



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE FIBRA EN LA SALIDA DEL PROCESO PAPELERO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA

JAVIERA SELENE AZAGRA PARODI

PROFESOR GUÍA:
FRANCISCO GRACIA CAROCA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JORGE CASTILLO GUZMÁN
CRISTIAN SAAVEDRA FLORES

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Papeles Cordillera S.A. del grupo CMPC

SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2013

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE FIBRA EN LA SALIDA DEL PROCESO PAPELERO

Uno de los problemas que afecta a la industria papelera es la pérdida de fibra debido a los grandes costos que conlleva, correspondiendo aproximadamente al 3,3% en relación al costo de producción. Esta situación se ve magnificada en los procesos con mayor proporción de papel reciclado por su contenido de contaminantes. A raíz de esto, surge la necesidad de cuantificar las pérdidas actuales de fibra de la empresa Papeles Cordillera de CMPC, que están siendo derivadas hacia la planta de tratamiento de efluentes y de evaluar el beneficio económico de recuperación. Para lograr esto, el presente estudio analizó equipos y procesos que separen la fibra de contaminantes, además de evaluar estrategias que permitan recuperar parte de la fibra reutilizable (fibra de *buena calidad* entendida como partículas retenidas en malla Tyler 28 y 48) que podría llegar a ser utilizada en la fabricación de papel. Así, el objetivo principal de este trabajo fue evaluar la recuperación de fibra en la salida del proceso papelerero.

Este informe presenta el uso de enzimas esterases como alternativa para la remoción de contaminantes en la fibra. La utilidad de estas enzimas radica en el aumento de la velocidad de ruptura de los enlaces ésteres en los adhesivos, ocasionando una reducción de estos contaminantes. También evalúa la recuperación de fibra con procesos mecánicos mediante cribas, pues constituyen una tecnología madura en comparación con otros equipos en cuanto a separación de fibra y adhesivos.

En la primera parte de este trabajo se expone la búsqueda de alternativas de recuperación de fibra en la salida del proceso papelerero (canal Parshall Cordillera), evaluando cuatro posibles configuraciones; todas estas alternativas involucran cribas, mientras que solo dos incluyen además el uso de enzimas. Sin embargo, al realizar una evaluación económica preliminar, considerando los costos del trayecto, se propone analizar otros canales Parshall existentes debido a que las distancias de las líneas de trazado son menores en comparación con las del canal Parshall Cordillera. Hecho esto, se agregaron dos nuevas configuraciones. Por lo tanto, este trabajo presenta seis alternativas de solución en el que se realizó un análisis de factibilidad sobre cada una de ellas, para proponer finalmente, la alternativa más atractiva.

El análisis permite concluir que la alternativa con una mayor utilidad corresponde al proyecto en que se transporta la pasta desde el canal Parshall Cordillera a un espesador ubicado en el sector de papel viejo de la máquina papelera N°20. Esta opción presenta un VAN proyectado a 5 años de 1,68 [MM US\$] y una TIR del 75%, recuperando la inversión en 15 meses, siendo el proyecto más rentable.

DEDICATORIA

Quiero partir agradeciéndole a la vida, por todos los momentos maravillosos que vivido. Jamás imaginé llegar a donde estoy.

Quiero agradecerle a mi familia por estar presente. A la abuela, gracias por su amor, porque ha sido un pilar fundamental en mi vida. A mi mamá, porque sé todo lo que me amas, que tu forma de demostrar cariño es único. A mi hermano, porque pese a que no compartimos muchos momentos juntos, ambos sabemos el cariño que nos tenemos y que seríamos capaces de cualquier cosa si algo nos pasa. A mi papá por estar presente y demostrarme preocupación cuando lo he necesitado.

A mi amiga inseparable de todos estos años, Caro. Sabes cuánto te adoro y que sin ti no hubiese sido lo feliz que soy.

A mis amigos de Ingeniería: Willy, Pilly y Rafa, por hacerme vivir momentos tan especiales. Mis amigas del Liceo, Diana, Sole y Kathy, porque a pesar de lo poco que hemos compartido estos últimos años, siempre las llevo en mi corazón.

A Gina, por ser la persona que eres, tan fuerte, tan valiente y tan responsable. Estoy tan orgullosa de usted, no sabe cuánto valoro cómo ha sido en la vida.

A los tíos, Carmen y Alberto, por tratarme como si fuese una hija para ustedes. Gracias por su apoyo incondicional.

Finalmente, a ti, Feli, por ser mi compañero inseparable, por todo el apoyo que me has entregado este tiempo, por aguantarme todos estos años porque sé lo difícil que debe ser, jajaja. Te agradezco por estos hermosos momentos que hemos pasado juntos apoyándonos mutuamente. Sigamos soñando juntos de la mano...

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Francisco Gracia, por el apoyo y la disposición para sacar adelante mi memoria.

Al profesor Jorge Castillo, por esas conversaciones que me ayudaron a tener más claridad en todo ámbito de cosas y por creer en mí. De verdad, valoro muchísimo sus opiniones y su experiencia como ingeniero.

A las personas de CMPC, Papeles Cordillera, de quiénes aprendí muchísimo y ayudaron a mi formación de ingeniera. A Cristian Saavedra por guiarme en mi tema y ayudarme a crecer como persona. A Marco Figueroa, por toda la paciencia y dedicación, por tratarme como par y sentirme tan cómoda en nuestras conversaciones. Y a don Pablo Gómez, por su forma de ser, por brindarme una mano pese a no trabajar en un tema de su ámbito.

Y a Gina, por su soporte en la gestión de la titulación y su constante ayuda.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	La Empresa	2
1.2	Proceso productivo del papel	4
1.3	Productos en Papeles Cordillera	5
1.4	Fibra Reciclada	6
1.5	Temática a abordar	8
1.6	Descripción del proyecto.....	9
1.7	Preguntas centrales del trabajo	9
1.8	Hipótesis.....	9
1.9	Objetivos	10
1.9.1	Objetivo General.....	10
1.9.2	Objetivos Específicos	10
CAPÍTULO 2.	ANTECEDENTES.....	11
2.1	Métodos de Separación de Adhesivos y Fibra	11
2.1.1	Procesos Mecánicos	11
2.1.2	Enzimas Esterasa	12
2.1.3	Flotación	13
2.1.4	Métodos abrasivos	14
2.1.4.1	Aplicación con dióxido de carbono	14
2.2	Selección de Métodos de Separación de Stickies y Fibra	14
CAPÍTULO 3.	METODOLOGÍA	15
3.1	Materiales y Equipos:.....	15
3.2	Caracterización de Fibra y <i>Stickies</i>	16
3.2.1	Pasos preliminares.....	16
3.2.2	Caracterización de fibra.....	17
3.2.2.1	Caracterización con Fraccionador (Clasificación de fibra y contaminantes)	17
3.2.2.2	Clasificación porcentual de tamaño de fibras (Clasificación Bauer).....	18
3.2.3	Método de medición de stickies (conteo de stickies)	20

3.3	Alternativas de Proyectos	22
3.3.1	Alternativa 1.a: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-8	22
3.3.2	Alternativa 1.b: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-8 con aplicación de enzimas esterasa	23
3.3.2.1	Clasificación Somerville Bauer con enzimas esterasa.....	23
3.3.2.2	Metodología de uso de enzimas esterases (remoción de stickies)	23
3.3.3	Alternativa 2.a: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-20	24
3.3.4	Alternativa 2.b: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-20 con aplicación de enzimas esterasa	25
3.3.5	Alternativa 3: Transporte desde canal P. MP-20 a MP-20	25
3.3.6	Alternativa 4: Transporte desde canal P. MP-8 a MP-20	25
3.3.7	Resumen de alternativas	26
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		27
4.1	Análisis de Cuantificación de Fibra.....	27
4.1.1	Canal Parshall Cordillera.....	29
4.1.2	Canal Parshall MP-8.....	30
4.1.3	Canal Parshall MP-20.....	30
4.2	Análisis de Recuperación de Fibra en Cribas.....	32
4.2.1	Máquina Papelera N°8.....	32
4.2.2	Máquina Papelera N°20.....	32
4.3	Análisis de Adhesivos	33
4.3.1	Cuantificación de Stickies en los canales Parshall	33
4.3.2	Remoción en cribas	34
4.3.3	Caracterización con Enzimas Esterasa.....	35
4.3.3.1	Remoción de stickies.....	36
4.3.3.2	Clasificación de la fibra.....	37
4.4	Recomendaciones para futuras adquisiciones de datos.....	38
4.5	Evaluación de Proyectos	39
4.5.1	Análisis preliminar de factibilidad de proyectos	39
4.5.1.1	Alternativa 1.a	39

4.5.1.2	Alternativa 1.b.....	40
4.5.1.3	Alternativa 2.a.....	40
4.5.1.4	Alternativa 2.b.....	41
4.5.1.5	Alternativa 3.....	41
4.5.1.6	Alternativa 4.....	42
4.5.1.7	Resumen análisis preliminar de factibilidad de proyectos.....	42
4.5.2	Dimensionamiento de Proyectos.....	43
4.5.3	Dimensionamiento de equipos.....	44
4.5.4	Cañerías y Conexiones.....	44
4.6	Evaluación Económica de Proyectos.....	45
4.6.1	Supuestos para realizar flujo de caja.....	45
4.6.2	Análisis de sensibilidad.....	47
4.6.3	Desventaja de los proyectos.....	49
4.6.4	Recomendaciones para trabajos futuros.....	50
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....		51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		53
ANEXOS.....		55
ANEXO A. Principales Productores de Papeles en Chile.....		56
ANEXO B. Estructura de los Adhesivos.....		57
ANEXO C. Pérdidas de Fibra.....		58
ANEXO D. Cuantificación de Recuperación de Fibra.....		60
D.1	Parshall Cordillera.....	61
D.2	Parshall Cordillera considerando arena presente.....	61
D.3	Parshall Máquina Papelera N°8 considerando arena presente.....	62
D.4	Parshall Máquina Papelera N°20 considerando arena presente.....	62
ANEXO E. Desempeño de Cribas en Máquina Papelera N°8.....		63
ANEXO F. Simulación De Coladores En MP-20.....		65
F.1	Colador Primario, MP-20.....	65
F.1.1	Validación del ajuste de colador primario.....	67
F.2	Colador Secundario, MP-20.....	68

F.2.1 Validación del ajuste de colador secundario	70
ANEXO G. Diagramas de Flujo del área de Depuración Fina	71
G.1 Diagrama de Flujo de MP-8.....	71
G.2 Diagrama de Flujo de MP-20.....	72
ANEXO H. Memoria de Cálculo.....	73
ANEXO I. Presupuestos de Cañerías y Conexiones.....	77
ANEXO J. Flujo de Caja.....	78
ANEXO K. Diagramas de Flujo.....	80
ANEXO L. Diagramas Isométricos	86
L.1 Alternativas N°1 y N°2.....	86
L.2 Alternativas N°3 y N°4.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consumo aparente de Papeles en Chile (2007) [1].	2
Tabla 2: Cambios del proceso relacionado a cada alternativa.	26
Tabla 3: Flujo de stickies en m ² /min. Base: 100 T/d	33
Tabla 4: Propiedades físicas de la pasta. Stickies en cribas de MP-8.	34
Tabla 5: Propiedades físicas de la pasta Stickies en cribas de MP-20.	34
Tabla 6: Cuantificación de <i>stickies</i> antes (B) y después (O-540 y O-745) de aplicar las enzimas.	36
Tabla 7: Cuantificación de <i>stickies</i> con aplicación de enzimas a una concentración cercana al 1%.	36
Tabla 8: Clasificación de la fibra antes (B) y después (O-540 y O-745) de aplicar las enzimas.....	37
Tabla 9: Clasificación de la fibra con aplicación de enzimas a una concentración cercana al 1 [%].	37
Tabla 10: Factibilidad preliminar de cada alternativa.	42
Tabla 11: Dimensiones características de los proyectos a evaluar	43
Tabla 12: Características de las cañerías y conexiones para la recuperación de fibra.	45
Tabla 13: Ingresos e inversión de proyecto para recuperación de fibra.....	45
Tabla 14: Evaluación económica proyectada a 5 años.....	46
Tabla 15: Distribución de composiciones en los puntos de recuperación de fibra (canales Parshall).	49
Tabla 16: Principales fábricas de Papel en Chile y tipos de papel que producen.	56
Tabla 17: Pérdida de fibra mensual de las máquinas papeleras durante el año 2012.	58
Tabla 18: Cálculo de lodos en canales Parshall de las máquinas papeleras.	60
Tabla 19: Propiedades físicas de la fibra que cruza el Parshall Cordillera.	60
Tabla 20: Clasificación Somerville Bauer de canal Parshall Cordillera.	61
Tabla 21: Clasificación Somerville Bauer de canal Parshall Cordillera considerando la arena presente.....	61
Tabla 22: Clasificación Somerville Bauer de canal Parshall MP-8 considerando la arena presente.	62

Tabla 23: Clasificación Somerville Bauer de canal Parshall MP-20 considerando la arena presente.....	62
Tabla 24: Clasificación Somerville Bauer, entrada a CH7-1, MP-8.....	63
Tabla 25: Clasificación Somerville Bauer, salida material aceptado de CH7-1, MP-8.....	63
Tabla 26: Clasificación Somerville Bauer, entrada a CH7-2 o CH7-3, MP-8.....	64
Tabla 27: Clasificación Somerville Bauer, salida material aceptado de CH7-2 o CH7-3, MP-8.....	64
Tabla 28: Promedio de datos obtenidos mediante medición de concentración y clasificación Bauer en Depto. Técnico.....	64
Tabla 29: Propiedades físicas de la fibra en colador primario de MP-20.....	65
Tabla 30: Propiedades fisicoquímicas de la fibra en colador primario de MP-20.....	67
Tabla 31: Propiedades físicas de la fibra en colador primario de MP-20.....	68
Tabla 32: Propiedades fisicoquímicas de la fibra en colador secundario de MP-20.....	70
Tabla 33: Datos y valores para estimar la pérdida de carga.....	73
Tabla 34: Pérdida de carga por fricción.....	74
Tabla 35: Pérdida de carga por singularidad.....	74
Tabla 36: Pérdida de carga total en bomba 1.....	74
Tabla 37: Pérdida de carga total en bomba 2.....	74
Tabla 38: Dimensiones y propiedades físicas de espesador MP-8.....	75
Tabla 39: Dimensiones y propiedades físicas de los espesadores que se requieren en los proyectos a evaluar.....	76
Tabla 40: Dimensiones características de los espesadores de cada proyecto.....	76
Tabla 41: Dimensiones y propiedades físicas de las cubas que se requieren en los proyectos a evaluar.....	76
Tabla 42: Cotización de materiales y mano de obra para proyecto 2.b.....	77
Tabla 43: Cotización de materiales y mano de obra para proyecto 3.....	77
Tabla 44: Flujo de caja anual del proyecto 2.b proyectado a 5 años.....	78
Tabla 45: Flujo de caja anual del proyecto 3 proyectado a 5 años.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Industria del papel, (a) Rollos de papel (producto); (b) Fardos de papel reciclado (materia prima) [1].	2
Figura 2: Principales Productores de Papeles en Chile, diciembre 2011 [5].	3
Figura 3: Pulper, (a) Corte transversal de Pulper (UP-90); (b) Rodete axial utilizado actualmente en UP-90 de la Máquina Papelera N°20 [6].	4
Figura 4: Diagrama de bloques del proceso general de las máquinas papeleras [7].	5
Figura 5: Pérdida de Fibra en Papeles Cordillera.	8
Figura 6: Agitadores industriales	17
Figura 7: Fraccionador EINLEHNER LFM-107.	18
Figura 8: Clasificación de fibra (Bauer)	20
Figura 9: Papel filtro con muestra (blanco o testigo) encima de papel lustre.	21
Figura 10: <i>Stickies</i> que quedaron adheridos a papel lustre.	21
Figura 11: Regla para estimación de tamaño de <i>stickies</i> .	21
Figura 12: Equipo Baño María.	24
Figura 13: Porcentajes de pérdida de fibra que es transportada por el canal hacia efluentes, correspondiente a un flujo total de 126 [t/d] en Complejo Cordillera.	28
Figura 14: Porcentajes de pérdida de fibra en Papeles Cordillera que es transportada por el canal hacia efluentes con un caudal de 51 [ton/día].	28
Figura 15: Distribución de fibra correspondiente a la pérdida de fibra transportada por el canal Parshall Cordillera a partir de un flujo de 51 [t/d].	29
Figura 16: Distribución de fibra correspondiente a la pérdida de fibra que cruza el canal Parshall Cordillera considerando la arena presente.	29
Figura 17: Distribución correspondiente a la pérdida de fibra que cruza el canal Parshall MP-8 considerando la arena presente.	30
Figura 18: Distribución correspondiente a la pérdida de fibra que cruza el canal Parshall MP-20 considerando la arena presente.	30
Figura 19: Comparación de la clasificación de fibra entre P. MP-8 y P. MP-20	31
Figura 20: Comparación de los tres canales Parshall por donde cruza la fibra que termina siendo eliminada en la PTE.	31

