

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE FIBRA EN LA
PRODUCCIÓN DE PAPEL SANITARIO DE KIMBERLY-CLARK
VENEZUELA**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Matera G., Maholi G.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE FIBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL SANITARIO DE KIMBERLY-CLARK VENEZUELA

Tutor Académico: Prof. Johnny Vásquez

Tutor Industrial: Ing. Carlos Peña

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Matera G., Maholi G.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2012

Caracas, junio de 2012

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Maholi Matera, titulado:

“EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE FIBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL SANITARIO DE KIMBERLY-CLARK VENEZUELA”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



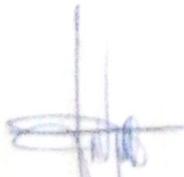
Prof. Johliny Casanova

Jurado



Prof. Francisco Yáñez

Jurado



Prof. Johnny Vásquez

Tutor Académico



Ing. Carlos Peña

Tutor Industrial

DEDICATORIA

*Esta tesis representa la culminación de una gran etapa
de mi vida, por eso se la dedicó:*

*A DIOS, que siempre me acompaña y me da las fuerzas necesarias
para no desmayar en los momentos más difíciles.*

*A mis PADRES, quienes siempre han tenido el sueño de verme como
una gran profesional y me han apoyado incondicionalmente,*

*A ALVARO BASTIDAS, por su compañía y comprensión, ayudándome
en todo momento y brindándome ánimos siempre que lo necesité.*

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por guiarme, iluminarme y protegerme durante mi camino, siendo mi fuente infinita de luz y sabiduría.

A la ilustre UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, la casa que vence las sombras, por la formación académica que me ha brindado y también por todas las lecciones de vida y momentos inolvidables que viví en ella, ha sido un placer pertenecer a la familia UC Vista.

A mis PADRES: María Elena Galipolly y Mao Matera por su gran apoyo, amor incondicional, disciplina, dedicación e infinitos consejos aprendí a seguir adelante y luchar por mis metas.

A mis HERMANAS: Mariel, Marielvi y Marielys, por sus sacrificios, su gran apoyo y comprensión en todo momento.

A mis SOBRINOS: Ángel David y Cesar Manuel, por ser una razón más de fortaleza y esperanza.

A mi novio ALVARO BASTIDAS por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento, su gran comprensión e infinito corazón.

A mis familiares por ser ejemplo a seguir muy especialmente deseo expresar mi más profundo afecto y aprecio A MIS TIOS: Alvaro, Enrique, Yakelin, Milagro e Iraima.

A los DOCENTES de la Universidad Central de Venezuela por todos sus conocimientos impartidos y por formarnos como profesionales éticos. Muy especialmente al Prof. Kum, Trino, Jaime y Luis a quienes le expreso mis respetos y aprecio.

A mi tutor académico JHONNY VÁZQUEZ, por toda su paciencia, orientación y apoyo, al que le expreso mis respetos y aprecio. A usted Prof. ¡Muchas Gracias!.

A mi tutor industrial CARLOS PEÑA por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo, conocimiento, orientación y dedicación para realizar del mismo.

A la empresa KIMBERLY CLARK VENEZUELA, por facilitarme el uso de sus instalaciones para desarrollar algunas de las etapas de mi investigación, relacionadas con el estudio de las pérdidas del proceso de reciclado.

A Leudith, Iraida, Kisbeth, Nuris y Sra. Beatriz por su gran ayuda durante mi estadía en la universidad. A quienes les expreso mi más profundo afecto y aprecio por su apoyo y sus palabras de aliento, por su amistad, atención y colaboración prestada.

*A mis MARAVILLOSOS AMIGOS **Airam Flores, Marielci Herrera, Luisana Gómez, Emily Rico, Ingemar Quintero, Geovanny Silva, Cinthia Hernández, Nayleth Aguirre, Cesar Yopez, Arturo Rivero Lessa Heano**, por darme la oportunidad de compartir con ustedes durante toda mi estadía en la universidad, los quiero y aprecio mucho.*

Y a todas aquellas personas que me apoyaron y que con sus palabras de aliento me incentivaron a seguir adelante.

Matera G., Maholi G.

EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE FIBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL SANITARIO DE KIMBERLY-CLARK VENEZUELA

**Tutor Académico: Prof. Johnny Vásquez. Tutor Industrial: Ing. Carlos Peña.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
Año 2012, N° pág. (130).**

Palabras claves: Pérdidas de fibra, reciclado de papel, fibra útil y factibilidad.

Resumen. En el presente trabajo de investigación se evaluaron las pérdidas de fibras en el proceso de reciclado de papel de Kimberly Clark, con el fin de proponer alternativas para disminuir el porcentaje de pérdidas global. Para cumplir con este objetivo, se analizó la operación de los equipos involucrados en el proceso mediante el seguimiento de las variables que afectan su funcionamiento, para lo cual se obtuvo que los equipos mostraran variables fuera de los límites establecidos. Se evaluó la calidad de la materia prima del tipo fibra nacional blanco impreso, para la cual se estudiaron los parámetros: contenido de humedad, contenido de plásticos, contenido de tapas de cartón y de material difícil de desfibrar, lo que permitió obtener que el alto contenido de humedad representa el 66% de la desviación de pérdidas de la materia prima y que a su vez contribuye en un 6% a las pérdidas globales. Se realizó el balance de masa del proceso tomando como volumen de control a la planta de Reciclado y la Máquina de Papel, lo que permitió conocer que las pérdidas globales por balance corresponden a 28,87ton/día, que viene representado por un porcentaje de pérdidas igual a 33,22%. Se estudiaron también las pérdidas de fibra generada en cada equipo, considerando únicamente aquellos cuyos rechazos no regresan al proceso. Para estos se determinaron los parámetros: flujo volumétrico, consistencia, cenizas y finos. Esto permitió establecer que los limpiadores de baja densidad son los que tienen mayor porcentaje de pérdidas de fibra útil, seguido de los limpiadores reversos. Se comparó la fibra útil obtenida en los rechazos de los equipos del proceso con la encontrada en el lodo proveniente del Clarificador Primario obteniéndose una diferencia de 1,43 ton/día, debida a los derrames de pasta por reboses de tanque y por taponamiento de los equipos. Se analizaron las causas de las pérdidas de fibra mediante diagramas de causa-efecto y Pareto, resultando ser el rechazo de los limpiadores de baja densidad y el derrame de pasta sus causas principales. Se generaron alternativas que disminuyeron el porcentaje de pérdidas, las cuales fueron seleccionadas a través de una matriz que permitieron escoger las que más se ajustaran a las exigencias de la empresa. Posteriormente, se realizó un estudio de factibilidad económica con el fin de seleccionar la alternativa más rentable, resultando ser la implementación de instrumentación faltante en planta, la cual es necesaria para el manejo y control del proceso. El estudio realizado permitió disminuir de forma satisfactoria seis puntos del porcentaje de pérdidas global, reduciendo considerables costos por pérdida de fibra y aumentando la productividad de la máquina de papel.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLA.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO I.....	18
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
ANTECEDENTES	20
OBJETIVOS.....	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos.....	24
CAPÍTULO II	25
MARCO TEÓRICO	25
PAPEL.....	25
Papel tissue	25
MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DEL PAPEL ...	26
La fibra virgen	26
Las fibras secundarias	27
Desperdicio de proceso (merma).....	30
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL.....	30
Desfibrado y Limpieza de Alta Consistencia	31
Depuración Gruesa	32
Depuración Fina	34
Lavado y blanqueo	36
MÁQUINA DE PAPEL	40
HERRAMIENTAS EMPLEADAS PARA ANALISIS DE PROCESOS	42
Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa).....	42
Diagrama de Pareto	42

Matrices de Evaluación y Selección.....	43
MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	43
Método del valor actual o presente de la inversión total (VA).	43
Método del Valor Futuro (VF)	44
Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	45
CAPÍTULO III	46
MARCO METODOLÓGICO	46
ENTENDIMIENTO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL A PARTIR DE FIBRA SECUNDARIA EN LA PLANTA DE RECICLADO DE PAPEL.....	46
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA IDENTIFICAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS.....	47
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA FIBRA SECUNDARIA DEL TIPO ARCHIVO NACIONAL EN CUANTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD, A FIN DE DETERMINAR SU CONTRIBUCIÓN A LA GENERACIÓN DE PÉRDIDAS EN EL PROCESO	50
DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE FIBRA QUE SE PRODUCEN EN LOS EQUIPOS QUE GENERAN DESPERDICIOS EN EL PROCESO.....	53
ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE GENERAN LAS PÉRDIDAS DE FIBRA EN TODAS LAS ETAPAS DEL PROCESO	64
GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A FIN DE OBTENER PROPUESTAS QUE MINIMICEN LAS PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE RECICLADO	66
SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN MÁS APROPIADAS	66
DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS SOLUCIÓN MÁS APROPIADAS.....	67
CAPÍTULO IV	70
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	70
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA IDENTIFICAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS.....	70

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE FIBRA QUE SE PRODUCEN EN LOS EQUIPOS QUE GENERAN DESPERDICIOS EN EL PROCESO.....	84
Balance de Masa Global.....	84
Determinación de las pérdidas de fibra de los equipos	86
ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE GENERAN LAS PÉRDIDAS DE FIBRA EN TODAS LAS ETAPAS DEL PROCESO	94
GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A FIN DE OBTENER PROPUESTAS QUE MINIMICEN LAS PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE RECICLADO	99
SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN MÁS APROPIADAS	10
1	
DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS SOLUCIÓN MÁS APROPIADAS.....	106
CAPÍTULO V	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
CONCLUSIONES.....	110
RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
APÉNDICE.....	117
CÁLCULOS TÍPICOS.....	117
ANEXOS	120
Anexo N° 1. Laminas de pulpa virgen.....	120
Anexo N° 2. Diferentes tipos de fibra reciclada.	120
Anexo N° 3. Desperdicio de proceso (Merma).	121
Anexo N° 4. Pulper y sus partes. ^(Kimberly- Clark, 2004)	121
Anexo N° 5. Diagrama esquemático del Contaminex. ^(Kimberly- Clark, 2004)	122
Anexo N° 6. Tambor Clasificador.	123
Anexo N° 7. Spectro-Screen 13.....	123
Anexo N° 8. Limpiador cónico centrífugo y sus partes.....	124

Anexo N° 9. Estructura de un depurador presurizado.	125
Anexo N° 10. Cestas tamiz de Depurador Presurizado. (Rivera, 2003).	125
Anexo N° 11. Limpiador centrifugo de baja densidad.	126
Anexo N° 12. Limpiadores cónicos reversos.	127
Anexo N° 13. Partes del Lavador.	128
Anexo N° 14. Máquina papelera empleada en la producción de papel en Kimberly- Clark.	129
Anexo N° 15. Diagrama Causa- efecto. (Torres, 1992)	130
Anexo N° 16. Diagrama de Pareto. (Torres, 1992)	130

ÍNDICE DE TABLA

Tabla N° 1. Formato empleado para realización de entrevistas a operadores de la planta de reciclado.....	31
Tabla N° 2. Formato para el registro de las condiciones de operación de los equipos.....	33
Tabla N° 3. Formato para la determinación del contenido de humedad de las pacas de archivo nacional.....	35
Tabla N° 4. Formato empleado en la determinación de las pérdidas de fibra en los equipos.....	47
Tabla N° 5. Matriz de Selección de las alternativas de solución propuestas.....	51
Tabla N° 6. Masa promedio de rechazo en los contenedores de la etapa desfibrado con su respectivo porcentaje de humedad promedio.....	62
Tabla N° 7. Contribución a las pérdidas totales por elementos encontrado en el material archivo nacional indeseables al proceso.....	68
Tabla N° 8. Consumo, producción y pérdidas de fibra obtenida por balance de masa y el reportado por el Departamento de Producción.....	69
Tabla N° 9. Datos necesarios para el estudio de pérdida de fibra útil en los equipos con rechazo hacia el efluente de la planta.....	70
Tabla N° 10. Determinación de las pérdidas de fibra y de los costos en cada uno de los equipos de rechazo de la planta de Reciclado.....	71
Tabla N° 11. Determinación de la pérdida de fibra útil y de los costos en cada uno de los equipos de rechazo de la planta de Reciclado.....	72
Tabla N° 12. Determinación de las alternativas de la matriz de selección.....	86
Tabla N° 13. Instrumentación necesaria para el seguimiento y control de las variables del proceso de Reciclado.....	89
Tabla N° 14. Costos asociados a los equipos por unidad y totales de la alternativa de solución N° 1.....	91

Tabla N° 15. Costos asociados a los instrumentos por unidad y totales de la alternativa de solución N° 2.....	91
Tabla N° 16. Costos operacionales debido a las pérdidas de fibra actuales a lo largo del horizonte económico.....	92
Tabla N° 17. Ahorro en los costos operacionales a lo largo del horizonte económico implementando la alternativa de solución N° 1.....	92
Tabla N° 18. Ahorro en los costos operacionales a lo largo del horizonte económico implementando la alternativa de solución N° 2.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Bobina de papel sanitario.....	10
Figura N° 2. Diagrama de bloque de la primera etapa (desfibrado y limpieza de alta consistencia) y segunda etapa (depuración gruesa) del proceso de reciclado de papel.....	17
Figura N° 3. Diagrama de bloque de la etapa de depuración fina del proceso de reciclado de papel.....	20
Figura N° 4. Diagrama de bloque de la etapas de lavado y blanqueo de la pasta en el proceso de reciclado de papel.....	24
Figura N° 5. Contenedores para depósitos de los desechos pesados provenientes del material fibra nacional.....	36
Figura N° 6. Corrientes de entrada y salida para el balance de masa global de la planta.	38
Figura N° 7. Variabilidad del diferencial de presión de equipos de la planta de Reciclado.....	55
Figura N° 8. Variabilidad de consistencia de entrada de equipos con rechazo final de planta de Reciclado.....	58
Figura N° 9. Impacto del consumo de Fibra Nacional Archivo Blanco Impreso en el porcentaje de Desperdicio.....	61
Figura N° 10. Contribución de los elementos asociados a la materia prima Archivo Blanco Impreso en la generación de pérdidas.....	63
Figura N° 11. Variabilidad del porcentaje de humedad de las pacas de fibra secundaria de los principales proveedores de fibra nacional de Archivo Blanco Impreso.....	66
Figura N° 12. Comparación del porcentaje promedio de humedad de pacas de archivo nacional con respecto al porcentaje de pérdidas de la Planta de Reciclado registradas durante los meses de estudio	67

Figura N° 13. Pérdida de Fibra útil en los equipos que conforman el proceso de reciclado de la planta Kimberly-Clark.....	73
Figura N° 14. Porcentaje de Pérdida de Fibra útil en los equipos que conforman el proceso de Reciclado.....	74
Figura N° 15. Costo de la Pérdida de Fibra en los equipos que conforman el proceso de Reciclado.....	75
Figura N° 16. Costos asociados a la pérdida de fibra útil en las corrientes de rechazo hacia el efluente de la planta de Reciclado.....	75
Figura N° 17. Contribución de cada área del proceso al porcentaje de pérdidas global.....	77
Figura N° 18. Diagrama Causa-Efecto de las variables del proceso que influyen en la pérdida de fibra en la planta de Reciclado.....	79
Figura N° 19. . Diagrama de Pareto de la contribución de cada causa al porcentaje de pérdidas adicional.....	82
Figura N°20. Laminas de pulpa virgen.....	103
Figura N°21. Diferentes tipos Fibra reciclada.....	103
Figura N°22. Desperdicio de proceso (Merma).....	104
Figura N°23. Pulper y sus partes.....	104
Figura N°24. (A) Diagrama esquemático del Contaminex. (B) Contaminex.....	105
Figura N°25. Tambor Clasificador.....	106
Figura N°26. Spectro-Screen 13.....	106
Figura N° 27. (A) funcionamiento del Limpiador cónico centrífugo (T2). (B) partes de Limpiador cónico centrífugo (T2).....	107
Figura N°28. (A) funcionamiento de depurador presurizado.(B) partes de depurador presurizado.....	108
Figura N°29. Cestas tamiz de Depurador Presurizado.....	109

Figura N°30. (A) Componentes del Limpiador centrífugo de baja densidad. (B) Sistema de batería de Limpiadores centrífugo de baja densidad.....	110
Figura N° 31. (A) Sistema de batería de Limpiadores cónicos reversos, vista lateral (B) Sistema de batería de Limpiadores cónicos reversos, vista frontal.....	111
Figura N° 32. (A) Partes del Lavador. (B) Lavador.....	112
Figura N°33. (A) Máquina Papelera (Mp4), vista frontal. (B) Máquina Papelera (Mp4),vista lateral.....	113
Figura N° 34. Diagrama Causa- efecto.....	114
Figura N°35. Diagrama de Pareto.....	114

INTRODUCCIÓN

La empresa Kimberly Clark Venezuela C.A., filial de la corporación multinacional norteamericana Kimberly-Clark, se dedica a la manufactura del papel, con una tecnología desarrollada para producir una amplia gama de productos de consumo masivo para el hogar e instituciones.

El papel reciclado y la pulpa virgen constituyen la materia prima empleada en la manufactura de papel necesaria para producir papel sanitario, servilletas y toallas absorbentes de textura suave y con grabados para resaltar la calidad del producto.

La planta de reciclado representa el corazón de las plantas productoras de papel. En ella se encuentran las etapas de preparación de pasta (desfibrado de las pacas de materia prima hasta formar una suspensión de fibra en agua), limpieza de materiales indeseables en la pasta (depuración gruesa y fina), el lavado de la pasta y el blanqueo de la fibra con peróxido de hidrogeno e hidrosulfito.

Durante el proceso de Reciclado, se generan muchas pérdidas que no son atribuidas al proceso sino a otras causas como la calidad de la materia prima, eficiencia operativa de los equipos, mal manejo y control de las variables de proceso, falta de estandarización del arranque y parada de la planta, entre otras. Esto aumenta el porcentaje de pérdidas total de la planta, generando grandes pérdidas monetarias y la disminución de la productividad de la misma.

En la actualidad, la empresa busca aumentar su mercado a corto y mediano plazo en cada una de las líneas de sus productos, garantizando una excelente calidad y un precio competitivo en cada uno de ellos. Para de lograr lo antes mencionado, se contempla la mejora continua en los procesos y en la productividad y las inversiones de capital para reemplazar o repotenciar equipos.

En el presente trabajo se realizó la evaluación de las pérdidas de fibra del proceso de reciclado, con el fin de disminuir el porcentaje de pérdidas total mediante la implementación de alternativas rentables para la empresa que solucionen la problemática existente.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo son expuestos los fundamentos en los que se basa el proyecto, los mismos contemplan el planteamiento del problema, la descripción de los antecedentes y los objetivos tanto generales como específicos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Kimberly-Clark Venezuela, C.A., ubicada en la Zona Industrial La Hamaca en el Estado Aragua es la filial de la corporación multinacional norteamericana Kimberly-Clark, empresa de consumo masivo que fabrica y comercializa pañales, toallas sanitarias, papel higiénico, papeles finos y cuadernos, así como también productos para la industria, instituciones y para el cuidado de la salud. En Venezuela, la compañía es conocida por las marcas Kleenex, Scott, Huggies, Kimbies, Pull-Ups, Goodnites, Little Swimmers, Kotex, Nossotras, Pantiss, Demiss, Papeles Finos Kimberly Prestige y Scribe.

La empresa Kimberly Clark Venezuela C.A, está estructurada por tres áreas de producción: Manufactura del papel sanitario, Conversión del papel sanitario y Máquina de Pañales.

El proceso de elaboración de papel sanitario se puede agrupar en dos grandes etapas, como lo son la Planta de Reciclado (RF) y la Máquina de Papel 4(MP4).

La materia prima utilizada en la producción de papel es la fibra secundaria (papel reciclado) constituida por materiales de oficina, revistas, libros, periódicos, entre otros. Los cuales provienen de recicladores nacionales o es importada. La fibra secundaria contiene impurezas y materiales indeseables para el proceso productivo, por lo que se hace indispensable la aplicación de etapas de limpieza que eliminen los mismos. Entre los materiales indeseables que pueden presentarse en las pacas de materia prima se encuentran: plásticos, grapas, ganchos sujetadores de papel, telas, pegamentos, piedras, tintas, anime, entre otros.

Durante cada etapa del proceso de reciclado se producen significativas pérdidas de fibras y resistencia, debido a que en cada ciclo de desintegración y secado, las fibras se vuelven menos flexibles y menos permeables al agua (menor hidratación), por lo que no se configuran bien como las fibras vírgenes.

Estas pérdidas están implícitas en las descargas y/o rechazos de los equipos del proceso, que componen el flujo hacia la planta de tratamiento de efluentes, donde se recolectan y se tratan como lodos, cuyo destino final está en vertederos autorizados.

La materia prima nacional, además de contener materiales indeseables para el proceso, presentan alto contenido de humedad, disminuyendo la calidad del material por problemas asociadas a la humedad y aumentando el desperdicio por materia prima.

En la actualidad, el proceso de producción de papel sanitario a través de las etapas que lo conforman evidencia un porcentaje de desperdicio o pérdidas promedio cercanas al 36 %, con respecto a la materia prima alimentada superando el establecido por la compañía. Entre el desperdicio que se genera del proceso, se encuentra la indeseable pérdida de fibra útil (materia prima) que se podría emplear para la fabricación de productos. Cabe destacar que cada tonelada de fibra que se pierde tiene un valor asociado de 10.000US dólares, incrementando los costos de producción.

Para reducir el porcentaje de pérdidas es necesario determinar las pérdidas de fibra del proceso productivo, esto requiere de un balance de masa, que se obtiene después de observar, medir, registrar datos y realizar el análisis de muestras de rechazos del proceso en forma metódica y exhaustiva, situación que no es llevada a cabo, debido a que la planta no cuenta con un proceso automatizado y se puede decir que el 80% de la misma opera manualmente y no siempre se cumple con los procedimientos estandarizados de operación. Además, carece de equipos de medición de presión, flujos y consistencia, lo que hace difícil llevar un control de las pérdidas de fibra reales del proceso. Esta situación afecta la producción diaria de la máquina de papel ya que dadas las características antes mencionadas, se ve disminuida la

capacidad de producción y surge la necesidad de buscar las causas de la problemática existente, para así aprovechar de una mejor manera el proceso de reciclado de papel.

Por medio de esta investigación se espera que la empresa disponga de una evaluación que permita conocer y diferenciar las pérdidas actuales de fibra con la finalidad de generar soluciones técnicamente factibles que disminuyan el porcentaje de pérdidas de la planta.

ANTECEDENTES

Los trabajos que se muestran a continuación son el producto de las investigaciones realizadas, los mismos de acuerdo a su naturaleza tienen relación directa e indirecta con el presente estudio.

En el año 1998, Blanco V. y Pelayo M. en el Trabajo de Grado titulado: *“Balance de materia y determinación de las causas potenciales pérdidas de fibra y agua de la línea de producción de una planta papeleras”*, se plantearon como objetivo general realizar el balance de materia de las máquinas papeleras siete, ocho y planta de reciclado de la División Higiénicos de Manpa. Además, de determinar las causas potenciales de pérdida de fibra y agua en las tres líneas de producción. Para lograr esto, realizaron un análisis a dos máquinas papeleras las cuales emplean como materia prima fibra virgen y reciclada para la fabricación de papel sanitario de alta calidad y la planta de reciclado, cuya etapa de lavado la conformaban dos celdas de flotación en las cuales era separada la tinta de las fibras. Finalmente, obtuvieron como resultado que las pérdidas en la máquina ocho eran de 3,6% de las toneladas de papel producido, siendo su principal causa el rebose de tanques de agua de proceso; para la máquina papeleras siete, las pérdidas de fibra alcanzadas eran 3,8% de las toneladas de papel producido, causadas por rebose de tanque de agua de proceso y el rechazo del limpiador centrifugo cuaternario y por último, en la planta de reciclado la pérdida de fibra sobrepasa el 25%, con respecto a las toneladas de pasta producidas, siendo la principal fuente de pérdidas los rechazos de la celda de flotación.

En el año 1999, De Ponte S. y Hernández A. en el Trabajo de Grado, titulado: *“Evaluación de las pérdidas de fibra útil en una empresa recicladora de*

papel”, estudiaron las pérdidas de fibra útil que se generaban en el proceso productivo de papel higiénico a partir de material reciclado, con el fin de generar una serie de alternativas de soluciones que minimicen dichas pérdidas. Realizaron el balance de masa en los equipos cuyos rechazos van al drenaje y lo compararon con el balance global del proceso. Como resultado obtuvieron que las pérdidas globales y las de fibra útil en el proceso se deben principalmente al rebose de tanques, fugas de pasta y taponamiento de los equipos los cuales son descargados directamente al drenaje; dichas pérdidas se reflejaron como 7,73% de las pérdidas globales, lo cual representa una pérdida general de 5,93 kg/min. La segunda fuente de pérdida de fibra útil lo generaba el rechazo de las celdas de flotación, las cuales representan un promedio aproximado de 2 kg/min de pérdida de fibra útil. Como solución a las causas que generaban las pérdidas de fibra útil, recomendaron el cambio en la configuración de las cribas finas de la planta de reciclado, los cuales presentaban problemas frecuentes de taponamientos por no alcanzar la configuración óptima de operación de los equipos. De igual manera, recomendaron la instalación de un sistema de recuperación de fibra para el rechazo de las celdas de flotación antes de ser vertidos al drenaje.

En el año 2005, Carmen Jiménez presentó en el Trabajo de Grado titulado: *“Evaluación del proceso de producción de papel para minimizar pérdidas de fibra secundaria y consumo de agua en la Planta de Reciclado de Kimberly-Clark Venezuela”*, estudió las pérdidas de fibras de los equipos de rechazos y generó alternativas técnicamente factibles para la disminución de las mismas. Para lograr esto, realizó un análisis del proceso de producción; lo cual, permitió evaluar las condiciones de trabajo de los equipos y la comparación de las condiciones de funcionamiento con las establecidas en los manuales de operación, seguido de la cuantificación de las pérdidas de fibra en el proceso, además del análisis de sus principales causas, haciendo uso de diagramas de causa-efecto. Dicho análisis le permitió obtener como resultado que las pérdidas obtenidas en el proceso de producción discrepaban por exceso en un 2,3% con respecto a la reportadas por el Departamento de Producción que para el mes de noviembre del 2004 se ubicaban en

33,70%; mientras que las reportadas por el estudio eran 31,34%, arrojando grandes pérdidas monetarias. Para minimizar las pérdidas la autora propone la instalación de un sistema de control de nivel en el tanque de baja consistencia y por otro lado colocación de manómetros en los limpiadores de baja densidad y los limpiadores reversos. Luego realizó un estudio económico para determinar la rentabilidad de la propuesta seleccionada, la cual arrojó que la primera propuesta era la más factible proporcionándole rentabilidad a la empresa.

En el año 2005, Isaac, K. y Querales, P. en el Trabajo de Grado titulado: *“Evaluación del proceso de reciclaje de papel de la empresa Kimberly & Clark”*, se plantearon como objetivo principal evaluar el proceso de reciclado de papel, con el fin de proponer alternativas para la disminución del porcentaje de desperdicio de fibra útil. Para esto, emplearon una metodología que consistió en la identificación de cada una de las partes componentes del proceso y su influencia mediante la revisión de manuales técnicos, entrevistas a operarios y técnicos de proceso de la empresa. Por otra parte, realizaron el estudio detallado de cada uno de los equipos para determinar su contribución en la problemática; identificando la causa principal de pérdida de fibra, por medio de la aplicación de herramientas de análisis de problemas. Así mismo, realizaron el balance de masa global y por equipos para estudiar la contribución a la entrada o salida de fibra en cada corriente del sistema. De esta manera diagnosticaron las posibles causas que perturbaban el proceso, como prevenir dichas causas, con el fin de proponer posibles alternativas de solución a la problemática, basándose en la técnica buenas prácticas de manufactura (BPM). Entre los resultados que obtuvieron se encontraron que, el banco de los limpiadores de baja densidad era el equipo que generaba mayor porcentaje de pérdidas de fibra útil en el proceso. El valor de las pérdidas determinadas fue de 35,05% del cual 31,81% se debía a los equipos que integran el proceso de fabricación de papel, mientras el 3,2 % restante era consecuencia de los reboses y taponamientos de los equipos, siendo estas últimas la principal causa de las pérdidas de fibra, seguida del rechazo del agua de lavador # 3 y por último, según el estudio económico la adición de lazos de control

en el proceso de fabricación de papel fue la alternativa escogida para la solución de la problemática encontrada con respecto a la pérdida de fibra.

