



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LA PLANTA DE
RECICLAJE DE PAPEL DEL DEPARTAMENTO DE MANUFACTURA DE
LA EMPRESA KIMBERLY & CLARK VENEZUELA**

Tutor académico:
Katuska Franceschi

Integrantes:
ARTEAGA, Miguel
SILVA, Lérica

Valencia, 29 de Octubre de 2008



Contenido	Pág.
Introducción.....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	6
1.2.1 Situación actual.....	6
1.2.2 Situación deseada.....	7
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Justificación.....	8
CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Bases teóricas.....	11
2.2.1 Papel.....	11
2.2.2 Propiedades del papel.....	11
2.2.3 Tipos de papel.....	14
2.2.4 Papel reciclado.....	15
2.2.5 Reciclaje de papel.....	15
2.2.6 Variables que influyen en el proceso.....	16
2.2.7 Diagrama causa – efecto.....	17
2.2.7.1 Construcción del diagrama de causa y efecto.....	20
2.2.7.2 Beneficios del diagrama causa - efecto.....	22
2.2.7.3 Desventajas del diagrama de Ishikawa.....	22
2.2.8 Mejores prácticas de manufactura.....	22
2.2.9 Centerlining.....	23
2.2.10 Análisis costo – beneficio.....	23

Contenido	Pág.
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	
3.1 Preparación de la pasta.....	28
3.1.1 Pulper N° 4.....	28
3.1.2 Limpieza de alta consistencia.....	28
3.1.2.1 Limpiador centrífugo (Contaminex).....	29
3.1.2.2 Tambor Clasificador.....	29
3.2 Depuración gruesa.....	30
3.2.1 Separador de pasta espesa (T2 # 3).....	30
3.2.2 Cribas rotatorias presurizadas gruesas (Spectro Screen 23 y 13)....	30
3.3 Depuración fina.....	31
3.3.1 Limpiadores de baja densidad.....	31
3.3.2 Depuradores verticales (Fine Screen).....	32
3.3.3 Limpiadores reversos (LT3).....	34
3.4 Lavado.....	34
3.4.1 Lavador COMER - AL 200.....	34
3.4.2 Tornillo Prensa (Screw Press).....	35
3.5 Blanqueo.....	36
3.5.1 Dispensor.....	36
3.6 Refinación.....	39
3.7 Formación de la bobina.....	39
3.8 Conversión.....	42
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO	
4.1 Tipo de investigación.....	44
4.2 Diagnostico del proceso de reciclaje de papel.....	45
4.2.1 Elaboración del diagrama de flujo del proceso.....	45
4.2.2 Recopilación de fundamentos teóricos y revisión del manual operacional de los equipos.....	45

Contenido	Pág.
4.2.3 Descripción detallada del proceso de reciclaje de papel.....	45
4.2.4 Identificación de las variables con sus rangos o valores de los equipos para definir condiciones de operación.....	45
4.3 Análisis de las causas más incidentes que originan la desviación de las condiciones de operación existentes en el proceso.....	50
4.3.1 Determinación de las mejores condiciones de operación de los equipos que constituyen la etapa de reciclaje de papel.....	50
4.3.2 Revisión de la herramienta mejores prácticas de manufactura.....	50
4.3.3 Determinación del cumplimiento de la técnica en cada una de las etapas.....	50
4.3.4 Desarrollo del diagrama causa-efecto.....	50
4.3.5 Selección de las causas más influyentes.....	51
4.4 Establecimiento de alternativas de solución.....	52
4.4.1 Generación de alternativas que den soluciones concretas.....	52
4.4.2 Desarrollo de soluciones para la implementación.....	52
4.5 Selección de alternativas de solución más apropiadas teniendo en cuenta la evaluación técnica.....	52
4.5.1 Establecimiento de criterios y ponderación.....	52
4.5.2 Análisis de cada una de las alternativas planteadas.....	54
4.6 Estimación de la relación costo – beneficio de la alternativa de solución seleccionada.....	55
 CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
5.1 Diagnóstico del proceso de reciclaje de papel de la empresa.....	56
5.1.1 Etapa de pulpeo.....	56
5.1.1.1 Secuencia de pulpeo.....	57
5.1.1.2 Variables que afectan al proceso de pulpeo.....	58

Contenido	Pág.
5.1.2 Limpieza de alta consistencia.....	61
5.1.2.1 Limpiador centrífugo (Contaminex).....	61
5.1.2.2 Tambor clasificador.....	63
5.1.3 Etapa de depuración gruesa.....	64
5.1.3.1 Separador de pasta espesa.....	64
5.1.3.2 Cribas rotatorias presurizadas gruesas.....	67
5.1.4 Etapa de depuración fina.....	69
5.1.4.1 Limpiadores de baja densidad.....	70
5.1.4.2 Depurador vertical.....	72
5.1.4.3 Limpiadores reversos.....	73
5.1.5 Etapa de lavado.....	74
5.1.5.1 Lavador.....	74
5.1.5.2 Tornillo prensa.....	78
5.1.6 Etapa de blanqueo.....	80
5.1.6.1 Dispensor.....	80
5.1.7 Identificación de las condiciones actuales de cada una de las etapas del proceso reciclaje.....	83
5.2 Análisis de las causas más incidentes que originan la desviación de las condiciones de operación existentes en el proceso.....	92
5.2.1 Desarrollo del diagrama causa -efecto.....	99
5.2.1.1 Etapa de pulpeo.....	101
5.2.1.2 Etapa de depuración gruesa.....	103
5.2.1.3 Etapa de depuración fina.....	105
5.2.1.4 Etapa de lavado.....	107
5.2.1.5 Etapa de blanqueo.....	108



Contenido	Pág.	
5.2.2 Selección de las causas más influyentes.....	110	
CAPÍTULO VI. GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS		
6.1 Planteamiento de las propuestas de mejoras.....	113	
6.1.1 Etapa de pulpeo.....	113	
6.1.2 Etapa de depuración gruesa.....	115	
6.1.3 Etapa de depuración fina.....	116	
6.1.4 Etapa de lavado.....	117	
6.1.5 Etapa de blanqueo.....	117	
6.2 Selección de las propuestas técnicamente factibles.....	118	
CAPÍTULO VII. DESARROLLO DE LAS MEJORAS		
7.1 Estimación de la relación costo-beneficio.....	123	
7.1 Estimación del ahorro asociado a la propuesta.....	126	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
Conclusiones.....	130	
Recomendaciones.....	131	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		132
APENDICE A. Cálculos típicos.....	134	
APENDICE B. Datos experimentales.....	143	
APENDICE C. Resultados experimentales.....	175	
ANEXOS.....	189	

	Pág.
Figura 1.1	Proceso de destintado del papel..... 4
Figura 2.1	Estructura del Diagrama de Ishikawa..... 17
Figura 2.2	Forma en que se representa el problema en el diagrama..... 20
Figura 2.3	Diagrama Causa y Efecto ó Diagrama de Ishikawa..... 20
Figura 2.4	Análisis del diagrama de Causa – Efecto..... 21
Figura 3.1	Diagrama del proceso de elaboración de papel..... 27
Figura 3.2	Transporte de la materia prima al pulper N° 4..... 28
Figura 3.3	Equipo desintegrador de la materia prima (Pulper N° 4)..... 28
Figura 3.4	Limpiador Centrífugo (Contaminex)..... 29
Figura 3.5	Tambor Clasificador..... 29
Figura 3.6	Separador de Pasta espesa en la etapa de depuración gruesa..... 30
Figura 3.7	Criba Rotatoria N° 23..... 31
Figura 3.8	Criba Rotatoria N° 13..... 31
Figura 3.9	Limpiadores de Baja Densidad..... 32
Figura 3.10	Depurador vertical primario (Fine screen N° 1)..... 33
Figura 3.11	Depurador vertical secundario (Fine screen N° 2)..... 33
Figura 3.12	Depurador vertical terciario (Fine screen N° 3)..... 33
Figura 3.13	Banco de limpiadores reversos en la planta de destintado (LT3).... 34
Figura 3.14	Lavador COMER-AL 200 número 3 de la planta de destintado..... 35
Figura 3.15	Tornillo prensa # 1 de la planta de destintado..... 36
Figura 3.16	Dispensor amasador de la planta de destintado..... 36
Figura 3.17	Tanque de almacenamiento de peróxido de hidrógeno ubicado a las afueras de la planta de destintado..... 37
Figura 3.18	Preparación de hidrosulfito de sodio para el blanqueo reductivo... 38
Figura 3.19	Torre de blanqueo con hidrosulfito en la planta de destintado..... 38
Figura 3.20	Esquema de la máquina papelera de la empresa Kimberly - Clark Venezuela..... 41
Figura 3.21	Rebobinadora de Papel del área de conversión de productos semielaborados..... 42

	Pág.
Figura 3.22 Almacenamiento y Transporte de producto terminado.....	43
Figura 5.1 Pulper de alta consistencia.....	56
Figura 5.2 Vista aérea y lateral del rotor.....	56
Figura 5.3 Influencia del tiempo de pulpeo en el desfibrado.....	59
Figura 5.4 Efecto de la consistencia en el conteo de partículas.....	60
Figura 5.5 Diagrama esquemático del Contaminex.....	63
Figura 5.6 Diagrama esquemático del Separador de pasta espesa.....	65
Figura 5.7 Diagrama esquemático de una Criba Rotatoria Presurizada.....	68
Figura 5.8 Diagrama esquemático de un limpiador.....	71
Figura 5.9 Partes del lavador COMER - AL 200.....	75
Figura 5.10 Partes del Tornillo prensa.....	80
Figura 5.11 Partes del dispersor amasador de la etapa de blanqueo.....	82
Figura 5.12 Estructura de la Paca.....	84
Figura 5.13 Composición del papel.....	84
Figura 5.14 Diagrama causa - efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de pulpeo.....	100
Figura 5.15 Diagrama causa - efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de depuración gruesa.....	105
Figura 5.16 Diagrama causa - efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de depuración fina.....	106
Figura 5.17 Diagrama causa - efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de lavado.....	108
Figura 5.18 Diagrama causa - efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de blanqueo.....	109
Figura 6.1 Sistema de bombeo del agua de retrolavado en el equipo de Separador de pasta espesa.....	116
Figura 7.1 Diagrama de flujo # 1 del proceso de reciclaje de papel.....	127
Figura 7.2 Diagrama de flujo # 2 del proceso de reciclaje de papel.....	128

	Pág.
Tabla 2.1	Composición de las diferentes fibras recicladas..... 18
Tabla 2.2	Composición de los diferentes contaminantes presentes en el papel reciclado..... 19
Tabla 2.3	Representación de las categorías..... 20
Tabla 4.1	Matriz de selección de las alternativas..... 54
Tabla 4.2	Análisis del costo-beneficio de las alternativas propuestas..... 55
Tabla 5.1	Especificaciones de diseño del pulper N° 4..... 58
Tabla 5.2	Especificaciones de diseño del contaminex..... 62
Tabla 5.3	Especificaciones de diseño del tambor clasificador..... 64
Tabla 5.4	Especificaciones de diseño del separador de pasta espesa..... 67
Tabla 5.5	Especificaciones de diseño de la criba tamaño 23 y 13..... 69
Tabla 5.6	Especificaciones de operación de los limpiadores de baja densidad..... 71
Tabla 5.7	Especificaciones de diseño del depurador vertical N° 1..... 72
Tabla 5.8	Especificaciones de diseño del depurador vertical N° 2..... 73
Tabla 5.9	Especificaciones de diseño del depurador vertical N° 3..... 73
Tabla 5.10	Especificaciones de diseño de los limpiadores cónicos..... 74
Tabla 5.11	Condiciones de operación de la etapa de pulpeo..... 85
Tabla 5.12	Condiciones de operación del separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa..... 86
Tabla 5.13	Condiciones de operación de la criba presurizada 23 (SS-23) de la etapa de depuración gruesa..... 87
Tabla 5.14	Condiciones de operación de la criba presurizada 13 (SS-13) de la etapa de depuración gruesa..... 87
Tabla 5.15	Condiciones de operación de los limpiadores de baja densidad... 88
Tabla 5.16	Condiciones de operación de la criba presurizada # 1 (FS-01)..... 88
Tabla 5.17	Condiciones de operación de la criba presurizada # 2 (FS-02)..... 89
Tabla 5.18	Condiciones de operación de la criba presurizada # 3 (FS-03)..... 89
Tabla 5.19	Condiciones de operación de los limpiadores reversos (LT3)..... 90

	Pág.
Tabla 5.20	Condiciones de operación del lavador N° 3..... 91
Tabla 5.21	Condiciones de operación del tornillo prensa..... 91
Tabla 5.22	Condiciones de operación del dispersor..... 92
Tabla 5.23	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la plante de la etapa de pulpeo..... 93
Tabla 5.24	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la planta en el equipo separador de pasta espesa..... 93
Tabla 5.25	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada # 23 (SS-23)..... 94
Tabla 5.26	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada # 13 (SS-13)..... 94
Tabla 5.27	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en el equipo de depuración de baja consistencia..... 94
Tabla 5.28	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada N° 1 de depuración fina..... 95
Tabla 5.29	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada N° 2 de depuración fina..... 95
Tabla 5.30	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada N° 3 de depuración fina..... 95
Tabla 5.31	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en en los limpiadores cónicos inversos (LT3) de la depuración fina..... 96
Tabla 5.32	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en el lavador..... 96
Tabla 5.33	Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en el dispersor..... 96
Tabla 5.34	Cumplimiento de las Best Practices del área del pulper en la planta..... 97
Tabla 5.35	Cumplimiento de las Best Practices del área de depuración gruesa en la planta..... 98



	Pág.
Tabla 5.36 Cumplimiento de las Best Practices del área de depuración fina fina en la planta.....	98
Tabla 5.37 Cumplimiento de las Best Practices del área de lavado en la planta.....	98
Tabla 5.38 Matriz de selección de las variables ó causas más influyentes del proceso de reciclaje de papel.....	110
Tabla 6.1 Matriz de selección N° 1 de las alternativas de solución propuesta.....	121
Tabla 6.2 Matriz de selección N° 2 de las alternativas de solución propuesta.....	122
Tabla 7.1 Costos asociados a los equipos a la alternativa de solución.....	123
Tabla 7.2 Análisis del costo-beneficio de la alternativa propuesta.....	126
Tabla 7.3 Ahorro en el proceso de reciclaje de papel al implementar la propuesta.....	129
Tabla B.1 Variables que influyen en el proceso de pulpeo por cada carga al pulper N° 4.....	144
Tabla B.2 Variables necesarias para la determinación de las consistencias a la entrada y a la salida de la etapa de pulpeo.....	145
Tabla B.3 Variables necesarias para la determinación de la composición de papel.....	145
Tabla B.4 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación del separador de pasta espesa (T3) en la etapa de depuración gruesa.....	146
Tabla B.5 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado del separador de pasta espesa (T3) en la etapa de depuración gruesa.....	147
Tabla B.6 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo del separador de pasta espesa (T3) en la etapa de depuración gruesa.....	148

	Pág	
Tabla B.7	Variables necesarias para determinar las condiciones de agua de electriciación del separador de pasta espesa (T3) en la depuración gruesa.....	148
Tabla B.8	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación de la alimentación y aceptado de la criba N° 23 de la etapa de depuración gruesa.....	149
Tabla B.9	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación del rechazo de la criba presurizada N° 23 de la etapa de depuración gruesa.....	150
Tabla B.10	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de la criba presurizada N° 13 de la etapa de depuración gruesa.....	151
Tabla B.11	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la aceptado de la criba presurizada N° 13 de la etapa de depuración gruesa.....	152
Tabla B.12	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la rechazo de la criba presurizada N° 13 de la etapa de depuración gruesa.....	153
Tabla B.13	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de los limpiadores de baja densidad en la etapa de depuración fina.....	154
Tabla B.14	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de los limpiadores de baja densidad en la etapa de depuración fina.....	155
Tabla B.15	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de los limpiadores de baja densidad en la etapa de depuración fina.....	156
	Pág.	

Tabla B.16	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de la criba presurizada N° 1 en la etapa de depuración fina.....	157
Tabla B.17	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de la criba presurizada N° 1 en la etapa de depuración fina.....	157
Tabla B.18	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de la criba presurizada N° 1 en la etapa de depuración fina.....	158
Tabla B.19	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de la criba presurizada N° 2 en la etapa de depuración fina.....	159
Tabla B.20	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de la criba presurizada N° 2 en la etapa de depuración fina.....	160
Tabla B.21	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de la criba presurizada N° 2 en la etapa de depuración fina.....	161
Tabla B.22	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de la criba presurizada N° 3 en la etapa de depuración fina.....	162
Tabla B.23	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de la criba presurizada N° 3 en la etapa de depuración fina.....	163
Tabla B.24	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de la criba presurizada N° 3 en la etapa de depuración fina.....	164



Tabla B.25	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación del primer banco de limpiadores inversos (LT3).....	165
Tabla B.26	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación del aceptado del primer banco de limpiadores inversos (LT3).....	166
Tabla B.27	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación del rechazo del primer banco de limpiadores inversos (LT3).....	167
Tabla B.28	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado del segundo banco de limpiadores inversos (LT3).....	168
Tabla B.29	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación del rechazo del segundo banco de limpiadores inversos (LT3).....	170
Tabla B.30	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación del lavador N°3 en la etapa de lavado.....	171
Tabla B.31	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado del lavador N°3 en la etapa de lavado.....	172
Tabla B.32	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo del lavador N°3 en la etapa de lavado.....	173
Tabla B.33	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la aceptado y rechazo del tornillo prensa.....	174
Tabla B.34	Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la salida del dispersor en la etapa de blanqueo.....	174



Tabla C.1	Parámetros obtenidos para la determinación de la composición del papel en la etapa de pulpeo.....	176
Tabla C.2	Parámetros obtenidos para la determinación de la consistencia en la entrada y salida en la etapa de pulpeo.....	176
Tabla C.3	Tiempos y cantidad de agua utilizada en la etapa de pulpeo.....	176
Tabla C.4	Presiones obtenidas en el separador de pasta de la etapa de depuración gruesa.....	177
Tabla C.5	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencia en el separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa...	177
Tabla C.6	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en el separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa...	177
Tabla C.7	Parámetros obtenidos para la determinación de la caída de presión y flujo volumétrico en el separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa.....	178
Tabla C.8	Presiones obtenidas en la criba presurizada # 23 (SS-23) de la etapa de depuración gruesa.....	178
Tabla C.9	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencia en la criba presurizada # 23 (SS-23) de la etapa de depuración gruesa.....	178
Tabla C.10	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la criba presurizada # 23 (SS-23) de la etapa de depuración gruesa.....	179
Tabla C.11	Presiones obtenidas en la criba presurizada # 13 (SS-13) de la etapa de depuración gruesa.....	179
Tabla C.12	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencia en la criba presurizada # 13(SS-13) de la etapa de depuración gruesa	179
Tabla C.13	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la criba presurizada # 13 (SS-13) de la etapa de depuración gruesa.	180



Tabla C.14	Presión obtenida a la entrada de los limpiadores de baja densidad de la etapa de depuración fina.....	180
Tabla C.15	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en los limpiadores de baja densidad de la etapa de la depuración fina.....	180
Tabla C.16	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en los limpiadores de baja densidad de la etapa de la depuración fina.....	181
Tabla C.17	Presiones obtenidas en la criba presurizada # 1(FS-01) en la etapa de depuración fina.....	181
Tabla C.18	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en la criba presurizada # 1 (FS-01) de la etapa de depuración fina....	181
Tabla C.19	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la criba presurizada # 1 (FS-01) de la etapa de depuración fina....	182
Tabla C.20	Presiones obtenidas en la criba presurizada # 2 (FS-02) en la etapa de depuración fina.....	182
Tabla C.21	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en la criba presurizada # 2 (FS-02) de la etapa de depuración fina.....	182
Tabla C.22	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la criba presurizada #2 (FS-02) de la etapa de depuración fina.....	183
Tabla C.23	Presiones obtenidas en la criba presurizada # 3 (FS-03) en la etapa de depuración fina.....	183
Tabla C.24	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en la criba presurizada #3 (FS-03) de la etapa de depuración fina.....	183
Tabla C.25	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la criba presurizada #3 (FS-03) de la etapa de depuración fina.....	184
Tabla C.26	Presiones obtenidas en el primer banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.....	185



Tabla C.27	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en el primer banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.....	185
Tabla C.28	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en el primer banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.....	186
Tabla C.29	Presiones obtenidas en el segundo banco de limpiadores Inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.....	186
Tabla C.30	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en el segundo banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.....	186
Tabla C.31	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en el segundo banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.....	187
Tabla C.32	Parámetros obtenidos para la determinación de la caída de presión en los limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.....	187
Tabla C.33	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en el lavador N° 3 en la etapa de lavado.....	188
Tabla C.34	Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en el lavador N° 3 en la etapa de lavado.....	188
Tabla C.35	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en el tornillo prensa.....	189
Tabla C.36	Parámetros obtenidos para la determinación de consistencias en el dispersor en la etapa de blanqueo.....	189
Tabla C.37	Temperatura y pH a la salida del dispersor en la etapa de blanqueo.....	189

RESUMEN

El presente trabajo especial de grado tuvo como objetivo principal evaluar las condiciones de operación del proceso del reciclaje de papel, mediante una investigación enmarcada bajo la modalidad de tipo experimental y proyecto factible, que permitió presentar mejoras en los equipos que conforman el proceso.

Para el logro de cada uno de los objetivos planteados, se procedió inicialmente a un diagnóstico del proceso actual, el cual permitió describir el proceso y conocer las diferentes variables involucradas en cada etapa del reciclaje; posteriormente se determinaron las actuales condiciones de operación y luego se compararon con las condiciones establecidas en los manuales de diseño y/o la técnica de mejores prácticas de manufactura de manera de visualizar las desviación que presentan estas condiciones de operación. Seguidamente se identificaron, mediante de diagramas de Ishikawa, las causas que están originando la desviación en cada una de las etapas del proceso, luego se realizó un análisis que permitió determinar la causas más influyente en base a la selección de las variables que más afecta el desempeño de proceso, en cuanto a la pérdida de fibra y calidad de la pasta obtenida al final del reciclaje.

De acuerdo al comportamiento de las variables que definen las condiciones de operación se generaron diversas alternativas que permitieran mejorar la eficiencia de los equipos que conforman cada una de las etapas, para posteriormente seleccionar entre ellas la propuesta más adecuada en base a una evaluación técnica y tomando en consideración las variables más influyentes.

Con la propuesta seleccionada para controlar la consistencia en el proceso y reducir la pérdida de fibra por rebosamiento, se tiene que al instalar un lazo de control al inicio de la etapa de depuración fina, el porcentaje de merma (pérdida de fibra) no se incrementaría, manteniéndose como máximo en aproximadamente 34 %. Entre las conclusiones de mayor importancia se tiene que la implementación de un sistema de control de consistencia es técnicamente factible y atractiva.

Palabras Claves: Papel, Reciclaje de Papel, Consistencia.

SUMMARY

The present special work of degree had as principal aim evaluate the conditions of operation of the process of the recycling paper, by means of an investigation framed under the modality of experimental type and feasible project, which allowed to present improvements in the equipments that shape the process.

For the achievement of each one of the raised aims, one proceeded initially to a diagnosis of the current process, which allowed to describe the process and to know the different variables involved in every stage of the recycling; later the current conditions of operation decided and then they were compared with the conditions established in the manuals of design and / or the technology of best practices of manufacture of way of visualizing the desviación who present these conditions of operation. Immediately afterwards there were identified, by means of of Ishikawa's graphs, the reasons that are originating the diversion in each of the stages of the process, then there was realized an analysis that it allowed to determine the cause more influential on the basis of the selection of the variables that more sympathetic the process performance, as for the loss of fiber and quality of the pasta obtained at the end of the recycling.

In agreement to the behavior of the variables that define the conditions of operation there were generated diverse alternatives that were allowing to improve the efficiency of the equipments that agree each of the stages, later to select between them the offer most adapted on the basis of a technical evaluation and taking in consideration the most influential variables.

With the offer selected to control the consistency in the process and to reduce the loss of fiber for rebosamiento, there is had that on having installed a bow of control to the beginning of the stage of thin purification, the percentage of wastage (loss of fiber) would not increase, being kept at the maximum in approximately 34 %. Between the conclusions of major importance there is had that the implementation of a system of control of consistency is technically feasible and attractive.

Key words: Paper(Role), Recycling of Paper(Role), Consistency.

INTRODUCCIÓN

En el mundo desarrollado, el concepto de reciclaje es un término muy conocido por una población que hace muchos años comprendió que se debe cuidar el planeta. Millones de toneladas de desechos sólidos pueden ser recuperadas como materia prima para infinidad de procesos industriales y agrícolas. Los productos de papel tienen una vida útil muy corta, y una vez usados se convierten en residuos sólidos urbanos, el proceso de reciclaje por su parte, se basa en la trituración y desintegración del papel usado, el cual permite obtener un nuevo papel.

El proceso básico de la fabricación de papel no ha cambiado a lo largo de más de 2000 años, e implica dos etapas, trocear la materia prima en agua para formar una suspensión de fibras individuales y formar laminas de fibras entrelazadas extendiendo dicha suspensión sobre una superficie porosa que pueda filtrar el agua sobrante, manteniendo este principio básico la tecnología ha ido perfeccionando la elaboración del papel higiénico y es fundamental mantener un proceso que garantice la calidad del producto si se quiere mantener una empresa dentro del mercado, por lo que en Kimberly Clark se busca un mejoramiento continuo de todo el proceso desde que se recibe la materia prima hasta que se transporta a todos los locales de venta del producto terminado.

Basándose en esto se realizó la presente investigación para lograr un monitoreo de las condiciones actuales de operación de los equipos de la línea de reciclado de papel, identificar aquellas condiciones que se encuentren desviadas, buscar sus posibles causas y proponer soluciones a las mismas.

La metodología empleada constó de varias etapas, la primera de estas etapas se fundamentó en conocer el proceso de reciclado de papel, identificando sus condiciones de operación y equipos involucrados, luego la revisión de los manuales de operación y herramienta de mejores prácticas de manufactura para recopilar los valores y condiciones en los que deberían operar los equipos involucrados para tener un mejor desempeño y eficiencia, por medio de formatos comparativos se identificaron aquellas

condiciones que estaban desviadas ó fuera de los rangos de operación recomendados, por medio de reuniones interactivas con el personal de la planta se realizaron diagramas que ayudaron a visualizar las posibles causas que generaban las desviaciones, luego con el uso de herramientas de selección se identificaron las causas con mayor influencia en las desviaciones y se procedió a atacar dichas causas con propuestas que ofrecieran mejoras al esquema de trabajo o a los equipos directamente con el fin de que corregir eficazmente estas desviaciones.

Finalmente se realizó la estimación de la relación costo-beneficio de la propuesta seleccionada como técnicamente factible para atacar la variable más influyente en el sistema y conocer el ahorro que se presentaría a la empresa.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de esta sección se encuentra una breve reseña de la problemática sometida a estudio, mediante la presentación de la situación actual y la deseada. De igual manera se hace referencia a las razones que justifican realizar la investigación y los objetivos que la misma persigue.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Kimberly & Clark Venezuela, C.A., está ubicada en la zona industrial La Hamaca en el estado Aragua, es filial de la multinacional norteamericana Kimberly & Clark Corporation, caracterizada por la fabricación y comercialización de productos sanitarios (pañales, toallas sanitarias, papel higiénico, papeles finos), productos para la industria, instituciones y para la higiene personal. En Venezuela la compañía es conocida por las marcas Kleenex, Scott, Lirio, Huggies, Kotex entre otras. A nivel mundial Kimberly tiene operaciones de manufactura en 40 países y de comercialización en más de 150.

Kimberly – Clark Corporación nace en 1872 en Neenah – Wisconsin gracias a la iniciativa de cuatro (4) hombres, quienes se inspiraron en la construcción de esta empresa y convertirla en una compañía reconocida entre las mejores en el mundo en término de calidad, eficiencia, productividad y recursos humanos. En el año 1993 se inician las operaciones en Venezuela, a través de Venikin C.A.; actualmente la sede de la planta reside en la empresa Papelera Guaicaipuro C.A., adquirida en el segundo trimestre del año 1996.

La fabricación se inicia utilizando material reciclado como principal materia prima; éste es sometido a un tratamiento que transforma la materia en un producto semielaborado y finalmente en producto terminado, para ser distribuido a nivel nacional. La etapa de destintado es la encargada de llevar a cabo dicho tratamiento, a continuación, en la Figura 1.1, se describe brevemente el proceso apoyado en un diagrama de flujo o representación básica.

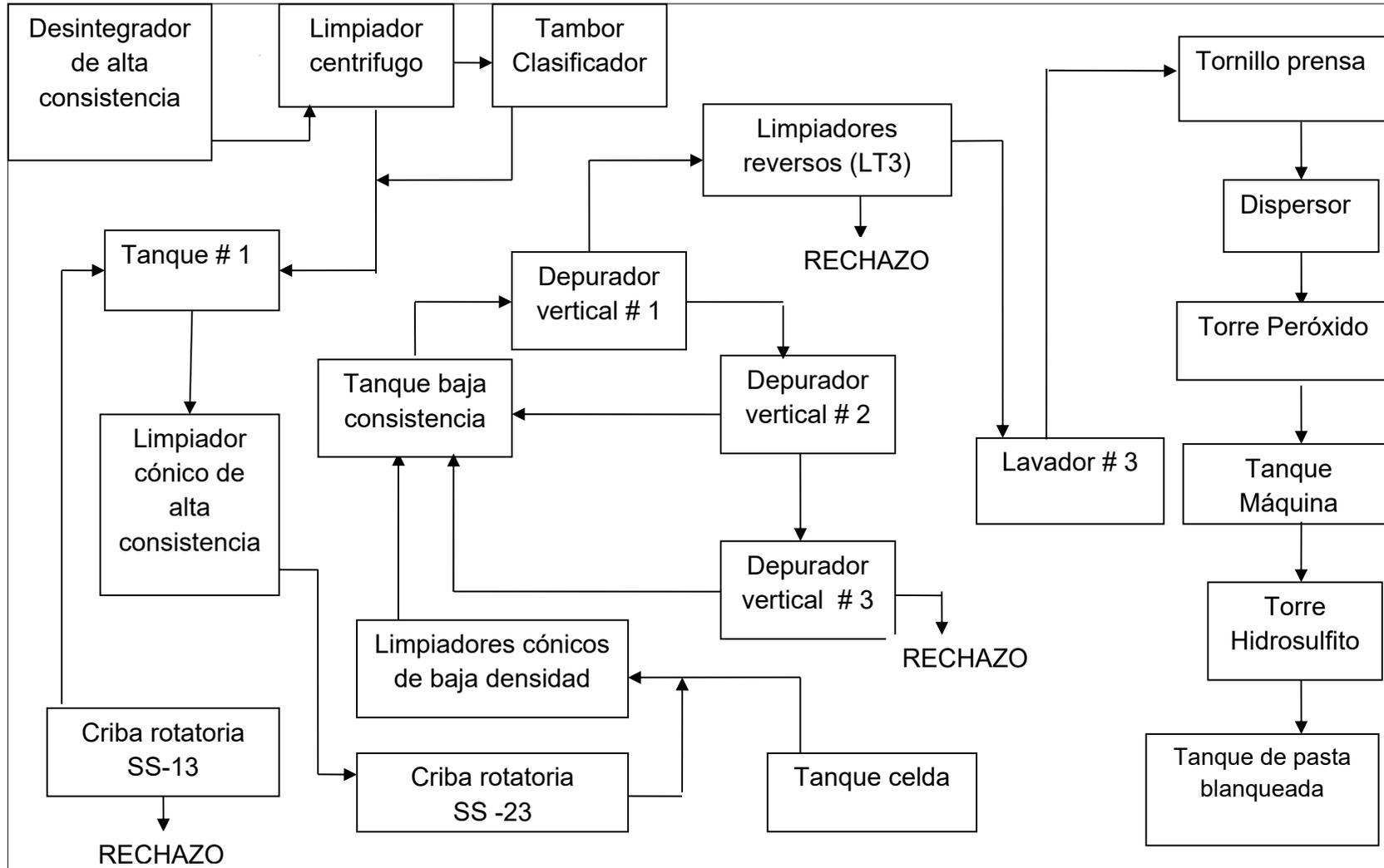


Figura 1.1. Proceso de destintado o reciclaje de papel en la empresa Kimberly & Clark Venezuela

Una vez disponible la materia prima se introduce al pulper (un tanque cilíndrico de acero que se encarga de desintegrar el papel) resultando una pasta que luego es llevada a una etapa de limpieza de alta consistencia, que se encarga de remover los contaminantes de gran tamaño (como plásticos, alambres, maderas, etc.) que se puedan encontrar en la pasta para luego ser suministrada al tanque o pileta 1.

Seguidamente la pasta contenida en la pileta antes mencionada pasa a otra etapa pero de depuración gruesa que conforman los equipos: Limpiadores de alta consistencia ó separador de pasta espesa y dos cribas rotatorias presurizadas (SS-23 y SS-13), los cuales cumplen con la finalidad de retirar lo que a grapas, sujetadores y puntos de pega se refiere que no pudieron ser eliminados por los equipos de limpieza de alta consistencia.

Inmediatamente culminado la etapa anterior, la pasta continua su recorrido a la fase de depuración fina, comprendida por: los limpiadores de baja densidad, depuradores verticales # 1,2 y 3, y los limpiadores reversos (LT3), que remueven los contaminantes más livianos, es decir, arenilla, astilla o plásticos granulados, etiquetas, ceras, trozos derretidos, etc.

Posteriormente entra al lavador (en donde se extraen gran parte de las cenizas y finos inactivos), y luego a la etapa de blanqueo conformada por: el tornillo prensa, dispersor, la torre de peróxido, el tanque máquina y la torre de hidrosulfito; para finalmente ser almacenado en el tanque de pasta blanqueada.

Actualmente, la empresa busca incrementar la productividad disminuyendo las pérdidas provocadas por desperdicios, tiempo, y fallas en los equipos que conforman las diferentes etapas; garantizando en todo momento la calidad que requiere cada uno de sus productos en el mercado a corto y mediano plazo; para ello consideran el desarrollo de una técnica o herramienta llamada Best Practice Manufacture (BPM) ó Mejores Prácticas de Manufactura, que refleja los estándares en el área operativa y de diseño de cada una de las divisiones corporativas a nivel mundial que tienen un desempeño superior a los demás.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de evaluar y plantear alternativas de solución que impliquen el mejoramiento de la línea de reciclaje, con el fin de aumentar la eficiencia del proceso.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad que tiene actualmente, las empresas y organizaciones de todo el mundo, de mejorar su calidad y productividad, como una condición necesaria para poder competir y sobrevivir en los mercados globalizados, las ha llevado a ejecutar acciones tendentes a atacar las causas de sus problemas de deficiencias.

En el proceso de fabricación de papel, donde son numerosas las operaciones que intervienen para formar una hoja, se plantea la interrogante de realizar una evaluación de las condiciones operativas de los equipos que constituyen la línea de reciclaje (que son las piezas fundamentales de todo el proceso de elaboración de papel), para así tener no solo un producto final acorde a las necesidades requeridas por el resto de las áreas que conforman la planta (encargadas de elaborar tal producto) sino también una mayor producción que logre alcanzar las metas planteadas por la empresa cada año.

1.2.1. Situación Actual

La empresa Kimberly & Clark Venezuela cuenta con una línea de reciclado de papel que trabaja de manera semi-automática; por medio del análisis de las etapas que conforman este proceso, se evidencia que el destintado es el punto más importante de la planta basada en papel reciclado, y por ello una pérdida de fibra o pasta no solo atenta contra la productividad de esta área, sino de las del resto, encargadas de elaborar el producto final.