Figura 21: Comparación de recuperación de fibra en coladores de MP-8 y MP-20.....	33
Figura 22: Porcentajes de remoción de <i>stickies</i> en las dos primeras cribas analizadas en MP-8 y MP-20.	35
Figura 23: Comparación del VAN de los proyectos en función al tiempo.....	46
Figura 24: Gráfico del VAN en función del porcentaje de aumento de la Inversión.....	47
Figura 25: Gráfico del VAN en función de la tasa de descuento	48
Figura 26: Gráfico del VAN en función de la variación de fibra recuperada.....	48
Figura 27: Configuraciones a la entrada de colador primario.....	49
Figura 28: Adhesivos que se encuentran en el papel reciclado.	57
Figura 29: Pérdida de fibra de Máquina Papelera N°8 en base a consumo, 12 meses.....	59
Figura 30: Pérdida de fibra de Máquina Papelera N°10 en base a consumo, 12 meses.....	59
Figura 31: Pérdida de fibra de Máquina Papelera N°20 en base a consumo, 12 meses.....	59
Figura 32: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida de material aceptado a partir del flujo total en la entrada del colador primario.....	66
Figura 33: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida de material aceptado a partir de la consistencia en colador primario.	66
Figura 34: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida aceptada a partir de la cantidad de fibra de buena calidad en la entrada del colador primario.	66
Figura 35: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida de material aceptado a partir del flujo total en la entrada del colador secundario.....	68
Figura 36: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida de material aceptado a partir de la consistencia de colador secundario.	69
Figura 37: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida aceptada a partir de la cantidad de fibra de buena calidad en la entrada del colador secundario.	69
Figura 38: Diagrama de flujo de MP-8, Sector de Limpieza Fina, Papel Viejo.....	71
Figura 39: Diagrama de flujo de MP-20, Sector de Limpieza Fina, Papel Viejo.	72

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo ha sido realizado en las instalaciones de la empresa Papeles Cordillera, CMPC (Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones), dedicada al proceso de producción y comercialización de papeles, en particular, papeles para corrugar, envolver, de embalaje y laminado. En la planta de Papeles Cordillera, localizada en la comuna de Puente Alto, la producción comienza con la obtención de materia prima, primordialmente, papel reciclado y un porcentaje menor de celulosa. Los desechos, materiales que forman parte del papel reciclado pero no son utilizados en la elaboración de papel, terminan siendo eliminados en distintas etapas del proceso junto con fibra de celulosa. El foco de atención del trabajo de título será la pérdida de fibra hacia la sección de tratamiento de efluentes, en las líneas que, después de las etapas de separación, transportan residuos.

¿Qué es el papel? [1]

El papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa, las que se entrecruzan formando una lámina resistente y flexible. Estas fibras provienen del árbol mediante el procesamiento de la madera y, según su longitud, se pueden clasificar en dos categorías: fibras largas, generalmente obtenidas de pino insigne u otras coníferas, cuya longitud promedio es de 3 [mm], aproximadamente; y fibras cortas, obtenidas principalmente del eucalipto, con una longitud de 1 a 2 [mm].

Básicamente, la madera está constituida por lignina y fibras de celulosa, y el primer paso para la obtención de pulpa consiste en triturar la madera. Según los procesos utilizados, se distinguen dos tipos de pulpa: mecánica o química, cada una de las que da origen a diferentes tipos de papel en cuanto a rigidez y blancura. Dependiendo del uso final que se le dará al papel en su fabricación, se utiliza una mezcla de los diferentes tipos de fibras, las que aportarán sus características específicas al producto final.

La Industria del papel en Chile [1]

El consumo de papel en Chile se mide a través del denominado *consumo aparente*. El consumo aparente se define como la producción local, más las importaciones de papel, menos las exportaciones de papel. El consumo aparente en Chile es de alrededor de 1.138 toneladas anuales, desglosado en siete grandes categorías. En la Tabla 1 se observa que entre los tipos de papeles de mayor consumo en Chile, los papeles para corrugar son significativamente más utilizados.

Tabla 1: Consumo aparente de Papeles en Chile (2007) [1].

Tipos de Papeles	Miles de ton.
Papeles para Corrugar	568
Papeles de Impresión y Escritura	230
Cartulinas	60
Papel para Periódicos	80
Papeles Tissue	150
Papeles de Envolver	30
Otros Papeles	20
TOTAL	1.138

1.1 LA EMPRESA

La Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC) fue fundada en 1920 en los terrenos de una antigua fábrica ubicada en la localidad de Puente Alto, en Santiago, Chile. Empresas CMPC ha sido pionera en Chile en la fabricación de celulosa y papel. Con más de 80 años de existencia, la empresa está presente, principalmente, en cinco áreas de negocio a través de un holding de empresas: Forestal Mininco, CMPC Celulosa, CMPC Papeles, CMPC Tissue y CMPC Productos de Papel, participando en más de cincuenta países en los cinco continentes [2,3].

Papeles Cordillera S.A., perteneciente al grupo de empresas CMPC, es una compañía de reconocida trayectoria en la industria del papel; comercializa alrededor de 320 mil toneladas al año de una variada gama de papeles (Figura 1.a). Cuenta con una fábrica compuesta por tres máquinas papeleras: la N°8, N°10 y N°20, además de máquinas de conversión. La principal materia prima para la fabricación de los productos son papeles y cartones en desuso, utilizando anualmente alrededor de 300 mil toneladas de fibras recicladas (Figura 1.b) [4].

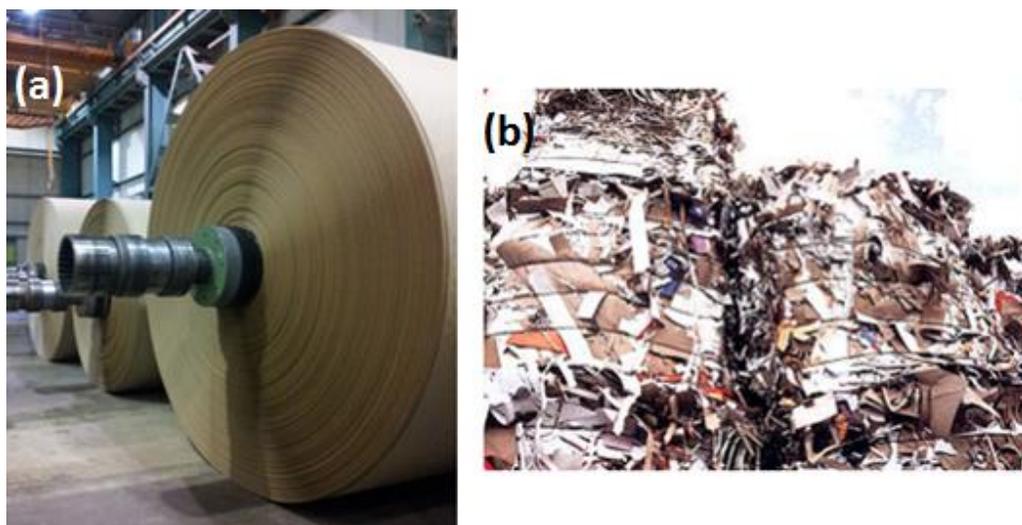


Figura 1: Industria del papel, (a) Rollos de papel (producto); (b) Fardos de papel reciclado (materia prima) [1].

Mercado Nacional [1]

La Empresa Distribuidora de Papeles y Cartones S.A. (EDIPAC) distribuye papeles de impresión y escritura, cartulinas, papeles de envolver y embalaje, y productos de papel. Esta filial de CMPC es la distribuidora más grande del país, con operaciones en todo Chile. EDIPAC abastece a imprentas, editoriales, empresas, oficinas y establecimientos educacionales, mediante la comercialización de productos nacionales fabricados por Empresas CMPC, y de papeles importados fabricados por prestigias empresas internacionales.

CMPC produce y comercializa papeles y cartulinas a través de sus cuatro plantas ubicadas en Chile: Papeles Río Vergara (Nacimiento), Cartulinas CMPC (Maule y Valdivia) y Papeles Cordillera (Puente Alto). A través de SOREPA (Sociedad Recuperadora de Papel) recolecta el papel usado y de EDIPAC (Empresa Distribuidora de Papeles y Cartones) comercializa papeles de impresión. Los productos de esta área se exportan principalmente a Latinoamérica, Estados Unidos, el Caribe, Europa y Asia.

En la Figura 2 se observa el mercado de productores de papeles en Chile, siendo empresas CMPC el principal productor de papel nacional, con más de un 70% de participación en el mercado.

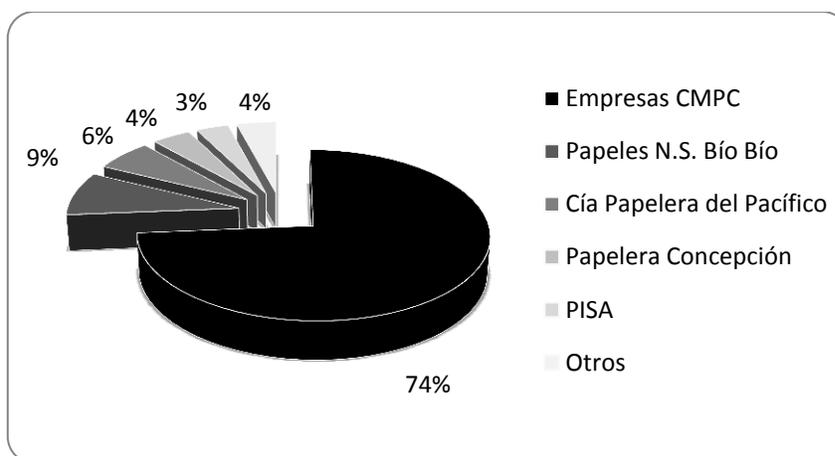


Figura 2: Principales Productores de Papeles en Chile, diciembre 2011 [5].

En el ANEXO A se detalla la ubicación, producción anual y tipo de papel que produce cada una de estas empresas (CMPC tiene varias sedes localizadas en distintas regiones del país).

Mercado Internacional [1]

Empresas CMPC comercializa papeles para corrugar, que se exportan a Argentina, Perú, Brasil, Ecuador, Colombia y México además de papeles para la fabricación de placas de yeso, que se exportan a Argentina y Brasil.

1.2 PROCESO PRODUCTIVO DEL PAPEL

En las máquinas papeleras, se desarrolla el siguiente proceso productivo [1]:

El papel se fabrica a partir de celulosa y/o material reciclado, el que es transportado desde su lugar de almacenamiento a través de camiones.

Las fibras necesarias para fabricar el papel se mezclan con agua, en las proporciones requeridas, en un disgregador llamado *Pulper*¹ para realizar el proceso de conminución húmeda, formando una pasta acuosa que contiene las fibras (Figura 3). Luego, prosiguen varias etapas: depuración, separación y refinación, con el fin de recuperar fibra (eliminando plásticos, adhesivos, arena, etc.) en forma de pasta. Esta pasta es depositada sobre una tela móvil para el entrecruzamiento de las fibras. Por otra parte, el material rechazado se vuelve a procesar mediante hidrociclones y clasificadores, con el fin de recuperar parte de la fibra mezclada con desechos. Finalmente, los desechos son eliminados llevándose un determinado porcentaje de fibra. Desde el material recuperado, a medida que la tela avanza, se va drenando el contenido de agua de la pasta, quedando sobre la tela una película de fibras húmedas que constituyen la hoja de papel.

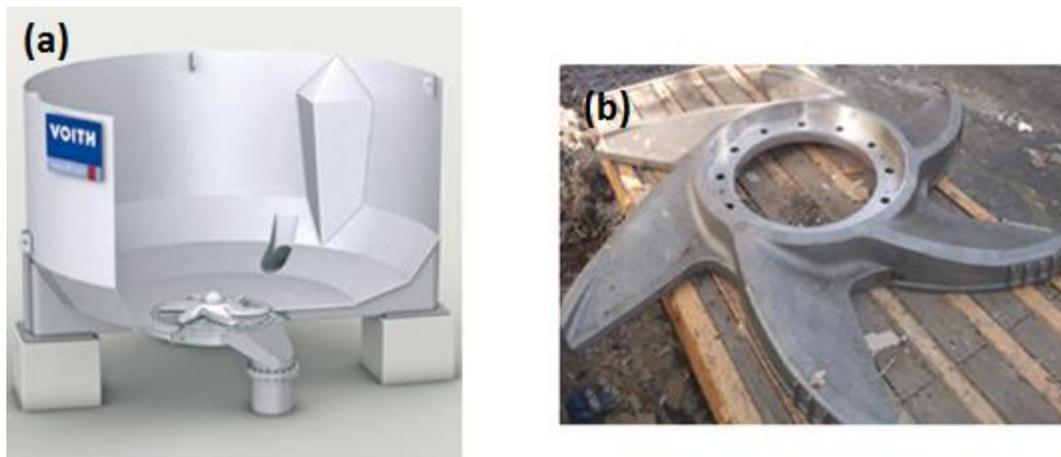


Figura 3: Pulper, (a) Corte transversal de Pulper (UP-90); (b) Rodete axial utilizado actualmente en UP-90 de la Máquina Papelera N°20 [6].

