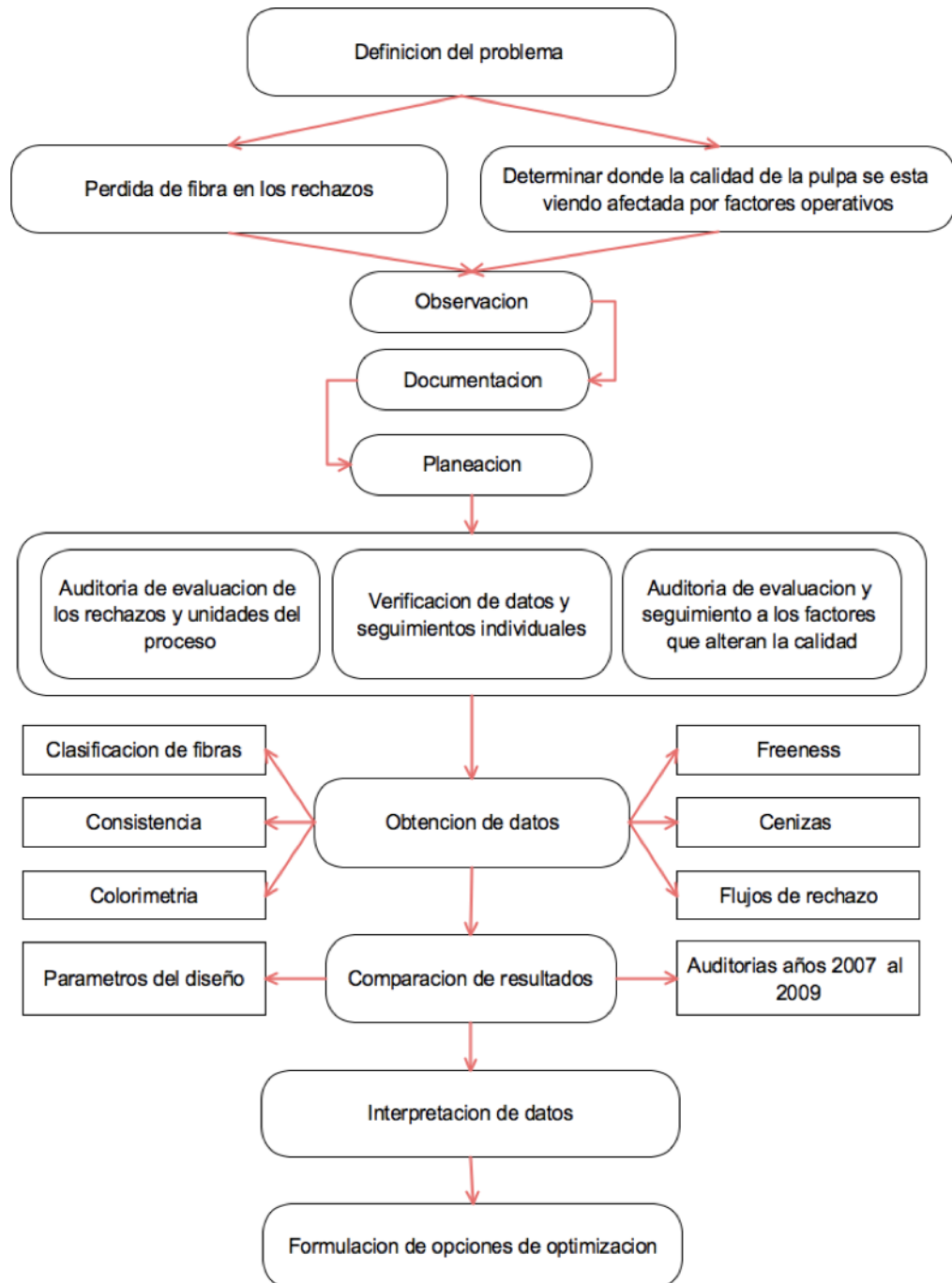
---

<sup>4</sup> MEJÍA, L., C., "Evaluación del Funcionamiento de la Celda de Destintado Mac 5 en el Proceso de Preparación de Pasta para la Producción de Papel Higiénico Blanco en la Planta Cajicá del Grupo Familia". Bogotá, 2008, Trabajo de grado (Ingeniera Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Química Ambiental.

<sup>5</sup> VANEGAS, I. D., "Evaluación de la Disminución del Desperdicio en el Proceso de Preparación de Pasta en Función del Incremento en el Porcentaje de Fibra Virgen en la Formulación del Papel Higiénico Familia Blanco de la Planta Cajicá del Grupo Familia Sancela". Bogotá, 2009, Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Química Ambiental.

### 3. METODOLOGÍA

Figura 2. Metodología de seguimiento y evaluación



Fuente: El autor

## 4. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROCESO

Las variables que se relacionan con la operación en la etapa de preparación de pasta y tienen influencia en la generación de desperdicio y detrimento de la calidad, se presentan a continuación:

- Flujo de alimentación de materia prima.
- Flujos de salida de las corrientes de rechazo.
- Flujo de entrada a los tanques de lodo.
- Consistencia de las corrientes de entrada y salida.
- Contenido de cenizas en las corrientes de entrada y salida.
- Contenido de fibras en las corrientes de entrada y salida.
- Agua de dilución.

De acuerdo al comportamiento que presenten los datos extraídos de cada una de las variables, será posible determinar alternativas que permitan reducir la generación de desperdicios en la planta preparadora de pasta y prevenir el detrimento en la calidad de la pasta dentro del proceso.

### 4.1 CAUDALES

**4.1.1 Corrientes de alimentación.** Los caudales que son evaluados durante el proceso de seguimiento y evaluación de la planta preparadora de pasta, son: las corrientes de alimentación de las unidades de limpieza y refinamiento, haciendo especial énfasis en las unidades de limpieza de finos; entrada y salidas de la unidad de flotación, etapa de blanqueamiento oxidativo desde la unidad espesadora hasta la salida de la torre de blanqueamiento y limpieza de gomas. Sin embargo, en el segundo muestreo que buscaba evaluar la calidad de la pasta

y los factores que la afectaban, el muestreo se hizo etapa por etapa del proceso de preparación de pasta.

**4.1.2 Corrientes de rechazo.** Las corrientes de rechazos de la planta preparadora de pasta están determinados por las corrientes de alimentación ingresadas en el proceso, y dependen de la calidad de la materia prima. Los flujos de rechazo en los cuales el seguimiento realizado fue más riguroso y que aportan la mayor carga de desperdicio del proceso, son las unidades de limpieza de alta densidad, limpieza de baja densidad y generación de lodos.

En cuanto a las corrientes de lodos provenientes de las unidades de clarificación de agua y celda de destintado, estas están determinadas por el desempeño operativo de las unidades. En el caso de la celda de destintado, ella depende del flujo de entrada, las presiones de los inyectores y del porcentaje de apertura de la válvula de descarga de lodos. El flujo de salida de la unidad de flotación está determinado por la capacidad del equipo de retirar los sólidos presentes en el flujo de entrada al mismo. Finalmente, el flujo de rechazo en esta unidad se obtiene por el balance de materia.

**4.2 Agua de dilución.** Las corrientes de dilución dependen del desempeño de las unidades de clarificación y de la cantidad de materia disuelta en el agua de arrastre de las corrientes provenientes de la unidad espesadora y de lavado. Este comportamiento se puede ver con mayor claridad estimando la cantidad de lodo que generan las unidades de clarificación y se realiza por medio de un balance de masa de la unidad.

## 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 5.1 MUESTREO

**5.1.1 Auditorías punto a punto.** La auditoría punto a punto comprendió las áreas de producción *PP6*, *MP6*; así como de tratamiento de efluentes (VER TABLA 1). Se analizaron puntos de pasta, aguas y rechazos, caracterizando los puntos de toma de muestras. Estos análisis comprendieron ensayos de consistencia, “freeness”, blancura, puntos negros, cenizas, y caracterización de fibras.

La auditoría además de continuar con el registro de datos de la planta que se realiza desde el 2007, también buscó emitir un concepto del estado de los procesos que se realizan en la planta. La estimación de los desechos se realizó para cada una de las unidades de rechazo, empero, estos valores apenas son estimativos, pues para este muestreo no se pudieron cuantificar los datos reales generados. En el numeral 5.2 se explica con mayor detalle la estimación de los rechazos.

**Tabla1.Puntos de muestreo. Auditoría punto a punto**

P.P.6	P001	Pulper	Evaluar la etapa de limpieza de alta densidad	
	CN001	Caja nivel 001 antes de celda de destintado		Evaluar la celda de destintado
	CN002	Caja nivel 002 antes de Limpieza de baja densidad	Evaluar el tren de limpieza de baja densidad	
	SP001 (E)	Alimentacion al limpiador de malla		Evaluar la etapa de limpieza de gomas y finos
	SP001 (S)	Aceptado al limpiador de malla	Evaluar el lavado de la pasta	
	ESP001	Aceptado del espesador		Evaluar el espesamiento de la pasta
	PRT001	Aceptado del prensa tornillo	Evaluar la dispersion	
	TBL001 (E)	Alimentacion a la torre de blanqueamiento		Evaluar la torre de blanqueamiento
	BP014	Aceptado de la torre de blanqueamiento		
MP6	CN001	Caja nivel 001 de la máquina	Evaluar la pulpa de PP6	
	ECI	Cabeza inferior de la máquina		
	CN002	Caja nivel 002 de la máquina	Evaluar la fibra virgen del proceso	
	ECS	Cabeza superior de la máquina		

Fuente: El autor

La auditoría fue llevada a cabo durante un periodo de 24 horas, iniciando a las 6:00 a.m con una tasa de acumulación de 4L a intervalos de 2 horas, y terminando a las 5:59 a.m del siguiente día.

**5.1.2 Seguimiento a una carga del proceso y evaluación de factores que alteran la calidad.** Teniendo en cuenta el análisis de resultados de la anterior auditoría y viendo un preocupante panorama de los procesos se tomó la decisión de hacer un segundo muestreo. Éste consiste en hacer un seguimiento unidad por unidad de la planta preparadora de pasta con el fin de establecer el verdadero estado operacional de la misma. La auditoría del área de PP6 tuvo en cuenta las materias primas ingresadas en el proceso mediante una valoración previa. También se adicionaron puntos de muestreo claves en la evaluación de los factores de calidad, haciendo un enfoque en las entradas y salidas de las unidades de limpieza y las unidades que tenían dilución de pasta (VER TABLA 2). Al igual que en la anterior auditoría, en ésta se analizaron puntos de pasta, aguas y rechazos que comprenden ensayos de consistencia, “freeness”, blancura, puntos negros, cenizas, y caracterización de fibras.

La estimación de los rechazos generados cambió respecto a la anterior auditoría, puesto que en esta oportunidad se cuantificó el desecho de las unidades encargadas de la separación por lotes en los rechazos más pesados, con el fin de determinar el peso real de contaminantes no fibrosos que traen las cargas ingresadas al proceso.