En el año 2009, Christa González presentó en el Trabajo de Grado titulado: *“Propuesta de mejoras en el proceso de desfibrado de la materia prima del Pulper #4 de la empresa Kimberly-Clark Venezuela, C.A ubicada en Maracay, Estado Aragua”*, estudió el proceso de desfibrado llevado a cabo en el Pulper #4, en la línea de producción de papel, utilizando como materia prima papel reciclado. Para esto, inicialmente diagnosticó la situación actual en el proceso de desfibrado, realizando un seguimiento de los parámetros de operación del equipo. Luego determinó las variables que afectan en el proceso de desfibrado en el Pulper #4, entre ellas destacó la importancia de la consistencia de la pasta y tiempo de pulpeo en el desfibrado. Observó también que el equipo no tenía parámetros estandarizados para su operación y las condiciones de la operación no se llevaban a cabo en los diferentes grupos de trabajadores del área. En base a lo observado elaboro propuestas que ofreció un mejor control de proceso que busco: disminuir los tiempos de desfibrado, mejoró la consistencia de la pasta, generó un menor consumo de agua, mediante la utilización de circuitos cerrados, determinó la cantidad de desperdicio contenido en la fibra utilizada en el proceso de desintegración. Por tal motivo este trabajo orientó en facilitar a los operadores del Pulper #4 con técnicas que mejoraron el proceso de producción.

En el año 2009, Barrientos Jessica en el Trabajo de Grado titulado: *“Diseño de un programa de automatización y control en PLC en la planta de reciclado de Kimberly-Clark”*, diseñó un sistema de control para el arranque y parada de RF, utilizando un controlador lógico programable (PLC). Para lograr esto, realizó un estudio de ingeniería conceptual donde analizó el sistema de control que estaba instalado en la empresa, para emitir un diagnóstico del mismo. Posteriormente, realizó un trabajo de campo para determinar el estado actual de toda la línea de producción. También desarrolló la disciplina de instrumentación tomando en cuenta los planos, instrumentos, diagramas y estrategias de control con su direccionamiento y la variable asociada. Elaboró el programa para el arranque y parada de planta, así

como el programa de comunicación entre el PLC y la consola de interfaz humana. Finalmente, especificó los pasos generales para la instalación del sistema, obteniendo como resultado un sistema de control más automatizado que genera resultados más confiables y eficientes, facilitando así la rápida detección y corrección de fallas.

OBJETIVOS

En concordancia a la problemática abordada por esta investigación se establecieron una serie de objetivos, que se detallan a continuación.

Objetivo general

Evaluar las pérdidas de fibra en la producción de papel, con el fin de proponer alternativas que disminuyan el porcentaje de desperdicio de la planta de reciclado de papel de la empresa Kimberly-Clark.

Objetivos específicos

- Conocer el proceso de fabricación de papel a partir de fibra secundaria en la planta de reciclado de papel.
- Analizar la situación actual del proceso de producción para identificar las condiciones de operación de los equipos involucrados.
- Evaluar la calidad de la fibra secundaria del tipo archivo nacional en cuanto al contenido de humedad, a fin de determinar su contribución a la generación de pérdidas en el proceso.
- Determinar las pérdidas de fibra que se producen en los equipos que generan desperdicios en el proceso.
- Analizar las causas que generan las pérdidas de fibra en todas las etapas del proceso.
- Generar alternativas de solución a fin de obtener propuestas que minimicen las pérdidas de fibra en el proceso.
- Seleccionar la(s) alternativa(s) de solución más apropiada(s).
- Determinar la factibilidad económica de la(s) alternativa(s) de solución.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se presentan los fundamentos teóricos y los aspectos generales que argumentan al proyecto.

PAPEL

El papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. Estas fibras provienen del árbol y según su longitud, se habla de fibras largas de aproximadamente 3 milímetros (generalmente obtenidas de pino insignis u otras coníferas) o de fibras de 1 a 2 milímetros (obtenidas principalmente del eucalipto) (Aguilera y Peña, 2003).

Según el proceso de elaboración de la pulpa de celulosa, ésta se clasifica en mecánica y química, cada una de las cuales da origen a diferentes tipos de papel en cuanto a rigidez y blancura (Rivera, 2003).

Dependiendo del uso final que se le dará al papel en su fabricación, se utiliza una mezcla de diferentes tipos de fibras, las que aportan sus características específicas al producto final.

Entre la gama de papel se encuentran tres clasificaciones principales: impresión o escritura, embalaje y tissue (Smook, 1992).

Papel tissue

Es un papel suave y absorbente para uso doméstico y sanitario, que se caracteriza por ser de bajo peso y crepado, es decir, con toda una superficie cubierta de microarrugas, las que confieren elasticidad, absorción y suavidad (Smook, 1992).

El papel tissue está fabricado con pasta química o papel reciclado, a veces con mezclas de pasta mecánica. En algunos casos es de una sola capa y en otros, dependiendo de las necesidades finales, se producen en multicapa que es el más habitual en los productos de uso doméstico (Pulp and Paper Manufacture, 1983). En la figura N° 1 se ilustra una bobina de papel sanitario.



Figura N° 1. Bobina de papel sanitario

Se destina a la fabricación de papel higiénico, servilletas, manteles, toallas, pañuelos, papel absorbente de cocina, entre otros.

MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DEL PAPEL

A continuación se describen las tres fuentes primarias de fibras utilizadas en la mayoría de los productos tissue Kimberly-Clark a nivel mundial: Fibra virgen, fibra reciclada (fibra recuperada) y merma (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

La fibra virgen

Son las obtenidas directamente de una materia prima vegetal (celulosa) por uno o más procesos de pulpeo. Son producidos de un número limitado de especies vegetales diferentes que son escogidas por un apropiado balance de desempeño y costo. Debido a que son relativamente costosas, las fibras vírgenes son utilizadas principalmente en productos faciales o higiénicos premium. Estas fibras provienen principalmente de dos fuentes vegetales naturales: plantas leñosas (Ejemplo: árboles) y plantas no-leñosas (Ejemplo: bambú, bagazo y paja).

Para ambos grupos, las fibras son realmente células vegetales microscópicas individuales. Cualquier cantidad de fibras es llamada pulpa. En una escala

microscópica, cada gramo de pulpa contiene alrededor de 4 a 25 millones de células. (Clark, 1985).

En el Anexo N° 1 se muestra una representación de la fibra o pulpa virgen

Las fibras secundarias

Según en el manual Pulp and Paper Manufacture en 1987, estas se definen como cualquier material fibroso que ha sufrido un proceso de manufacturado y son reciclados como materia prima para otro proceso manufacturado. Son obtenidas utilizando tecnología de reciclaje para degradar productos de papel previamente formados (papel de desperdicio) para la recuperación de fibra. A pesar de que se requiere equipo y tecnología extra para recuperar fibras, en muchos casos estas fibras cuestan menos que el material virgen. Mientras que Hermans en 1987, la definen como una mezcla no uniforme de especies de fibra y tipos de pulpa. Esta no uniformidad crea limitaciones de calidad que pueden incluir menor fuerza, baja blancura, y altas cantidades de contaminantes tales como tinta y pegas.

En Venezuela se utilizan fibras secundarias tanto nacionales como importadas, siendo necesarias estas últimas debido a la calidad de las mismas. La existencia de varias unidades de destintado, le confiere una enorme importancia a la fibra reciclada como fuente de materia prima celulósica para la industria papelera.

Las fibras recicladas son adquiridas de muchas fuentes diferentes por medio de proveedores comerciales y agentes comerciales. Estas se presentan en pacas que pueden ser compactadas o no, en el anexo N° 2 se puede visualizar diferentes tipos de fibra reciclada empleada en este proceso.

Para una eficiente utilización, las fibras secundarias deben ser separadas en clases de calidad adecuadas. Normalmente la clasificación se limita a controles de calidad ocasionales para asegurar que los materiales no deseables sean excluidos (García y Hortal, 2007).

Clasificación de Fibra Reciclada (García y Hortal, 2007):

(a) Cartulina Blanca.

- Cartulina Blanca sin imprimir: Son recortes nuevos y limpios de cartulina blanca o colores suaves (pasteles), provenientes de la fabricación de estuches y vasos, libre de parafina, grasa y otros materiales prohibidos y desechables.
- Cartulina Blanca con impresión: Son recortes nuevos y limpios de cartulina impresa de color blanco y colores suaves, provenientes de la fabricación de estuches y vasos, libre de parafina, grasa y otros materiales prohibidos y desechables.

(b) Cartulina Manila.

- Cartulina Manila sin imprimir: Son recortes de tarjetas para máquinas tabuladoras y carpetas, recortes de hojas de papel color manila que no han sido usados y sin impresión. El material desechable no debe exceder de 0,5%, no se aceptan materiales prohibidos.
- Tarjetas de Cartulina Manila: Son tarjetas impresas de cartulina manila para máquinas tabuladoras. Pueden contener tarjetas con márgenes teñidos. Se aceptan tarjetas de otros colores, siempre que estas no excedan el 5% de material desechable y el 1% de material prohibido.

(c) Papel de Pulpa Blanqueada.

- Papel Blanco Puro: Son recortes de papel blanco para escribir e imprimir, sin haber sido usado proveniente de las convertidoras. No se aceptan los materiales desechables ni prohibidos.
- Papel Archivo Blanco: Son hojas de archivo y/o recortes blancos de papeles de escribir, imprimir y otros papeles blancos, libre de colores e impresiones fuertes que contengan mezclas de pulpas blanqueadas. No se aceptan materiales prohibidos y los desechables no deben exceder del 1%.
- Papel Forma Continua: Son hojas y/o recortes blancos de formas continuas que contengan mezclas de pulpas blanqueadas, libre de colores e

impresiones fuertes. No se aceptan materiales prohibidos y los desechables no deben exceder del 1%.

- Papel Archivo Color: Son hojas de archivo y/o recortes de papeles de escribir, imprimir y otros papeles que contengan mezcla de pulpa blanqueada, con colores e impresiones fuertes. Los materiales prohibidos no deben exceder el 0,5% y los desechables no deben exceder del 2%.

(d) Papel de Pulpa no Blanqueada.

- Papel de bolsas y sacos sin usar: Material proveniente de la planta de fabricación libre de hilo y papeles recortados. No se aceptan materiales prohibidos y los desechables no deben exceder del 2%.
- Papel de bolsas y sacos usados: Es un material usado coleccionado, que no ha estado en contacto con materiales tóxicos y otros materiales que degraden su calidad. Los materiales prohibidos máximo 1% y los desechables no deben exceder del 3%.

(e) Papel de Publicaciones.

- Papel Periódico sin usar: Es el material de periódico blanco sin impresión proveniente de las mantas o restos de bobinas. No se aceptan materiales prohibidos y los desechables no deben exceder del 0,5%.
- Papel periódico sobre edición: Son paquetes de periódicos de sobre ediciones provenientes de las editoriales, limpios y secos no oxidados. No se aceptan los materiales desechables ni prohibidos.
- Papel periódico recogido: Son periódicos usados provenientes de las recolecciones, limpios y secos. La porción quemada por el sol oxidada, no debe exceder del 3%. No se aceptan los materiales prohibidos y los desechables no deben exceder el 2%.
- Papel revista sobre edición: Son papeles provenientes de las editoriales de las revistas o publicaciones. No se aceptan los materiales prohibidos ni los desechables.

- Papel de revista recogido: Son paquetes de revistas usadas, limpias y secas provenientes de las recolecciones. No se aceptan los materiales prohibidos y los desechables no deben exceder del 2%.
- (f) Material Desechable: Es aquel papel o cartón fabricado o tratado que no forma parte del material o materiales que integran una clase específica.
- (g) Material Prohibido: Es aquel material que puede dañar el papel, el cartón, el equipo o la maquinaria.

Desperdicio de proceso (merma)

Es el papel que ha sido descartado en algún punto de proceso de elaboración del papel (ver anexo N°3). Esta fibra viene del arranque y apagado de máquinas de papel, cambios de grado, cambios de color, cambios de cuchillas-doctoras y desperdicios de conversión. La merma puede frecuentemente ser una porción considerable de la mezcla total.

A pesar de que la producción de alguna merma es inevitable, es importante desde un punto de vista del negocio minimizar su generación. Esto es debido a que la merma ha consumido toda la fibra, químicos y energía necesarios para producirlas en primer lugar. Además, las fibras en la merma deben ser recuperadas y reprocesadas, causando que su desempeño sea más pobre que en su condición original de fibra virgen (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL

El proceso de elaboración de papel sanitario a partir de material reciclable se divide en dos partes: la Planta de Reciclado (RF) o Destintado y la Máquina formadora de papel (MP4) (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

En la Planta de Reciclado de Papel, la fibra reciclada es transformada en pasta (suspensión de fibra en agua) destintada, lista para formarse en papel. Este proceso se divide en cuatro etapas (Kimberly-Clark Venezuela, 2005):

- Desfibrado y Limpieza de Alta Consistencia
- Depuración Gruesa
- Depuración Fina

- Lavado y Blanqueo

A continuación se presenta una descripción breve del proceso de Reciclado de Papel en cada una de sus etapas.

Desfibrado y Limpieza de Alta Consistencia

Pulper #4

Este equipo se encarga de preparar la pasta (suspensión de fibra en agua) a partir del papel reciclable y agua clarificada, al igual que se realiza la depuración de la pasta de los contaminantes (material no fibroso) de mayor proporción.

El Pulper es un tanque cilíndrico metálico o cuba de hierro fundido (acero), provisto de un motor acoplado a una unidad de rodamiento. (Kimberly-Clark Corporation, 2004). El rotor presenta aspas de forma helicoidal, el cual van separando las fibras gracias a la agitación y fricción generada por la rotación del Pulper, junto con los impactos de la pasta con los bloques de impacto localizados en la parte inferior y el humedecimiento de las fibras mediante absorción de agua, y la acción de las aspas se agita y se desmenuza la pulpa para obtener la pasta a una consistencia del 14%. En el anexo N° 4, se muestra las partes del Pulper.

Posteriormente, una segunda y tercera dilución genera una pasta homogénea con una consistencia del 4,5%, para así desalojarla más fácilmente del Pulper y entrar al área de limpieza de alta consistencia.

Contaminex

Es un equipo de limpieza centrífuga, el cual recibe la pasta desfibrada en el Pulper junto con los contaminantes que pueda contener inicialmente la materia prima (Kimberly-Clark Corporation, 2004). El equipo posee tres salidas: el aceptado de pasta, que va al tanque de almacenamiento, el rechazo pesado que es descargado intermitentemente por acción de la gravedad, y es recolectado por contenedores que posteriormente son descargados en el área de desechos sólidos y el rechazo liviano que alimenta al tambor clasificador. Podemos observar en el anexo N° 5 el diagrama esquemático del Contaminex.

Tambor Clasificador

Este tambor es un limpiador de acción centrífuga de tamiz, el cual es alimentado con el rechazo liviano del Contaminex, a fin de asegurar que no existan pérdidas de fibra en dicha línea. El equipo posee dos salidas: el aceptado, el cual se une con la línea de aceptado del Contaminex para ser almacenado en el tanque de almacenamiento, pileta 01 y el rechazo que es descargado por gravedad a un contenedor que posteriormente será desalojado en el área de desechos sólidos (ver anexo 6).

Depuración Gruesa

Limpiador cónico centrífugo tipo T2

Este limpiador remueve contaminantes muy pesados tales como tornillos, tuercas, clavos, piedras, grapas para papeles y clips. La pasta conteniendo partículas de diferente densidad, es alimentada lateralmente al limpiador de alta consistencia en un vaso circular. La velocidad de rotación produce una aceleración centrífuga que causa que las partículas más pesadas tengan un movimiento hacia las paredes laterales del cuerpo del limpiador y la fibra y partículas ligeras se concentren en el centro (Kimberly-Clark Corporation, 2004). Ver anexo N° 7.

Las impurezas más pesadas son llevadas hacia la parte inferior del limpiador para salir como rechazo. La unidad está equipada con una cámara de rechazos la cual es vaciada periódicamente, aislando el limpiador de la cámara de rechazos con una válvula y abriendo la válvula de descarga. Los rechazos son acumulados en un contenedor para luego ser descargados en el área de desechos sólidos.

Spectro Screen

Este equipo lo compone una cesta o criba rotatoria por la cual la pasta entra tangencialmente a través del contenedor cilíndrico. El material pesado es separado en la garganta circunferencial y la pasta fluye dentro de la cámara de cribado. El rotor fluidiza y homogeniza la pasta por su característica de rotación y mantiene la pasta

bien separada para su fácil depuración. La presión del fluido obliga a la pasta a pasar a través de la criba (Kimberly-Clark Corporation, 2004).

Las fibras aceptadas pasan a través de la canasta por la diferencia de presión entre la entrada y el aceptado. El material rechazado fluye hacia abajo dentro del canal de rechazo en donde se descarga a través de la conexión de rechazos. Las impurezas admisibles son los granulados y las hojas de plástico, los nudos de fibras, los haces de fibras, las astillas y el cabello. La pasta aceptada fluye a través de la conexión de aceptado, fuera de la criba. Las perforaciones de la cesta tienen unos tamaños específicos de tal forma que la fibra buena pueda penetrar la cesta, mientras que los rechazos son mayores que las medidas de las perforaciones. Entre los tipos de Spectro- Screen se encuentra el tamaño 23 y el tamaño 13. Este último equipo asegura que no existan pérdidas de fibra útil y la pasta aceptada se recircula a la Pileta 01 y los rechazos leves y pesados van a un colectivo (Kimberly-Clark Venezuela, 2005). En los anexos N° 8 y 9 se presentan las estructuras de un depurador presurizado y cesta tamiz respectivamente.

La figura N° 2 muestra la secuencia del proceso de la primera y segunda etapa del reciclado de papel. Los óvalos marcan la zona de estudio.

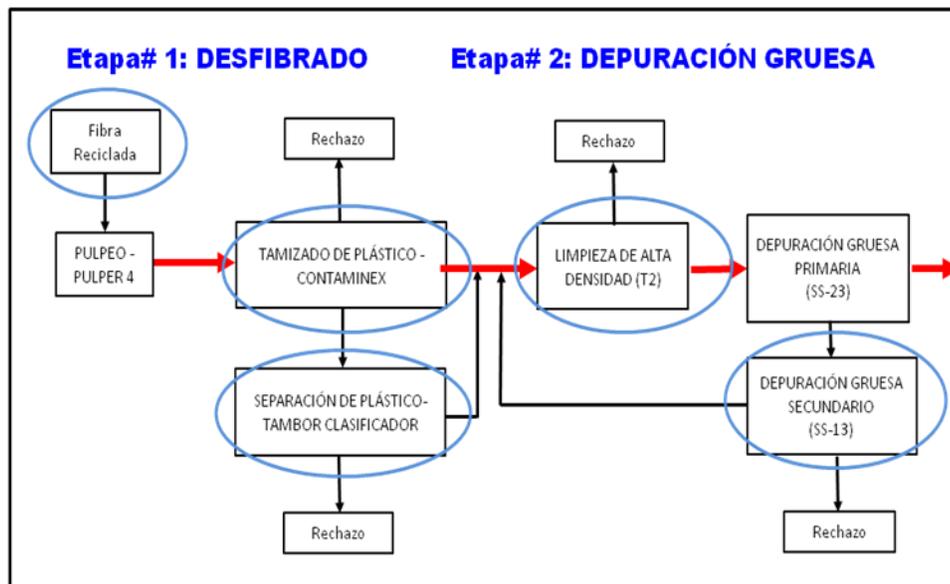


Figura N°2. Diagrama de bloque de la primera etapa (desfibrado y limpieza de alta consistencia) y segunda etapa (depuración gruesa) del proceso de reciclado de papel.

Depuración Fina

Limpiadores de baja densidad

Estos poseen el mismo funcionamiento que los limpiadores de alta consistencia, solo que están diseñados para eliminar de la pasta los contaminantes más livianos que el agua, se trata sobre todo de granos de arena y de astillas finas de vidrio, así como de metales ubicándose en el centro del equipo y descargándolo por la parte inferior del mismo. Está constituido por un tubo centrifugo cilíndrico-cónico, el cual funciona como un hidrociclón que recibe la pasta de forma tangencial y debido a la formación de un fluido turbillonario, el flujo pegado a la pared se dirige hacia la punta del cono donde se extrae el rechazo, mientras que el fluido central se dirige hacia la parte superior del cono donde se obtiene la pasta aceptada (Kimberly-Clark Corporation, 2004). Principalmente se utiliza bancos de depuradores en paralelo en el caso particular de 3 etapas configurados en cascada para garantizar un mejor aprovechamiento de la pasta y mejor limpieza de impurezas. De esta manera la pasta aceptada de la primera etapa continúa hacia los limpiadores de Fine Screen. Mientras que la pasta rechazada de última etapa va al canal colector que se dirige a la Planta de Tratamiento de Efluente (PTE) para ser tratados como lodos (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

En el anexo N° 10 se presenta el diagrama esquemático de estos equipos y su funcionamiento en sistema de cascada.

Fine Screen

Son depuradores verticales constituidos por una cesta tamiz que en su interior posee aletas acopladas a un rotor, que permite por acción de la fuerza centrifuga y la dilución en agua de la pasta alimentada, el paso de la pasta aceptada con menos impurezas a través de las ranuras de la cesta y la retención de rechazos (astillas, plásticos granulados, hisopos y otras impurezas) en su interior. Estructuralmente tiene dos salidas: la primera es la de pasta depurada y la segunda salida de rechazos. Normalmente se utilizan sistemas en cascadas, es decir el aceptado del primero pasa al siguiente proceso de depuración, mientras que los rechazos pasan a un segundo

fine screen, en el cual se repite el mismo procedimiento del primero, volviendo al proceso solo el aceptado de cada depurador. Este sistema está constituido por los depuradores Fine Screen 01 (1era. etapa), Fine Screen 02 (2da. etapa) y Fine Screen 03 (3era. etapa). El rechazo de la última etapa cae al colector que va hacia PTE, mientras que el aceptado va hacia los limpiadores reversos.

Limpiadores Reversos.

La tercera batería de limpieza son los limpiadores reversos (LR) LT3, conformados por dos etapas. En el anexo N° 11 se presenta el funcionamiento de los limpiadores reversos.

Estos depuradores de forma cilíndricas-cónicas e unidireccional tienen como función provocar en el flujo de alimentación un remolino; su entrada es de forma tangencial y por acción centrífuga se crea una separación de las partículas con gravedad específica más baja que el material de pulpa, por ejemplo ceras y trozos de papel, que bajan por el centro del remolino hasta la salida de rechazos mientras que la pulpa aceptada sale de forma tangencial pegado a las paredes por la parte inferior (Kimberly-Clark Corporation, 2004). El aceptado de la primera etapa alimenta al lavador y el rechazo final es descargado al canal colector.

La figura N° 3 muestra la secuencia en el proceso de reciclado de papel, de esta etapa de depuración. Los óvalos marcan la zona de estudio.

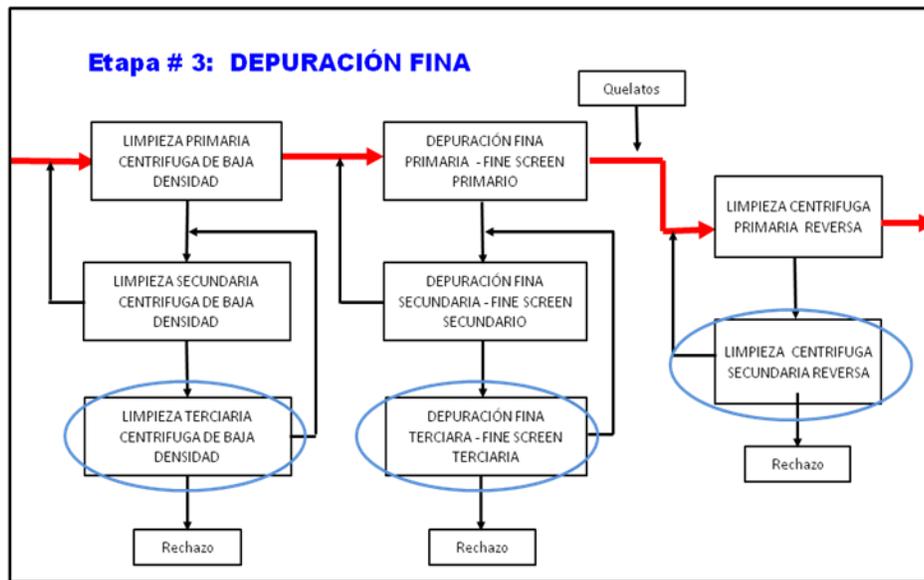


Figura N°3. Diagrama de bloque de la etapa de depuración fina del proceso de reciclado de papel.

Lavado y blanqueo

Lavador

El sistema de lavado de la pasta se realiza en equipos denominados lavadores o Vario Split .El objetivo de esta etapa es el lavado de la pasta a baja consistencia, es decir, la extracción de partículas más pequeñas como cenizas, finos inactivos y pequeñas partículas de tinta. Además elevar la consistencia de la pasta y acondicionarla para la etapa de blanqueo (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

La pasta a baja consistencia es dirigida por la caja de entrada entre el rodillo y la malla rotante. Debido al impacto repentino de la presión causada por la malla contra el rodillo central y las elevadas fuerzas centrifugas creadas por la alta velocidad de rotación del rodillo, la pasta es desgotada por lo que el agua y las partículas finas pasan a través de la malla. La fibra que no pasa a través de la malla forma una capa contra el rodillo central, el cual es separado por una cuchilla (Kimberly-Clark Corporation, 2004). La pasta cae un tanque donde es bombeada al espesamiento y blanqueo de la fibra, mientras que el agua filtrada parte es utilizada en

el proceso y el resto es enviada a la planta de tratamiento (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

En el anexo N° 12 se presenta las partes del lavador.

El agua proveniente del rechazo del lavador va por gravedad a un tanque denominado “tanque de agua de lavadores”, de donde es extraída una parte y es recirculada para ser utilizada en las diferentes etapas de dilución en el proceso de depuración fina, y otra parte va al canal de colector.

El agua que se recircula al proceso es enviada primero a un fraccionador Conustrenner de donde se obtienen dos fracciones. Una fracción gruesa con un alto contenido de fibra útiles para ser reingresada al proceso y una fracción fina con un alto contenido de cargas, finos y tinta, que debe salir del proceso para ser tratada y reingresar como agua clarificada.

A la pasta lavada se le adiciona un secuestrante del tipo DTPA (sal péntasodica del ácido dietilentriaminopentaacético), con el fin de que forme complejos con los iones alcalinotérreos y metales pesados que pudiese contener la pasta, quedando el mismo prácticamente envuelto y asegurando de esta forma que dichos iones no perturbaran la reacción con el peróxido de hidrógeno en la siguiente etapa del proceso (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

Screw Press

La función principal del tornillo prensa es espesar la pasta proveniente del sistema de lavado, para darle la consistencia adecuada para un mejor funcionamiento de la fase de dispersión y blanqueo con peróxido de hidrógeno. La pasta es alimentada al tornillo con una consistencia controlada. Parte del agua que sale del prensado es canalizada a un tanque de recuperación que luego se utilizará en la disolución del proceso y otra parte es enviada al alcantarillado. La pasta de alta consistencia obtenida en la prensa cae a un tronillo sin fin que divide la pasta en trozos más pequeños y transporta los mismos al dispersor.

Dispensor

El sistema de dispensor se utiliza para el tratamiento de la pasta fibrosa. Las partículas como ceras, parafinas, materiales adhesivos o las partículas de tinta son dispersadas finalmente abajo del nivel de visibilidad, produciendo por consiguiente una pasta de fibra homogénea para la producción de papel. La pasta que sale de la prensa de doble tela y es transportada por el tornillo sin fin hasta el centro de las coronas rotantes del dispensor. La pasta entonces se arroja por fuerzas centrifugas contra los dispositivos dentados y se forza el paso de la misma a través de las aberturas que hay entre los dientes. Cuando pasa a través de las aberturas entre los dientes del rotor y estator de la pasta es acelerada alternativamente por la velocidad del rotor y frenada por el estator. Estos cambios bruscos de velocidad causan fuerzas de fricción y agitación. De este modo las partículas visibles de materiales adhesivos, ceras, trozos de metal y tinta son reducidas de tamaño y distribuidas uniformemente en la pasta. Al mismo tiempo debido a la fricción de fibra con fibra tiene lugar un efecto brillante sobre la fibra (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

Blanqueo de la Fibra

Para obtener una alta blancura en la fibra procesada se realiza un tratamiento químico de la fibra primeramente con peróxido de hidrógeno y luego con hidrosulfito de sodio. En la salida de la prensa de doble tela se adiciona soda cáustica y peróxido de hidrógeno (licor de blanqueo), con el fin de acondicionar la pasta a un pH básico (Kimberly-Clark Venezuela, 2005).

La pasta mezclada con el licor de blanqueo, sigue por gravedad al dispensor Kneader para la dispersión en caliente, utilizando vapor saturado para elevar la temperatura a unos 80 °C. Seguidamente cae por gravedad al tornillo horizontal inferior que se encarga de trasladarla hasta la torre de blanqueo con peróxido.