El peso o gramaje de los papeles puede ser aumentado agregando mayor masa de fibras en la pasta, es decir, incrementando la densidad de ésta. Luego, la hoja de papel pasa por prensas que la comprimen (por presión y succión). La hoja de papel húmeda pasa por distintos grupos de cilindros secadores calentados con vapor, que terminan de secarla.

¹ Es una cuba con un rodete axial en el centro, que se encarga de disgregar fardos de papel, logrando una pasta compuesta por fibra, agua e impurezas.

Después, el papel recibe un baño de almidón para sellar su superficie. El papel pasa a través de unos rodillos de acero para proporcionarle tersura y un espesor homogéneo. Finalmente, el papel se enrolla, para luego ser bobinado y/o cortado a las medidas requeridas.

El proceso productivo de las máquinas papeleras puede ser expresado de manera resumida mediante la Figura 4. En ella se señalan las distintas etapas que conforman dicho proceso, desde que se recibe la materia prima hasta que se obtiene el producto final y es despachado a los clientes.

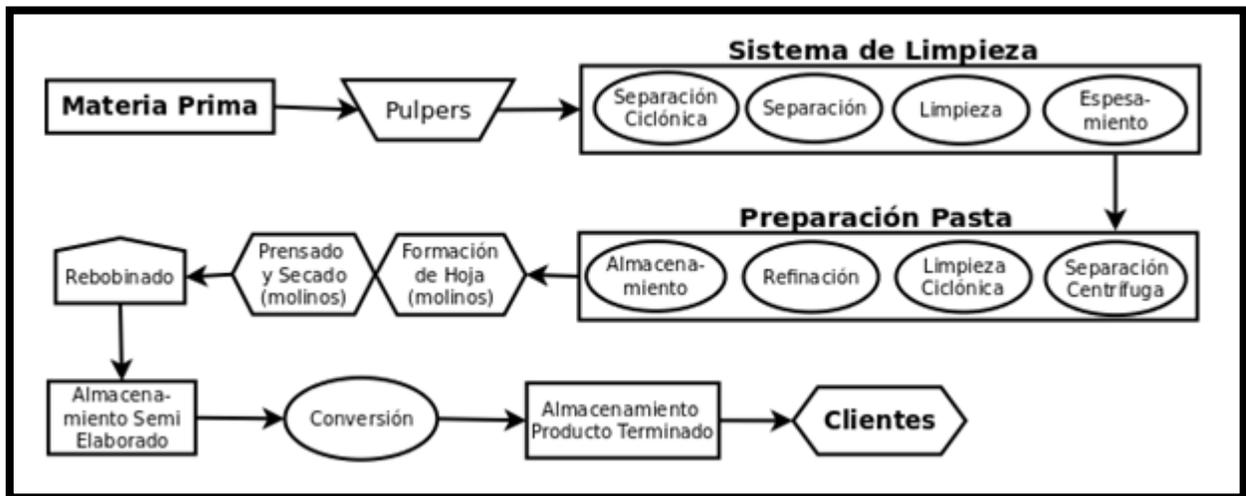


Figura 4: Diagrama de bloques del proceso general de las máquinas papeleras [7].

1.3 PRODUCTOS EN PAPELES CORDILLERA

Papeles Cordillera atiende mercados principalmente para la fabricación de cajas de cartón corrugado, placas de yeso, otras aplicaciones de uso industrial y de comercio masivo [1].

- **Papeles para corrugar:** Se usan en la fabricación de todo tipo de cajas que deben responder a exigencias mecánicas con resistencia al apilamiento, manipulación y conservar en buenas condiciones los productos hasta el lugar de destino.
- **Papeles de Uso Industrial:** Son fabricados para fibrotambores, caños y esquineros. Su utilización principal es para la protección de bordes, fijación y consolidación de carga en productos para la industria del papel corrugado.
- **Papeles de Construcción:** Son fabricados para planchas de yeso; son cartones de alta resistencia que revisten por ambas caras al complejo compuesto por un núcleo de yeso y aditivos especiales. Su utilización principal es la conformación de soluciones constructivas de tabiques y cielos interiores en proyectos de edificación con las características ignífugas y aislantes acústicos.

- **Papeles para envolver, embalaje y laminado:** Son hechos, tanto en la industria como en el comercio, para fabricación de saquitos o como soporte de otros papeles. Para envolver masivo, como seda blanco, kraft, generadores de gases, embalaje KP, KPK para laminar.

En la MP-20 se producen distintos tipos de papel [1]:

- **Liner Blanco:** Papel fabricado con dos capas. La exterior está compuesta de fibras vírgenes de celulosa blanqueada de pino y eucalipto, que permiten impresiones de alta calidad, por su lisura, limpieza y calidad de blanco. El reverso está fabricado con 100% de fibra reciclada.
- **Liner Cordillera:** Papel producido con 100% de fibra reciclada, cuyo proceso permite una excelente limpieza y fraccionamiento de las fibras.
- **Test Liner:** Papel producido con una mezcla de fibra reciclada y corrugado, cuyo proceso permite una excelente limpieza y fraccionamiento de las fibras.
- **Onda:** Papel producido con recortes de cartón corrugado, fabricado con 100% de OCC nacional (OCC: *Old Corrugated Containers*).

En particular, para el trabajo de memoria, en la MP-8 también se trabajó con papel onda. Es, prácticamente, el único tipo de papel que se produce en esta máquina. En la MP-20 también se trabajó con papel onda, con la finalidad de mantener un solo tipo de papel durante el análisis de desempeño.

1.4 FIBRA RECICLADA

El empleo de papel reciclado es cada vez mayor a nivel mundial para la fabricación de papeles y cartones en la industria papelera. Esto ocurre debido a las ventajas económicas y medioambientales que éste ofrece, tales como [8]:

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que pueden afectar al cambio climático (menor emisión de sustancias contaminantes a los ríos y a la atmósfera).
- Disminución del consumo de energía, agua y madera necesaria para una serie de productos de papel.
- Ahorro considerable de espacio en los vertederos.

Sin embargo, también presentan desventajas, como los contaminantes que están presentes en la fibra reciclada. Por esta razón, la industria invierte esfuerzos en investigación y desarrollo para conocer los contaminantes presentes en ella y el envejecimiento de fibras, con el propósito de retirar de forma más efectiva estos contaminantes que afectan la calidad del papel o cartón producidos. Para el control de estas variables, se requiere información sobre la degradación de

la fibra y efectos sinérgicos de los adhesivos incorporados en la operación de fabricación, transformación y uso del papel [9].

La integración de fibra reciclada en la formulación de papel debe cumplir con estándares de calidad para competir con papeles provenientes de fibras vírgenes. Como se mencionó anteriormente, los fenómenos importantes inducidos por la fibra reciclada son: envejecimiento natural de la fibra y presencia de material no fibroso existente en la materia prima (papel post consumo). Ambos fenómenos conducen a la pérdida de propiedades de uso del papel por las características de envejecimiento de las fibras y presencia de materiales adhesivos², entre otros, como presencia de finos orgánicos e inorgánicos [10].

La principal fuente de contaminantes potenciales es el papel de recuperación. Con el papel recuperado entran en el proceso materias como: cintas adhesivas, etiquetas, adhesivos termofusibles, también conocidos como *hot melts*³, ceras, tintas, cauchos, entre otros. También cabe incluir algunos aditivos que, en determinadas condiciones, son causa potencial de *stickies*. Éste es el caso de polímeros, surfactantes, aditivos mejoradores de la resistencia en húmedo, etc.

Entre las dificultades encontradas en el campo de destintado para mantener o incrementar la calidad del papel, la presencia de diversos materiales adhesivos que se encuentran en los documentos recuperados es uno de los problemas más trascendentales (o incluso, el más importante) en algunas fábricas [11, 12].

Los problemas ocasionados por los *stickies* se pueden clasificar en dos grupos:

- Problemas en la calidad del producto, por ejemplo, manchas, agujeros, disminución de la resistencia mecánica, efectos adversos en operaciones de encolado, impresión, etc.
- Problemas operacionales en el proceso. Los principales están localizados en la máquina: roturas de la banda de papel, degradación en telas, fieltros, rodillos de prensado y/o de secado, cuchillas, entre otros. Los problemas de operación en máquina producen, finalmente, dos graves consecuencias: un aumento excesivo de la frecuencia de las operaciones de mantenimiento, limpieza, recambio de materiales y, un aumento en la frecuencia de rotura y en la proporción de rechazos.

Ambos problemas reducen la eficacia del proceso e incrementan los costes de producción.

² Para facilitar la comprensión del lector, *stickies* es el término inglés que se ha impuesto en el lenguaje papelerero para nombrar este material adhesivo; desde aquí en adelante se utilizará, indistintamente, *stickies* o adhesivos.

³ Es una sustancia sólida que una vez fundida se puede emplear como adhesivo.

1.5 TEMÁTICA A ABORDAR

Actualmente, en Papeles Cordillera se presenta un problema derivado de la alta pérdida de fibra que se elimina durante el proceso productivo.

En la Figura 5 se resume que, en una etapa inicial, hay aproximadamente un 9% de fibra que se pierde (equivalente a aproximadamente 95 [t/d], de un total de 1.050 [t/d]) de los que el 45% (43 [t/d]) corresponde a fibra adherida a sólidos de granulometría superior a 1 [cm] como recubrimientos plásticos, corchetes, metales, adhesivos, entre otros, que terminan siendo desechados en vertederos. El 55% restante (52 [t/d]), corresponde a fibra suspendida en agua junto con impurezas de tamaño de partícula inferior a 1 [cm], como plumavit, arena, stickies, etc., las que van dirigidas hacia la planta de tratamiento de efluentes (PTE).

En el laboratorio del Departamento Técnico de Papeles Cordillera, se han estado realizando estudios acerca del porcentaje de fibra útil que podría llegar a ser recuperado en la salida del proceso papelerero: canal Parshall Cordillera⁴. Para lograr esta recuperación, será necesario encontrar equipos o procesos que separen la fibra de contaminantes, además de buscar alternativas que permitan remover *stickies* que van adheridos a la fibra.

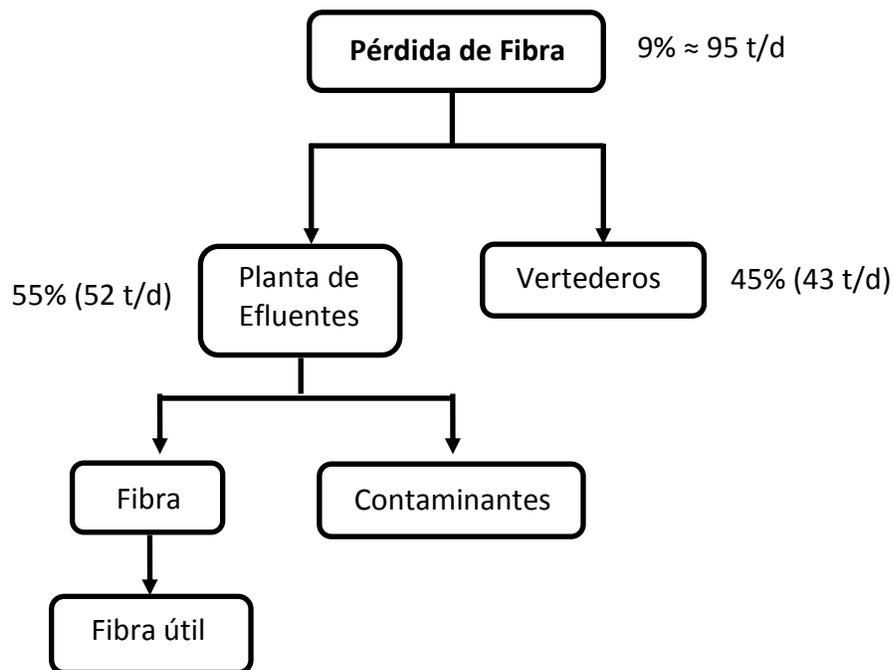


Figura 5: Pérdida de Fibra en Papeles Cordillera.

⁴ Canal Parshall es un sistema que se aplica para la medición de caudales, en este caso particular, Cordillera es el nombre que recibe este punto. La notación utilizada será P., para referirse a la palabra Parshall.

1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El trabajo de memoria consiste en evaluar distintas alternativas de recuperación de fibra mediante nuevos procesos o modificación de equipos ya existentes. La búsqueda estará centrada en la opción más atractiva desde el punto de vista técnico y económico para la recuperación de fibra en la línea de efluentes líquidos de la planta Papeles Cordillera.

En una primera etapa, se realizarán estudios que permitan determinar los porcentajes de fibra que pueden llegar a ser recuperados y luego utilizados en la fabricación de papel. Con datos entregados por la empresa, es posible determinar aproximadamente cuánto correspondería a fibra reutilizable (potencial de recuperación) para la producción de papel. Sin embargo, existe un porcentaje de fibra que no está siendo considerado, correspondiente a la fibra que va adherida a los *stickies*. Este valor debe ser estudiado, haciendo necesaria la búsqueda de métodos que separen los adhesivos de la fibra. Es por esta razón que el proyecto se enfocará tanto en la remoción de adhesivos como en la recuperación de fibra que está siendo eliminada junto con contaminantes.

Los resultados de este trabajo podrían tener impacto en el aumento de la productividad de la planta y en la disminución de los desechos que van dirigidos a la planta tratamiento de efluentes.

1.7 PREGUNTAS CENTRALES DEL TRABAJO

Las secciones anteriores han dado cuenta de la importancia de la minimización de la pérdida de fibra en la industria papelera. En este contexto, la búsqueda de métodos, mecánicos y/o químicos, que permitan separar la fibra de los contaminantes es fundamental para lograr algún tipo de recuperación.

Por lo tanto, las preguntas que motivan este trabajo pueden ser expuestas del siguiente modo:

- ¿Qué propiedad fisicoquímica permite separar la fibra de los *stickies*?
- ¿Es posible la remoción de *stickies* mediante alguna tecnología que permita separarlos de la fibra sin afectar el proceso?
- ¿Es factible la recuperación de fibra sin contaminar significativamente la máquina papelera?

1.8 HIPÓTESIS

En relación con la separación de fibra y contaminantes, efectivamente, es posible recuperar parte de ésta mediante procesos mecánicos o químicos en la salida del proceso paplero, pudiendo ser una alternativa de recuperación de fibra viable.

1.9 OBJETIVOS

1.9.1 *Objetivo General*

El objetivo principal de este trabajo consiste en evaluar proyectos alternativos que permitan la recuperación de fibra que termina en la planta de tratamiento de efluentes (salida del proceso papelerero). Para ello, se estudiarán distintos métodos y equipos que separen la fibra adherida a los contaminantes.