Esta auditoría tuvo un periodo de 8 horas aproximadamente con volúmenes de muestra de 15L. La metodología consistió en hacer el seguimiento a dos cargas de materia prima, teniendo en cuenta los tiempos de residencia en cada una de las unidades de limpieza y refinamiento. Este seguimiento tenía como principal objetivo establecer los puntos del proceso en donde la calidad de la pasta se veía afectada por factores operacionales, además de estimar una cantidad de rechazo más cercano a la calidad de la materia prima ingresada al proceso.

**Tabla 2. Puntos de muestreo. Auditoría de seguimiento**

BP002	Salida de la bomba de succion	Evaluar la pulpa que entra al proceso	Evaluar los reciclos del TP002
BP003	Salida de la bomba de succion		
SH001 (E)	Entrada a SH001	Evaluar el LCA001	Evaluar el SH001
CN001	Caja nivel 001 antes de celda de destintado		
BP004	Despues de la dilucion	Evaluar el impacto de TA004	Evaluar el funcionamiento de CD001
CN002	Caja nivel 002 antes de Limpieza de baja densidad		
BP009	Alimentacio a Tren de baja densidad	Evaluar el impacto del TA003	Evalua la limpieza del tren de finos LCB
SP001(E)	Aceptado de tren de baja densidad		
SP001 (S)	Aceptado del SP001 antes del bypass	Evaluar [SP001/002 Y SH002	Evaluar el espesamiento de la pulpa
ESP001 (E )	Entre SP001-ESP001 Despues del bypass		
ESP001	Aceptado del Espesador	Espesamiento de pulpa y agente reductor	Evaluar la dispersion de puntos negros
PRT001	Alimentacion a Dispersion		
TBL001 (E )	Alimentacion a la torre de blanqueamiento	Evaluar la eficiencia de la etapa de blanqueamiento	Evaluar el impacto del reciclo CN003
BP014	Aceptado de la torre de blanqueamiento		
BP015	Salida de la bomba de succion	Evaluar el SV001	
CN003	Arriba en la caja de nivel		

Fuente: El autor

## 5.2 ESTIMACIÓN DE LOS RECHAZOS

La estimación de los rechazos en la planta de preparación de pasta se realiza de manera matemática. Sin embargo, en la primera auditoría y por lo menos en el caso del compactador de residuos, producto de la unidad de limpieza de alta densidad, éste se realizó de forma estimativa. Ahora, para la segunda auditoría sí se logró identificar el peso real del rechazo generado tal como se explicó en el anterior numeral.

**Tabla 3. Puntos de muestreo de rechazos. Auditoría punto a punto**

LCA	Limpiador Centrifugo de Alta	Ganchos, Metales pequeños,
D001	Limpiador de alta densidad	Platicos de alta densidad, lomos de libros, etc,
LCB004	Limpiador Centrifugo de Baja (última etapa)	Arenas, tierras, particulados y finos
SH002	Limpiador de gomas (Fibernet)	Gomas y cauchos
SV001	Limpiador de gomas utima etapa	Gomas de baja densidad y finos
TL001	Tanque de lodos 1 (espumas)	Espumas de la celda de destintado
TL002	Tanque de lodos 2	Lodos de: CLF001/002/003 y TL001
EF3-TL001	Tanque de Lodos Efluentes	Tanque de lodos de efluentes
MP6-SV003	Rechazos Minisorter	Rechazo ultima limpieza de la máquina

Fuente: El autor

**Tabla 4. Puntos de muestreo de rechazos. Auditoría de seguimiento**

PP6	LCA001	Limpiador Centrifugo de Alta	Ganchos, Metales pequeños,
	D001	Limpiador de alta densidad	Platicos de alta densidad, lomos de libros, etc,
	LCB004	Limpiador Centrifugo de Baja (última etapa)	Arenas, tierras, particulados y finos
	SH002	Limpiador de gomas (Fibernet)	Gomas y cauchos
	SV001	Limpiador de gomas utima etapa	Gomas de baja densidad y finos
	CR001	Compactador de residuos	Rechazo de la pera de descarga
PP6 TL002	TL001	Tanque de lodos 1 (espumas)	Espumas de la celda de destintado
	CFL001/002	Clarificadores 001/002	Lodos de: CLF001/002 del agua del espesador
	CFL003	Clarificador 003	Lodos de: CLF003 del agua de la máquina

Fuente: El autor

El flujo en la corriente de rechazo determina la cantidad de desperdicio que es retirado por los equipos de limpieza, su determinación se hace por medio del cuarto de control con las lecturas proporcionadas por los flujómetros. Sin embargo, en el caso de los tanques de lodo en donde no hay flujómetros, la obtención del caudal de lodo generado se hace modificando el “set point” del control de nivel, con el fin de tomar el tiempo de acumulación másica, y posteriormente hacer el cálculo de caudal de rechazo. Este procedimiento se describe a continuación.

$$Q_r = \left( \frac{N_c}{T} \right) * 60$$

$Q_r$  = Flujo en la corriente de rechazo ( $m^3/h$ )

$N_c$  = Nivel del tanque de lodos ( $m^3$ )

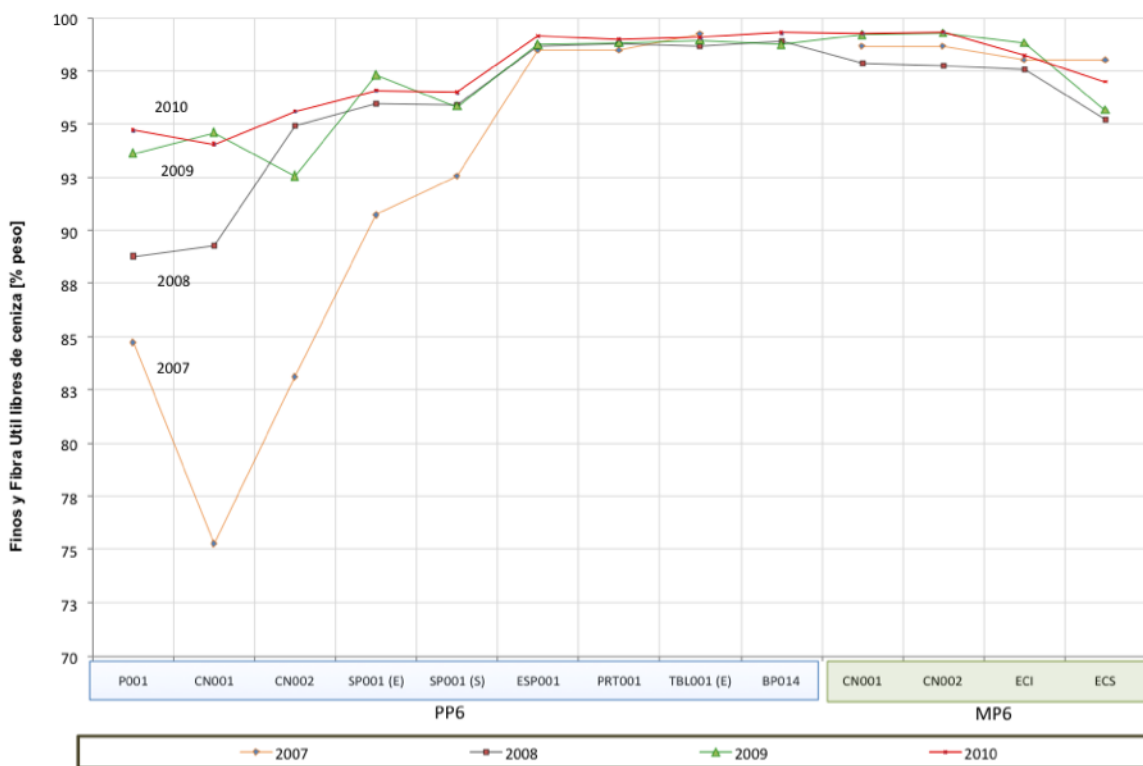
T = tiempo (min.)

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Primer muestreo

Existe una clara disminución en la cantidad de cenizas presentes en la pasta, tal como se ve en la gráfica (FIGURA 3), en comparación con los resultados de las auditorías pasadas. Sin embargo, en las últimas partes del proceso esta presencia de cenizas aumenta, debido al agua que es recirculada y se emplea para la dilución de la pasta en la entrada de la máquina.

Figura 3. Fibra útil y finos libres de ceniza

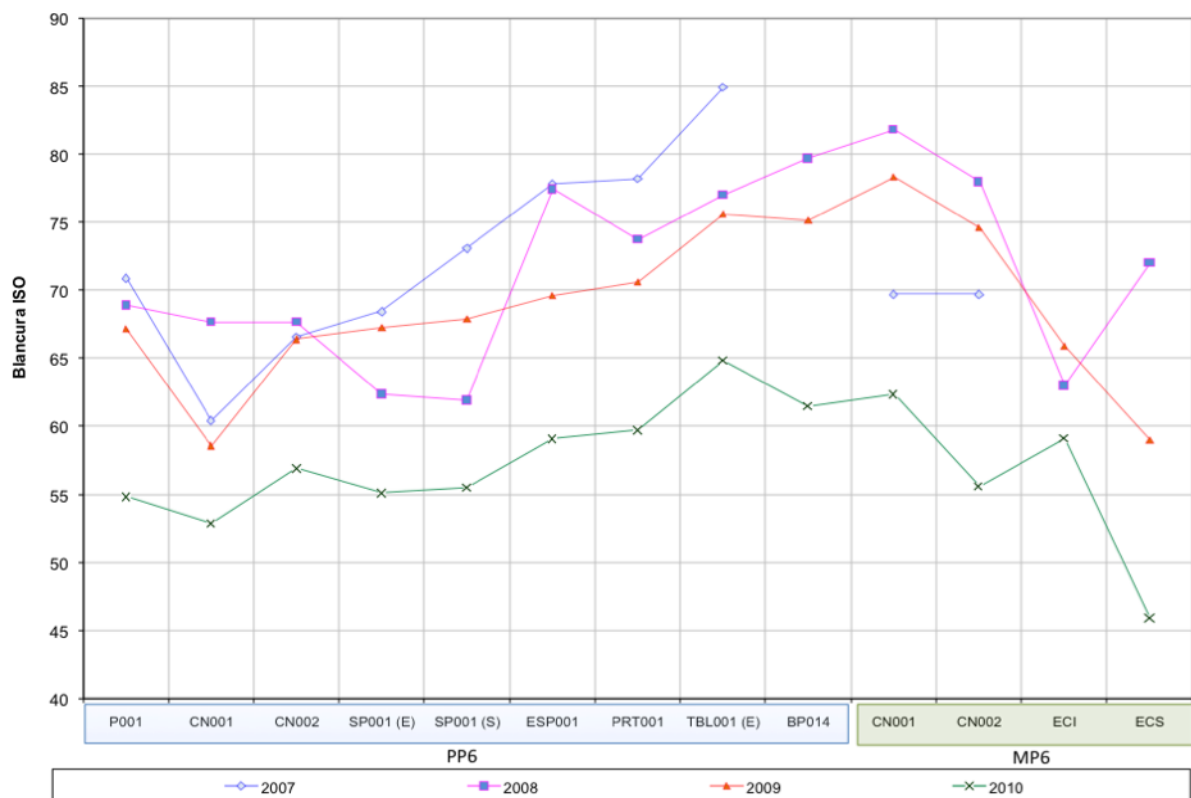


Fuente: El autor

Son preocupantes los niveles de blancura ISO mostrados en la auditoría punto a punto, debido a que la blancura está 13 puntos por debajo de los registros

anteriores. Sin embargo, su perfil es igual a las anteriores tendencias. La razón principal de estos niveles de blancura es la calidad de la materia prima que está siendo ingresada al proceso. De igual manera hay puntos en donde la blancura desciende, como es el caso de los puntos CN002 y SP001 (E), TBL001 (E) y BP014, y en el peor de los casos las cabezas de máquina inferior y superior ECI y ECS, como se muestra en la siguiente grafica.