Ante lo expuesto, se desea disponer de las condiciones de operación actuales de cada uno de los equipos que conforman la etapa de reciclado de papel, para así lograr evitar la ocurrencia de la problemática planteada, garantizando el mayor aprovechamiento de la materia prima e indirectamente una mayor eficiencia de remoción de contaminantes.

1.2.2. Situación Deseada

La empresa requiere de una evaluación del proceso de reciclaje, a fin de ofrecer las causas que puedan estar generando que las condiciones operativas no sean las más indicadas o apropiadas que se deberían obtener de cada una de las etapas que conforman tal proceso.

En cuanto al alcance de esta investigación, radica en plantear diversas propuestas de mejora en cada una de las etapas y escoger la más factible técnicamente mediante la matriz de selección. Además de estimar la relación costo-beneficio para determinar el ahorro de la propuesta a implementar.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Evaluar las condiciones de operación en la planta de reciclaje de papel del departamento de manufactura de la empresa Kimberly & Clark Venezuela, con la finalidad de aumentar la eficiencia del proceso.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el proceso de reciclaje de papel de la empresa, a fin de identificar cada una de las etapas que conforman el proceso.
2. Analizar las causas más incidentes que originan la desviación de las condiciones de operación existentes en el proceso, a objeto de enumerar los factores que ocasionan tales desviaciones.
3. Establecer alternativas de solución, a fin de obtener un mejor desempeño de los equipos que conforman las etapas del proceso de reciclaje.
4. Seleccionar alternativas de solución más apropiadas teniendo en cuenta la evaluación técnica, a fin de establecer las propuestas más adecuadas en cada etapa del proceso de reciclaje.

5. Estimar la relación costo-beneficio de las alternativas de solución seleccionadas, a objeto de determinar el ahorro que proporciona la implementación de las propuestas en la empresa.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Tomando en cuenta la misión que tiene la empresa Kimberly & Clark Venezuela, de estar siempre en constantes mejoras del proceso, para tener la mayor eficiencia y trabajar bajo condiciones que proporcionen el máximo rendimiento y aprovechamiento de la materia prima, se tiene la necesidad de evaluar las condiciones de operación a las cuales están funcionando los equipos de la planta de reciclaje de papel, a fin de observar las posibles desviaciones con respecto a las que se consideran las mejores condiciones a las que debería estar trabajando dichos equipos.

Además se espera ampliar el campo de la investigación en el área de reciclaje de papel y dejar como aportes a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo una serie de conocimientos que permitan complementar los estudios realizados en esta área y sirvan como base a futuros proyectos de investigación en el área de procesos de reciclaje de papel.

En el ámbito personal, la realización de este trabajo de investigación permite de alguna forma afianzar los fundamentos teóricos adquiridos en el transcurso de la carrera, así como también alcanzar la experiencia necesaria para enfrentar problemas en el campo laboral de la ingeniería química, de igual manera cumplir con el requisito de la Universidad de Carabobo, para obtener el título de Ingeniero Químico.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

En éste capítulo se presentan los estudios previos, aspectos teóricos, conceptos y principios que ayudaran a comprender el proceso y evaluación de las condiciones de operación de la planta de reciclaje de papel que se desarrollará en este trabajo especial de grado.

2.1 ANTECEDENTES

- López, G., Hoyos, J. (2006). **Destintado enzimático de papel impreso por el método offset**. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Química, Medellín Colombia.

En el proyecto se evaluaron las variables más influyentes en el destintado enzimático de papel impreso por el método offset, posteriormente se optimizaron las condiciones de las variables encontradas con miras a la implementación industrial.

Entre las conclusiones más importantes alcanzadas en este trabajo está que se obtuvo una ganancia de blancura de 8,5 % con el método offset.

La similitud del presente trabajo con el que se va a desarrollar se presenta en que se describe el proceso de destintado general, y se diferencia en que ellos optimizan las condiciones a escala piloto y en el presente trabajo se propondrán mejoras al sistema ya implementado por la empresa Kimberly & Clark Venezuela.

- Isaacs, K., Querales, P. (2005). **Evaluación del proceso de reciclaje de papel de la empresa Kimberly & Clark C.A.** Trabajo especial de grado de la Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería escuela Química.

El objetivo de este trabajo fue la realización de un balance de masa en el proceso de reciclado a fin de obtener la merma del proceso.

Entre las principales conclusiones encontradas fue que el valor de la merma era de 35 %.

La similitud con el trabajo en desarrollo se presenta en la evaluación de la línea de destintado y se diferencia en que en el presente trabajo se estudiarán las condiciones de operación con el fin de proponer mejoras para obtener un mejor funcionamiento de los equipos.

- Arroyo Manuel (2003). **Utilización del cloro para el proceso de destintado del papel.** Artículo científico publicado por la organización Reciclapapel. Org. España.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la cantidad de remanente de contaminantes en el proceso final del papel reciclado utilizando cloro en el proceso de destintado.

Entre las conclusiones más importantes es que el papel destintado con cloro contiene menor cantidad de contaminantes que al biodegradarse podrían causar daños a la naturaleza.

La similitud con este trabajo se presenta en la descripción del proceso de destintado y se diferencia en que ellos introducen el cloro en el proceso como una medida ambiental.

- Vilaseca, Puig. (2002). **Influencia de la longitud de la cadena tensioactivos aniónicos en la etapa de desintegración.** Universidad de Girona. España. Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria.

En el presente trabajo se estudió la influencia de la longitud de la cadena hidrofóbica de tensioactivos aniónicos carboxílicos sobre el desprendimiento y fragmentación de tinta en la etapa de desintegración para una mezcla de papel periódico y papel revista. Las desintegraciones se han realizado en medio básico y a 50°C para tres consistencias distintas. Los resultados muestran un efecto positivo de la longitud de cadena del tensioactivo sobre el grado de desprendimiento de tinta.

La similitud con el trabajo en estudio es que evalúa la influencia de una etapa previa como es la desintegración sobre otros procesos como es el destintado del papel. La diferencia es que no se variará las condiciones operativas del proceso.

- Álvarez, R., Ferrari, N. (2001). **Destintado de desechos de papel para la obtención de pulpa de alta calidad.** Trabajo de investigación del laboratorio de tecnología de Uruguay, Montevideo Uruguay.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la posibilidad del destintado de papel de desecho para lograr un producto sustitutivo de la celulosa virgen.

Entre las principales conclusiones están que se obtuvo un grado de blanco excelente y en el proceso de reciclaje se disminuye el impacto ambiental a la hora de producir papel a partir de papel desecho.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica que en ambos se realizará una evaluación de las condiciones del proceso de destintado, la diferencia es que en esta investigación se realiza un estudio de factibilidad de la construcción de una empresa de reciclaje de papel.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. PAPEL

Es un afieltrado de fibras vegetales unidas de dos formas: física y químicamente, la primera por estar entrelazadas a modo de malla y la segunda por estar unidas por puentes de hidrógeno. El papel se fabrica a partir de la madera de los árboles, utilizando para su elaboración celulosa que tiene su origen a partir de la fotosíntesis. (Taylor, 2007)

2.2.2. PROPIEDADES DEL PAPEL

Se pueden agrupar en:

Propiedades mecánicas: Hace referencia a las resistencias que le permiten soportar los esfuerzos a los que se ve sometido durante su transformación y uso, también determinan su durabilidad. Entre estas se encuentran: (Pochteca, 2006)

- *Rigidez:* Es la resistencia que opone un papel a flexionarse, cuando se le aplica una fuerza por una de sus caras. Ésta depende de las fibras que forman el papel,

ya que un papel producido con mayor contenido de fibra larga será más rígido que aquel fabricado con mayor cantidad de fibra corta. También el tipo de pulpa de celulosa usado afecta la rigidez que tendrá el papel, en este caso, la pulpa mecánica aporta más rigidez que la pulpa química.

- *Resistencia al rasgado:* Es la capacidad de un papel para resistir a la ruptura cuando se somete a un jalón
- *Resistencia Superficial:* Es la resistencia que la superficie del papel opone a ser levantada o arrancada por una fuerza de tensión que tira de ella perpendicularmente. Cuando esta resistencia está baja, ocasiona muchos problemas durante la impresión del papel.
- *Resistencia a la absorción de agua o encolado:* El encolado es una característica que se le da al papel para retardar la penetración de los líquidos acuosos. Si el papel está mal encolado, absorberá mucha humedad en las áreas mojadas, ocasionando problemas que pueden llegar al grado de que el papel se pegue en la mantilla. Los papeles encolados pueden tener distintos grados de encolado, desde bajo hasta fuerte, sin embargo, ni los más encolados, evitan de una manera absoluta la penetración del agua.

Propiedades visuales: Hace referencia a la apariencia del papel. Se distinguen principalmente: (Pochteca, 2006)

- *Blancura:* La blancura es una característica del papel que se aprecia a simple vista y es fundamental en el resultado de la impresión multicolor, de allí su importancia. Se expresa en %. Es complicado definir un papel blanco y nos encontramos con que normalmente está matizado, de manera que se tiene un blanco que puede ser azulado, rojizo o verdoso. Lo más importante es que sea uniforme, cosa que es difícil mantener de un lote a otro.
- *Brillo:* Es la propiedad por la cual una superficie es capaz de reflejar la luz en forma semejante a como sucede en un espejo. El brillo que se pide en el papel depende del tipo de trabajo y del gusto del diseñador.

- *Tersura o Lisura*: Esta propiedad se refiere a la estructura de las superficies exteriores del papel y se percibe por los sentidos de la vista y el tacto. El papel más liso es más atractivo y agradable al tacto y permite el contacto completo del papel con la película de tinta de la imagen, por lo que se logran impresiones más nítidas en los papeles más lisos.
- *Opacidad*: Es la cantidad de luz que pasa de un lado al otro del papel. Un papel perfectamente opaco, es aquel que impide absolutamente el paso de la luz a través de él. Se expresa en %.
- *Color*: Define el proceso de fabricación ya que puede controlar el mismo en cualquier momento. Se define por medio de dos valores que son:
 - ❖ **Valor a** – Tiene un rango definido, que si se sale de él, puede afectar la calidad. Un valor positivo en la escala “a”, indica lo rojo, un valor negativo en esa escala, lo verde.
 - ❖ **Valor b** – Tiene un rango definido, que si se sale de él no afecta la calidad. Un valor positivo en la escala “b”, indica lo amarillo, un valor negativo, lo azul.

Propiedad de gramaje: Es el peso en gramos de un metro cuadrado de papel. El peso base afecta a la mayoría de las propiedades visuales del papel, por lo que es recomendable que sea uniforme para trabajar sin problemas tanto en los procesos de transformación como en el uso, pero como se hace difícil mantener el peso del papel exactamente en el gramaje especificado, se maneja en una tolerancia. También influye en el precio, debido a que el papel se puede vender por kilos o por número de hojas, por lo que la variación en su peso base, influye en el número de hojas que se pueden obtener de un kilogramo de papel. (Pochteca, 2006)

Propiedad de estabilidad: Es la aptitud de un papel para conservar sus dimensiones y forma cuando varía su contenido de humedad. (Pochteca, 2006)

Propiedad de Humedad: Se refiere a la humedad de la atmósfera en forma de vapor de agua que absorbe el papel y que se encuentra en equilibrio con la humedad del ambiente. (Pochteca, 2006)

2.2.3 TIPOS DE PAPEL

Uno de las razones de la importancia del papel en nuestra vida cotidiana es la enorme cantidad de usos que se le pueden dar a este producto, es decir, el papel puede adaptarse a las diferentes utilidades que se vayan a realizar llegando a contabilizarse hasta 457 variedades diferentes de papel; Ante esto se hace más sencillo englobar estas variedades en cinco grandes grupos de acuerdo al uso que se va a emplear:

Papeles para envolver: Todo tipo de papeles utilizados en el embalaje de paquetes, encomiendas, en el comercio, etc. (García, 2007)

Papeles de Impresión y escritura: Como su nombre lo indica, son de uso diario en colegios y oficinas; su color usualmente es blanco. El papel típico es el de los cuadernos escolares. (García, 2007)

Cartulinas: Se emplean para fabricar los envases de pasta dental, perfumes, detergentes, de los cereales para el desayuno, de la leche líquida de larga vida, etc.(García, 2007)

Papel para periódico: En estos papeles se imprimen los diversos periódicos que circulan a diario por todo el país. (García, 2007)

Papeles Tissue: Son de uso común en los baños y cocinas de nuestras casas (papel higiénico, servilletas de papel, toallas absorbentes y pañuelos desechables). Elaborado a partir de pulpas mecánicas y químicas, así como también a partir de papeles reciclados. Este papel posee la característica de ser no abrasivos ni corrosivos, de bajo peso y crepado, característica que le confiere además suavidad, elasticidad y absorción.(García, 2007)

Kimberly & Clark es una de las industrias papeleras en Venezuela dedica a la fabricación de una gran variedad de productos higiénicos, por lo que utiliza como materia prima el papel tissue; el cual se obtiene a partir de papeles reciclados.

2.2.4. PAPEL RECICLADO

Se define como aquel papel usado exclusivamente por el consumidor: periódicos, revistas, papeles de oficina, impresos, etc., y cuyo único destino sería su eliminación en vertedero o vía incineración; situación que no es práctico, rentable, coherente, ni por supuesto ecológico; si se tiene en cuenta que cumple con las mismas especificaciones técnicas que los productos de calidad homologable fabricados con pasta química virgen. (Jódar, 1998)

La característica distintiva del papel reciclado y ecológico es su color blanco natural, garantía de un proceso limpio de fabricación en el que no ha incidido el uso de agentes químicos blanqueantes, especialmente nocivos para el medio ambiente. (Jódar, 1998)

2.2.5. RECICLAJE DE PAPEL

Por reciclaje de papel se entiende el proceso que separa las fibras vegetales útiles, de las impurezas que traen los papeles usados para transformarlos en nuevos papeles. El reciclaje se inicia con la recolección de papeles desde oficinas, imprentas, supermercados, centros comerciales y ciudades, por parte de empresas especializadas, para posteriormente llevarlos a las fábricas papeleras. Luego pasa por tres etapas principalmente básicas: (Morelli, 2008)

1. La preparación de la pasta.
2. La remoción de las impurezas.
3. La aplicación de productos químicos.

Es importante acotar que estas etapas en conjunto definen el proceso de destintado del papel; por tal motivo al terminar el proceso de destintado la pasta formada por agua

y fibras vegetales es conducida a la maquina papelera, punto en cual finaliza el proceso de reciclaje de papel.

Obviamente todo tiene sus desventajas y el destintado no es la excepción:

- La heterogeneidad de la tinta impresa en la materia prima.
- La diversidad de materia prima (Papel reciclado).

Son puntos que hacen que el proceso se caracterice por su difícil control. Si a esto se suma el hecho de que en la empresa no hay automatización que proporcione una respuesta rápida ante cualquier inestabilidad el desafío es todavía mayor. (Álvarez, 2001).

En la empresa Kimberly & Clark Venezuela la materia prima es suministrada al proceso de destintado en forma de pacas, con un peso base entre 400 – 1300 kg, y lo clasifican según el tipo de fibra y contaminantes, como se muestra en las Tablas 2.1 y 2.2.

2.2.6. VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO.

- *Consistencia:* Se define como la masa de papel seco que ocupa un determinado volumen, se expresa en %. (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992)
- *Cenizas:* Es la cantidad de materia inorgánica presente en una porción de muestra, es decir, la cantidad de contaminantes que se encuentra presente en la paca, se expresa en %. (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992)
- *Fibra:* Es fibra larga que puede enlazarse, de tamaño mayor de 76 μm .(Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992)
- *Finos:* Es fibra corta que no puede enlazarse, de tamaño menor de 76 μm .(Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992).
- *Merma:* Es la fibra que ha sido descartada en algún punto del proceso de elaboración de papel, ya sea por el arranque y apagado de máquinas, tanques que

rebosen, cambios de producción y desperdicios de conversión.(Hermans, 1987)

2.2.7. DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

Es una técnica gráfica ampliamente utilizada, que permite apreciar con claridad la relación cualitativa e hipotética, entre un tema o problema y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que él ocurra. Usualmente es reconocido por “Diagrama de Ishikawa” en memoria de su creador Kaoru Ishikawa (experto en dirección de empresas interesado en mejorar el control de la calidad). Su construcción con la apariencia similar al esqueleto de un pez, origina que también sea llamado “Diagrama Espina de Pescado”, aunque puede presentar otros estilos en su representación. (Uribe, 2006)

El Diagrama Espina de Pescado está compuesto por un recuadro (**cabeza**), una línea principal (**columna vertebral**), y 6 líneas que apuntan a la línea principal principal formando un ángulo aproximado de 70° (**espinas principales**). Estas últimas poseen a su vez dos o tres líneas inclinadas (**espinas**), y así sucesivamente (**espinas menores**), según sea necesario. (Uribe, 2006).

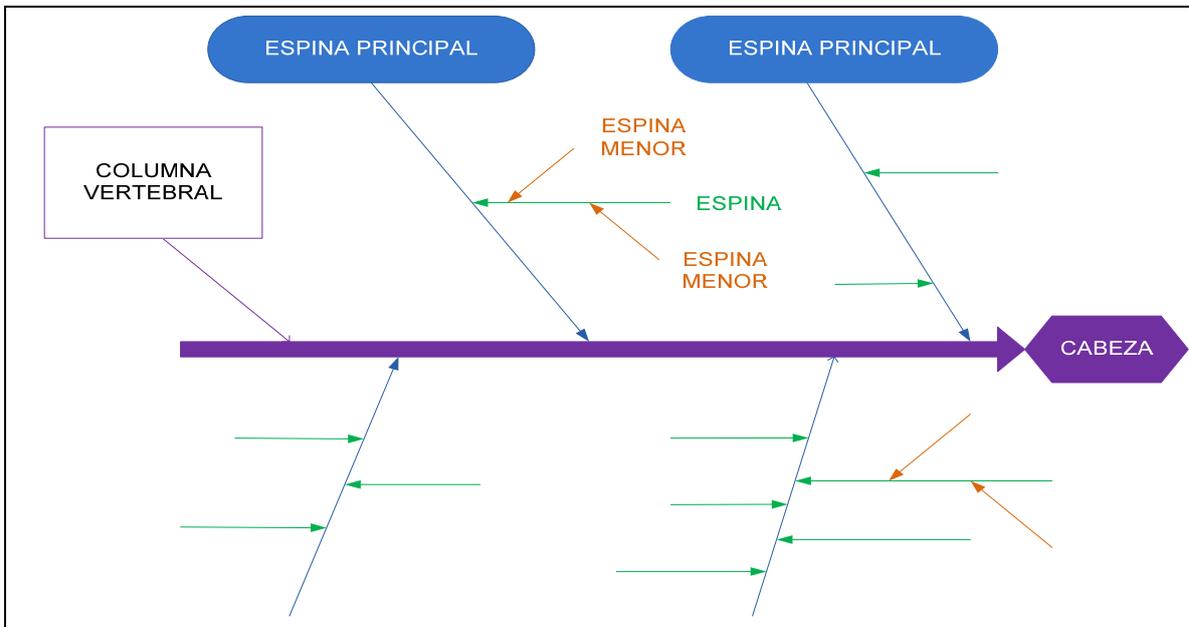


Figura 2.1 Estructura del Diagrama de Ishikawa

Tabla 2.1 Composición de las diferentes fibras recicladas.

Fibra	
Tipos	Composición
Waste Paper Coated Book Stock	Papeles recubiertos desteñidos con sulfito o sulfato, en hojas impresas o sin imprimir, virutas, libros guillotizados o regazo de papel para escribir.
Waste Paper Sorted White Ledger	Hojas fuertemente impresas y no impresas, virutas, libros guillotizados recortes de sulfito blanco, bond y papeles escritos.
Fibra Color de Primera	Recortes de papel Blanco y colores suaves (pastel) para escribir e imprimir de sobres y similares, sin haber sido usados, provenientes de las convertidoras.
Papel Archivo Blanco	Hojas de archivo y/o recortes de papel de escribir, imprimir y otros papeles blancos, libres de colores e impresiones fuertes, que contengan mezclas de pulpas blanqueadas.
Papel Archivo Color	Hojas de archivo y/o recortes de papel de escribir, imprimir y otros papeles que contengan mezclas de pulpa blanqueada, con colores e impresiones fuertes.
Fibra Periódico Refilado de Publicaciones (Sangría)	Papeles periódicos blancos provenientes del refilado hecho por la imprenta en las publicaciones de periódicos y revistas.

Fuente: Departamento de calidad de la empresa Kimberly Clark Venezuela

Tabla 2.2 Composición de los diferentes contaminantes presentes en el papel reciclado.

Contaminantes	
<i>Tipos</i>	<i>Composición</i>
Gruesos	Objetos de papel que se visualizan con facilidad como: Latas, bolsas plásticas, piedras, etc.
Alta densidad	Materiales pequeños que poseen una alta densidad y se remueven con facilidad como: piezas de vidrio, arena y grapas.
Pequeños (Finos)	Cuerpos pequeños que no se remueven con facilidad, como la goma, madera, hojas de metal, papeles con resistencia húmeda y las pegas (stickies).
Tintas	Todo tipo de tinta en forma de puntos o manchas visibles, como: la tinta de computadoras, etc.
Cenizas	Materiales minerales y recubrimientos adicionados para obtener brillantez, lustrosidad, suavidad y para mejorar la impresión, como: arcilla y carbonato de calcio.
Metales pesados	Iones metálicos que interfieren en el blanqueo de la fibra, como: el hierro, manganeso y aluminio.

Fuente: Departamento de calidad de la empresa Kimberly Clark Venezuela

2.2.7.1. Construcción del diagrama de Causa y Efecto (Ramírez, 2004)

- Definir el problema o la característica de calidad que se va a analizar y escribirla en el lado derecho de una flecha gruesa que representa el proceso en consideración.

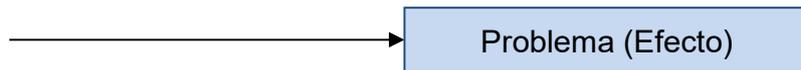


Figura 2.2 Forma en que se representa el problema en el diagrama

- Elegir categorías generales para agrupar las causas principales. Dependiendo del tipo de problema que se analice se definirán las categorías más convenientes.

Tabla 2.3 .Representación de las categorías

Fabricación <i>(Ingles 6 "M")</i>	Servicio <i>(Ingles "6P")</i>
<ul style="list-style-type: none"> * Mano de Obra * Materiales * Método * Máquinas * Medidas *Medio Ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> * Personal * Provisiones *Procedimiento * Puestos * (Clientes) *Panorama

Para luego escribir las categorías seleccionadas en el extremo de flechas inclinadas que se unen a la del problema principal.

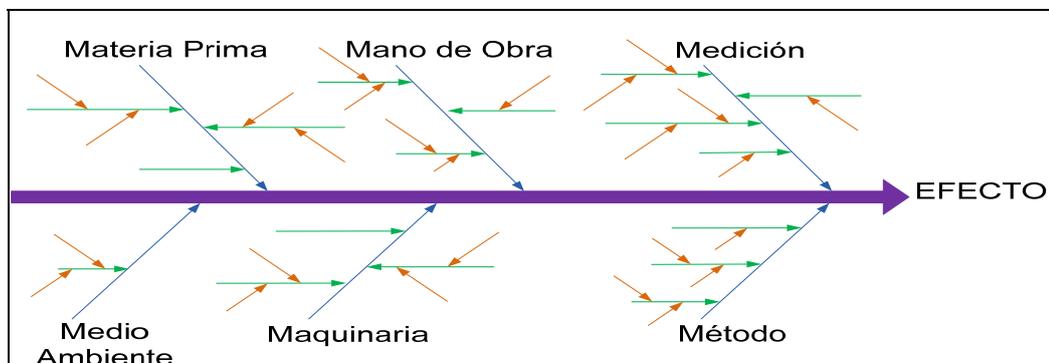


Figura 2.3 Diagrama Causa y Efecto ó Diagrama de Ishikawa

- Comenzar a desglosar las causas principales en secundarias, terciarias, etc. y anotarlas en flechas de acuerdo a la categoría a la que pertenecen.

Este paso es el punto central de la construcción del diagrama. A fin de realizar la expansión recurrente de las causas utilizamos repetidamente la pregunta ¿Por qué? y su respuesta. Se continúa este proceso hasta que eventualmente se encuentra una causa sobre la que se puede actuar. Asimismo para desplegar las ramas encontrando las causas se puede utilizar la técnica de la Tormenta de Ideas, permitiendo la participación de la mayor cantidad de personas posibles, todos deberán poder expresar sus ideas con libertad a medida que se construye el diagrama.

- Analizar el diagrama y sacar conclusiones: Tener siempre presente que esta herramienta tiene en cuenta causas potenciales o teóricas las cuales deberán ser comprobadas en la práctica mediante la medición y toma de datos, las que permitirán llegar a conclusiones sólidas sobre las causas que realmente influyen (alto impacto) sobre el problema y de fácil implementación. Para esta fase es de gran utilidad complementar el uso del Diagrama de Causa y Efecto con el Diagrama de Pareto, que nos ayudará a decidir sobre qué causas tomaremos acciones.

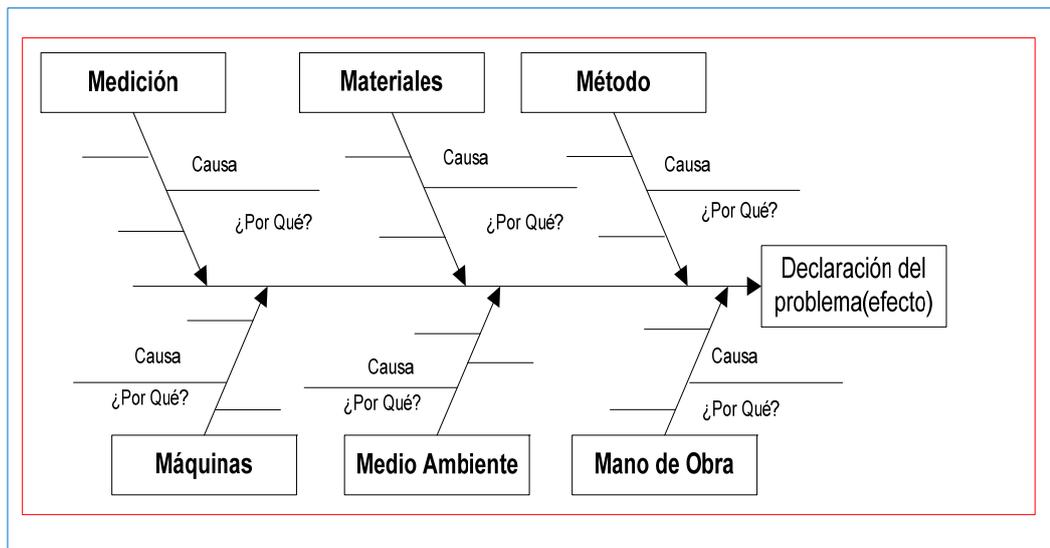


Figura 2.4 Análisis del diagrama de Causa- Efecto

2.2.7.2. Beneficios del diagrama de Causa- Efecto. (Amazon, 2004)

- Ayuda a encontrar y a considerar todas las causas posibles, más que apenas aquellas que son obvias.
- Ayuda a determinar las causas raíz de un problema o característica de calidad, de una manera estructurada.
- Anima la participación grupal y utiliza el conocimiento del proceso que tiene el grupo.
- Ayuda a focalizarse en las causas del tema sin caer en quejas y discusiones irrelevantes.
- Utiliza y ordena, en formato fácil de leer las relaciones del diagrama causas-efecto.
- Aumenta el conocimiento sobre el proceso ayudando a todos a aprender más sobre los factores referentes a su trabajo y como estos se relacionan.
- Identifica las áreas para el estudio adicional donde hay una carencia de información suficiente.

2.2.7.3. Desventaja del diagrama de Ishikawa

- No es particularmente útil para atender los problemas extremadamente complejos, donde se correlacionan muchas causas y muchos problemas. (Amazon, 2004)

2.2.8. MEJORES PRÁCTICAS DE MANUFACTURA (BEST PRACTICE MANUFACTURE)

Son procesos que permiten el cambio de operaciones específicas dentro de una organización estructurada y sistemática, con la finalidad de obtener un mejor desempeño en aquellos puntos que la organización quiere mejorar.

Las mejores prácticas de manufactura permiten conocer la situación actual de un sistema mediante un estudio previo, localizar fallas y ofrecer la opción de mejorar el proceso.

Es una herramienta que permite medir y comparara una organización con las organizaciones líderes para obtener información que le ayude a ejecutar acciones para mejorar su desempeño. (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992).

2.2.9. CENTERLINING

Es un método o técnica que nos permite asegurar que un proceso sea operado de una misma manera por medio del control de los parámetros del proceso, para obtener las mejores características de calidad del producto. (Manual Kimberly Clark Venezuela, 1992).

2.2.10. ANÁLISIS COSTO- BENEFICIO. (Morrison, 2000)

Es una herramienta de toma de decisiones para desarrollar sistemáticamente información útil acerca de los efectos deseables e indispensables de un proyecto.

El esquema general para el análisis de costo – beneficio se puede resumir de la siguiente manera:

1. Identificar los beneficios que se esperan del proyecto.
2. Cuantificar en la medida de lo posible, estos beneficios en términos monetarios, de manera que puedan compararse diferentes beneficios entre sí.
3. Identificar los costos referentes para llegar a la implementación.
4. Cuantificar, en la medida de lo posible, estos costos en términos monetarios para permitir comparaciones.
5. Poner las cifras de los costos y beneficios totales en forma de una relación donde los beneficios son el numerador y los costos son el denominador.

Si la relación es > 1 , el proyecto es atractivo

Si la relación es < 1 , el proyecto no es atractivo

Si la relación = 1, el proyecto es indiferente

Aunque es deseable que los beneficios sean más grandes que los costos, no existe una respuesta única de cuál es la relación ideal de beneficio – costo, es decir, este parámetro no asegura si el proyecto a implementar es factible o no, por ello es que la relación costo - beneficio va de la mano con ciertos métodos que permiten confiar o no en el proyecto.

Los métodos más comunes son:

- Punto de equilibrio
- Periodo de devolución
- Valor presente neto
- Tasa interna de retorno

A continuación se presenta una breve explicación de cada uno de estos:

- *Punto de equilibrio (PE)*: este método es la forma más sencilla para realizar el análisis de costo- beneficio. El punto de equilibrio es el tiempo que tomaría para que el total de los ingresos sea igual al costo de la inversión, es decir:

$$PE = \left(\frac{Ci}{Bf} \right) \times 12 \quad (2.1) \text{ (Morrison, 2000).}$$

Donde:

Ci: Costo de inversión de la alternativa (\$).

Bf: Costo en beneficios de la alternativa (\$).

- Periodo de devolución: A diferencia del método anterior el periodo de devolución (PD) lleva consigo un valor asegurado impuesto por el esfuerzo de mejora. Es decir,

el método indica esencialmente la liquidez del esfuerzo por mejorar un proceso en vez de su rentabilidad. (Morrison, 2000).

$$PD = \left(\frac{CI - Va}{Ef} \right) \times 12 \quad (2.2)$$

- Valor presente neto (NPV): Difiere del método anterior en que incluye un factor de descuento (FD) y por ende una tasa de interés para poder calcular el FD mediante la ecuación:

$$FD = (1 + i) \quad (2.3) \text{ (Morrison, 2000).}$$

Donde:

i: Tasa de interés (adim).

El propósito del factor de descuento es convertir el valor futuro del dinero en valor presente.

$$NPV = \left(\frac{Ef - Va}{FD} \right) - CI \quad (2.4) \text{ (Morrison, 2000).}$$

- Tasa interna de retorno (IRR): En este método se calcula IRR, el NPV se fija en cero y se resuelve para un interés (i). En este caso el factor de descuento es (1 + i) ya que no conocemos el interés verdadero, solamente conocemos el interés deseado. (Morrison, 2000).

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En este capítulo se expone de manera detallada el proceso de elaboración de papel a partir de papel reciclado, de la empresa Kimberly & Clark C.A.

Para las empresas que trabajan con papel reciclado como materia prima la planta de destintado representa el pilar fundamental de dichas empresas. El proceso de elaboración de papel se puede separar en las siguientes etapas, tal como se muestra en el diagrama del proceso ilustrado en la Figura 3.1:

- Destintado
 1. Preparación de la pasta.
 2. Depuración gruesa.
 3. Depuración fina.
 4. Lavado.
 5. Blanqueo.
- Refinación
- Formación de la Hoja o Bobina.
- Conversión

La materia prima está conformada por papel reciclado que 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 encontrarse en las pacas son plásticos, grapas, ganchos, sujetadores de papel, telas, anime entre otros los cuales deben ser removidos a fin de asegurar la calidad del producto final.

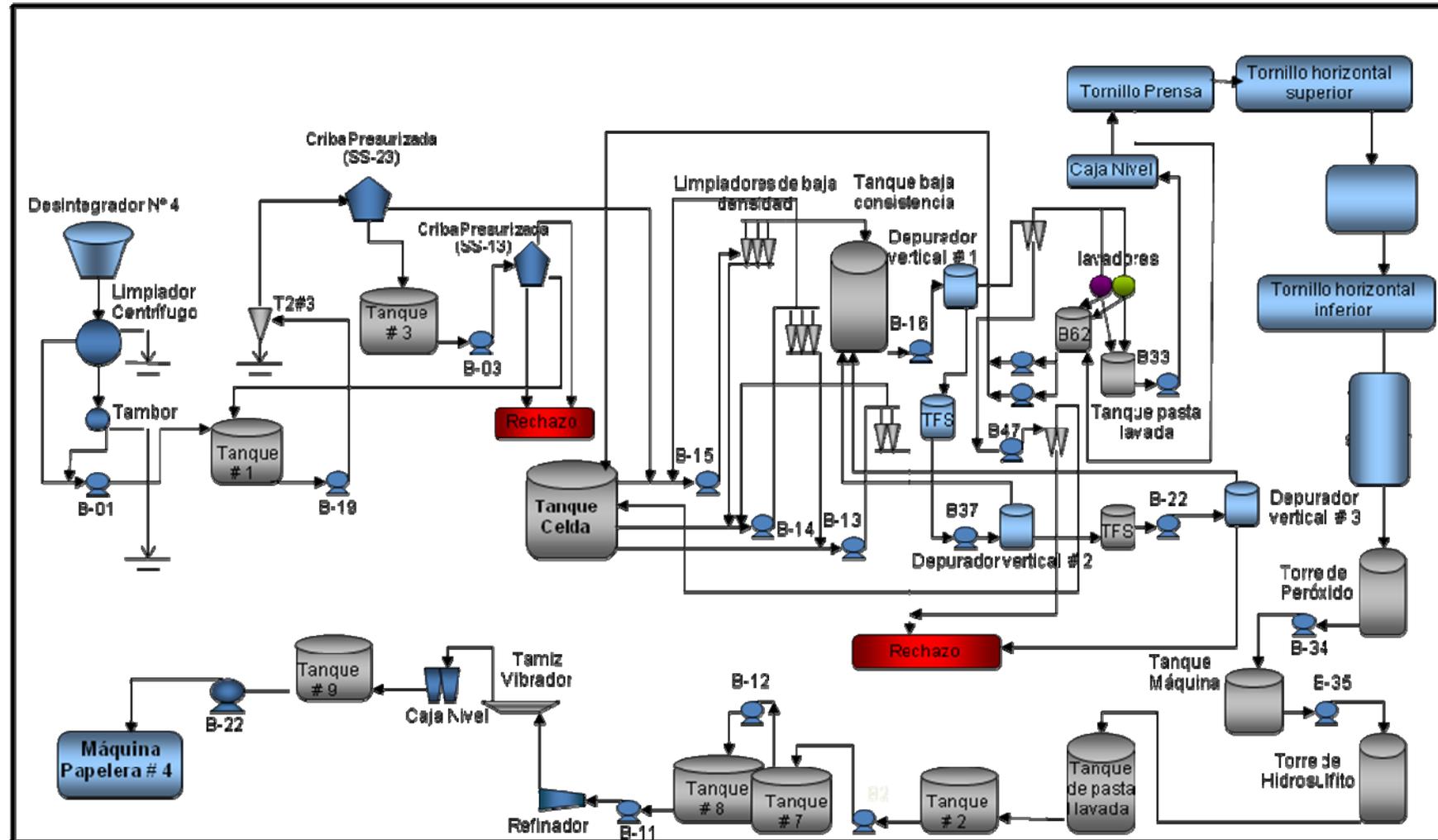


Figura 3.1. Diagrama del proceso de elaboración de papel

3.1 PREPARACIÓN DE LA PASTA

3.1.1 PULPER N° 4

En este equipo se lleva a cabo la preparación de la pasta a partir de pacas de papel reciclado que son llevadas al pulper mediante una banda transportadora en donde son mezcladas con agua clarificada proveniente de un tanque de almacenamiento llamado pileta 6,

En el interior del pulper existen unas aspas de forma helicoidal que giran acopladas a un motor por medio de un sistema de correas, proporcionando un movimiento o batido de adentro hacia afuera; a través de estas aspas se empieza a desfibrar las pacas de papel y se forma la pasta (suspensión de fibra en agua).