1.9.2 *Objetivos Específicos*

Para lograr el objetivo general planteado, se definen los siguientes objetivos:

- Estudiar y entender el proceso de la producción del papel.
- Cuantificar la pérdida de fibra a la salida del proceso (considerando las tres máquinas papeleras).
- Recopilar información de propiedades fisicoquímicas tanto de la fibra suspendida como contaminantes, en particular *stickies*.
- Analizar la factibilidad técnica y, posteriormente, solo con las mejores alternativas de recuperación de fibra, realizar una evaluación económica de los proyectos.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

En la industria de reciclado de papel, los adhesivos que aparecen en residuos de cuadernos, carpetas, cajas y otros desechos de papel, han significado un problema a la hora de su tratamiento en las fábricas, debido al daño que ocasionan en las maquinarias y al bajo rendimiento del proceso de la fabricación del papel a partir de material reciclado. Por esta razón, las empresas recicladoras de papel han incorporado a sus procesos nuevas etapas para eliminar estos adhesivos y, de esta manera, disminuir los problemas en sus equipos.

De acuerdo a este contexto, varias asociaciones de empresas relacionadas con la producción e impresión de papeles autoadhesivos y de reciclado de papel han dedicado sus esfuerzos a encontrar una solución a este problema, creando adhesivos menos contaminantes o desarrollando una técnica diferente para reciclarlos. Además de estas asociaciones, algunas empresas del sector biotecnológico han realizado investigaciones con algunas enzimas que puedan degradar estos *stickies* [13].

Debido a este problema, se han estudiado distintos métodos de remoción de adhesivos.

2.1 MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE ADHESIVOS Y FIBRA

Como se mencionó en secciones anteriores, uno de los graves problemas que afecta a la industria papelera, especialmente cuando hay un alto porcentaje de material reciclado, es la pérdida de fibra. Debido a esta razón, nace la necesidad de estudiar distintos procesos que permitan separar la fibra adherida a los distintos contaminantes, en particular *stickies*.

2.1.1 *Procesos Mecánicos*

Uno de los equipos más importantes en el proceso de separación entre la fibra y contaminantes corresponde a las cribas⁵.

El cribado es, básicamente, una tecnología de separación física por tamaño de partículas. Es utilizada para remover variadas impurezas en las distintas etapas de la fabricación de papel, desde el desintegrador de pasta (*pulper*) hasta la etapa de aproximación, así como en la fabricación de pulpas vírgenes y recicladas (manejo de recortes).

Esta tecnología es clave para alcanzar los requerimientos de limpieza de la pulpa en el reciclaje, dado que el proceso remueve la mayoría de los contaminantes, desde grandes *films* plásticos e impurezas de tamaño similar hasta partículas muy pequeñas y *stickies* bajo el rango visible.

⁵ En la industria papelera es usualmente conocido con el nombre de coladores. Para referirse a este equipo, indistintamente se utilizarán las palabras cribas o coladores.

De hecho, es la mejor tecnología disponible actualmente para eliminar macro-adhesivos y otros contaminantes. Puede estar situada en posición horizontal o vertical. Tiene un motor que produce una rotación de la pasta y contiene un canastillo con un tamaño de abertura que va desde 0,15 [mm] hasta 0,45 [mm], permitiendo que el material aceptado (fibra) cruce la placa perforada o ranurada, mientras que el material rechazado (adhesivos y otros contaminantes) queda retenido para ser eliminado, siendo enviado por canaletas hacia la planta de efluentes, donde debe ser tratado por otra empresa (EcoRiles – Aguas Andinas) [11, 14].

2.1.2 **Enzimas Esterasa**

Las enzimas son catalizadores de origen biológico, pues éstas permiten que las reacciones metabólicas, como cualquier catalizador, provean un mecanismo de reacción paralelo cuya velocidad es mayor que el mecanismo normal (sin presencia de catalizador). Este nuevo mecanismo tiene una menor energía de activación que el mecanismo normal. En el caso de las enzimas, éstas se combinan con los reactivos produciendo un estado de transición cuya energía de activación es menor que en la reacción no catalizada. Para que estas enzimas actúen de forma eficiente (cumplir su función de degradar al sustrato), deben conservar su estructura sin ser desactivadas por los cambios bruscos de pH o temperaturas.

De acuerdo a información encontrada en la literatura, la mayoría de las estructuras de los adhesivos están compuestas por ésteres⁶. El adhesivo más común en la industria papelera, corresponde a acetato de polivinilo que es un polímero cuyo principal uso es en pegamentos, pinturas, textiles y productos de papel. Por lo tanto, es de gran relevancia buscar algún producto que sea capaz de degradar este grupo funcional y, de esta forma, eliminar su poder de adherencia. El principal atractivo de las esterases radica en esta propiedad.

Las esterases son enzimas que actúan como catalizadores en reacciones de hidrólisis de ésteres carboxílicos (carboxilesterasas), amidas (amidadas), ésteres de fosfato (fosfatasas), etc. El ácido acético y el acetaldehído son productos de la hidrólisis del acetato de vinilo mediante las carboxilesterasas.

Así, la enzima esterasa es útil para la disminución de *stickies* en la pulpa reciclada. Esta enzima reacciona rompiendo los enlaces ésteres en el adhesivo, ocasionando una reducción del mismo. Éste producto es ofrecido por Buckman Laboratorios Ltda., y será utilizado para realizar las pruebas en el laboratorio del Departamento Técnico [10].

⁶ Para mayor detalle sobre la composición de los *stickies*, ver ANEXO B.

Las hojas técnicas de control enzimático de *stickies* de Buckman recomiendan los siguientes parámetros críticos de uso del producto [15, 16]:

- **Temperatura óptima de 35 a 60 [°C]**
- En Papeles Cordillera, en promedio, las máquinas operan a una temperatura cercana a los 40 [°C], sin embargo, la temperatura de la pasta que es transportada en el Parshall Cordillera varía entre los 23 [°C] a los 29 [°C]. Si bien, un intervalo está por debajo de la temperatura óptima a la que actúan las enzimas, es cercano a los 25 [°C] por lo que el proceso no debería verse afectado. En caso de que la temperatura disminuyera significativamente, se debe poner atención a este punto para poder trabajar en condiciones ideales.
- **pH óptimo de 6,5 a 9**
Las máquinas funcionan en un rango de 6,5 a 7,5, por lo que es importante considerar este punto y realizar un seguimiento del pH que hay en el canal Parshall Cordillera. Puede requerirse, eventualmente, controlar el pH desde valores ácidos.
- **Tiempo de contacto óptimo mínimo de 45 minutos**
Éste es un factor relevante, ya que se debe evaluar si es posible mantener durante este período de tiempo la pasta en algún equipo (tiempo de residencia).
- **Rango de dosificación de 0,1 a 0,25 [kg/ton] (Optimize 540) y 0,1 a 0,4 [kg/ton] (Optimize Plus 745)**
Se realizarán pruebas que estén dentro de estos rangos de dosis.

2.1.3 Flotación

La flotación es un proceso fisicoquímico de tres fases (sólido-líquido-gas) que tiene por objetivo la separación de especies (como la tinta y la fibra). La fase sólida está representada por las materias a separar; la fase líquida, por el agua; y la fase gas; por el aire.

El proceso se basa en la adhesión selectiva de partículas de tinta a burbujas de aire y el transporte a la superficie, formando una capa de espuma. Este proceso es posible gracias al comportamiento hidrófobo de las partículas, permitiendo que puedan ser eliminadas, mientras que las fibras son retenidas en la suspensión. La espuma formada se retira de la suspensión, mecánicamente, por rebose o por extracción al vacío. Se añaden reactivos químicos como jabones de ácidos grasos no saturados que reaccionan con la tinta formando un complejo fuertemente hidrófobo que se adhiere a la burbuja de aire [17].

Es posible que además de eliminar la tinta, este método también sea capaz de remover un porcentaje de los materiales adhesivos, por lo que se realizarán pruebas para comprobar su efectividad.

2.1.4 **Métodos abrasivos**

La limpieza abrasiva utiliza pequeñas partículas (por ejemplo, arena) propulsadas por una corriente de aire o agua para impactar en alguna superficie, por ejemplo, paredes de un equipo, eliminando contaminantes a través de la fuerza de su colisión. Existe una amplia variedad de medios abrasivos de diferentes tamaños para cubrir necesidades específicas [18].

2.1.4.1 **Aplicación con dióxido de carbono**

Este método de limpieza usa pellets de dióxido de carbono (CO₂) bajo el punto de fusión (hielo seco), los que son soplados mediante aire comprimido al objeto que debe limpiarse.

Al proceso de tratamiento del papel reciclado se le inyecta CO₂ sólido. La fuerza de impacto de los pellets provoca que se contraigan los stickies. Además, la temperatura del hielo seco (cerca de -80 [°C]) podría influir en la propiedad adhesiva de los *stickies* quitando el pegamento, de manera que se lograría la separación de la fibra de forma efectiva. Este proceso se puede aplicar en la fabricación mecánica de pulpa para eliminar resinas [19].

2.2 **SELECCIÓN DE MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE STICKIES Y FIBRA**

Los cuatro métodos de separación antes descritos fueron estudiados y analizados. Finalmente, se decidieron las siguientes opciones:

- Remoción de *stickies* con **enzimas esterasas** debido a que el Departamento Técnico de Papeles Cordillera cuenta con los equipos para desarrollar la evaluación técnica.
- Recuperación de fibra con **procesos mecánicos** mediante cribas, debido a que es una tecnología madura en comparación a la de otros equipos en cuanto a separación de fibra y adhesivos. Su desempeño será evaluado en planta.

Si bien existen otras opciones, en esta evaluación no fueron consideradas por los plazos relacionados con este proyecto y, teniendo en cuenta estas limitaciones, han sido elegidas estas tecnologías, ya que hay mayor experiencia a nivel industrial [10, 11, 14].

Complementando los antecedentes señalados, en el caso del proceso de flotación se analizaron muestras con equipos similares existentes en el Departamento Técnico, sin embargo, estos no son capaces de simular el proceso que ocurre en la planta. Con respecto al método abrasivo, se determinó un límite de tiempo para investigar esta opción, no obstante, la información disponible en la literatura no fue suficiente (en el plazo establecido). Además, para la implementación se requiere un equipo de inyección que no está disponible en planta.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

En el capítulo 1 se señaló que uno de los objetivos planteados consiste en realizar una evaluación técnica de posibles formas de recuperación de fibra y efectividad en la remoción de adhesivos.

Ya que no es posible realizar pruebas en planta piloto, con el propósito de comprobar si son factibles las distintas alternativas de proyecto, se evaluó el desempeño de cada equipo, aditivo y conexiones (disposición de nuevos equipos) necesarias para conformar cada proyecto.

Todos los proyectos analizados requieren del uso de cribas y, algunos de ellos, de la aplicación de enzimas. Para evaluar el desempeño de estas cribas, se tomaron muestras en la Máquina Papelera N°8 (MP-8)⁷ y en la Máquina Papelera N°20 (MP-20)⁸, según los protocolos detallados en la sección 3.2.

En el caso de las enzimas, las muestras fueron tomadas en el canal Parshall Cordillera, analizándolas de acuerdo a la metodología que aparece en las secciones 0 y 3.3.2.2.

Con respecto a las conexiones, se presentan distintas alternativas para la recuperación de fibra en la sección 3.3.

La evaluación del desempeño de cribas, anteriormente mencionada, se realiza en términos de concentración de *stickies* mediante el método de medición de éstos, calidad de la fibra (clasificación Bauer) y concentración de la misma.

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS:

Los materiales y equipos utilizados fueron los siguientes:

- Pasta
- Baldes
- Probetas graduadas
- Papel Filtro
- Embudo Buchner conectado a una bomba de vacío
- Matraz de kitasato
- Horno Memmert
- Agitador industrial

⁷ Específicamente, en el sector de tratamiento de papel viejo en las cribas CH7-1 y CH7-2 o CH7-3.

⁸ En los coladores primario y secundario ubicados en el área de tratamiento de papel viejo, limpieza y depuración secundaria (fibra larga).

- Fraccionador Einlehner LFM-107
- Placa ranurada #94150 de 0,15 [mm] para clasificador de fibras
- Clasificador Bauer T&M
- Circulador de Calentamiento Poliscience (baño María)
- Secador de hojas a presión de 4 [bar] y a temperatura de 95 [°C]
- Enzima esterasa (reactivo)
- Cartulina (o papel lustre) de color negro (cuadrado de 0,15 [m]).

3.2 CARACTERIZACIÓN DE FIBRA Y *STICKIES*

En todos los proyectos se analizó la calidad de la fibra⁹ y la concentración de *stickies*, con el fin de estudiar el desempeño técnico de cada proyecto.

3.2.1 *Pasos preliminares*

Los pasos preliminares se ocupan cada vez que se requiere utilizar el fraccionador, es decir, cuando se requiere un análisis de calidad de fibra o conteo de *stickies*, ya que permite determinar el peso de fibra seca (equivalente en volumen de pasta) que está siendo cargada al equipo.

Pasos a seguir:

- Tomar una muestra de pasta en el punto a medir.
- Vaciar la muestra obtenida en un balde.
- Homogeneizar la muestra de pasta en el agitador industrial (Figura 6) a velocidad moderada (entre 250 y 300 RPM).
- En una probeta depositar 400 [ml] de agua y 100 [ml] de muestra. Luego, filtrarla a través de un papel filtro, utilizando un embudo Buchner conectado a un quitasato y a una bomba de vacío, (este equipo succiona el agua, secando levemente la mezcla) y limpiar la probeta con un poco de agua industrial para tratar de recuperar toda la mezcla.
- Poner la muestra dentro de un horno a 125 [°C] y, luego de 10 [min], pesarla. Este valor permite el cálculo de la concentración de la muestra (en unidades de g/100 ml).
- Calcular el volumen de pasta necesario para tener 10 gramos de fibra seca. El volumen de pasta es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$V_{pasta\ a\ agregar}(ml) = \frac{10 [g]}{Concentración [g/100 ml]} \quad (Ec. 1)$$

⁹ De esta forma es posible determinar el porcentaje de fibra reutilizable en cada uno de los proyectos.



Figura 6: Agitadores industriales

3.2.2 **Caracterización de fibra**

La caracterización de fibra se realiza mediante un método que permite determinar la calidad de la fibra en una línea de proceso, clasificándola en cuatro tipos: fibra larga (tamaño de partícula superior a malla Tyler 28), fibra intermedia-larga (malla Tyler 48), fibra intermedia-corta (malla Tyler 100) y fibra corta (malla Tyler 200). Para este efecto se utiliza un fraccionador que contiene una placa ranurada, ésta retiene los contaminantes (ver Figura 7) y, en serie, se tamiza la fibra según la clasificación Bauer, cuyas mallas retienen la fibra de distintos tamaños (ver Figura 8). Además, la fibra más fina (tamaño de partícula inferior a malla Tyler 200), conocida como *finos* o polvo, es eliminada junto con el agua. Como se conoce la masa de fibra que ingresa, es posible determinar el porcentaje de polvo que hay en la muestra.

3.2.2.1 **Caracterización con Fraccionador (Clasificación de fibra y contaminantes)**

- Desarrollar los pasos preliminares.
- Verter el volumen de pasta en el fraccionador EINLEHNER LFM-107, que permitirá separar la fibra de los contaminantes (pastillas, plumavit, adhesivos, etc.). y operar durante 20 minutos.

Obs: Verificar que el caudal de agua sea el mismo siempre, que el tapón se encuentre en su lugar y que la placa ranurada de 0,15 [mm] se encuentre bien apretada para impedir pérdida de fibra.