Figura 4. Perfil de blancura ISO



Fuente: El autor

Los puntos negros en el histograma de datos muestran una irregularidad con respecto a los valores obtenidos este año (VER FIGURA 5), puesto que en las últimas etapas del proceso, el aumento de puntos negros es evidente. Este incremento en los valores de puntos negros puede tener dos orígenes: el agua de dilución proveniente del *canalón* en la máquina, o el flujo de reciclo proveniente del

“repulper”. Cabe anotar que el agua de dilución del canalón tiene el mismo efecto perjudicial tanto para los valores de puntos negros como para los valores de blancura.

Figura 5. Perfil de puntos negros



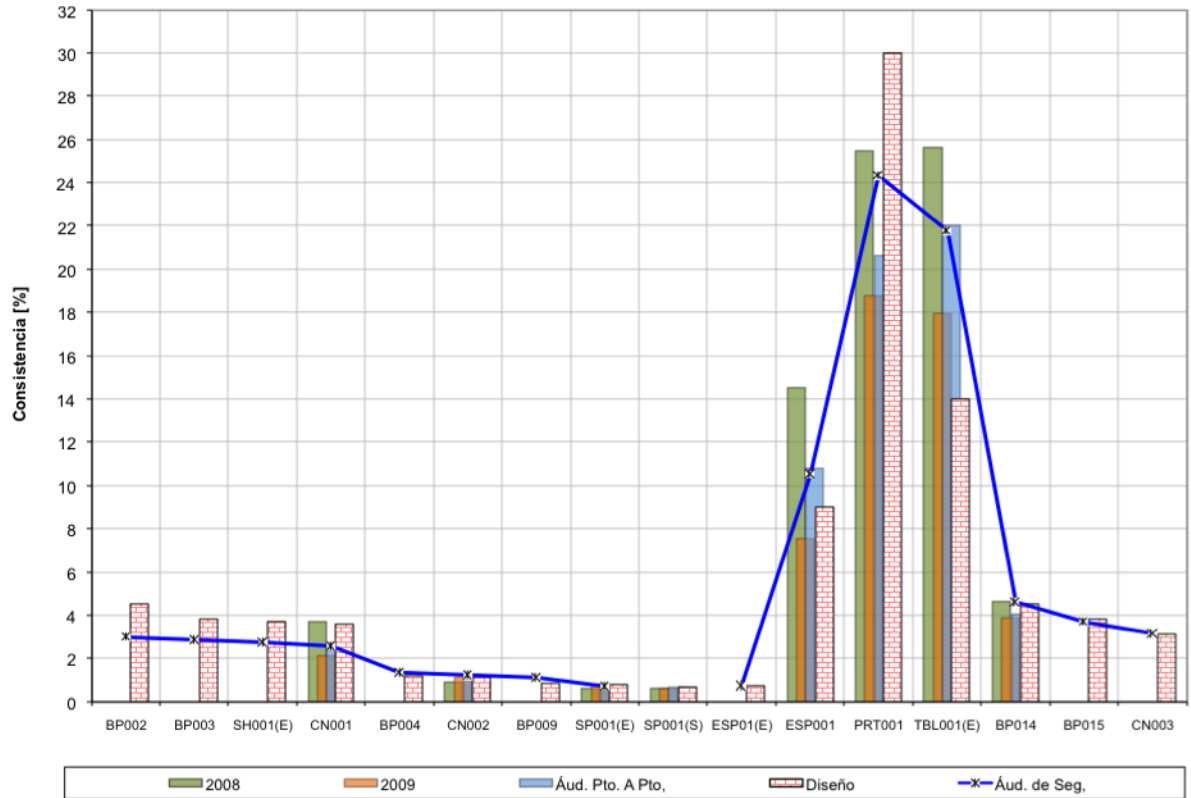
Fuente: El autor

### Segundo muestreo

Las consistencias en el proceso de preparación de pasta no presentan variaciones significativas. No obstante, en las primeras unidades de la planta de preparación de pasta, la consistencia está por debajo de los parámetros establecidos, los niveles de consistencia se vuelven a normalizar justo antes de la entrada (BP004) a la celda de destintado. En las etapas de espesamiento, dispersión y blanqueo, la consistencia vuelve a presentar desviaciones. Sin embargo, estas variaciones en las consistencias han sido el producto de estudios y cambios en el proceso con los

que se pretendió mejorar y aumentar la eficiencia de algunas de las unidades de la planta, como se ve en la grafica (VER FIGURA 6).

Figura 6. Histograma de consistencias

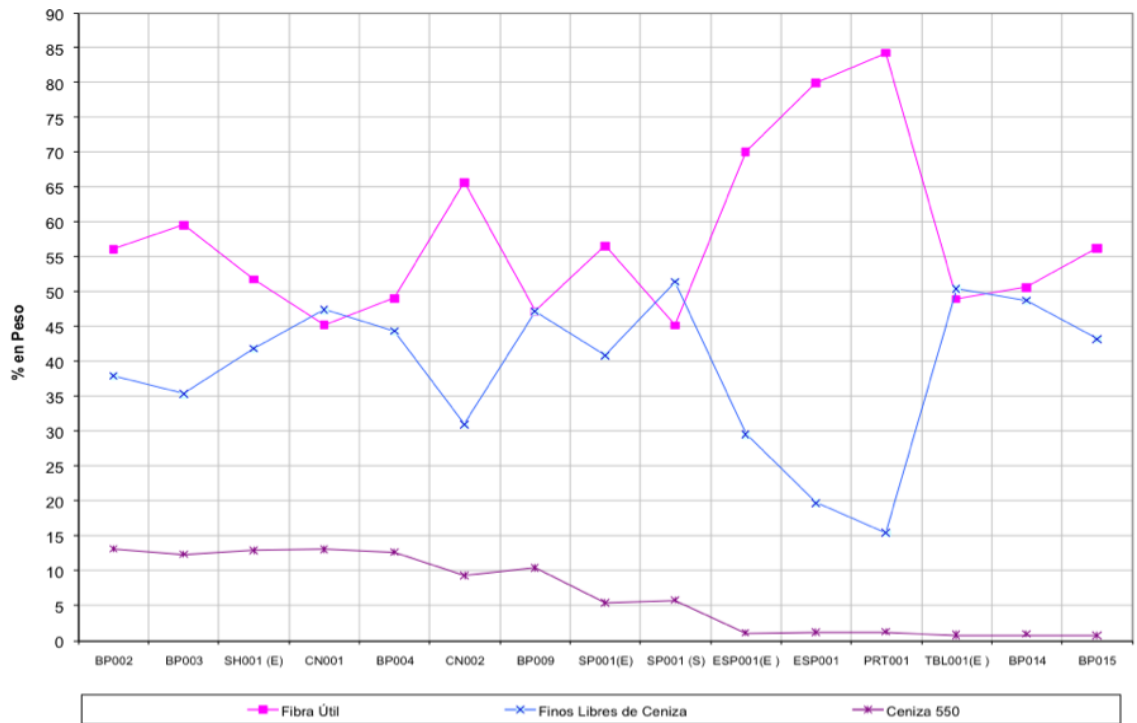


Fuente: El autor

El comportamiento de la cantidad de fibra útil, finos y cenizas expone un perfil en donde se puede observar que la ceniza disminuye de forma óptima. Por su parte, el perfil de la fibra útil y finos marca una irregularidad que depende de las etapas de limpieza o refinamiento, en la gráfica (FIGURA 7) se ve claramente el comportamiento de la fibra útil con respecto a los datos de los anteriores años.

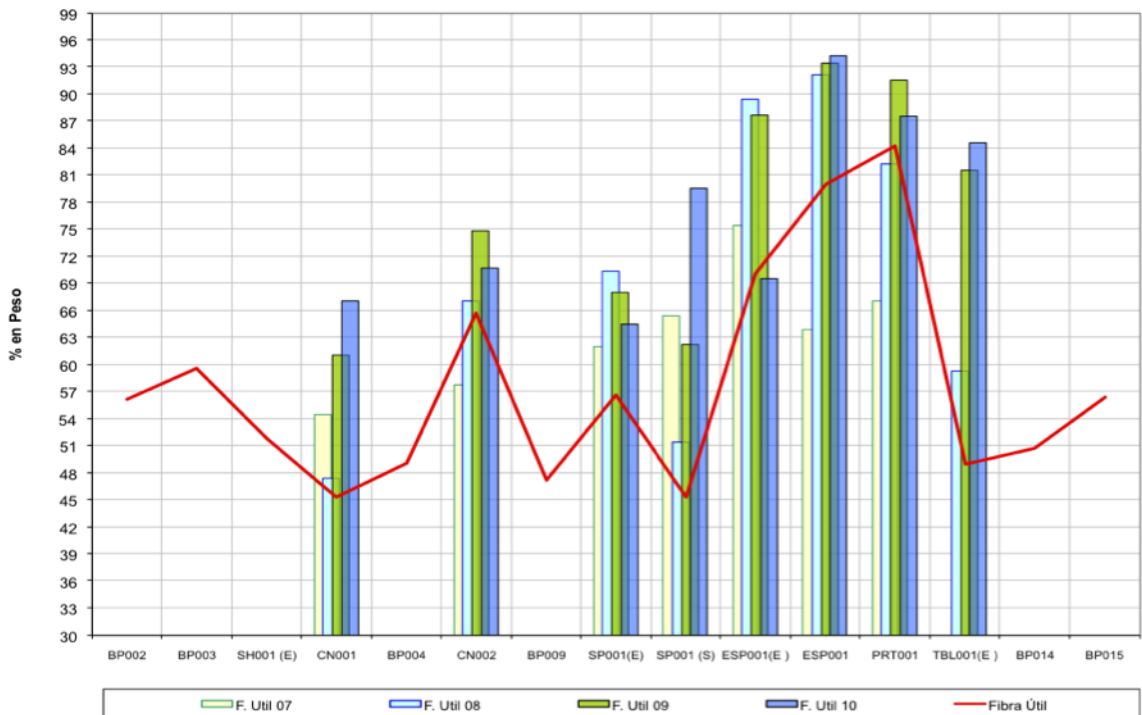
El histograma de fibra útil (FIGURA 8) expone un preocupante descenso en los valores de fibra útil en todas las unidades del proceso como la BP014 cuyo valor se encuentra aproximadamente 30% por debajo del registro del año anterior.