La pasta ingresa a la torre de blanqueo con una temperatura aproximadamente de 75°C y un pH entre 10 y 11. La pasta ya blanqueada es diluida en dos etapas hasta una consistencia menor al 5%, que permita ser bombeada hasta un tanque de almacenamiento denominado “tanque de máquina”.

Seguida de la reacción con el peróxido de hidrógeno, entra en contacto la pasta con la etapa de blanqueo con hidrosulfito de sodio, el cual no tiene ninguna condición previa a la dosificación a excepción de temperaturas relativamente altas (80 – 90 °C).

Por tal razón, en el tanque de máquina la pasta blanqueada con peróxido es calentada mediante la aplicación de vapor vivo. Seguidamente, se mezcla con la solución de hidrosulfito se bombea a la torre blanqueo con hidrosulfito.

En la torre de hidrosulfito el tiempo de retención de la pasta es de unos 45 minutos antes de caer por gravedad a un tanque denominado “tanque Flootek” de donde es bombeada la pileta P02.

Luego, la pasta destintada que ingresa a la pileta P02, con previa dilución para regular su consistencia, es bombeada a la piletas P07 y P08 para la refinación de la fibra. Este último, es de suma importancia dentro del proceso, y es realizado por un equipo denominado refinador, el cual consta de discos dentados que giran, los cuales se puede variar la separación entre los discos dentados, y por donde se hace pasar la pasta con el fin de generar características físicas necesarias para la formación del papel, la cual está asociada a la formación de la red de fibra y resistencia final del papel.

Finalmente, la pasta refinada es bombeada a los tanques de mezcla, pileta P09 hasta llegar a máquina 4 (máquina papelera 4).

La etapa de lavado y blanqueo del proceso productivo se pueden visualizar en la figura N°4. Los óvalos marcan la zona de estudio.

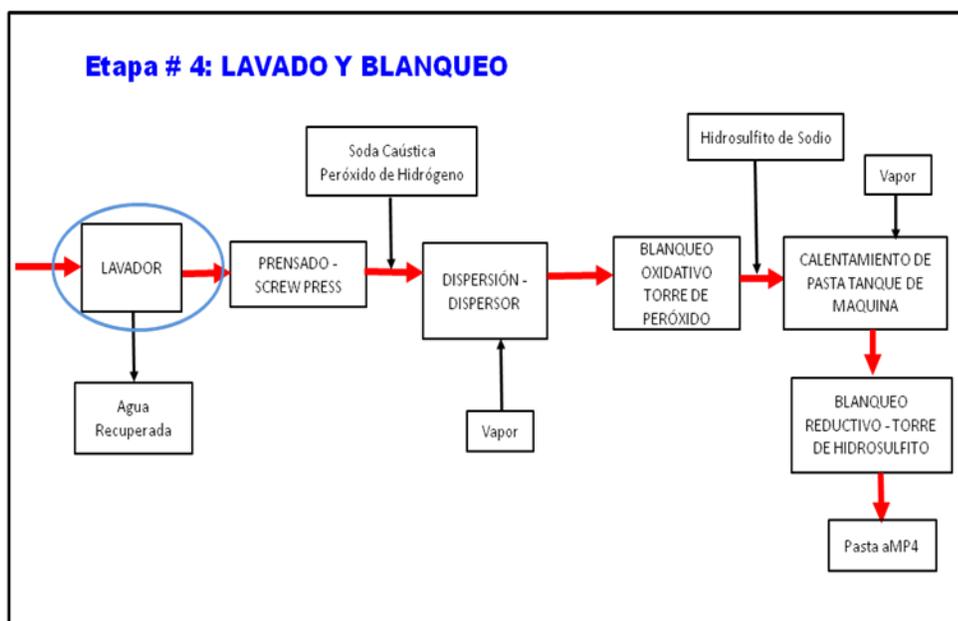


Figura N°4. Diagrama de bloque de la etapas de lavado y blanqueo de la pasta en el proceso de reciclado de papel.

MÁQUINA DE PAPEL

Una vez obtenida pasta depurada, lavada y blanqueada del proceso de reciclado, la pasta se envía a la máquina de producción o máquina papelera, MP4, la cual se encarga de transformar la materia prima (pasta destintada) en papel semielaborado. A continuación se describe las partes más importantes que la conforman (Hermans, 1994).

Caja Cabecera: o caja de entrada tiene la función de conducir la pasta de papel para la malla formadora de manera uniforme a través de un sistema de orificios internos y a lo largo de toda la tobera de salida, para que no haya perturbación en el recorrido de la pasta.

Área de Formación: Luego de distribuida la pasta por la caja cabecera a la malla formadora, comienza el área de formación de la hoja sobre la misma, dejando drenar el agua y entrelazándose las fibras. El conjunto de rodillos y rodamientos conformados por el rodillo formador, los rodillos guía, el rodillo regulador y el rodillo tensor de la malla, conforman el área de formación del papel, que continuará a la parte del fieltro. La malla formadora es una tela tejida de material sintético, donde

por la velocidad y gravedad se drena el agua que contiene la pasta que descarga la caja cabecera y comienza a formar la hoja.

Área de Secado: El papel que sale del sistema de prensado contiene una humedad promedio del 60 por ciento, posteriormente pasa a una serie de cilindros que tienen la finalidad de evaporar el agua contenida en el papel hasta un aproximado de 6 por ciento de humedad, este vapor es un promedio generalizado en todos los tipos de papeles. Luego de generada la hoja en el área de formación, la misma se adhiere a un fieltro para comenzar un recorrido para la eliminación de la humedad y obtener el producto final. En esta área se encuentra el Fieltro o Paño: es una especie de Malla de menor permeabilidad el cual recibe de la malla formadora la hoja húmeda y realiza funciones de absorción del agua y traslado de la hoja hasta el cilindro crespador.

Los Tubos de Succión: Su función es extraer el exceso de agua contenida en el fieltro, preparándolo para una adecuada absorción de la humedad del papel, así como la eliminación de las impurezas que puedan quedar adheridas al mismo, aspirando el fieltro justo después de aplicar químicos de limpieza, con regaderas de alta presión.

El Rodillo Prensa de Succión: Es un rodillo recubierto externamente de goma, el cual realiza funciones de secado además de adherir el papel formado que viene en el fieltro al cilindro crespador. Este es quien se encarga de extraer el mayor porcentaje de agua que contiene la fibra.

El Cilindro Crespador o Yankee: Es un cilindro metálico hueco que contiene en su interior una serie de intercambiadores de calor alimentados con vapor, el cual mantiene altas temperaturas. El contacto de la hoja formada y el cilindro crespador conlleva a un intercambio térmico logrando la evaporación del agua que contiene la hoja. Su principal función es impartirle al papel por una sola cara un acabado brillante de mayor suavidad. La hoja es separada del cilindro por cuchillas metálicas afiladas, accionadas por un brazo hidráulico, las cuales cumplen funciones de crespado, desprendimiento y limpieza del cilindro crespador.

La Capota de Aire: Es una carcasa metálica que recubre el cilindro crespador, el cual contiene perforaciones donde se recircula el aire a través de ventiladores a fin de proporcionar aire caliente a la hoja que se encuentra adherida al cilindro crespador, facilitando el proceso de secado de la parte que no se encuentra en contacto con el cilindro.

La hoja crepada es finalmente enrollada generando una bobina de grandes dimensiones (típicamente de 2 metros y de 2 toneladas de peso) a la que se denomina “jumbo roll”.

En el anexo N° 13, se visualizan imágenes de la máquina papelera empleada en la producción de papel en Kimberly- Clark.

HERRAMIENTAS EMPLEADAS PARA ANALISIS DE PROCESOS

Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa)

Kauro Ishikawa de la Universidad de Tokio utilizó esta técnica en los años cincuenta y desde entonces su aplicación se ha difundido a nivel mundial. Se le conoce también como Diagrama de Espina de Pescado y de Causa – Efecto.

Es una herramienta útil para analizar de una manera integral, las diferentes causas que se relacionan con un problema determinado, facilitando el proceso de búsqueda de causas al sugerir ramas y agrupaciones de las mismas.

Este diagrama ayuda a clasificar las causas de un problema o situación y a organizar las relaciones entre ellas (Torres, 1992).

El anexo N°14 de este informe, muestra un ejemplo de un diagrama causa-efecto.

Diagrama de Pareto

Wilfredo Pareto, economista italiano del siglo XVII, estableció la idea de los pocos “vitales” y muchos “triviales”. No todas las cosas de la vida son importantes. En una situación es posible definir aquellas variables que la afectan considerablemente y aquellas que la afectan muy relativamente. Este principio se conoce también con el nombre de 80-20 y 20-80 (Torres, 1992).

El diagrama de Pareto se utiliza para demostrar gráficamente las diversas causas que afectan el resultado de la variable que estamos analizando, jerarquizando las mismas por su impacto, para determinar las causas más importantes, y tomar los correctivos dando prioridad a aquellas pocas causas que contribuyen a la mayor parte del defecto. La técnica consiste en concentrar la atención en las dos o tres barras más altas que son las que corresponden a la mayor parte del problema.

En la sección de anexos se muestra un ejemplo del diagrama de Pareto, en el anexo N°15.

Matrices de Evaluación y Selección

Las matrices de selección y evaluación de problemas son arreglos de filas y columnas donde las primeras constituyen las alternativas (problemas, causas, soluciones) que requieren ser jerarquizadas y las columnas los múltiples criterios que conviene utilizar en la selección (Torres, 1992).

La utilidad del análisis a través de matrices reside en que ayuda a los grupos de trabajo a tomar decisiones más objetivas, cuando se requiere tomarlas sobre la base de criterios múltiples.

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Existen diferentes métodos para determinar cuál alternativa seleccionar. A continuación se estudiarán los siguientes:

Valor Presente de la inversión total, Valor Futuro, Costo anual equivalente y análisis de la inversión incremental.

Método del valor actual o presente de la inversión total (VA).

Todos los flujos entrantes y salientes de efectivo se anticipan al punto presente en el tiempo a una tasa de interés, que por lo general es la TREMA. (De Garmo, 1997) Este valor se expresa mediante la ecuación (1):

$$VA = \sum_{t=0}^n Ft * (1 + i)^{-t} \quad (1)$$

Donde:

VA : Valor actual (\$).

Ft : Flujos monetarios (\$).

i : Interés por período.

t : Tasa mínima de rendimiento.

n : Período de tiempo (años).

Para alternativas con el mismo período o vidas iguales, el criterio de aceptación es el siguiente:

Si $VA > 0$ la alternativa es financieramente viable.

Se selecciona la alternativa con mayor VA , en el caso de tener solo costos, se selecciona el menos negativo.

Para alternativas con vidas diferentes no se puede usar el método de VA directamente, primero se deben llevar las alternativas al mismo período de tiempo, para lo cual se utiliza el mínimo común múltiplo de las vidas de todas las alternativas a evaluar y se supone que cada alternativa de inversión será reemplazada por otra idéntica hasta alcanzar el mínimo común múltiplo de las vidas.

Método del Valor Futuro (VF)

El valor futuro de cada alternativa está basado en el valor equivalente de todos los flujos de entrada y salida de efectivo al final del horizonte de planeación, a una tasa de interés que por lo general es la TREMA. (De Garmo, 1997) el mismo se obtiene con la aplicación de la ecuación (2):

$$VF = \sum_{t=0}^n Ft * (1+i)^{n-t} \quad (2)$$

Donde:

VF : Valor futuro (\$).

Ft : Flujos monetarios (\$).

Este método se usa poco y solo para la selección de alternativas con iguales vidas útiles. Se selecciona la alternativa que tenga mayor VF .

Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es la tasa de descuento que hace que el valor presente neto sea igual a cero, es decir, la tasa que hace que la suma de los flujos descontados sea igual a la inversión inicial, se determina mediante la ecuación (3) (Baca, 2001):

$$\sum_{t=0}^n Ft * (1+i)^{-t} = 0 \quad (3)$$

Si la TIR > TREMA se acepta la inversión

Si la TIR < TREMA se rechaza la inversión

Inconvenientes de la TIR:

- El método de la tasa interna de retorno se usa solo para determinar si una inversión es aceptable o no, pero no funciona para comparar entre varias alternativas, ya que acarrea errores.
- Supone que todos los flujos se reinvierten todos los años.
- La ecuación es un polinomio de grado n (# de años del estudio) por lo que el número de raíces es igual al número de cambios de signo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta paso a paso la metodología necesaria para el logro de los objetivos planteados en este Trabajo Especial de Grado.

ENTENDIMIENTO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL A PARTIR DE FIBRA SECUNDARIA EN LA PLANTA DE RECICLADO DE PAPEL

Para cumplir con este objetivo se dividió en varias actividades que se mencionan a continuación:

(a) Recorridos por todas las áreas de la planta y laboratorios de proceso.

Se realizaron varias visitas por las diferentes áreas de la planta (Patio de fibra, Planta de Reciclado, Máquina de Papel 4 y Planta de Tratamiento de Efluentes), con la finalidad de conocer los equipos que conforman el proceso de producción de papel, sus funciones, la manera en que operan y las etapas que se llevan a cabo en el proceso de reciclado de papel. Para ello se contó con el apoyo del personal capacitado (ingenieros, técnicos y personal obrero).

Por otra parte, se efectuaron visitas a los laboratorios (Destintado, Calidad y Efluentes), a fin de conocer las actividades realizadas en dichas áreas, tales como: análisis de la materia prima (pacas de papel reciclado), análisis de la pasta en cada etapa del proceso y análisis de los efluentes. Además, se conoció lo relacionado al manejo de los equipos existentes en los mismos, como lo son: balanza, mufla, estufa y los equipos para formar y secar hojas en el laboratorio

(b) Revisión bibliográfica del proceso de producción de papel a partir de papel reciclado.

Se recopiló información a nivel bibliográfico sobre todo lo relacionado con la manufactura de papel sanitario, tipos de papel y de materias primas. Adicionalmente, se revisaron los manuales operacionales de los equipos, planos de planta y demás

bibliografía industrial, con el fin de resaltar o afianzar los conocimientos de los métodos operativos de los equipos e identificar los rangos de operación de las variables involucradas en el proceso.

(c) *Entrevistas a los operadores de planta sobre el funcionamiento de los equipos y las variables de proceso.*

Se realizaron reuniones con los operadores y técnicos de la planta, con el fin de conocer las posibles variables tomadas en cuenta para el estudio del proceso o variables manipulables para la mejora del mismo. Para llevar a cabo las entrevistas al personal que opera en planta se empleó un formato, que se muestra en la tabla N°1.

Tabla N° 1. Formato empleado para realización de entrevistas a operadores de la planta de reciclado.

 Kimberly-Clark Venezuela FORMATO DE ENTREVISTA			
FECHA: _____		ENTREVISTADO: _____	
ETAPA DEL PROCESO	EQUIPO	FUNCIONAMIENTO	VARIABLES

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA IDENTIFICAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS

Una vez recopilada toda la información necesaria para el conocimiento del proceso de reciclado, se realizó una tormenta de ideas donde se resaltaron y desglosaron las variables que influyen de manera determinante en el proceso y se procedió a comparar cada una de ellas en cada equipo, con el fin de realizar un listado de las variables a tomar en cuenta en la recolección de datos para conocer las condiciones de operación de cada uno de los equipos.

Para lograr lo expuesto anteriormente, se realizó un trabajo de campo que consistió en la lectura directa de la presión de alimentación de la pasta y la presión de salida de aceptado de la pasta en los equipos donde fue posible, y posteriormente, se calculó el diferencial de presión, mediante la ecuación (4):

$$P \text{ diferencial} = P \text{ entrada} - P \text{ salida} \quad (4)$$

Donde:

P diferencial: Presión diferencial del equipo (bar).

P entrada: Presión de alimentación del equipo (bar).

P salida: Presión de aceptado del equipo (bar).

Por ser esta una variable de operación importante para la visualización del comportamiento del equipo, se estableció como rutina diaria la supervisión durante el lapso de 90 días, mientras se realizaban las mediciones y recolección de datos necesarios para la determinación de las pérdidas de fibra generadas por los equipos de RF. Para esto se registró diariamente los valores en el programa Microsoft Office Excel, en los tres turnos y se tomó el promedio del día. Ver tabla N°2.

Adicionalmente, se tomaron muestras de pasta en la entrada de los equipos para la determinación de la consistencia de entrada, ya que es otra variable operacional influyente en su funcionamiento. Para su determinación, se siguió el procedimiento establecido por la empresa en el Manual Kimberly- Clark Venezuela, el cual es presentado en el siguiente objetivo del presente trabajo.

En cuanto a la duración y frecuencia de toma de muestra, se estableció llevar a cabo un mes de registro de esta variable y se consideró tomar una muestra al día en el turno diurno de 8:00 hasta las 17:00 horas de lunes a viernes en días hábiles, con el fin de obtener una data aceptable que permitiera visualizar las condiciones en que opera la planta.

Posteriormente, se realizó la comparación de los valores de estas variables con los indicados en los manuales de operación, mediante gráficos que permitieron visualizar si la variable medida se encontraba dentro o fuera del rango de variabilidad pre-establecido.

En la tabla N° 2, se muestra el formato que se empleó para la recolección de las condiciones de operación de los equipos.

Tabla N°2. Formato para el registro de las condiciones de operación de los equipos.

Equipos		Variables	Unidad	LI	Fecha			I	II	III
					OBJ	LS	Hora			
DEPURACIÓN GRUESA	Seperador Centrifugo T2	P. Entrada	Bar	2,4	3,3	4				
		P. Salida	Bar	2	2,5	2,8				
		P. Diferencial	Bar	0,4	0,9	1,3				
	SS23	P. Entrada	Bar	2,4	3,4	4				
		P. Salida	kg/cm2 X0,981	2	2,5	2,8				
		P. Diferencial	Bar	0,4	0,9	1,3				
	SS13	P. Entrada	Bar	2,8	3	3,5				
		P. Salida	Bar	2,4	2,4	2,8				
		P. Diferencial	Bar	0,4	0,6	0,7				
DEPURACIÓN FINA	L. BAJA DENSIDAD Primera etapa	P. Entrada	Bar	2	3	4				
		P. Salida	Bar	1,3	1,9	2,6				
		P. Diferencial	Bar	0,7	1,1	1,4				
	L. BAJA DENSIDAD Segunda etapa	P. Entrada	kg/cm2 X0,981	2	3	4				
		P. Salida	Bar	1,3	1,9	2,6				
		P. Diferencial	Bar	0,7	1,1	1,4				
	L. BAJA DENSIDAD Tercera etapa	P. Entrada	Bar	2	3	4				
		P. Salida	Bar	1,3	1,9	2,6				
		P. Diferencial	Bar	0,6	0,8	1,2				
	Fine Screen 01	P. Entrada	Bar	0,8	1,1	1,4				
		P. Salida	Bar	0,6	0,8	1				
		P. Diferencial	Bar	0,2	0,3	0,4				
	Fine Screen 02	P. Entrada	Bar	1,9	2,2	2,6				
		P. Salida	Bar	1,7	1,9	2,2				
		P. Diferencial	Bar	0,2	0,3	0,4				
	Fine Screen 03	P. Entrada	Bar	1,8	2,2	2,6				
		P. Salida	kg/cm2 X0,981	1,6	1,9	2,2				
		P. Diferencial	Bar	0,2	0,3	0,4				
L. REVERSO Primera etapa	P. Entrada	Bar	2,8	3,2	4					
	P. Salida	Bar	0,8	1,3	1,8					
	P. Diferencial	Bar	2	1,9	2,2					
L. REVERSO Segunda etapa	P. Entrada	Bar	2,8	3,3	4					
	P. Salida	Bar	2	2,3	2,6					
	P. Diferencial	Bar	0,8	1	1,4					

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA FIBRA SECUNDARIA DEL TIPO ARCHIVO NACIONAL EN CUANTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD, A FIN DE DETERMINAR SU CONTRIBUCIÓN A LA GENERACIÓN DE PÉRDIDAS EN EL PROCESO

Se tomaron muestras de las pacas de fibra reciclada del tipo archivo nacional a la entrada del proceso, para determinar el porcentaje de humedad, siguiendo el siguiente procedimiento:

Procedimiento para determinar del Porcentaje de Humedad (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992).

1. Equipos empleados

- Balanza con precisión de 0.01 gramo
- Estufa regulada a 110 °C
- Desecador
- Bolsas plásticas

2. Muestreo:

- Al azar y mínimo el 20 % de cada referencia, intensificando el muestreo cuando sea necesario.
- Después de abrir la paca tomar 2 muestras de ± 20 gramos c / u en diferentes puntos de la paca, lados (externa) y centro (interno).
- Mezclar bien esta muestra y de ella tomar 100 gramos.

3. Procedimiento:

- ✓ Tomar la muestra compuesta de 100 gramos y llevarlos a la estufa por 1 hora.
- ✓ Cuando se cumpla el tiempo pasar la muestra al desecador por 10 minutos.
- ✓ Pese en la balanza con exactitud de 0.01 gramo, y anote el valor.
- ✓ Llevar de nuevo a la estufa por 15 minutos.
- ✓ Nuevamente coloque la muestra en el desecador y pésela nuevamente.
- ✓ Repetir este procedimiento hasta obtener peso constante.

4. Cálculos:

Con la ecuación (5) se determinó el Porcentaje de humedad en base húmeda.

$$\% H = \frac{P I - P F}{P I} * 100 \quad (5) \text{ (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992).}$$

Donde:

% H: Porcentaje de humedad en base húmeda.

P I: Peso Inicial.

P F: Peso Final una vez secada en la estufa.

Posteriormente, se analizaron los resultados mediante gráficos que permitieron visualizar el impacto generado por la humedad a la generación de pérdidas del proceso.

A continuación, se presenta la tabla N°3, en la cual se llevó el registro del porcentaje de humedad de la materia prima archivo nacional:

Tabla 3. Formato para la determinación del contenido de humedad de las pacas de archivo nacional.

Fecha	Hora	% Humedad externa	% Humedad interna	% Humedad promedio	Proveedor	Fecha de Ingreso

Además de esto, se hizo un seguimiento al contenido de plásticos y de cartón en las pacas de fibra de archivo nacional, para lo cual se realizó una evaluación exhaustiva del material en cuestión en la entrada del proceso y se llevó a cabo un registro de los pesos de los contenedores donde se depositan los desechos plásticos y cartón provenientes de las pacas, y así cuantificar en qué grado contribuye cada uno de los elementos anteriores (exceso de cartón y de plásticos) en la generación de desperdicio. Para lograr esto se llevó registro del contenido de humedad y pesos de los contenedores. Estos fueron: contenedor de tapas de cartón, contenedor de

Contaminex, contenedor del Tambor Clasificador, contenedor de recuperador de plásticos.

En la figura N° 5, se muestran la ubicación y disposición de los desechos principales, cartón y plásticos, provenientes de la materia prima archivo nacional.



Figura N°5. Contenedores para depósitos de los desechos pesados provenientes del material fibra nacional.

Se consideró pesar los contenedores antes de ser vaciados al culminar el turno y de esta manera se determinó un promedio en base al número de cargas realizadas en el pulper, tomando en cuenta el peso promedio de las pacas y el número de las mismas consumidas en cada carga. Adicionalmente se tomaron tres muestras de cada uno para el cálculo de la humedad promedio.

Posteriormente, se realizaron comparaciones mediante gráficos humedad de fibra nacional y el porcentaje de desperdicio global, para hallar la relación que existen entre las mismas.

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE FIBRA QUE SE PRODUCEN EN LOS EQUIPOS QUE GENERAN DESPERDICIOS EN EL PROCESO

Para el cumplimiento de este objetivo se llevó a cabo varias actividades que se mencionan a continuación:

(a) Balance de masa global del proceso.

Para el desarrollo del balance de masa global se consideró el proceso como una caja negra donde no hay acumulación de masa, abarcando desde la alimentación de las pacas hasta la producción de las bobinas de semielaborado de papel. Para efectos de los cálculos, se consideró despreciable la cantidad de químicos que se añaden en el proceso, y el vapor que entra al sistema de reciclado, ya que no varía de manera considerable el sistema por estar presente en pequeñas proporciones. Fueron consideradas como variables de entrada: las pacas que entran al sistema como materia prima y el agua fresca que alimenta a la máquina de producción de papel (MP4); y como variables de salidas a: los efluentes del proceso, los lodos de PT Primario, los rechazos pesados de equipos de depuración gruesa y las bobinas de Producción de papel.

Para el cálculo de balance de masa, si el sistema no tiene acumulación es la representada en la ecuación (6):

$$\sum_{i=1}^n \text{entradas} - \sum_{j=1}^m \text{salidas} = 0 \quad (6)$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n \text{entradas}$:
Sumatoria desde i=1 hasta n de todas las corrientes de entrada.

$\sum_{j=1}^m \text{salidas}$:
Sumatoria desde j=1 hasta m de todas las corrientes de salida.

En la figura N°6, se muestra la representación de la caja negra con la identificación de las corrientes de entrada y de salidas del proceso.

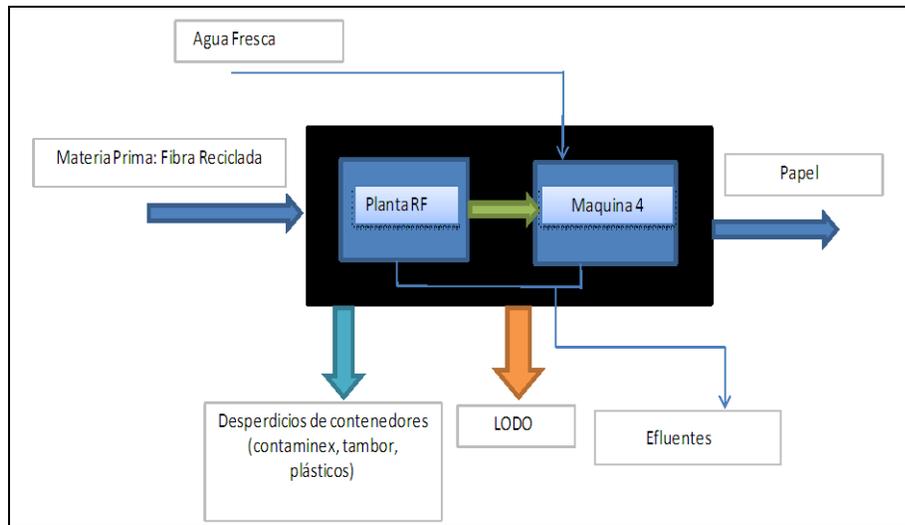


Figura N° 6. Corrientes de entrada y salida para el balance de masa global de la planta.

Posteriormente, una vez identificadas las corrientes de entrada y salida del sistema, el balance se planteó de acuerdo a la ecuación (7):

$$\text{Consumo}_{\text{Fibra}} + \text{Agua}_{\text{fresca}} = \text{Semielaborado} + \text{Lodos} + \text{Desperdicios} + \text{Efluentes} \quad (7)$$

Donde:

Consumo fibra: Consumo de materia prima (ton/día).

Agua fresca: Flujo de agua fresca que entra al proceso (m³/día).

Papel: Cantidad de producto semielaborado de la máquina 4 (ton/día).

Lodos: Flujo de lodos de la planta de tratamiento (ton/día)

Desperdicios: Cantidad de desperdicios del proceso (ton/día).

Efluentes: Flujo volumétrico de los efluentes de la planta (m³/día).

El balance de masa del proceso se realizó en base seca, por lo cual se consideraron los porcentajes de humedad de cada corriente ya que altera de manera considerable los cálculos. En la ecuación (8), se presenta como queda el balance de masa después de incorporar las humedades en cada corriente:

$$\text{Consumo}_{\text{Fibra}} * (1 - (H_{\text{fibra}} / 100)) + \text{Agua}_{\text{fresca}} = (\text{Semielaborado} * ((1 - H_{\text{papel}}) / 100)) + \dots\dots$$

$$\dots\dots \text{Lodos} * (1 - (H_{\text{Lodos}} / 100)) * (1 - (C_{\text{lodos}} / 100)) + \text{Desperdicios} + \text{Efluentes} \quad (8)$$

Donde:

H_{fibra} : Porcentaje de humedad de la materia prima, constante igual a 12%.

H_{papel} : Porcentaje de humedad del semielaborado, constante igual a 6 %

H_{Lodos} : Porcentaje de humedad presente en los lodos (%).

C_{lodos} : Porcentaje de cenizas presente en los lodos (%).

Finalmente, se sustituyeron los valores correspondientes a cada corriente facilitados por el Departamento de Producción y de la Planta de Tratamiento de Efluentes y se aplicó la ecuación (8) para el desarrollo del balance de masa.

(b) Determinación de las pérdidas de fibra en la corriente de rechazos para cada uno de los equipos que generan pérdidas en el proceso.