El proceso de pulpeo es por carga y tiene una duración de 20-25 minutos.



Figura 3.2 Transporte de la materia prima al pulper N° 4.



Figura 3.3 Equipo desintegrador de la materia prima (Pulper N° 4).

3.1.2 LIMPIEZA DE ALTA CONSISTENCIA

Es considerada una subetapa de la preparación de pasta ya que trabaja en conjunto y simultáneamente con el pulper N°4, conformando el área de pulpeo.

3.1.2.1 Limpiador centrífugo (Contaminex).

Una vez lista la pasta en el pulper, esta es pasada a la etapa de depuración gruesa y el primer equipo que se encuentra es el contaminex que es un equipo de limpieza centrífuga en donde se retiran contaminantes grandes como plásticos, piedras, madera, etc., que se encuentran en las pacas de papel; la pasta aceptada por el equipo es enviada a un tanque de almacenamiento llamado pileta 1, el rechazo pesado se descarga cada cierto tiempo por acción de la gravedad hacia un contenedor de desechos, y existe otra salida que se denomina rechazo liviano y que alimenta también por cierto tiempo a otro equipo (tambor clasificador) cuando el contaminex se encuentra saturado de pasta, considerándose este rechazo como un sistema de purgado.

3.1.2.2 Tambor clasificador

Es un equipo utilizado para no sobrecargar el contaminex, el tambor también es un equipo de limpieza centrífuga al cual entra el rechazo liviano del contaminex y posee una descarga de contaminantes hacia un contenedor de desechos sólidos y la pasta aceptada se une con el aceptado del contaminex para almacenarse en la pileta 1.



Figura 3.4 Limpiador centrífugo (Contaminex).



Figura 3.5 Tambor clasificador.

En la pileta 1 la pasta es diluida con agua proveniente de otros equipos ubicados aguas arriba en el proceso los cuales se mencionaran más adelante, en esta dilución lo

que se quiere es disminuir su consistencia hasta un rango donde los equipos de depuración gruesa operen de manera eficiente, conociendo esto se procede a presentar los equipos restantes de la etapa de depuración gruesa.

3.2 DEPURACIÓN GRUESA

3.2.1 LIMPIADOR CONICO DE ALTA CONSISTENCIA (T2 # 3).

Este limpiador también denominado separador de pasta espesa (T2 # 3) es un equipo de forma cónica al cual se alimenta con la pasta almacenada en la pileta 1.

En este equipo se remueven contaminantes pesados como, piedras, vidrios, grapas, clavos que no pudieron ser eliminados de la pasta en los equipos anteriores. Los rechazos son acumulados en un contenedor para luego ser descargados en el área de desechos sólidos.



Figura 3.6 Separador de Pasta espesa en la etapa de depuración gruesa.

3.2.2 CRIBAS ROTATORIAS PRESURIZADAS (SPECTRO SCREEN N° 23 Y 13)

La pasta aceptada por el separador de pasta espesa alimenta a la criba rotatoria

Nº 23 con el fin de retirar materiales pesados, en este equipo se homogeneiza la pasta por efectos de rotación de la criba y a su vez mantiene la pasta bien separada para lograr una fácil depuración. La pasta aceptada por el equipo pasa a la siguiente etapa del proceso que es la depuración fina, y el rechazo va a una segunda criba rotatoria Nº 13 (SS-13) con un menor tamaño de los orificios de la cesta que se encarga de recuperar fibra que no fue aceptada por el (SS-23) para reingresarla al proceso por medio de la corriente de aceptado, hacia la pileta 1, desde donde arranca nuevamente su viaje; como se mencionaba anteriormente este es uno de los equipos que tienen recirculación hacia la pileta 1, logrando una dilución de la pasta contenida en la misma, el rechazo del SS-23 sale del proceso dirigiéndose hacia el desagüe.



Figura 3.7 Criba Rotatoria Nº 23.



Figura 3.8 Criba Rotatoria Nº 13.

3.3 DEPURACION FINA

3.3.1 LIMPIADORES DE BAJA DENSIDAD

Estos limpiadores poseen el mismo fenómeno de centrifugación que el separador de pasta espesa, solo que están diseñados para eliminar de la pasta contaminantes más livianos, ubicándolos en el centro del equipo y descargándolos por la parte inferior del mismo.

Estos limpiadores son alimentados por la pasta que fue aceptada por el SS-23 y

trabajan en un sistema de cascada de tres etapas, es decir de la primera etapa existe un aceptado y un rechazo, el aceptado se dirige a un tanque de almacenamiento llamado tanque de baja densidad, y el rechazo aun con fibra se dirige a una segunda etapa de limpieza en donde el aceptado es recirculado a la alimentación de la primera etapa y el rechazo se convierte en la alimentación de la tercera etapa, ella a su vez recircula su aceptado hacia la alimentación de la segunda etapa y el rechazo es enviado a las líneas de desagüe.

De esta manera se realiza una limpieza a fondo de la pasta y se disminuye la cantidad de fibra desechada por la etapa inicial, obteniéndose en el rechazo de la tercera etapa la menor cantidad posible de papel y prácticamente pura agua con arenilla.



Figura 3.9 Limpiadores de Baja Densidad.

3.3.2 DEPURADORES VERTICALES (FINE SCREEN)

Los depuradores verticales están constituidos por una cesta tamiz que en su interior posee aletas acopladas a un rotor que permite por acción de la fuerza centrífuga 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 y otras impurezas). Normalmente se utilizan sistemas en cascadas, es decir el aceptado del primer depurador pasa al siguiente proceso de depuración, mientras que el rechazo va a un segundo depurador vertical en el cual se repite el mismo procedimiento del primero, volviendo al proceso solo el aceptado de cada depurador.



Figura 3.10 Depurador vertical primario (Fine screen N°1).



Figura 3.11 Depurador vertical secundario (Fine screen N° 2).



Figura 3.12 Depurador vertical terciario (Fine screen N° 3).

3.3.3 LIMPIADORES REVERSOS (LT3)

Están constituidos por varias depuradoras de formas cilíndricas-cónicas y unidireccionales, que tienen como función retirar de la pasta las impurezas por acción centrífuga. En los limpiadores 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. Cabe destacar que existen dos bancos de limpiadores reversos unidos entre sí por la corriente de rechazo del primer banco que es la alimentación al segundo banco.



Figura 3.13 Banco de limpiadores reversos en la planta de destintado (LT3).

3.4 LAVADO

3.4.1 LAVADOR COMER – AL 200

El sistema de lavado de la pasta se realiza en equipos denominados lavadores DNT y COMER – AL 200, los cuales se utilizan en el tratamiento de la fibra secundaria en la industria papelera.

El objetivo de estos equipos en el tratamiento de la fibra secundaria 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. Esta es la razón principal para su instalación dentro de un proceso de papel tissue, además este equipo eleva la consistencia de la pasta. El equipo posee una entrada de pasta y dos salidas, las salidas son el aceptado que continua hacia el siguiente equipo y el rechazo que se utiliza como dilución del sistema.



Figura 3.14 Lavador COMER-AL 200 número 3 de la planta de destintado.

3.4.2 TORNILLO PRENSA (SCREW PRESS)

La función principal del tornillo prensa o Screw Press es espesar la pasta proveniente del sistema de lavado, para darle la consistencia adecuada para un mejor funcionamiento de la fase de blanqueo con peróxido de hidrógeno. Este equipo tiene

una entrada y dos salidas, la entrada es la pasta aceptada del lavador y las salidas son la pasta exprimida y el agua que se retira de la pasta la cual es llevada a un tanque de almacenamiento llamado tanque celda.



Figura 3.15 Tornillo prensa # 1 de la planta de destintado.

3.5 BLANQUEO

3.5.1 DISPERSOR

En el este equipo la pasta se amasa, se dispersan los puntos de tintas para lograr un mejor proceso de blanqueo. En el equipo no hay rechazos, antes de su entrada se suministran químicos (secuestrante, soda cáustica, y peróxido de hidrogeno) y se adiciona vapor para mantener condiciones óptimas para el blanqueo como lo son temperatura y pH.



Figura 3.16 Dispersor amasador de la planta de destintado.

El principal objetivo del blanqueo es incrementar la blancura de la pasta ya sea por eliminación o por modificación de los componentes coloreados de la pasta, además es importante que la blancura obtenida sea estable, es decir, que no se pierda blancura o resistencia en el envejecimiento.

Para cualquier materia prima es necesario elegir un proceso y reactivos adecuados además de encontrar las condiciones óptimas para las variables de temperaturas, tiempo de reacción, pH, consistencia, % reactivos.

Se utilizan dos torres de blanqueo una de blanqueo oxidativa en el cual se utiliza secuestrante, soda cáustica y peróxido de hidrogeno, esta torre recibe el nombre de torre de peróxido, luego la pasta es calentada en un tanque de almacenamiento llamado tanque máquina, al cual se le inyecta vapor suficiente para mantener la temperatura de la pasta por encima de 70 °C , esto con el fin de crear las condiciones óptimas para el blanqueo reductivo que se realiza con el hidrosulfito de sodio, el cual se inyecta en la torre de hidrosulfito. Luego de la torre de hidrosulfito la pasta cae por gravedad hacia un tanque cilíndrico llamado tanque de pasta blanqueada.



Figura 3.17 Tanque de almacenamiento de peróxido de hidrógeno ubicado a las afueras de la planta de destintado.



Figura 3.18 Preparación del hidrosulfito de sodio para el blanqueo reductivo



Figura 3.19 Torre de blanqueo con hidrosulfito en la planta de destintado

Una vez almacenada la pasta en el tanque de pasta blanqueada se culmina con el proceso de destintado y se da pie a la etapa de refinado a partir de la pasta que se encuentra en la pileta 2 la cual fue obtenida por medio del bombeo del floatek.

3.6 REFINACIÓN

En esta fase se emplea un equipo refinador formado por dos discos cuyo principio de funcionamiento consiste en dos o más platos internos, los cuales unos rotan (rotor) y otros son estacionarios (estatores). Estos platos son mantenidos muy cerca entre sí. A medida que la pasta gruesa que proviene de la pileta 7, con una consistencia alrededor de 3,5%, es introducida entre el rotor y el estator, unas barras en la superficie de los platos, cortan, separan y entrelazan las fibras para exponer mayor cantidades del área superficial.

La pasta sale del refinador y entra a la pileta 8, la cual posteriormente es enviada a la caja de nivel que asegurará un flujo constante en la pileta 9, la cual es mezclada con

agua de proceso proveniente de la limpieza de la malla y fieltro, y es enviada a la caja de entrada de la etapa donde se elabora la hoja.

3.7 FORMACION DE LA BOBINA

Todo el proceso de elaboración de hoja o bobina se lleva a cabo en un equipo denominado en la empresa como máquina papelera numero 4 (MP4).

La formación del papel empieza en la caja cabecera la cual está constituida de una regla, la cual está formada por dos labios uno de los cuales es ajustable. Su función consiste en entregar la pasta a la tela formadora o malla de la máquina (la cual es una banda con tejido continuo que drena el agua fuera de la fibra), con el espesor y la velocidad deseada; la abertura de la regla, la cual se controla automáticamente, se utiliza para influir en la velocidad del chorro de pasta hacia la malla y en el peso base.

Una vez la pasta en la malla entra en contacto con los rodillos frontales también llamados rodillos pecho (en alusión al “pecho de la máquina”), luego al terminar el recorrido por estos, la pasta ingresa en la zona en donde la malla se pone en contacto con el fieltro del rodillo formador, y sigue su recorrido hacia la prensa de succión quedando definido la forma de la hoja en el fieltro. En la prensa toda el agua posible es retirada de la pasta gracias a la acción del fieltro y a la succión del rodillo prensa, formando un drenado el cual origina que las fibras se depositen en la malla.

Según los manuales Kimberly Clark para la formación de las bobinas de papel la consistencia deber estar entre 0,2 y 1% para asegurar una buena formación de la hoja, estos valores de consistencia son monitoreados y controlados desde la sala de control de la empresa. .

Cuando la hoja sale de la prensa todavía queda con un porcentaje de humedad alto del 60 al 70 %, por esta razón se expone la hoja húmeda a una superficie caliente, en donde por transferencia de calor, el agua calentada en la hoja difunde y se evapora hacia el ambiente.

El equipo encargado de realizar esta función es un cilindro central (calentado con vapor), denominado secador (también es llamado dryer yankee), de un diámetro de 2,5 metros que tiene dos cilindros prensores, de alta presión, generalmente de agujeros ciegos, los cuales aplican una carga lineal contra la hoja que abraza parte del cilindro central.

Una vez que la hoja es secada hasta obtener la humedad deseada en el secador, es retirada del cilindro mediante una lámina raspadora (cuchilla crepadora), luego ésta es continuamente enrollada a menor velocidad que el secador; lo que hace que la hoja tienda a arrugarse sobre la lámina raspadora produciendo el “crepado” característico del papel tissue.

El producto final obtenido en ésta sección es un rollo de papel semielaborado de grandes dimensiones (bobina madre), cuyo diámetro oscila entre 1,5 a 2 m, con un ancho de aproximadamente 2,75 m y su peso entre 1 a 2,5 toneladas. El esquema del funcionamiento de la máquina papelera se puede visualizar en la Figura 3.20.

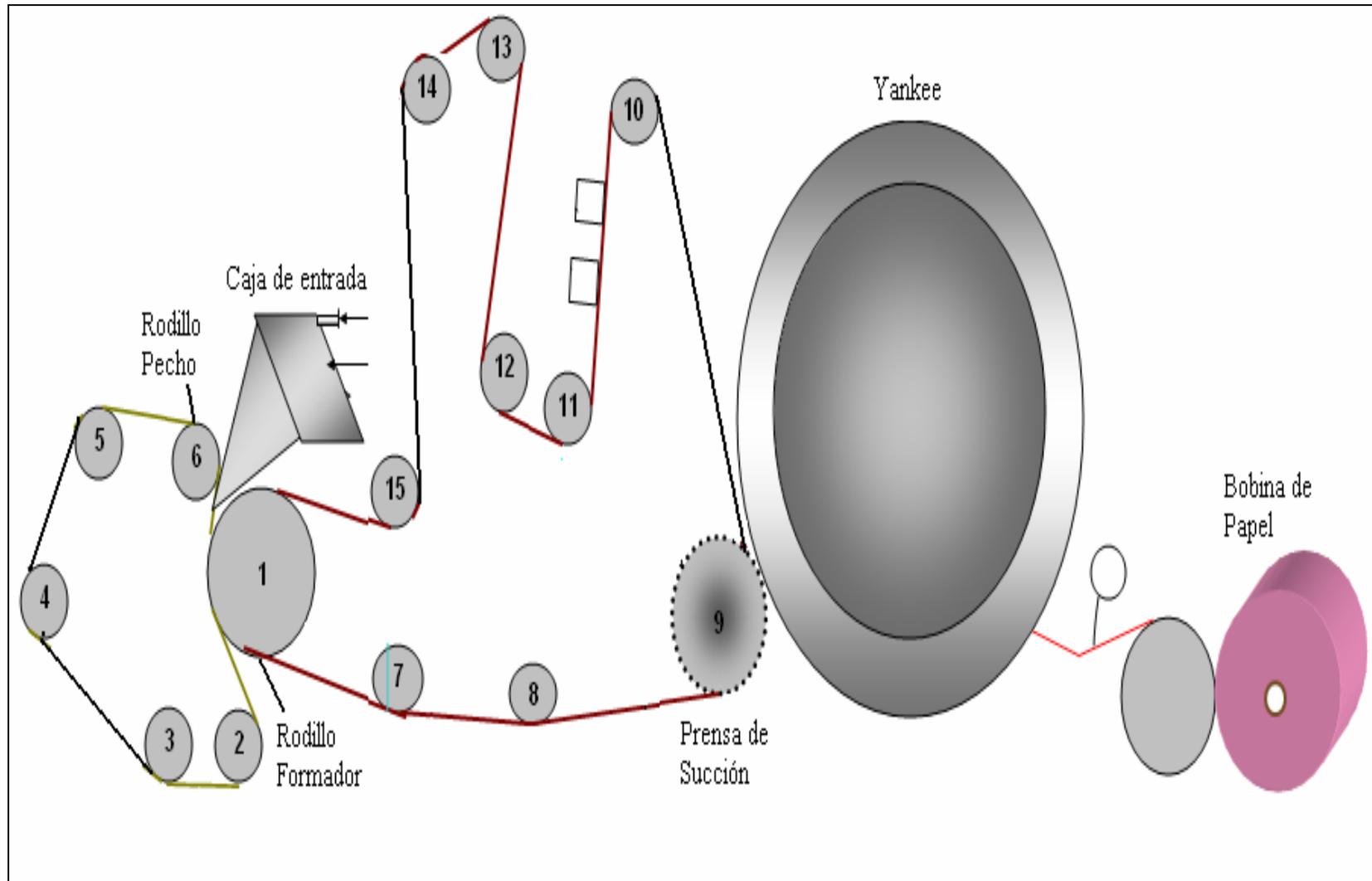


Figura 3.20. Esquema de la máquina papelera de la empresa Kimberly - Clark Venezuela.

3.8 CONVERSIÓN

Es el área que transforma y dimensiona el semielaborado al formato de los productos finales, para ello se emplean dos máquinas rebobinadoras que trabajan de forma sincronizada, las cuales trabajan a velocidades máxima respectivamente de 550 m/min (33 Km/h) y 650 m/min (39 Km/h).

En estas máquinas se procesan y empaquetan el producto semielaborado y lo convierten en los diferentes productos ofrecidos por la empresa al mercado, entre estos productos se encuentran los higiénicos en todas sus presentaciones (Scott plus, Scott mega, Scott lirio, Scott rosado, servilletas Scott, rollos jumbos, toallas para dispensadores etc)



3.21 Rebobinadora de Papel del área de conversión de productos semielaborados.



Figura 3.22 Almacenamiento y Transporte del producto terminado

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se presenta una síntesis secuencial de los pasos a seguir para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados, así como los instrumentos de toma de datos para la efectiva evaluación del proceso de reciclado de papel.

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según los objetivos planteados, la investigación a nivel de profundidad es de tipo proyecto factible; ya que, durante el desarrollo de la investigación se pretende crear propuestas que ofrezcan mejoras en los equipos que conforman la planta de reciclaje de papel; garantizándose así un mayor desempeño del proceso.

En cuanto a la estrategia o diseño de la investigación, es de tipo evaluativa, puesto que se pretende por medio de manuales y herramientas técnicas de la empresa describir y caracterizar los equipos de cada una de las etapas del proceso de reciclaje, y finalmente garantizar el funcionamiento de los equipos dentro de las mejores condiciones de operación del proceso. De acuerdo al alcance de la situación deseada y al tipo de metodología a utilizar en este trabajo, se procede a realizar el desarrollo sistemático de la investigación mediante el seguimiento de las siguientes fases:

- Conocimiento del proceso de reciclaje de papel,
- Identificación de las variables o parámetros involucrados en el proceso.
- Determinación de las condiciones de operación actuales y las recomendadas por los manuales y/o técnica de mejores prácticas de manufactura.
- Generación de alternativas que permitan mejorar las condiciones de operación existentes.
- Selección de la mejor alternativa planteada para su posible implementación.

- Evaluación costo – beneficio para determinar el ahorro de la propuesta seleccionada

4.2 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE RECICLAJE DE PAPEL

4.2.1 Elaboración del diagrama de flujo de elaboración del proceso.

En ésta etapa se pretende verificar los equipos y corrientes que constituyen parte del proceso; para ello se identificara cada una de las etapas y maquinarias que intervienen en el proceso, así como la materia prima involucrada y el producto final, mediante la realización de un recorrido por la planta y con ello crear un diagrama de flujo en donde se visualice todo lo descrito anteriormente.

4.2.2 Recopilación de fundamentos teóricos y revisión del manual operacional de los equipos

Por medio de los manuales se busca es dilucidar las variables o parámetros necesario para realizar la adecuada evaluación por equipo, además de su modo de operación o funcionamiento, y con esto proceder a definir las variables envueltas y los fenómenos involucrados al funcionamiento para tener un conocimiento de lo que representan en el proceso.

4.2.3 Descripción detallada del proceso de reciclaje de papel

Por medio de observaciones directas y visitas diarias por el área de estudio, y con la revisión de manuales para tener conocimiento de la función y el modo en que operan los equipos involucrados en el proceso se logra conocer minuciosamente el proceso de elaboración de papel en sus diferentes etapas.

4.2.4 Identificación de las variables con sus rangos ó valores de los equipos para definir condiciones de operación.

Una vez conocidas las variables, las etapas del proceso y los equipos que comprenden cada una de éstas, se procede a diseñar ó crear instrumentos de recolección de datos que contengan toda la información que se va a recopilar de las

variables por equipo e indirectamente por etapa del proceso, para con ello tener una data experimental que permita determinar y a su vez identificar las condiciones de operación de los equipos que conforman las diferentes etapas.

Para obtener los valores de alguna de las variables fue necesario realizar ensayos en el laboratorio de calidad de la empresa siguiendo una serie de pasos o instrucciones y correlaciones matemáticas, mostrados a continuación:

- **Ensayo del porcentaje de consistencia**

Consiste en tomar una muestra de aproximadamente 100 mL (dependiendo de qué tan diluida este la muestra) y determinar la cantidad de pasta seca presente en la muestra siguiendo la metodología presentada en el manual Kimberly Clark (2003):

1. Tomar un papel de filtro y colocarlo en la estufa durante 15 minutos para eliminar humedad, luego se coloca al papel de filtro en un desecador durante 5 minutos, se procede a pesar el papel de filtro en una balanza digital y se registra el valor, el papel se coloca en el desecador nuevamente por otros 5 minutos y se vuelve a pesar hasta que no haya cambios en el peso del papel de filtro.
2. Recolectados los 100 mL o más de muestra, se procede a filtrar al vacío, hasta extraerle la mayor cantidad de agua posible, seguidamente se coloca en la estufa a una temperatura de 105°C durante 30 minutos aproximadamente.
3. Transcurrido los 30 minutos se lleva al desecador por 5 minutos y se pesa la muestra y utilizando la ecuación 4.1 obtenida del manual Kimberly Clark Venezuela (2003)

$$\%K = \left(\frac{Mps}{Vsol} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

Donde:

%K: Porcentaje de consistencia (%).

Mps: Peso de la pasta seca (gr).

Vsol: Volumen de la muestra (mL).

- **Ensayo del porcentaje de cenizas**

Este se realiza con la finalidad de determinar las cantidades de contaminantes presentes en la pasta (manual Kimberly Clark Venezuela, 2003):

1. Se toma de (3-5) gramos de la pasta seca y se coloca en la estufa por un lapso de 1 hora aproximadamente, hasta que pierda la humedad.
2. Se coloca la muestra en un crisol que ha sido previamente pesado, se lleva a la mufla utilizando guantes y pinzas de seguridad , la muestra permanecerá en la mufla por un lapso de 2 horas a 530 °C.
3. Transcurrido el tiempo se coloca en la estufa durante 15 minutos, posteriormente al desecador por 5 minutos, y se procede a pesar la muestra y con ayuda de la ecuación 4.2 obtenida del manual Kimberly Clark Venezuela (2003):

$$\%C = \left[\frac{(M_{cll} - M_{cf})}{M_i} \right] \times 100 \quad (4.2)$$

Donde:

%C: Porcentaje de ceniza (%).

M_{cll}: Peso del crisol lleno (gr).

M_{cf}: Peso del crisol incinerada (gr).

M_i: Peso inicial de la muestra (gr)

- **Ensayo del porcentaje de finos en una muestra**

Para la determinación de finos es necesario haber calculado previamente la consistencia de la muestra (según el procedimiento descrito anteriormente); Una vez obtenido ésta se sigue los siguientes pasos:

1. Seque un papel filtro en la estufa durante 15 min aproximadamente para obtener el peso del filtro seco con 0% de humedad.
2. Retirar el papel filtro de la estufa y colóquelo en el desecador por 5 min hasta

que se enfríe antes de pesarlo en una balanza.

3. Con la consistencia inicial se determinan 2 (dos) gramos de muestra aproximadamente, para luego diluirla hasta alcanzar una consistencia cerca de 0,5 %.

Nota: Muestras con consistencia de menos de 0,5% pueden ser usadas directamente sin tener que ser diluidas, empleando 1000 mL para la realización de la prueba.

4. Agitar la muestra y verterla en la jarra.

5. Colocar el agitador a una distancia de 3 mm por encima de la parte inferior de la jarra. Comenzar la agitación a 750 rpm y dejar que se revuelva hasta aproximadamente 1 min para asegurar de que se mezclara formando una solución homogénea.

6. Una vez homogeneizada la mezcla, mantenga la agitación y retire la pinza del tubo de goma de desagüe (que se encuentra en la parte inferior de la jarra). Recolecte el filtrado en beaker sin dejar de agitar la solución. No botar el filtrado.

7. Antes que el nivel de la solución llegue a la parte superior de la hélice del agitador, detener el drenaje colocando la pinza en el tubo de drenaje o desagüe.

8. Regresar la jarra a su nivel previo con agua, permita la agitación momentáneamente y libere el tubo del drenaje (retirando la pinza del mismo).

9. Repita los pasos 7 y 8 hasta que el filtrado se torne con una coloración igual al del agua suministrada a la jarra.

10. Cuando se observe lo del paso anterior dejar que la solución termine de drenar completamente y finalmente ajustar la pinza al tubo de desagüe.

Nota: los filtrados contienen la fracción de finos y lo retenido en la malla la fibra

11. Fibra

- Retirar la fibra que queda en la malla y con agua la que puede permanecer en el agitador y la parte superficial de la malla. Recolectando todo ello en un beaker.
- Humedecer con agua el papel filtro pesado previamente y colocarlo en un embudo apropiado para con ello iniciar el proceso de filtrado al vacío de la muestra contenida en el beaker.
- Una vez culminado con el proceso de filtrado, el papel filtro que contiene la muestra de fibra es llevado a la estufa durante 30 min y posteriormente al desecador por 5 min aproximadamente, para poder registrar el peso de la muestra seca.

12. Reportado el peso de la muestra (con papel filtro) de fibra, se procede a realizar el siguiente cálculo utilizando las ecuaciones 4.3, 4.4 y 4.5 del manual Kimberly Clark Venezuela (2007):

$$(4.3)$$

Donde:

Mf: Masa de fibra (%).

Mm: Peso de la muestra (g).

Mfil: Peso del papel filtro (g).

$$\% \text{fibra} = \left[\frac{Mf}{Mm} \right] \times 100 \quad (4.4)$$

Donde:

Mi: Masa de muestra utilizada (2 gr).

$$(4.5)$$

4.3 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS MÁS INCIDENTES QUE ORIGINAN LA DESVIACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EXISTENTES EN EL PROCESO.

4.3.1 Determinación de las mejores condiciones de operación de los equipos que constituyen la etapa de reciclaje de papel.

Con la revisión de los manuales de operación de los equipos involucrados en el proceso y con el diseño de formatos ó tablas elaboradas para la recolección de las variables en planta, se realizó la comparación para definir si estas variables se encontraban dentro de los rangos o valores señalados en los manuales, y luego se hizo una revisión de la técnica BPM, en donde se realizaron formatos que expresaran su aplicabilidad al proceso en estudio para conocer el valor recomendado en la planta.

4.3.2 Revisión de la herramienta mejores prácticas de manufactura

Con ayuda del personal calificado se procedió a realizar una revisión del manual de las mejores prácticas de manufactura (BPM), para conocer las condiciones recomendadas por la herramienta a fin de precisar aun más la manera en que deberían estar operando los equipos que constituyen las diferentes etapas del proceso.

4.3.3 Determinación del cumplimiento de la técnica BPM en cada una de las etapas

Para ello se realizaron formatos en los que se logró constatar su aplicabilidad por etapa, en base al cumplimiento de lo expuesto por la técnica dentro de lo establecido por los manuales de diseño.

4.3.4 Desarrollo del diagrama causa-efecto

Se realizó una investigación bibliográfica de esta herramienta la cual es utilizada para conocer las causas de desviación de las variables (que definen las condiciones de operación) por etapa existentes actualmente, comparándolas con las más apropiadas proporcionadas por lo planteado en los manuales y técnica BPM.

- Identificar las causas: se realizó una tormenta de ideas formuladas con la ayuda de los operarios, técnicos del proceso e ingenieros del proceso, esto permitió la especificación de las causas ó variables involucradas y organizarlas por categorías para lograr la elaboración del diagrama de causa-efecto, para posteriormente identificar los parámetros y las fallas involucradas en el proceso.

El diagrama de Ishikawa como ya se menciono detalladamente en el capítulo 2, consta de un eje principal que conduce al problema que se quiere analizar donde al final de esta se coloca el efecto que corresponde a la meta del diagrama. Sobre dicho eje se encuentran líneas principales que lo rodean, indicando las causas, subcausas que representan las categorías de Mano de Obra, Materia Prima, Medición, Medio Ambiente Método y Maquinaria.

4.3.5 Selección de las causas más influyentes

Mediante reuniones con el personal de la empresa y con apoyo de los diagramas causa- efecto anteriormente realizados, se estudió las variables que mas influían en el desempeño del proceso en cuanto la pérdida de fibra y calidad de la pasta ya que estos son la problemática que continuamente ataca con la productividad de la empresa, además de su grado incidencia durante todas las etapas; para ello se utilizo una matriz de selección para conocer cuál de las condiciones de operación son las que estén afectando al proceso de reciclaje.

El establecimiento de las ponderaciones obedece al grado de influencia, desde un impacto mínimo hasta un impacto máximo, que ejercen las causas sobre los efectos indeseados de cualquier proceso. La puntuación por impacto en cada efecto fue establecido de la siguiente forma: 40 % para la merma, ya que de este no depende del producto final y 60 % a la calidad de la pasta, ya que depende de la obtención del producto final.

Para las variables como: consistencia, presiones, caudal de agua, intervalos de temperatura y cenizas, la ponderación para cada una se definieron 4 niveles diferentes:

0 si la variable no influye en el efecto,

- 1: si la influencia es baja
- 2: si la influencia es intermedia
- 3: si es altamente influyente,

4.4 ESTABLECIMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

4.4.1 Generación de alternativas que den soluciones concretas

Una vez reconocido y comparado los parámetros de funcionamiento de los equipos con sus rangos o valores, gracias a la herramienta de buenas prácticas de manufactura y/o manuales de diseño; además de las causas más incidentes representadas en el diagrama de Ishikawa sobre las desviaciones existentes en las condiciones operativas, se realiza un planteamiento de soluciones concretas para alcanzar minimizar y llegar a trabajar con los equipos bajo las condiciones más recomendadas.

Posteriormente a la generación de ideas se procede a esquematizar las soluciones al problema, pudiéndose producir la combinación de algunas de ellas para obtener diferentes alternativas enfocadas a la etapa, que representan en el proceso la serie de equipos.

4.4.2 Desarrollo de soluciones para la implementación

Por medio de la búsqueda de información técnica referente a cada alternativa propuesta a través de la revisión bibliográfica, internet y otros medio para el reconocimiento de las distintas tecnologías y diseño de las misma.

4.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN MÁS APROPIADA TENIENDO EN CUENTA LA EVALUACIÓN TÉCNICA

4.5.1 Establecimiento de criterios y ponderación

De acuerdo a lo planteado en el objetivo anterior, se procede a construir una matriz de selección considerando los criterios que se mencionan a continuación:

- Beneficio, que trata del grado de solución que es capaz de efectuar la alternativa.

- Costo de implementación que se traduce en la inversión inicial y los costos operacionales.
- Disponibilidad, que a grosso modo se refiere a lo accesible que sea la alternativa.
- Mantenimiento, referido a la frecuencia que hay que realizarse y la dificultad que éste puede tener.
- Tiempo de ejecución, trata del lapso de tiempo que se necesita para la puesta en marcha de la alternativa.
- Instalación, se traduce a las posibles complicaciones que puedan generarse ya sea por paradas de planta o por espacio disponible.

Se asignaron porcentajes de importancia en función de los objetivos de la empresa, siendo un 45 % para el beneficio capaz de proporcionar la propuesta al proceso ya que es uno de los objetivos de estudio; 30 % para el costo ya que de él depende mayormente de la implementación de la alternativa; 10 % para la disponibilidad debido a que éste factor evalúa la facilidad de la obtención de los equipos y/o materiales para poner en marcha la propuesta; 5 % para el mantenimiento ya que la empresa cuenta con el personal capacitado para la realización de dicha actividad; 5 % para la instalación debido a que se enfoca a la complicación que puede generar al poner en ejecución la alternativa y por último un 5 % para el tiempo de ejecución ya que es solo un indicativo del lapso de espera para la implementación de la propuesta, la misma se ve afectada por los criterios de disponibilidad e instalación.

Con respecto a los factores ya descritos, se estipuló para cada opción una puntuación que va del 1 al 5, representando cada uno lo siguiente:

- 1: Desfavorable
- 2: Moderadamente favorable
- 3: Favorable
- 4: Altamente favorable

5: Extremadamente favorable

Es importante resaltar, que varias alternativas pueden tener la misma puntuación en una misma opción y que finalmente la multiplicación de la puntuación por el porcentaje muestra la respectiva incidencia de ese criterio. En la Tabla 4.1 se aprecia la matriz de selección a elaborar.

Tabla 4.1. Matriz de selección de las alternativas

Criterio	%	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Puntuación	Incidencia	Puntuación	Incidencia
Beneficio					
Costo					
Disponibilidad					
Mantenimiento					
Tiempo de ejecución					
Instalación					
TOTAL					

4.5.2 Análisis de cada una de las alternativas planteadas

Con la formación de la matriz se puede evaluar cada alternativa propuesta asignando la puntuación referente al criterio de tal manera que a mayor valor, la alternativa representa la más favorable según el factor.

Sin embargo para la selección de la mejor propuesta planteada, se compara la incidencia de cada una de las propuestas y la que obtenga mayor valor al final constituye la mejor alternativa que se adapta a las limitaciones y requerimientos que posee la empresa.

4.6 ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN SELECCIONADA.

Como última actividad se desarrollara la estimación de la relación costo - beneficio con la finalidad de establecer un marco para determinar si el costo de implementación de las propuestas elegidas anteriormente por medio de una matriz de selección, es mayor que los beneficios derivados de la misma.

Para ello se siguieron los pasos establecidos por la técnica de costo-beneficio para determinar si la relación entre el costo y el beneficio es mayor ó menor a 1.