Figura 7. Perfil de fibra útil, finos y cenizas en PP6



Fuente: El autor

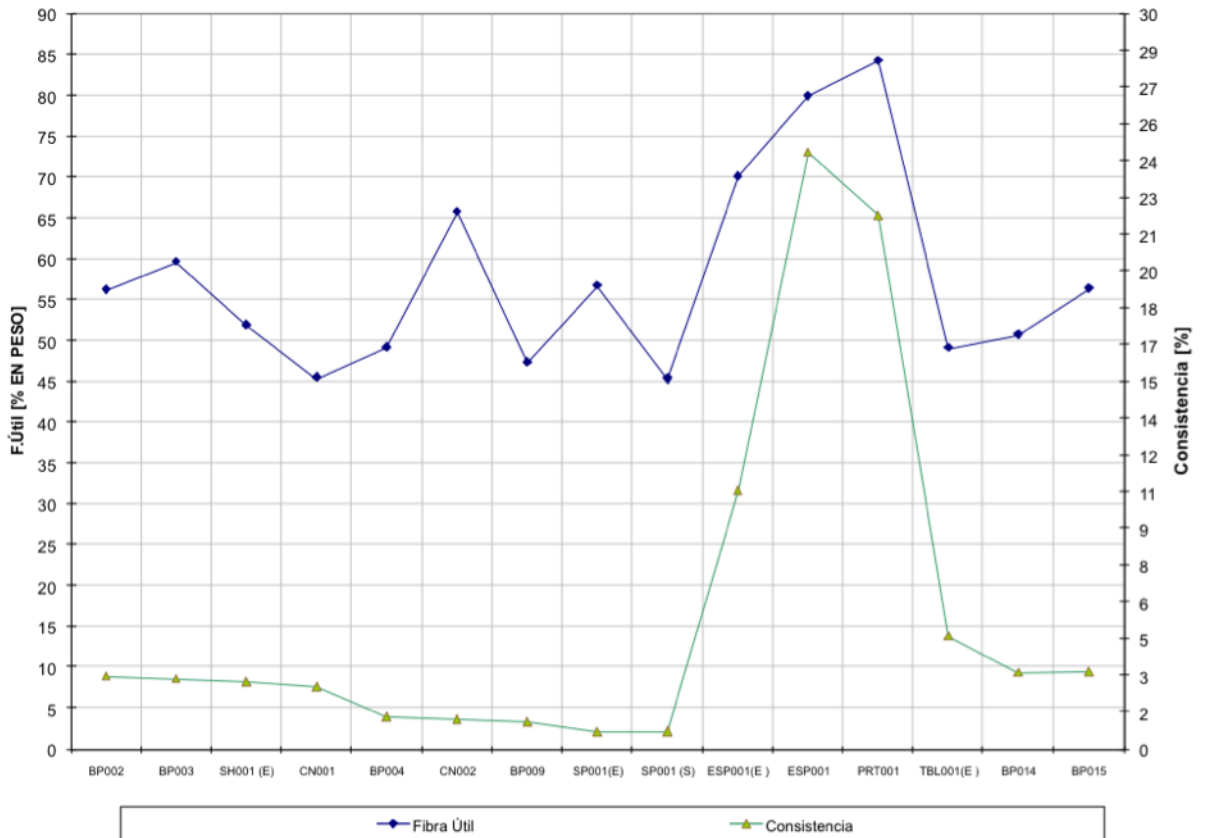
Figura 8. Histograma de fibra útil en PP6



Fuente: El autor

La gráfica comparativa de fibra útil y consistencia (FIGURA 9) marca la tendencia y relación existente entre ambas. Es decir, a medida que aumenta la consistencia, aumenta la fibra útil presente en la muestra analizada.

Figura 9. Perfil para consistencias y fibra útil en PP6



Fuente: El autor

La blancura en el proceso de preparación de pasta mejoró con respecto al anterior muestreo. El seguimiento a las dos cargas logró evidenciar un perfil de blancura más cercano al desempeño operativo de las unidades en la planta. Se observaron unidades en las cuales la blancura de la pasta disminuyó debido a los contaminantes presentes en el agua, esto debido a las condiciones del agua de dilución en las ultimas etapas del proceso y en las cabezas de las maquina (VER FIGURA10 – Línea verde).

Figura 10. Perfil de puntos negros y blancura ISO en PP6



Fuente: El autor

La gráfica de puntos negros (Línea Roja) muestra valores atípicos como el SH001 y BP004 en donde la cantidad de puntos negros aumenta de manera abrupta. Esto es debido a la presencia de arenas en el agua de dilución antes de la celda de destintado.

Tabla 5. Estadísticos de rechazos

PULPA (Ton b.s/día)	COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON ANTERIORES ESTUDIOS									
	PP6-CR001	PP6-D001	PP6-LCA	PP6-TL001	PP6-CFL001-2-3 (Entrada)	PP6-CFL001-2(Entrada)	PP6-CFL003 (Entrada)	PP6-LCB004	PP6-SH002	PP6-SV001
2010	4,27	0,1	0,05	7,29	14,35	12,33	2,02	9,46	0,41	1,87
2008	1,48	0,4	0,02	9,83	35,01	29,46	5,54	1,50	0,04	0,17
2007	1,81	0,37	0,53	28,99	28,20	24,22	3,98	2,15	0,12	0,40
DISEÑO	0,04	0,55	10,80	15,05	38,02	35,71	2,30	1,15	1,39	1,36

Fuente: El autor

La estimación de los rechazos en la planta de preparación de pasta varía entre los muestreos. Sin embargo, el método de estimación fue diferente debido a que en el segundo muestreo se cuantificó el peso real del rechazo generado por la etapa de alta densidad. Por otra parte los datos de los otros puntos fueron similares y marcaron la tendencia de las unidades con los mayores rechazos. (VER TABLAS 5 Y 6).

**Tabla 6. Rechazos por unidades. Auditoría 2010**

Punto de muestra		Rechazo en las dos cargas [Kg.]	% de rechazo por cada unidad	% Rechazo por Área
PP6-LCA001 (Rechazo)		3,6	0,04	2,6
PP6-D001 (Rechazo)		40,2	0,42	
PP6-LCB004 (Rechazo)		21,8	0,23	
PP6-SH002 (Rechazo)		75,5	0,80	
PP6-SV001 (Rechazo)		113,8	1,20	
PP6-TL002 (Rechazo)	PP6-TL001	134,8	1,42	31,4
	PP6-CFL001/002	2361,1	26,57	
	PP6-CFL003	265,0	2,80	
Rechazo	PP6-CR001	126	1,32	3,2
	Cartón	182	1,88	

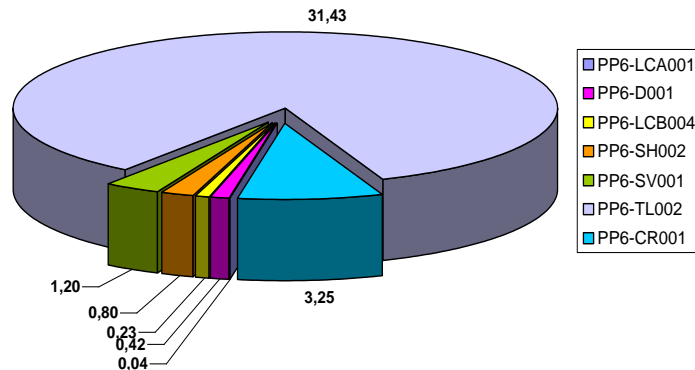
Fuente: El autor

Las unidades con los mayores aportes de rechazo fueron los tanques de lodo, siendo el tanque dos (TL002) el de mayor generación de desperdicio en toda la planta. A este tanque llegan los lodos del proceso de clarificación del agua y de rechazo de la celda de destintado.

En el tanque de lodos dos (TL002) se desperdicia 31,4% del total de la materia prima ingresada al proceso. A este tanque llegan los mayores aportes de lodo generados en las unidades de clarificación que corresponden al 86,3% de la carga másica de entrada a este tanque; los flujos de entrada a las unidades de clarificación provienen del lavado de la pasta en la etapa de espesamiento y es aquí donde el agua arrastra la mayor cantidad de fibra útil al igual que la cantidad

de fibra útil en el flujo del prensa tornillo, es en este punto donde se esta desperdiciando la mayor cantidad de fibra en todo el proceso, esta cantidad de desperdicio corresponde al 27,1% de la materia prima ingresada al proceso.

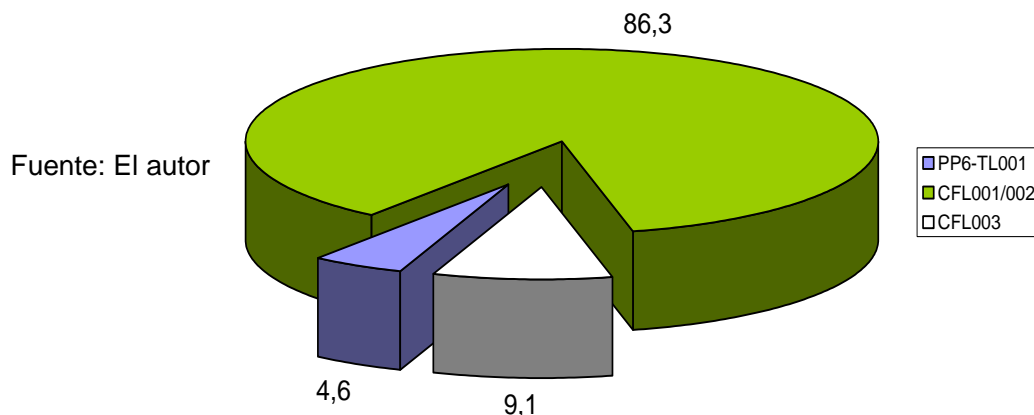
Figura 11. Distribución de rechazos de PP6



Fuente: El autor

Los equipos que también tienen un exceso en su rechazo son los correspondientes a las unidades de limpieza de finos. Es de anotar que la última etapa de limpieza de finos (SV001) genera el 1,2% de rechazo con respecto a la materia prima que ingresa. Este rechazo en su mayoría es pasta útil que se pierde.