Las pérdidas de fibra de los equipos fueron determinadas en las corrientes de rechazo de los equipos que generan desperdicio en el proceso, fue necesario conocer las características del flujo de rechazos de cada uno, para luego señalar que tipo de ensayo era necesario realizar y así conocer el comportamiento del equipo y los posibles problemas que incidieran en la generación de pérdidas de fibra. Con tal propósito se realizaron los siguientes pasos para determinación de las pérdidas de fibra del proceso de reciclado.

- Selección de corrientes para el muestreo

Inicialmente se realizó una clasificación de las distintas corrientes generadas de desperdicios o perdidas de fibra útil en la Planta de Reciclado. Para la selección de los parámetros a medir se dividió en cuatro etapas al proceso:

Desfibrado: esta etapa del proceso es por carga, por lo que los rechazos son retirados periódicamente y depositados en contenedores. Generalmente, se componen de contaminantes de gran proporción como plásticos, por esta razón, no se realizó

ningún tipo de ensayo solo se determinaron los parámetros de masa y humedad de los rechazos generados por el Contaminex y Tambor clasificador ya que no se producen pérdidas de fibra en estos equipos.

Depuración gruesa: en esta etapa se determinaron para las corrientes de rechazo del Limpiador centrífugo T2 y Spectro Screen 13, los parámetros de consistencia y flujo volumétrico de la corriente, como los rechazos caen a contenedores de forma rápida y es posible que pueda haber perdidas de fibra por lo que se realizan análisis de cenizas, para conocer la cantidad de fibra que se pierde por estos equipos.

Depuración fina: en esta etapa se toman muestras en las corrientes de rechazo de los limpiadores de baja densidad 3ra. etapa, Fine Screen 03 y limpiadores reversos 2da etapa, debido a la rapidez de rechazo de estos equipos y a que los contaminantes desalojados de los mismos se caracterizan por ser muy pequeños y con peso específico menor que el agua, por esta razón caen directamente a un canal colector que va hacia la PTE donde serán tratados como lodos. Es posible que en esta corriente ocurran pérdidas de fibra (útil y no útil) por lo cual se realizaron ensayos de para determinar los parámetros: flujo volumétrico, consistencia, cenizas y finos.

Lavado y blanqueo: en esta etapa solo se analizó la corriente de rechazo del lavador 03 para la cual se determinó el flujo volumétrico, consistencia, cenizas y fibra útil.

- Toma de muestra

Estas fueron obtenidas mediante toma muestras manuales instaladas en la salida del equipo en estudio, considerando como principales los que generaban mayor pérdidas de fibra útil. Las muestras se trasladaron al laboratorio donde fueron inmediatamente analizadas ya que las fibras absorben más humedad si se prolonga el tiempo del contacto con el agua antes de su análisis, variando el resultado de las mediciones.

Después de varias tomas de pruebas se determinó que el tiempo más recomendable es de 8:00 a 12:00 a.m. debido a la disponibilidad de los equipos para

procesar dichas muestras, adicionalmente se debe a la duración de los ensayos tanto de cenizas como de finos.

- Determinación de los parámetros flujo volumétrico, consistencia, cenizas y finos

Fueron determinados los parámetros: porcentaje de consistencia, porcentaje de cenizas y porcentaje de finos siguiendo los procedimientos establecido para los mismos en el manual de la empresa que se presentan a continuación:

Procedimiento para el porcentaje de consistencia.

El ensayo consiste en tomar una muestra que contengan de (5-10) gr y determinarle la cantidad de pasta seca presente en la mezcla homogénea. (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992)

- ✓ Una vez tomado los (5-10) gr de pasta se procede a filtrar al vacío la muestra, luego de extraerle todo el agua posible, se coloca en la estufa durante (20 - 30) min. aproximadamente a una temperatura de 105 °C.
- ✓ Luego de transcurrido el tiempo se pesa la muestra y se obtiene la consistencia mediante la ecuación (9):

$$K(\%) = \frac{m_{pasta\ seca}}{m_{pasta\ humeda}} * 100\% \quad (9) \quad (\text{Manual Kimberly Clark}$$

Venezuela, 1992)

Donde:

K: Porcentaje de consistencia (%).

$m_{pasta\ seca}$: Masa de la pasta seca (g).

$m_{pasta\ húmeda}$: Masa de la pasta húmeda (g).

Procedimiento para determinar del Porcentaje de de Cenizas (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992).

- ✓ Se toma 100mL o (10-15) g de pasta y se coloca en la estufa por un lapso de dos 2) horas aprox, hasta que la pasta perdiera la humedad.
- ✓ Luego se separa la muestra seca, se coloco 2g en un crisol previamente pesado y se introdujo en la mufla, equipo que trabaja a 600 °C por un lapso de 4 horas.
- ✓ Una vez transcurrido el tiempo se coloca en la estufa (para evitar la humedad) durante 5 min. Posteriormente al secador por otros 5 min.
- ✓ Finalmente se procede a pesar la muestra, se determinó las cenizas mediante la ecuación (10):

$$C(\%) = \frac{(m_{(crisol+muestra)} - m_{(crisolvacío)})}{m_{muestra}} * 100\% \quad (10) \quad (\text{Manual Kimberly Clark}$$

Venezuela, 1992)

Donde:

C: Porcentaje de material inorgánico en la muestra (%).

m_{crisol + muestra}: Masa del crisol y la muestra (g).

m_{crisol vacío}: Masa del crisol vacío (g).

m_{muestra}: Masa de la muestra a estudiar (g).

Procedimiento para determinar del Porcentaje de Finos (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992).

- ✓ Las muestras se pueden obtener a pequeña escala en el laboratorio o ellas pueden ser de diferentes puntos en el proceso de papel. El tamaño de la muestra debe estar diluido cerca de 500 mL de agua, pero que no exceda de 900 mL.
- ✓ Se acondiciona el equipo; la distancia entre el agitador y la malla debe ser de 1/8 de pulgada y que sea constante para todas las pruebas. El porta jarra permite que se quite y coloque sin cambiar esta distancia entre el agitador y la malla.

- ✓ Los empaques que se encuentran abajo y arriba de la malla se colocan de la siguiente manera: el empaque grueso debajo de la malla y el empaque delgado en el tope de la malla.
- ✓ Coloque la malla con la cara pulida hacia arriba en el tope del empaque delgado.
- ✓ Coloque el empaque grueso en el tope de la malla. Asegure la jarra. El aparato no puede presentar fugas.
- ✓ Secar el papel filtro por dos horas. Páselo luego al desecador por 5 min. enfríe antes de pesar con exactitud de 0.0001g.
- ✓ Seleccione el tamaño de la muestra, para que incluya mínimo 2g de sólidos (fibra y finos). Diluya a 500mL con agua de la llave.
- ✓ Vierta los 500mL dentro de la jarra y coloque la agitación a 1000 RPM para agitar momentáneamente; luego redúzcala a 750 RPM.
- ✓ Manteniendo la agitación, deje drenar y reciba el filtrado en beaker mientras sigue la agitación.
- ✓ Drene hasta que el nivel de agitación alcance el tope del agitador, pare el drenaje cerrando el tubo de caucho con la abrazadera y mezcle momentáneamente. Llene la jarra con 500mL de agua, agite por unos segundos y drene la jarra de nuevo.
- ✓ Repita los dos pasos anteriores hasta que el filtrado sea claro. Aproximadamente de 6 a 10 lavados usando beakers de vidrio para recoger el filtrado.
- ✓ El efluente que se recoge en el beaker, contiene las fracciones de finos y se debe filtrar en papel filtro. Para empezar el proceso de filtrado, empiece por los filtrados más claros y siga con los turbios.
- ✓ El material recogido en la malla es la fracción de fibras y debe ser filtrado en papel filtro. Cuidadosamente lave las paredes de la jarra para asegurarse que ninguna fracción de fibras, quede sin recogerse en el papel filtro, lave también el agitador.
- ✓ Cuando las filtraciones se han completado las esponjas de fibra y papel filtro se llevan a la estufa por dos horas a 105 °C. Luego colóquelas en el desecador por 5min y enfríe antes de pesar, y calcule el porcentaje de finos según la ecuación (11):

$$\% \text{ finos} = \frac{\text{Peso}_{\text{SecoFinos}}}{\text{Peso}_{\text{totalmuestra}}} * 100 \% \quad (11) \text{ (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992)}$$

Donde:

$\% \text{ finos}$: Porcentaje de finos presentes en una muestra (%)

$\text{Peso}_{\text{SecoFinos}}$: Sumatoria de los pesos secos de las muestras que se recogen en los beakers (g/mL).

$\text{Peso}_{\text{totalmuestra}}$: Sumatoria de los pesos secos de las muestras que se recogen en los beakers más el peso seco del material recogido en la malla (g/mL).

Luego para calcular el porcentaje de fibra útil se empleó la ecuación (12)

$$F_{\text{útil}} = (100 - \% \text{ finos}) \quad (12) \text{ (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992)}$$

Donde:

$F_{\text{útil}}$: Porcentaje de fibra útil presente en una muestra (%).

Para medir el flujo volumétrico de las corrientes de rechazo se realizó un aforo, que consistió en medir directamente el volumen en un recipiente y el tiempo con un cronometro (Ver procedimiento para el calcular el flujo volumétrico). Este método volumétrico es el más recomendable, sin embargo para algunos casos fue difícil de aplicar, ya que resulta útil para caudales pequeños y donde las características físicas lo permitían. Debido a lo anterior, se empleó también un método indirecto como medir otras variables físicas distintas del caudal, como por ejemplo la altura piezométrica, para luego aplicando los principios hidráulicos obtener dicho caudal.

Procedimiento para la determinación del flujo volumétrico (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992):

Equipos utilizados:

- ✓ Cronómetro, para contabilizar el tiempo en que se demora el llenado del tanque y así encontrar el caudal.
- ✓ Vasijas plásticas para toma de muestra y para medir el caudal puede ser balde.

Muestreo:

Para efectuar el muestreo, el tanque de rechazo debe de estar entre un 30% o 50%.

Procedimiento:

- ✓ Hallar el volumen del tanque que recibe estos rechazos. Este tanque es un cilindro y su volumen se determina con la ecuación (13):

$$V = \pi r^2 h \quad (13)$$

Donde:

V: Volumen (cm³).

h: Altura (cm).

r: Radio (cm).

π : Factor: 3,1416.

Esta h es tomada donde se empieza a contabilizar el llenado, hasta donde se termina de medir este caudal.

- ✓ Medir el caudal con la ecuación (14):

$$Q = \frac{V}{T} * 100 \quad (14)$$

Donde:

Q : Flujo Volumétrico (l/s).

V : Volumen hallados en la ecuación (13) (cm³).

T : Tiempo en segundos que se registras al llenado del tanque, hasta la altura h que es la utilizada en encontrar el volumen (s).

- Registro de los parámetros necesarios para la determinación de pérdidas de fibra en los equipos. Ver tabla N° 4.

- Seguidamente se procedió a calcular los flujos máxicos a partir los parámetros determinados anteriormente.

Las ecuaciones que se emplearon para este cálculo son las siguientes:

Para el cálculo del flujo máxico en la corriente (i) a partir del caudal se empleó la ecuación (15):

$$\dot{m}_{(i)} = Q_{(i)} * (K_{(i)}) * fc \quad (15)$$

Donde:

$\dot{m}_{(i)}$: Flujo máxico de la corriente (i) (ton/día).

$Q_{(i)}$: Flujo volumétrico de la corriente (i) (Lt/min).

$K_{(i)}$: Consistencia de la corriente (i) (kg/Lt).

fc : Factor de Conversión igual a 0,0144 para transformar el flujo máxico de (kg/min) a (ton/día).

El flujo máxico de fibra útil presente en una corriente, se determinó mediante la ecuación (16):

$$\dot{m}_{f\acute{u}til(i)} = (1 - (C_i / 100) * (F_{\acute{u}til(i)} / 100)) * \dot{m}_{(i)} \quad (16)$$

Donde

$\dot{m}_{f\acute{u}til(i)}$: Flujo máxico de fibra útil presente en la corriente (i) (ton/día).

$F_{\acute{u}til(i)}$: Porcentaje de fibra útil presente en la corriente (i) (%).

$C_{(i)}$: Porcentaje de cenizas presente en la corriente i (%).

En la tabla N°4, se presenta el formato utilizado para la recolección de los datos necesarios para el estudio de pérdidas de fibra.

Tabla N°4. Formato empleado para la determinación de las pérdidas de fibra en los equipos.

						Fecha	
CONTROL PROCESOS DIARIO PERDIDA DE FIBRARF						Producto	
	Equipos	Variables	Unidad	Frecuencia	Turno 1	Fuera de Rango	NOTAS FUERA DE RANGO
PULPEO	Bar- Screen	Peso	Kg	1 / Dia			
		Humedad	%	1 / Dia			
	Contaminex	Peso	Kg	1 / Dia			
		Humedad	%	1 / Dia			
	Tambor Clasificador	Peso	Kg	1 / Dia			
		Humedad	%	1 / Dia			
DEPURACION GRUESA	Limpiador Centrifugo T2	Consistencia	%	1 / Dia			
		Flujo	Lt / min	1 / Dia			
	Spectro Screen 13	Consistencia	%	1 / Dia			
		Cenizas	%	1 / Dia			
		Tiempo Trabajo	min.	1 / Dia			
	DEPURACION FINA	Limpiadores de Baja Densidad 3 Etapa	Consistencia	%	1 / Dia		
Fibra útil			%	1 / Dia			
Cenizas			%	1 / Dia			
Flujo (Promedio)			Lt / min	1 / Dia			
Fine Screen N° 3		Consistencia	%	1 / Dia			
		Fibra útil	%	1 / Dia			
		Cenizas	%	1 / Dia			
		Flujo (Promedio)	Lt / min	1 / Dia			
Limpiadores Reversos 2 Etapa		Consistencia	%	1 / Dia			
		Fibra útil	%	1 / Dia			
		Cenizas	%	1 / Dia			
		Flujo (Promedio)	Lt / min	1 / Dia			
LAVADO	Lavador 3	Consistencia	%	1 / Dia			
		Fibra útil	%	1 / Dia			
		Cenizas	min.	1 / Dia			

(c) Análisis de los resultados obtenidos de las pérdidas de fibra de cada equipo y del proceso completo por el balance de masa global.

Se analizó la cantidad de fibra que se pierde en cada equipo o las pérdidas que produce un equipo en específico y se compararon con las establecidas por la empresa

según cada etapa del proceso. Además, se emplearon gráficas de apoyo que permitieron comparar cual equipo tenía mayores pérdidas de fibra. Luego con los resultados del balance de masa global se pudo comparar el porcentaje de desperdicio teórico con el obtenido experimentalmente mediante la sumatoria de pérdidas de fibras de los equipos. Por último, se compara, la cantidad de fibra útil (ton/día) que se pierden en los equipos de rechazo con la fibra útil del lodo reportada por la empresa para verificar los resultados.

(d) Cuantificación de las pérdidas económicas en el proceso de reciclado

Para esto se calcularon los costos totales de producción hasta la elaboración del semielaborado (bobinas) y con los flujos másicos de la fibra que se pierde por los rechazos, se calcularon las pérdidas monetarias por causa de la pérdida de fibra útil y no útil para cada equipo y en todo el proceso. Este cálculo se realizó mediante la ecuación (17), para cuantificar las pérdidas monetarias.

$$Costo = (Valor_{asociado} * \dot{m}) \quad (17)$$

Donde:

Costo : Costo de las pérdidas de fibra (\$/día).

Valor_{asociado}: El costo asociado para transformar la materia prima en semielaborado (\$/ton).

m : Flujo másico total de salida de la planta de reciclado o la producción de la máquina según sea el caso (ton/día).

ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE GENERAN LAS PÉRDIDAS DE FIBRA EN TODAS LAS ETAPAS DEL PROCESO

Para llevarse a cabo este objetivo se realizaron varias actividades que son mencionadas a continuación:

(a) Elaboración de un diagrama causa – efecto (Diagrama de espina) que logre esquematizar las variables que afectan el desempeño del equipo.

Se realizó el diagrama de espina para el cual era necesario conocer principalmente todo lo relacionado al proceso de reciclado de papel, posteriormente se realizó un recorrido a través de las instalaciones y equipos, visualizando la contribución de las variables en el proceso, con la finalidad de esquematizar todos los factores que perturban el desempeño del equipo en un diagrama causa-efecto, enfocando las variables antes dilucidadas en cinco categorías conocidas como las 5M: materia prima, mano de obra, medición, maquinaria y método. Por último, se estudió las variables representadas en el diagrama, en base al grado de incidencia que posean éstas sobre la cantidad de fibra útil perdida. El anexo N°14 de este informe, muestra un ejemplo de un diagrama causa- efecto.

(b) Aplicación de la técnica de análisis de Pareto.

Se realizó un Diagrama de Pareto con el fin de determinar la causa principal de las pérdidas de fibra y para su construcción fue necesaria la secuencia de los siguientes pasos:

- Se decidió el problema a investigar (la pérdida de fibra).
- Luego se decidió que datos se van a emplear y cómo clasificaron. (Se necesitaron los porcentajes de pérdida de fibra en cada área y se clasificarán según la variable que proporcione mayores pérdidas).
- Se definió el método de recolección de los datos y el período de duración de la recolección. (Muestreo diario durante 3 meses).
- Se diseñó una tabla para conteos de datos.
- Se elaboró una tabla de datos para el diagrama de Pareto con la lista de ítems, los totales individuales, los totales acumulados, la composición porcentual y los porcentajes acumulados.
- Posteriormente se organizaron los ítems por orden de cantidad.

Por último, se dibujaron dos ejes verticales y un eje horizontal, donde el eje vertical izquierdo con una escala desde cero hasta el total general de la contribución de la pérdida de fibra y el eje vertical derecho con una escala del 0% hasta 100% del porcentaje acumulado; el eje horizontal se dividió en la cantidad de ítems clasificados

y finalmente se procedió a construir el diagrama de la barras, dibujando la curva acumulada. En la sección de anexos se muestra un ejemplo del diagrama de Pareto, en el anexo N°15.

GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A FIN DE OBTENER PROPUESTAS QUE MINIMICEN LAS PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE RECICLADO

Se realizaron entrevistas a los operarios y al personal de mantenimiento con el fin de conocer cuáles son los mejores parámetros de operación de los equipos ya que ellos son quienes están constantemente involucrados en el proceso. Adicionalmente, se aplicó la técnica de tormentas de ideas acerca de las posibles variaciones que se puedan realizar al proceso de reciclado y de las variables que más influyen en la generación de desperdicio del proceso.

Posteriormente al estudio detallado de los equipos y el proceso en general, se realizó una pre-selección de alternativas de solución a los problemas que se tiene bajo estudio (el más importante es la disminución de las pérdidas de fibra en el proceso).

SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN MÁS APROPIADAS

Se diseñó una matriz de selección con el fin de escoger la alternativa más adecuada que se adaptara a la disponibilidad de la empresa.

En esta matriz se consideraron como factores influyentes: el costo de la implementación de la alternativa (Costo), la necesidad de personal para instalación, operación y mantenimiento (Requerimiento de Personal), el grado de mejoría que es capaz de propiciar al problema (Mejoría), las posibles complicaciones que puedan generarse para la instalación de la alternativa, bien sea por espacio o paradas de planta (Requerimiento de Instalación) y por último si requiere de inducción al personal que llevara a cabo el desarrollo de la alternativa (Entrenamiento operacional).

A continuación, se muestra en la tabla N° 5, la matriz de selección para las propuestas generadas:

Tabla N°5. Matriz de Selección de las alternativas de solución propuestas

Factores	Valoración	Alternativa N°1		Alternativa N°2	
	(1-100)%	(1-5)	Ponderación	(1-5)	Ponderación
Costos					
Requerimiento de Personal					
Mejoría					
Requerimiento de Instalación					
Entrenamiento operacional					
		Suma		Suma	

La incidencia de los factores se estimó del uno (1) al cinco (5), asignando cinco (5) al factor cuya importancia en el momento de evaluar la mejor alternativa es mayor, y disminuyendo hasta el uno (1) representado por el factor con menor incidencia dentro de los considerados. Con respecto a la ponderación de cada factor según la alternativa, los valores de las ponderaciones estarán regulados dentro de una escala del uno (1) al cien (100), donde cien (100) representa que la alternativa que según ese factor es excelente. Es importante destacar, que varias alternativas pueden poseer la misma ponderación en un mismo factor y que finalmente las alternativas seleccionadas corresponden a las que presenten un mayor valor final, representado por la sumatoria de la multiplicación de las ponderaciones por sus respectivas incidencias.

DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS SOLUCIÓN MÁS APROPIADAS

Para estudiar la factibilidad económica de cada alternativa de solución, se llevo a cabo un estudio de horizonte económico de 10 años que permite analizar cuál de las alternativas de solución es la más viable para la empresa, según los criterios de interés de la misma. Se tomaron como aspectos importantes en este estudio: el costo

de la inversión inicial y la mejoría que se obtiene con la implementación de la alternativa de solución recomendada. La realización de la evaluación económica involucra:

- Definición del tiempo de estudio (10 años).
- Estimación del costo de la inversión
- Costo de los equipos.
- Costo de instalación.
- Cálculo de indicadores de rentabilidad (TIR, Tiempo de pago).
- Cálculo del flujo extra, obtenido a través de la comparación de cada una de las alternativas con la situación actual.

A continuación se presentan las ecuaciones empleadas para el estudio económico.

La inversión inicial se obtuvo con la ecuación (18) (Gómez y Núñez, 2004):

$$II = Ceq + Cinst \quad (18)$$

Donde:

II: Inversión inicial (\$).

Ceq: Costo total de equipos requeridos para la propuesta de mejoras (\$).

Cinst: Costo total de instalación (\$).

El costo de instalación de la alternativa, se calculó considerando un porcentaje de 30% del costo total de los equipos con la ecuación (19) (Gómez y Núñez, 2004):

$$Cinst = 0,30 * Ceq \quad (19)$$

El cálculo del flujo extra, se obtuvo a través de la comparación de cada una de las alternativas con la situación actual. Se emplearon las ecuaciones (20), (21), (22) y (23) presentadas a continuación (Gómez y Núñez, 2004):

$$Ah = CA - CM \quad (20)$$

Donde:

Ah: Ahorro anual (\$).

CA: Costo Actual anual (\$).

CM: Costo anual después de haber implementado la mejora (\$).

$$Ft = Ah - II + VF \quad (21)$$

Donde:

Ft : Flujos monetarios (\$).

VF: Precio de venta de los equipos al final del proyecto (\$).

$$VF = Ceq - (p - 1) * Dep \quad (22)$$

$$Dep = (Ceq * 0,1) \quad (23)$$

Donde:

P: Años de vida del proyecto (año).

Dep: Depreciación de los equipos (\$/año).

Para este estudio en particular se aplicaron los métodos de valor presente y TIR para la comparación entre alternativas.

Posteriormente, una vez obtenida la mejor opción (la más rentable), fue escogida la alternativa de solución según los beneficios, necesidades y recursos de la empresa.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la investigación.

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA IDENTIFICAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS.

Un factor importante a nivel de operaciones de la Planta de Reciclado, está relacionado a las actuales condiciones de operación de cada uno de los equipos pertenecientes a cada etapa del proceso, ya que de no presentar estabilidad en sus parámetros, no se podría garantizar el buen funcionamiento de la Máquina o equipo tanto en eficiencia operativa como en remoción de contaminantes, eficiencia operativa en pérdida de fibra y óptimas condiciones de seguridad para evitar accidentes.

A continuación se presentan los resultados de las mediciones de las variables operacionales: diferencial de presión y consistencia de entrada con su verificación con los límites de especificación.

Los límites de especificación, son establecidos por la empresa en base a la experiencia de funcionamiento de los equipos ante un producto en particular. Para las gráficas que se muestran en las figuras N° 7 y 8, estos son representados con la línea roja para el límite superior (LS) y con la línea verde para el límite inferior (LI).

En la figura N° 7, se visualizan los gráficos del diferencial de presión para los equipos que generan pérdidas de fibra de forma no recuperable al proceso.

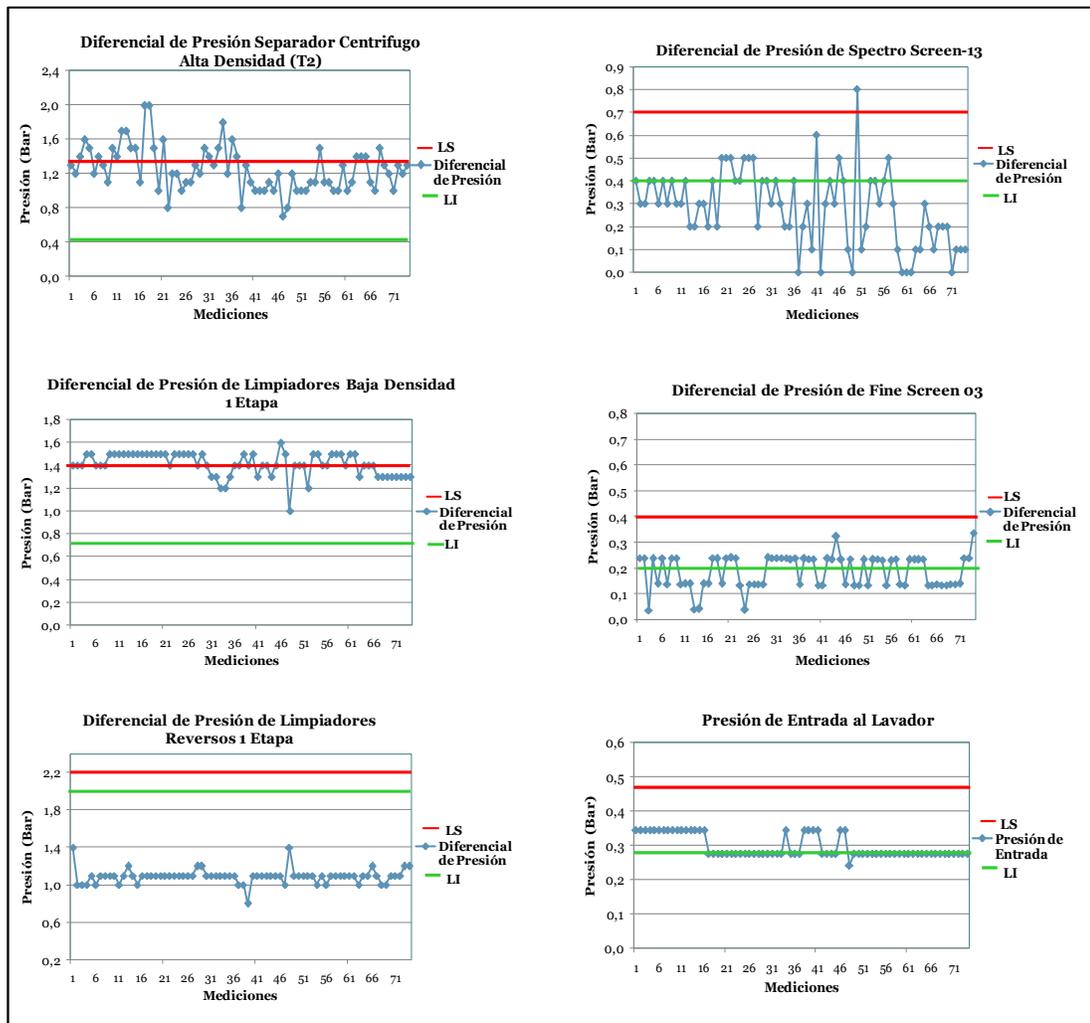


Figura N°7. Variabilidad del diferencial de presión de equipos de la planta de Reciclado.

De acuerdo con la figura N°7, la mayoría de los puntos de diferencial de presión del separador centrifugo T2, se encuentra dentro de los límites de especificación (0,4-1,3 bar); sin embargo, se evidencian ciertos puntos por encima de los límites y esto se debe a la caída de presión de la pasta aceptada por causa de la obstrucción del manómetro con pasta seca atascada, otra causa de este resultado es que la presión del agua del lavado era menor que la presión de pasta aceptada, lo que ocasionaba una sobrepresión dentro del equipo que impedía el paso del agua necesaria para la limpieza del mismo. Así mismo, se visualizan diferentes picos, que muestran la operación inestable de este equipo y esto concuerda con lo que ocurre en

el proceso ya que la alimentación a este equipo viene de la pileta 01 (P-01), la cual presenta variaciones en la consistencia de la pasta porque recibe pasta a diferentes consistencias provenientes: del aceptado del pulper 4 (consistencias de 4 a 5 %), aceptado de Spectro-Screen 13 (consistencias entre 2 y 3 %) y de la AK-4 (consistencias entre 0,5-1 %), este último ocurre solo cuando los recortes de Máquina luego de ser recuperados en el hidrapulper son enviado al tanque de almacenamiento P-02 o P-01.