La manera o forma en que se presentaron los resultados de esta actividad es mediante una Tabla como la 4.2, en donde se pueda visualizar el costo asociado para implementar la propuesta y el beneficio aportado por la misma, para finalmente dilucidar si es atractiva o no la alternativa y con ello proceder a determinar el ahorro con la puesta en marcha de la propuesta.

Tabla 4.2. Análisis del costo-beneficio de la alternativa propuesta

Costo de inversión (\$)	Costo por beneficio (\$)	Relación (adim)

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el capítulo siguiente, se analiza y fundamenta por objetivo los resultados obtenidos a lo largo de la realización de la investigación.

5.1 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE RECICLAJE DE PAPEL DE LA EMPRESA

En esta parte se realiza una descripción detallada de cada etapa, incluyendo la operación de los equipos que conforman dichas etapas para identificar cada una de las etapas del proceso y conocer las variables involucradas.

5.1.1 Etapa de pulpeo

Un Pulper inicia su operación cuando agua y fibra son añadidas a la tina en proporción necesaria para alcanzar la consistencia objetivo. La acción de giro del rotor rompe la pulpa en fibras individuales. Al final cuando el desfibrado ha sido completado, la fibra es extraída por la parte inferior de la tina.

La mayoría de plantas modernas de fibra secundaria, utilizan pulpers de alta consistencia con un rotor helicoidal de gran tamaño.

El rotor de alta consistencia, tira la pasta al centro y abajo del Pulper y la impulsa hacia afuera a través del fondo, generando un patrón de circulación vertical.

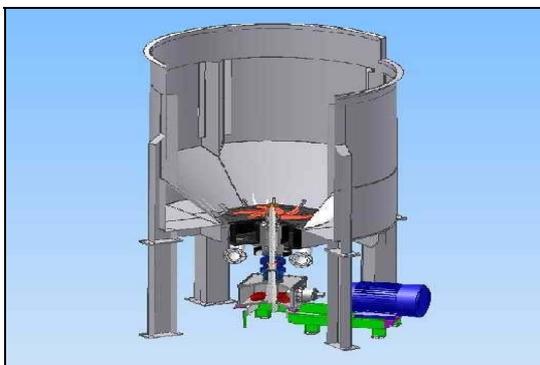


Figura 5.1 Pulper de alta consistencia. (Voith Paper 2000).

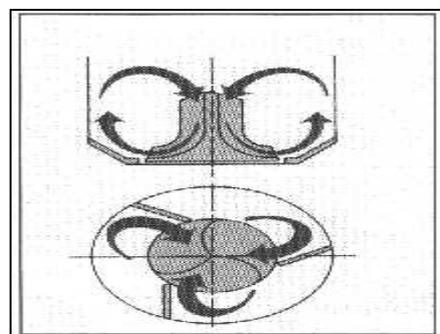


Figura 5.2 Vista aérea y lateral del rotor (Voith Paper 2000).

Un rotor a una velocidad relativamente baja y con bordes sin filos minimiza la fuerza de agotamiento mecánico, previniendo de este modo el “desmenuzado” de los contaminantes. La mayor acción del Pulper resulta de la intensidad del frotamiento fibra con fibra, causado por la circulación de la pasta de alta consistencia y muy viscosa. El frotamiento de fibra a fibra, no solo desfibra el papel de desperdicio, sino que además arranca las partículas de tinta fuera de la fibra del papel y reduce el tamaño de éstas, haciendo que sea más fácil removerlas luego. El polietileno plástico y otros materiales no se desintegran por lo que es más fácil quitarlos posteriormente

5.1.1.1 Secuencias de pulpeo

- *La secuencia de llenado*

El volumen de agua requerido es determinado por el peso de las pacas cargadas para dar una consistencia de pulpeo controlada. Usualmente los pulpers de alta consistencia operan entre 16-21% de consistencia, dependiendo del contenido de ceniza de la mezcla y del diseño de rotor.

- *La secuencia de batido*

Esta es la parte del ciclo donde la mayoría del trabajo es realizado. El papel es humedecido en los primeros 2-3 minutos del ciclo. El tiempo restante de pulpeo es utilizado para romper con las tintas y las escamas de la fibra. La desintegración es normalmente finalizada en los primeros 10-15 minutos del pulpeo. Investigaciones hechas por la Corporación Kimberly & Clark (KCC) han demostrado, que la degradación de tinta es aún incompleta después de los primeros 40 minutos de pulpeo. Los papeles con resistencia en húmedo pueden requerir todavía más tiempo para completar su desintegración. Durante esta fase, la potencia absorbida depende de la consistencia del pulpeo. Cambiar la consistencia en un 1 ó 2% puede reducir la degradación del tamaño de partícula de tinta hasta en un 50%.

- *La secuencia de descarga*

Después de que la secuencia de batido es completada, la pasta debe ser diluida para que pueda ser bombeada hacia afuera al tanque de descarga. La dilución inicial a

12-13% es completada en el Pulper. El resto de la dilución (a un 5% de consistencia), es terminada en la tubería de salida, a medida que el producto deja el pulper. El producto pasa a través de los equipos de limpieza gruesa, cuando está siendo transferido al tanque de descarga. Las características del pulper N° 4 se presentan en la Tabla 5.1

Tabla 5.1 Especificaciones de diseño del pulper # 4

<i>Tamaño</i>	24 m ³
<i>Modelo</i>	Tipo HDC
<i>Marca</i>	Voith
<i>Potencia del Motor</i>	430 Kw.
<i>Rotación del Motor</i>	740 rpm
<i>Marca del Motor del Pulper</i>	ABB
<i>Característica del rotor</i>	Tornillo Sin fin
<i>Rotación del Rotor</i>	136 rpm
<i>Consumo de Energía</i>	360 Kw.
<i>Productividad del Pulper</i>	4.375 tm/h
<i>Capacidad de Pulpeo</i>	105 tm/h

Fuente: Manual Voith Paper.

5.1.1.2 Variables que afectan al proceso de pulpeo

- *Tiempo de pulpeo*

Dentro de Kimberly-Clark, todo el pulpeo es hecho por carga. Cuando se opera en el modo por cargas, un parámetro importante de proceso es el tiempo de operación. El tiempo de operación es el tiempo requerido para completar el ciclo de una carga de pulpeado a la siguiente. Se compone de dos partes; el tiempo necesario para llenar el

Pulper con agua, cargarlo con las pacas y evacuarlo y el tiempo que toma desfibrar la pulpa. El tiempo de llenado, carga y evacuación usualmente toma de 10 a 15 minutos, dependiendo del tamaño del Pulper, el tamaño de las líneas de agua, la capacidad de las bombas de evacuación, y lo adecuado del sistema de manejo de materiales para la fibra particular siendo procesada.

El desfibrado es el componente más crítico del tiempo de lote. Este puede variar desde 15 minutos para una pulpa virgen fácilmente desfibrada, hasta una hora o más donde alimentación con alta resistencia húmeda (merma o fibra secundaria) es utilizada; o si el equipo está desgastado o no es apropiado para su uso actual. Idealmente, el tiempo de pulpeo debería ser minimizado de forma que las fibras sean separadas pero no dañadas.

En la Figura 5.3 se muestra una gráfica que relaciona el porcentaje de desfibrado del papel con respecto al tiempo de pulpeo, para diferentes valores de consistencia; se observa como primer enfoque, que a medida que el tiempo de pulpeo aumenta la desintegración de las pacas también lo hace, teniendo un comportamiento directamente proporcional, sin embargo en el segundo enfoque se puede ver que la efectividad de la desintegración para un tiempo específico, disminuye a causa de la variación en masa de papel o volumen de agua agregado, lo que se refleja con el valor de consistencia. La Figura 5.3 fue extraída del Manual de Papeles el Cauca (2001), sucursal de KCC en Colombia.

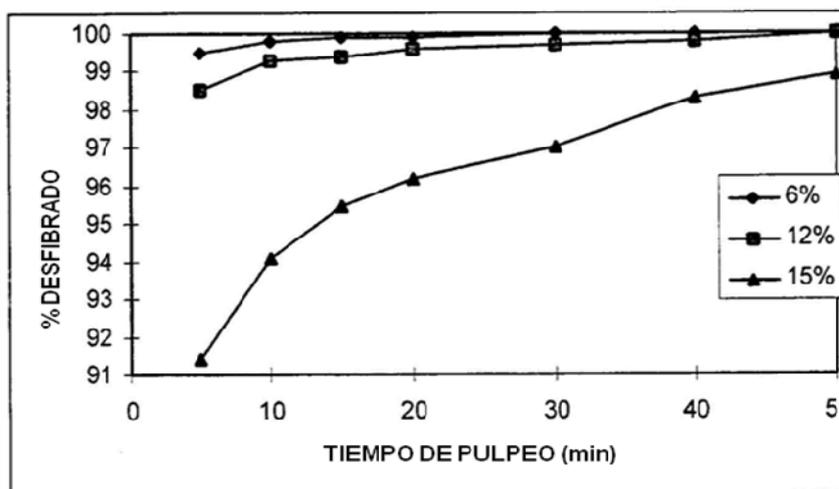


Figura 5.3 Influencia del tiempo de pulpeo en el desfibrado.

- **Consistencia**

La consistencia en los pulpers varía de 4-18% de consistencia. Los pulpers operando en un rango de consistencia de 4-8% son clasificados como pulpers de baja consistencia. Este tipo es utilizado principalmente con alimentaciones vírgenes y de material semi elaborado fuera de especificación y depende en un alto corte para el desfibrado. Los pulpers operando en el rango de 9 – 14% de consistencia son considerados como pulpers de mediana consistencia. Estos pulpers utilizan principalmente fibra secundaria, pero pueden ser utilizados con fibra virgen como una forma de incrementar la capacidad. Los rotores de mediana consistencia están equipados con barras de desfibrado, que proveen un alto corte y circulación. Sin embargo, un alto porcentaje del desfibrado ocurre por contacto de fibra a fibra, debido a la mayor consistencia. Los pulpers que operan al 15-20% de consistencia, son clasificados como pulpers de alta consistencia; y son utilizados con fibra secundaria altamente contaminada.

Estos rotores se asemejan a tornillos que mueven la pulpa lentamente. La ventaja de los rotores de alta consistencia es en dos aspectos: 1) eliminación del corte, lo cual mantiene los contaminantes en pedazos grandes que pueden ser fácilmente retenidos por los tamices. y 2) el uso de la acción fibra a fibra, lo cual causa desfibrado. El efecto de los diversos tipos de Pulper y consistencias se muestra en la Figura 5.4, según la información proporcionada por los manuales de papeles cauca (2001)

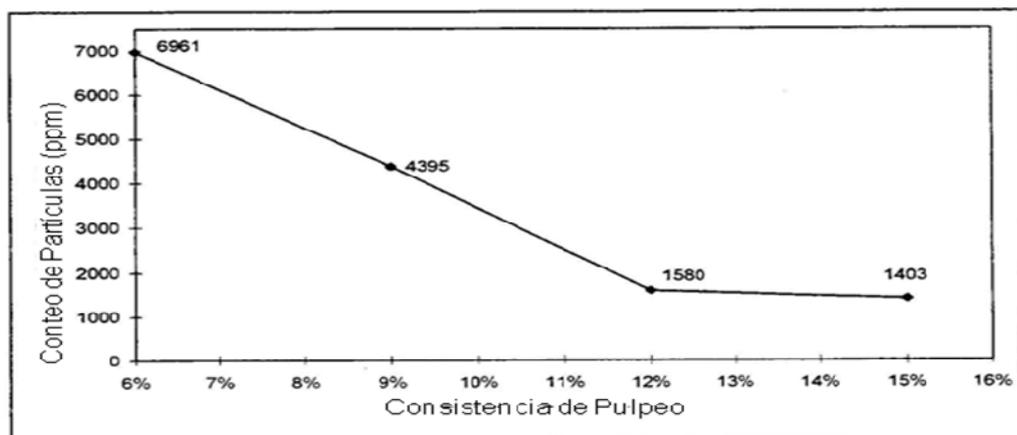


Figura 5.4 Efecto de la consistencia en el conteo de partículas.

- *Temperatura*

La temperatura es una variable importante en el pulpeo. El incremento de la temperatura aumenta la tasa de desfibrado al hacer las fibras más flexibles y permitir que el agua penetre y rompa los enlaces de fibra a fibra, Como un parámetro de proceso, la temperatura requerida depende del tipo de mezcla que está siendo pulpeada. Por ejemplo, la pulpa virgen puede no requerir calor extra para desfibrarse rápidamente; sin embargo, la fibra con alta resistencia húmeda o fibra secundaria pueden requerir una temperatura de pulpeo de (48– 66)°C o mayor. Cuando sea necesario, la temperatura es usualmente controlada utilizando agua de proceso caliente o inyectando vapor en el Pulper.

Cabe destacar que en el proceso en estudio no se inyecta vapor al pulper y no existe un precalentamiento de agua, el incremento de la temperatura se le atribuye únicamente a la fricción del rotor y las pacas de fibra.

Debe ejercerse precaución cuando se pulpea fibra secundaria a altas temperaturas. Las temperaturas sobre los 60°C pueden causar que los trozos de pega se ablanden y se hagan aun más pegajosos. Esto puede causar serios problemas en el proceso posterior.

Estas son las variables involucradas en la operación de pulpeo según los manuales proporcionados por el departamento de manufactura, sin la inclusión de la calidad de la materia prima que tiene un peso importante en el buen funcionamiento del proceso de fabricación de papel.

5.1.2 LIMPIEZA DE ALTA CONSISTENCIA

Esta fase está constituida por dos equipos de limpieza: el Contaminex y el Tambor clasificador, los cuales tienen el propósito de remover partículas y objetos no fibrosos presentes en la pasta ya preparada.

5.1.2.1 Limpiador centrífugo (Contaminex)

Es un equipo de limpieza de media consistencia constituido por un disco fijo (que ocupa todo el diámetro con que esta dimensionado el contaminex), y que posee unos

orificios de 8 milímetros (mm) distribuidos en toda su superficie, además de cinco barras posicionados en forma de estrella girando a ciertas revoluciones a una distancia que permite la limpieza de los hoyos que se obstruyen por los contaminantes gruesos.

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 recolectado por contenedores que posteriormente son descargados en el área de desechos sólidos, y el rechazo liviano que alimenta al tambor clasificador.

Tabla 5.2 Especificaciones de diseño del Contaminex

<i>Tamaño</i>	20 m ³
<i>Modelo</i>	Tipo CMS – 20
<i>Marca</i>	Voith
<i>Potencia del Motor</i>	55 hp
<i>Rotación del Motor</i>	1180 rpm
<i>Productividad</i>	4,375 tm/h
<i>Amperaje</i>	546 amp
<i>Capacidad</i>	105 tm/h
<i>Velocidad del Motor</i>	1470 rpm
<i>Velocidad del Rotor</i>	270 rpm
<i>Orificio de la Cesta Tamiz</i>	8 mm

Fuente: Manual Voith Paper

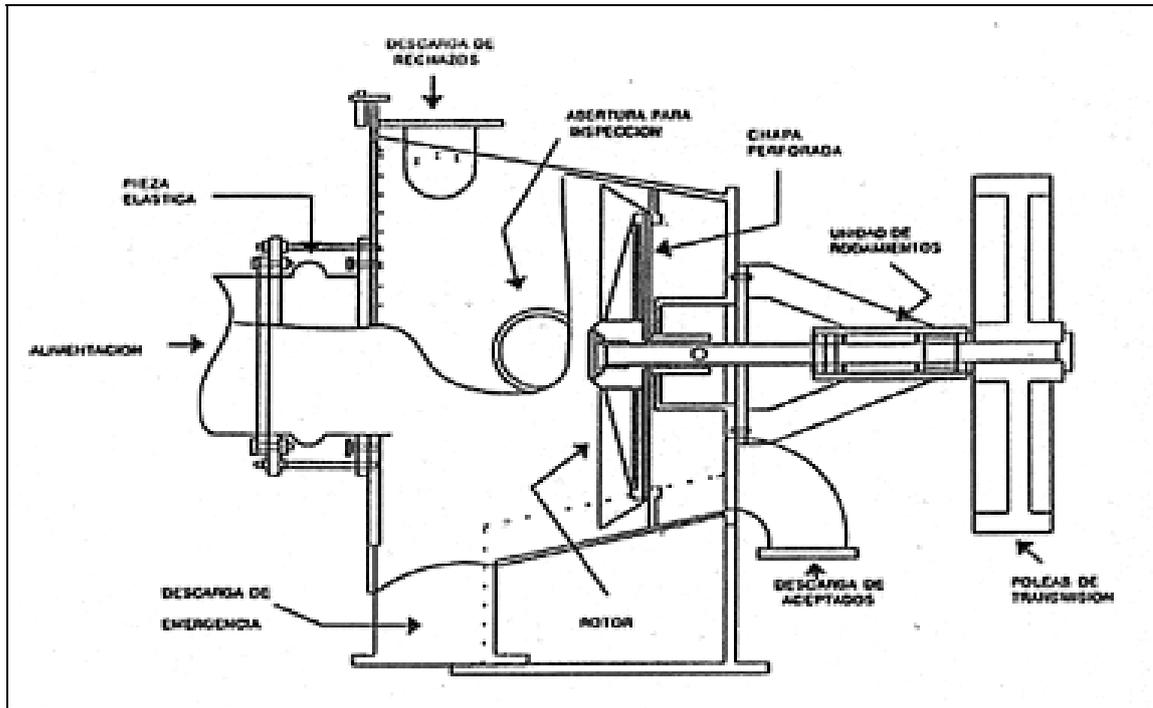


Figura 5.5 Diagrama esquemático del Contaminex.

Fuente: Voith Paper

5.1.2.2 Tambor clasificador

Es otro equipo de media consistencia pero constituido por una cesta giratoria el cual también posee unos orificios de 8 mm distribuidos por toda la superficie de la cesta. Cabe destacar que el sentido de el giro indica su ciclo de operación o limpieza; el giro ajustado a las agujas del reloj muestra que está en proceso de depuración y el anti horario lo contrario.

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 y el rechazo que es descargado por gravedad a un contenedor que posteriormente será desalojado en el área de desechos sólidos.

Este equipo trabaja en conjunto con el contaminex pero su depuración se inicia cuando se realiza el purgado de este último equipo, es decir, cuando el contaminex se encuentra saturado de pasta.

Tabla 5.3 Especificaciones de diseño del Tambor clasificador

<i>Modelo</i>	Tipo F
<i>Marca</i>	Voith
<i>Potencia del Motor</i>	5,5 Kw.
<i>Velocidad del tambor</i>	15 rpm
<i>Longitud</i>	2500 mm
<i>Diámetro</i>	1200 mm
<i>Peso en Vacío</i>	2100 Kg.

Fuente: Manual Voith Paper

5.1.3 ETAPA DE DEPURACIÓN GRUESA

5.1.3.1 Separador de pasta espesa

En esta etapa luego del desfibrado, limpieza gruesa de la pasta y dilución de la misma, se comienza una depuración de la suspensión de los contaminantes de menor proporción, que no pudieron ser retenidos en el área de limpieza de alta consistencia. Está constituido por un limpiador cónico de alta consistencia (T2 # 3) y dos cribas presurizadas.

La pasta conteniendo partículas de diferente densidad, es alimentada al limpiador de alta consistencia lateralmente a alta velocidad 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.

Las impurezas más pesadas son llevadas hacia abajo del limpiador para salir como rechazo. La unidad está equipada con una cámara de rechazos el cual es vaciado

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.

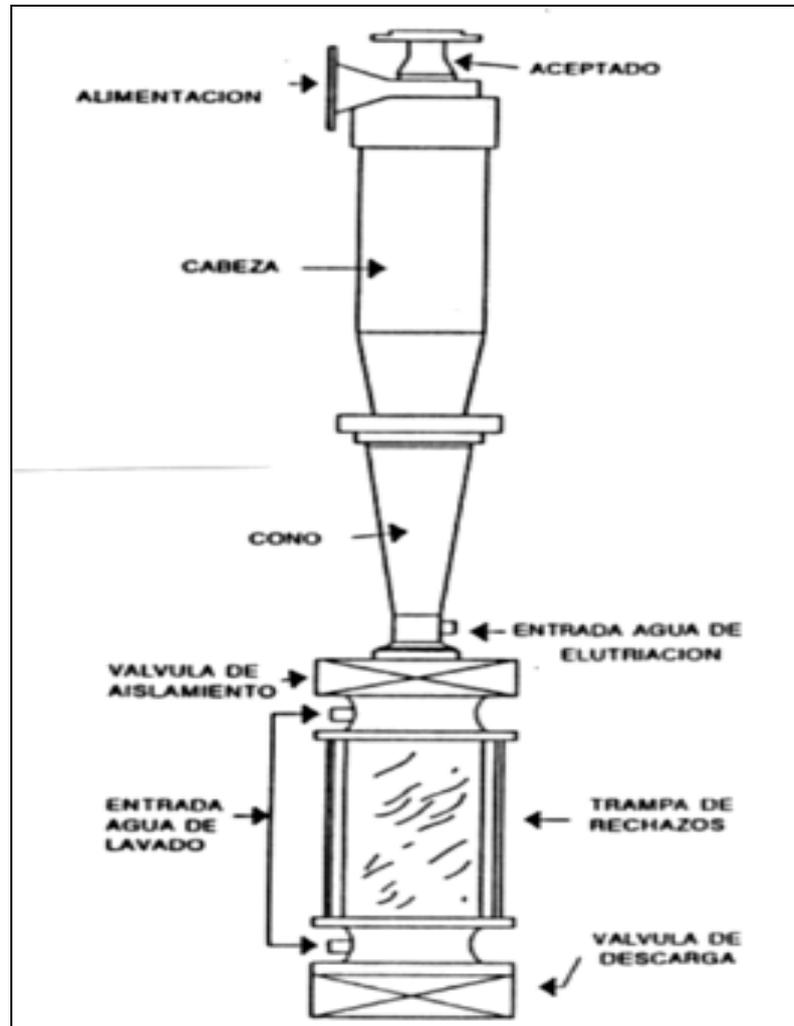


Figura 5.6 Diagrama esquemático del Separador de pasta espesa
fuente: Manual Voith Paper

- *Variables involucradas en el separador de pasta espesa*

1. Caudal de la máquina

Para obtener una mejor separación de las partículas pesadas, es necesario operar

el separador de pasta espesa con caudal constante, o sea, con diferencia de presión constante entre la entrada y la pasta aceptada.

2. Consistencia de entrada

La consistencia de entrada no puede exceder la máxima admisible de 4,5 %. En caso de exceso, el efecto de separación cae drásticamente, además de aumentar el riesgo de atascamiento.

3. Presión del agua

La presión debe mantenerse lo más estable posibles y sin grandes fluctuaciones en las tuberías de agua de dilución, de lavado y de llenado. Si la presión cae demasiado, la pasta puede entrar en las tuberías de conexión de agua de la máquina y atascarla.

4. Cantidad de agua de retrolavado

- Si la cantidad ajustada del agua de retrolavado es muy reducida, aunque sea alto el grado de efecto de separación, también es alta la pérdida de fibras en la compuerta de impurezas.
- Si la cantidad ajustada del agua de retrolavado es muy alta, partículas pesadas separadas en el tubo separador de la máquina no se sedimentan dentro de la compuerta de impurezas. En consecuencia, el efecto de separación de la máquina es reducido y, en el separador de pasta espesa, se concentran partículas pesadas, resultando un desgaste precipitado. La cantidad del agua de retrolavado tiene que ser optimizada, por un espacio de tiempo prolongado. Para evaluar la cantidad, se puede recurrir al rechazo de la máquina.

5. Calidad del agua

El agua de lavado, llenado, así como también el agua de retrolavado, no debería exceder una consistencia de 0,1 % pues entre más alta sea esta mayor es el riesgo de atascamiento de las tuberías.

Tabla 5.4 Especificaciones de diseño del Separador de pasta espesa

Variables	Unidades	Valor
<i>Presión de operación máx.</i>	bar	4,0
<i>Tamaño de los componentes sólidos de la pasta, máxima (largo)</i>	mm	90
<i>Consistencia de entrada, máxima</i>	%	4,5
<i>Consistencia del agua de lavado y de llenado, máxima</i>	%	0,01
<i>Flujo volumétrico de entrada</i>	l/min	4100...5400
<i>Diferencia de presión entre la entrada y la pasta aceptada</i>	bar	1,0...1,8
<i>Presión de pasta aceptada, mínima</i>	bar	0,4
Agua de lavado y de llenado necesaria en el Separador de pasta espesa y en la compuerta de impurezas	l/min	50..100
Sobrepresión del agua de lavado y de llenado en relación a la presión de la pasta aceptada pero no superior a la presión máxima de operación admisible	bar	1,0

Fuente: Manual Voith Paper

5.1.3.2 Cribas rotatorias presurizadas gruesas

La pasta entra a la criba 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. 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. La pasta aceptada fluye a través de la conexión de aceptado, fuera de la criba. Las perforaciones de la cesta están medidas de tal forma que la fibra buena pueda penetrar la cesta, mientras que los rechazos son mayores que las medidas de las perforaciones. La pasta aceptada es almacenada para ser utilizada por la planta de destintado o reciclado. Entre los tipos de cribas rotatorias se encuentra el tamaño 23 y el tamaño 13.

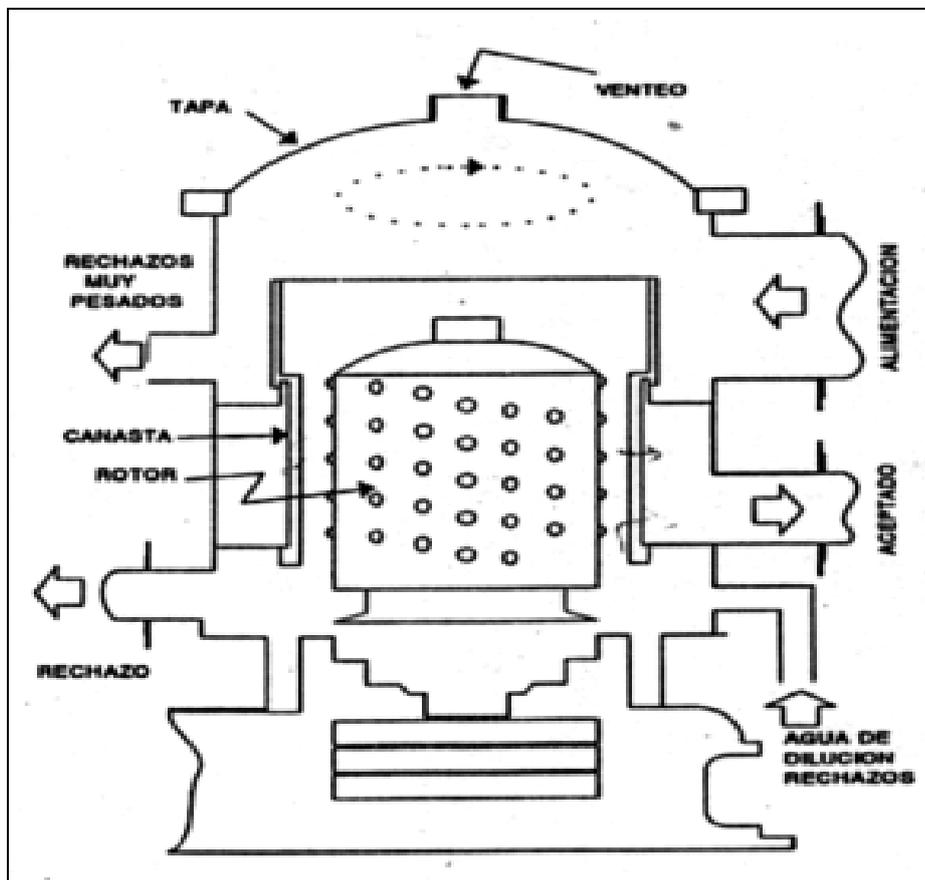


Figura 5.7 Diagrama esquemático de una Criba Rotatoria Presurizada

Fuente: Manual Voith Paper

Tabla 5.5 Especificaciones de diseño de la Criba Tamaño 23 y 13

	Tamaño 23	Tamaño 13
<i>Marca</i>	Voith	
<i>Modelo</i>	Tipo W-23	Tipo W-13
<i>Producción Media</i>	(75-375) ton/24h	(30 - 150) ton/24h
<i>Velocidad del Motor</i>	1750 rpm	1500 rpm
<i>Velocidad del Rotor</i>	440 rpm	715 rpm
<i>Potencia Necesaria</i>	70Kw	28-32 Kw
<i>Potencia del Motor</i>	75 Kw.	37 Kw
<i>Orificio de la Cesta Tamiz</i>	0,25 mm	0,15 mm
<i>Consumo de Agua de Cierre</i>	5 L/min	

Fuente: Manual Voith Paper

5.1.4 ETAPA DE DEPURACIÓN FINA

Una vez realizada la depuración gruesa se procede a retirar los contaminantes livianos de la pasta, como son la arenilla, astillas, plásticos ceras y parafinas.

Esta etapa está constituida por unos bancos de limpiadores de baja densidad el cual consta de tres etapas, operando en cascada, de los cuales solo el aceptado de la primera etapa continua hacia la siguiente fase del proceso, la cual es un tanque de almacenamiento llamado tanque de baja densidad en el cual la pasta se diluye con corrientes de agua recuperada por la planta de tratamiento, de esta forma mantener la consistencia en los rangos de operación de los siguientes equipos, los cuales son los depuradores verticales también llamados fine screen, estos depuradores están igualmente colocados en tres etapas que operan en cascada y el aceptado del depurador vertical 1, continua a la siguiente fase de depuración fina, es decir, hacia otro

banco de limpiadoras centrífugas llamadas limpiadoras inversas, estas limpiadoras están conformadas por dos etapas o dos bancos de limpiadoras el primer banco de limpiadoras esta conformados por 63 limpiadoras y el segundo banco por 14 limpiadoras el aceptado del primer banco continua a la siguiente etapa y el rechazo se envía a el segundo banco de limpiadoras.

5.1.4.1 Limpiadores de baja densidad

La función del depurador de baja consistencia es, remover contaminantes de una densidad especifica menor a 1,0. Ejemplos: gravilla y arenas. Proteger el sistema de cribas del daño causado por la naturaleza abrasiva de estas partículas.

- **Principio de funcionamiento**

El separador centrífugo trabaja según el principio del hidrociclón.

La suspensión de pasta entra tangencialmente en la parte superior del separador centrífugo, a través de la boca de entrada. De esta manera, en el tubo separador cilíndrico-cónico se forma un torbellino. Éste provoca la concentración de las impurezas con mayor peso específico en la pared interior de la cámara del separador.

Las impurezas ahondan a lo largo de la pared del separador centrífugo, hacia el rebosamiento, por donde son descargadas continuamente.

Debido al desplazamiento volumétrico, la suspensión de pasta limpia se mueve radialmente hacia el eje del depurador y, después, axialmente, hacia la boca de flujo aceptado. De allí, ella es descargada continuamente.

Las partículas leves y burbujas gaseosas sufren empuje hacia el centro, dado por el resto de la suspensión depurada hacia la salida de la pasta aceptada, y son descargadas continuamente en la parte superior por la boca de impurezas leves.

Estos limpiadores de baja densidad trabajan en cascada es decir que el rechazo de los primeros limpiadores vienen a ser las entradas a los limpiadores ubicados en la segunda etapa, y el aceptado de esta vuelve como entrada a los primeros limpiadores, esto se realiza en tres bancos de limpiadores con el fin de obtener el mayor

aprovechamiento de la fibra. Luego la depuración fina continua cuando el aceptado de la primera etapa de los limpiadores de baja densidad es almacenado en un tanque llamado tanque de baja consistencia este debe su nombre a que existe una dilución en este tanque a fin de mantener la consistencia en el rango requerido por los siguientes equipos de depuración que son los depuradores verticales (fine- screen 1,2 y 3) estos depuradores también operan en cascada.

Tabla 5.6 Especificaciones de Operación de los limpiadores de baja densidad

Variables	Unidades	Valores
<i>Flujo de entrada por limpiador</i>	l/min	600
<i>Consistencia</i>	%	0 a 1,5
<i>Presión de entrada</i>	bar	3,5
<i>Diferencia de presión entrada - salida</i>	bar	1,6
<i>Presión de la pasta aceptada</i>	bar	1,2
<i>Temperatura de operación, máxima</i>	°C	60

Fuente: Manual Voith Paper

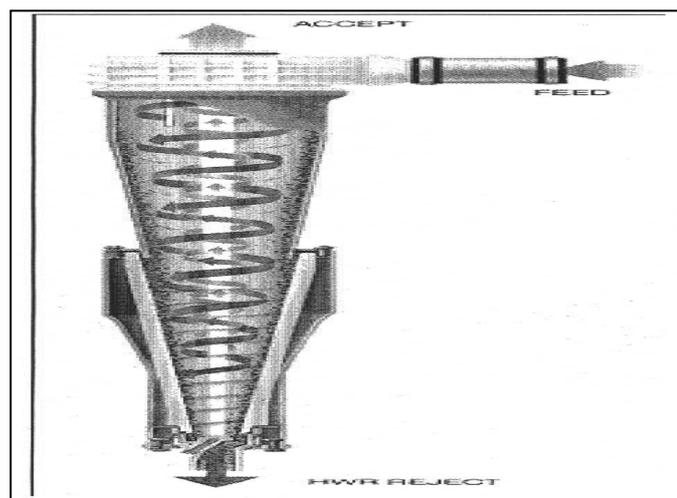


Figura 5.8 Diagrama esquemático de un limpiador.

Fuente: Manual Voith Paper.

5.1.4.2 Depurador vertical

Es indicado para limpiar casi todos los tipos de pasta de papel. Por acción de su rotor, el elimina nudos, astillas, laminados, pelos, hilos y otras impurezas flotantes.

- **Principio de funcionamiento**

La pasta es bombeada a través de la boca de entrada por encima de la maquina, y es llevada hasta el interior de un tamiz cilíndrico fijo, de perforaciones fijas, la pasta atraviesa ese tamiz saliendo por lo boca de salida, dentro del tamiz gira un rotor generalmente equipado con cuatro paletas, que producen una pulsación de la pasta, a fin de evitar el atascamiento del tamiz, además flóculos de pasta son parcialmente deshechos, atravesando enseguida el tamiz.

Tabla 5.7 Especificaciones de diseño del Depurador Vertical N° 1

<i>Modelo</i>	Tipo 21
<i>Marca</i>	Voith
<i>Cantidad de Paso</i>	500 ton/24h
<i>Cesta Tamiz de ranura</i>	0,15 mm
<i>Flujo de Alimentación</i>	6000 lts/min
<i>Rotación del Rotor</i>	275 rpm
<i>Rotación del Motor</i>	(980-1180) rpm
<i>Velocidad del Rotor</i>	430 rpm

Fuente: Manual Voith Paper

El aceptado del depurador vertical N° 1, entra a los limpiadores LT3 y el rechazo se envía a él depurador vertical N° 2. El aceptado de este último entra al depurador N° 3 y

el rechazo va hacia efluentes.

Tabla 5.8 Especificaciones de diseño del Depurador Vertical N° 2

<i>Marca</i>	Voith
<i>Cesta Tamiz de ranura</i>	0,15 mm
<i>Flujo de Aceptado</i>	1300 Kg/min
<i>Rotaciones del Rotor</i>	310 rpm
<i>Potencia del Motor</i>	55 Kw.

Fuente: Manual Voith Paper

Tabla 5.9 Especificaciones de diseño del Depurador Vertical N° 3

<i>Marca</i>	Voith
<i>Producción</i>	65 Ton/día
<i>Cesta Tamiz de ranura</i>	0,15 mm
<i>Consumo de agua de cierre</i>	5 L/min
<i>Agua de Dilución</i>	1500 L/min
<i>Rotación del Rotor</i>	530 rpm
<i>Potencia del Motor</i>	22 kw

Fuente: Manual Voith Paper

5.1.4.3 Limpiadores reversos (LT3)

Los bancos de limpiadoras LT3 se utilizan en la industria papelera, para eliminar continuamente materiales ajenos del papel, de las suspensiones del material.