Figura 12 Distribución de rechazos de TL002



Fuente: El autor

Fuente: El autor

## 7. CONCLUSIONES

El área de preparación de pasta de la planta de Grupo Familia S.A., hoy genera altos niveles rechazo con cifras que están en el 38% de la materia ingresada al proceso. La principal causa de este resultado se debe a la calidad del material de archivo que está siendo ingresada al proceso. Ahora bien, la mayor parte de los rechazos generados por la planta son procedentes de las unidades de clarificación, siendo éstos aproximadamente el 30% de la materia prima alimentada al proceso. Los rechazos de estas unidades de clarificación son producto del tratamiento de los flujos de agua del mismo.

El agua de las duchas de lavado en el equipo espesador genera un fenómeno de arrastre de contaminantes, de finos y de fibra útil. Esta última es la variable que genera los mayores aportes de lodo a los flujos de rechazo. Por tal razón, si se disminuye la cantidad de fibra útil en la corriente proveniente del prensa tornillo, se estará aumentando el índice de producción de la planta preparadora de pasta.

Se puede aumentar los niveles de blancura ISO, bajar los valores de puntos negros y disminuir las dosificaciones de químicos como el blanqueador óptico (*OBA*), si se mejoran las condiciones del agua de dilución en las últimas etapas del proceso y en las cabezas de máquina.

Se hace necesario implementar un sistema de seguimiento a las unidades del proceso para evitar deterioro de la pasta. La implementación de un sistema de seguimiento conllevaría a tener controles de parámetros de calidad durante el proceso de preparación de pasta. Hoy en día estos controles sólo se hacen a la salida de la máquina en el producto terminado.

## 8. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones aquí presentadas hacen parte de las opciones de mejora que pueden ser implementadas por la planta del Grupo Familia S.A. Cajicá, para la optimización de sus procesos en la planta de preparación de pasta.

→ Estudiar una alternativa para optimizar el flujo de rechazo del limpiador (SV001), y lograr disminuir el porcentaje de pasta desperdiciada. En la actualidad este porcentaje de rechazo es del 1,2% de fibra que ingresa al proceso siendo fibra en gran parte aprovechable.

→ Tomar acciones correctivas en flujo de agua extraída de las unidades de lavado y espesado a partir del SP001 hasta la entrada de la unidad de dispersión, puesto que contienen una alta cantidad de finos y de fibra útil, que por fenómenos de arrastre están siendo conducidos hacia las unidades de clarificación, las cuales generan las mayores pérdidas de fibra. Siendo estas descargadas en el tanque de lodos (TL002). Por consiguiente las mayores pérdidas de fibra para estas etapas, llegan a un valor aproximado del 27%.

→ Estudiar la opción de disminuir el flujo de lavado en la unidad de espesamiento o de aumentar la consistencia a la entrada de la misma, buscando con ello disminuir la cantidad de finos y de fibra útil arrastrados por estos flujos de agua.

→ Teniendo en cuenta el alto ingreso de arenas y de otros materiales particulados provenientes del agua de dilución en la bomba BP004 (antes de la celda de destintado), se hace necesario revisar la operación del tren de limpiadores de baja densidad (LCB), para que esta clase de contaminantes no lleguen hasta los equipos de lavado y de ahí terminen en el circuito de agua. Esto

se debe a que al ser contaminantes más pesados, éstos no son retirados por los clarificadores. Cabe resaltar que los equipos de limpieza de baja densidad presentan una alta irregularidad en su funcionamiento, debido a taponamientos que se presentan en la última etapa (LCB004).

→ Realizar seguimiento a la TBL pues el valor de blancura no fue el esperado. Se sospecha la posible contaminación generada por el agua de dilución del TA003 a la salida de la torre blanqueamiento, disminuyendo 1,06 puntos blancura ISO entre la salida de la etapa de dispersión de punto y la salida de la torre de blanqueamiento.

→ Realizar un seguimiento a los finos del la prensa tornillo que son recirculados hacia el tanque de agua (TA004), y que están siendo reingresados al proceso para finalmente salir en la unidad de espesamiento y de ahí rumbo a los clarificadores.

→ Implementar un plan de gestión para el control de la blancura durante las etapas de preparación de pasta. Se sugiere el sistema de control *QC Story*, el cual podrá ejercer un óptimo control estableciendo los parámetros e intervalos críticos en puntos neurálgicos del proceso. como “*pulper*”, salida celda de destintado y la torre de blanqueamiento posteriormente.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

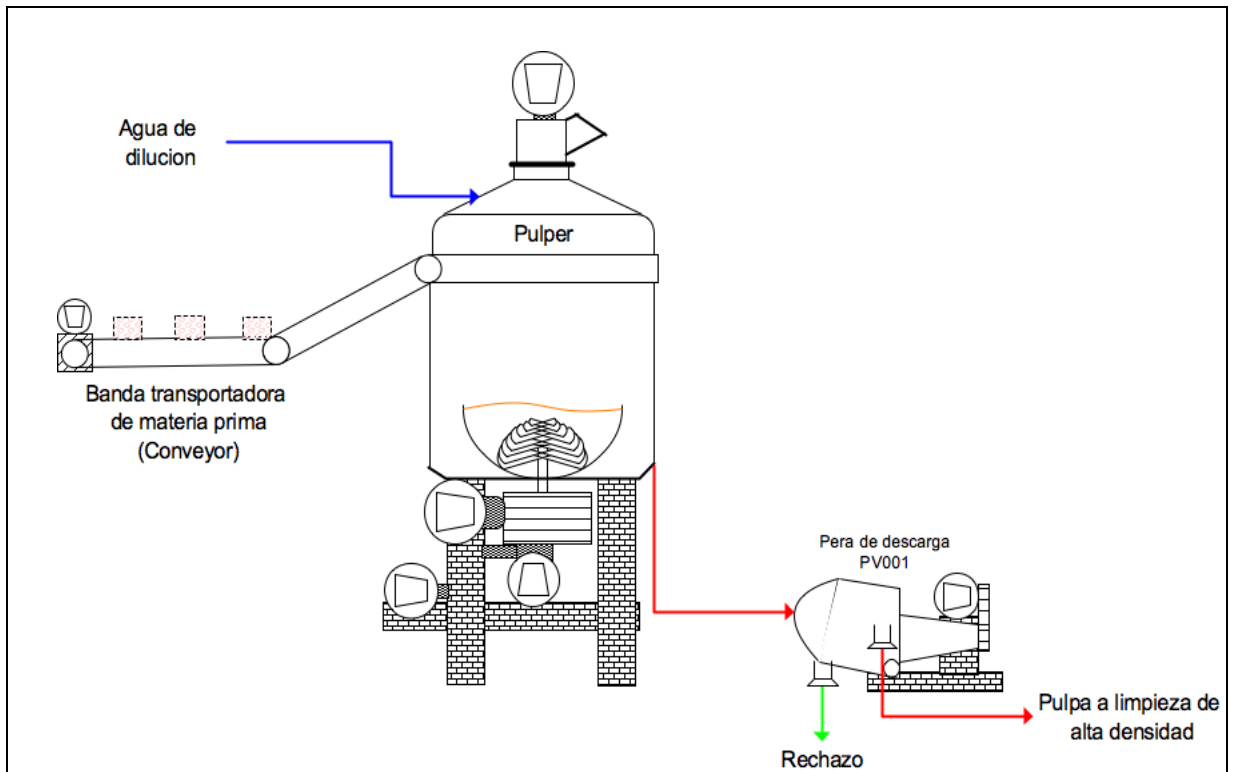
- [1] ALLIOT, M. L., AVILA, A. T. "Destintado de papel por flotación: Influencia de los factores de forma". Argentina 2004, Facultad de Ingeniería Química, Santiago del Estero, Disponible en el catálogo en línea de la biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental de la organización panamericana de la salud <<http://www.bvsde.paho.org>>
- [2] KADANTLAMORTH., FAMILIA SANCELA S.A., Process descripción, Familia PM6 DIP line 130 BDMT/24h, tissue general, KadantLamort. Archivo digital <PD0151 A 01 Familia.doc> [Última actualización 1 de octubre de 2004]
- [3] FUENTES, V.; RENAN, J; "Simulación y Modelo Matemático de la Deslignificación Selectiva de la Madera por Hongos Blancos en Ambiente Natural"; Temuco Universidad de la Frontera. 1991
- [4] HUNT, C., KENEALY W., HOUTMAN C. Understanding wood chemistry changes during biopulping. En: 12 TH ISWPC INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD AND PULPING CHEMISTRY. (2003: Madison, Wisconsin USA). Poster Presentations Of International Symposium On Wood And Pulping Chemistry. Madison, Wisconsin USA. p 169-172.
- [5] ARZUR, Ü. KOLANKAYA, N. Dechlorination of bleached kraft pulp by laccase enzyme produced from some white-rot fungi. En: TURKISH JOURNAL OF BIOLOGY No. 25 (2001: Ankara, Turkey), p 67-72.
- [6] SAYDA, J. H. TAYLOR, "Model Predictive Control of a Mechanical Pulp Bleaching Process", PROC. IFAC WORKSHOP ON TIME-DELAY SYSTEMS (TDS'03), (2003: Rocquencourt, France), 7 paginas.

- [7] J. H. TAYLOR., K. M. AKIDA, "Indirect Adaptive Model Predictive Control of a Mechanical Pulp Bleaching Process", PROC. NINTH IASTED INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL AND APPLICATIONS (CA 2007), Montreal, Canada, 30 May -- 1 June 2007. 6 paginas,
- [8] MEJÍA, L., C., "Evaluación del Funcionamiento de la Celda de Destintado Mac 5 en el Proceso de Preparación de Pasta para la Producción de Papel Higiénico Blanco en la Planta Cajicá del Grupo Familia". Bogotá, 2008, Trabajo de grado (Ingeniera Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Química Ambiental.
- [9] VANEGAS, I. D., "Evaluación de la Disminución del Desperdicio en el Proceso de Preparación de Pasta en Función del Incremento en el Porcentaje de Fibra Virgen en la Formulación del Papel Higiénico Familia Blanco de la Planta Cajicá del Grupo Familia Sancela". Bogotá, 2009, Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Química Ambiental.