Por otro lado, los diferenciales de presión obtenidos para el Spectro-Screen 13, en su mayoría se encuentra por debajo de límites especificación establecidos entre 0,4 y 0,7 bar, la razón fundamental es que la válvula de cuchilla de rechazo presentaba una fuga por lo cual la presión de salida aumentaba igualando cada vez más a la presión de entrada y de aquí su cercanía a cero. Pero las consecuencias generadas por este hecho es que el rechazo de pasta con respecto a los contaminantes era cada vez mayor. Al igual que el equipo anterior la operación no es estable ya que se ve afectada por los cambios constantes de la consistencia de entrada de la pasta.

Con respecto a los limpiadores de baja densidad, se observó que el equipo presentaba una operación más estable comparada con los equipos anteriores, la razón fundamental es que antes de la alimentación de estos equipos, la pasta proveniente de la etapa de depuración gruesa es diluida con agua clarificada lo que permite mantener estable la consistencia de entrada, la cual afecta directamente en la eliminación de impurezas no deseada. Se observa además, una oscilación de diferencial de presión en gran parte de las mediciones, la causa de esto es que para esos días el sistema de clarificación de agua Delta-Purgue, no estaba en funcionamiento y que el agua proveniente de la etapa de lavado era enviada directamente al tanque de dilución de los limpiadores de baja densidad sin previo tratamiento. Por otro lado, los diferenciales de presión se mantienen fuera del rango establecido, esto se debe a los instrumentos de medición que no están adecuados para el rango de diferencial de presión que los manuales de operación recomiendan.

Para el Fine Screen N° 3, se observa una oscilación constante del diferencial de presión en un rango (0,1 - 0,25) bar, adicionalmente, se aprecia a la mayoría de los puntos por debajo de estos límites, razón que se atribuye a la instrumentación, la cual no es la adecuada según el rango de operación de estos equipos. Sin embargo, la operación del Fine creen N° 3 es estable a pesar de ciertos picos que se deben principalmente a que este equipo opera en tres ciclos, el primero de producción (duración 2 minutos), donde se mantiene cerrada la válvula de cuchilla de rechazo, en el siguiente ciclo de lavado, se cierra la válvula de alimentación y se abre la de agua recuperada para el lavado manteniéndose el rechazo cerrado (duración 40 segundos) y el último ciclo es el de rechazo (duración 20 segundos), donde se cierra el agua de lavado y el aceptado de la pasta y se abre únicamente la válvula de rechazo. Por esta razón la presión de alimentación cambia en cada ciclo originándose una alternancia en las mediciones.

Con respecto a los limpiadores reversos, se observó que el equipo presentaba una operación estable, manteniéndose la mayoría de los puntos por fuera de los límites establecidos, este comportamiento similar se muestra para el lavador , donde la mayoría de las mediciones de la presión son constantes y se encuentran cercano al límite inferior a excepción de unos puntos que se encuentra por debajo del límite de especificación, causa que se atribuye algún cambio en el proceso (consistencia baja, liquidación de piletas, cambios de producción, entre otros.)

Una de las razones de que mayoría de los quipos presentan diferenciales de presión muy por encima o muy por debajo se debe a los instrumentos de medición que no están adecuados para el rango de diferencial de presión que los manuales de operación recomiendan.

Comparando los gráficos entre sí, se observa una alteración del proceso, entre las mediciones 41 y 61 como la medición era hecha a la vez para todos los equipos, una causa común en el proceso, que para esa fecha se tranco el equipo Spectro Screen 23 por causa de material difícil de desfibrar lo que ocasiono una tranca en todos los demás equipos.

La importancia de controlar la caída de presión o diferencial de presión es que

es proporcional al flujo de aceptado, un control ineficiente de esta variable de proceso causa operación inestable, vibraciones y fallas en sellos mecánicos, así como rechazo de pérdida de fibra injustificado en el proceso de RF.

Otra variable fundamental de este proceso es la consistencia, que también es conocida como densidad o viscosidad de la pasta (suspensión de fibra en agua). Esta variable fue determinada de forma experimental y en la figura N° 8 se presentan los valores obtenidos y su comparación con los límites establecidos de consistencia para cada equipo.

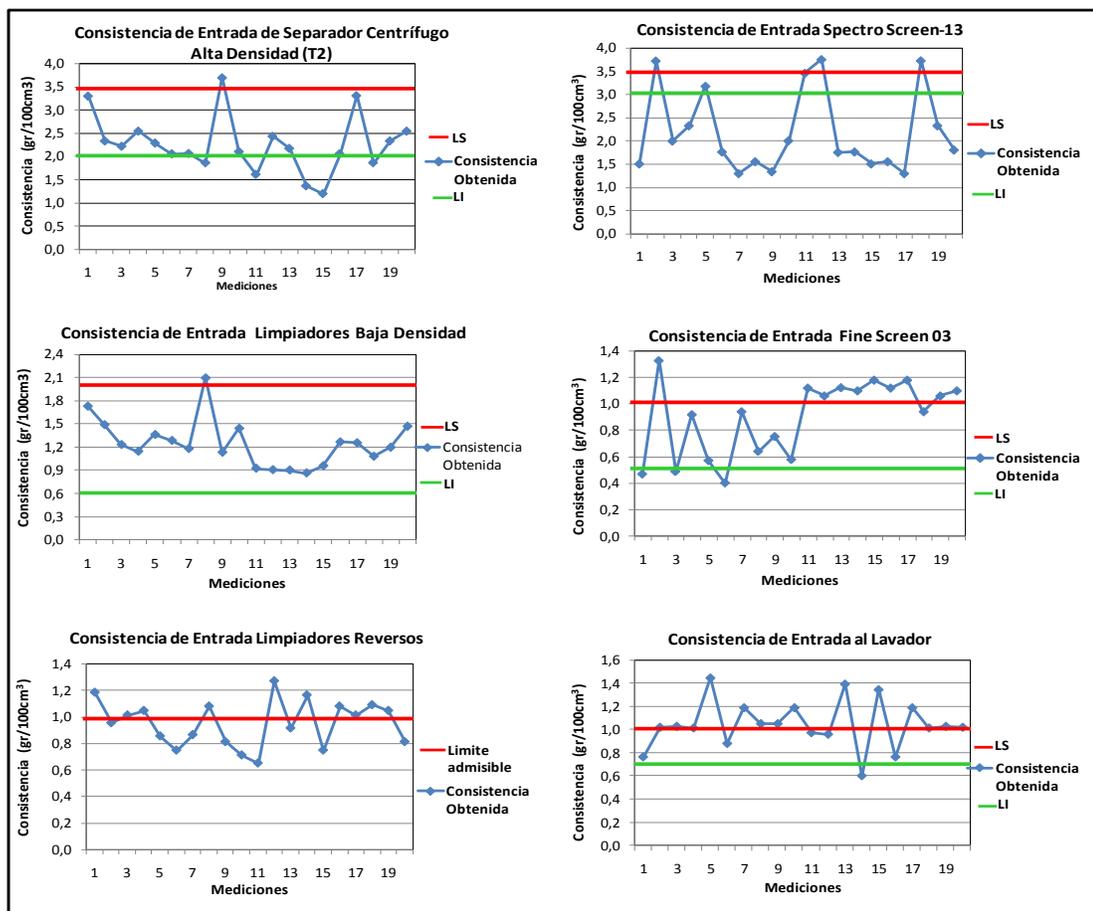


Figura N°8. Variabilidad de consistencia de entrada de equipos con rechazo final de planta de Reciclado.

En la figura N°8 se observa que para todos los equipos la consistencia de la pasta a la entrada muestra una gran inestabilidad. Los equipos que presentan consistencia de entrada de pasta dentro de los límites establecidos son: el separador

centrífugo de alta densidad T2, Limpiadores de baja densidad, el Fine Screen 03 y los limpiadores reversos. Mientras que el Spectro- Screen 13 y el lavador 03 presentan este parámetro por fuera de los límites. La eficiencia de la depuración queda afectada adversamente a medida que la consistencia aumenta. Este resultado era de esperarse, ya que la planta no lleva un seguimiento para el control de esta variable, como se lleva para la variable de presión de entrada y salida de los equipos. Así mismo, cabe destacar, que la consistencia solo es tomada en cuenta en puntos estratégicos del proceso como la salida del Pulper, en el tanque de baja consistencia, tanque de pasta lavada, entrada de torre de peróxido, tanque de máquina y tanque Flootek y el procedimiento empleado por los técnicos para su determinación no es el indicado por el manual, por lo que su cálculo no es adecuado.

A pesar de la importancia de esta variable para la eficiencia y buen funcionamiento de los equipos, como en el caso de los limpiadores de baja densidad donde una elevada consistencia causa el taponamiento de estos equipos ocasionando desbordamiento de pasta y creando vacío en la línea de pasta aceptada que alimenta a los equipos aguas abajo. Cuando se presenta una situación de alta consistencia, los operadores de la planta reducen la misma manipulando el flujo de entrada, para lo cual mantienen una apertura de la válvula de paso de 20 a 30%, pero esta acción se hace después que ocurre la situación, más no controla la problemática, debido a que la empresa no ha tomado las medidas necesarias para la colocación de medidores de consistencia y así evitar pérdidas por paradas no programadas por causa desbordamiento y obstrucción de equipos.

La consideración más importante para tener una operación eficiente y estable es mantener el flujo y la consistencia cerca de los niveles óptimos. Los problemas de funcionamiento son normalmente debidos a que la carga está por encima o por debajo de las especificaciones de los equipo; sin embargo, se observó que es posible un campo de funcionamiento bastante amplio entre ambos extremos.

Otro factor importante en el funcionamiento de los equipos es tener un control adecuado de la cantidad de agua de dilución para impedir el rechazo de una cantidad excesiva de buenas fibras (demasiada dilución) o permitiendo que una

cantidad considerable de impurezas pase a través de las aberturas de la plancha tamices (dilución insuficiente), lo cual no se lleva a cabo hoy en día en la planta, ya que la mayoría de los equipos operan con dilución constante y otros como es el caso del Fine Screen N°3, donde la dilución varia debido a que los operadores abren y cierra manualmente las válvulas de paso de agua de dilución, con el fin de no dejar pasar contaminantes en el aceptado del equipo.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA FIBRA SECUNDARIA DEL TIPO ARCHIVO NACIONAL EN CUANTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD, A FIN DE DETERMINAR SU CONTRIBUCIÓN A LA GENERACIÓN DE PÉRDIDAS EN EL PROCESO

Una de las causas fundamentales de la pérdida de fibra y por ende un porcentaje de desperdicio fuera de control viene dado por la materia prima utilizada en la fabricación de los Semielaborado en MP4. La materia prima en cuestión es la Nacional, en especial el Archivo Blanco Impreso que representa la base fundamental para la formulación de los diferentes productos (Higiénico Scott, Lirio, Toalla y Servilleta).

En la figura N°9, se puede mostrar la influencia que tiene el archivo nacional con la generación de un porcentaje de pérdidas por encima del 35%, establecido como objetivo de la empresa.

Como se aprecia en la figura N°9 el aumento en el consumo de fibra nacional archivo blanco impreso en la formulación para la producción de los semielaborado genera un impacto con respecto al comportamiento del porcentaje de pérdidas. A mayor consumo de fibra nacional se presenta mayor porcentaje de pérdidas y viceversa o mejor dicho, a mayor consumo de fibra importada menor porcentaje de pérdidas, la razón de esto se fundamenta en la calidad del material que se consume en el proceso. La fibra reciclada importada presenta mayor calidad en cuanto al contenido de humedad de las pacas, por estar completamente compactadas y sin cartón, además por provenir de fuentes recicladoras de papel que manejan los

términos de los tipos de clasificación del archivo, no presentan contaminantes indeseables al proceso, como plásticos, ganchos, animes, entre otros. Estas fibras son de mayor aprovechamiento para el proceso que las fibras reciclada nacional, sin embargo los costos son mayores por lo que es necesario mantener una formulación que permita mantener una buena relación calidad-costos.

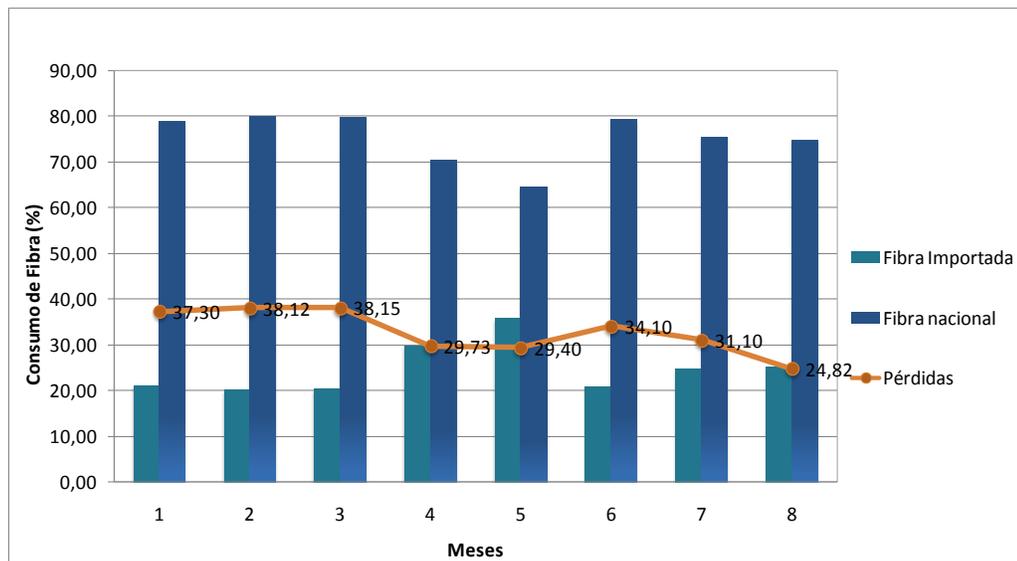


Figura N°9. Impacto del consumo de Fibra Nacional en el porcentaje de Desperdicio.

Aquí se pueden destacar tres etapas fundamentales llevadas a cabo en este estudio, que podemos dividir en etapa inicial, etapa media y etapa final. Las cuales serán explicadas a continuación:

- Etapa inicial

Esta la componen los tres primeros meses de evaluación de materia prima. La formulación corresponde a 80% nacional y 20% importada y se observa que el porcentaje de desperdicio se mantuvo por encima del objetivo que corresponde a un 35% con respecto a la alimentación.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas a este material, se identificaron diferentes elementos que contribuyen a la desviación del porcentaje de pérdidas. Las cuales se mencionan a continuación:

- (a) Contenido de humedad en el interior del material
- (b) Exceso de capas de cartón para la compactación
- (c) Exceso de contenido de plásticos
- (d) Materiales fuera de especificación con alta resistencia en húmedo difícil desfibrar.

De todas las anteriores, se toma el contenido de humedad como la más influyente en la generación de pérdidas porque afecta directamente al peso de las pacas de fibras consumidas obteniendo un cálculo erróneo del porcentaje de pérdidas. Sin embargo, para comprobar lo dicho anteriormente se decidió cuantificar en qué grado contribuye cada uno de los elementos anteriores en la generación de pérdidas, para esto se llevó un registro no solo del contenido de humedad y peso de las pacas de fibra de archivo blanco impreso; sino además, del contenido plásticos y cartón presentes en las pacas de materia prima.

En la tabla N° 6, se presenta los resultados, luego de pesar cada uno de los contenedores durante un cabo de tres meses aproximados.

Tabla N° 6. Masa promedio de rechazo en los contenedores de la etapa desfibrado con su respectivo porcentaje de humedad promedio.

Contenedores	Humedad Promedio (%)	Masa Húmeda (ton/mes)	Masa Seca (ton/mes)
Contaminex	75,40	17,25	4,24
Tambor C.	68,15	47,84	15,24
Recuperador P.	65,58	12,35	4,25
Cartón	48,38	37,24	19,22
Total		114,68	42,95

En la tabla N° 6, se observó que los contenedores donde se depositaba mayor desperdicio son los correspondientes al rechazo del tambor clasificador y de cartón. Pero, si se suma por contaminantes se obtiene que el material indeseable al proceso con mayor contenido en la pacas de fibra nacional son los plásticos.

Una vez conocido el desperdicio generado en el proceso se obtienen las pérdidas por humedad a través de un balance global, empleando para este cálculo los datos suministrados por el departamento de control y producción.

En la figura N°10, se compara la contribución de cada elemento causante de pérdidas por parte de la materia prima archivo nacional.

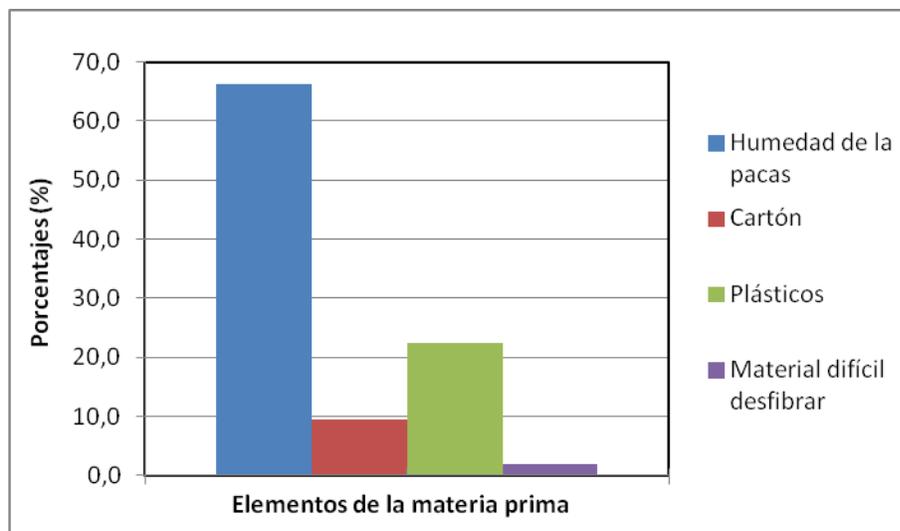


Figura N°10. Contribución de los elementos asociados a la materia prima Archivo Blanco Impreso en la generación de pérdidas.

El contenido de humedad en el interior del material es el elemento de mayor impacto con un 66%, en la desviación del porcentaje de perdidas como se puede apreciar en la figura N° 10. A medida que el contenido de agua absorbido por la fibra aumenta, la probabilidad que reduzca la resistencia y las propiedades de la fibra sean afectadas por la descomposición disminuyendo así el aprovechamiento en el proceso de reciclado.

El exceso del contenido de plásticos representa un 20,5%, este valor era de esperarse, ya que la fibra reciclada nacional en su gran mayoría está conformada por productos post-consumidor recolectados en los vertederos de la región. Estas fuentes hacen que en su gran mayoría la materia prima recolectada este mezclada con materiales prohibidos como los plásticos, gomas, animes, madera entre otros. Es por

ello, que no se puede controlar el impacto de esto, sin embargo, se aprecia el gran volumen de estos materiales prohibidos en los rechazos de los equipos de Depuración Gruesa, causantes de: taponamientos, reboses de tanques, retrabajo, retraso, desviación en la producción y variación de gasto por formulación entre otras.

Otro elemento notorio con 10% es el exceso de capas de cartón para la compactación, esto se debe a que el cartón utilizado para compactar el Blanco Impreso no es contabilizado y en tal sentido no existe un parámetro exacto de medición para controlar este elemento que además es de suma importancia su completa remoción ya que forma parte de los materiales no deseado en el proceso por contener alto contenido de lignina que impide el blanqueo de las fibras y es la causante de color amarillento en el papel.

Por último, se observa que los materiales difícil desfibrar aportan un porcentaje mínimo en la desviación del porcentaje de pérdidas por materia prima. Pero es importante mencionar que estos materiales fuera de especificaciones vienen asociados al mismo tema de la fuente, es decir, la fuente no maneja la clasificación adecuada y no garantiza el material requerido por el cliente y por ser materiales de difícil desfibrado son expulsados por los equipos de depuración gruesa, causantes de: taponamientos de equipos y reboses de tanques.

- Etapa media

En esta etapa la formulación cambia, se consume mayor cantidad de fibra importada y por ser de mejor calidad disminuye el porcentaje de pérdidas pero incrementó los costos de producción, por lo cual se planteó una estrategia que permitiera mejorar la calidad de la fibra nacional.

Debido a la dificultad de controlar el contenido de plásticos, tapas de cartón y material difícil de desfibrar en las pacas de materia primas y a la necesidad de llevar un control adecuado del porcentaje de humedad de las pacas, se realizó una evaluación a la Fibra Nacional, específicamente Blanco Impreso. Para esto se llevó a cabo un registro de la humedad empleando como procedimiento el indicado en la

metodología de este objetivo, distinto al que actualmente se lleva a cabo en la recepción de fibra, ya que el análisis para determinar el porcentaje de humedad de un lote en específico, es vulnerable en generar error en el resultado final por la manera de realizar a la muestra del lote el estudio correspondiente, empleando un equipo de medición directa que no es 100% fiable, porque la longitud de la varilla de detección de humedad, no abarca toda la longitud de la paca. Por lo que queda un área fuera de alcance donde no es posible determinar si el material en el interior de la paca contiene un porcentaje de humedad superior al 12% admisible.

La estrategia planteada permitió controlar la humedad del material y por consiguiente disminuir el porcentaje de pérdidas de la empresa, tal como se observa en la figura N°9, para los meses 4, 5 y 6 de estudio, donde disminuyó notoriamente encontrándose por debajo del límite establecido por la empresa. Esto, sin duda da como resultado, que el alto contenido de humedad de pacas como factor importante de generación de las pérdidas.

- Etapa final

Esta etapa se encuentra representada en la figura N° 9. En los meses 7 y 8 de estudio, se observa que el porcentaje de pérdidas continúa manteniéndose dentro del valor establecido ya que en esta etapa se hizo un seguimiento a los proveedores principales de la fibra nacional para verificar las condiciones de la humedad de las pacas, debido a que esta problemática no radica en la entrada del proceso, sino antes a la llegada de las pacas al patio de fibras y porque es necesario mantener una formulación constante para disminuir los costos de producción.

En la figura N°11 se muestra el estudio de humedad de las pacas de fibra de archivo nacional a los principales proveedores de material de blanco impreso.

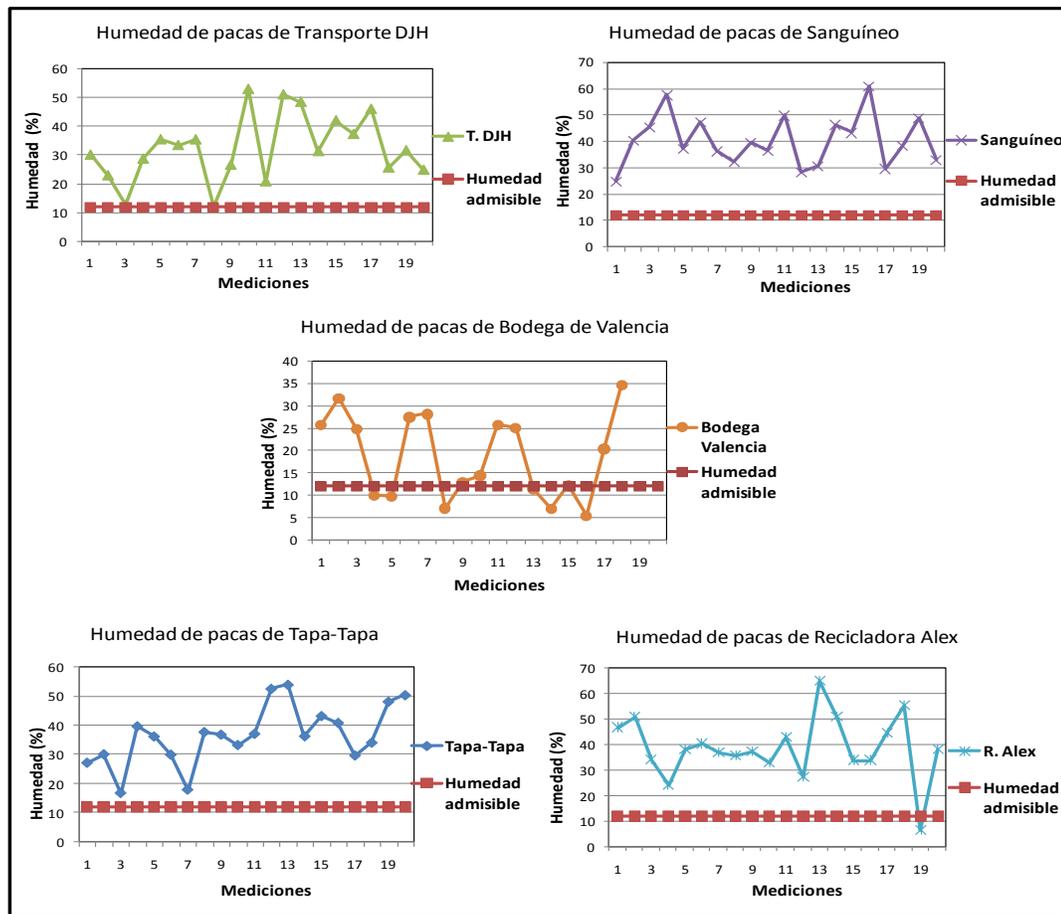


Figura N°11. Variabilidad del porcentaje de humedad de las pacas de fibra secundaria de los principales proveedores de fibra nacional de Archivo Blanco Impreso.

Se observa que todos los proveedores superan el porcentaje de humedad de las pacas admisible al proceso. Sin embargo, hay quienes mantienen menores porcentajes de humedad como es el caso de la bodega de Valencia, para la cual cabe mencionar que es un proveedor asociado a la empresa, por lo que cumple con el control de calidad establecido en la empresa en cuanto a contaminantes, humedad, blancura, compactación, entre otras especificaciones.

En la figura N°12 se confirma lo mencionado anteriormente, ya que se observa un comportamiento similar en ambas curvas, tanto el porcentaje de humedad como el de pérdidas disminuyen a partir del cuarto mes, la caída abrupta de la humedad se debe a que hubo mayor consumo del proveedor bodega de Valencia, así mismo de fibra importada.

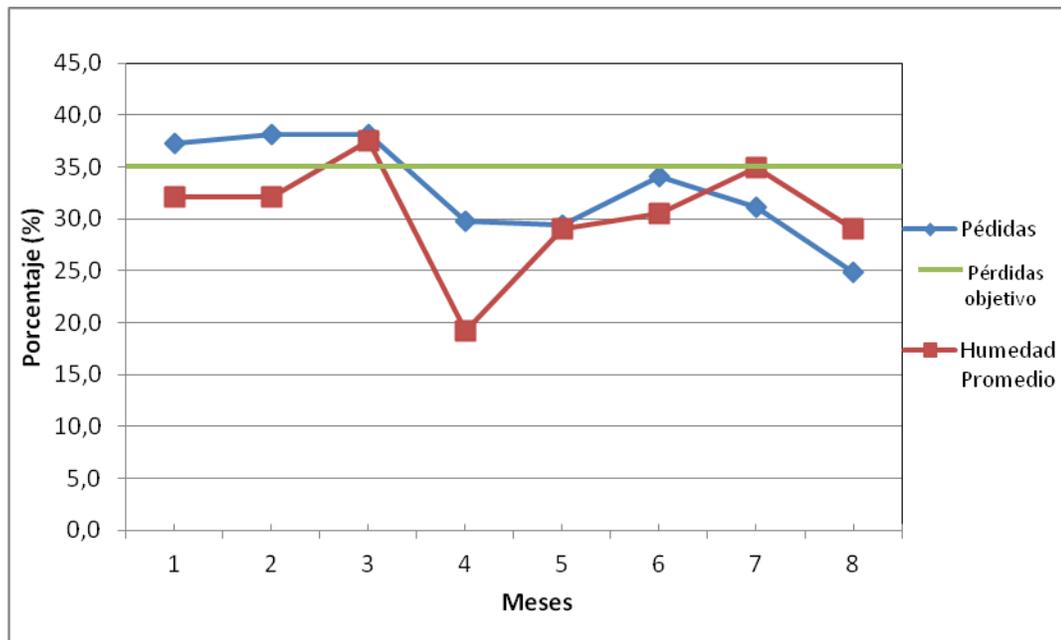


Figura N°12. Comparación del porcentaje promedio de humedad de pacas de archivo nacional con respecto al porcentaje de pérdidas registradas durante los meses de estudio.

En los meses siguientes se registran un porcentaje de pérdidas por debajo del valor objetivo, hecho que se obtiene luego de hacer seguimiento a los proveedores, ejecutar acciones correctivas y emplear una mejor formulación. Con esto se logró controlar el contenido de humedad del materia y por ende disminuir las pérdidas del proceso tanto que, para el último mes Kimberly Clark Venezuela se encontraba dentro de los tres primeros puestos de productividad comparadas con las demás filiales de esta corporación.

Por último, fue determinada la contribución a la desviación del porcentaje de pérdidas, en base a la materia prima alimentada de cada uno de los elementos encontrado en la fibra nacional. Esto puede observarse en la tabla N°7.