- Apagar el fraccionador y sacar el tapón hasta que los contaminantes presentes en la muestra queden depositados en la placa ranurada.
- Tomar la placa ranurada con la muestra y depositarla en un recipiente, arrastrando los contaminantes con ayuda de agua industrial.
- Para determinar el peso de los contaminantes, depositar la muestra en papel filtro, y colocarla en un horno por aproximadamente 10 minutos (esto permitirá retirar el agua y dejar la muestra seca).

- Pesar el papel filtro con la muestra en una balanza que esté previamente calibrada. Para obtener el porcentaje de contaminantes y de fibra se deben realizar los siguientes cálculos:

$$\text{Contaminantes (\%)}: \frac{\text{peso de contaminantes [g]}^*}{10\text{g}} \cdot 100[\%] \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\text{Fibra (\%)}: \frac{10\text{ [g]} - \text{peso de contaminantes [g]}}{10\text{ [g]}} \cdot 100[\%] \quad (\text{Ec. 3})$$

* Peso retenido en placa ranurada del fraccionador.



Figura 7: Fraccionador EINLEHNER LFM-107

3.2.2.2 Clasificación porcentual de tamaño de fibras (Clasificación Bauer)

- Situar en cada estanque el tapón de varilla, verificando que cada estanque posea la malla en buen estado, tenga su protección y su sello.
- Colocar bajo cada estanque los papeles filtro, previamente tarados e identificados (mallas 28, 48, 100 y 200), cuidando de dejar bien cerrado cada plato filtrador.
- Abrir la red de aire hasta 3 [bar], con el fin de obtener un buen sellado en el estanque.
- Imponer un flujo de agua tal que sea uniforme en cada una de las salidas de los estanques.

- Encender los motores de los estanques con el botón de color negro ubicado en el extremo superior derecho del equipo, cuidando que no topen con la protección de la malla.
- Agregar al primer estanque de la izquierda la fibra que está siendo transportada desde el fraccionador por medio de una manguera (correspondiente a los 10 [g] equivalentes de fibra seca en volumen de pasta agregada al inicio en el fraccionador).
- Dejar funcionar durante 20 minutos en clasificador (los mismos 20 [min] que se mantiene funcionando el fraccionador). Finalizado este tiempo parar los motores con el botón rojo y cortar el flujo de agua.
- Destapar con los tapones de varilla cada uno de los estanques junto con abrir la llave de corte rápido de $\frac{3}{4}$ [in], ubicada en el extremo inferior izquierdo (tubo de Venturi).
- Dejar secar cada uno de los papeles filtro a 115 [°C] en horno hasta peso constante.
- Pesar los papeles filtro, calculando la cantidad de fibra seca retenida en cada uno de ellos.
- Una vez finalizado este proceso, los resultados del ensayo serán expresados de la siguiente manera:

Contaminantes (%) : Corresponde a Ec. 2

$$\text{Malla 28 (\%)} : \frac{\text{Peso retenido en la malla 28 [g]}}{10 [g]} \cdot 100[\%] \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\text{Malla 48 (\%)} : \frac{\text{Peso retenido en la malla 48 [g]}}{10 [g]} \cdot 100[\%] \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{Malla 100 (\%)} : \frac{\text{Peso retenido en la malla 100 [g]}}{10 [g]} \cdot 100[\%] \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\text{Malla 200 (\%)} : \frac{\text{Peso retenido en la malla 200 [g]}}{10 [g]} \cdot 100[\%] \quad (\text{Ec. 7})$$

$$\text{Polvo (\%)} : \frac{10 [g] - \sum \text{pesos retenidos mallas 28,48,100,200 e impurezas [g]}}{10 [g]} \cdot 100[\%] \quad (\text{Ec. 8})$$



Figura 8: Clasificación de fibra (Bauer)

3.2.3 Método de medición de *stickies* (conteo de *stickies*)

Esta técnica permite determinar la concentración de *stickies* en un determinado punto. Esto se realiza mediante un patrón que permite estimar sus tamaños, pudiendo cuantificar la superficie total ocupada por los *stickies* con respecto a una masa de fibra determinada.

Pasos a seguir:

- Realizar pasos preliminares y, posteriormente, caracterización con fraccionador hasta el paso en que se toma la placa ranurada con la muestra y se deposita en un recipiente, arrastrando los contaminantes con ayuda de agua industrial.
- Filtrar el contenido del recipiente en el embudo en pequeñas cantidades, de tal forma que queden separados los adhesivos en el papel filtro.
- Retirar el papel filtro del embudo y colocarlo encima de papel lustre negro con la muestra hacia abajo (Figura 9).
- Repetir los últimos dos pasos las veces necesarias hasta que se acabe el contenido del recipiente.
- Sobreponer un papel filtro limpio y someter ambos, durante 3 minutos, a prensado a 68900 [kPa] a 95 [°C]. Bajo estas condiciones, los *stickies* se transfieren al papel filtro superior, mientras que las sustancias no pegajosas permanecen en el papel filtro original.
- Separar los papeles filtro, cuantificar y caracterizar el tamaño de los *stickies* en papel lustre (Figura 10) usando un patrón para la estimación de tamaño de *stickies*. (Figura 11).

A continuación se ilustra el conteo de *stickies* con el fin de comprender la metodología de medición de material adhesivo.

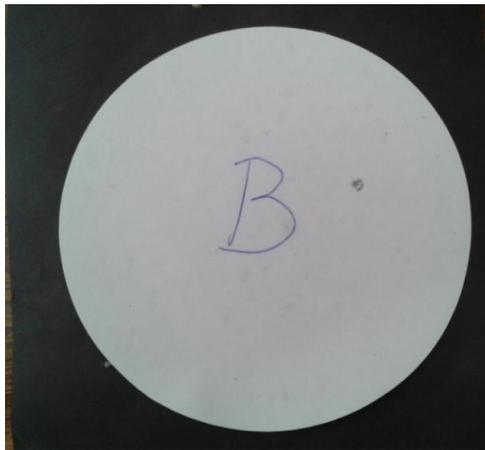


Figura 9: Papel filtro con muestra (blanco o testigo) encima de papel lustre.



Figura 10: *Stickies* que quedaron adheridos a papel lustre.

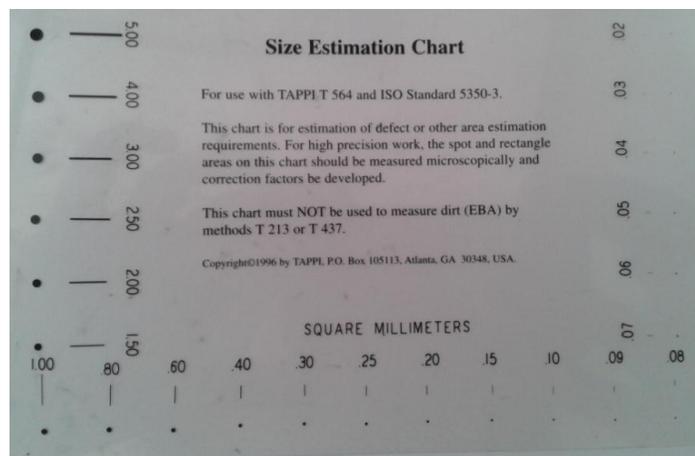


Figura 11: Regla para estimación de tamaño de *stickies*.

3.3 ALTERNATIVAS DE PROYECTOS

Como se mencionó en capítulos anteriores, la metodología a seguir corresponde a cuantificar, en una primera instancia, la pérdida de fibra total transportado por el canal Parshall Cordillera y, posteriormente, buscar distintas alternativas que permitan recuperar fibra desde este punto de origen hacia las distintas máquinas¹⁰.

Este proyecto se basa en la búsqueda de alternativas de recuperación de fibra desde la salida del proceso paplero (canal Parshall Cordillera). Sin embargo, al realizar una evaluación económica preliminar, considerando los costos del trayecto¹¹, se propone evaluar el proyecto de conexión desde los otros canales (Parshall) a las máquinas, pues las distancias de las líneas de trazado son menores. Preliminarmente, resulta atractivo considerar dichas alternativas dado los costos de transporte, no obstante, se deben considerar los análisis técnicos (evaluar la composición de los distintos canales: calidad de la fibra y flujo de *stickies*), y comparar las alternativas desde ambos puntos de vista (técnico y económico). A continuación se presentan seis alternativas para la recuperación de fibra¹².

3.3.1 **Alternativa 1.a: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-8**

Con la finalidad de evaluar el desempeño de las cribas ubicadas en MP-8 y, con ello, determinar el rendimiento de estos equipos, se procedió a estudiar la siguiente línea de proceso.

Esta alternativa consiste en transportar (mediante una bomba) el efluente desde el canal P.¹³ Cordillera hasta un espesador de la MP-8 hasta alcanzar una concentración del 4 [%]¹⁴ (similar a la concentración de fibra que hay en la cuba TQ-1). En esta cuba se mezcla la pasta que viene desde materia prima con la pasta proveniente desde P. Cordillera, haciendo necesario un menor flujo de materia prima en la entrada.

Para poder llevar a cabo esta alternativa, se debe analizar la fibra que puede llegar a ser recuperada (caracterización de fibra), además de dar cuenta del flujo de *stickies*. Para evaluar la conducta de estos dos parámetros, se tomaron muestras en el canal Parshall Cordillera analizándolas en el laboratorio con el método de clasificación Bauer y conteo de *stickies*. Además, se tomaron muestras en los coladores de MP-8 (CH7-1 y CH7-2 o CH7-3), realizándoles los mismos análisis anteriormente mencionados (caracterización de la fibra y *stickies*).

¹⁰ Solo se consideran como opciones MP-8 y MP-20 pues la MP-10 trabaja mayoritariamente con celulosa.

¹¹ La distancia entre el canal Parshall Cordillera y MP-20 es cercana a 1 [km].

¹² Para mayor detalle, ver 0

. Diagramas de Flujo.

¹³ Como se mencionó en la sección 1.5, P. es la notación de la palabra Parshall.

¹⁴ Para efectos prácticos se utilizará indistintamente las unidades de concentración en [g/ml], [% m/V] (concentración en masa-volumen) o [%].

3.3.2 *Alternativa 1.b: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-8 con aplicación de enzimas esterasa*

En esta alternativa se busca evaluar, al igual que en el caso anterior, el rendimiento de las cribas y, además, estudiar la remoción de *stickies* con el uso de enzimas.

El transporte de fibra es similar a la alternativa 1.a. La diferencia radica en que el espesador debe lograr una concentración de fibra del 1 [%], pues las enzimas remueven mayor masa de *stickies* con esta concentración. Para la adición y acción de enzimas, se requiere de una nueva cuba. Posterior a la aplicación de enzimas, se conecta a un segundo espesador el que debe llegar a una concentración del 4% y, finalmente, conectarlo a la cuba TQ-1.

En esta alternativa se efectuaron evaluaciones técnicas sobre la conducta de las enzimas frente a la fibra. Por ello, se tomaron muestras en el canal P. Cordillera para determinar la concentración de *stickies* y se analizaron de acuerdo a las siguientes metodologías (las que permiten determinar si existe una reducción de *stickies* y/o un aumento de fibra aplicando esta enzima):

3.3.2.1 *Clasificación Somerville Bauer con enzimas esterasa*

- Ejecutar pasos preliminares.
- Lograr una concentración del 1 [%] y calentar dos muestras a baño María (ver Figura 12) hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento de la máquina papelera, alrededor de los 40 [°C].
- A una de las muestras, dejarla como blanco y a la otra, agregar dosis de enzima, manteniendo ambas un tiempo de contacto mínimo de 45 [min], agitando constantemente.
- Realizar caracterización con fraccionador a ambas muestras seguidas de la clasificación Bauer (en serie).
- Obtener resultados en ambas muestras y comparar sus resultados.
- Determinar el aumento de fibra reutilizable comparando testigo (blanco) con fibra a la que se aplicó enzima.

3.3.2.2 *Metodología de uso de enzimas esterasas (remoción de stickies)*

- Ejecutar pasos preliminares.
- Lograr una concentración del 1 [%] y alcanzar la temperatura de funcionamiento de la máquina papelera (40 [°C]) sometiendo las muestras a baño María.
- Colocar un litro de muestra bajo agitación entre 100 y 150 RPM.
- A una de las muestras, dejarla como blanco y a la otra, agregar dosis de enzima, manteniendo ambas un tiempo de contacto mínimo de 45 [min], agitando constantemente.
- Realizar caracterización con fraccionador.

- Ejecutar método de medición con *stickies* para ambas muestras.
- Comparar muestras tratadas con enzimas con la muestra control (blanco).



Figura 12: Equipo Baño María.

Al igual que en el proyecto anterior, se requieren evaluaciones técnicas de caracterización de fibra y concentración de *stickies* en P. Cordillera y en las cribas de MP-8. No obstante, dado que los proyectos 1.a y 1.b requieren de los mismos análisis, basta con realizarla solo en la alternativa 1.a.

3.3.3 **Alternativa 2.a: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-20**

Esta alternativa se fundamenta en evaluar el desempeño de las cribas ubicadas en MP-20 pudiendo determinar el rendimiento de estos equipos.

La pasta es captada por medio de una bomba, siendo transportada desde canal P. Cordillera hasta un espesador ubicado en las cercanías del sector de Papel Viejo de MP-20, alcanzando una concentración del 0,7 [%] (concentración de entrada del colador primario). El espesador se conecta a una torre de bombeo (o cuba con una bomba), debido a que es necesario que se acumule pasta, obteniendo el flujo mínimo que requiere el proceso, siendo ésta finalmente transportada a los coladores de fibra larga.

Los parámetros que deben ser evaluados son caracterizar la fibra y los *stickies* en las cribas de fibra larga de MP-20. También se requiere de los análisis en P. Cordillera, los que ya fueron realizados en la alternativa 1.a.

3.3.4 *Alternativa 2.b: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-20 con aplicación de enzimas esterasa*

Esta alternativa es una combinación entre las opciones 2.a y 1.b, en donde se evalúa el rendimiento de las cribas y el uso de enzimas. Consiste en captar el efluente desde el canal P. Cordillera y transportarlo hasta un espesador situado en MP-20. Para no variar significativamente la concentración de la entrada a los coladores, la concentración de fibra alcanzará solo un 0,8 [%] (en vez del 1 [%] que actúa de forma eficaz la enzima). Para la adición y acción de enzimas, se requiere de una nueva cuba. En esta cuba se mezcla la pasta que viene desde materia prima con la pasta proveniente desde P. Cordillera.

En esta alternativa se necesita un análisis técnico de recuperación de fibra en el P. Cordillera y conducta de las enzimas, además del desempeño de los coladores en MP-20 (caracterización de fibra y *stickies*). Si es factible técnicamente, se realiza una evaluación económica.

3.3.5 *Alternativa 3: Transporte desde canal P. MP-20 a MP-20*

Debido al eventual costo resultante del transporte de pasta desde el canal P. Cordillera hasta la MP-20 nació esta idea de analizar otros canales en que la fibra finalmente termina siendo trasladada a la PTE. Esta alternativa consiste en transportar la pasta desde el canal Parshall de MP-20 hasta un espesador ubicado en Papel Viejo de MP-20. Esta opción es parecida a la alternativa 2.a, la diferencia radica en el trayecto. El canal Parshall de MP-20 se encuentra a 280 [m] de distancia, aproximadamente, del sector donde se ubicarían estos nuevos equipos.