## 10. ANEXOS

### ANEXO 1. Esquema etapa de pulpeo.

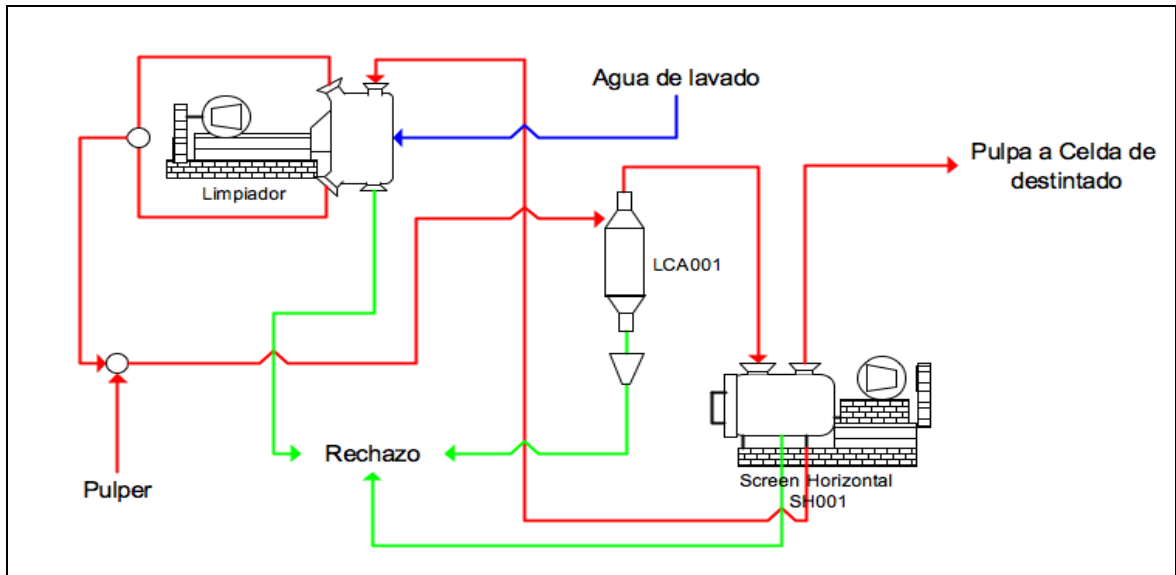
Figura 13. **Pulpeo de materia reciclada**



Fuente: El Autor

ANEXO 2. Esquema etapa de limpieza de alta densidad.

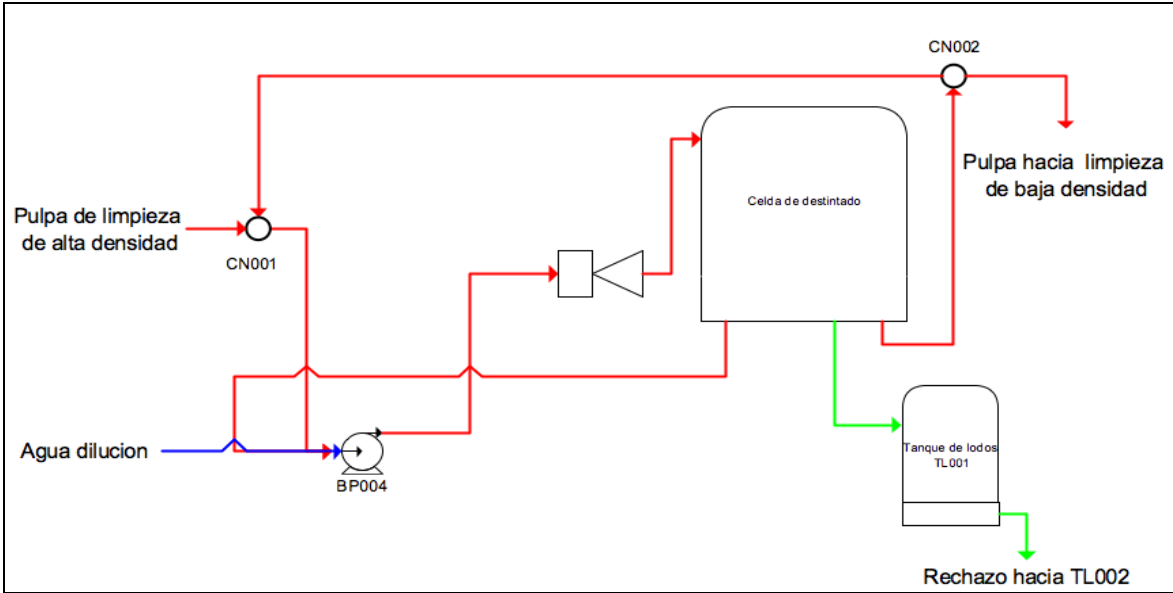
Figura 14. Limpieza de alta densidad



Fuente: El Autor

ANEXO 3. Esquema etapa de destintado.

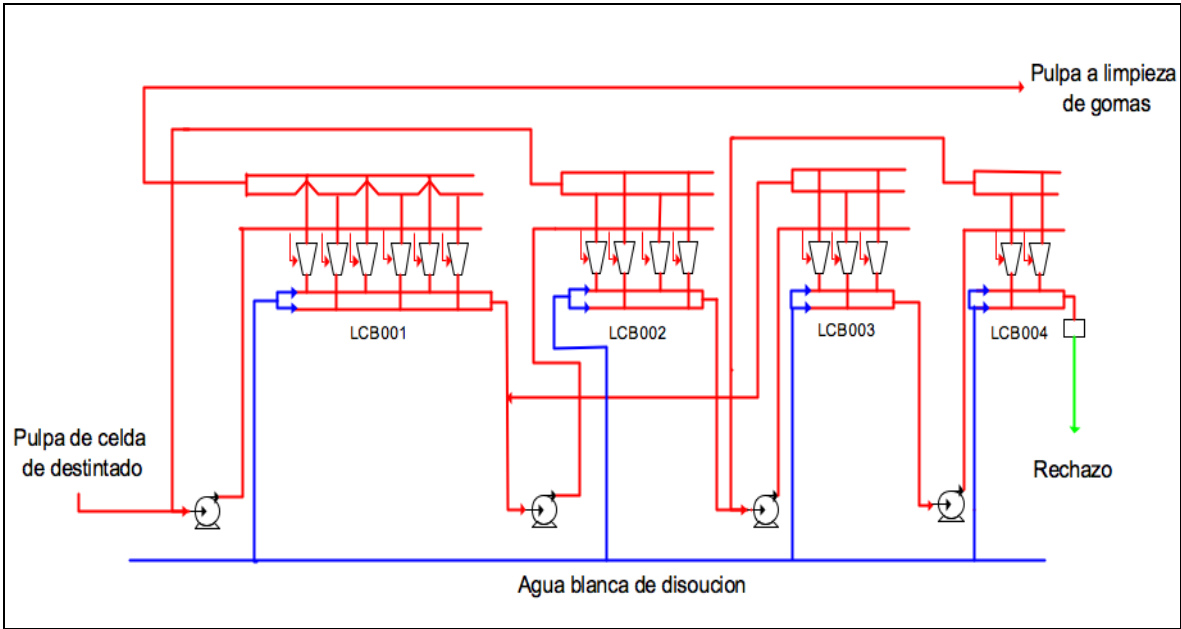
Figura 15. Celda de flotación o destintado



Fuente: El Autor

ANEXO 4. Esquema etapa de limpieza de finos.