Tabla N° 7. Contribución a las pérdidas totales por elementos encontrado en el material archivo nacional indeseables al proceso.

	Pérdidas por Materia Prima		Contribución a las pérdida totales
	(ton/ mes)	(ton/día)	(%)
Plásticos	24,44	0,84	0,97
Cartón	8,86	0,31	0,35
Humedad de Pacas	150,61	5,19	5,97
Material difícil desfibrar	0,49	0,02	0,02
Total	184,40	6,36	7,31

En la tabla N°7, se observa que las pérdidas asociadas a la humedad en las pacas de archivo nacional representan casi el 6% del porcentaje de pérdidas total. Esto concuerda con los resultados presentados anteriormente, una vez controlada la problemática de la humedad del material archivo nacional y mejorar la formulación, se logró reducir un promedio de 4% del porcentaje de pérdidas total. Ver figura N°8.

DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE FIBRA QUE SE PRODUCEN EN LOS EQUIPOS QUE GENERAN DESPERDICIOS EN EL PROCESO

Balance de Masa Global

Para el desarrollo del balance de masa global, se consideró todo el proceso como una caja negra, la cual incluye la planta de reciclado y la máquina productora de papel.

Analizando el sistema de la forma descrita previamente, se definieron como corrientes de entrada: las pacas (materia prima), el agua fresca que ingresa al sistema con 30 ppm de sólidos suspendidos, luego como salidas se consideran las siguientes corrientes: el semielaborado (bobinas), los lodos correspondientes a los efluentes de la planta de tratamiento primario, los efluentes representados por las aguas tratadas en

la planta de tratamiento biológico y el desperdicio que comprende todos los rechazos pesados de los equipos que conforman la planta de reciclado.

Es importante destacar que se desarrolló un balance de masa de papel en base seca, adicionalmente se hace necesario conocer la consistencia del efluente de la planta para determinar la cantidad de papel que allí se encuentra y la cantidad de sólidos suspendidos en el agua fresca que entra al proceso.

Una vez calculada todas las corrientes de entrada y salida del sistema, se evaluó la diferencia entre las mismas y se obtuvo un promedio de 1,393 ton/día. Un balance de masa idealmente debe arrojar como resultado cero, ya que no deben existir diferencias entre las sumatorias entre las corrientes de entrada y salida siempre y cuando no exista acumulación, tal como es el caso del sistema en estudio. Otro punto a destacar es el hecho de que se aproxima el flujo volumétrico de los efluentes del sistema a los influentes del tratamiento biológico, lo cual es inapropiado por existir pérdidas de materia o bien por problemas de calibración en los equipos de medición. Sin embargo, dicha aproximación se ve justificada a la falta de equipos de medición de flujo a la salida del proceso en estudio.

Por medio del balance de masa se pudo obtener las pérdidas de fibra del proceso, estas pérdidas en promedio, incluyendo la fibra útil y no útil son de 28,87 ton/día, que viene representado por un porcentaje de pérdidas igual a 33,22%. En la tabla N° 8, se compara los resultados obtenidos en el balance con los reportados por la empresa por el Departamento de Control y Producción.

Tabla N° 8. Consumo, producción y pérdidas de fibra obtenidos por balance de masa y el reportado por el Departamento de Producción.

	Consumo		Producción		Pérdidas de Fibra		Pérdidas	
	(ton /mes)	(ton/día)	(ton/mes)	(ton/día)	(ton/mes)	(ton/día)	(%)	
Balance de Masa	2520,87	86,93	1611,88	55,58	837,35	28,87	33,22	
Departamento de Producción	2520,87	86,93	1611,88	55,58	908,99	31,35	36,06	
					Diferencia		2,47	2,84

En la tabla N°8 se observa que el porcentaje de pérdidas reportado por el departamento de producción es mayor al obtenido en el balance de masa. Este resultado era de esperarse y se debe a la diferencia existente entre el consumo de fibra y la producción de semielaborado diario, sin considerar el porcentaje de humedad de las pacas de materia prima. Sin embargo se aprecia una diferencia de casi de 3%, con respecto al balance de masa, para el cual se consideró la humedad de las pacas con un 12% a la entrada del proceso.

Las toneladas de fibra que se pierden técnicamente son iguales a pasta seca en los lodos de la planta de tratamiento primario, debido a que es en esta corriente donde se encuentra toda la fibra que se pierde en el sistema. La discriminación de la fibra no útil de dicha corriente se logró mediante el estudio de los lodos, analizando sus características (% humedad, % cenizas, % finos), las cuales fueron tomadas de los reportes de efluentes.

Finalmente, se logra conseguir que la cantidad de fibra útil que se pierde en el proceso de fabricación de papel, sea de 7,76 ton/día.

En cuanto a los costos asociados a estas pérdidas de fibra se obtuvo como resultado que el costo por la pérdida de fibra total es de 48.722 \$/día, que representa una pérdida anual de 16.955.352\$/año, dicho valor constituye un 1,8% de los costos de producción.

Del costo en dólares suministrado anteriormente, el costo de pérdida de fibra útil es de 13.094 \$/día, que representa una pérdida anual de 4.556.817 \$/año, el cual constituye el 0,5 % de los costos de producción.

Determinación de las pérdidas de fibra de los equipos

Para estudiar las pérdidas de fibra en el proceso de reciclado se consideró únicamente a los equipos que contienen rechazos que no regresan al proceso como lo son: los limpiadores cónicos de alta consistencia (T2), la criba rotatoria presurizada SS-13, limpiadores de baja densidad, el Fine Screen # 3, los limpiadores reversos, el lavador #3 y Tamiz Vibrador. El estudio de cada equipo fue enfocado según las corrientes de salida del mismo, para estos, se realizaron ensayos de consistencia,

cenizas y finos de acuerdo con las características del flujo de rechazo, debido a que estos equipos presentan fibra útil y no útil. Los estudios mencionados se pueden observar en la tabla N°9.

Tabla N°9. Datos necesarios para el estudio de pérdida de fibra útil en los equipos con rechazo hacia el efluente de la planta.

Equipo	Consistencia (%)	Cenizas (%)	Fibra útil (%)
Limpiador Centrifugo T2	0,10	27	---
Spectro Screen #13	0,25	20	---
Limpiadores de Baja Densidad	0,74	34	32,82
Finen Screen #3	0,16	30	8,06
Limpiadores Reversos	0,29	35	26,16
Lavador #3	0,25	43	8,94
Tamiz Vibrador	0,18	6	93,81

Una vez determinada las propiedades de las corrientes de rechazo de cada uno de los equipos en estudio, se procedió al cálculo de la cantidad fibra y fibra útil en cada uno de ellos, lo cual se observa en las tablas N°10 y N°11.

Tabla N°10. Determinación de las pérdidas de fibra y de los costos en cada uno de los equipos de rechazo de la planta de Reciclado (sigue)

Equipo	Pérdida de Fibra (ton/día)	Costo (\$ ton/día)
Limpiador Centrifugo T2	0,6	1005
Spectro Screen #13	1,5	2253
Limpiadores de Baja Densidad	7,4	12230
Fine Screen #3	1,4	2365

Tabla N°10. Determinación de las pérdidas de fibra y de los costos en cada uno de los equipos de rechazo de la planta de Reciclado (continua).

Equipo	Pérdida de Fibra (ton/día)	Costo (\$ ton/día)
Limpiadores Reversos	2,8	4743
Lavador #3	5,3	8202
Tamiz Vibrador	0	6

Tabla N°11. Determinación de la pérdida de fibra útil y de los costos en cada uno de los equipos de rechazo de la planta de Reciclado.

Equipo	Fibra Útil (ton/día)	Costo Fibra útil (\$ ton/día)
Limpiador Centrifugo T2	---	---
Spectro Screen #13	---	---
Limpiadores de Baja Densidad	3,7	6101
Fine Screen #3	0,6	1037
Limpiadores Reversos	1,2	605
Lavador #3	0,8	1297
Tamiz Vibrador	0	0

A pesar de que la totalidad de la fibra (útil y no útil) confiere pérdidas económicas para la empresa, el valor relevante en nuestro estudio corresponde al de fibra útil, ya que ésta representa a ciencia cierta la pasta apta para la producción de papel. En la figura N° 13 se puede apreciar donde ocurre la mayor pérdida de fibra útil.

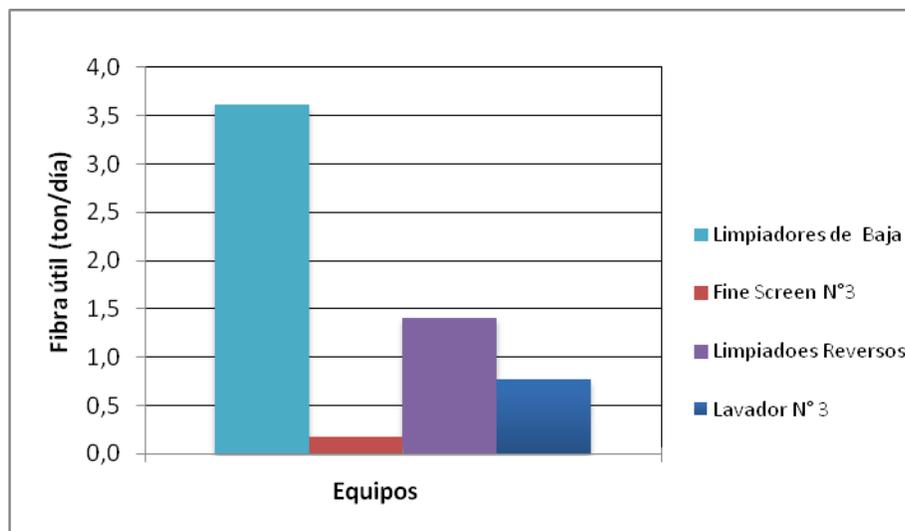


Figura N° 13. Pérdida de fibra útil en los equipos que conforman el proceso de reciclado.

Se observa que el equipo que produce mayor pérdida de fibra son limpiadores de baja densidad, seguido de los limpiadores reversos y lavador #3. Los limpiadores de baja densidad como los reversos, están compuestos por bancos diseñados para remover arenilla y ceras respectivamente, cuya efectividad implica el sacrificio de una considerable cantidad de fibra y si a esto le atribuimos la inestabilidad en los parámetros de operación debido a que son los primeros equipos de depuración fina, es razonable encontrar gran cantidad de pérdida de fibra. Adicionalmente, se atribuye este resultado a la disminución de la capacidad de ambos limpiadores por falta de conos que se encuentran fuera de servicio. Mientras que la función del Lavador # 3 es la de remover finos y cenizas de la pasta, siendo su eficiencia de aproximadamente 78%. Una elevada eficiencia se traduce en la pérdida de una cantidad de pasta relevante, la cual incluye tanto fibra útil como no útil. Pero es importante recordar que parte del agua de rechazo del lavador es recuperada en el Conustrenner, por lo que de los 8918,7litros por minuto que sale por el rechazo del lavador solo 5968,74 litros por minuto son recuperados en el Conustrenner y el resto del caudal es enviado al clarificador primario para luego ser tratado como lodos. Por esta razón, se considera como pérdida de fibra el flujo que se dirige al clarificador primario. Anteriormente la planta no contaba con este recuperador de fibra y es la

razón porque este resultado difiere de los obtenidos por Isaac K. y Querales P, en el 2005 para este mismo estudio.

En relación a las pérdidas de fibra, es interesante indicar cual equipo rechaza mayor cantidad de fibra útil en función de la fibra total, esto se puede visualizar en la figura N°14.

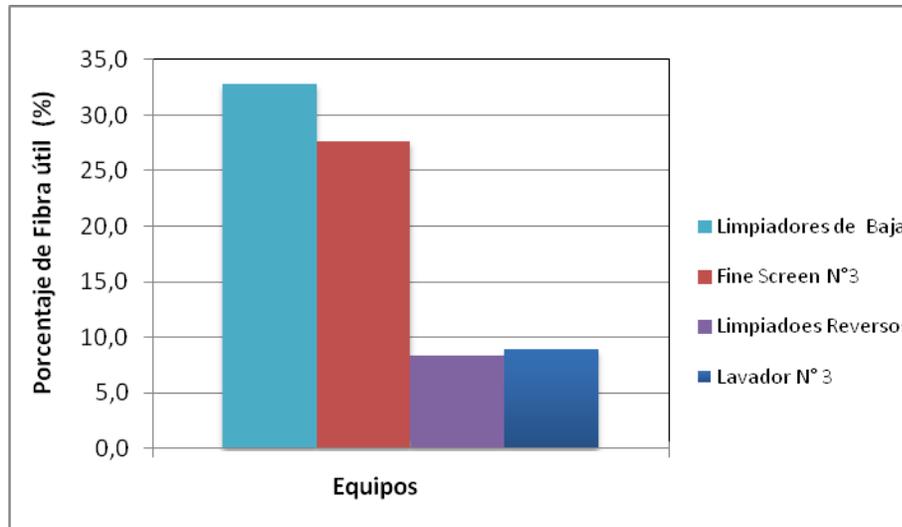


Figura N°14. Porcentaje de pérdida de fibra útil en los equipos que conforman el proceso de reciclado.

Como se puede apreciar, los limpiadores de baja densidad es el equipo que tiene mayor porcentaje de fibra útil en la corriente de rechazo, fenómeno que fue explicado anteriormente. Sin embargo, se observa que el Fine Screen N°3 es el segundo equipo con alto porcentaje de fibra útil, debido a deficiencias operativas por la inadecuada manipulación de la válvula de paso de agua de limpieza. Lo significativo de este hecho es que este equipo representa la última etapa de depuración y al no controlarse las condiciones de operación, el rechazo que debería contenerla mayor cantidad de contaminantes (tintas), lo cual no ocurre, afectando la calidad final de impresión del papel, por lo que su mal funcionamiento es consecuencia directa en la producción (parada de la Máquina, tiempos perdidos, papel fuera de especificación).

Traduciendo esas pérdidas a unidad monetaria se puede apreciar que el mayor costo de fibra pérdida lo tiene los limpiadores de baja seguido del el lavador #3. Estos resultados pueden ser visualizados la figura N° 15.

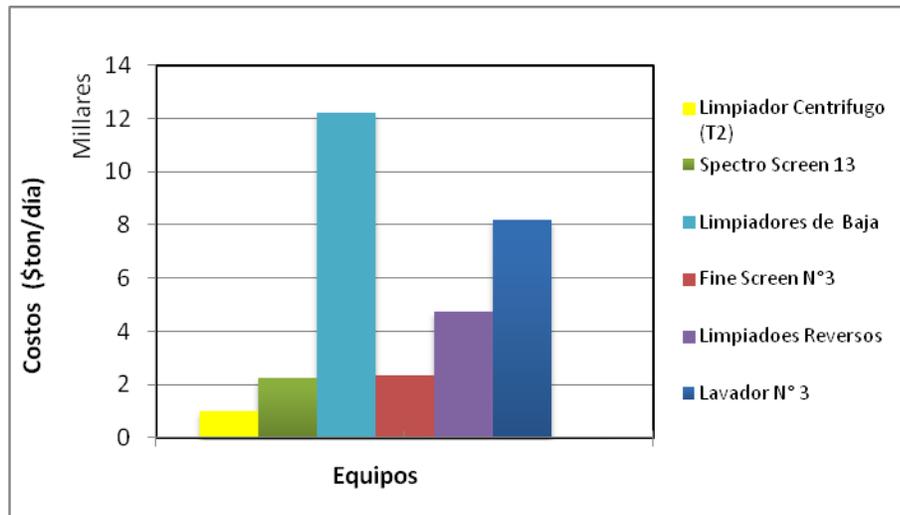


Figura N°15. Costo de la Pérdida de Fibra en los equipos que conforman el proceso de Reciclado.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente los costos que realmente son importante para este estudio son los relacionados a la pérdida de fibra útil, como se puede apreciar en la figura N°16, los costos que representan más del 60% del total se atribuyen a la pérdida de fibra útil por los limpiadores de baja densidad.

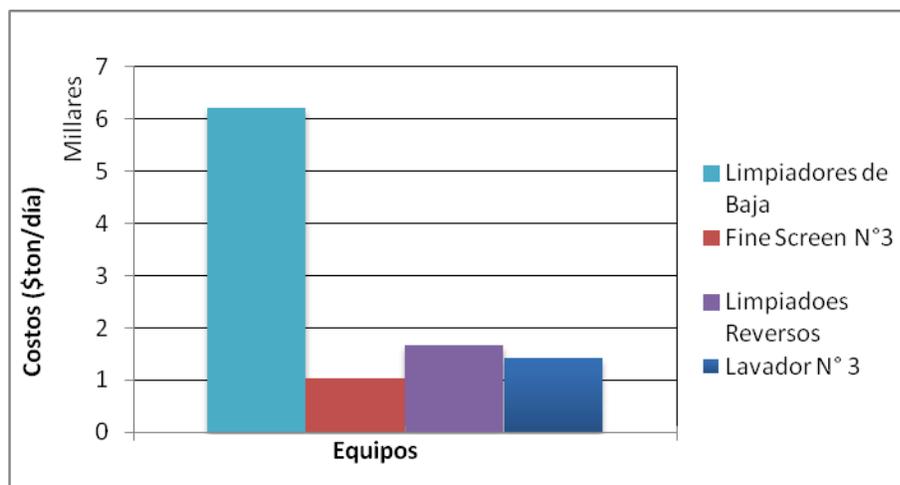


Figura N°16. Costos asociados a la pérdida de fibra útil en las corrientes de rechazo hacia el efluente de la planta de Reciclado.

Comparando los resultados del balance de masa global y por equipo del proceso, se puede observar claramente que las pérdidas de fibra reflejada en el porcentaje de pérdida global no resultaron similares a la sumatoria de pérdida de fibra de los equipos, que es igual a 19,01 ton/día. La razón de esto se debe a que en el balance global se consideró a todas las pérdidas del proceso (desperdicios de los contenedores y el lodo provenientes de la planta de tratamiento Primario) mientras que en los equipos se estudió la pérdida de fibra que salen por los rechazos.

Las pérdidas de fibra útil debida a los equipos idealmente deberían ser igual a la fibra útil presente en los lodos, debido a que todos los rechazos de los equipos van directamente a la Planta de Tratamiento Primario. La fibra útil que se pierde en los lodos es igual a 7,76 ton/día y la que se pierde por los rechazos de los equipos es de 6,33 ton/día. Estas diferencias se pueden atribuir principalmente a los derrames de pasta por reboses de tanque y por taponamiento de los equipos, Otra razón que se podría atribuir este resultado es debida a la presentación de algunos reportes suministrados por la empresa.

Los derrames por reboses de tanques y taponamientos de los equipos, se deben principalmente a la falta de instrumentación (controladores de niveles, controladores de consistencia) en la planta de reciclado, que generan variaciones de consistencia de la pasta, obstruyendo así los equipos.

En la figura N° 17 se presenta la contribución al porcentaje de perdidas por área en la planta de reciclado de Kimberly Clark Venezuela encontrado experimentalmente.

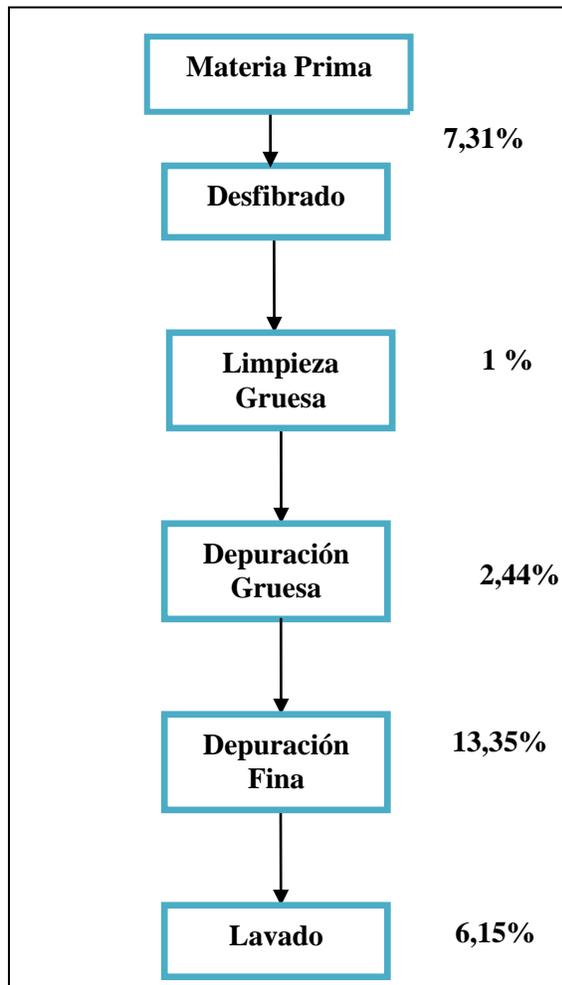


Figura N°17. Contribución de cada área del proceso al porcentaje de pérdidas global.

La sumatoria de todos estos valores es de 30,25 %, si lo comparamos con el valor ideal del proceso de reciclado, debería tener un porcentaje de pérdidas de fibra aproximado de 29%, es decir que actualmente la planta tiene un 1,25% valor adicional de pérdidas de fibra por los equipos, lo cual refleja que el proceso de reciclado mantiene las pérdidas cercanas al valor establecido. Sin embargo, al compararlo con el obtenido con el balance de masa (ver tabla N°8) presentan una diferencia 3,15 % adicional, el cual puede atribuirse el 80% al rebose de tanques y al taponamiento de los equipos.

ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE GENERAN LAS PÉRDIDAS DE FIBRA EN TODAS LAS ETAPAS DEL PROCESO

Para analizar y estudiar las posibles causas que generan las pérdidas de fibra en todo el proceso, se usó el diagrama causa–efecto y el diagrama de Pareto, con el fin de conocer la contribución que tiene cada una de las causas principales en la generación de pérdida fibra no justificada en el proceso.

Para estudiar las posibles causas de las pérdidas de fibra en esta etapa es necesario analizar las cinco categorías que se contemplan en el diagrama Causa-Efecto: Materia Prima, Mano de Obra, Medición, Maquinaria y Método para todo el proceso.

En la figura N°18 se muestra el diagrama causa-efecto donde se reflejan las causas de la pérdida de fibra no justificadas en la planta de Reciclado de Papel de Kimberly- Clark.

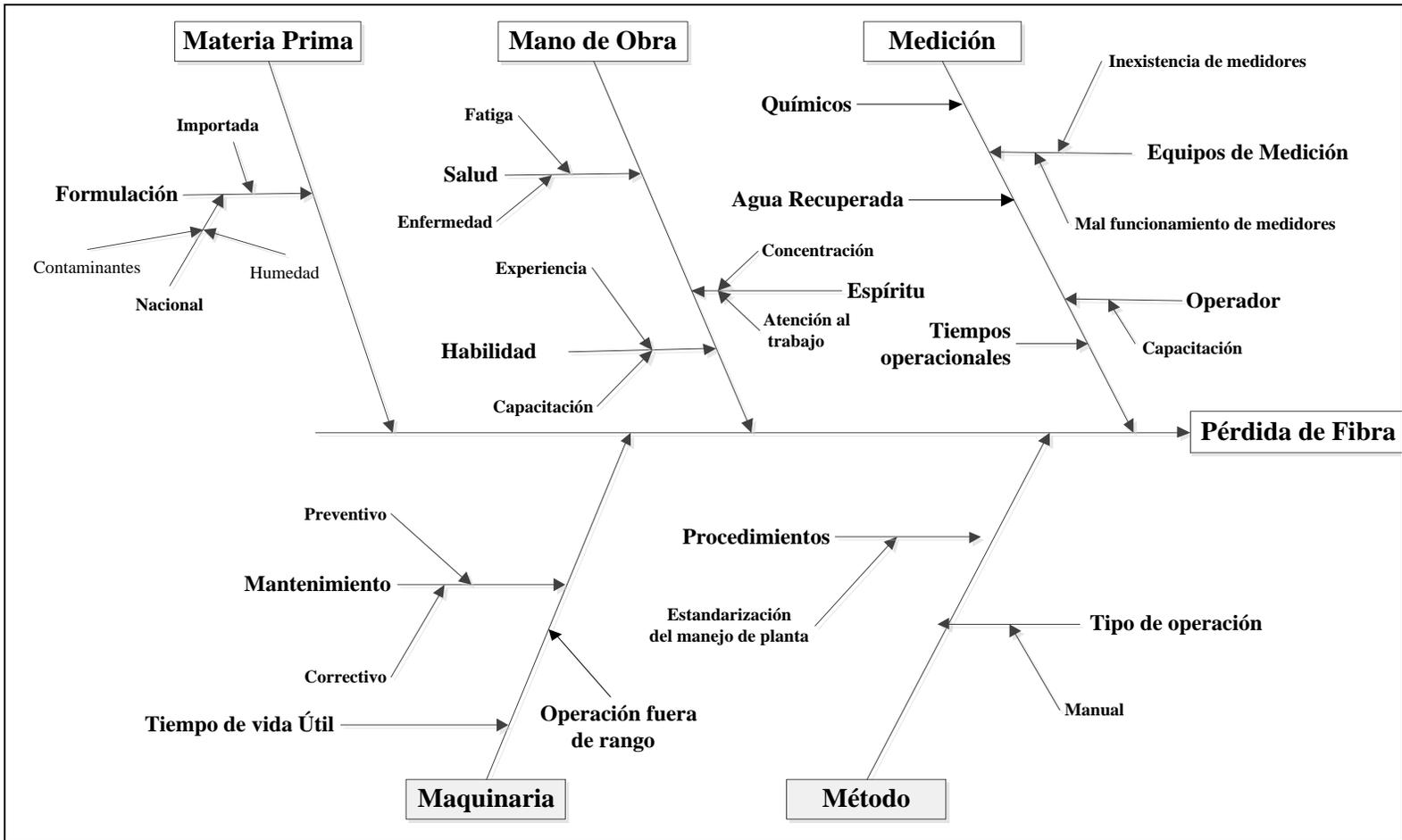


Figura N°18. Diagrama Causa-Efecto de las variables del proceso que influyen en la pérdida de fibra en la planta de Reciclado.

Materia prima

Esta representa una parte importante para el estudio en todos los aspectos del proceso, ya que la misma se ve directamente afectada por: la formulación, el porcentaje de humedad presente en las pacas y la cantidad de contaminantes presentes en el material (material no deseado). En las fibras recicladas el estudio de los contaminantes es de extrema importancia, ya que generan complicaciones de calidad que pueden incluir baja blancura y altas cantidades de contaminantes tales como tinta y pegamentos (adhesivos sintéticos), que podrían causar taponamiento o mal funcionamiento de los equipos y que a su vez pudieran generar una pérdida de fibra útil significativa en esta etapa del proceso.

Mano de obra

Esta es vital para cualquier etapa del proceso, ya que si esta no está lo suficientemente capacitada, no se encuentran bien de salud o sin motivación alguna, podría afectar el buen desenvolvimiento del proceso al no estar pendiente de todas las condiciones que deben verificarse en el mismo.

Medición

En la rama de la medición se incluyen todos los aspectos que influyen en el comportamiento esperado del proceso y estos son:

- Los químicos ya que si no poseen la concentración adecuada o no cumple con la calidad requerida, puede traer problemas de baja blancura.
- El tiempo de operación adecuado en los equipos, principalmente los ciclos de limpieza, permite eliminar efectivamente el material no deseado.
- El agua que entra al proceso por ser agua recuperada podría conllevar a problemas de blancura si el agua contiene una gran cantidad de sólidos disueltos.
- Los equipos de medición ya que si estos no se encuentran en buenas condiciones o existe un déficit de ellos, se hace muy difícil estudiar las

condiciones de operación de los equipos y hacer seguimiento a los niveles en los tanques de almacenamiento.

Maquinaria

El hecho que los equipos hayan cumplido el tiempo de vida útil, su operación no sea la adecuada o no se le realice un mantenimiento preventivo y correctivo, puede conllevar al posible taponamiento de éstos o mal funcionamiento en cuanto a la remoción de material no deseado se refiere. El mantenimiento riguroso y constante a los equipos, y la operación fuera del rango trabajo.

Método

Este se ve directamente afectado por la rigurosidad y constancia con que se realiza seguimiento al proceso. Además, de considerar que la operación es casi 100 % manual, ya que tanto el operador como el técnico de proceso deben estar constantemente pendientes de las condiciones de operación de los equipos y de los niveles en los tanques de almacenamiento. Igualmente es importante hacer un seguimiento a la adición de los agentes químicos (dosificación y concentración) y de las variables más influyentes como son la consistencia, el porcentaje de cenizas y el porcentaje de finos en la pasta de cada corriente, debido a la falta de estandarización o cumplimiento de los procedimientos indicados en los manuales lo que influye directamente en las pérdidas de fibra en el proceso.