Dichos contaminantes son contaminantes livianos, es decir, impurezas que son específicamente más livianas que el agua, incluyendo etiquetas autoadhesivas,

plásticos, ceras, rango de suspensión de la consistencia del material aceptado de 0 a 1%.

Existen dos etapas de estas limpiadoras la primera etapa se alimenta del aceptado del depurador vertical 1, y la segunda etapa se alimenta de el rechazo de la primera etapa.

- **El principio de operación de estas limpiadoras es el siguiente:**

El flujo de pasta entra por el cabezal de la limpiadora y forma un remolino, la acción centrífuga del remolino crea una separación de partículas con gravedad específica más baja que con el material de pulpa.

El material de pulpa continúa bajando y sale de la limpiadora por medio de unas conexiones de aceptados, las partículas de gravedad específica más baja que el material de pulpa permanecen en el centro del remolino y se desechan a través de conexiones de rechazos.

Tabla 5.10 Especificaciones de diseño de los Limpiadores Cónicos

<i>Modelo</i>	LT3
<i>Marca</i>	Voith
<i>Flujo de alimentación por Limpiador</i>	(143 – 189)L/min
<i>Peso del limpiador vacío</i>	3,2 Kg
<i>Banco de limpiadores</i>	90

Fuente: Manual Voith Paper

5.1.5 ETAPA DE LAVADO

5.1.5.1 Lavador

La pasta aceptada de los limpiadores LT3 entra al lavador, este lavador tiene una entrada y dos salidas, las salidas son la pasta aceptada que continua en el proceso y

el rechazo que sale del proceso.

El objetivo de este equipo 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. Esta es la razón principal para su instalación dentro de un proceso de papel tissue, además este equipo eleva la consistencia de la pasta. 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 centrífugas creadas por la alta velocidad de rotación del rodillo la pasta es desalojada, 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. La pasta cae en un tanque donde es llevada al tornillo prensa 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.

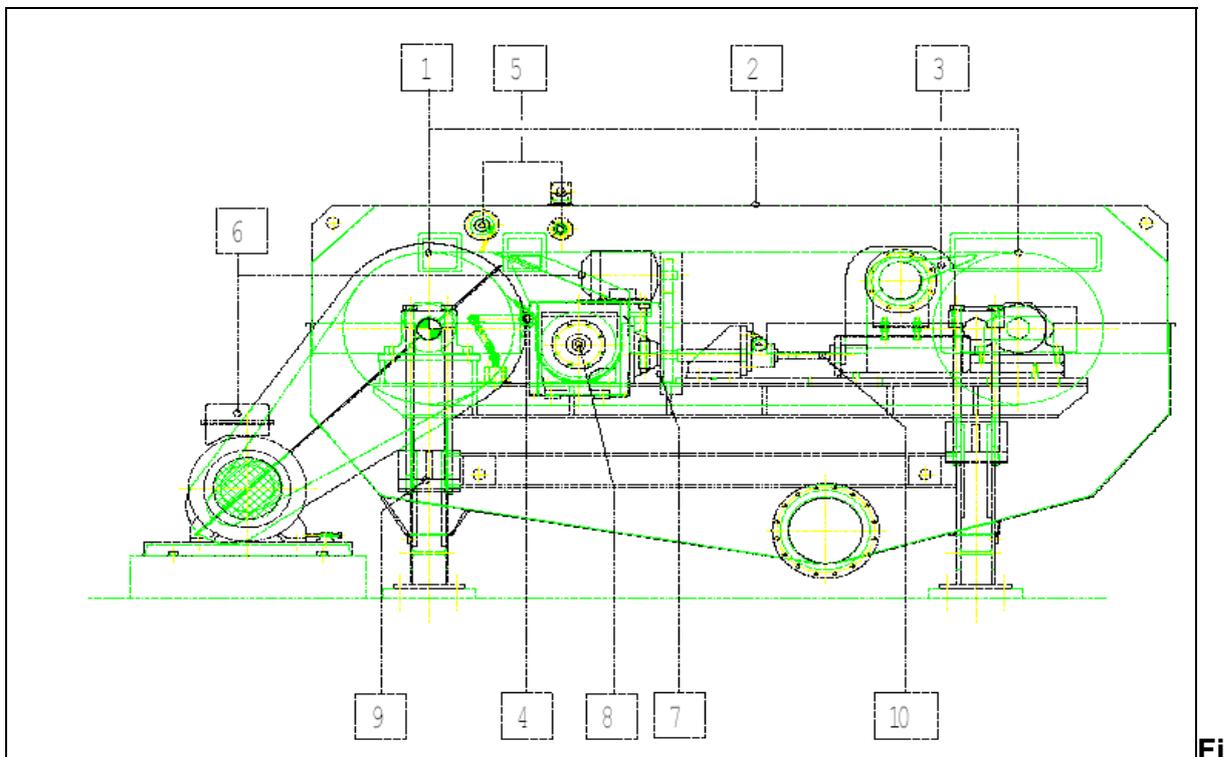


Figura 5.9 Partes del lavador COMER - AL 200

Fuente: Manual de operación COMER- AL 200

A continuación se presenta un resumen de las partes del lavador descritas en el manual de operación COMER- AL 200, el cual fue suministrado por el departamento de proyectos e ingeniería de la empresa.

- (1) **Dos rodillos:** construidos en acero inoxidable AISI 316, cada uno con un diámetro de 800mm.
- (2) **Una tela** sintética del tipo de malla cerrada de poliéster 1910x7900 mm, con dos bordes de guía laterales.
- (3) **Una caja de distribución** con sección circular y un orificio que se prolonga hasta el primer rodillo. Está conectada a una tubería flexible por medio de una brida DN 200 PN10.
- (4) **Un raspador** oscilante montado en correspondencia con el rodillo prensa. La hoja es de material plástico (a pedido, puede suministrarse de acero inoxidable), tiene un ancho de 75 mm y una longitud de 2000 mm.
- (5) **Dos tubos pulverizadores.** Uno oscilante, con chorro de agujas de alta presión, proyectado para operar a una presión máxima de agua de 20 bar. Otro tubo, fijo, con chorro en abanico, trabaja con una presión de agua de 5 bar. Este tubo pulverizador tiene 19 orificios y un consumo total de agua de 80 l/min.
- (6) **Dos unidades de transmisión.** El Lavador COMER- AL 200 tiene dos sistemas de transmisión separados; uno para el rodillo de tracción (rodillo prensa) y el otro para el transportador de espiral.
- (7) **Un sistema de inter bloques** que consiste en un sensor de rotación, del rodillo de tracción y del conductor de espiral, que detiene el Lavador COMER- AL 200, si uno de estos dos elementos, por cualquier razón se parase.
- (8) **Un transportador de espiral** de acero inoxidable, con un diámetro de 355 mm; cumple la función de remover la pulpa condensada.
- (9) **Un sistema de elevación de cantilever.** El Lavador COMER- AL 200 está equipado con un sistema de elevación de los rodillos por cantilever, que permite usar

la tela de anillo cerrado. El sistema consiste en dos juegos de tirantes armados sobre el lado del mando.

(10) Un sistema tensor. El primer rodillo está armado sobre dos trineos a los cuales están fijados gatos de tornillo sinfín. Con la rueda de mano montada sobre el gato, del lado del operador, se puede regular la tensión de la tela. La tensión se fija a 4-7 Kgf/cm.

- **Principio de funcionamiento**

La masa llega al Lavador COMER- AL 200 a una densidad de 0,5-3% y a través de una tubería flexible entra en la caja de distribución. Esta última envía la pulpa en el espacio que se ha formado entre el primer rodillo y la tela. El primer rodillo está recubierto con poliuretano y es acanalado; esta solución forma cámaras que aumentan el espacio a disposición para el drenaje de la pulpa. El espacio inicial, creado por el primer rodillo acanalado y la tela sintética, no permite que la masa inicial sea prensada, por lo tanto una buena parte del drenaje de la pulpa se efectúa gracias a la fuerza centrífuga. Esta última depende de la velocidad de la tela, de la masa y del diámetro del rodillo.

La masa es empujada por la fuerza centrífuga contra la tela, mientras ésta gira en torno al primer rodillo. La masa sale al exterior a través de las ranuras y se distribuye sobre la tela, en tiras. Luego, en su trayecto, dicha masa llega a la línea de contacto entre la tela y el rodillo prensa.

El rodillo prensa es liso y está recubierto con goma dura. La masa se drena en la segunda línea de contacto, gracias a la fuerza de la tela que ejerce su presión contra el rodillo prensa. La pulpa condensada luego se quita con un raspador, a una consistencia que varía de 8 a 14% (depende de las características de la pulpa que se debe tratar). La pulpa condensada termina en el transportador de espiral que la conduce lateralmente fuera de la máquina.

Sobre la cobertura inclinada del transportador de espiral, hay un tubo pulverizador oscilante de alta presión, en grado de quitar pegamentos, cenizas, suciedad, que

podrían obstruir la tela. Este tubo pulverizador funciona con una presión de agua de 20 bar máximo.

Ocasionalmente, la tela puede limpiarse también con productos químicos apropiados. Algunas máquinas tienen además un tubo pulverizador con orificios en abanico, que funcionan a baja presión.

El agua de recuperación se recoge en la tina y va a drenarse fuera del Lavador COMER- AL 200, a través un grifo lateral, vuelto hacia el lado de mando. La densidad del agua de recuperación puede variar del 0.10 al 0.60%.

- **Variables involucradas en el lavador**

Son numerosos los factores que inciden en las prestaciones del Lavador COMER-AL 200; algunos de los más importantes son los siguientes:

1. Densidad de la pulpa
2. Peso específico
3. Velocidad de la tela
4. Permeabilidad de la tela
5. Escurrimiento de la pulpa

5.1.5.2 Tornillo prensa

El propósito del tornillo prensa ó espesador es concentrar la pasta por medio de la remoción del exceso de agua. Cuando se remueve el agua, la consistencia se sube

Normalmente, los espesadores son utilizados antes de una etapa de alta consistencia tal como el dispersado o el blanqueado.

No se esperan remociones de contaminantes de un espesador, aunque la ceniza, finos y partículas muy pequeñas de agua pueden ser eliminadas con la extracción de agua.

La blancura puede incrementarse debido a esta remoción mínima de ceniza, polvo y remoción.

- **Principio de funcionamiento**

La pasta de baja consistencia es alimentada constantemente dentro de la tolva del tornillo prensa. El eje del tornillo inmediatamente comienza a empujar la pasta a través de la prensa. A lo largo de la prensa, una canasta perforada mantiene la pasta dentro de la prensa mientras el agua se derrama a través de los agujeros. La canasta rodea al eje (360°) con la excepción del lugar donde la tolva alimenta a la prensa (180°).

Las canastas de la prensa de tornillo tienen agujeros perforados a través de los cuales se extrae el agua. Estos agujeros tienen un diámetro que varía desde 1.5 a 3 mm. La canasta tiene agujeros de menor diámetro al principio de la canasta, el cual se incrementa hacia el final de la canasta. El propósito es que no haya pasta goteando por los agujeros cuando la consistencia es baja y facilitar el flujo de agua cuando la consistencia es alta.

Dado que las prensas son presurizadas, algunos fabricantes instalan una canasta de soporte alrededor de la canasta perforada.

Esta canasta de soporte actúa como un marco y su diámetro de agujeros es mucho mayor que los de la canasta interior.

La pasta de alta consistencia es descargada al final del eje del tornillo y de la canasta sobre un tornillo sin fin que prepara la pasta para la dispersión, dependiendo de la operación.

Las consistencias de descarga pueden variar del 15 al 35% en algunos casos. Durante la operación diaria, se pueden alcanzar diferentes consistencias modificando la contrapresión generada por el tapón estrecho.

El agua extraída fluye a través de perforaciones hacia una canaleta. Posteriormente es enviada por gravedad o bombeada a tanques de agua directamente para dilución. Dado que el agua extraída tiene muy pocos sólidos, la mayoría de las empresas utilizan

esta agua sin ningún tratamiento.

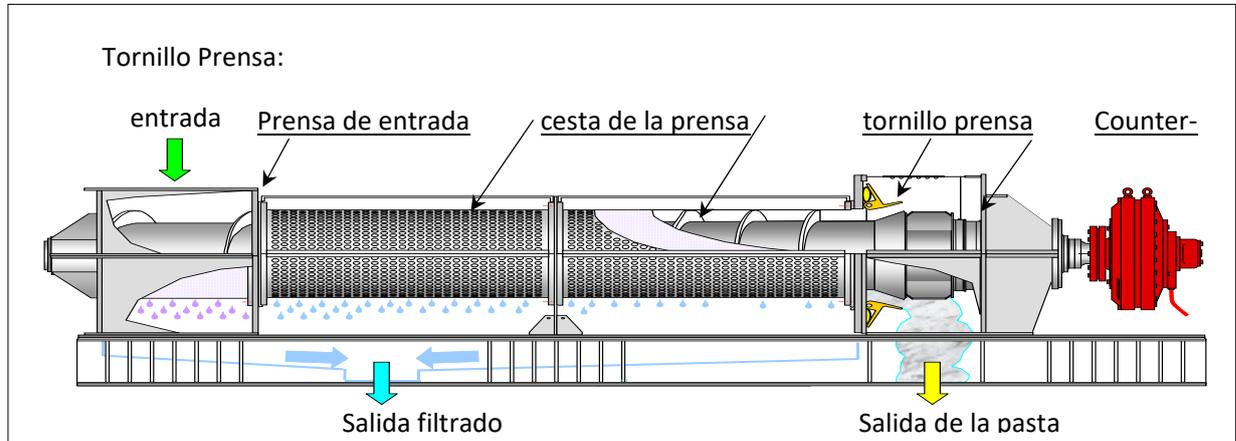


Figura 5.10 Partes del Tornillo Prensa.

Fuente: Manual Voith Paper.

5.1.6 ETAPA DE BLANQUEO

Una vez la pasta en el dispersor-amasador, son inyectados el peróxido de hidrogeno, la soda cáustica , además de vapor; la pasta continua su recorrido por medio de otros tornillos sin fin hasta llegar a un tanque de almacenamiento llamado torre de peróxido, en donde la pasta tiene un tiempo de residencia en el cual el peróxido realiza el blanqueo oxidativo, luego mediante diluciones a la pasta se puede enviar por bombas centrífugas a otro tanque (tanque máquina), donde se inyecta vapor para mantener las condiciones necesarias de temperatura para que ocurra la reacción de blanqueo reductivo, con la pasta a alta temperatura se introduce el hidrosulfito de sodio en la succión de la bomba que traslada la pasta desde el tanque máquina hasta la torre de hidrosulfito, el tiempo de residencia en la torre de hidrosulfito son de aproximadamente 45 minutos luego por efecto de la gravedad la pasta cae en un tanque de almacenamiento llamado tanque de pasta blanqueada ó flootek , aquí la pasta se encuentra lista para enviarse a la maquina papelera y convertirse en producto semielaborado.

5.1.6.1 Dispersor

El sistema de dispersión 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. Debido a la naturaleza de los contaminantes causantes de problemas de apariencia por ejemplo: ceras, parafinas; puede conseguirse su reducción por cribado y por limpieza centrífuga pero no un total de eliminación.

La pasta que sale del tornillo prensa es transportada por el tornillo sin fin, hasta el centro de las coronas rotantes del dispersor. La pasta entonces se arroja por fuerzas centrífugas contra los dispositivos dentados y se fuerza 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.

El dispersor, comprende los siguientes elementos:

- **Cuerpo cilíndrico**, con conexión para pasta densa a la entrada como en la salida, y boquillas con inyección de vapor. En la zona de dispersión, se soportan de manera fija los dedos de dispersión del estator. Constituyéndose en el estator de dispersión.
- **Eje rotación**, equipado con un tornillo cónico en la zona de alimentación, y con dedos rotatorios en la zona de dispersión, conformando de esta forma el rotor del dispersor
- **Sistema de contra-presión**, Con la compuerta que neumáticamente actúa sobre la pasta a la salida (panel neumático con controlador de presión, local o set-point remoto).

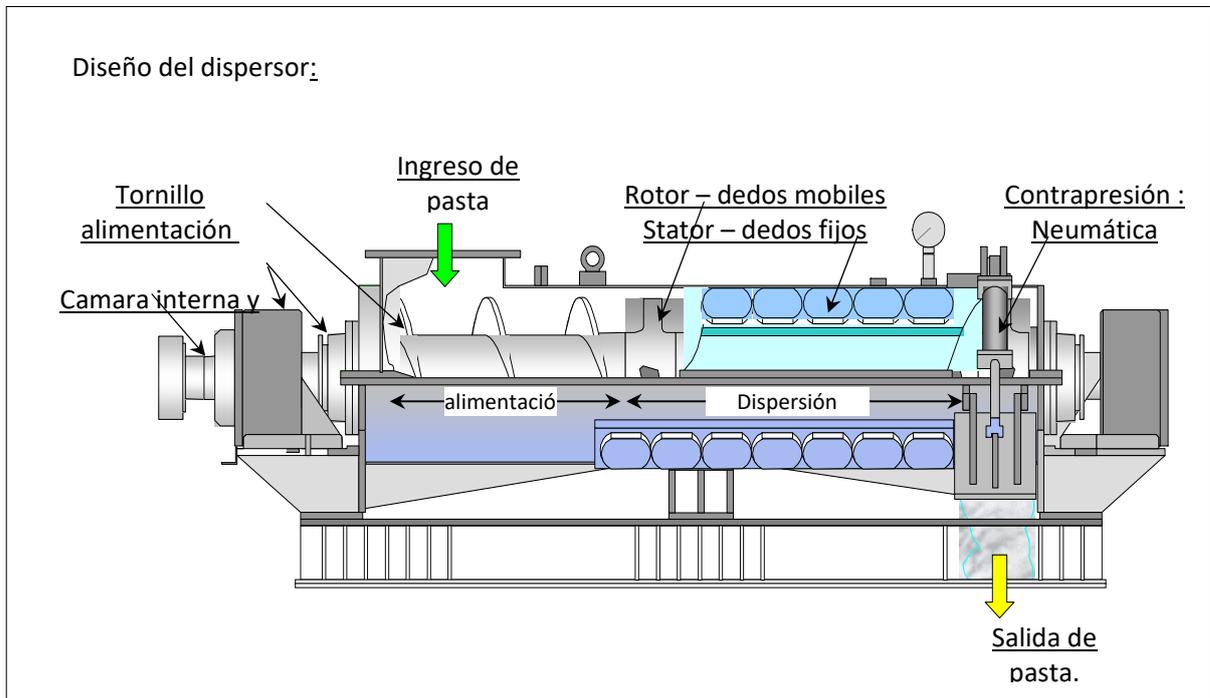


Figura 5.11 Partes del dispersor amasador de la etapa de blanqueo.

Fuente: Manual Operación del Dispersor

- **Blanqueo de la Fibra**

El blanqueado tiene tres funciones: darle brillantez a la fibra, quitar el color a los colorantes y, en algunos casos, remover la lignina. Todo lo anterior sirve para dar una apariencia mejorada a la fibra reciclada.

Una variedad de químicos es utilizada para abrillantar o blanquear la pulpa reciclada. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas. Algunos de los químicos son compuestos oxidativos y algunos son reductivos. Las reacciones de oxidación-reducción son las que decolora los colorantes y la lignina en el papel. Es la lignina lo que causa que la fibra se vuelva amarilla cuando se expone a la luz o a pH alto.

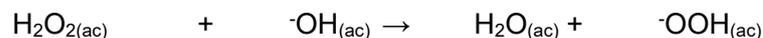
Para obtener alta blancuras en la fibra procesada se realiza un tratamiento químico de la fibra primeramente con Peróxido de Hidrogeno y luego con Hidrosulfito de sodio.

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, asegurando de esta forma que dichos iones no perturbaran la reacción con el peróxido de hidrogeno. En la salida del tornillo prensa se adiciona soda cáustica con el fin de acondicionar la pasta a un pH básico, antes de entrar en contacto con el peróxido de hidrogeno, el cual es adicionado en la entrada del dispersor.

Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂)

El peróxido de hidrógeno es el blanqueo más ampliamente utilizado en el reciclado de papel con la mayoría de sus aplicaciones en las alimentaciones (p.ej reciclado de papel periódico) que contienen madera (contienen lignina). El peróxido de hidrógeno es compatible con el medio ambiente, pues se descompone en oxígeno y agua. También sirve como un desinfectante.

La siguiente reacción muestra el anión perhidroxido siendo liberado por el peróxido bajo condiciones alcalinas:



Para mejores resultados, se opera a un pH alcalino no mayor de 9. Su presencia a estos pH altos asegura que no habrá oscurecimiento alcalino (un proceso amarillento de la lignina causado por condiciones alcalinas).

5.1.7 IDENTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE CADA UNA DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE RECICLAJE.

Teniendo un conocimiento detallado del proceso de reciclaje de papel, se continuó con el diagnóstico en base a la identificación de las condiciones actuales de cada uno de los equipos que conforman las diferentes etapas mencionadas; para desarrollar el objetivo se enfocó la información comenzando por la primera etapa del proceso hasta la última, en donde se consideraron la determinación de variables más influyentes de acuerdo al método “Carterlining” proporcionado por la empresa para con ello definir las condiciones de operación de los equipos.

- **Etapa de pulpeo**

En esta etapa no solo se considero al pulper como el único equipo encargado del proceso de pulpeo sino también 2 equipos depuradores como lo son: el contaminex y el tambor clasificador, que por encontrarse unidos al desintegrador hélico de alta consistencia (HDC) constituyen un sistema que se logra visualizar como un volumen de control con dos entradas: la de carga y la de el agua de dilución, y una salida.

Es importante destacar que no solo se tomaron variables como la consistencia y cenizas (consideradas por el método), sino también se recolectó una información más completa en base a parámetros de control, en los cuales se incluye la estructura de la paca, el tiempo total de pulpeo (que no es más que la suma de los tiempo de carga, desfibrado y descarga), volumen de agua y peso de la carga. Los valores promedios o rangos de las diferentes variables se obtuvieron gracias al monitoreo durante un mes y la práctica de distintos ensayos, en donde se emplearon las ecuaciones 4.1, 4.2, 4.4 y 4.5 para la realización de los diferentes cálculos mostrados en el apéndice A basado en los datos recolectados en el apéndice B; finalmente los resultados arrojados se muestran en la Figura 5.13 y la Tabla 5.11. La información presente sobre la estructura de la paca (Figura 5.12) fue suministrada por el departamento de calidad de la empresa.

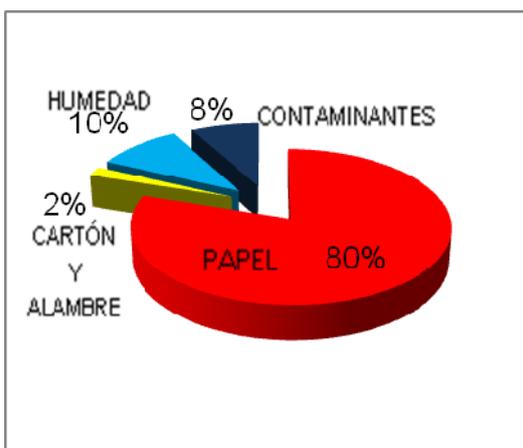


Figura 5.12 Estructura de la Paca.

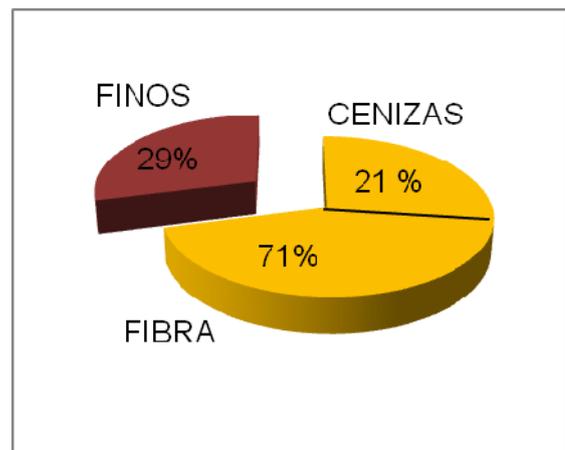


Figura 5.13 Composición del papel.

Tabla 5.11 Condiciones de operación de la etapa de pulpeo

<i>Peso total en Pacas ($M_{paca} \pm 1$) Kg</i>	5500 a 7008
<i>Tiempo de carga ($t_{carga} \pm 0,01$) min</i>	2,50 a 3,00
<i>Volumen de agua en el Pulper ($\bar{V}_{agua} \pm 0,01$) m³</i>	25,55
<i>Tiempo de desfibrado ($\bar{t}_{desfibrado} \pm 0,01$) min</i>	32,50
<i>Consistencia en el Pulper ($\bar{K}_{pulper} \pm 0,2$)%</i>	18,1
<i>Volumen de agua de dilución ($\bar{V}_{dilución} \pm 0,01$)m³</i>	71,24
<i>Tiempo de descarga ($\bar{t}_{descarga} \pm 0,01$) min</i>	20,76
<i>Consistencia en la descarga ($\bar{K}_{descarga} \pm 0,2$)%</i>	3,0 a 8,0

- **Etapa de depuración gruesa**

Como se sabe, la etapa está formada por tres equipos que se estudiaron de manera individual para de esta manera precisar las condiciones de operación en que están trabajando cada equipo individualmente. Se pudo observar la ausencia de equipos de medición o acondicionamiento de los mismos que nos arrojaran los valores confiables de uno de los parámetros a tomar en cuenta como es la presión; además de la falta en disposición de los puntos de toma para recolectar las muestras necesarias y con ello aplicar los ensayos de consistencia y ceniza, por ello antes de efectuar cualquier recolección o toma de datos se procedió a la preparación de todos los instrumentos y puntos que nos permitieran obtener resultados confiables y muestras a que realizarle las distintos ensayos y cálculos respectivamente (Ver apéndice A). Los datos recolectados se muestran en el apéndice B y los resultados de las variables se pueden apreciar en las Tablas 5.12, 5.13 y 5.14:

Tabla 5.12 Condiciones de operación del Separador de pasta espesa (T2 # 3) de la etapa de depuración gruesa

Alimentación	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	3,01
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	21,5
	<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	3,90 a 4,00
	<i>Flujo de Volumétrico (Q)L/min</i>	4100 a 5400
Aceptado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	2,30
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	22,4
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$)bar</i>	2,50
Rechazo	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	0,04
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	76,5
Agua de Lavado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	0,02
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$)bar</i>	3,20
<i>Caída de Presión entre la alimentación y el aceptado ($\Delta P \pm 0,05$)bar</i>		1,00 a 1,80

En vista de que la alimentación de la criba presurizada rotatoria gruesa # 23 (SS-23) es la corriente de aceptado del T2 # 3 se maneja el mismo valor de consistencia y ceniza mostrado en la Tabla 5.12, considerando como única diferencia la presión en la que entra el fluido al equipo a causa de que existe pérdidas no solo por tubería sino también por accesorios en la línea de conexión entre estos dos equipos, que afectan a tal variable.

Sin embargo para la criba presurizada gruesa # 13 (SS-13) no se maneja la misma circunstancia pues la corriente de alimentación es la que proviene del vaciado de la pileta # 3, la cual se alimenta del rechazo de la criba presurizada # 23 y una corriente de agua. Por lo tanto la consistencia y cenizas no son las mismas al haber dilución.

Los resultados obtenidos al sustituir los datos mostrados en las Tablas B.8 a B.12, en las ecuaciones 4.1 y 4.2 se presentan en las Tablas 5.13 y 5.14.

Tabla 5.13 Condiciones de operación de la Criba Presurizada # 23 (SS-23) de la etapa de depuración gruesa

Alimentación	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$)bar</i>	2,90
Aceptado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	2,20
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	19,1
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar</i>	2,85
Rechazo Pesado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	2,81
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	22,5
<i>Caída de Presión entre la alimentación y el aceptado ($\Delta P \pm 0,05$)bar</i>		0,00 a 0,20

Tabla 5.14 Condiciones de operación de la Criba Presurizada # 13 (SS-13) de la etapa de depuración gruesa

Alimentación	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	2,08
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	23,1
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$)bar</i>	3,40
Aceptado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	1,62
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	20,2
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$)bar</i>	2,50
Rechazo	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,02$)%</i>	0,28
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	25,7

- **Etapa de Depuración Fina**

Es importante resaltar que el primer equipo de esta etapa fue considerado como un volumen control con una entrada y dos salidas, en donde las sub-etapas que conforman este equipo no son tomadas a evaluación por ser un sistema en cascada.

Tabla 5.15 Condiciones de operación de los limpiadores de baja densidad

Alimentación	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	1,04
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	22,2
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar</i>	3,00
Aceptado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	0,84
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	18,4
Rechazo	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	1,07
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	72,1

Tabla 5.16 Condiciones de operación de la criba presurizada # 1 (FS-01)

Alimentación	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	0,87
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	15,4
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar</i>	3,00
Aceptado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	0,88
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	15,0
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar</i>	2,90
Rechazo	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	1,42
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	10,2

Tabla 5.17 Condiciones de operación de la criba presurizada # 2 (FS-02)

Alimentación	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	1,11
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	11,4
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar</i>	2,20
Aceptado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	0,56
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	28,4
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar</i>	1,55
Rechazo	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	1,28
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	9,4

Tabla 5.18 Condiciones de operación de la criba presurizada # 3 (FS-03)

Alimentación	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	0,80
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	12,3
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar</i>	1,90
Aceptado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	0,32
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	12,4
	<i>Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar</i>	1,45
Rechazo	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>	0,07
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	9,0

Tabla 5.19 Condiciones de operación de los limpiadores reversos (LT3)

Alimentación	Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %	0,70
	Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %	25,4
	Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar	2,20
Aceptado 1era. etapa	Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %	1,03
	Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %	12,8
	Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar	1,00
Rechazo 1era. etapa	Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %	0,22
	Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %	64,7
<i>Diferencia de presión en la 1 era. Etapa ($\Delta P \pm 0,05$)bar</i>		1,15
<i>Flujo volumétrico de alimentación (L/min)</i>		9009
Aceptado 2 da. etapa	Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %	0,35
	Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %	48,0
	Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar	3,70
Rechazo 2 da. etapa	Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %	0,18
	Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %	55,6
	Presión ($\bar{P} \pm 0,05$) bar	1,70
<i>Diferencia de presión en la 2 era. Etapa ($\Delta P \pm 0,05$) bar</i>		2,00

- **Etapa de lavado**

A continuación se presentan las condiciones de los dos equipos que conforman esta etapa, utilizando las mismas ecuaciones empleadas en el resto de las tablas.

Tabla 5.20 Condiciones de operación del lavador N° 3

Alimentación	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,1$) %</i>	1,1
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	23,9
Aceptado	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,1$) %</i>	10,3
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	6,2
Rechazo	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,1$) %</i>	0,4
	<i>Ceniza ($\bar{C} \pm 0,3$) %</i>	54,9

Tabla 5.21 Condiciones de operación del Tornillo Prensa

Aceptado	Rechazo
<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 6$) %</i>	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 0,01$) %</i>
37	0,39

- **Etapa de Blanqueo**

Entre los equipos que conforman esta etapa, el tanque máquina, la torre de hidrosulfito y peróxido no se le realizaron ningún tipo de ensayo debido a que estos son tanques de almacenamiento que se encargan de darle residencia a la pasta para que la reacción oxidativa y reductiva se efectúe completamente; originando la blancura necesaria a la pasta. Los equipos como el tornillo vertical y horizontal no se le realizaron ningún ensayo debido a que estos son transportadores de pasta y no alteran las

condiciones ni las características de la pasta. Mientras que al dispersor, que es el otro equipo que conforma esta etapa, si se le realizó la respectiva evaluación pero no se consideraron las cenizas ya que no es una variable que aporta relevancia en el blanqueo por encontrarse en un bajo porcentaje a la entrada de la pasta. En base a esto se arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 5.22 Condiciones de operación del dispersor

Entrada	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 6$) %</i>	37
Salida	<i>Consistencia ($\bar{K} \pm 6$) %</i>	23
<i>Temperatura ($\bar{T} \pm 0,05$) °C</i>		60,50
<i>pH ($\bar{pH} \pm 0,05$) adim</i>		9,75

5.2 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS MÁS INCIDENTES QUE ORIGINAN LA DESVIACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EXISTENTES EN EL PROCESO.

Una vez dilucidadas las condiciones en que trabajan actualmente cada uno de los equipos que representan el proceso de destintado, se requiere conocer si estas se encontraban dentro de los estándares recomendados ya sea por la técnica de Best Practices Manufacture (BPM) y/o manuales de diseño.

La connotación de las condiciones de operación más apropiadas no solo se limita a las planteadas en los manuales sino también las recomendadas por las BPM, sin embargo la primera está dirigida al desempeño del equipo basado en el cumplimiento de sus parámetros de diseño para obtener una mejor eficiencia y las Best Practices solo se enfocan en el mejoramiento del proceso por lo que su acatamiento se realiza siempre y cuando los equipos estén diseñados para las condiciones expuestas en esta técnica. Por tal razón se procedió primeramente a presentar las condiciones expuesta en los manuales en base a las que se manejan en la planta, para permitir visualizar las diferencias entre ambos aspectos, como se muestra a continuación:

Tabla 5.23 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la planta de la etapa de pulpeo

Condiciones recomendadas	Situación actual de la planta
El tiempo de desfibrado debe ser entre 20 a 35 min para cualquier tipo de fibra.	El tiempo de desfibrado es de 20 a 45 min para cualquier tipo de fibra.
La consistencia en el pulper debe ser mayor del 12 % pero menor a 15 %.	La consistencia es mayor a 12 pero menor de 21 %.
La consistencia de descarga debe ser de aproximadamente de 6 %	Consistencia entre 3 a 8 %
El nivel de la pileta 1 debe ubicarse en mínimo 50 % de su capacidad para iniciar la descarga del pulper	Nivel de la pileta mínimo 30 %
La capacidad del pulper no se debe sobrepasar de 24 m ³	El volumen ocupado en el pulper es de 27 a 40 m ³

Tabla 5.24 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la planta en el equipo de Separación de pasta espesa

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Presión de operación máxima 4 bar	Presión de entrada máx. 4 bar
Consistencia de entrada máxima 4,5 %	Consistencia de entrada máx. 4,1 %
Consistencia de agua de lavado y de llenado máximo 0,01 %	Consistencia del agua máx. 0,03 %
Diferencia de presión entre la entrada y la pasta aceptada de 1 a 1,8 %	Se maneja el mismo rango
Presión de pasta aceptada mínima 0,4 %	Presión pasta aceptada mín. 2,1 %
Presión del agua de lavado y de llenado con respecto a la presión de la pasta aceptada aproximadamente 1 bar.	Sobrepresión de 0,6 a 1,4 bar

Tabla 5.25 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada # 23 (SS-23)

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Consistencia de entrada mínima 2,8 %.	Mínima 1,02 %
Diferencia de presión hasta 0,3 bar.	Diferencia hasta 0,20 bar
Presión de operación admisible 4 bar.	Presión hasta 3,50 bar
Presión de salida mínima 1,2 bar.	Presión mínima 2,8 bar
Tasa de rechazo de (15 a 20) % de la alimentación.	Tasa promedio 18 %

Tabla 5.26 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada # 13 (SS-13)

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Consistencia de la pasta de (3 – 3,5) %	Consistencia máxima de 2,97 %
Periodo de lavado de (0,5 – 1) min	Tiempo empleado 1,00 min
Periodo de producción de (1 - 4)min	Tiempo empleado 4,00 min
Periodo de descarga (0,5 – 1) min	Tiempo empleado 0,10 min

Tabla 5.27 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en el equipo de depuración de baja consistencia

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Consistencia entrada máxima 2 %	Consistencia máxima 1,3 %
Consistencia optima 1 etapa 0,6 % y última etapa 0,4%.	Consistencia de entrada mínima a la primera etapa 0,8 % y la última etapa 0,4 %.