Para comprobar si es factible esta alternativa, se requiere una evaluación técnica en el P. MP-20 de recuperación de fibra (caracterización de fibra y *stickies*) y desempeño de los coladores, los que ya fueron analizados en la alternativa 2.a y, si es factible esta opción, finalizar con una evaluación económica.

3.3.6 *Alternativa 4: Transporte desde canal P. MP-8 a MP-20*

Al igual que la alternativa 3, esta opción surgió a raíz del eventual costo resultante del transporte de pasta desde el canal P. Cordillera hasta la MP-20. Además, es posible que los equipos de MP-8 tengan una eficiencia considerablemente menor a los de MP-20, pues la MP-8 es mucho más antigua, teniendo un proceso con equipos de menor tecnología, lo que provocaría mayor eliminación de fibra, y a su vez ésta podría ser recuperada en el P. MP-8.

El transporte de pasta parte en el efluente de MP-8 hasta un espesador ubicado en el sector de Papel Viejo de MP-20 alcanzando una concentración de fibra de 0,7 [%]. Luego sigue el mismo trayecto que la alternativa 2.a.

Se necesita una evaluación técnica de recuperación de fibra y flujo de *stickies* en el P. de MP-8 y rendimiento de coladores de la MP-8 (caracterización de fibra y *stickies*). Además de la evaluación del desempeño de los coladores, la que ya fue efectuada en la alternativa 2.a. Si es factible técnicamente, se procede a una evaluación económica.

3.3.7 Resumen de alternativas

La siguiente tabla resume las características de los proyectos alternativos anteriormente descritos.

Tabla 2: Cambios del proceso relacionado a cada alternativa.

	Alternativa 1.a	Alternativa 1.b	Alternativa 2.a	Alternativa 2.b	Alternativa 3	Alternativa 4
Conexiones	Desde P.Cordillera a MP-8.		Desde P.Cordillera a MP-20		Desde P. MP-8 a MP-20	Desde P. MP-20 a MP-20
Distancias	131 [m]		905 [m]		275 [m]	806 [m]
Uso de enzimas	No	Sí	No	Sí	No	No
Equipos	Dos bombas					
	Dos espesadores	Un espesador	Dos espesadores	Dos espesadores	Dos espesadores	Dos espesadores

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la evaluación técnica realizada en el laboratorio del Departamento Técnico de Papeles Cordillera, en relación con la composición de los distintos canales (Parshall de MP-8, MP-20 y Cordillera) y el desempeño de las cribas en las máquinas papeleras N°8 y N°20. Además, se evalúan las alternativas presentadas en secciones anteriores, basadas en los resultados de factibilidad técnica, eligiendo los proyectos más favorables desde el punto de vista de recuperación de fibra. Finalmente, se realiza una evaluación económica de estas alternativas, empleando distintos indicadores que permitan analizar la rentabilidad de proyectos de inversión, obteniendo así, el más viable.

4.1 ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN DE FIBRA

De acuerdo a antecedentes entregados por la empresa, se calculó el promedio de la *producción instantánea* de pasta durante el año 2012 (desde abril hasta agosto) de las distintas máquinas, obteniendo los siguientes valores:

- Máquina Papelera N°8: 115 [t/d]
- Máquina Papelera N°10: 29 [t/d]
- Máquina Papelera N°20: 905 [t/d]

A partir de estos datos es posible asumir que la capacidad de la planta en Papeles Cordillera, es aproximadamente de 1050 [t/d]. Se consideró un porcentaje de pérdida de fibra¹⁵ en cada máquina de un 9%, valor que fue validado con ensayos de pérdida de fibra en las distintas máquinas (ANEXO C). A partir de este porcentaje, se estimó la pérdida total de residuos que están siendo eliminados por dos vías distintas. Una parte se elimina en vertederos y la fracción restante, en la planta de tratamiento de efluentes (PTE), siendo ésta última la de principal interés para este trabajo.

Con respecto al flujo que se transporta por medio de canales en dirección a la planta de tratamiento de efluentes, éste se enlaza con el efluente de CMPC Tissue, de Puente Alto. Este flujo másico total, correspondiente a la pérdida de fibra de las cuatro máquinas papeleras (MP-8, MP-10, MP-20 y Tissue), es de 126 [t/d] (ver Figura 13). La pérdida de fibra de Chimolsa (Empresa Chilena de Moldeados dedicada a la fabricación de bandejas de pulpa moldeada) también llega a la planta de efluentes, sin embargo, es despreciada pues su flujo másico es de aproximadamente 5 [t/d].

¹⁵ En este contexto, la pérdida de fibra se refiere tanto a la fibra como a los contaminantes que van adheridos a ella.

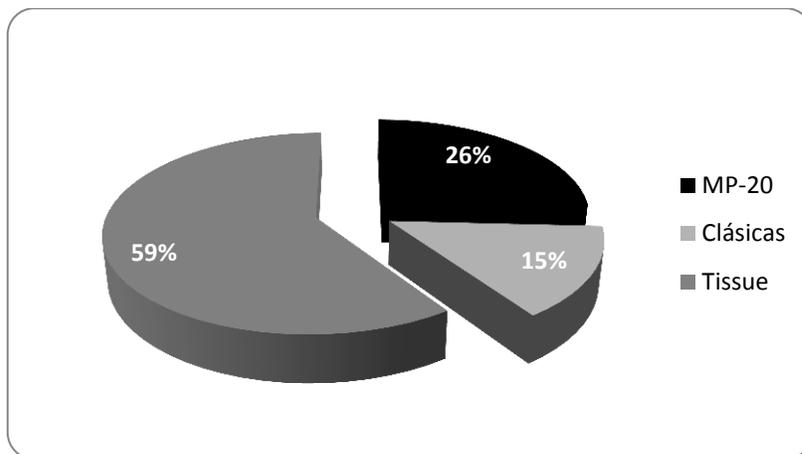


Figura 13: Porcentajes de pérdida de fibra que es transportada por el canal hacia efluentes, correspondiente a un flujo total de 126 [t/d] en Complejo Cordillera.

En la Figura 14 sólo fueron consideradas las máquinas que pertenecen a la empresa Papeles Cordillera (MP-20 y las máquinas clásicas, correspondientes a MP-8 y MP-10). El flujo total que es eliminado y que, posteriormente, se conecta a CMPC Tissue es de 51 [t/d]. Este flujo cruza un canal conocido como Parshall Cordillera, en el que es posible tomar las muestras necesarias para poder analizar la composición de la pasta (fibra y contaminantes).

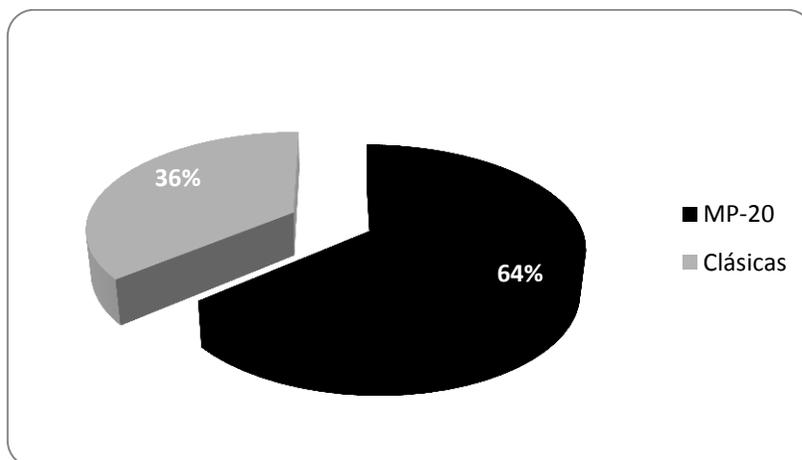


Figura 14: Porcentajes de pérdida de fibra en Papeles Cordillera que es transportada por el canal hacia efluentes con un caudal de 51 [ton/día].

De acuerdo al análisis realizado, el flujo volumétrico promedio en MP-20 es de 6.072 [L/min] con una concentración de 0,37 [%] (3,7 [g/L]) y en las máquinas clásicas es de 5.331 [L/min] con una concentración de 0,25 [%] (2,5 [g/L]). La fibra que se intenta recuperar corresponde a fibra larga debido a que es de mejor calidad que la fibra corta (tiene un atractivo mayor para el proceso papelerero).

4.1.1 Canal Parshall Cordillera

De acuerdo al análisis realizado en este canal (ANEXO D.1) fue posible determinar que, de un total de 51 [t/d], 18 [t/d] corresponde a fibra recuperable (35% del total de la muestra, como se observa en la Figura 15).

Cabe destacar que uno de los contaminantes que se hace evidente en la muestra corresponde a arena. Por esta razón, adicionalmente, se cuantificó la arena existente¹⁶ (ANEXO D.2), correspondiendo a un 21% del total de la muestra. Esta nueva distribución puede ser observada en la Figura 16.

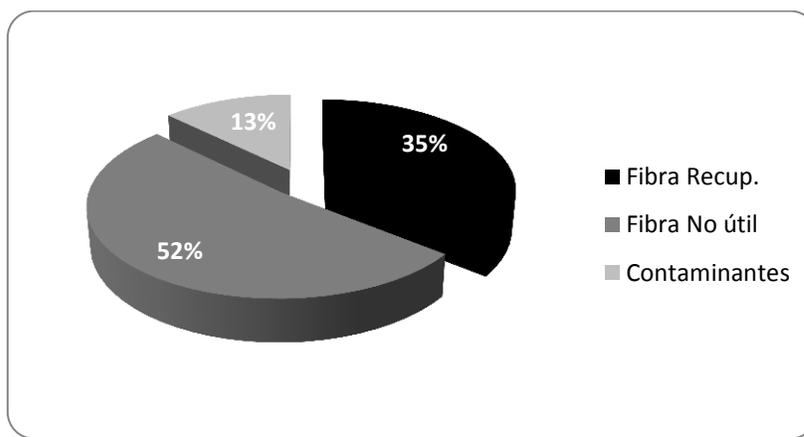


Figura 15: Distribución de fibra correspondiente a la pérdida de fibra transportada por el canal Parshall Cordillera a partir de un flujo de 51 [t/d].

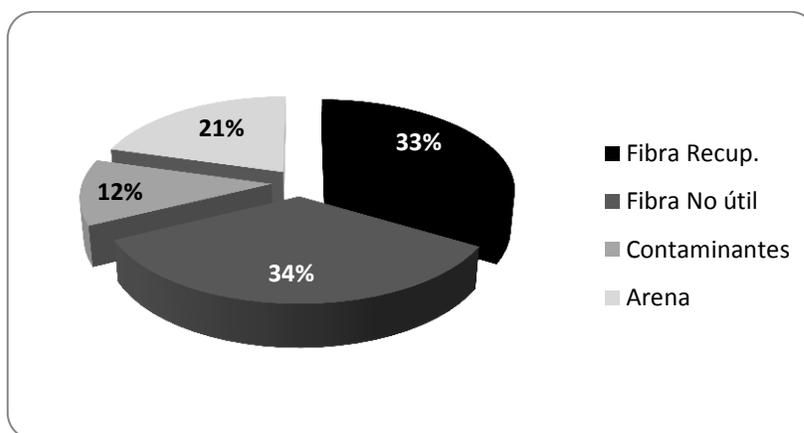


Figura 16: Distribución de fibra correspondiente a la pérdida de fibra que cruza el canal Parshall Cordillera considerando la arena presente.

¹⁶ En el análisis de clasificación Bauer no es posible separarlo de la fibra ni de contaminantes por lo que se decidió incinerar la muestra.

4.1.2 Canal Parshall MP-8

De acuerdo al estudio realizado en este canal (ANEXO D.3), de un total de 7,4 [t/d], solo 1,8 [t/d] corresponde a fibra recuperable (25% del total de la muestra, como poder ser observado en la Figura 17). En este caso, el porcentaje de arena es considerablemente superior al canal Parshall Cordillera.

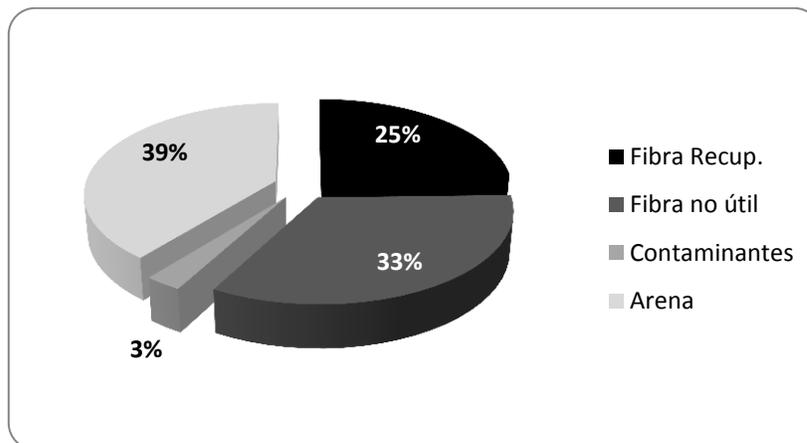


Figura 17: Distribución correspondiente a la pérdida de fibra que cruza el canal Parshall MP-8 considerando la arena presente.

4.1.3 Canal Parshall MP-20

El análisis en este canal (ANEXO D.4), proyecta un total de 25 [t/d], en que 7 [t/d] corresponde a fibra recuperable (32% del total de la muestra, como se observa en la Figura 18). Al igual que en los otros casos, se consideró la arena existente en la muestra.

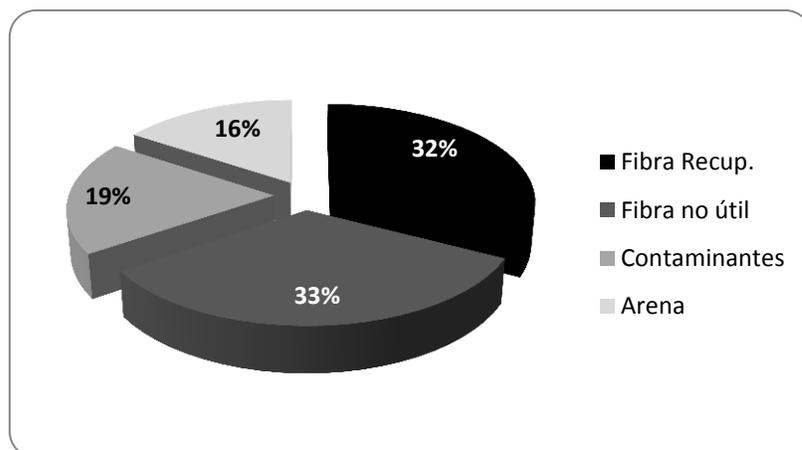


Figura 18: Distribución correspondiente a la pérdida de fibra que cruza el canal Parshall MP-20 considerando la arena presente.