Posterior al análisis de todas las posibles causas de las pérdidas de fibra en esta área del proceso, el uso de la técnica tormenta de ideas permitió destacar las causas de mayor importancia en el estudio de las pérdidas de fibra y se observó que las variables que inciden de forma más directa en las pérdidas son las siguientes: la humedad de las pacas, que porcentaje de humedad puede encontrarse en la materia prima, aumentándole el peso a las mismas, trayendo como consecuencia el cálculo erróneo de las pérdidas diarias, por emplear el valor de la humedad cuando la materia prima ingresa a la planta, la presencia de contaminantes en la pasta principalmente basura o adhesivo sintético, el déficit o mal estado de los equipos de medición, la falta de periodicidad y rigurosidad en el mantenimiento, derrame en tanques y equipo

y por último la operación no adecuada o fuera de rango de los equipos. El mal funcionamiento de los equipos y la deficiencia de instrumentación de medición, da origen a que por las corrientes de rechazo de los equipos se genere pérdidas de fibra no justificadas. Se observó que entre todas las posibles causas que podrían contribuir al problema que se está sometiendo a estudio, las 4 antes mencionadas son directamente influyentes en las pérdidas de fibra, ya que la ocurrencia de una o de varias de ellas, lleva a problemas graves.

Con la ayuda de un diagrama de Pareto se visualiza la verdadera contribución de las causas mencionadas a ese 3,15 % valor adicional de perdidas, reflejando el porcentaje que representa de este valor. El diagrama de Pareto se presenta en la figura N°19.

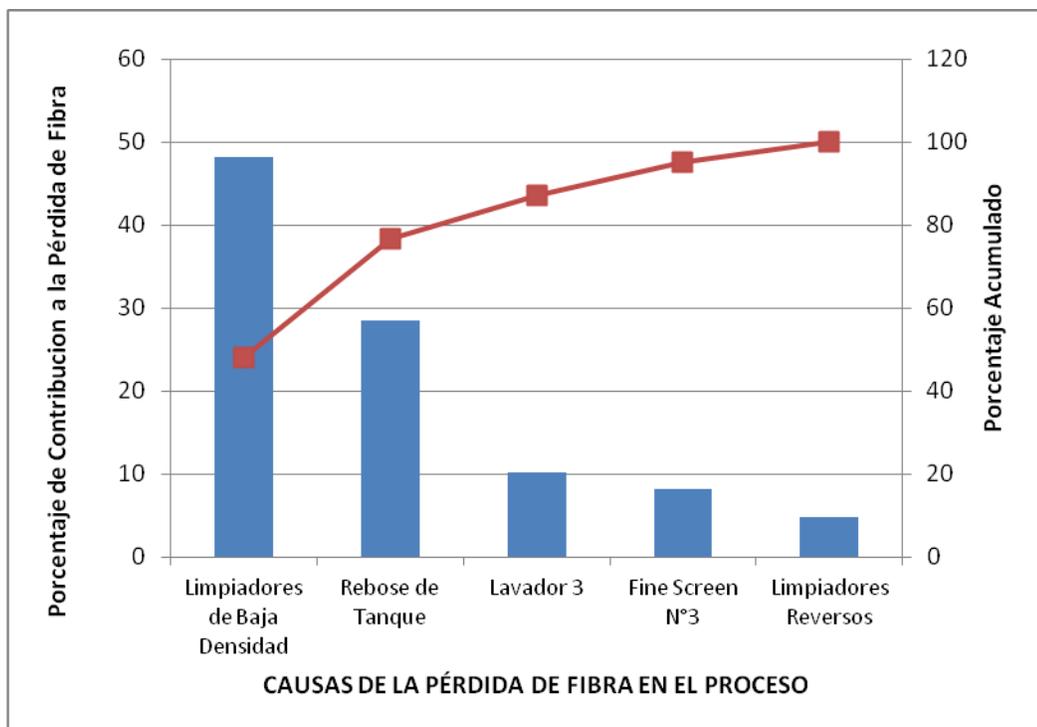


Figura N° 19. Diagrama de Pareto de la contribución de cada causa al porcentaje de pérdidas adicional.

En el diagrama se observa que las causas principales de pérdidas de fibra se deben al rechazo del banco de limpiadores de baja densidad y al rebose de tanques y

taponamientos de equipos. Estas representan el 77,80% de las causas, de manera que si se eliminan las causas que lo provocan disminuiría la mayor parte de las pérdidas de fibra en el proceso.

GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A FIN DE OBTENER PROPUESTAS QUE MINIMICEN LAS PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE RECICLADO

El porcentaje de pérdidas debido a la materia prima representan un 7% del porcentaje de perdidas total, por lo cual, se propuso implementar un formato de control de la calidad de la materia prima que permita controlar este factor, principalmente, el contenido de humedad de las pacas.

Para los efectos de la estrategia a plantear se parte de los requerimientos del proceso, donde el consumidor queda definido como la Planta de Reciclado y el proveedor el Departamento de Calidad Materia Prima.

La materia prima referida a evaluación es la Fibra Nacional, específicamente Blanco Impreso Nacional de mayor consumo para la elaboración de los productos. Los requerimientos son:

- (a) El porcentaje de humedad máxima entregada por proveedor debe ser menor o igual al 15%.
- (b) El Máximo de número de capas de cartón debe ser dos (2).
- (c) El material debe tener buen amarre al ser compactado.
- (d) La blancura mínima debe ser 65 I.S.O.
- (e) No se debe permitir en el material contaminantes plásticos y bolsas.

Para el cumplimiento de los requerimientos del consumidor se plantea lo siguiente:

Con respecto a la humedad máxima entregada por el proveedor, se debe realizar una evaluación exhaustiva del porcentaje de humedad del material sin excepción alguna. Dicha evaluación debe ser tanto de las paredes externas de las pacas y el interior de las mismas. Para ello, se formará un equipo de trabajo entre el

personal de Planta Reciclado y Departamento de Calidad abriendo las pacas en el piso del Pulper. Los resultados obtenidos deberán ser presentados semanalmente con retroalimentación a la fuente y ser comparados con respecto al histórico del año en curso y el anterior.

En cuanto al número máximo de capas de cartón, se debe realizar una evaluación exhaustiva de cada proveedor sin excepción alguna. Para ello, se formará un equipo de trabajo entre el personal de Calidad y Departamento de Almacén de Fibra. Así mismo, se deberán reportar las toneladas de cartón compactado. Los resultados obtenidos deberán ser presentados semanalmente con retroalimentación a la fuente y ser comparados con respecto al histórico del año en curso y el anterior.

Para el buen amarre en la compactación del material, se evaluará exhaustivamente a cada proveedor sin excepción alguna. Para ello, se formará un equipo de trabajo entre el personal de Calidad y Departamento de Almacén de Fibra.

Con respecto a la blancura mínima al 65 I.S.O., se reportará la blancura promedio del material de cada proveedor sin excepción alguna. Dicha evaluación debe ser tanto de las paredes externas de las pacas y el interior de las mismas. Para ello, se formará un equipo de trabajo entre el personal de Planta Reciclado y Departamento de Calidad abriendo las pacas en piso del Pulper. Los resultados obtenidos deberán ser presentados semanalmente con retroalimentación a la fuente y ser comparados con respecto al histórico del año en curso y el anterior.

Finalmente, para la reducción de contaminantes específicamente plásticos y bolsas, se realizará una evaluación exhaustiva de cada proveedor sin excepción alguna. Dicha evaluación debe ser tanto de las paredes externas de las pacas y el interior de las mismas. Para ello, se formará un equipo de trabajo entre el personal de Planta Reciclado y Departamento de Calidad abriendo las pacas en piso del Pulper. Así mismo, se deberá reportar las toneladas de plásticos retiradas de RF generado por los rechazos de equipos en Planta Reciclado al Departamento de Calidad. Los resultados obtenidos deberán ser presentados semanalmente con retroalimentación a la fuente y ser comparados con respecto al histórico del año en curso y el anterior.

Con esta propuesta se controlaran las pérdidas asociada a la calidad de la materia prima y por ende reducir el porcentaje de perdidas total, tal como se vio, durante la ejecución de dichas acciones en el tiempo de estudio, las cuales permitieron una disminución en promedio de 4,22% del porcentaje de perdidas total del Proceso.

En cuanto, al porcentaje de pérdidas de fibra generado por los equipos, fue necesario plantear alternativas que disminuyan dichas pérdidas, tomando en cuenta sus causas principales y el tiempo de implementación, lo cual debe ser a corto plazo, por estas razones se plantearon las siguientes alternativas:

1. Completar el banco de limpiadores de baja densidad y limpiadores reversos, con el fin de mejorar la eficiencia de estos equipos, disminuyendo el mal funcionamiento de los mismos
2. Implementar formatos de control de las pérdidas de fibra en los equipos cuyos rechazos no regresan al proceso, con el fin de habilitar las estandarizaciones que no se llevan a cabo en el proceso.
3. Implementar indicadores de nivel, medidores de presión, de consistencia, con el fin de monitorear las condiciones operacionales de los equipos y el desenvolvimiento del proceso.

SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN MÁS APROPIADAS.

A continuación se muestra en la Tabla N°12, la matriz de selección generada en base a las alternativas propuestas.

Tabla N°12.Determinación de las alternativas de la matriz de selección.

Factores	Valoración	Alternativa N°1		Alternativa N°2		Alternativa N°3	
	(1-100)%	(1-5)	Ponderación	(1-5)	Ponderación	(1-5)	Ponderación
Costos	50	3	1,5	1	0,5	4	2
Requerimiento de Personal	20	2	0,4	4	0,4	2	0,8
Mejoría	15	4	0,6	3	0,45	3	0,45
Requerimiento de Instalación	5	2	0,1	1	0,05	2	0,1
Entrenamiento operacional	10	1	0,1	5	0,5	1	0,1
		Suma	2,7	Suma	1,9	Suma	3,5

Según el resultado mostrado en la tabla anterior, se seleccionan a las alternativas con mayor ponderación. Estas serán detalladas a continuación:

(a) Completar el banco de limpiadores de baja densidad y limpiadores reversos, con el fin de mejorar la eficiencia de estos equipos, disminuyendo el mal funcionamiento de los mismos.

Actualmente el equipo Limpiadores de Baja Densidad y Reversos operan con baja eficiencia por no estar completo, el banco de la primera y segunda etapa, por lo tanto, el equipo se ve forzado a trabajar con una consistencia por encima de la recomendada por el fabricante para poder compensar la deficiencia de paso de pasta por las limpiadoras faltante, trayendo como consecuencia una depuración de bajo rendimiento, y un alto índice de pérdida de fibra.

Se recomienda la compra de 5 conos limpiadores tipo KS 160/6R de acero inoxidable tipo termo-plástico y cerámico, con el fin de completar el banco de limpiadores de baja densidad. Así mismo, se recomienda la compra de 8 conos de limpiadores LT3 de plásticos reforzado de nylon 6/12.

Gracias a esta alternativa, se podrá disminuir aproximadamente 1,7 % del valor total de las pérdidas del proceso.

(b) Implementar indicadores de nivel, medidores de presión y de consistencia, con el fin de disminuir los reboses de los tanques de almacenamiento y los taponamientos de los equipos.

El primer indicador a colocar es el medidor de consistencia al inicio del proceso de la planta reciclado, a la salida de la pileta 1, y un medidor de flujo, que permitirá controlar (tomar medidas de acción correctiva por parte de los técnicos de procesos u operarios), estas variables necesaria para garantizar la operación correcta de cada equipo que conforman las diferentes etapas del proceso logrando con ello minimizar los cambios bruscos de consistencia, flujo, etc., que afectan a los equipos de depuración gruesa, fina y lavado. Adicionalmente, es necesario un medidor de consistencia de tipo digital que trabaja en rangos de (0-5) %, con el fin de controlar dicha variable a la salida de la etapa de depuración gruesa, y a la salida de la torre de peróxido colocar un medidor de consistencia tipo digital con un rango de (1-30) %.

Para disminuir el mal funcionamiento de los equipos se recomendó el uso de medidores de presión (manómetros tipo bourdon para pasta cuya escala está en el rango de (0-6) bar), ya que los manuales de operación de los equipos que conforman el proceso de reciclado recomiendan un rango de operación de (2-4) bar, la razón de escoger como nivel superior, un valor 50% mayor al máximo alcanzado operativamente, es un factor de seguridad ante posibles fluctuaciones del sistema (Creus,1997). A través de este control se tendrá una herramienta muy útil para atacar de manera inmediata el taponamiento parcial de algún equipo y evitar con ello el rebose del tanque de la bomba succión para la alimentación del equipo o en el peor de los casos el taponamiento total del equipo disminuyendo la pérdida de fibra en el proceso de fabricación de papel; para esto se hacen necesarios 22 manómetros con la finalidad monitorear las condiciones en todos los equipos del proceso.

Se hace necesario colocar ocho indicadores de nivel (Pileta 1, pileta 3, tanque de dilución de los limpiadores baja densidad, tanque de baja consistencia, tanque

agua de rechazo, tanque de máquina y Flootek), con el fin de controlar los niveles de los mismos, para evitar los derrames y pérdida de pasta. Los indicadores de nivel son digitales tipo presión hidrostática (tanques atmosféricos) y de presión diferencial

En los Fine Screen, se recomendó colocar cinco (5) transmisores de flujos de los cuales, 3 están colocadas en las corrientes de alimentación de cada equipo, uno en la entrada de agua de dilución del Fine Screen N°3 y otro en la corriente del aceptado del Fine Screen N°1, para controlar la correcta operación de cada uno de los fine screen, los medidores de flujo empleado para las mejoras son digitales, tipos magnéticos, en acero al carbón.

Por último, se recomendó la colocación de un indicador de temperatura para el control de temperatura en el Dispensor, el cual se hará por termocuplas tipo T (Cu-CuNi), ya que son capaces de trabajar perfectamente en ambientes oxidantes, como lo es la pasta en un rango que va desde los -40 °C hasta los 350°C (Creus, 1997).

Las mejoras aportadas por esta alternativa son: controlar de manera eficaz los taponamientos de los equipos y reboses de tanques, disminuyendo de manera importante la pérdida de fibra en el proceso, aproximadamente 2,75 % del valor del porcentaje actual. Cuantitativamente se estima que de la reducción total, un 40% de ella no podrá lograrse motivado a errores humanos en cuanto a las acciones tomadas según lo reportado por los indicadores propuestos.

En la tabla N°13, se presenta la ubicación donde serán colocados la instrumentación planteada.

Tabla N°13. Instrumentación necesaria para el seguimiento y control de las variables del proceso de Reciclado.

Ubicación	Cantidad	Instrumentación Recomendada
Separador Centrífugo T2	2	Manómetros Bourdon (0-6) Bar
Pileta 1	1	Indicador digital de nivel
	1	Medidor digital de consistencia (0-5)%
Spectro Screen 23	2	Manómetros Bourdon (0-6) Bar
Spectro Screen 13	2	Manómetros Bourdon (0-6) Bar
Pileta 3	1	Indicador digital de nivel
Entrada de Depuración Fin a	1	Indicador de flujo digital
	1	Medidor digital de consistencia (0-5)%
Limpiadores Baja Densidad	6	Manómetros Bourdon (0-6) Bar
Tanque Celda	1	Indicador digital de nivel
Fine Screen N°1	2	Manómetros Bourdon (0-6) Bar
	2	Indicador de flujo digital
Fine Screen N°2	2	Manómetros Bourdon (0-6) Bar
	2	Indicador de flujo digital
Fine Screen N°3	2	Manómetros Bourdon (0-6) Bar
	2	Indicador de flujo digital
Limpiadores Reversos	4	Manómetros Bourdon (0-6) Bar
Tanque Agua Reverso	1	Indicador digital de nivel
Tanque Agua Rechazo del Lavador	1	Indicador digital de nivel
Dispensor	1	Manómetro para vapor
	1	Indicador de temperatura Termocupla tipo T
Torre de Peróxido	1	Indicador digital de nivel
	1	Medidor digital de consistencia (0-30)%
Tanque de Máquina	1	Indicador digital de nivel
	1	Indicador de temperatura Termocupla tipo T
Tanque Flootek	1	Indicador digital de nivel
	1	Medidor digital de consistencia (0-5)%

DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS SOLUCIÓN MÁS APROPIADAS

Esta parte del capítulo se refiere a la rentabilidad económica de la aplicación de cada propuesta, lo que se pretende con este análisis es verificar que los beneficios generados por la inversión en instrumentación y equipos superan los gastos necesarios para su implementación mediante la rentabilidad. Cada alternativa recomendada tiene como objetivo principal disminuir el porcentaje de pérdida actual, para con ello reducir los costos asociados a este problema y por ende incrementar la eficiencia del proceso.

Para estudiar la rentabilidad o factibilidad económica de las alternativas sugeridas se hacen las siguientes consideraciones:

- (a) El costo de instalación de los equipos e instrumentos se toma como el 30% del costo de la inversión (Gómez y Núñez, 2004).
- (b) No se consideran los costos de entrenamiento debido a que no es necesario ningún tipo de capacitación adicional para el desarrollo de las alternativas recomendadas.
- (c) Todos los costos asociados a la puesta en marcha de las alternativas se cuantificaron en dólares por ser una moneda más estable.
- (d) Se escoge un horizonte económico o tiempo de estudio del proyecto igual a 10 años.
- (e) Se escogió un valor residual igual al 10 %, el valor residual refleja la cantidad en la que se vendería todo lo involucrado con el proyecto al final del horizonte económico.
- (f) Se fijó un porcentaje de disminución para el cálculo de la depreciación ligada al deterioro de los equipos igual al 10 %, es decir al inicio del proyecto se tienen ganancias del 100 % (no hay depreciación) debido a que los equipos están nuevos, pero años tras años esas ganancias se ven reducidas de forma lineal debido a la disminución del 10 % de ese porcentaje de ganancia inicial.
- (g) La Tasa de Retorno Mínima Atractiva, TREMA se toma igual 10 %.

(h) Se calculan los flujos netos como los beneficios obtenidos a partir de la implementación de las alternativas de solución. (Ver la ecuación (21)).

(i) Para analizar la situación actual se consideran fijos las pérdidas de continuar el problema en estudio.

En las tablas N°14 y 15, se refleja la lista de instrumentos y equipos escogidos para poner en marcha cada alternativa, adicionalmente se muestran la cantidad y el valor en dólares de los mismos, los cuales fueron obtenidos por cotizaciones de la empresa.

Tabla N°14. Costos asociados a los equipos por unidad y totales de la alternativa de solución N ° 1.

Descripción	Cantidad	Costo / unidad(\$)	Costo total (\$)
Conos Limpiadores de Baja Densidad	5	2360	11.800
Conos Limpiadores de Limpiadores Reversos	8	3304	26432
		Total	38.232

Tabla N°15. Costos asociados a los instrumentos por unidad y totales de la alternativa de solución N ° 2.

Descripción	Cantidad	Costo / unidad(\$)	Costo total (\$)
Indicador de flujo digital	7	5400	37800
Manómetros Bourdon (0-6) Bar	22	300	6600
Medidor digital de consistencia (0-5)%	3	19000	57000
Indicador digital de nivel	8	2600	20800
Medidor digital de consistencia(0-30)%	1	24000	24000
Termocupla tipo T	2	100	200
Manómetro para vapor	1	200	200
		Total	146.600

Posterior a la elaboración del listado de equipos e instrumentos por alternativa y a los costos asociados a cada una de ellas, se calcula la inversión y los flujos netos de los beneficios correspondientes a cada año y por alternativa de solución propuesta. En la tabla N°16, se reflejan los costos operacionales o las pérdidas año tras año generadas por la ocurrencia del alto porcentaje de pérdidas.

Éstas se obtuvieron a partir de las pérdidas de fibra calculadas por el balance de masa global y del valor de los costos de producción.

Tabla N°16. Costos operacionales debido a las pérdidas de fibra actuales a lo largo del horizonte económico.

Año	Costo operacional (\$/año)
0	16.955.352
1	16.955.352
2	16.955.352
3	16.955.352
4	16.955.352
5	16.955.352
6	16.955.352
7	16.955.352
8	16.955.352
9	16.955.352
10	16.955.352

En las tablas N°17 y N°18 se presenta cálculo el flujo extra, obtenidos a través de la comparación de cada una de las alternativas con la situación actual.

Tabla N°17. Ahorro en los costos operacionales a lo largo del horizonte económico implementando la alternativa de solución N° 1.

Año	Flujos Netos (\$)
0 (Inversión)	-49.702
1	61.798
2	65.621
3	69.444
4	73.267
5	77.091
6	80.914
7	84.737
8	88.560
9	92.383
10	96.207

Tabla N°18. Ahorro en los costos operacionales a lo largo del horizonte económico implementando la alternativa de solución N° 2.

Año	Flujos Netos (\$)
0 (Inversión)	-190.580
1	236.953
2	251.613
3	266.273
4	280.933
5	295.593
6	310.253
7	324.913
8	339.573
9	354.233
10	368.893

Se calculó el valor actual (VA) para cada alternativa y se obtuvieron los siguientes resultados VA (alternativa1)=417.537\$ y VA (alternativa2) =1.600.980\$ y ambas alternativas son rentables para la empresa. Adicionalmente se calcularon los valores de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Retorno de Capital (PayBack), para la primera alternativa, se obtuvo una TIR, igual a 117,8% y un tiempo de recuperación de 294 días; mientras que para la segunda alternativa presentó una TIR, igual a 93,2%, con un período de recuperación de 360 días, estos indicadores confirman que la rentabilidad de la primera alternativa es mayor que la segunda alternativa de solución. Sin embargo, se escoge como la alternativas más apropiada la N° 2 porque aunque requiere una mayor inversión aporta el doble de disminución en el porcentaje de pérdidas de fibra comparado con lo que se disminuye si se pone en marcha la primera alternativa de solución.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se mencionan las conclusiones de este Trabajo Especial de Grado, y una serie de recomendaciones que permitirán darle continuidad y mejorar los resultados en la empresa.

CONCLUSIONES

- Los valores de las variables: diferencial de presión y consistencia de entrada de los equipos se encuentra fuera de los límites establecidos.
- Los equipos que más se desvían de los manuales de operación en cuanto a su consistencia de trabajo son: el Spectro-Screen 13 y el lavador 03.
- Los equipos que sufren más desviación de los diferenciales de presión en cuanto a los manuales de operación son: Spectro- screen 13, Fine Screen 03, Limpiadores de baja densidad, limpiadores reversos y el lavador 03.
- El alto contenido de humedad en la materia prima Archivo Nacional Blanco Impreso representa el 66% de la desviación del porcentaje de pérdidas en la materia prima y constituyen casi el 6% del porcentaje de pérdidas total.
- Las pérdidas de fibra obtenidas por el balance de masa global corresponden a 28,87ton/día, que viene representado por un porcentaje de pérdidas igual a 33,22%.
- Los limpiadores de baja densidad es el equipo que genera mayor porcentaje de pérdidas de fibra útil con respecto a la fibra total perdida.
- Las causas principales de pérdida de fibra en el proceso de fabricación de papel corresponden a: rechazo de los limpiadores de baja densidad, rebose de tanques y taponamientos de los equipos.

- La propuesta más factible seleccionada es la implementación de instrumentación faltante (indicador de nivel, medidor de flujo, medidor de presión, consistencia y temperatura).
- Se logró disminuir un promedio de 6% del porcentaje de pérdidas total de la Planta de Reciclado, del cual 4% corresponde a la materia prima y 2% corresponde a la implementación de la alternativa más rentable para la empresa.

RECOMENDACIONES

- Generar rutinas para de control de las pérdidas de fibra en los equipos cuyos rechazos no regresan al proceso, con el fin de habilitar las estandarizaciones que no se llevan a cabo en el proceso.
- Generar rutinas de recepción de materia prima, donde por cada lote de material que se reciba, de forma estadísticas y aleatoria, se cuantifique los contaminantes que poseen a fin de asegurar que se encuentren dentro de las especificaciones y normas que rigen la calidad de las fibras.
- Es necesario la manipulación adecuada de las válvulas de entrada y salidas de los equipos del proceso específicamente las del agua de limpieza.
- Realizar una evaluación del proceso de reciclado tomando en cuenta el historial de las variables operacionales y su dependencia, con el fin de encontrar la relación de efectos entre ellas.
- Realizar un seguimiento a las pérdidas de fibra de los equipos cuando se consume mayor cantidad de fibra importada en el proceso de reciclado.
- Estudiar el comportamiento del proceso de fabricación de papel, empleando fibra importada con el fin de determinar su impacto con el porcentaje de pérdidas globales.
- Aplicar un cuestionario de alternativas al personal que opera en la planta, técnicos de procesos y supervisores en función a las propuestas generadas para la disminución del porcentaje de pérdidas, con el objeto de conocer su afectación en sus labores diarias.
- Asegurar el monitoreo constantes de los equipos del proceso desde el momento que arranca hasta su parada.

- Implementar el mantenimiento preventivo en los equipos con mayor tendencia al desgaste en su funcionamiento.
- Estandarizar la forma de trabajo de los operadores de la planta para un adecuado control.
- Colocar sistema de control automatizado que evite el derrame de la pasta que se pierde en los tanques que sufren frecuentes derrame.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, A y Peña V. (2003). Introducción a la fabricación de pulpa y papel. Manual I. Editorial Cenpapel.
- Baca, G. (2001). Fundamentos de Ingeniería Económica, 4ta Edición. México: McGraw-Hill.
- Barrientos J. (2009). Diseño de un programa de automatización y control en PLC en la planta de reciclado de Kimberly-Clark. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Eléctrica. Universidad de Carabobo. Valencia, Estado Carabobo. Venezuela.
- Blanco, V. y Pelayo, M. (1998). Balance de materia y determinación de las causas potenciales pérdidas de fibra y agua en la línea de producción de una planta papeleras. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Química. Universidad de Carabobo. Valencia, Estado Carabobo. Venezuela.
- Clark, J. (1985). Pulp Technology and Treatment for Paper, Miller Freeman. San Francisco, CA.
- Creus, A. (1997). Instrumentación industrial. Sexta edición. Marcombo S.A.
- De Garmo, E. (1997). Ingeniería Económica. Décima edición. México: Prentice Hall.
- De Ponte, S. y Hernández, A. (1999). Evaluación de las pérdidas de fibra útil en una empresa recicladora de papel. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Química. Universidad de Carabobo. Valencia, Estado Carabobo. Venezuela.
- García, J. y Hortal, A. (2007). Fibras Papeleras. Barcelona.: Ediciones UPC. 420p. ISBN: 9788483019160.
- Gómez, E. y Núñez, F. (2004). Plantas Industriales. Universidad de Carabobo, Valencia.

- González, C. (2009). Propuesta de mejoras en el proceso de desfibrado de la materia prima del pulpers #4 de la empresa kimberly-clark Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Ingeniería Industrial. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Maracay, Estado Aragua. Venezuela.
- Hermans, M. (1994). The Effects of Furnish on Tissue Properties, TL-1582.
- Hermans, M. (1987). The Influence of Hardwood Fiber Morphology on Tissue Softness. TR-704.
- Isaacs, K. y Querales, P. (2005). Evaluación del proceso de reciclaje de papel de la empresa Kimberly & Clark C.A. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Química. Universidad de Carabobo. Valencia, Estado Carabobo. Venezuela.
- Jiménez, C. (2005). Evaluación del proceso de producción de papel para minimizar pérdidas de fibra secundaria y consumo de agua en la planta de reciclado de Kimberly-Clark Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Química. Universidad de Carabobo. Valencia, Estado Carabobo. Venezuela.
- Kimberly-Clark Corporation (2004). Manuales de Maquinarias y Equipamientos, Tomo1, 2. Sao Paulo, Brasil: Voith S.A.
- Kimberly-Clark Venezuela (2005). Generalidades del proceso del reciclado de papel. Gerencia de Manufactura. Aragua.
- Kimberly-Clark Venezuela (1995). Manual de procedimientos para determinar características y propiedades de la fibra secundaria y del papel. Gerencia de Manufactura. Aragua.
- Kimberly-Clark Venezuela (1992). Manual de procedimientos para determinar características y propiedades de la pulpa y del papel. Gerencia de Manufactura. Aragua.

Pulp and Paper Manufacture. (1983). Properties of Fibrous Raw Materials and Their Preparation for Pulping. Vol. 1. Atlanta, GA: TAPPI/CPPA.

Pulp and Paper Manufacture. (1987). Secondary Fiber and None wood Pulping. Vol.3. Atlanta, GA: TAPPI/CPPA.

Rivera, A. (2003). Fabricación mecanizada de papel. Obtenida el 19 de marzo de 2012, de http://www.papel.net//cartulina/proceso_fabricación.html.

Smook, G. (1992). Handbook for pulp and paper technologists, 2nd Edition. Atlanta, GA: TAPPI/CPPA.

Torres, A. (1992). Herramientas para el análisis de problema. Consultado el 30 de marzo de 2012, de <http://www.leonismoargentino.com.ar/INST460.html>.