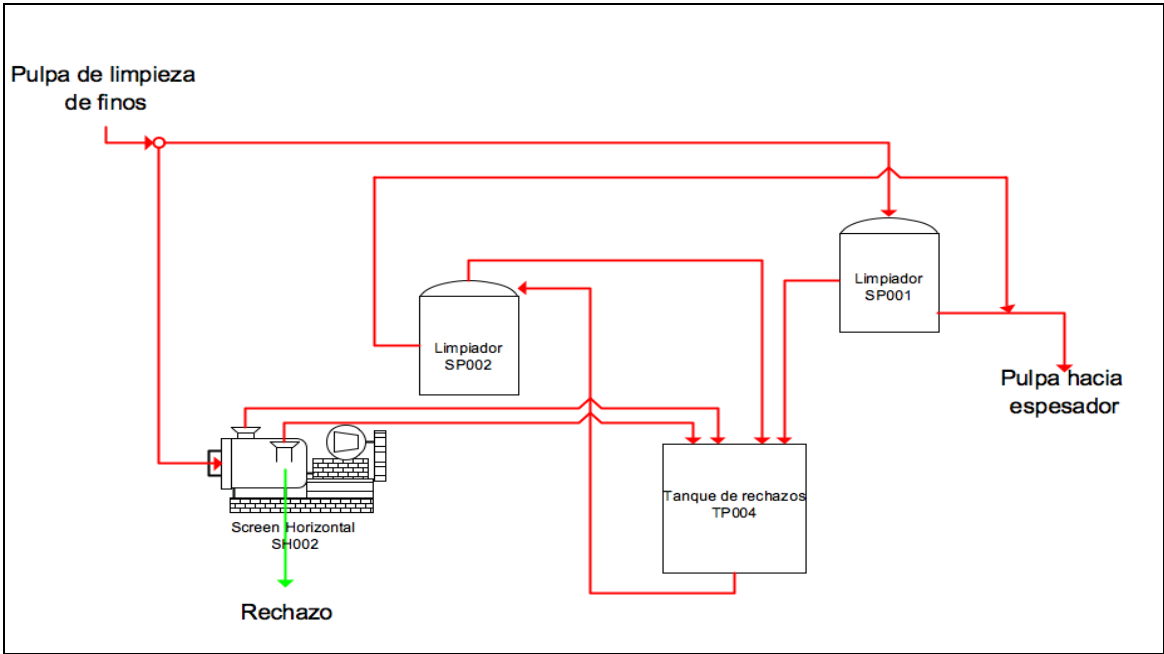
Figura 16. Limpiadores de baja densidad



Fuente: El Autor

ANEXO 5. Esquema etapa limpieza de gomas

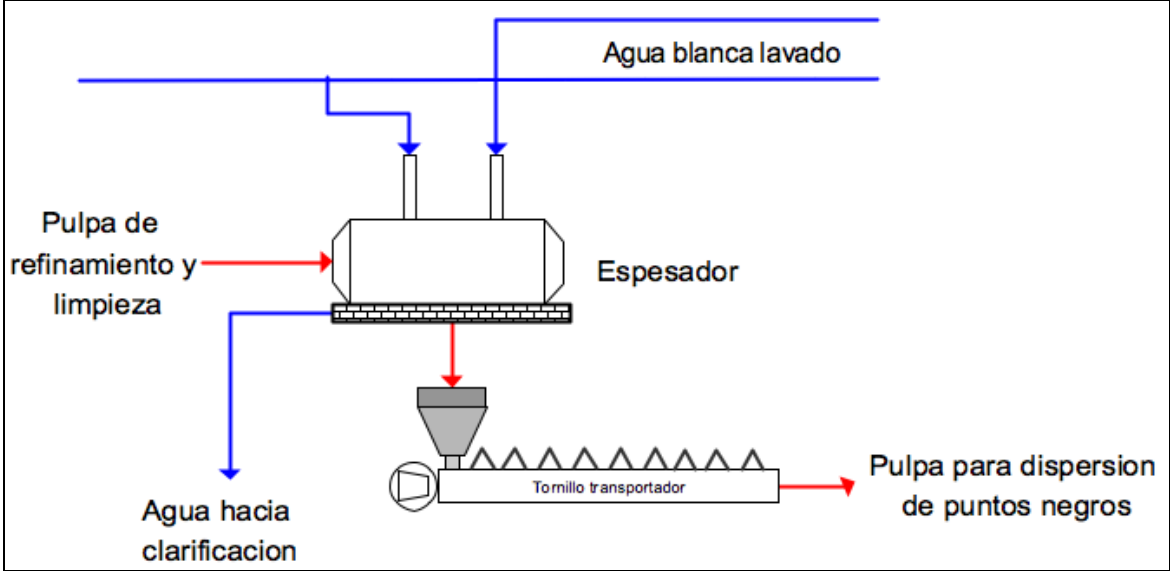
Figura 17. Limpiadores de gomas



Fuente: El Autor

ANEXO 6. Esquema etapa de lavado y espesador

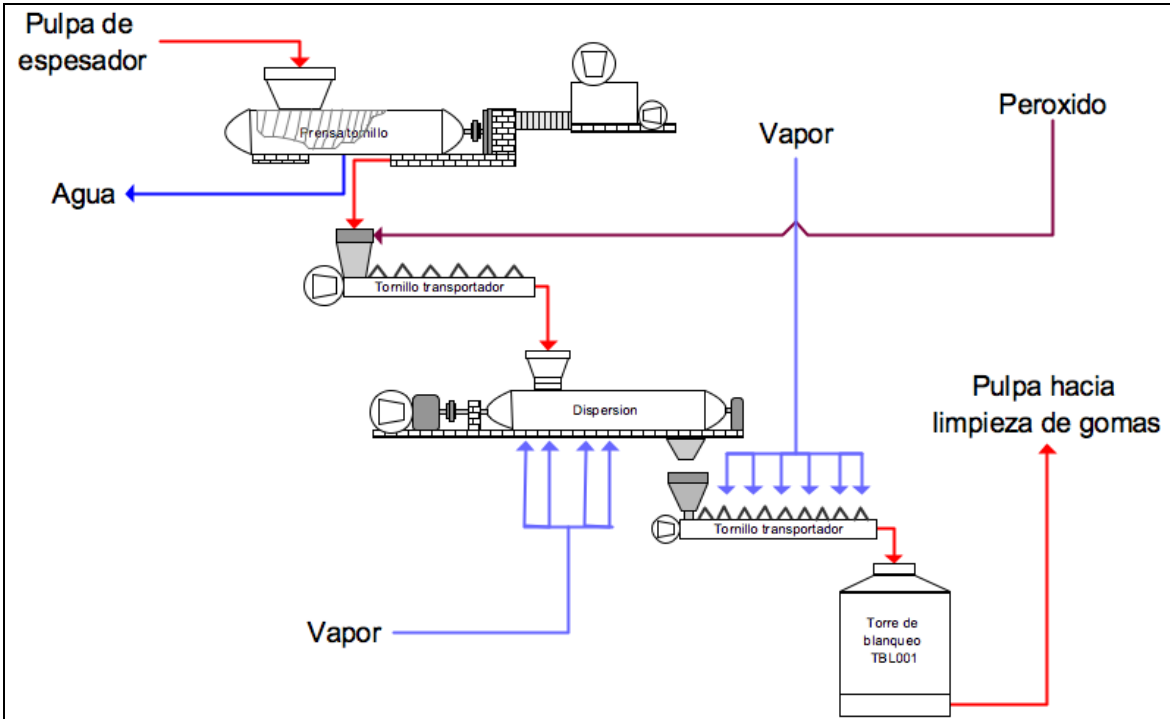
Figura 18. **Espesador y lavado**



Fuente: El Autor

ANEXO 7. Esquema etapas de dispersión y blanqueamiento

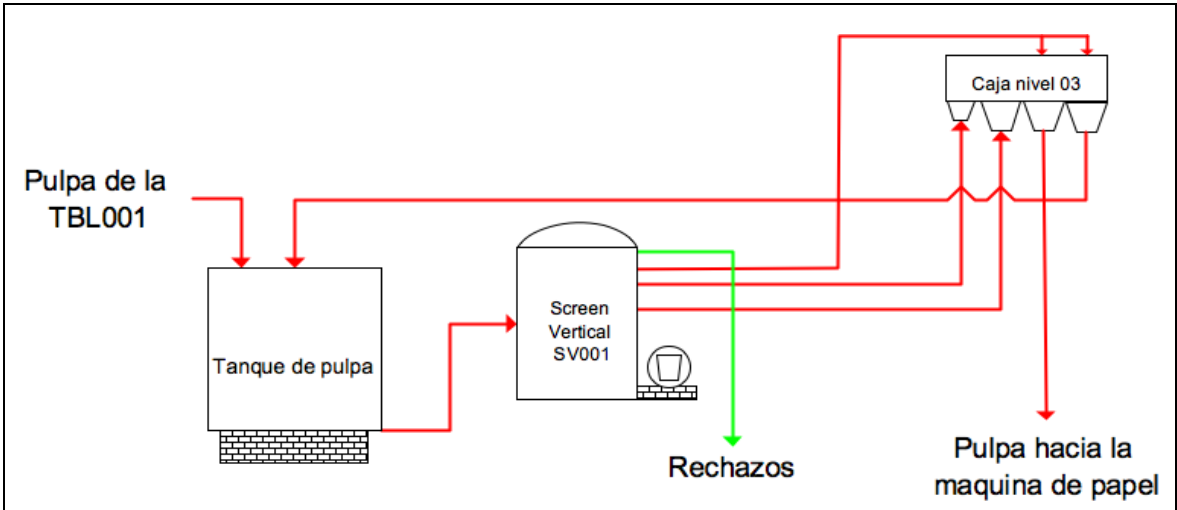
Figura 19. **Blanqueamiento oxidativo**



Fuente: El Autor

ANEXO 8. Esquema etapa final de limpieza

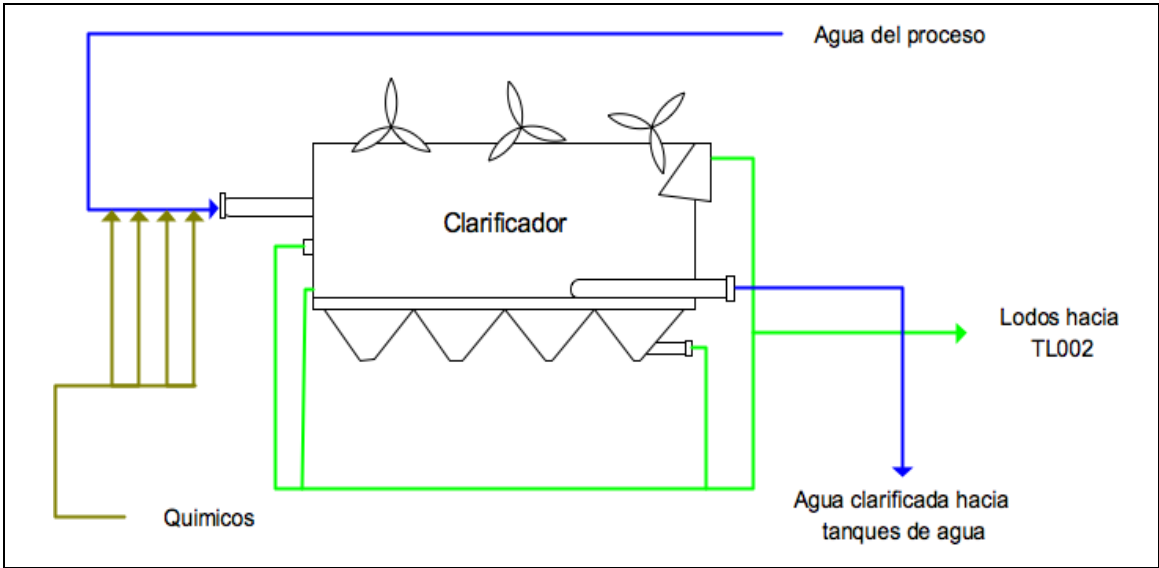
Figura 20 Limpieza de finos y gomas



Fuente: El Autor

ANEXO 9. Esquema etapa de clarificación

Figura 21. Tratamiento clarificación de agua



Fuente: El Autor

## ANEXO 10. Procedimiento para chequeo de consistencia

### **CONSISTENCIA**

#### **2.3 CONTENIDO**

2.3.1 Se toma un molde de una circunferencia de 15 cm de diámetro.

2.3.2 Sobre este molde se coloca una hoja de papel de filtro cualitativo y se corta por el perímetro de éste con una cuchilla.

2.3.3 Se toma un beaker de 500 ml aproximadamente.

2.3.4 La persona encargada de realizar este chequeo se debe dirigir a la válvula toma muestra localizada en el equipo al que se le debe realizar la medición de consistencia.

2.3.5 Se abre la válvula toma muestra, se lava el recipiente 1 o 2 veces con la pasta que se va a analizar y se llena.

2.3.6 Se cierra la válvula toma muestras y se lleva el recipiente al laboratorio, donde se encuentran los embudos de vacío para medir la consistencia.

2.3.7 Se pesa el papel de filtro cualitativo y se anota su peso.

2.3.8 Se coloca el papel de filtro dentro del embudo para consistencia y esta se humedece un poco con agua de acueducto.

2.3.9 Se prende el equipo de vacío para extraer el agua.

2.3.10 Se llena el recipiente aforado a 100 cc a ras y se llena con la muestra seleccionada.

2.3.11 Se depositan los 100 cc de la muestra en el embudo que contiene el papel de filtro, cerciorándose de que este completamente limpio sin residuos de otras mediciones y se espera a que el agua sea extraída por succión.

2.3.12 Se saca el papel de filtro con la muestra del embudo y se lleva al horno a una temperatura de  $135 \pm 5$  °C por un período de 10 minutos para eliminar el agua sobrante.

2.3.13 Se saca el papel de filtro del horno y se deja enfriar unos segundos.

2.3.14 Se calcula el valor de consistencia así:

*Consistencia =Peso Final - Peso Inicial*

\*\* Si la muestra es muy espesa se toman 100 g y estos se llevan a 1000 ml, en una probeta graduada para tal fin y el resultado se multiplica por 10, ya que la muestra fue diluida 10 veces. Si se toman 200 g y se llevan a 1000 ml se multiplica por 5, ya que la muestra fue diluida 5 veces.

2.3.15 Este resultado se debe anotar en la hoja de reporte de “**Control de perfiles y de variables**” código [FGC-125](#) para el chequeo en planta.

2.3.16 Se debe comparar este valor con el estándar según el tipo de producto. Ver Hoja de Producto según la referencia del producto. Si este valor está por fuera de especificaciones el [Inspector de Calidad](#) avisa al [Supervisor Molinos](#) y al **Operario de la Planta Destintado** para aplicar los correctivos necesarios.