Realizando un análisis comparativo de los dos canales (P. MP-8 y P. MP-20) se observa que el desempeño de los equipos en MP-20 es más eficiente con respecto a los de MP-8 en cuanto a la remoción de contaminantes, pues al haber mayor porcentaje de éstos en el efluente significa que un mayor porcentaje de contaminantes fueron rechazados por los equipos. Otra diferencia es que en MP-8 hay mayor porcentaje de arena, lo que finalmente se traduce en una menor recuperación de fibra. Estas diferencias pueden ser observadas en la Figura 19.

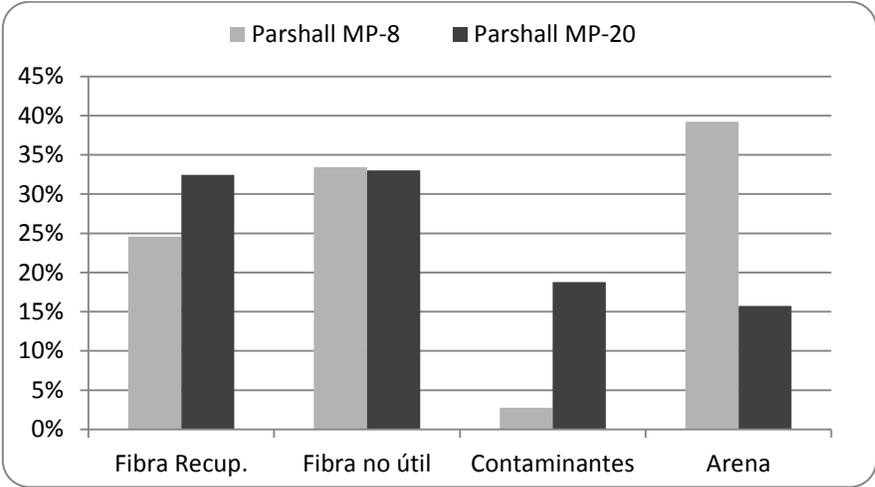


Figura 19: Comparación de la clasificación de fibra entre P. MP-8 y P. MP-20

Además, en el siguiente gráfico se presenta una comparación de los tres Parshall. Como se observa en la Figura 20, el canal Parshall con mayor flujo másico de fibra recuperable corresponde al Cordillera (tiene sentido, pues los efluentes de las tres máquinas convergen en este Parshall). Sin embargo, entre el P. MP-8 y P. MP-20 se observa una clara diferencia de fibra que podría llegar a ser recuperada.

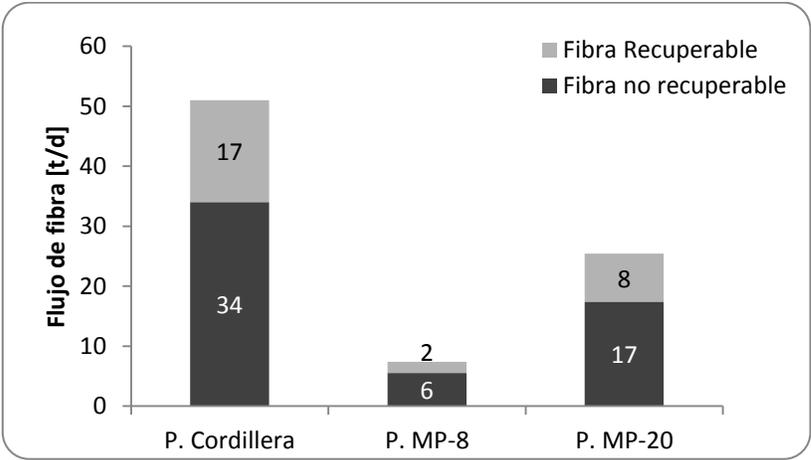


Figura 20: Comparación de los tres canales Parshall por donde cruza la fibra que termina siendo eliminada en la PTE.

4.2 ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE FIBRA EN CRIBAS

Como las cribas corresponden a uno de los equipos que logran mayor separación entre contaminantes y fibra, se decidió analizarlos, buscando alguna forma de estimar la masa de fibra útil que se podría llegar a recuperar (rendimiento calculado en base a la fracción entre la fibra útil aceptada y la fibra útil a la entrada). Por lo tanto, se estudiaron estos equipos en las MP-8 y MP-20, analizando varias muestras.

4.2.1 *Máquina Papelera N°8*

MP-8 cuenta con tres cribas funcionando en serie, ubicadas en el sector de papel viejo (papel reciclado). La primera (CH7-1) contiene un canastillo de hoyos mientras que la segunda (CH7-2 o CH7-3, pues no funcionan al mismo tiempo) y la tercera (CH5-1) cuentan con canastillos de ranura y sus áreas de abertura van desde los 0,35 [mm] hasta los 0,4 [mm].

Se tomaron muestras solo en las primeras dos cribas (cuatro muestras en total, en las entradas y salidas aceptadas de dichos equipos) obteniendo un rendimiento del 88% en la primera criba y del 97% en la segunda (para mayor detalle, ver ANEXO E). Cabe destacar que todo el material aceptado se dirige a la segunda criba y el material aceptado de ésta, terminará yéndose a los espesadores obteniendo finalmente un 86% de rendimiento (ver ANEXO G.1)

4.2.2 *Máquina Papelera N°20*

La MP-20, en el área 130 (tratamiento de papel viejo) de Limpieza y Depuración Secundaria, cuenta con tres cribas conocidas como Colador Primario, Secundario y *Multimizer*. Las características de estos coladores se mencionan a continuación:

- Canastillo de ranura con abertura de 0,2 [mm]: las partículas de menor tamaño a 0,2 [mm] cruzan la malla, siendo parte del material aceptado (fibra) y el resto del material (contaminantes) se queda atrapado, siendo finalmente eliminado (rechazo).

Para dicho estudio, solo se consideraron las dos primeras cribas. Las muestras tomadas contemplaron seis puntos a considerar, siendo éstas una entrada y dos salidas (material aceptado y rechazado), tanto de colador primario como de colador secundario. A partir de los datos obtenidos de las mediciones, se realizó una proyección gruesa de la fibra potencialmente recuperada (fibra de buena calidad, correspondiente a fibra larga y fibra intermedia larga). El rendimiento fue de un 73% en la primera criba y un 73% en la segunda (para mayor detalle, ver ANEXO F). En este caso, todo el material rechazado se dirige a la segunda criba y el material aceptado tanto de la primera como de la segunda criba, termina siendo transportado a un filtro disco (ANEXO G.2) obteniendo finalmente un 93% de rendimiento.

Los resultados anteriores se resumen en el siguiente gráfico que permite comparar el rendimiento de las cribas de MP-8 y MP-20 por separado y operando en conjunto. La Figura 21 muestra que las cribas de MP-20 individualmente son menos eficientes, mientras que debido a la forma en que están conectadas en conjunto presentan un mayor rendimiento, pudiendo recuperar un mayor porcentaje de fibra.

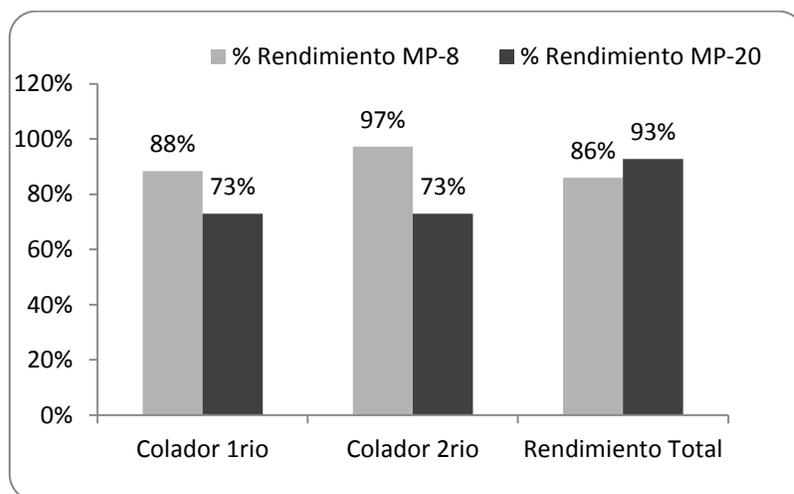


Figura 21: Comparación de recuperación de fibra en coladores de MP-8 y MP-20.

4.3 ANÁLISIS DE ADHESIVOS

4.3.1 Cuantificación de *Stickies* en los canales Parshall

Se realizó un estudio de *stickies* en cada uno de los canales Parshall, estimando la superficie ocupada por estos, presentes en un flujo de 100 [t/d], con la finalidad de comparar los distintos canales.

En la Tabla 3 se observa que el canal Parshall de MP-20 tiene mayor flujo de *stickies* que el Parshall de la MP-8. Como se mencionó en secciones anteriores, los efluentes de las máquinas N°8, N°10 y N°20 convergen en el canal Parshall Cordillera, por ello, la suma de los tres canales debiese ser el flujo total de *stickies*.

Es de gran relevancia cuantificar el flujo de *stickies* que hay presente en cada uno de los puntos a evaluar, considerando los límites que acepta la máquina de estos contaminantes.

Tabla 3: Flujo de *stickies* en m²/min. Base: 100 T/d

Canal	Concentración [% m/V]	Flujo [L/min]	Superf. <i>Stickies</i> [mm ² /10g]	Flujo <i>Stickies</i> (*) [m ² /min]
P. Cordillera	0,31	12.577	710	4,9
P. MP-8	0,12	4.444	53	0,4
P. MP-20	0,42	4.134	573	4,1

(*) La ecuación utilizada para el cálculo de flujo de *stickies* corresponde a:

$$Flujo_{superficial} \left[\frac{m^2}{min} \right] = \frac{C}{100} \left[\frac{g}{mL} \right] \cdot \frac{1000}{1} \left[\frac{mL}{L} \right] \cdot \left[\frac{L}{min} \right] \cdot \left[\frac{mm^2}{10g} \right] \cdot \frac{1}{1000^2} \left[\frac{m^2}{mm^2} \right]$$

Cabe señalar que en los canales P. MP-8 y P. MP-20 solo se realizaron tres mediciones en cada caso (obteniendo finalmente el promedio de cada uno, que es lo que se muestra en la Tabla 3), por lo se requiere verificar que el número de muestras sea el apropiado. En la sección 4.4 se expondrá acerca de este tema con mayor detalle.

4.3.2 Remoción en cribas

Las siguientes tablas muestran la superficie de *stickies* que pasa a través de las cribas y el desempeño de los equipos en la remoción de estos contaminantes. En la Tabla 4 se observa la capacidad de remoción de *stickies* de las dos primeras cribas de MP-8 al igual que en la Tabla 5, pero en este caso, de las cribas de MP-20.

Tabla 4: Propiedades físicas de la pasta. *Stickies* en cribas de MP-8.

Cribas	C [% m/V]	Superf. <i>Stickies</i> [mm ² /10g]	Q _v [L/min]	Q _s [m ² /min]	Remoción de <i>stickies</i> [%]
E1	2,3	76	4195	0,74	52
A1	2,1	46	3711	0,36	
R1	4,4	180	484	0,38	
E2	1,7	46	4910	0,38	30
A2	1,1	54	4386	0,27	
R2	1,8	122	524	0,11	

En esta tabla, E1 corresponde a la entrada de colador CH7-1; A1 se refiere a la salida aceptada de colador CH7-1; R1 es la salida rechazada de colador CH7-1; E2 es la entrada de colador CH7-2 o CH7-3, A2 corresponde a la salida aceptada de colador CH7-2 o CH7-3; R2 es la salida rechazada de colador CH7-2 o CH7-3; C es la concentración; Q_v y Q_s representan el flujo volumétrico y superficial, respectivamente.

Tabla 5: Propiedades físicas de la pasta *Stickies* en cribas de MP-20.

Cribas	C [% m/V]	Superf. <i>Stickies</i> [mm ² /10g]	Q _v [L/min]	Q _s [m ² /min]	Remoción de <i>stickies</i> [%]
E1	0,7	383	15435	4,35	94
A1	0,5	40	12362	0,26	
R1	1,3	990	3073	4,09	
E2	0,7	743	9000	4,17	85
A2	0,6	157	7049	0,62	
R2	0,9	2022	1951	3,55	
A3	0,2	59	5098	0,08	-

En la tabla anterior, E1 corresponde a la entrada de colador primario; A1 es la salida aceptada de colador primario, R1 es la salida rechazada de colador primario; E2 se refiere a la entrada de colador primario; A2 es la salida aceptada de colador primario; R2 corresponde a la salida rechazada de colador primario; A3 es la salida aceptada de colador Multimizer.

En la sección 4.2 se exhibió que las cribas de MP-20 son más eficientes con respecto a la recuperación de fibra. De acuerdo con la remoción de *stickies*, nuevamente las cribas de MP-20 parecen tener una conducta considerablemente más eficiente que las cribas de MP-8, pues considerando solo las dos primeras cribas en cada máquina, en la MP-20 son capaces de remover un total de 99%, a diferencia de las de MP-8, las que solo eliminan un 15% de estos contaminantes, como puede observarse en la :

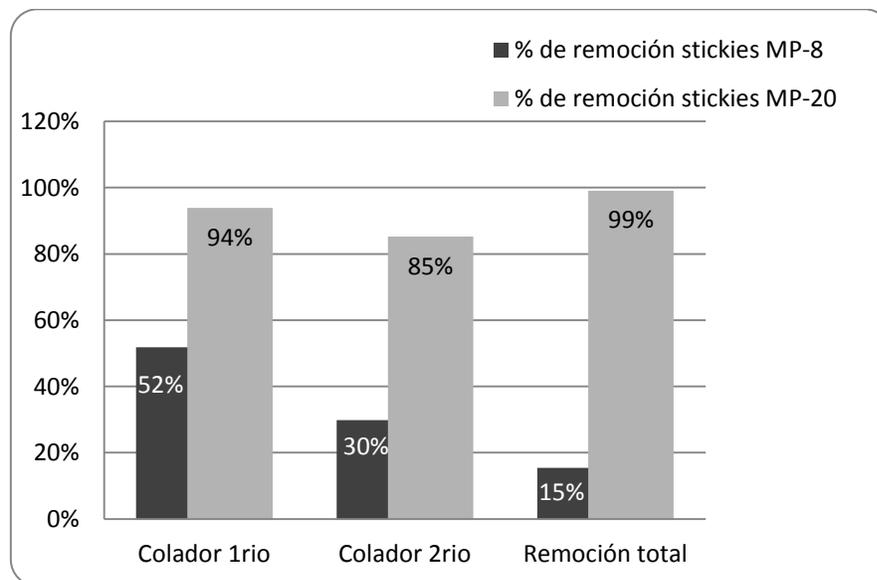


Figura 22: Porcentajes de remoción de *stickies* en las dos primeras cribas analizadas en MP-8 y MP-20.

4.3.3 Caracterización con Enzimas Esterasa

Como se mencionó en secciones anteriores, estas enzimas actúan sobre los *stickies* sin afectar a la fibra, siendo capaces de degradarlos. Con la finalidad de determinar el porcentaje de eliminación (remoción) de *stickies* y comprobar si realmente no afecta el porcentaje de fibra, se tomaron muestras en el canal Parshall Cordillera, analizándolas con los métodos de conteo de *stickies* y clasificación Bauer.