Tabla 5.28 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada N° 1 de depuración fina

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Consistencia de entrada máxima 1,5 %	Consistencia de entrada máxima 1,27 %
Presión máxima de entrada 4 bar	Presión de entrada 3,00 bar
Caída de presión (0,6 – 1,4) bar	Diferencia de presión 0,10 bar

Tabla 5.29 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada N° 2 de depuración fina

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Consistencia de entrada 0,8 máxima 1,1 %	Consistencia de entrada de 0,90 máxima 1,21 %
Presión máxima de entrada 4 bar	Presión de entrada de (2,10 a 2,30) %
Caída de presión (0,6 – 1,4) bar	Diferencia de presión 0,10 bar

Tabla 5.30 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en la criba presurizada N° 3 de depuración fina

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Consistencia de entrada 0,5 máxima 1 %	Consistencia 0,67 máxima 0,87 %
Presión máxima de entrada 4 bar	Presión de entrada máxima 2,15 %
Caída de presión (0,6 – 1,4) bar	Diferencia de presión máxima 0,6 bar
Presión de salida 1,2 bar mínimo	Presión mínima 1,00 bar
Tiempo de producción y lavado de (1 - 3) min., y Periodo de rechazo (12 – 18) seg.	Tiempo de producción y lavado de 2 min., y Periodo de rechazo 15 seg. aproximadamente.

Tabla 5.31 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en los limpiadores cónicos inversos (LT3) de la depuración fina

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Consistencia de entrada menor a 1 %.	Consistencia máxima 0,84 %.
Presión máxima de entrada 4 bar.	Menor a 2,10 bar.
Diferencia de presión de (1,2 a 1,7) bar	Caída de presión máx. primera etapa 1,10 bar y segunda etapa 2,10 bar.
Presión mínima de aceptado 0,8 bar.	Primera etapa mín. 0,80 bar y segunda etapa 1,60 bar.

Tabla 5.32 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en el lavador

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Consistencia de entrada de (0,85 – 0,95) %	Consistencia de (1,0 – 1,2)%
Consistencia de salida (8 – 14)%	Consistencia de (8,8 -11,7)%
Presión a la entrada del lavador (0,5 -1) bar	Presión aprox. 1,00 bar
Presión de tubo pulverizador o ducha fija 5 bar	Presión aprox. 5,00 bar
Presión de tubo pulverizador o ducha rotatoria máximo 20 bar	Máximo 20,00 bar

Tabla 5.33 Comparación entre las condiciones de diseño y las existentes en el dispersor

Condiciones recomendadas	Situación actual en la planta
Variación entre consistencia de entrada de 2 %	Diferencia en un máximo de 14 %
Temperatura no superior a 80 °C	Temperatura de 60,5 °C
pH de 10,5	pH de (9,60 a 9,85)

Una vez observado las desviaciones existentes entre las condiciones de diseño de los equipos y las manejadas por estos dentro del proceso, se busco conocer la herramienta de Best Practices en cada una de las etapas, ya que como se mencionó anteriormente, esta técnica se utiliza para que todas las empresas que conforman la Corporación de Kimberly & Clark tengan una referencia en cuanto a los parámetros o condiciones que se deberían manejar para obtener un mejor desempeño del proceso; por lo que se determinó la aplicabilidad de los estándares proporcionados por la herramienta dentro de las condiciones que definen el diseño de los equipos; para ello conocer cuales condiciones de operación deben considerarse apropiadas por medio de esta técnica.

En este sentido, a medida que se establezca como “aplicable” cada una de las herramientas se estará verificando el cumplimiento de la misma dentro de los parámetros de diseño de los equipos, y además se estará definiendo como adecuada la condición de operación recomendada por la técnica para el mejoramiento de la etapa y a su vez de todo el proceso. La manera en que se presenta los resultados obtenidos es igual a la expuesta en los objetivos anteriores, separándola en las cuatros áreas o etapas de estudio, como se visualiza en las Tablas 5.34, 5.35, 5.36 y 5.37:

Tabla 5.34 Cumplimiento de las Best Practices del área del Pulper en la planta

Mejores Prácticas de Manufactura	Cumplimiento en la Planta	
La consistencia de pulper se debe mantener entre 16 % y 18 %.	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica
La variación de la consistencia en el pulpeo debe ser mínima.	<input checked="" type="radio"/> Aplica	<input type="radio"/> No aplica
El tiempo de desfibrado debe ser de 20 a 35 min.	<input checked="" type="radio"/> Aplica	<input type="radio"/> No aplica
La temperatura de pulpeo debe ser menor a 40 °C.	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica
El consumo de energía durante el tiempo de pulpeo debe estar entre 20 – 30 Kw/h.	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica

Tabla 5.35 Cumplimiento de las Best Practices del área de Depuración Gruesa en la planta

Mejores Prácticas de Manufactura	Cumplimiento en la Planta	
La consistencia de alimentación a las cestas de limpieza gruesa debe ser menor a 3,5 %	<input checked="" type="radio"/> Aplica	<input type="radio"/> No aplica
El tamaño de la ranura/agujero debe ser de 0,35 mm o 1,3 mm.	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica
El rango de rechazo de la criba primaria debe ser alrededor de (12 -15) %	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica

Tabla 5.36 Cumplimiento de las Best Practices del área de Depuración Fina en la planta

Mejores Prácticas de Manufactura	Cumplimiento en la Planta	
La consistencia de alimentación de la criba primaria debe estar entre 0,5 % y 2 %.	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica
El tamaño de la ranura de la criba primaria debe estar entre 0,10 y 0,15 mm.	<input checked="" type="radio"/> Aplica	<input type="radio"/> No aplica
La temperatura de las cribas debe ser 45 °C.	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica

Tabla 5.37 Cumplimiento de las Best Practices del área de Lavado en la planta

Mejores Prácticas de Manufactura	Cumplimiento en la Planta	
La tela o malla usada debe ser multicapas.	<input checked="" type="radio"/> Aplica	<input type="radio"/> No aplica
El agua de las regaderas debe ser de 200 ppm.	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica
La presión del inyector de la regadera debe ser de 20 bar con inyectores de 1,2 mm.	<input type="radio"/> Aplica	<input checked="" type="radio"/> No aplica
La tubería de la regadera de oscilación debe estar de 10 a 15 cm alejada de la tela.	<input checked="" type="radio"/> Aplica	<input type="radio"/> No aplica
La consistencia de alimentación debe ser baja.	<input checked="" type="radio"/> Aplica	<input type="radio"/> No aplica

Para la etapa de blanqueo no se desarrolla esta herramienta, debido a que las variables que se estudian en esta área son las consistencias de entrada y salida, la temperatura y el pH del dispersor, ya que es el lugar en donde se pone en contacto los reactivos para dar pie a la reacción de oxidación. Como estas variables dependen de las características que requieran los químicos, no es posible estandarizar condiciones a nivel corporativo ya que depende de cada proveedor.

5.2.1 DESARROLLO DEL DIAGRAMA CAUSA – EFECTO

Mediante una tormenta de ideas, consultas realizadas al personal calificado en el área y una revisión sobre los resultados que representan las condiciones actuales del proceso y las recomendadas para el mismo, mostradas anteriormente en los puntos 5.1.7 y 5.2 de esta sección; se identificaron las causas que pueden estar originando de una u otra manera la desviación de las variables como son: tiempo de desfibrado, capacidad del pulper, temperatura, consistencias y presiones en los diferentes equipos que conforman las distintas etapas, y que a su vez afectan el desempeño del proceso de reciclaje.

Cada una de estas causas elucidadas se organizaron bajo la estructura de 5M: método, materia prima, maquinaria, medición y mano de obra, y no bajo la estructura 6M ya que se descarto el medio ambiente como una causa porque no es posible ejercer una acción correctiva sobre el clima además de no afectar el funcionamiento de los equipos.

Con ello se logro la construcción del diagrama de Ishikawa para posteriormente seleccionar del mismo, aquellas variables o causas manipulables que sean posible controlar y finalmente obtener la variable más influyente en el desempeño del proceso mediante la realización de la matriz causa – efecto.

A continuación se presenta por etapa los diagramas de Ishikawa y una breve descripción de cada una de las categorías que constituyen las posibles causas de desviaciones en las condiciones de operación de la planta de reciclado de papel de la empresa Kimberly & Clark Venezuela.

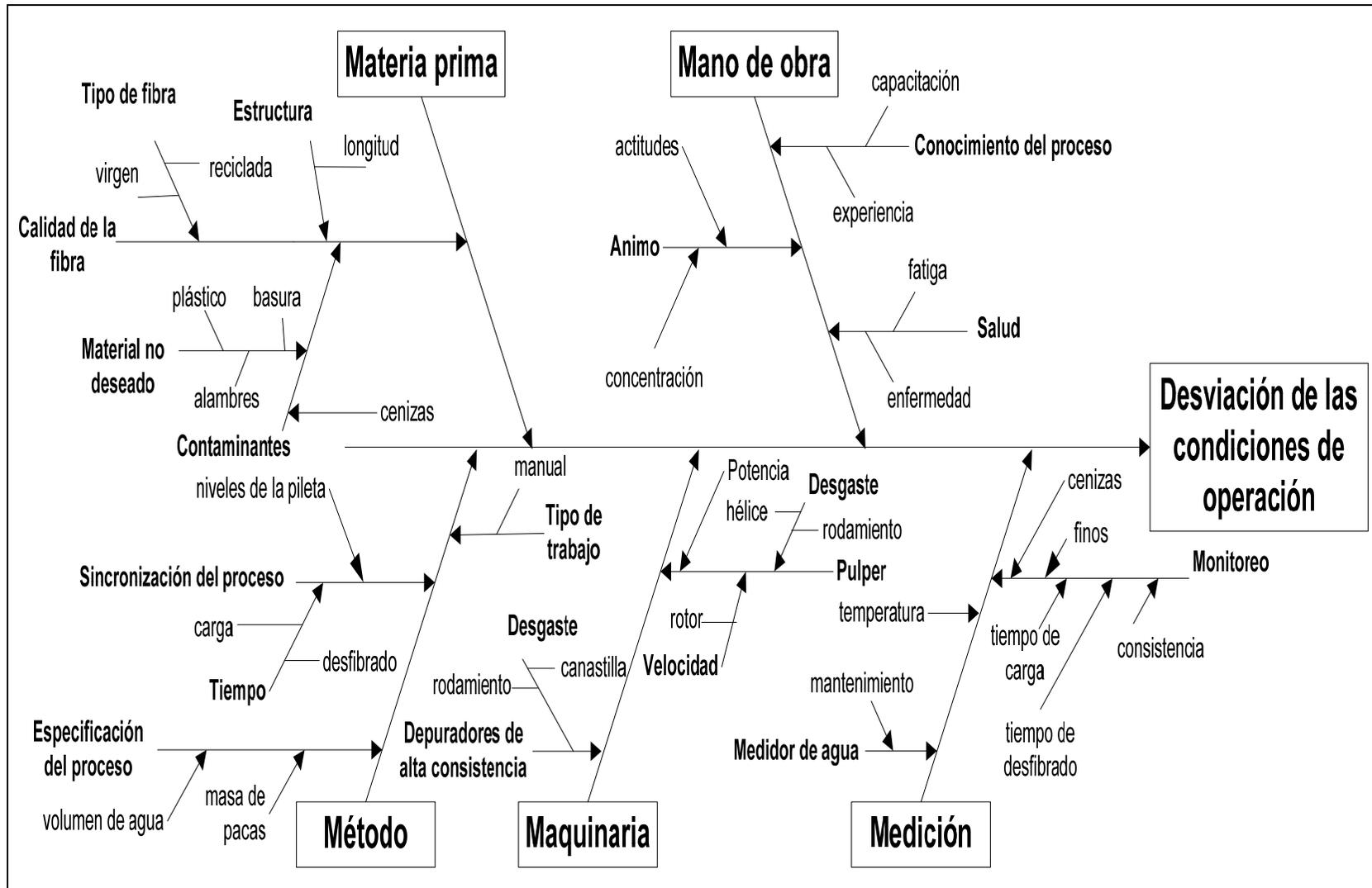


Figura 5.14 Diagrama causa – efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de pulpeo.

5.2.1.1 Etapa de pulpeo

- **Materia prima**

La materia prima es uno de los factores más importante de todo el proceso de reciclaje de papel, la materia prima se ve afectada directamente por la calidad de la fibra (fibra virgen o reciclada, larga o corta) que va a depender del tipo de producto que se esté elaborando en ese momento.

La materia prima también se ve afectada en gran proporción por la cantidad de contaminantes que tengan presentes, sobre todo en la fibra secundaria (material reciclado) ya que esta es un mezcla de fibras, que pueden incluir materiales con mucha tinta que producen baja blancura, al igual que pegas, plásticos, grapas y basura contenida en las pacas, estos contaminantes ocasionan taponamientos, obstrucciones y desgaste en los equipos de la planta de destintado o reciclado, alterando sus condiciones de operación.

- **Mano de obra**

En la mano de obra aparecen muchos factores que pueden afectar el buen desenvolvimiento de la operación de los equipos y en general del proceso, por lo que es necesario que la mano de obra este capacitada, tener un buen ambiente de trabajo que influya en su ánimo y actitud hacia el trabajo, así como tener conocimiento del proceso, y tener chequeos de salud de los operadores, ya que de lo contrario puede afectar en el desarrollo de sus labores, provocando un mal desempeño de los equipos y fallas en el proceso.

- **Método**

El método de trabajo es manual, se adapta a la actualidad del proceso, y no existe estandarización del mismo, en los cuales los operadores se apoyen para seguir una misma dirección o procedimiento, y de esta manera evitar las fluctuaciones en las especificaciones del proceso, como son:

Un tiempo de desfibrado mayor por falta de sincronización entre el vaciado de la

pileta 1 a un 50 % de su capacidad y el intervalo de carga y desfibrado de la fibra.

La sobrecarga del pulper sumado a la cantidad de agua a dosificar para mantener una consistencia específica arroja un mayor volumen de pasta en el pulper con respecto a la recomendada.

Y finalmente el suministro de agua para formar la pasta y diluirla, los cuales resultan aplicados de acuerdo al juicio o percepción del operador.

- **Maquinaria**

La influencia del buen o mal funcionamiento de las partes o materiales que conforman al proceso pueden causar la desviación de ciertas condiciones de operación.

En la figura 5.14 se puede observar que el desgaste del sistema de rodamiento, fallas en la potencia suministrada y desgaste de la hélice por falta de mantenimiento preventivo y correctivo puede originar la variación del tiempo de desfibrado

Dentro de las maquinarias se toman en cuenta también lo relacionado al mantenimiento del contaminex, tambor clasificador y las válvulas dispuestas en los tramos de las tuberías ya que malas condiciones de estos pueden proporcionar la obstrucción o taponamiento del sistema, afectando el tiempo de desfibrado, volumen a dosificar, tiempo de descarga y consistencia al final del proceso de pulpeo, los cuales son las variables que definen en parte las condiciones de operación de esta etapa.

Es recomendable planificar en las paradas de mantenimiento general, el chequeo exhaustivos de los equipos de depuración de alta consistencia (contaminex y tambor clasificador), para observar el desgaste de las canastillas, y sistemas de rodamientos así como el grado de limpieza, con el fin de adelantarse a posibles fallas que se puedan encontrar, y evitar a toda costa detener la producción por alguna falla que presenten estos equipos.

- **Medición**

La falta de un personal fijo que facilite el monitoreo y verificación de los parámetros

de operación recomendados para el sistema, siguiendo un mismo procedimiento para la determinación de la consistencia, cenizas y finos, puede ocasionar la inseguridad de los resultados y la acción para controlar estas variables.

De la misma manera la falta de mantenimiento de los medidores de caudal y la no disposición de instrumentos de temperatura y tiempo, no permiten en igual sentido el control de estas variables.

En la Figura 5.14 se representan estos 5 factores que afectan las condiciones de operación de los equipos de esta etapa.

5.2.1.2 Etapa de depuración gruesa

- **Materia prima**

En esta etapa la materia prima es la pasta formada en el pulper, que ha pasado por los equipos de depuración de alta densidad, y que ha sido diluida en la pileta uno (1). Antes de llegar a este punto a la pasta se le han eliminado contaminantes grandes como piedras, trozos de metal y plásticos, pero todavía se conservan contaminantes de menor tamaño y peso como lo son pequeñas piedras, grapas y alambres los cuales pueden influir en fallas de los equipos de esta etapa, en cuanto al taponamiento, desgaste y obstrucciones de las partes que conforman el equipo, causando la desviación de las condiciones de operación y a su vez el desempeño de mismo.

- **Método**

A partir de este punto el proceso se considera en cierto modo manual por la manipulación de válvulas por parte de los operadores para controlar variables como niveles, presiones, flujos y consistencias durante el turno, tomando acciones que pueden resultar en ajuste de variables a un porcentaje que puede ocasionar el control de una variable y la desviación de otras.

- **Mano de obra**

Esta se ve afectada ante la acción por parte del operador de la regulación de las

aberturas de válvulas a un punto que puede afectar algunas variables del proceso para el mejoramiento de otras.

El conocimiento de la etapa o del sistema de control en cuanto a los ciclos del T2 # 3, SS-13 y SS-23 resulta un factor que puede originar desviaciones de las condiciones a causa de obstrucciones, taponamientos y desgaste de las partes que conforman los equipos.

Además la falta de atención por razones de ánimo o salud en el proceso causa que no se tomen las acciones en el momento indicado, produciendo la desviación de las condiciones operacionales y a su vez en algunos casos el taponamiento de los equipos que pueden transformarse en pérdida de fibra o pasta.

- **Maquinaria**

Se ve afectada por el estado o falla que se encuentren los equipos que conforman esta etapa debido al desgaste de las cuchillas de las válvulas, las canastillas y la falta de inspección continua, ocasionando la desviación de las condiciones de desviación y a su vez la pérdida de pasta en la producción.

- **Medición**

La empresa, no cuenta con medidor de consistencia al inicio de esta etapa que permita controlar la consistencia que pueden producir la desviación no solamente de esta variable sino también de condiciones de presión y caudal. Además de la ausencia de un sistema cerrado en el T2 # 3 que permita mantener y controlar la variación de presión de agua según la recomendada en el mismo.

Adicionalmente la falta de personal que se encargue de monitorear diariamente las condiciones para tomar acciones en el proceso, en cuanto al control de las variables que caracteriza a cada uno de los equipos que constituyen esta etapa.

En la Figura 5.15 se representan estos 5 factores que afectan las condiciones de operación de los equipos de esta etapa.

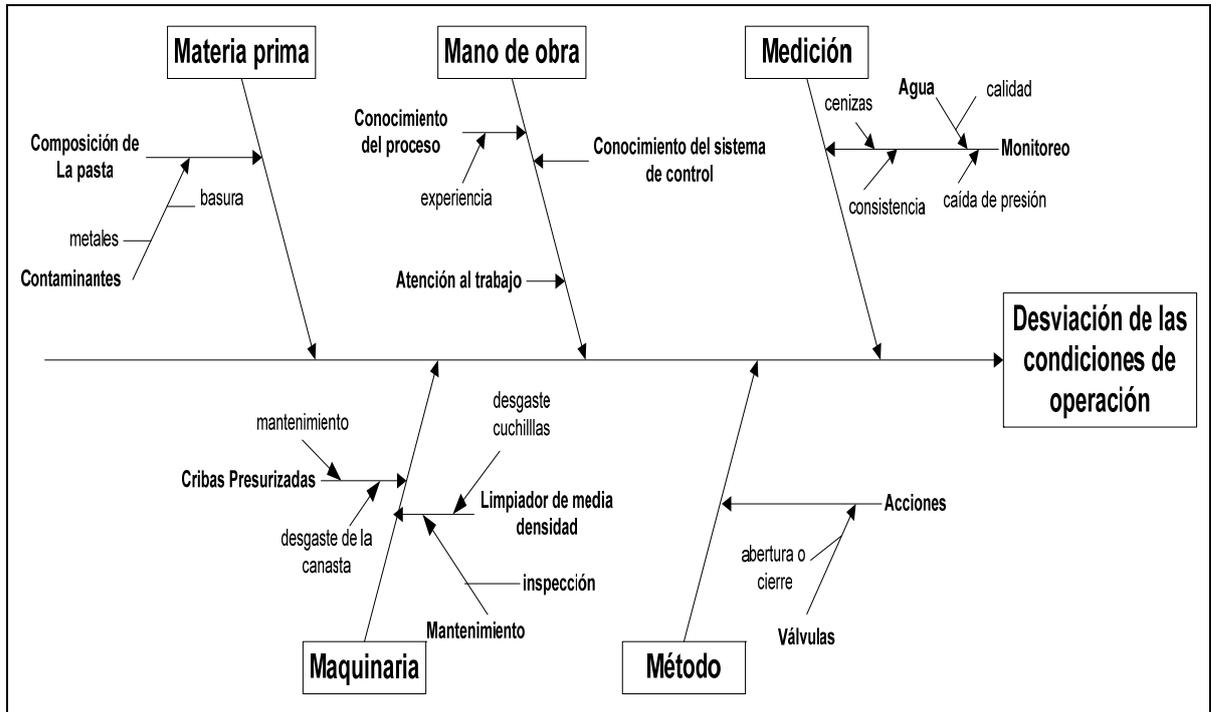


figura 5.15 Diagrama causa – efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de depuración gruesa.

5.2.1.3 Etapa depuración fina

- **Materia prima**

La materia prima que alimenta esta etapa es la pasta proveniente de la depuración gruesa, a la cual se le ha retirado contaminantes pesados, y en esta etapa los contaminantes presentes son materiales abrasivos como arena, puntos de pega etc., los cuales si hay variaciones en la consistencia puede ocasionar taponamientos de los equipos y desviaciones en las condiciones de operación.

- **Mano de obra**

En la mano de obra aparecen muchos factores que pueden afectar el buen desarrollo de la operación de los equipos y en general del proceso, por lo que es necesario que la mano de obra este capacitada, tener un buen ambiente de trabajo y salud, que influya en su ánimo y actitud hacia el trabajo, así como tener conocimiento del proceso, ya que

de lo contrario puede afectar en el desarrollo de sus labores, provocando un mal desempeño de los equipos y fallas en el proceso.

- **Método**

Las condiciones de operación son afectadas por la manipulación constante de las válvulas que intervienen en esta etapa, provocando cambios de presión y flujo ocasionando fluctuaciones en las condiciones de los equipos.

- **Maquinaria**

Los factores que afectan las condiciones de operación son, el desgaste de las paredes de los conos y de las canastillas debido a los contaminantes abrasivos.

- **Medición**

Presenta las mismas razones que de la etapa anterior con la excepción del sistema cerrado para la presión del T2 # 3.

En la Figura 5.16 se representan el diagrama de esta etapa:

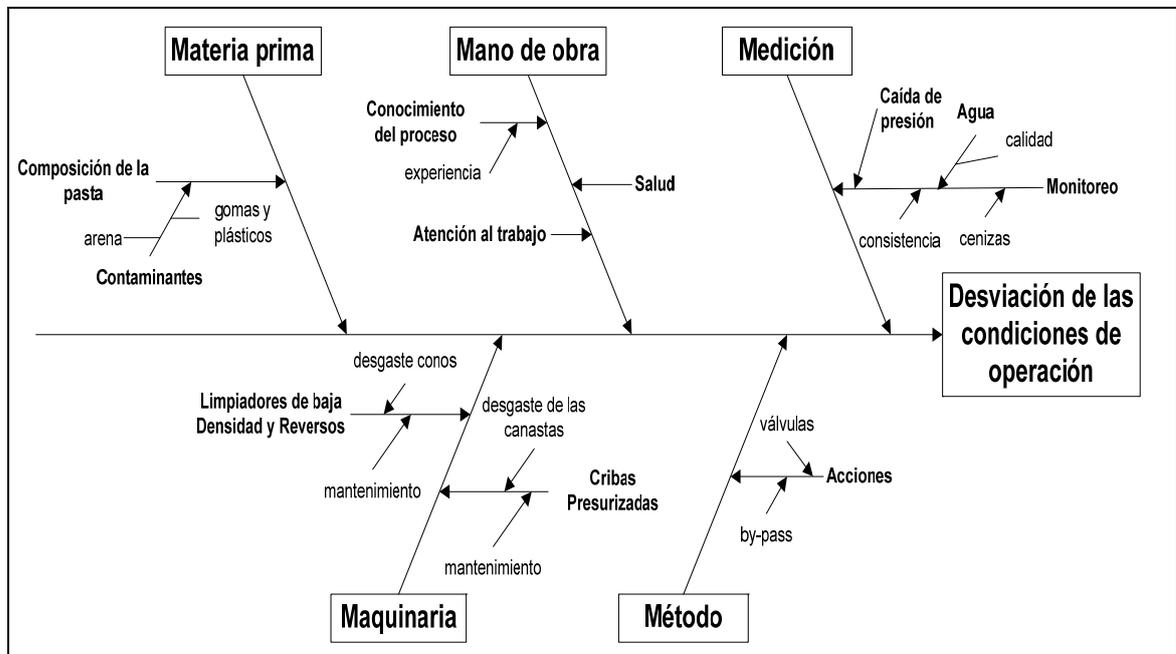


Figura 5.16 Diagrama causa – efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de depuración fina.

5.2.1.4 Etapa de lavado

- **Materia prima**

La materia prima que alimenta esta etapa es la pasta proveniente de la depuración fina, entra al lavador con gran cantidad de pegas (stickies) que causan que la malla del lavador se vaya tapando y perdiendo su eficiencia por efecto de la capacidad de retención y eliminación de las cenizas.

- **Mano de obra**

De igual manera la mano de obra se ve afectada por las mismas razones que en la etapa anterior, capacitación, salud y atención al trabajo.

- **Método**

Las condiciones de operación son afectadas por la manipulación constante de las válvulas que intervienen en esta etapa, provocando cambios de presión y flujo ocasionando fluctuaciones en las condiciones de los equipos.

- **Maquinaria**

Los factores que afectan las condiciones de operación son el desgaste y número de capas de la malla, y el direccionamiento de ambas duchas (la rotativa y la fija) del equipo ya que pueden originar una menor retención de la fibra en la malla y por lo tanto la desviación de las condiciones de operación.

- **Medición**

Aquí se refleja el efecto que pueden causar el estado de los equipos y la manera o modo en que se realiza el monitoreo de la retención y consistencia de rechazo del lavador por parte de los técnicos y operadores de la planta de reciclado, sobre la desviación de las condiciones de operación ya que no se sigue un mismo procedimiento para determinar tales variables.

Se representan estos 5 factores que afectan las condiciones de operación d e

los equipos de esta etapa en la Figura 5.17.

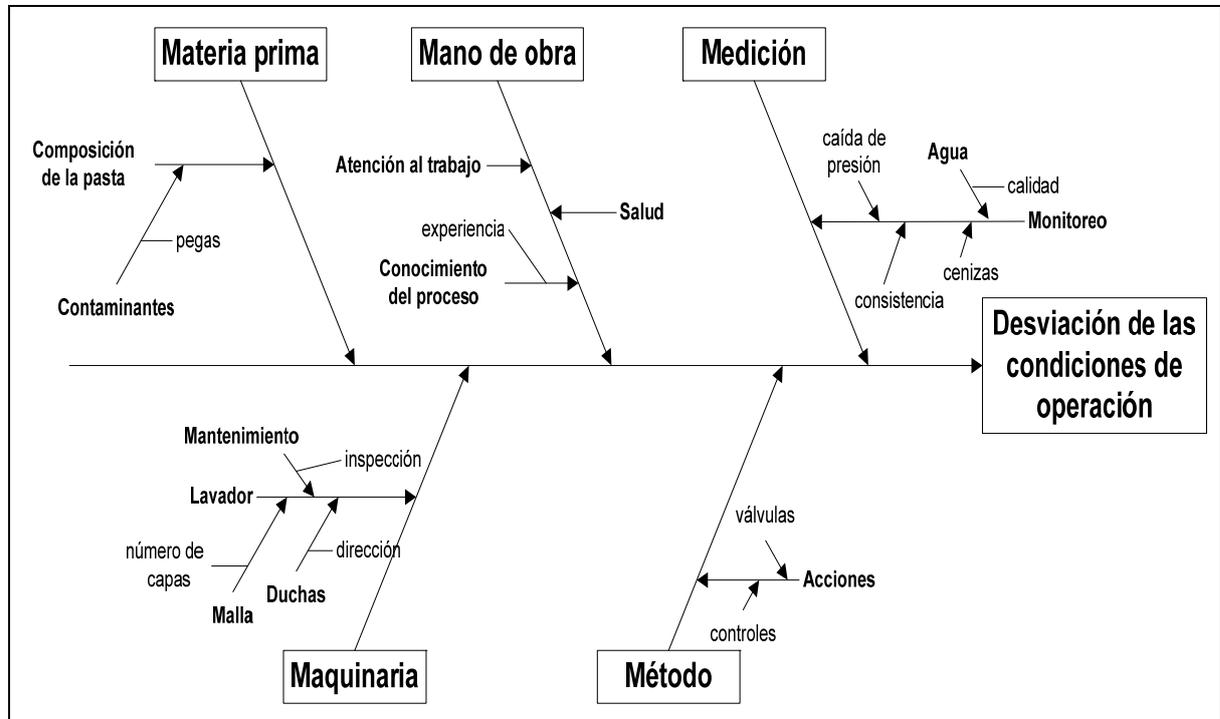


Figura 5.17 Diagrama causa – efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa de lavado.

5.2.1.5 Etapa de blanqueo

- **Materia prima**

La materia prima que alimenta esta etapa es la pasta proveniente del lavado, entra al dispersor con puntos de tinta que causan dificultad en el blanqueo de la pasa ya que algunos de los puntos no son eliminados por el peróxido ni el hidrosulfito de sodio provocando disminución en la ganancia de blancura.

- **Mano de obra**

De igual manera la mano de obra se ve afectada por las mismas razones que en la etapa anterior, capacitación, ánimo, salud y atención al trabajo.

- **Método**

Las condiciones de operación son afectadas por la manipulación constante de las válvulas que intervienen en esta etapa, provocando cambios de temperatura cuando se manipulan las válvulas de las tuberías de vapor proveniente de la sala de calderas de la planta, afectando directamente las condiciones de blanqueo.

- **Maquinaria**

Los factores que afectan las condiciones de operación son los desgastes de las válvulas que origina un descontrol del paso de vapor, además de la no disposición de trampas de vapor que permitan recolectar el condensado; todo ello afecta a las variables de funcionamiento del equipo y la presión del dispersor.

- **Medición**

En la medición se reflejan las características de la pasta y las condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción de blanqueo de la pasta, como lo son el pH de la pasta, la temperatura de la pasta, la dosificación de los químicos, la consistencia de la pasta, y el tiempo de residencia en las torres de blanqueo, las cuales si no son favorables perjudicaría de manera importante el desarrollo de la reacción y por ende los resultados del proceso. El diagrama de esta etapa se muestra en la Figura 5.18:

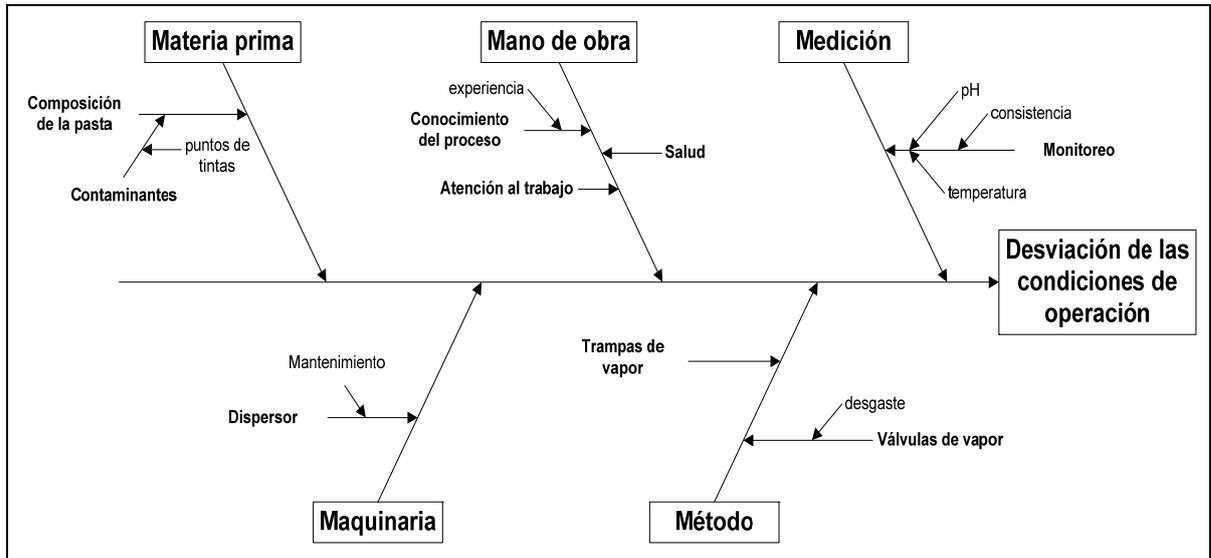


Figura 5.18 Diagrama causa – efecto de la desviación de las condiciones de operación en la etapa blanqueo.

5.2.2 SELECCIÓN DE LAS CAUSAS MÁS INFLUYENTES

El factor que afectan directamente El desempeño del proceso se ve afectado directamente por las desviaciones de las condiciones de operación de los equipos y en base a los diagramas presentados anteriormente (5.14, 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18) se determino que este factor incide en el proceso principalmente por razones del método o manera en cómo se realizan las operaciones.

Sin embargo la desviación que pueda presentar cada una de las variables manipulables que definen las condiciones de operación no ejercen el mismo efecto sobre el desempeño del proceso en cuanto a la merma (E1) y calidad del producto final (pasta blanqueada y depurada) del reciclado (E2), los cuales son la problemática que día a día la empresa trata de controlar ya que tales efectos atentan con la productividad de la empresa lo que conlleva a pérdidas monetarias, por lo que se realizó un análisis en base a consultas realizadas y los resultados obtenidos en el punto 5.1, que permitieron levantar una matriz causa – efecto mostrada en la Tabla 5.38, que permitiera seleccionar la(s) variable(s) o causa(s) más influyente.

Ya asignados los valores, se procedió a la construcción de la matriz que se muestra en la Tabla 5.38:

Tabla 5.38. Matriz de selección de las variables ó causas más influyentes del proceso de reciclaje de papel

Causas o Variables	Efectos		Total $\sum(Pt \times \%E)_i$
	E1 (40 %)	E2 (60 %)	
<i>Consistencia</i>	3	3	300
<i>Caudal de agua</i>	2	2	200
<i>Tiempo</i>	0	1	60
<i>Temperatura</i>	0	2	120
<i>Presión</i>	3	3	300
<i>Cenizas</i>	0	1	60

Como se visualiza en la Tabla 5.38, la consistencia y las presiones son las variables que afectan principalmente en el desempeño del proceso ya sea desde el punto de vista de la pérdida de fibra o calidad de las pasta blanqueada, por lo que la desviación de estas condiciones particularmente originan un mayor impacto o influencia que el resto de las condiciones operacionales (caudal de agua, tiempo, temperatura y cenizas).