## **2.4 EQUIPOS**

### **2.4.1 LABORATORIO HÚMEDO MP3 Y MP4**

Horno Memmert, 220 °C.

Medidor de consistencia

### **2.4.2 LABORATORIO HÚMEDO PPP4**

Horno Memmert, 220 °C.

## ANEXO 11. Procedimiento para chequeo de “freeness”

### FREENESS

#### **2.2.1 DETERMINACIÓN DEL FREENESS EN SOLUCIONES ESPESAS**

2.2.2 Se determina la consistencia de la solución (muestra), según el “**Chequeo de consistencia**”, código [MAGC-32](#)

2.2.3 Una vez se conoce el valor de consistencia se realiza una regla de tres, como en el ejemplo que se describe a continuación:

Ejemplo: Si la consistencia que se halló es de 2.85 g en 500 cc, tenemos

Si 2.85 g \_\_\_\_\_ están en 500 cc

Para 3.0 g \_\_\_\_\_ X

Donde x es la cantidad necesaria de muestra a tomar de la pasta diluida.

2.2.4 Una vez se conoce esta cantidad, se toma en una probeta de 1000 cc y se completa el volumen con agua de acueducto.

2.2.5 Se agita la muestra para homogenizar la solución y esta mezcla es la que se deposita en el medidor de freeness.

2.2.6 Se cierra la tapa superior del medidor de freeness colocando la perilla hacia arriba.

2.2.7 Se coloca la probeta de 1000 cc en la parte inferior del medidor de freeness, en el orificio oblicuo y se recoge el agua que sale.

2.2.8 Se mide el volumen de agua que se recoge en la probeta, leyendo en la escala que esta trae.

2.2.9 Este valor es el freeness de la muestra.

2.2.10 Este resultado se debe anotar en la hoja de reporte de “**Control de perfiles y de variables**” código [FGC-125](#) para el chequeo que se realiza en planta.

2.2.11 Este dato se utiliza para llevar un histórico del comportamiento de esta variable.

## **2.3 DETERMINACIÓN DEL FREENESS EN SOLUCIONES DILUIDAS**

Para tomar Freeness a soluciones alícuotas o muy diluidas como muestras de cabeza, bandejas, etc., se aplica la formula así:

2.3.1 Se determina la consistencia de la solución (muestra)

2.3.2 Una vez se conoce el valor de consistencia se realiza una regla de tres, como en el ejemplo que se describe a continuación:

Ejemplo: Si la consistencia que se halló es de 0.40 g en 100 cc, tenemos

$$\begin{array}{r} 100 \text{ _____ } 0.40 \\ X \text{ _____ } 3.0 \end{array}$$

Donde x es la cantidad necesaria de muestra a tomar de la pasta diluida.

O sea que se deben tomar 750 cc de la muestra, llevarlos a 1000cc y proceder a tomar el Freeness, como en el numeral 2.2 de este documento.

2.3.3 Cuando la consistencia es inferior a 0.30 g, se toman 200 cc de la muestra patrón y se llevan a 1000cc (probeta). Luego esta solución se lleva al medidor de Freeness y el volumen que da, se divide por 2.

2.3.4 A partir de aquí el proceso se realiza igual que el numeral 3.1.3 de este documento.

## **2.4 EQUIPOS**

### **2.4.1 LABORATORIO HÚMEDO MP3 Y MP4**

Medidor de Freeness Toyosubi N° 64139-4. 1000c.c.

## ANEXO 12. Procedimiento para clasificación de fibras

### **CLASIFICACION DE FIBRAS**

#### **1. PREPARACION DE LA MUESTRA**

1.1 Preparar una muestra 1L de pasta en agua con consistencia de 1%,

#### **2. PROCEDIMIENTO**

2.1 Lavar las mallas (Nº30, Nº50, Nº100 y Nº140)

2.2 Iniciar el flujo de agua a 11L/min. dejar rebosar el cada uno de los tanques

2.3 Al cabo de 2 minutos de estabilizado el flujo, depositar la muestra en el tanque superior

2.4 La clasificación se realiza por 20 min.

2.5 A los 20 minutos, suspender el flujo de agua y esperar que termine el rebose.

2.6 Levantar los tapones, y drenar el agua hasta desocupar los tanques.

2.7 Filtrar la fibra retenida en cada una de las mallas.

2.8 llevar al desecador y tomar el peso de cada papel de filtro.

#### **3. Cálculos**

$W_{1, 2, 3, 4}$ : Peso retenido por cada uno de los filtros

W: Peso total ingresado al clasificador 10gr.

$W_5$  : Peso de los finos en el sistema

#### **4. EQUIPO**

Clasificador de fibras Bauer-McNett

## ANEXO 13. Procedimiento para chequeo de blancura

### **BLANCURA**

#### **2.3 PREPARACION DE LA MUESTRA**

2.3.1 Se debe analizar el espécimen de tal manera que se forme una capa gruesa con las hojas de la muestra, hasta asegurar que la lectura del espectrofotometro DataColor 400 no varíe significativamente por el efecto de transparencia. La primera hoja servirá como cubierta de protección.

2.3.2 La muestra debe estar libre de marcas, agua ó cualquier otra impureza que pueda afectar las medidas de reflectancia. Sobre la primera hoja de la capa formada no se deben realizar lecturas.

2.3.3 Debe evitarse tocar las áreas de ensayo directamente con los dedos, la contaminación por agentes extraños, la exposición directa a la luz, temperaturas elevadas o tiempos prolongados de almacenamiento.

2.3.4 Se pueden analizar las propiedades ópticas del papel de molinos, producto terminado, y hojas de pasta.

#### **2.4 PROCEDIMIENTO**

2.4.1 Lectura Manual en el Datacolor (DataColor 400)

2.4.2 Remítase al método [MAGC-73](#) numeral 2.5.1

2.4.3 Después de ser medida la muestra de papel oprima el botón **(DAT)**, hasta que aparezca en pantalla el menú correspondiente a **R457 BRIGHTNESS**.

2.4.4 Lectura en el Datacolor (DataColor 400) desde una computadora (PC).

2.4.5 Medición del estándar.

2.4.6 Remítase al método [MAGC-73](#), numeral 2.5.2.1

#### **2.5 MEDICIÓN DE LA MUESTRA.**

2.5.1 Seleccione el estándar que debe estar previamente medido, con el cual desea comparar la muestra.

2.5.2 Remítase al método [MAGC-73](#)

2.5.3 Para observar el análisis de color haga clic en **Formularios**, seleccione **Formularios de Pantalla**, y escoja **Brillantez TAPPI 525**.

A continuación debe aparecer en pantalla el análisis de blancura ISO (R457).

## ANEXO 14. Procedimiento para chequeo de puntos negros

### PUNTOS NEGROS

#### **2.2. EQUIPO**

2.2.1. Escáner EPSON. Expression 1680.

2.2.2. Software: Speck Check 2

#### **2.3. PREPARACION DE LA MUESTRA**

2.3.1. Molinos

2.3.1.1. Una vez el rollo sale del molino, corte con una cuchilla una muestra de una hoja del ancho del rollo por 50 cm de longitud.

"2.3.1.2. Doble la muestra de papel tomada en mitades sucesivas, en sentido transversal hasta obtener 8 hojas."

"2.3.1.3. Sobre una mesa coloque la muestra de papel doblada y sobre ella el molde patrón de 17 x 36.8 cm y corte por el perímetro del molde."

2.3.2. Producto terminado

2.3.2.1. Tome la hoja de papel de tal manera que esta permita, cortar la muestra en un área mínima de muestra con un área mínima de

#### **2.4. PROCEDIMIENTO**

2.4.1. Ubique una hoja de 1/16 del grupo de 8 hojas de papel en el scanner con el lado suave contra la pantalla y contra el extremo superior, centrando la hoja transversalmente."

2.4.2. De un clic sobre la palabra **Measure** y permita que el scanner haga el conteo de puntos.

2.4.3. Si el área no aparece bien delimitada o hay formación de arrugas en la hoja de papel, haga clic sobre la palabra Results y elija la opción **Delete last measurement** (Borrar la última medición). "

El programa pregunta si usted está seguro de hacerlo, presione **Yes**.

2.4.4. Reubique la hoja y presione nuevamente **Measure**. La lectura se realiza en el equipo y aparece en pantalla el siguiente mensaje: "

"2.4.5. Si el área está bien delimitada, baje la hoja escaneada y coloque la siguiente y así sucesivamente hasta terminar."

2.4.6. El número de hojas escaneadas aparece en la parte inferior de la pantalla.

Se realizan 8 mediciones. **No Measurements**.

"2.4.7. \*-Una vez terminado el grupo de hojas de la muestra imprima los resultados, haga clic sobre **Print** . Antes de imprimir verifique que el Data **Swicht** esté en la posición **A**, que es la que corresponde a la unidad en la que usted está trabajando. Aparecerá una hoja en la que usted ingresará los datos de la muestra. Ubíquese con el cursor en cada una de las franjas blancas y escriba los datos pedidos."

"2.4.8. No borre la información ingresada hasta que la impresora no termine de trabajar, deben salir dos hojas, en una aparece una tabla con los resultados y en la otra un gráfico de distribución del conteo. Si sólo aparece una vuelva a dar la orden de impresión."

"2.4.9 Una vez tenga las dos hojas, presione la palabra **Results** y de la orden **Clear all** (Borrar todo). El programa preguntará si usted está seguro de ello. Presione **Yes**."

"2.4.10. Ahora el equipo queda listo para realizar un nuevo conteo de puntos de suciedad de otra muestra. Proceda de igual forma. "

## ANEXO 15. Procedimiento para chequeo de cenizas

### CENIZAS

#### **2.3.EQUIPOS Y MATERIALES**

Balanza

Incinerador

Beaker

#### **2.4.PROCEDIMIENTO**

2.4.1.Colocar el incinerador en posición horizontal o levemente inclinado hacia arriba.

2.4.2.Encender el equipo Regmed (Incinerador) y dejar calentar por 45 minutos, hasta alcanzar una temperatura de 900°C a 1000°C.

2.4.3.Pesar de 1 g a 1.5 g de la muestra (PM).

2.4.4.Colocar la muestra dentro del incinerador por 15 minutos con ayuda de unas pinzas metálicas y dejar la tapa de selle posterior del incinerador entre abierta.

2.4.5.Pesar un beaker limpio y seco(PB).

2.4.6.Colocar las cenizas dentro del beaker, removiendo los residuos que queden dentro del incinerador con la varilla diseñada para retirar las cenizas y pesar el beaker con las cenizas (P) .

2.4.7.Realizar los cálculos para obtener el porcentaje de cenizas.

#### **2.5. CÁLCULOS**

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P ( B + C) - PB}{PM} \times 100$$

Donde:

P(B+C): Peso del beaker más las cenizas

PB: Peso del beaker

PM: Peso de la muestra