APÉNDICE

CÁLCULOS TÍPICOS

- **Cálculo del diferencial de Presión (Pdiferencial):**

Sustituyendo los valores para el diferencial de presión de los limpiadores de baja densidad en la primera etapa, con la ecuación (4) se tiene:

$$Pdiferencial \text{ (bar)} = 2,4 - 1,00 = 1,4 \text{ bar}$$

- **Cálculo del porcentaje de humedad (H):**

Sustituyendo los valores para calcular la humedad de la fibra reciclada con la ecuación (5) se tiene:

Para la muestra en el interior de las pacas

$$H_{int}(\%) : \frac{70,94 - 44,42}{70,94} * 100 = 37,38\%$$

Para la muestra en el exterior de las pacas

$$H_{ext}(\%) : \frac{28,70 - 24,68}{28,70} * 100 = 14,01\%$$

Cálculo de de la Humedad promedio de la paca

$$H_{prom}(\%) : \frac{37,38\% + 14,01\%}{2} * 100 = 25,70\%$$

- **Cálculo del porcentaje de consistencia (K):**

Sustituyendo los valores para la muestra N°1 del rechazo de limpiadores de baja densidad tercera etapa, en la ecuación (9) se tiene:

$$K(\%) = \frac{1,31}{103,46} * 100 = 1,27\%$$

- **Cálculo del porcentaje de materia inorgánica (cenizas) (C):**

Sustituyendo para la muestra N°2 del rechazo del lavador 3, en la ecuación (10) se tiene:

$$C(\%) = \frac{(11,3968g - 11,2894g)}{0,2372g} * 100 = 45,28\%$$

- **Cálculo del porcentaje de finos presente en muestra:**

Sustituyendo para los finos del rechazo del Fine Screen N°3 en la ecuación (11) se tiene:

$$\% \text{ finos} = \frac{0,2440g}{2,0515} * 100 = 11,8937\%$$

- **Cálculo del porcentaje de fibra útil presente en una muestra:**

Sustituyendo para el porcentaje de finos calculado en la parte anterior, en la ecuación (12) se tiene:

$$\% f_{\text{útil}} = (100 - 11,89) = 88,11\%$$

- **Cálculo del flujo volumétrico a la salida de la Torre de Peróxido:**

Sustituyendo para la segunda medición con las ecuación (13) y (14):

$$Q_{STP} = (((2,73^2 * 1,456 * (36,5/100) * 3,1416) / 4) / (37 \text{ min})) * 1000L / m^3 = 230,3434L / \text{min}$$

- **Cálculo del flujo másico de una corriente i:**

Sustituyendo en la ecuación (15) para el flujo másico de la corriente de rechazo de Spectro Screen 13 se tiene:

$$m_{(i)} = 620,24(L/\text{min}) * (0,25/100(\text{kg/L})) * 1,44 = 122,461\text{ton} / \text{día}$$

- **Cálculo del flujo másico de fibra útil presente en una corriente:**

Sustituyendo para el rechazo del Fine Screen N°3, en la ecuación (16) se tiene:

$$m_{f_{\text{útil}(i)}} = (1 - (16/100)) * (88,11/100) * 114\text{ton} / \text{día} = 84,3741\text{ton} / \text{día}$$

- **Cálculo de los costos asociados a las pérdidas de fibra en dólares:**

Sustituyendo para la fibra útil en el rechazo del lavador 3, con la ecuación (17) se tiene:

$$\text{Costo} = (1687,41\$/\text{ton} * 0,8447\text{ton/día}) = 1425\$/\text{día}$$

Determinación de la factibilidad económica de las alternativas seleccionadas.

- **Inversión inicial para las alternativas de solución**

Sustituyendo para la alternativa 1 con las ecuaciones (18) y (19) se tiene:

$$II = 38.232\$ + 0,3 * 38.232\$ = 49.702 \$$$

- **Ahorro anual para las alternativas de solución**

Sustituyendo para la alternativa 1 con la ecuación (20) se tiene:

$$Ah = 16.955.352\$ - 16893554\$ = 61.798\$$$

- **Precio de venta de los equipos al final del horizonte económico**

Sustituyendo para la alternativa 1 año 2 en las ecuaciones (22) y (23), se tiene:

$$VF = 38.232 - (2 - 1) * (38.232 * 0,1) = 34408,8\$$$

- **Flujo monetario para cada año del horizonte económico**

Sustituyendo para la alternativa 1 año 2 en la ecuación (21), se tiene:

$$Ft = 61.798\$ - 49.702 \$ + 34408,8\$ = 46504,8\$$$

- **Valor actual de la alternativa de solución**

Sustituyendo para la alternativa 2, con la ecuación (1) se tiene:

$$VA = \sum_{t=0}^n (236.953 + 251.613 + 266.273 + 280.933 + 295.593 + 310.253 + 324.913 + 339.573 + \dots \\ \dots 354.233 + 368.893) = 1.600.980 \$$$

- **TIR de la alternativa de solución**

Sustituyendo para la alternativa 2, con la ecuación (3) se tiene:

$$0 = \sum_{t=0}^n (236.953 + 251.613 + 266.273 + 280.933 + 295.593 + 310.253 + 324.913 + 339.573 + 354.233 + 368.893)$$

$$\text{TIR} = 93,2\%$$

ANEXOS

Anexo N° 1. Laminas de pulpa virgen.



Figura N°20. Laminas de pulpa virgen.

Anexo N° 2. Diferentes tipos de fibra reciclada.



Figura N°21. Diferentes tipos Fibra reciclada.

Anexo N° 3. Desperdicio de proceso (Merma).



Figura N°22. Desperdicio de proceso (Merma).

Anexo N° 4. Pulper y sus partes. (Kimberly- Clark, 2004)

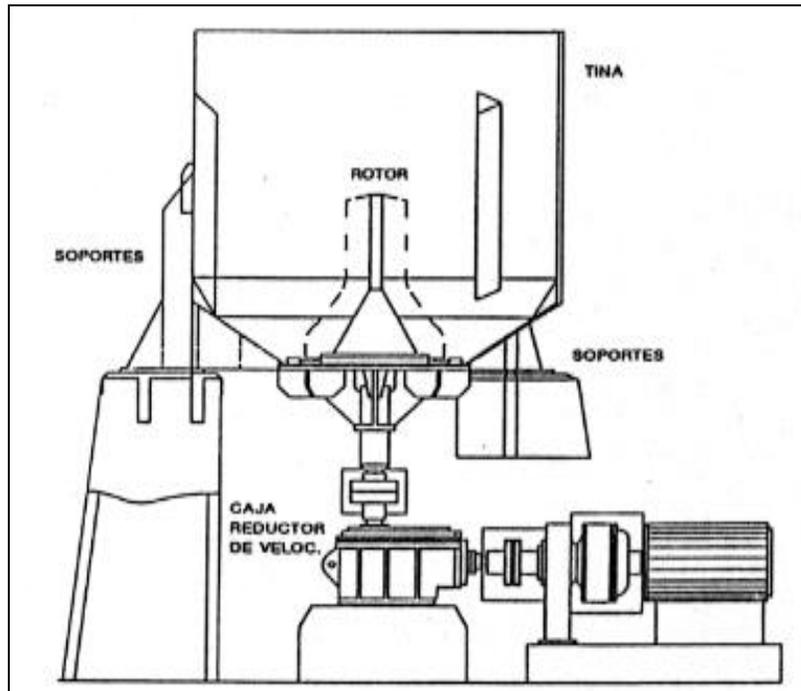


Figura N°23. Pulper y sus partes. (Kimberly- Clark, 2004)

Anexo N° 5. Diagrama esquemático del Contaminex. (Kimberly- Clark, 2004)

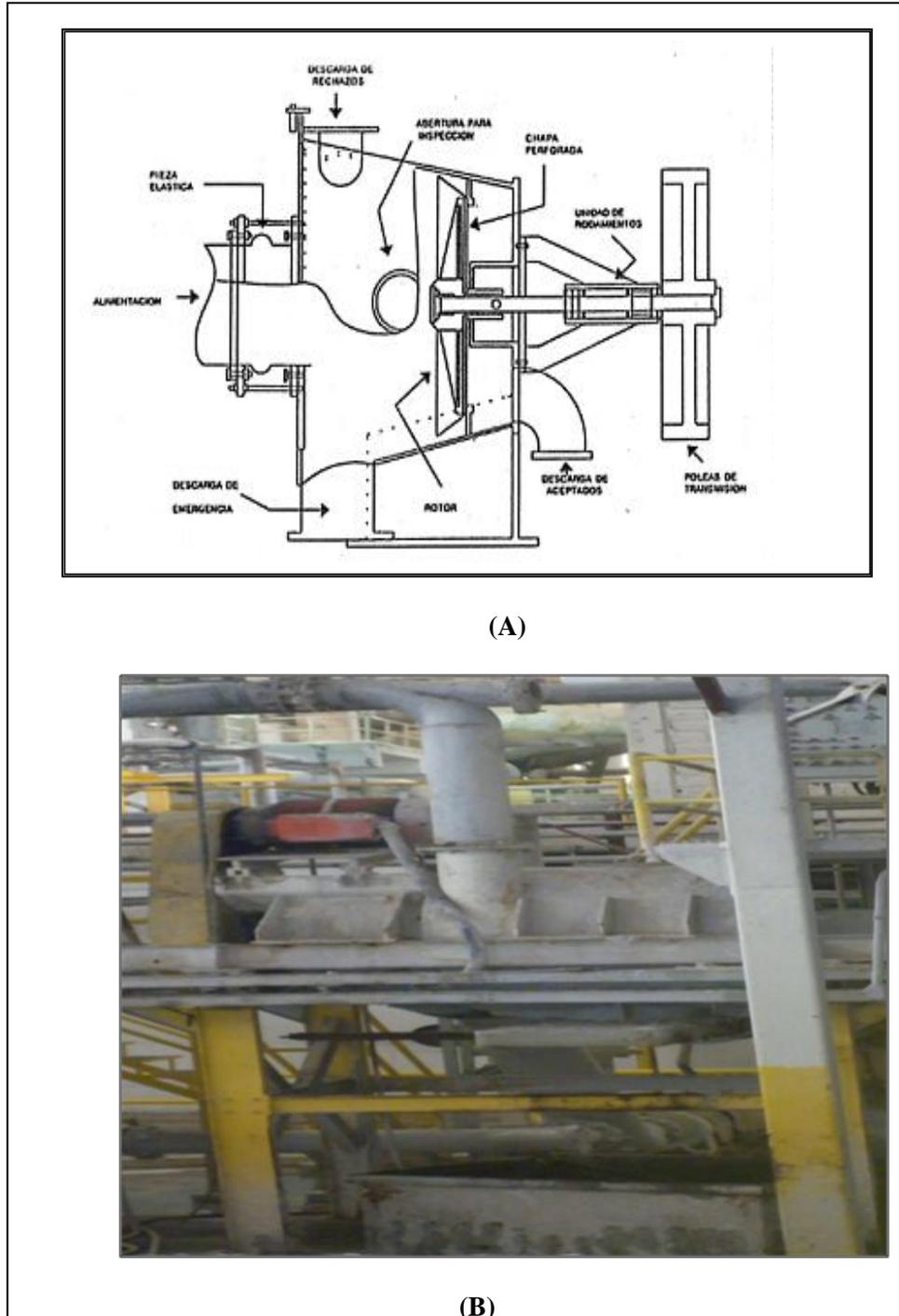


Figura N°24. (A) Diagrama esquemático del Contaminex. (B).Contaminex.

Anexo N° 6. Tambor Clasificador.



Figura N°25. Tambor Clasificador.

Anexo N° 7. Spectro-Screen 13.



Figura N°26. Spectro-Screen 13.

Anexo N° 8. Limpiador cónico centrífugo y sus partes.



Figura N° 27 (A). Funcionamiento del Limpiador cónico centrífugo (T2).

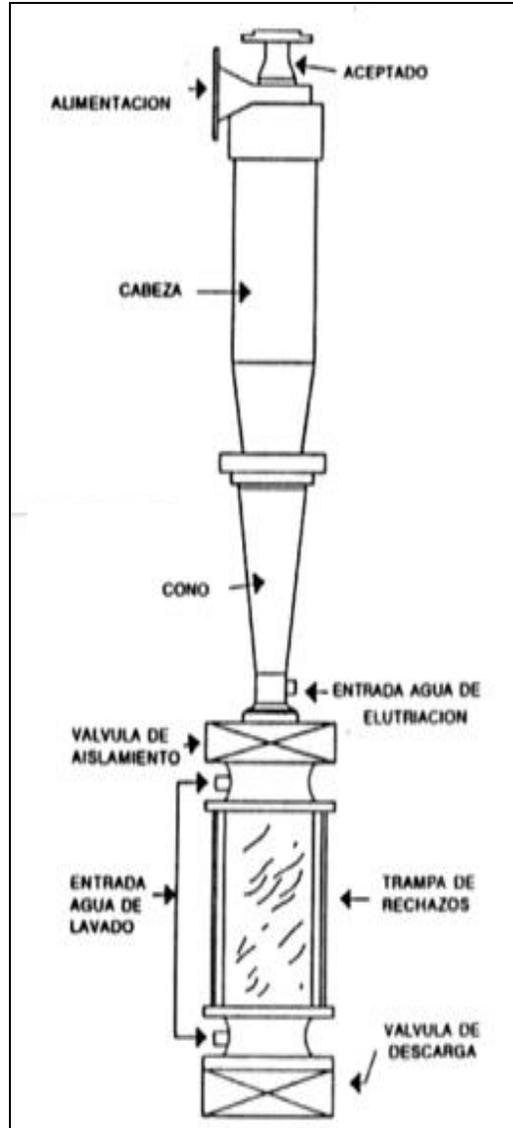


Figura N° 27 B. Partes de Limpiador cónico centrífugo (T2). (Kimberly- Clark, 2004)

Anexo N° 9. Estructura de un depurador presurizado.



Figura N°28 A. funcionamiento de depurador presurizado.

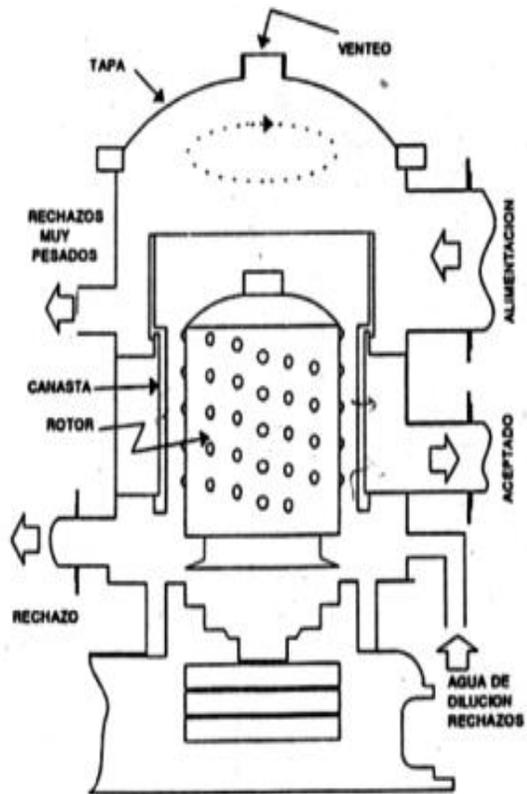


Figura N°28 B. partes de depurador presurizado (Kimberly-Clark, 2004).

Anexo N° 10. Cestas tamiz de Depurador Presurizado. (Rivera, 2003).

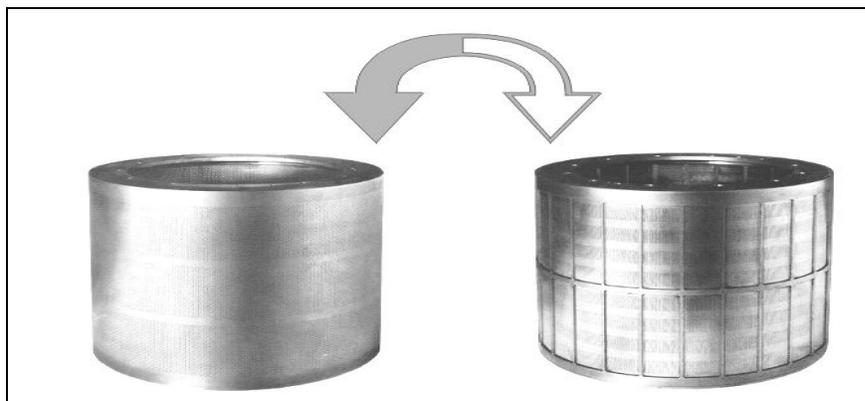


Figura N°29. Cestas tamiz de Depurador Presurizado. (Rivera, 2003)

Anexo N° 11. Limpiador centrifugo de baja densidad.

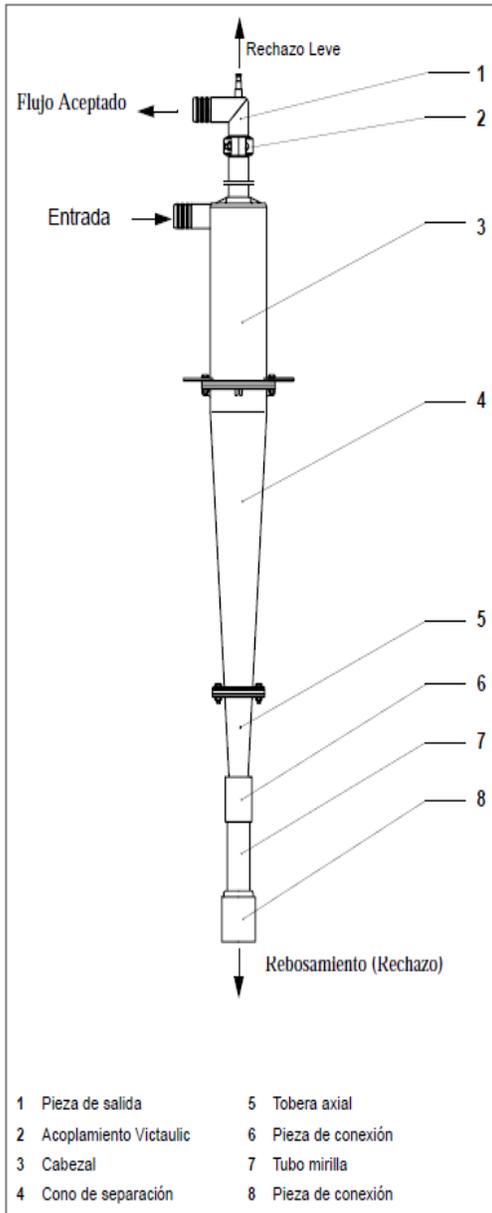


Figura N° 30 A. Componentes del Limpiador centrifugo de baja densidad. (Kimberly- Clark, 2004)

Figura N° 30 B. Sistema de batería de Limpiadores centrifugo de baja densidad

Anexo N° 12. Limpiadores cónicos reversos.

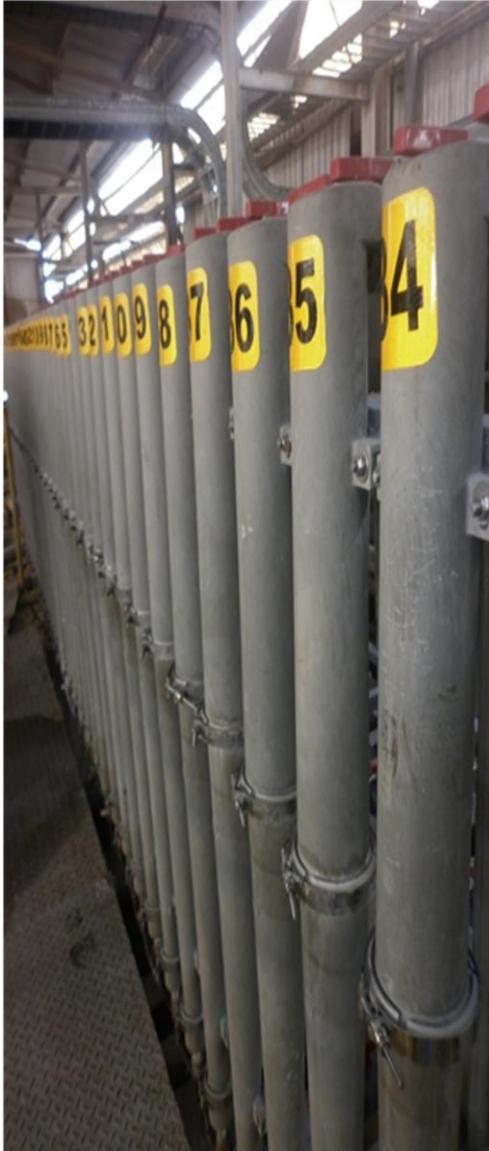


Figura N° 31 A. Sistema de batería de Limpiadores cónicos reversos. Vista lateral.



Figura N°31 B. Sistema de batería de Limpiadores cónicos reversos. Vista frontal.

Anexo N° 13. Partes del Lavador.

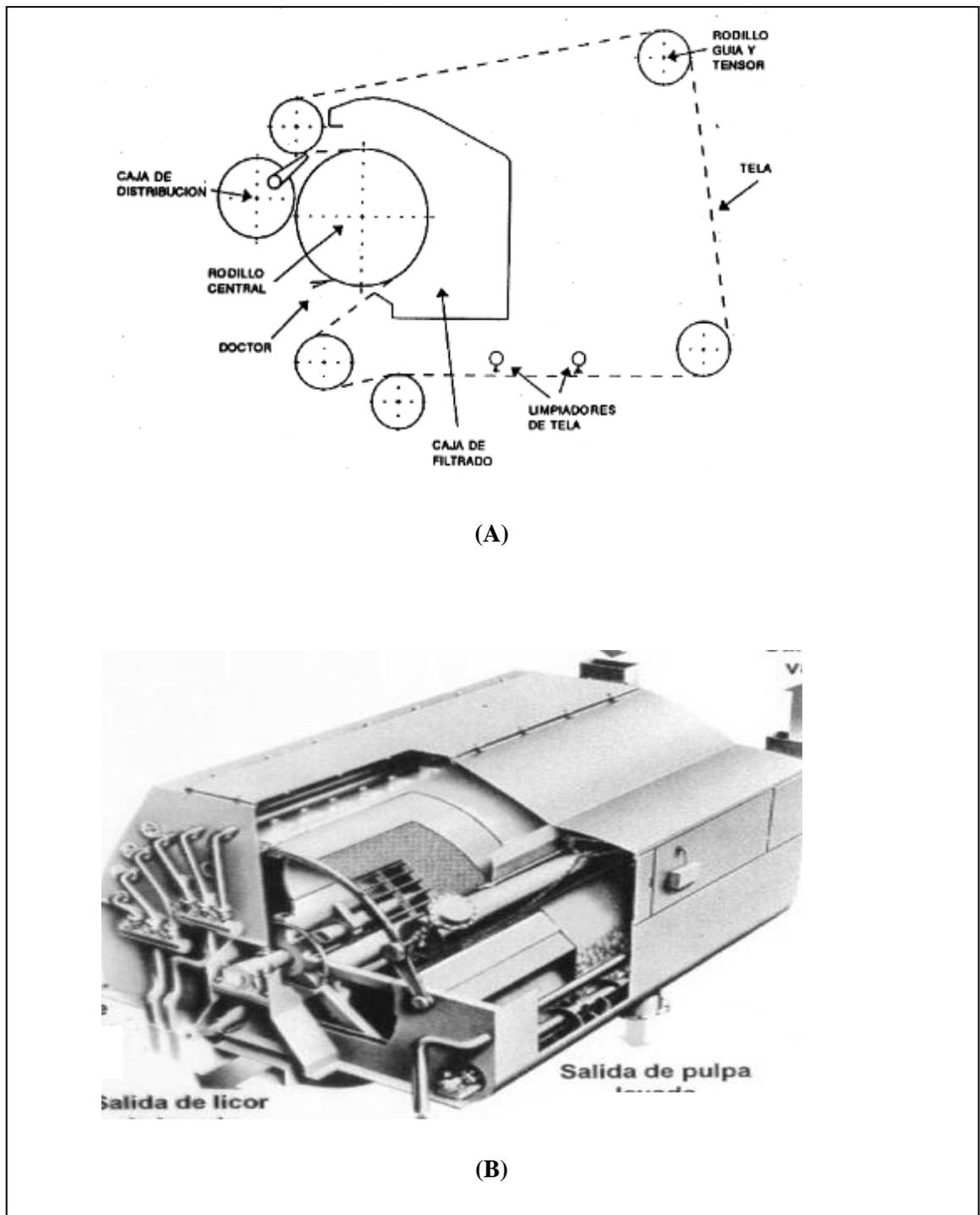


Figura N° 32. (A). Partes del Lavador. (Kimberly- Clark, 2004) (B). Lavador. (Rivera, 2003)

**Anexo N° 14. Máquina papelera empleada en la producción de papel en
Kimberly- Clark.**



(A)



(B)

Figura N°33. (A). Máquina Papelera (Mp4), vista Frontal. (B). Máquina Papelera (Mp4), vista lateral.

Anexo N° 15. Diagrama Causa- efecto. (Torres, 1992)

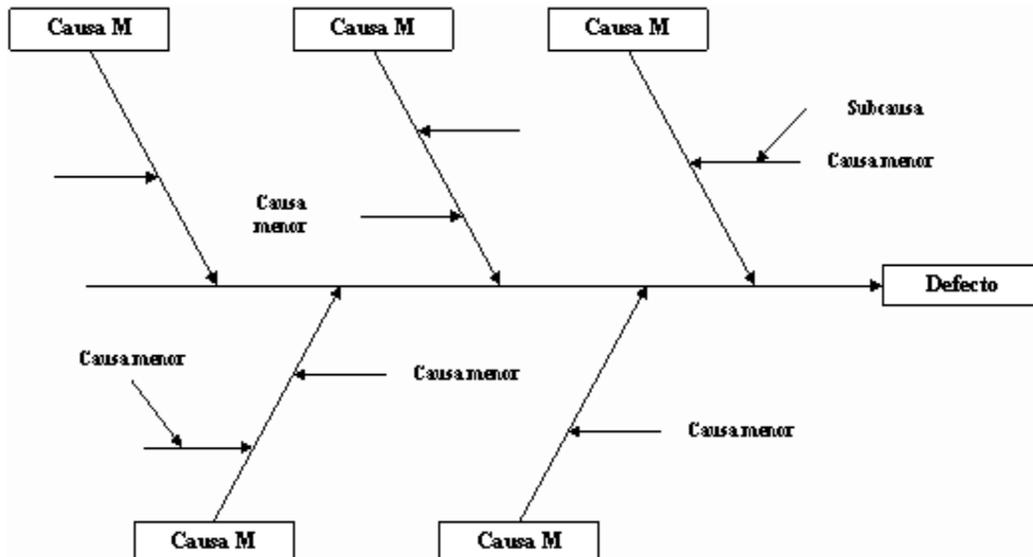


Figura N° 34. Diagrama Causa- efecto. (Torres, 1992)

Anexo N° 16. Diagrama de Pareto. (Torres, 1992)

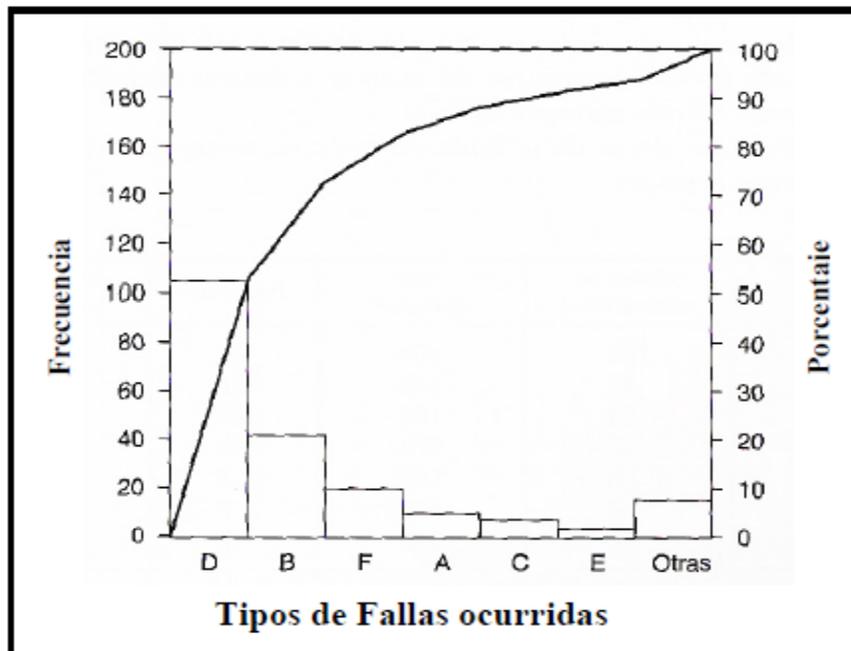


Figura N°35. Diagrama de Pareto. (Torres, 1992)