La consistencia aparece como un factor común en todas las etapas del proceso, teniendo en cuenta que si existe fluctuaciones grandes en esta variable causan problemas de funcionamiento en todos los equipos y en general en todo proceso, cuando la consistencia es muy baja la producción disminuye, en el caso del equipo encargado de exprimir la pasta tendrán problemas de funcionamiento al trabajar con demandas constantes de amperaje en pastas que no la requieren, además del hecho que al transportar la pasta por medio del tornillo horizontal superior al dispersor la gran cantidad de agua asociada a la fibra ocasiona desbordamientos del mismo contribuyendo a la pérdida de fibra. de los tanques de recolección de dicha agua causando el colapso de la red de desagüe de la planta de destintado y por ende el

posible daño de motores al entrar en contacto con dicha agua que no está canalizada por las redes de desagües si no que se encuentran inundando la planta.

Al operar con una consistencia alta ocasionará fallas en todos los equipos, debido a posibles obstrucciones y taponamientos en la mayoría de estos, que pueden llevar detener el proceso de reciclado por el desborde de pasta en los tanques de almacenamiento anterior a el equipo que está tapado, perdiéndose grandes cantidades de pasta que incrementan la merma (pérdida de pasta) de la planta, causando un desaprovechamiento importante de dinero, además de influir en otros indicadores de producción como son los retrasos y paradas no planificadas de planta. Además afecta la remoción de partículas pequeñas en el caso de los limpiadores centrífugos y aumenta la cantidad de fibra en los rechazos de las cribas.

Las caídas de presión en los equipos dependen de la consistencia con que se esté operando, por lo que se encuentran íntimamente relacionadas proporcionando el mismo efecto en el desempeño del equipo.

Debido a la no uniformidad de esta variable los operadores realizan un arduo trabajo durante todo su turno, tomando acciones ante las variaciones que tiene la consistencia cambiando continuamente la abertura de la válvula que permite el acceso de la pasta a la planta de destintado por lo que es necesario atacar a esta variable con bastante rapidez.

CAPÍTULO VI

GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En el desarrollo del siguiente capítulo, se planten las propuestas de mejoras para la resolución de la problemática existente referente a la desviación de las condiciones de operación más influyente con respecto a las más apropiadas, con la finalidad de alcanzar el mejor desempeño de los equipos e indirectamente del proceso. Adicionalmente se presenta la selección de las alternativas, que permitan decidir cuáles de ellas es la más factible para implementar.

6.1 PLANTEAMIENTO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORAS

A continuación se plantean las alternativas por etapa en función de las condiciones de operación actuales y las apropiadas para los equipos y sistemas:

6.1.1. ETAPA DE PULPEO

- **Alternativa # 1: Establecer cantidad de carga al Pulper # 4 para una consistencia específica según el rotor.**

Con esta propuesta se pretende prevenir el desgaste prematuro de la hélice y las partes que conforman al pulper, además de proporcionar una buena eficiencia del equipo en cuanto al batido o al movimiento que debe realizar la fibra para alcanzar la desintegración uniforme. Una sobrecarga del pulper atenta directamente en los puntos expuestos en el párrafo anterior por lo que es necesario fijar la cantidad de carga a introducir en base a la consistencia adecuada de un 15 % y una capacidad del pulper de 24 m³ (según lo establecido por los manuales de diseño del pulper # 4), lo que resultaría una carga de 3,6 toneladas al aplicar la ecuación I. (Ver apéndice A).

Para el alcance de tal peso es necesario cuantificar la cantidad de cartón (que se encuentra como tapas de las pacas) y alambres (como sujetadores de las pacas), para con ello obtener el peso real en pacas y establecer la formulación que garantice la blancura del producto a elaborar, y la masa en fibra que se debería introducir al pulper.

Es importante resaltar que el peso neto de la carga debe estar comprendida de un 10 % correspondiente a cautivos (material semi-elaborado) y/o container, y el resto (90%) en base a la formulación establecida (compuesta por una mezcla de pacas), para de esta manera utilizar la cantidad de material ajeno a la formulación, de manera razonable.

- **Alternativa # 2: Definir tiempo de desfibrado**

Actualmente se maneja un tiempo promedio de 35 minutos, mas se observó una buena desintegración a los 20 minutos, por lo que la variación en 15 minutos puede generar la disminución en tamaño de contaminantes o materiales no deseados que pueden ocasionar el pase por los orificios del contaminex y seguir a las siguientes etapas, además de la dispersión de las tintas que contienen la materia prima que afectaría directamente la degradación de la blancura.

El tiempo de desfibrado es una variable muy crítica ya que un exceso de tiempo origina lo que se mencionó anteriormente y un tiempo menor puede ocasionar la no completa desintegración de la fibra y por ende la pérdida de carga al no traspasar los orificios, considerándose rechazo del contaminex. Sin embargo la tendencia en algunos casos de sobrepasar el tiempo de desfibrado recomendado, se otorga a la capacidad que tenga el tanque de almacenamiento (pileta 1), que es el encargado de contener la pasta que proviene del pulper, por lo que una alternativa o solución para mantener el tiempo definido a 20 minutos es cronometrar este tiempo más el de carga con el de vaciado de la pileta hasta un nivel en el tanque del 50 % de su capacidad, para garantizar que toda la carga contenida en el pulper sea almacenada sin tener que exponer a la carga a un tiempo adicional. Otra desventaja es la de un consumo de energía mayor e innecesaria que se podría disminuir en un 8% al dejar el pulper sin carga en el intervalo de espera mientras se garantice tal sincronización, traduciéndose en un ahorro de 833 Kw por cada día de operación del pulper # 4, según lo obtenido al aplicar la ecuación VI presente en la sección de cálculos típicos.

6.1.2 ETAPA DE DEPURACIÓN GRUESA

- **Alternativa # 3: Reducción de agujeros de la placa a 6 mm**

Con ello lo que se pretende alcanzar es la retención en mayor cantidad de contaminantes para de esta manera no impactar en mayor proporción al depurador de alta densidad, ya que una gran cantidad de contaminantes que esta fluyendo con la fibra no toda desaloja en el equipo sino que se queda acumulado o retenido en la hojilla superior y paredes del depurador, provocando aun más el desgaste prematuro de las cuchillas.

- **Alternativa # 4: Disponer de una bomba que solo se encargue de transportar el agua de elutriación al depurador de alta densidad.**

Primeramente la elutriación se le denomina a la corriente que entra a un equipo en donde su flujo y presión originan una zona muerta; este es el caso de la corriente de agua que se alimenta al limpiador de alta densidad (T2 # 3) que por su variabilidad en la presión que suministra origina una zona muerta (encargada de crear la separación entre la fibra y los contaminantes), que puede ser efectiva o no, gracias a la no uniformidad en la presión del agua de retrolavado ó elutriación, en el valor requerido por el sistema.

La poca presión y cantidad de agua de retrolavado ocasiona que el equipo pierda fibra en el rechazo, al no poder mantener toda la fibra flotando, si no que por el contrario ayudar a que esta sea rechazada junto con las partículas metálicas, al no tener la suficiente fuerza para separar la fibra de los contaminantes.

Aprovechando el hecho de disponibilidad de un tanque de agua clarificada utilizada para diluciones en todo el proceso de depuración gruesa, el cual siempre mantiene en un nivel estable superior al 80% de su capacidad, por lo que no generará problemas en otros puntos del proceso; se recomienda la utilización de una bomba centrífuga que se encargue de suministrar la cantidad y la presión de agua de retrolavado necesaria, estos valores son obtenidos por el manual del equipo y de su instalación al ubicarse el tanque a 3 metros del separador de pasta. (Ver figura 6.1).

Finalmente bajo los requerimientos del sistema y la información suministrada por catálogos de fabricantes, una bomba centrífuga con una potencia de 2,3 Kw, de 1720 rpm capaz de garantizar un flujo de 150 L/min máximo y una presión de descarga no mayor a 4 bar, cumple con las características solicitadas.

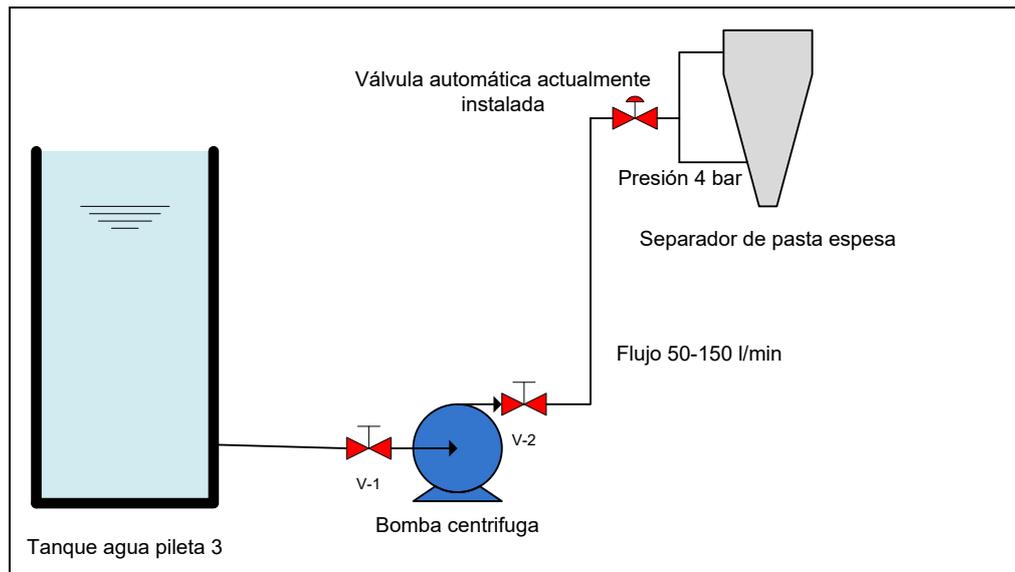


Figura 6.1. Sistema de bombeo del agua de retrolavado en el equipo Separador de pasta espesa.

6.1.3 ETAPA DE DEPURACIÓN FINA

- **Alternativa # 5: Disponer de un lazo de control al inicio de la etapa de depuración gruesa**

La finalidad de la propuesta es de mantener un flujo másico constante que garantice la estabilidad de la producción a 90 Toneladas/día (debido a que es el objetivo de la empresa) y no producir taponamiento en los equipos por las fluctuaciones en la consistencia. Para ello se requiere de un sensor que detecte la consistencia de la corriente de pasta en la entra a la etapa de depuración fina a través de un mecanismo que posee el mismo y luego llevar la señal del transmisor al controlador del tipo PID para que realice la acción en la válvula de gramaje de abrirla o cerrarla a cierto porcentaje, completando así el lazo de control cerrado.

- **Alternativa # 6: Instalar conos faltantes en los limpiadores de baja densidad y los reversos.**

Actualmente el equipo de baja densidad opera con una eficiencia del 50 % en su segunda etapa por la falta de dos (2) conos de los cuatro (4) que deben existir, además del cono carente en la primera etapa para mejorar aun más la depuración de la pasta que pasa por el banco de conos de esta etapa. Con respecto a los limpiadores reversos la ausencia de un cono también, hace que sumen en total 4 conos de los cuales son del tipo KS 160/6R y hecho de plástico poliamida.

6.1.4 ETAPA DE LAVADO

- **Alternativa # 7: Instalar una malla al lavador # 3 en donde el número de capas sea mayor**

En este momento la malla empleada en el equipo es de 1 ½ capa lo que origina una retención de la carga de 60 % al utilizar la ecuación VII de la sección de cálculos típicos, lo que resulta que un 40 % de la pasta que se alimenta al lavador se considera rechazo. Por tal motivo se ve la posibilidad de incorporar una malla de mayor grosor específicamente de 2 ½ capas como primera opción ya que es el tamaño que le sigue a la de 1 ½ según el fabricante para con este nuevo diseño observar una disminución en lo que a drenabilidad de fibra se refiere y por ende un aumento en el porcentaje de retención 80% según lo expuesto por él fabricante, que impactaría de manera positiva a la merma de la empresa.

6.1.5 ETAPA DE BLANQUEO

- **Alternativa # 8: Colocar un aislamiento térmico en el dispersor**

La finalidad de esta propuesta radica en primer lugar garantizar en todo momento que el vapor de agua que entra al dispersor no se pierda al ambiente y con ello mantener una temperatura mayor en el equipo. En segundo lugar avalar por la seguridad del personal encargado del proceso al exponer a esas altas temperatura en la zona donde se encuentra el equipo. El aislante recomendado podría asociarse a lana

mineral ya que su origen y composición química aseguran una estabilidad a altas temperaturas (650 °C), no favorece a la corrosión, y son de fácil aplicación y manejo.

• **Alternativa # 9: Establecer nivel mínimo de trabajo en torre de peróxido oxidativo (TBO).**

Hoy por hoy la planta maneja una dosificación de peróxido en donde se obtiene un porcentaje de residual de 4 a 19 % (según pruebas realizadas por los proveedores de los químicos), lo que nos sugiere que uno de los efectos que puede estar originando tal efecto sea de que el tiempo de residencia existente no cumple con los 31 min establecidos por la cinética de la reacción, ya que no se mantiene en un 80 % de la capacidad del tanque para garantizar un residual mínimo cercano a 2 %, sino que se conserva en un 60 % lo cual no permite el desarrollo total de la reacción. Adicionalmente tal consecuencia hace que parte del hidrosulfito no reaccione y con ello no solo se pierda dinero por peróxido residual sino también por hidrosulfito.

6.2 SELECCIÓN DE LA PROPUESTA TÉCNICAMENTE FACTIBLE.

Cabe destacar que varias de las propuestas planteadas son enfocadas al manejo de la operación, las cuales no requieren de un costo de inversión para lograr su implementación, si no de la concienciación del personal que labora en la empresa y la capacitación o adiestramiento al nuevo esquema de trabajo. Por lo que estas propuestas no requieren ser sometidas a una selección para ver si son factible o no, ya que su implementación es totalmente viable.

Por otra parte, existen propuestas como:

1. Reducción de agujeros de la placa del contaminex a 6 mm
2. Disponer de una bomba que solo se encargue de transportar el agua de elutriación al depurador de alta densidad.
3. Disponer de un lazo de control al inicio de la etapa de depuración gruesa
4. Instalar conos faltantes en los limpiadores de baja densidad y los LT3.

5. Instalar una malla al lavador # 3 en donde el número de capas sea mayor
6. Colocar un aislamiento térmico en el dispersor

Que por no estar enfocadas a cambios en la operación, sino más bien a la adquisición de nuevos equipos, se necesita de una evaluación técnico-económica, en donde me indique si es recomendable o no en todos los sentidos su implementación. Para ello se empleo una matriz de selección como herramienta con la finalidad de escoger la alternativa más factible desde el punto de vista técnico, en donde los parámetros serán: Beneficio, Costo de implementación, Disponibilidad, Mantenimiento, Tiempo de ejecución e Instalación, por las razones expuestas en la sección 4.5.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las matrices se puede decir que para el primer criterio (Mejoría) se tomó en cuenta la influencia del beneficio que estas proporcionaban a la pérdida de fibra y/o calidad de la pasta, resultando la alternativa # 3 extremadamente favorable debido a que el control de la consistencia a la entrada de la etapa de depuración fina repercute en ambos efectos (pérdida de fibra, calidad de pasta) y varios equipos.

En el segundo criterio se visualiza que la mayoría de las propuestas presentan la misma incidencia ya que la mejoría que puede aportar la alternativa sustenta la inversión inicial que tendría que realizar la empresa, excepto la propuesta # 4 en donde su puntaje es mayor por encontrarse en almacén la mayoría de los conos faltantes.

Para el tercer criterio, se considero la dificultad de los proveedores de suministrar los equipos y/ o materiales en base a la disponibilidad de los mismos y traslado, ya que la mayoría de los equipos y/o materiales son elaborados fuera de Venezuela.

En el mantenimiento de las propuestas se toma en cuenta la frecuencia que requiere realizarse esté, una vez puesta en marcha la alternativa para su exitosa operación, y la dificultad que genera esta actividad, por lo que la propuesta # 3 presentó la puntuación más alta ya que no requiere de una limpieza o mantenimiento a corto plazo, además de ser la que necesita menor inspección para su buen funcionamiento.

Para el cuarto criterio, la propuesta # 4 arrojó mayor puntuación ya que no presenta complicaciones en cuanto a parada de planta como es el caso de la propuesta # 3 y # 6, o cambio a equipos o líneas auxiliares del proceso tales como lo requiere las propuestas # 1, # 2 y # 5, para su implementación. El tiempo de ejecución está íntimamente relacionada con la disponibilidad e instalación por lo que el lapso que requiere para obtener los equipos y/o materiales y el tiempo que demore para su instalación definen la puntuación de este quinto criterio.

Finalmente de lo analizado y obtenido en las matrices se selecciono la propuesta # 3 denominada “Disposición de un lazo de control al inicio de la etapa de depuración fina”, por presentar el mayor puntaje e incidencia, lo que es indicativo de poseer la mayor factibilidad técnica .

Tabla 6.1. Matriz de Selección N°1 de las alternativas de solución propuestas

Criterio	Porcentaje (%)	Alternativa # 1		Alternativa # 2		Alternativa # 3	
		Puntuación	Incidencia	Puntuación	Incidencia	Puntuación	Incidencia
<i>Mejoría</i>	45	3	135	3	135	5	225
<i>Costo de implementación</i>	30	3	90	3	90	3	90
<i>Disponibilidad</i>	10	2	20	3	30	4	40
<i>Mantenimiento</i>	5	2	10	3	15	3	15
<i>Instalación</i>	5	3	10	3	15	2	20
<i>Tiempo de ejecución</i>	5	2	15	3	15	3	10
TOTAL	100	-	280	-	300	-	400

Tabla 6.2 Matriz de Selección N° 2 de las alternativas de solución propuestas (continuación)

Criterio	Porcentaje (%)	Alternativa 4		Alternativa 5		Alternativa 6	
		Puntuación	Incidencia	Puntuación	Incidencia	Puntuación	Incidencia
<i>Mejoría</i>	45	2	90	3	135	3	135
<i>Costo de implementación</i>	30	4	120	3	90	3	90
<i>Disponibilidad</i>	10	2	20	3	30	3	30
<i>Mantenimiento</i>	5	4	20	3	15	3	15
<i>Tiempo de ejecución</i>	5	4	20	3	15	3	15
<i>Instalación</i>	5	5	25	3	15	2	10
TOTAL	100	-	295	-	300	-	295

CAPÍTULO VII

DESARROLLO DE LAS MEJORAS

En el capítulo que se presenta a continuación, se analiza y fundamentan por medio de un estudio económico la alternativa de solución seleccionada para estimar el ahorro que llevaría su implementación.

Hasta este punto se conoce la propuesta que ayudaría a mejorar el desempeño del proceso controlando las variables de consistencia y presión, que son las más fluctuantes e influyentes en cada uno de los equipos.

7.1. ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

Se estudiara la implementación de la alternativa mediante un estudio costo - beneficio. En la Tabla 7.1, se refleja la lista de equipos necesarios para poner en marcha la propuesta, adicionalmente se muestra la cantidad y el valor monetario por unidad, gracias a la información suministrada por el departamento de compras de la empresa.

Tabla 7.1 Costos asociados a los equipos de la alternativa seleccionada

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo/unidad (\$) $\sum(C \times N^o)_i$</i>	<i>Costo total (\$) $\sum(C \times N^o)_i$</i>
Boquilla de medición para tubería de 8 pulgadas	1	17325	17325
Transmisor de consistencia marca MEK-2400	1	3905	3905
Manual de instalación, MPS -1000	1	1260	1260

Resultando el costo de equipos total de:

$$C_{\text{equipos}} = \sum_{i=0}^n (1) \quad (7.1)$$

$$C_{\text{equipos}} = 22490 \$$$

Una vez presentados el listado y el costo de equipos total asociado a la propuesta, se calculó la inversión mediante la ecuación siguiente:

$$C_i = C_{\text{equipos}} + C_{\text{inst}} + C_{\text{mant}} \quad (7.2)$$

Donde:

C_i : Costo de inversión (\$).

C_{inst} : Costo por instalación (\$).

C_{mant} : Costo por mantenimiento (\$).

Y se tomaron las siguientes consideraciones:

- El costo de instalación de los equipos e instrumentos se toma como el 30% del costo de los equipos según lo descrito en el trabajo de ascenso de plantas industriales publicado en la Universidad de Carabobo.

$$C_{\text{inst}} = 0,30 \times C_{\text{equipos}} \quad (7.3)$$

- No se consideran costos de mantenimiento (C_{mant}) debido a que existe personal de la empresa encargada del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos.

Entonces al sustituir la ecuación 7.3 en la 7.2 y $C_{\text{mant}} = 0 \$$, la ecuación costo de inversión queda expresado de la siguiente manera:

$$C_i = C_{\text{equipos}} + (0,30 \times C_{\text{equipos}}) + 0$$

$$C_i = 1,30 \times C_{\text{equipos}} \quad (7.4)$$

Finalmente la inversión necesaria para la implementación de la propuesta es:

$$C_i = 1,30 \times 22490 \$$$

$$C_i = 29237 \$$$

El estudio de los beneficios de ambas alternativas se expresa en función de la pérdida de fibra ó merma en los equipos ya que es el efecto posible de cuantificar. En la propuesta se busca tener un control de consistencia para evitar taponamientos de equipos que causan reboses en los tanques de almacenamiento, si bien no se realiza la contabilización de la pasta que se pierde por estos reboses, se nota que cuando estos ocurren, se producen incrementos en los reportes diarios de pérdida de fibra; no es posible determinar cuál es el porcentaje real de incidencia de estos reboses en el aumento de la merma, se sabe que tienen una gran influencia debido a que se realizaban estudios diarios a los rechazos de los equipos y el porcentaje de incidencia de estos en todo el proceso no proporcionaban tal incremento, de esta manera consideramos que estas “alzas” generalmente del 2%, por encima del promedio de la merma se atribuyen a estos reboses.

La frecuencia de estos reboses no se lleva en registros pero durante el tiempo en que se realizó esta investigación se observó que los reboses se producían por lo menos una vez por mes.

Ahora bien el consumo de fibra promedio ronda las 100 toneladas por día, un 2% de merma de esta fibra, significa 2 toneladas de fibra que se pierden por día:

$$\text{Masa fibra} = 0,02 \times 100 \text{ Ton/día} \quad (7.5)$$

$$\text{Masa fibra} = 2 \text{ Ton/ día}$$

Si se estima que una tonelada de papel semielaborado tiene un valor comercial de 1250 \$, esto se traduce en 2500 \$ de beneficio cada vez que ocurre un rebosamiento,

$$\text{Beneficio} = Cc(7.6)$$

$$\text{Beneficio} = 1250 \text{ \$/Ton} \times 2 \text{ Ton/día}$$

$$\text{Beneficio} = 2500 \text{ \$/día}$$

Llevado al año correspondería a un mínimo (1 reboses al mes), resultando:

B

Beneficio = 30000 \$/año

Por la tanto el costo – beneficio (CB) proporcionado por la alternativa selecciona, es obtenida mediante la siguiente ecuación:

$$CB = \frac{\text{Beneficio}}{CI} \quad (7.7)$$

Sustituyendo los beneficios y costo de inversión en la ecuación anterior,

$$CB = \frac{30000 \$}{29237 \$}$$

Se obtiene que:

$$CB = 1,03 \text{ adim}$$

En la Tabla 7.2 se presenta toda la información resumida de los cálculos realizados hasta los momentos.

Tabla 7.2. Análisis del costo-beneficio de la alternativa propuesta

Costo de inversión (\$)	Costo por beneficio (\$)	Relación (adim)
29237	30000	1,03

Finalmente la relación costo-beneficio es mayor a uno por lo que se puede decir que la propuesta de “**Disponer de un lazo de control a la entrada de la etapa de depuración gruesa**” es atractiva.

7.2 ESTIMACIÓN DEL AHORRO ASOCIADO A LA PROPUESTA

Con respecto al ahorro asociado a la propuesta esta se encuentra directamente relacionada con la producción, por lo que se determino tomando como referencia el

reporte de merma realizado por el personal de producción de la empresa durante todo un mes en donde se haya constatado el rebose de algunos de los tanques existentes en el proceso por los factores antes explicados. En la sección de anexos se puede observar el comportamiento de la pérdida de fibra (Figura 1) obtenida por día durante el mes de Mayo, de allí y en base a lo analizado para la determinación de los beneficios de esta propuesta se visualizan incrementos del 2 % en la merma los días 10,12,13,16 y 17, con respecto al objetivo de 34 %.

Entonces, se puede decir que según los cálculos realizados en el apéndice A al utilizar la ecuación VIII, la producción objetivo se encuentra en 66 Ton/día.

Bajo un cálculo semejante al presentado para determinar el beneficio de la propuesta (Ver la ecuación 7.6), el valor monetario de lo obtenido, resultaría:

$$\text{Costo}_{\text{prod}} = \dots 6$$

En la Figura 7.1 se presenta un bosquejo de lo planteado:

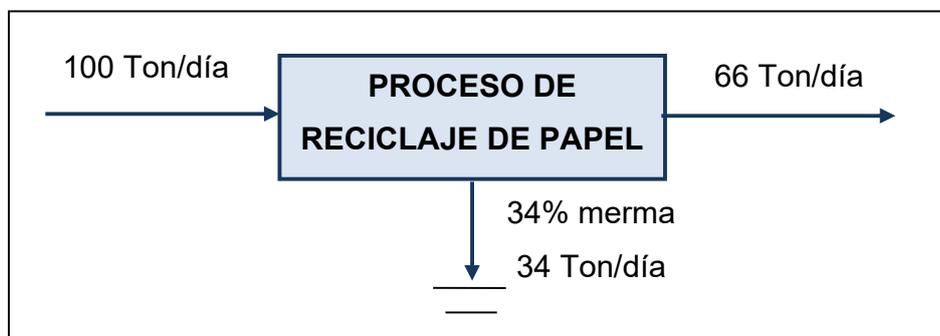


Figura 7.1 Diagrama de flujo # 1 del proceso de reciclaje de papel

Sin embargo si se toma en cuenta las desviaciones alrededor de 2 % con respecto al objetivo, la producción de la empresa se vería afectada, ya que su pérdida de fibra se incrementaría a un 36 %. Al sustituir este último valor en la ecuación VIII se obtendrá una producción (Prod_r) de 64 Toneladas correspondiente a un día con rebose. (Ver cálculos típicos)

Utilizando la ecuación 7.6, el valor monetario de lo obtenido, resultaría:

$$\text{Costo}_{\text{prod}} = \dots$$

En la Figura 7.2 se presenta un bosquejo de lo planteado:

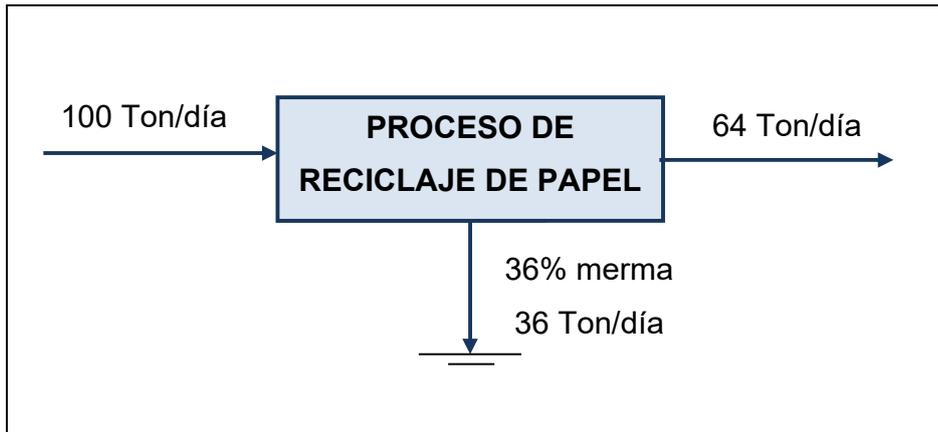


Figura 7.2 Diagrama de flujo # 2 del proceso de reciclaje de papel

Entonces el ahorro de la propuesta queda definido como:

$$\text{Ahorro} = \text{Prod} - \text{Prod}_p \quad (7.9)$$

Sustituyendo los valores de producción obtenidos anteriormente, resulta:

$$\text{Ahorro} = (66 - 64) \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$$

$$\text{Ahorro} = 2 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$$

Llevando lo obtenido a valor monetario, resultaría un ahorro de 2500 \$ por cada rebose producido, bajo un cálculo semejante al presentado para determinar el beneficio de la propuesta (Ver la ecuación 7.6).

En la tabla 7.3 se presenta toda la información resumida de los cálculos realizados para la determinación del ahorro de la propuesta seleccionada.

Tabla 7.3. Ahorro en el proceso de reciclaje de papel al implementar la propuesta.

Costo sin rebose (\$/día)	Costo con rebose (\$/día)	Ahorro (\$/día)
82500	80000	2500

CONCLUSIONES

1. El desempeño del proceso se ve afectado por la pérdida de fibra y la calidad de la pasta.
2. La materia prima influye directamente en la blancura de la pasta.
3. Las variables más influyentes en cada uno de los equipos que conforman el proceso son la consistencia y la presión.
4. La aplicabilidad de las Mejores Prácticas de Manufactura en el proceso es de 43,75 %.
5. La alternativa seleccionada para mejorar el desempeño del proceso de reciclaje de papel es la: ***“Disposición de un lazo de control al inicio de la etapa de depuración fina”***.
6. La propuesta seleccionada es atractiva generando ahorro a la empresa y con bajo costo de inversión.
7. Los rebosamientos y/o taponamientos de los equipos originan un incremento del 2 % sobre la merma objetivo.
8. El beneficio aportado por la propuesta es de 30000 \$/año al considerar un rebosamiento al mes.
9. El ahorro asociado a la implementación del controlador de consistencia en la etapa de depuración fina es de 2500 \$ por cada rebosamiento originado en el día.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una evaluación del proceso de reciclaje de papel manipulando las variables resaltantes (temperatura, presión, cantidad de agua, %consistencia), con el fin de estudiar el comportamiento de los equipos a diferentes condiciones de operación.
2. Diseñar un software para simular el proceso de fabricación de papel con el propósito de obtener como resultado la cuantificación de las toneladas de papel, basura, producción, así como la simulación para realizar pruebas con diferentes cantidades de papel.
3. Realizar pruebas con los proveedores de químicos de la empresa, para la determinación de pegas (stickies) y el impacto que tienen sus productos químicos en la eliminación de dichas pegas.
4. Hacer pruebas con la dosificación de químicos utilizados para el blanqueo, a fin de optimizar las cantidades de peróxido y soda caustica, con el fin de lograr la blancura necesaria para garantizar la calidad del producto y disminuir costos en químicos.
5. Realizar mediciones de los orificios de las canastillas de todas las cribas para tener un control del desgaste de las mismas.
6. Disponer de un personal que se encargue de realizar las pruebas de laboratorio y hacer el seguimiento de las variables del proceso.
7. Desarrollar estándares de Britt Jarr para control del proceso.
8. Colocar medidores de presión y temperatura en los equipos t tanques que sea necesario, ya que en la actualidad existe ausencia de estos en la mayoría, así se permitirá realizar un seguimiento y monitoreo de la operación de cada equipo.

REFERENCIAS

1. Álvarez, R., Ferrari N. (2001). Destintado de desechos de papel para la obtención de pulpa de alta calidad. Trabajo de investigación del laboratorio de tecnología de Uruguay, Montevideo Uruguay.
2. Arroyo Manuel (2003). Utilización del cloro para el proceso de destintado del papel. Artículo científico publicado por la organización Reciclapapel.org España.
3. Cubero, Juan. (1998), manual Jodar [Documento en Linea]. Disponible en: <http://www.manualjodar.com/pua/pua3.htm>.
4. Guzmán, Valeria (2008), Propuesta de Mejora al sistema de enfriamiento de las máquinas de producción de envases plásticos, de la empresa metalgráfica S.A. Trabajo de grado de la Universidad de Carabobo.
5. Isaacs, K., Querales P. (2005). Evaluación del proceso de reciclaje de papel de la empresa Kimberly & Clark C.A. trabajo especial de grado de la Universidad de Carabobo, Facultad Ingeniería escuela de Química.
6. López,G.,Hoyos, J. (2006). Destintado enzimático de papel impreso por el método offset. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Química, Medellín Colombia.
7. Manual Voith paper.(2000) Desintegrador HDC.
8. Manual Voith paper. (2000) Separadores centrífugos alta consistencia.
9. Manual Voith paper. (2000) Separador de pasta espesa.
10. Manual Voith paper. (2000) Separadores cónicos KS160.
11. Manual Voith paper. (2000) Limpiadores cónicos LT3.
12. Manual de operación Papeles del Cauca (2001) Kimberly Clark Corporation

13. Manual Kimberly Clark Venezuela (2003). Procedimientos de ensayos de Laboratorio
14. Manual Best Practice Manufacture, Kimberly Clark Corporation.
15. Ortega, L., García, M, (1995), Evaluación del requerimiento real de agua del proceso de una industria papelera Universidad de Carabobo.
16. Revista El Papel. Abril 2000. Química. “Como Evitar una situación de stickies”.
17. Revista El Papel. Abril 2000. Tecnología. “La máquina de tisú actual”.
18. Rivera, Antonio (2003),Fabricación Mecanizada de Papel [Documento en Linea] disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos12/reciclj/reciclj.shtml>
19. Vidal, Teresa, (1991).Blanqueo de Pastas destintadas [Documento en Linea] disponible en: http://biblioteca.upc.edu/FenixDoc/articles_inv.asp.
20. García, José, (2007). El Papel [Documento en línea]. Disponible en: <http://papelnet.cl/papel/papel.html>.
21. Taylor, Víctor, (2007). El papel [PPT]. Disponible en: <http://www.frlp.utn.edu.or/grupos/aepeq/papel.pps>.
22. Grupo Pochteca, (2006). Producción Grafica y Editorial. Propiedades Básicas del papel. Disponible en: <http://graficproduccion.blogspot.html>.
23. Ramírez, Daniel, (2004). Diagrama Causa y efecto. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.infomipyme.com/Docs/General/offline.html>.
24. Uribe, Carlos, (2006). Diagrama de causa- efecto. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.eduteka.org/DiagramaCausaEfecto.php>.

APENDICE A

CÁLCULOS TÍPICOS

La consistencia es una variable que toma diferentes valores, sus valores dependen de la etapa en que se esté por ejemplo si se realiza el cálculo en el rechazo de un equipo los valores oscilan entre 0.06 hasta 0,40, en cambio si el estudio de consistencia se realiza en la torre de blanqueo se encuentran entre 30 y un 40% de consistencia lo que conlleva un error asociado diferente para cada etapa, tomando eso en consideración se realizó el cálculo de consistencia por etapa y el error asociado a cada etapa.

ETAPA DE PULPEO

- **Cálculo del porcentaje de consistencia**

Para realizar el cálculo del porcentaje de consistencia se utiliza la siguiente ecuación.

$$K = \frac{mps}{V} \times 100 \quad (I)$$

Donde:

K : Porcentaje de consistencia (%).

mps : Masa de la pasta seca (g).

V : Volumen de la muestra (ml).

Sustituyendo las variables de la muestra N° 1 en la entrada de la etapa de pulpeo, reflejada en la **Tabla B.2**:

$$K = \frac{8,809}{50} = 17,618$$

El error asociado al cálculo en esta etapa de pulpeo viene dado por:

$$\Delta K = \left(\left| \frac{\Delta \text{mps}}{V} \right| + \left| \frac{\text{mps}}{V^2} \times \Delta V \right| \right) \times 100$$
$$\Delta K = \left(\left| \frac{0,001}{50} \right| + \left| \frac{8,809}{50^2} \times 0,5 \right| \right) \times 100 = 0,2 \%$$
$$K = (17,6 \pm 0,2) \%$$

De igual manera se procedió con el cálculo de la consistencia a la descarga del pulper.

ETAPA DE DEPURACION GRUESA

Sustituyendo los valores de la muestra N° 1 en el separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa, reflejada en la **Tabla B.4**:

$$K = \frac{\text{mps}}{V} \times 100 \quad (I)$$
$$K = \frac{3,660\text{g}}{100\text{ml}} \times 100 = 3,660 \%$$

El error asociado al cálculo en esta etapa de depuración gruesa viene dado por:

$$\Delta K = \left(\left| \frac{\Delta \text{mps}}{V} \right| + \left| \frac{\text{mps}}{V^2} \times \Delta V \right| \right) \times 100$$
$$\Delta K = \left(\left| \frac{0,001}{100} \right| + \left| \frac{3,660}{100^2} \times 0,5 \right| \right) \times 100 = 0,02 \%$$
$$K = (3,66 \pm 0,02) \%$$

ETAPA DE DEPURACION FINA

Sustituyendo los valores de la muestra N° 5 en los limpiadores de baja densidad de la etapa de depuración fina, reflejada en la **Tabla B.13**:

$$K = \frac{\text{mps}}{V} \times 100 \quad (I)$$
$$K = \frac{2,736\text{g}}{100\text{ml}} \times 100 = 2,736 \%$$

El error asociado al cálculo en esta etapa de depuración fina viene dado por:

$$\Delta K = \left(\left| \frac{\Delta \text{mps}}{V} \right| + \left| \frac{\text{mps}}{V^2} \times \Delta V \right| \right) \times 100$$
$$\Delta K = \left(\left| \frac{0,001}{100} \right| + \left| \frac{2,736}{100^2} \times 0,5 \right| \right) \times 100 = 0,01 \%$$
$$K = (2,74 \pm 0,01) \%$$

ETAPA DE LAVADO

Sustituyendo los valores de la muestra N° 2 en la etapa de lavado, reflejada en la **Tabla B.29**:

$$K = \frac{\text{mps}}{V} \times 100 \quad (I)$$
$$K = \frac{3,940\text{g}}{250\text{ml}} \times 100 = 1,576 \%$$

El error asociado al cálculo en esta etapa de lavado viene dado por:

$$\Delta K = \left(\left| \frac{\Delta \text{mps}}{V} \right| + \left| \frac{\text{mps}}{V^2} \times \Delta V \right| \right) \times 100$$
$$\Delta K = \left(\left| \frac{0,001}{250} \right| + \left| \frac{2,736}{250^2} \times 25 \right| \right) \times 100 = 0,1 \%$$
$$K = (1,6 \pm 0,1) \%$$

ETAPA DE BLANQUEO

Sustituyendo los valores de la muestra N° 2 en el dispersor de la etapa de blanqueo, reflejada en la **Tabla B.33**:

$$K = \frac{\text{mps}}{V} \times 100 \quad (I)$$
$$K = \frac{24,540\text{g}}{100\text{ml}} \times 100 = 24,540 \%$$

El error asociado al cálculo en esta etapa de lavado viene dado por:

$$\Delta K = \left(\left| \frac{\Delta mps}{V} \right| + \left| \frac{mps}{V^2} \times \Delta V \right| \right) \times 100$$

$$\Delta K = \left(\left| \frac{0,001}{100} \right| + \left| \frac{24,540}{100^2} \times 25 \right| \right) \times 100 = 6 \%$$

$$K = (24,5 \pm 6) \%$$

- **Cálculo del porcentaje de cenizas (%C):**

Las cenizas se calculan con la ayuda de la ecuación que se describe a continuación:

$$\%C = \left[\frac{(Mcf - Mcv)}{Mi} \right] \times 100 \quad (II)$$

Donde:

%C: Porcentaje de ceniza (%).

Mcll: Peso del crisol lleno (gr).

Mcf: Peso del crisol incinerada (gr).

Mi: Peso inicial de la muestra (gr).

Sustituyendo las variables de la muestra N° 1 de la alimentación al separador de pasta espesa mostrada en la **Tabla B.4** en la ecuación 4.2 se tiene:

$$\%C = \left[\frac{(50,080 - 49,320)g}{3,660g} \right] \times 100$$

$$\%C = 20,7650 \%$$

El error asociado es:

$$\Delta C = \left[\left| \frac{1 - mcf}{mi} \right| \times \Delta mcll + \left| \frac{mcll - 1}{mi} \right| \times \Delta mcf + \left| \frac{mcll - mcf}{mi^2} \right| \times \Delta mi \right] \times 100$$

$$\Delta C = \left[\left| \frac{1 - 49,320}{3,660} \right| \times 0,01 + \left| \frac{50,080 - 1}{3,660} \right| \times 0,01 + \left| \frac{50,080 - 49,320}{3,660^2} \right| \times 0,01 \right] \times 100 = 0,3$$

$$\%C = (20,8 \pm 0,3)\%$$

El cálculo de cenizas se realizó de igual manera para todos los equipos involucrados en este estudio.

- **Cálculo del porcentaje de finos y fibra para la determinación de la composición del papel:**

$$M_f = (M_m - M_{fil}) \quad (III)$$

Donde:

M_{fil}: masa del papel de filtro (g)

M_f: masa de la fibra (g)

M_m: masa de la muestra (g)

Sustituyendo los valores de la muestra N° 1 de la **Tabla B.3**:

$$M_f = (2,965 - 1,520) = 1,445g$$

Y luego con ayuda de la ecuación 4.4 tenemos:

$$\%fibra = \frac{M_f}{M_m} * 100 \quad (IV)$$

$$\%fibra = \frac{1,445}{2,000} * 100 = 72,250$$

El error asociado al cálculo es:

$$\Delta\%fibra = \left(\left| \frac{1}{M_m} \right| \times \Delta M_f + \left| \frac{M_f}{M_m^2} \right| \times \Delta M_m \right) \times 100$$

$$\Delta\%fibra = \left(\left| \frac{1}{2} \right| \times 0,001 + \left| \frac{1,42}{2^2} \right| \times 0,001 \right) \times 100 = 0,09 \%$$

Por lo que,

$$\% \text{fibra es: } (72,25 \pm 0,09) \%$$

• **Cálculo del porcentaje de finos presente en una muestra:**

Con el cálculo y la ecuación 4.5 anterior se tiene:

$$\% \text{finos} = (100 - \% \text{fibra}) \quad (V)$$

Donde:

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

$$\% \text{finos} = (100 - 72,25) = 27,75 \%$$

$$\% \text{finos} = (27,75 \pm 0,09) \%$$

• **Cálculo de la masa de papel necesaria para obtener una consistencia del 15 % en un volumen de 24 m³:**

Para realizar el cálculo del porcentaje de consistencia se utiliza la siguiente ecuación.

$$K = \frac{\text{mps}}{V} \times 100 \quad (I)$$

Despejando "mps" de la ecuación 4.1 y conociendo los valores de las demás variables, se tiene:

$$\text{Mps} = \left(\frac{K}{100} \right) \times V_{\text{solución}}$$

$$\text{Mps} = \left(\frac{15}{100} \right) \times 24 = 3,6 \text{ Toneladas}$$

• **Cálculo del ahorro de energía asociado al pulper N° 4:**

Según lo registrado por el medidor de energía dispuesto en el pulper a los 20 min de operación se consume 635 Kw/h con carga en el mismo y 586 Kw/h sin carga (vacío), al sustituir estos valores en la siguiente ecuación:

$$C_{\text{energía}} = C_{\text{lleno}} - C_{\text{vacío}} \quad (\text{VI})$$

Donde:

$C_{\text{energía}}$ = Consumo de energía (Kw/h).

C_{lleno} = Consumo de energía lleno el pulper (Kw/h).

$C_{\text{vacío}}$ = Consumo de energía vacío el pulper (Kw/h).

$$C_{\text{energía}} = (635 - 586) \text{ Kw/h}$$

Resultando,

$$C_{\text{energía}} = 49 \text{ Kw/h}$$

Es decir, que al dejar el pulper desintegrando el papel 20 min adicionales al tiempo de desfibrado mientras el nivel de la pileta 1 alcance el 50 % de su capacidad, el consumo de energía extra por carga se traduciría en lo obtenido anteriormente (49 Kw/h), que al llevarlo a un día completo en donde se realizan un número de cargas de 17, quedaría:

$$C_{\text{extra}} = 17 \times 49 \frac{\text{Kw}}{\text{h}} = 833 \text{ Kw/h}$$

Al expresar el ahorro en porcentaje, resultaría:

$$\% \text{ Ahorro} = \left(\frac{49 \text{ Kw/h}}{635 \text{ Kw/h}} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Ahorro} = 8 \%$$

- **Cálculo de la retención en la malla del lavador COMER – AL 200 :**

Al utilizar la siguiente ecuación y sustituir los valores obtenidos en la tabla 5.20 se tiene:

$$R = \left(\frac{K_{\text{alm}} - K_{\text{rech}}}{K_{\text{alm}}} \right) \times 100 \quad (\text{VII})$$

Donde:

R = Retención de la malla (%).

Kalim = Consistencia en la alimentación del lavador N° 4 (%).

K rech = Consistencia en el rechazo del lavador N° 4 (%).

Finalmente:

$$R = \left(\frac{1,0 - 0,4}{1,0} \right) \times 100 = 60 \%$$

- **Cálculo de la producción objetivo (Prod) :**

Al utilizar la siguiente ecuación y tomar en cuenta la merma objetivo (Mobj) y el consumo de fibra realizado diariamente de 110 Toneladas se tiene:

$$\text{Prod} = 100 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} - \left[\left(\frac{\text{Mobj}}{100} \right) \times 100 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right] \quad (\text{VIII})$$

$$\text{Prod} = 100 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} - \left[\left(\frac{34}{100} \right) \times 100 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right]$$

Resultando,

$$\text{Prod} = 66 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$$

- **Cálculo de la producción con rebose (Prod_r) :**

Al utilizar la ecuación VIII y considerar una merma de 36 % y el consumo de fibra realizado diariamente de 110 Toneladas se tiene:

$$\text{Prod}_r = 100 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} - \left[\left(\frac{36}{100} \right) \times 100 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Prod}_r = 64 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$$

Tabla B.1 Variables que influyen en proceso de pulpeo por cada carga al Pulper N° 4

<i>Peso de la carga (Mpaca ±1) Kg</i>	<i>Tiempo de carga ($t_{carga} \pm 0,01$)min</i>	<i>Volumen de agua en el pulper ($V_{agua} \pm 0,01$)m³</i>	<i>Tiempo desfibrado ($t_{desfibrado} \pm 0,01$)min</i>	<i>Volumen de agua de dilución ($V_{dilución} \pm 0,01$)m³</i>	<i>Tiempo de descarga ($t_{descarga} \pm 0,01$)min</i>
5554	2,51	24,77	37,70	60,79	21,08
6175	2,69	27,28	19,57	45,15	32,38
6682	2,73	28,01	35,24	96,34	11,23
6741	2,65	22,12	44,53	82,70	18,33
7008	2,96	25,57	25,46	71,22	20,78

Tabla B.2 Variables necesarias para la determinación de las consistencias a la entrada y salida de la etapa de pulpeo.

Entrada		Salida	
Volumen de la solución ($V_{sol} \pm 0,3$) mL	Masa de papel seco ($M_{papel} \pm 0,001$) gr	Volumen de la solución ($V_{sol} \pm 0,3$) mL	Masa de papel seco ($M_{papel} \pm 0,001$) gr
50,0	8,809	50,0	3,001
	7,937		4,009
	8,330		1,822
	10,273		3,212
	9,901		1,625

Tabla B.3 Variables necesarias para la determinación de la composición del papel.

Masa de papel seco ($M_{papel} \pm 0,001$) gr	Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr	Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr	Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr	Masa de papel ($M_{papel} \pm 0,001$) gr	Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$) gr
2,000	1,520	2,965	47,350	5,007	48,380
	1,510	2,922	49,320	4,020	50,188

Tabla B.4 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación del Separador de pasta espesa (T3) de la etapa de depuración gruesa

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
4,00	100,0	1,573	5,713	49,320	3,660	50,080
4,00	100,0	1,570	5,043	48,310	3,250	49,010
4,00	100,0	1,537	3,503	48,330	1,910	48,730
3,90	50,0	1,590	2,740	49,330	1,150	49,582
3,90	100,0	1,520	4,740	49,320	2,690	49,920

Tabla B.5 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado del Separador de pasta espesa (T3) de la etapa de depuración gruesa

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
2,90	50,0	1,597	3,467	45,300	3,260	46,050
3,10		1,597	2,720	45,300	3,320	46,070
2,10		1,520	2,032	30,504	1,489	30,833
2,40		1,560	2,570	45,300	3,290	46,000
2,00		1,540	2,775	45,280	4,020	46,180

Tabla B.6 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo del Separador de pasta espesa (T3) de la etapa de depuración gruesa

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
250,0	1,555	1,680	37,530	0,110	37,620
300,0	1,570	1,740	48,340	0,170	48,470
200,0	1,600	1,642	45,300	0,113	45,395
500,0	1,560	1,870	37,489	0,310	37,710
100,0	1,690	1,707	37,503	0,170	37,620

Tabla B.7 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación del agua de elutriación del Separador de pasta espesa (T3) de la etapa de depuración gruesa

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>
3,40	300,0	1,500	1,534
3,00	100,0	1,490	1,519

Tabla B.8 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación de la alimentación y aceptado de la Criba presurizada N° 23 de la etapa de depuración gruesa

Alimentación	Aceptado						
<i>Presión</i> ($P \pm 0,05$)bar	<i>Presión</i> ($P \pm 0,05$)bar	<i>Volumen de solución</i> ($V_{sol} \pm 0,3$)mL	<i>Masa papel filtro</i> ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr	<i>Masa muestra + filtro</i> ($M_{mi} \pm 0,001$)gr	<i>Masa crisol vacío</i> ($M_{cv} \pm 0,001$)gr	<i>Masa de muestra</i> ($M_{mues} \pm 0,001$)gr	<i>Masa crisol final</i> ($M_{cif} \pm 0,001$)gr
2,60	2,60	100,0	1,573	5,140	45,280	3,330	45,970
2,30	2,30	50,0	1,540	2,590	28,061	2,390	28,496
3,50	3,45	50,0	1,553	2,056	28,792	2,903	29,325
2,60	2,60	100,0	1,575	3,475	45,280	1,850	45,660
3,50	3,30	50,0	1,550	2,765	45,290	2,150	45,670

**Tabla B.9 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de la Criba presurizada
N° 23 de la etapa de depuración gruesa**

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$) gr</i>
100,0	1,590	5,410	49,290	4,162	50,130
50,0	1,530	2,750	28,062	3,902	29,060
50,0	1,560	3,010	47,350	4,408	48,380
50,0	1,530	2,690	37,500	1,680	37,880
50,0	1,595	2,880	37,520	1,830	37,900

Tabla B.10 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de la Criba presurizada N° 13 de la etapa de depuración gruesa

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
3,30	50,0	1,555	3,040	35,058	1,541	35,435
3,50		1,570	2,550	26,530	1,576	26,904
3,30		1,527	2,610	29,994	1,430	30,289
3,50		1,565	2,345	29,496	1,514	29,838
3,40		1,530	2,400	28,814	2,574	29,431

**Tabla B.11 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de la Criba
presurizada N° 13 de la etapa de depuración gruesa**

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
2,50	50,0	1,560	2,740	48,340	2,360	48,800
2,70		1,500	2,320	49,310	2,320	49,750
2,50		1,565	2,575	48,350	2,350	48,840
2,50		1,545	2,085	49,320	2,410	49,780
2,30		1,560	2,070	28,061	2,390	28,601

**Tabla B.12 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de la Criba presurizada
N° 13 de la etapa de depuración gruesa**

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$) gr</i>
100,0	1,580	1,840	49,280	2,230	49,880
150,0	1,520	1,910	48,330	2,580	49,020
50,0	1,490	1,640	45,270	2,900	45,940
50,0	1,520	1,670	37,500	2,614	38,160
100,0	1,500	1,780	47,590	2,600	48,277

Tabla B.13 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de los limpiadores de baja densidad de la etapa de depuración fina

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{CII} \pm 0,001$)gr</i>
3,00	160,0	1,480	3,010	48,330	1,290	48,590
3,00	200,0	1,500	4,030	45,270	2,680	45,870
3,00	150,0	1,470	2,740	35,060	3,330	35,730
3,00	180,0	1,480	3,110	28,180	2,910	28,781
3,00	100,0	1,510	2,736	28,810	2,660	29,275

Tabla B.14 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de los limpiadores de baja densidad de la etapa de depuración fina

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cf} \pm 0,001$) gr</i>
100,0	1,460	2,370	26,495	1,610	26,790
200,0	1,520	3,130	45,270	2,850	45,797
160,0	1,490	2,800	29,120	1,870	29,481
100,0	1,450	2,250	49,300	3,980	50,021
250,0	1,520	3,708	35,060	1,685	35,357

Tabla B.15 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de los limpiadores de baja densidad de la etapa de depuración fina

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cf} \pm 0,001$) gr</i>
160,0	1,710	3,190	49,290	1,466	50,440
300,0	1,520	5,660	30,010	2,300	31,940
100,0	1,490	2,340	45,270	5,620	49,310
200,0	1,520	3,470	26,497	4,254	29,747
250,0	1,51	4,500	30,000	1,080	30,673

Tabla B.16 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de la Criba presurizada N° 1 de la etapa de depuración fina

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
3,00	250	1,530	3,790	45,270	3,020	45,780
3,00	250	1,520	3,440	49,260	2,260	49,570
3,00	400	1,530	4,550	49,290	1,778	49,530
3,00	250	1,470	3,400	49,290	1,720	49,570
3,00	150	1,520	3,329	26,490	1,410	26,723

Tabla B.17 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de la Criba presurizada N° 1 de la etapa de depuración fina

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
2,90	300,0	1,500	4,190	28,060	2,690	28,510
2,90	250,0	1,490	3,385	37,510	1,680	37,740
2,90	250,0	1,490	3,355	45,270	1,984	45,530
2,90	300,0	1,520	3,821	49,280	2,100	49,602
2,90	150,0	1,520	3,316	30,540	2,210	30,900

**Tabla B.18 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de la Criba presurizada
N° 1 de la etapa de depuración fina**

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
200,0	1,530	4,130	48,330	2,600	48,570
200,0	1,470	4,500	26,500	3,090	26,845
250,0	1,520	4,340	45,260	2,820	45,580
150,0	1,520	3,680	49,300	2,160	49,500
150,0	1,540	4,130	48,330	2,590	48,590

Tabla B.19 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de la Criba presurizada N° 2 de la etapa de depuración fina

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{CII} \pm 0,001$)gr</i>
2,30	250	1,490	4,570	26,490	3,080	26,850
2,10	250	1,500	4,070	28,820	3,090	29,120
2,10	200	1,530	3,820	30,000	2,320	30,290
2,30	200	1,490	3,420	36,090	2,880	36,390
2,20	300	1,520	5,060	30,540	2,540	30,860

Tabla B.20 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de la Criba presurizada N° 2 de la etapa de depuración fina

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
1,60	250,0	1,510	2,890	30,540	1,380	30,970
1,60	250,0	1,510	2,700	49,300	0,760	49,490
1,50	400,0	1,540	3,380	36,100	1,840	36,560
1,60	250,0	1,500	2,900	28,820	1,490	29,250
1,50	250,0	1,490	3,390	45,250	1,190	45,608

**Tabla B.21 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de la Criba presurizada
N° 2 de la etapa de depuración fina**

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$) gr</i>
200,0	1,440	3,890	49,290	2,450	49,480
200,0	1,530	3,820	30,310	2,290	30,570
150,0	1,540	3,320	37,500	1,780	37,670
150,0	1,510	3,495	49,280	2,410	49,507
250,0	1,540	5,340	28,820	3,800	29,160

Tabla B.22 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación de la Criba presurizada N° 3 de la etapa de depuración fina

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
2,10	200,0	1,500	2,840	37,500	1,340	37,679
2,15	200,0	1,500	3,220	37,510	1,720	37,700
1,80	250,0	1,530	3,400	49,300	1,870	49,520
1,60	200,0	1,530	3,260	35,060	1,730	35,290
1,85	200,0	1,490	3,144	49,280	1,820	49,500

Tabla B.23 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado de la Criba presurizada N° 3 de la etapa de depuración fina

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
1,80	400	1,520	3,010	37,470	1,490	37,620
1,80	300	1,530	2,340	30,310	0,810	30,430
1,20	100	1,480	1,760	30,540	2,420	30,883
1,00	100	1,550	1,850	28,810	3,650	29,275
1,50	240	1,490	2,407	28,060	1,860	28,254

**Tabla B.24 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo de la Criba presurizada
N° 3 de la etapa de depuración fina**

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$) gr</i>
550	1,520	1,960	37,500	0,440	37,540
500	1,490	1,810	30,000	0,589	30,070
250	1,500	1,708	29,997	1,220	30,107
250	1,530	1,740	35,060	0,570	35,097
400	1,520	1,676	29,500	1,230	29,605

Tabla B.25 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación del primer banco de Limpiadores inversos (LT3)

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{CII} \pm 0,001$)gr</i>
1,90	250	1,530	3,630	35,060	3,330	35,730
2,10	400	1,480	4,390	28,180	2,910	29,640
2,00	400	1,480	4,160	26,490	3,860	27,400
2,10	350	1,540	3,819	28,818	1,350	29,212
1,90	250	1,480	2,995	49,29	2,350	49,886

Tabla B.26 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado del primer banco de Limpiadores inversos (LT3)

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
1,10	350	1,520	4,920	26,495	3,130	26,987
1,10	400	1,480	5,460	30,543	4,160	31,098
1,10	500	1,490	6,340	45,270	4,850	45,925
1,20	400	1,495	3,535	26,500	4,250	26,935
0,80	400	1,510	6,286	37,530	2,810	37,845

Tabla B.27 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo del primer banco de Limpiadores inversos (LT3)

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
3,60	250	1,490	2,150	45,270	0,660	45,720
3,80	500	1,480	2,660	26,49	1,431	27,400
3,80	500	1,505	1,920	30,540	0,840	31,050
3,60	100	1,510	1,760	29,997	0,886	30,608
3,70	100	1,510	1,704	49,290	1,138	49,998

Tabla B.28 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado del segundo banco de Limpiadores inversos (LT3)

<i>Presión ($P \pm 0,05$)bar</i>	<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$)mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$)gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$)gr</i>
1,70	500	1,490	3,790	36,100	1,180	36,632
1,70	500	1,450	3,130	49,290	1,680	50,104
1,80	500	1,500	2,690	26,540	1,190	27,090
1,70	200	1,500	2,110	49,340	2,470	50,530
1,60	550	1,480	3,603	49,300	1,980	50,253

Tabla B.28 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo del segundo banco de Limpiadores inversos (LT3)

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$) gr</i>
500	1,460	2,540	26,497	1,237	27,195
500	1,460	2,160	45,270	0,680	45,626
500	1,505	1,920	26,490	0,830	26,973
500	1,460	2,310	36,110	0,700	36,520
500	1,450	2,340	30,000	1,080	30,565

Tabla B.29 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la alimentación del lavador N° 3 de la etapa de lavado

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cf} \pm 0,001$) gr</i>
150,0	1,490	2,941	48,340	4,050	49,340
250,0	1,490	3,940	26,500	4,250	27,190
250,0	1,460	3,860	30,060	3,030	30,760
250,0	1,460	3,985	45,250	1,190	45,600
250,0	1,500	4,470	48,340	3,070	49,140

Tabla B.30 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado del lavador N° 3 de la etapa de lavado

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 0,3$) mL</i>	<i>Masa de la hoja ($M_{hoja} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($Mc_v \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($Mc_{II} \pm 0,001$) gr</i>
100,0	8,820	45,270	5,060	45,610
100,0	10,720	48,340	5,190	48,810
100,0	9,220	35,060	2,700	35,206
100,0	11,180	36,100	3,950	36,280
100,0	11,650	35,064	2,696	35,206

Tabla B.31 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el rechazo del lavador N° 3 de la etapa de lavado

<i>Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$) mL</i>	<i>Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol vacío ($M_{cv} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa de muestra ($M_{muestra} \pm 0,001$) gr</i>	<i>Masa crisol final ($M_{cII} \pm 0,001$) gr</i>
250	1,500	2,490	30,540	2,490	31,731
100	1,520	1,900	37,520	10,330	42,950
250	1,470	2,053	48,330	4,190	50,360
500	1,430	3,660	49,280	4,280	51,930
250	1,500	2,600	30,545	3,309	32,315

Tabla B.32 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en el aceptado y rechazo del tornillo prensa

Aceptado		Rechazo		
Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$) mL	Masa de la hoja ($M_{hoja} \pm 0,001$) gr	Volumen de solución ($V_{sol} \pm$) mL	Masa papel filtro ($M_{filtro} \pm 0,001$) gr	Masa de la muestra + filtro ($M_{mf} \pm 0,001$) gr
100,0	38,260	100	1,560	1,860
100,0	36,760	100	1,510	1,990

Tabla B.33 Variables necesarias para determinar las condiciones de operación en la salida del dispersor de la etapa de blanqueo

Volumen de solución ($V_{sol} \pm 25$) mL	Masa de la hoja ($M_{hoja} \pm 0,001$) gr	Temperatura ($T \pm 0,05$) °C	pH ($pH \pm 0,05$) adim
100,0	22,620	60,10	9,80
100,0	24,540	59,80	9,60
100,0	22,720	61,60	9,85
100,0	23,160	60,50	9,75

Tabla C.1 Parámetros obtenidos para la determinación de la composición del papel en la etapa de pulpeo

<i>Muestra</i>	<i>Porcentaje de fibra</i> ($P_{fibra} \pm 0,09$)%	<i>Porcentaje de finos</i> ($P_{finos} \pm 0,09$)%	<i>Cenizas</i> ($C \pm 0,3$)%
1	72,25	27,75	20,6
2	70,60	29,40	21,6
Promedio	71,43	28,58	21,1

Tabla C.2 Parámetros obtenidos para la determinación de la consistencia en la entrada y salida de la etapa de pulpeo.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia Pulper</i> ($K \pm 0,2$)%	<i>Consistencia en la descarga</i> ($K \pm 0,2$)%
1	17,6	6,0
2	15,9	8,0
3	16,7	3,6
4	20,5	6,4
5	19,8	3,3
Promedio	18,1	5,5

Tabla C.3 Tiempos y cantidad de agua utilizada en la etapa de pulpeo.

<i>Volumen de agua ($V \pm 0,01$) m³</i>		<i>Tiempo ($t \pm 0,01$) min</i>	
<i>Pulper</i>	<i>Dilución</i>	<i>Desfibrado</i>	<i>Descarga</i>
25,55	71,24	32,50	20,76

Tabla C.4 Presiones obtenidas en el Separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa.

<i>Presión ($P \pm 0,05$) bar</i>		
<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Agua de lavado</i>
3,95	2,50	3,20

Tabla C.5 Parámetros obtenidos para la determinación de la consistencia en el Separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia ($K \pm 0,02$) %</i>			
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>	<i>Agua de lavado</i>
1	4,14	3,74	0,05	0,01
2	3,47	2,25	0,06	0,03
3	1,97	1,02	0,02	---
4	2,30	2,02	0,06	---
5	3,22	2,47	0,02	---
Promedio	3,01	2,30	0,04	0,02

Tabla C.6 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en el Separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa.

<i>Muestra</i>	<i>Cenizas ($C \pm 0,3$) %</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	20,8	23,0	81,8
2	21,5	23,2	76,6
3	20,9	22,1	83,8
4	21,9	21,3	71,3
5	22,3	22,4	68,8
Promedio	21,5	22,4	76,5

Tabla C.7 Parámetros obtenidos para la determinación de la caída de presión en el Separador de pasta espesa de la etapa de depuración gruesa.

<i>Muestra</i>	<i>Diferencia de Presión ($\Delta P \pm 0,05$) bar</i>
1	1,10
2	1,00
3	1,80
4	1,60
5	1,80

Tabla C.8 Presiones obtenidas en la Criba presurizada # 23 (SS-23) de la etapa de depuración gruesa.

<i>Presión ($P \pm 0,05$) bar</i>	
<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>
2,90	2,85

Tabla C.9 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en la Criba presurizada # 23 (SS-23) de la etapa de depuración gruesa.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia ($K \pm 0,02$) %</i>	
	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	3,57	3,82
2	2,10	2,44
3	1,00	2,90
4	1,90	2,32
5	2,43	2,57
Promedio	2,20	2,81

Tabla C.10 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la Criba presurizada # 23 (SS-23) de la etapa de depuración gruesa.

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza (C ± 0,3)%</i>	
	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	20,7	20,2
2	18,2	25,6
3	18,4	23,4
4	20,5	22,6
5	17,7	20,8
Promedio	19,1	22,5

Tabla C.11 Presiones obtenidas en la Criba presurizada # 13 (SS-13) de la etapa de depuración gruesa.

<i>Presión (P ± 0,05) bar</i>	
<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>
3,40	2,50

Tabla C.12 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en la Criba presurizada # 13 (SS-13) de la etapa de depuración gruesa

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia (K ± 0,02)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	2,97	2,36	0,26
2	1,96	1,64	0,26
3	2,17	2,02	0,30
4	1,56	1,08	0,30
5	1,74	1,02	0,28
Promedio	2,08	1,62	0,28

Tabla C.13 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la Criba presurizada # 13 (SS-13) de la etapa de depuración gruesa

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza (C ± 0,3)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	24,5	19,5	26,9
2	23,7	19,00	26,7
3	20,6	20,9	23,1
4	22,6	19,1	25,3
5	24,00	22,6	26,4
Promedio	23,1	20,2	25,7

Tabla C.14 Presión obtenida a la entrada de los limpiadores de baja densidad de la etapa de depuración fina.

<i>Presión (P ± 0,05) bar</i>
3,00

Tabla C.15 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en los limpiadores de baja densidad de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia (K ± 0,01)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	0,96	0,91	0,93
2	1,27	0,81	1,38
3	0,85	0,80	0,85
4	0,91	0,80	0,98
5	1,23	0,88	1,20
Promedio	1,04	0,84	1,07

Tabla C.16 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en los limpiadores de baja densidad de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza (C ± 0,3)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	20,2	18,3	78,4
2	22,4	18,5	70,9
3	20,1	19,3	71,9
4	20,7	18,1	76,4
5	17,5	17,6	62,8
Promedio	22,2	18,4	72,1

Tabla C.17 Presiones obtenidas en la Criba presurizada # 1 (FS-01) de la etapa de depuración fina.

<i>Presión (P ± 0,05) bar</i>	
<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>
3,00	2,90

Tabla C.18 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en la Criba presurizada # 1 (FS-01) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia (K ± 0,01)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	0,90	0,90	1,30
2	0,77	0,76	1,52
3	0,76	0,75	1,13
4	0,77	0,77	1,44
5	1,21	1,20	1,73
Promedio	0,87	0,88	1,42

Tabla C.19 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la Criba presurizada # 1 (FS-01) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza (C \pm0,3)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	16,9	16,7	9,2
2	13,7	13,7	11,2
3	13,5	13,1	11,3
4	16,3	15,3	9,3
5	16,5	16,3	10,0
Promedio	15,4	15,0	10,2

Tabla C.20 Presiones obtenidas en la Criba presurizada # 2 (FS-02) de la etapa de depuración fina.

<i>Presión (P \pm 0,05) bar</i>	
<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>
2,20	1,55

Tabla C.21 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en la Criba presurizada # 2 (FS-02) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia (K \pm 0,01)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	1,23	0,55	1,23
2	1,03	0,48	1,15
3	1,15	0,46	1,19
4	0,97	0,55	1,32
5	1,18	0,76	1,52
Promedio	1,11	0,56	1,28

Tabla C.22 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la Criba presurizada # 2 (FS-02) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza (C ± 0,3)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	11,7	31,2	7,8
2	9,7	25,0	11,4
3	12,5	25,0	9,6
4	10,4	28,9	9,4
5	12,6	30,0	8,9
Promedio	11,4	28,0	9,4

Tabla C.23 Presiones obtenidas en la Criba presurizada # 3 (FS-03) de la etapa de depuración fina.

<i>Presión (P ± 0,05) bar</i>	
<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>
1,90	1,45

Tabla C.24 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en la Criba presurizada # 3 (FS-03) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia (K ± 0,01)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	0,67	0,37	0,08
2	0,86	0,27	0,06
3	0,75	0,28	0,09
4	0,87	0,30	0,08
5	0,83	0,38	0,04
Promedio	0,80	0,32	0,07

Tabla C.25 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en la Criba presurizada # 3 (FS-03) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza (C ± 0,3)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	13,4	10,1	9,9
2	11,0	14,8	11,9
3	11,8	14,2	9,0
4	13,3	12,7	6,5
5	12,1	10,4	8,5
Promedio	12,3	12,4	9,0

Tabla C.26 Presiones obtenidas en el primer banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.

<i>Presión (P ± 0,05) bar</i>	
<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>
2,20	1,00

Tabla C.27 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en el primer banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia (K ± 0,01)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	0,84	0,97	0,26
2	0,73	1,00	0,24
3	0,67	0,97	0,17
4	0,65	1,02	0,25
5	0,61	1,19	0,19
Promedio	0,70	1,03	0,22

Tabla C.28 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en el primer banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza (C ± 0,3)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	20,1	15,7	68,2
2	28,2	13,3	63,6
3	23,6	13,5	60,7
4	29,2	10,2	69,0
5	25,4	11,2	62,2
Promedio	25,4	12,8	64,7

Tabla C.29 Presiones obtenidas en el segundo banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.

<i>Presión (P ± 0,05) bar</i>	
<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>
3,70	1,70

Tabla C.30 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en el segundo banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia (K ± 0,01)%</i>	
	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	0,46	0,22
2	0,34	0,14
3	0,24	0,17
4	0,31	0,17
5	0,39	0,18
Promedio	0,35	0,18

Tabla C.31 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en el segundo banco de limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza (C ± 0,3)%</i>	
	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	45,1	56,4
2	48,5	52,4
3	46,2	58,2
4	49,0	58,6
5	48,1	52,3
<i>Promedio</i>	48,0	55,6

Tabla C.32 Parámetros obtenidos para la determinación de la caída de presión en los limpiadores inversos (LT3) de la etapa de depuración fina.

<i>Muestra</i>	<i>Diferencia de Presión (ΔP ± 0,05) bar</i>	
	<i>Primer banco</i>	<i>Segundo banco</i>
1	1,20	2,00
2	1,00	2,00
3	1,00	2,00
4	1,20	2,00
5	1,20	2,00
<i>Promedio</i>	1,15	2,00

Tabla C.33 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en el lavador N° 3 de la etapa de lavado.

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia ($K \pm 0,1$)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	1,0	8,8	0,4
2	1,0	10,7	0,4
3	1,0	9,2	0,2
4	1,1	11,2	0,4
5	1,2	11,7	0,4
Promedio	1,1	10,3	0,4

Tabla C.34 Parámetros obtenidos para la determinación de las cenizas en el lavador N° 3 de la etapa de lavado.

<i>Muestra</i>	<i>Ceniza ($C \pm 0,3$)%</i>		
	<i>Alimentación</i>	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	24,7	6,7	53,5
2	16,2	9,1	52,6
3	23,1	4,6	48,4
4	29,2	5,4	61,9
5	26,1	5,3	57,8
Promedio	23,9	6,2	54,9

Tabla C.35 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en el Tornillo prensa

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia ($K \pm 6$)%</i>	<i>Consistencia ($K \pm 0.01$)%</i>
	<i>Aceptado</i>	<i>Rechazo</i>
1	38	0,30
2	36	0,48
Promedio	37	0,39

Tabla C.36 Parámetros obtenidos para la determinación de las consistencias en el Dispensor de la etapa de blanqueo

<i>Muestra</i>	<i>Consistencia ($K \pm 6$)%</i>
1	22
2	24
3	22
4	23
Promedio	23

Tabla C.37 Temperatura y pH a la salida del Dispensor de la etapa de blanqueo

<i>Temperatura ($T \pm 0,05$)°C</i>	<i>PH ($pH \pm 0,05$)adim</i>
60,50	9,75