4.3.3.1 Remoción de stickies

Los productos ofrecidos por Buckman Laboratorios Ltda., corresponden a Optimize 540 y Optimize Plus 745, los que fueron ensayados a la misma concentración del canal¹⁷. Las dosis utilizadas fueron de 0,15 [kg/ton] en el caso de Optimize 540 y 0,3 [kg/ton] del producto Optimize Plus 745. La Tabla 6 muestra los análisis realizados considerando un testigo (blanco) y las dos enzimas en una etapa inicial.

Tabla 6: Cuantificación de stickies antes (B) y después (O-540 y O-745) de aplicar las enzimas. Donde, B: Blanco; O.540: Optimize 540; O.745: Optimize Plus 745.

2013	C [% m/V]	Superficie <i>Stickies</i> * [mm ² /10g]			Remoción de <i>stickies</i>	
		B	O.540	O.745	B - O.540	B - O.745
Fecha						
29/abr	0,319	420	398	408	5%	3%
15/may	0,871	107	63	104	41%	3%
16/may	0,324	150	131	100	13%	33%
Promedio					20%	13%

*La superficie de los *stickies* se mide en base a 10 gramos de muestra.

De acuerdo a los resultados obtenidos, cabe destacar que la enzima O-540 es capaz de degradar mayor porcentaje de adhesivos cuando la concentración es cercana al 1 [%] ya que el método experimental entregado por Buckman recomienda trabajar a una concentración del 1 [%]. Por esta razón se decidió seguir trabajando con esta enzima. Debido a que la pasta que cruza por el canal Parshall Cordillera no alcanza dicha concentración (el promedio en este punto es 0,3%), se intervino la muestra filtrándola y, de esta manera, lograr concentraciones cercanas al 1 [%]. Los resultados con esta enzima pueden ser observados en la Tabla 7.

Tabla 7: Cuantificación de stickies con aplicación de enzimas a una concentración cercana al 1%.

2013	C [% m/V]	Superficie <i>Stickies</i> [mm ² /10g]		Remoción de <i>stickies</i> [%]
		B	O-540	B- O.540
Fecha				
15/may	0,871	107	63	41
24/jun	0,807	504	402	20
26/jun	0,735	620	585	6
Promedio	0,804			22

¹⁷ En una primera instancia se decidió mantener la concentración dada la complejidad de espesar la pasta hasta alcanzar el 1 [%]. Sin embargo, al no observar resultados satisfactorios, se decidió filtrar la muestra hasta alcanzar valores cercanos al 1 [%].

En la Tabla 7 se puede observar que la concentración más alta se obtiene cuando no se intervino la muestra (el flujo de pasta en el canal se encontraba a esa concentración), es decir, el día 15 de mayo. La razón puede deberse a que, de acuerdo a la metodología de uso de enzimas, la concentración de fibra debe alcanzar el 1 [%] para lograr óptimos resultados: el día que mejores resultados reporta es, así, aquel que posee concentración de fibra más cercana al 1 [%].

No obstante, es relevante tener presente que el hecho de haber intervenido la muestra puede haber afectado a la fibra. En la sección 4.3.3.2 se presentarán resultados acerca de la cuantificación de fibra comparando el blanco y las enzimas (Clasificación Bauer).

Para predecir la conducta del proceso (porcentaje de remoción de *stickies*) es necesario verificar que el número de muestras sea el adecuado estimando el comportamiento de la varianza. Se volverá sobre esta idea en la sección 4.4.

4.3.3.2 Clasificación de la fibra

Con el propósito de determinar si la fibra se ve afectada por la enzima, se realizó un análisis de clasificación Bauer, agrupándola en contaminantes (plumavit, *stickies*, fibra adherida a *stickies*, arena, etc.), fibra recuperable (fibra retenida en mallas Tyler 28 y 48, y arena) y fibra no recuperable (fibra de tamaño inferior a malla Tyler 48, incluye fibra intermedia-corta, fibra corta, polvo y arena).

La Tabla 8 muestra la caracterización de fibra con las concentraciones reales del canal P. Cordillera mientras que la Tabla 9 es análoga pero con concentraciones cercanas a 1 [%].

Tabla 8: Clasificación de la fibra antes (B) y después (O-540 y O-745) de aplicar las enzimas.

2013	C [% m/V]	Contaminantes [%]			Fibra Recuperable [%]			Fibra No recuperable [%]		
		B	O.540	O.745	B	O.540	O.745	B	O.540	O.745
Fecha										
29/abr	0,319	15	13	14	39	37	39	46%	51	48
15/may	0,871	26	28	27	44	46	44	29%	26	29
16/may	0,324	10	12	12	31	29	30	59	60	58
Promedio	0,505	17,1	17,5	17,8	38,1	37,2	37,1	44,8	45,2	45,1

Tabla 9: Clasificación de la fibra con aplicación de enzimas a una concentración cercana al 1 [%].

2013	C [%m/V]	Contaminantes [%]		Fibra Recuperable [%]		Fibra No recuperable [%]	
		B	O.540	B	O.540	B	O.540
Fecha							
15-may	0,871	26	28	44	46	29	26
24-jun	0,807	14	14	43	43	44	44
26-jun	0,735	14	13	26	27	60	61
Promedio	0,804	18,1	18,2	37,8	38,4	44,2	43,3

En las tablas anteriormente exhibidas, se observa que cuando se trabaja con un flujo a baja concentración, es posible que las enzimas no actúen de forma adecuada, en particular, Optimize 540, ya que en vez de mantenerse o incluso aumentar la fibra recuperable (al remover los *stickies* la fibra adherida puede corresponder a fibra de buena calidad), disminuye. También puede deberse a errores experimentales del equipo. La Tabla 9 muestra un comportamiento diferente. La fibra recuperable se mantiene o aumenta, que es lo esperado, conducta similar debiese ocurrir en la fibra recuperable, pero el día 15 de mayo, disminuye considerablemente. Los otros dos días (24 y 26 de junio) si presentan el comportamiento esperado, ya que en un caso los contaminantes se mantienen constantes y en el otro caso disminuyen y tanto la fibra recuperable como no recuperable se mantiene constante o aumenta.

Como se mencionó anteriormente, para predecir la conducta de un proceso, es necesario verificar que el número de muestras sea el adecuado. Es posible que en este caso se hayan tomado muy pocas muestras (los resultados varían mucho en días distintos). Estos factores se discuten a continuación.

4.4 RECOMENDACIONES PARA FUTURAS ADQUISICIONES DE DATOS

Hay una diferencia clara en el procesamiento de una muestra cuando se desea medir una variable u otra, y tiene relación con el tiempo. Por ejemplo, medir el porcentaje de remoción de *stickies* requiere aproximadamente 1 hora y 30 minutos, mientras que medir la concentración solo requiere 5 minutos.

En un contexto experimental, ¿cuántas muestras se deben tomar para que el valor sea representativo? La respuesta a esta pregunta modificará de manera significativa el tiempo total de experimentación, si aquella variable a ser medida está asociada a un largo tiempo de tratamiento de la muestra.

Se distinguen dos vías para abordar el problema: la primera corresponde a tomar varias muestras y estimar el valor de una variable que involucre poco tiempo de procesamiento experimental. La adición de puntos permite modificar la estimación de la varianza hasta que, por ejemplo, esta estimación varíe menos de un 5%. Cumplido lo anterior, se tiene un número de puntos adecuado.

Una vez que se logra dicha estimación, podría existir alguna ecuación que relacione variables (particularmente, una que toma poco tiempo de muestreo y otra que toma mucho tiempo), pudiendo predecir la varianza de una segunda variable en función de la primera. Tal predicción de la varianza de una variable de largo tiempo de medición, permitirá inferir el número de puntos necesarios para predecir correctamente el comportamiento del proceso.

La segunda alternativa consiste en hacer un estudio directo de la varianza de la variable que involucra largos tiempos de experimentación, y a través de este estudio dar cuenta del número de puntos necesarios.

La ventaja de la primera alternativa es que toma poco tiempo estimar el número de muestras necesarias, mientras que la segunda vía, se pueden tomar varias muestras, sin saber cuántas se requieren para predecir correctamente el comportamiento del proceso.

A partir del análisis anterior, es claro que cualquier predicción que se lleve a cabo con los resultados mostrados en secciones anteriores no tendría validez, pues la estimación de la varianza cambia significativamente cuando se modifica el número de muestras. Para minimizar el error es necesario tomar un mayor número de muestras. Además, otro factor que influye en los resultados corresponde a los errores experimentales (instrumentales y/o personales).

Si bien los factores anteriores debilitan la estimación del comportamiento del proceso, este estudio preliminar considerará el promedio de datos tomados, a modo de referencia.

4.5 EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Esta sección tiene como objetivo determinar el proyecto más rentable a partir de los resultados de factibilidad técnica.

Primero se realizará un análisis preliminar de factibilidad de cada uno de los proyectos, luego se elegirán y se evaluarán económicamente los más atractivos, centrándose en la recuperación de fibra. Los diagramas de flujo de estos proyectos pueden ser revisados en el ANEXO K.

4.5.1 *Análisis preliminar de factibilidad de proyectos*

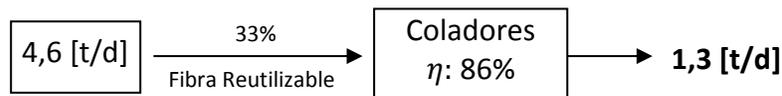
Al comienzo de este proyecto, en la planta se realizó un levantamiento del proceso actual. De esta manera fue posible determinar los equipos y conexiones con los que cuenta cada una de las máquinas. En la MP-8 se observó que existen varias cubas que se encuentran vacías, las que podrían ser utilizadas en las alternativas 1.a y 1.b. Además, la empresa cuenta con un espesador que actualmente está inutilizado. Para este análisis se asumirá que es el adecuado para todos los proyectos.

A continuación se detalla un breve análisis de recuperación de fibra de cada una de las alternativas ya presentadas en la sección 3.3.

4.5.1.1 *Alternativa 1.a*

De acuerdo a los resultados obtenidos en secciones anteriores, si toda la pasta fuese llevada al sector de tratamiento de papel viejo de MP-8, el flujo de *stickies* de canal P. Cordillera sería de

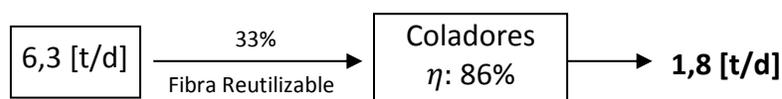
2,51 [m²/min] lo que provocaría una alta contaminación en la máquina (ya que solo un 15% es removido). Para mantener un flujo similar de *stickies* en el proceso y no contaminar de forma significativa la máquina, se podría tomar el caso crítico correspondiente a 0,95 [m²/min]. De esta manera, solo podrían ser transportadas 4,8 [t/d] (9,6% del flujo total que transporta el canal P. Cordillera). Además, existe una pequeña pérdida de pasta en el espesador de 0,2 [t/d]. Como solo el 33% corresponde a fibra útil y, además las cribas son capaces de recuperar el 86%, solo 1,3 [t/d] podrían llegar a recuperarse.



η corresponde al rendimiento de los coladores.

4.5.1.2 Alternativa 1.b

En esta alternativa se requiere de una cuba vacía en que sea posible depositar la pasta y mantenerla agitada durante 1 hora, facilitando el tiempo de contacto necesario entre la fibra y la enzima (tiempo de residencia). Existe una cuba que podría ser utilizada para este proyecto¹⁸ con las siguientes dimensiones: 3 [m] de diámetro y 5 [m] de altura, aproximadamente. El volumen máximo es cercano a 35 [m³]. Ya que no es posible utilizar todo el volumen (de lo contrario la pasta precipitaría) se considera un 80% de volumen efectivo, es decir, 28 [m³]. El flujo máximo desde el canal P. Cordillera a una concentración del 1% corresponde a 204 [m³/h] (51 [t/d]), por lo tanto, para poder mantener agitando la pasta durante 1 [h] tendría que ser transportado alrededor del 14% del flujo total. A la cuba entraría el 14% de 46 [t/d] (equivalente a 6,3 [t/d]), pues al haber dos espesadores hay mayor pérdida que en los otros casos, obteniendo una recuperación de 1,8 [t/d] de fibra.

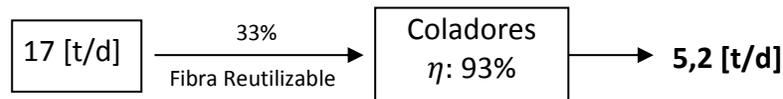


4.5.1.3 Alternativa 2.a

En este proyecto, el flujo de *stickies* es de 2,51 [m²/min] en 51 [t/d] (todo el flujo de pasta que transporta el canal Parshall Cordillera). Nuevamente, con el planteamiento de no contaminar la máquina significativamente, se considera el caso crítico de 4,5 [m²/min], por lo tanto, como el proceso actual contempla 155 [t/d] que entran al colador primario, 137 [t/d] (3,6 [m²/min]) vendrían de materia prima y las 18 [t/d] restantes (0,9 [m²/min]) serían transportadas desde el P. Cordillera hasta un espesador y, posteriormente, cuba vacía ubicada en MP. 20 (pérdida de

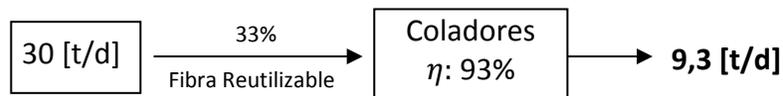
¹⁸ Como se mencionó anteriormente, hay varias cubas vacías, sin embargo, ésta es la que se encuentra más próxima a las cribas, 10 [m] aproximadamente, con las que habría que anexar a las líneas de proceso.

pasta en espesador: 1 [t/d]). Al igual que en los proyectos anteriores el 33% corresponde a fibra útil, pero en este caso los coladores tienen un rendimiento del 93%, siendo posible recuperar 5,2 [t/d].



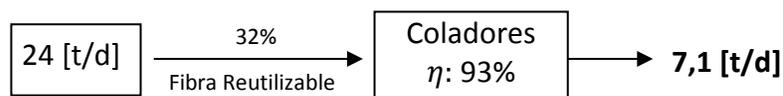
4.5.1.4 Alternativa 2.b

Este proyecto sería análogo al 2.a, la diferencia radica en que se requiere de la aplicación de enzimas en la cuba que se ubica después del espesador. Para la evaluación preliminar, se consideró el promedio de concentraciones (0,8 [% m/V]) asociado a las muestras exhibidas en la Tabla 7 (20% de remoción de *stickies*) pues esta concentración es similar al valor de la entrada de los coladores (0,7 [% m/V]). Al igual que en la alternativa anterior, se considera el caso crítico de flujo de *stickies* es de 4,5 [m²/min]. En este caso es posible transportar mayor flujo de pasta gracias a la acción de las enzimas. También hay que considerar que dentro de la máquina, no es posible una cuba de gran tamaño, por lo que se sugiere que el volumen máximo fuese de 190 [m³] (cuba cuadrada de dimensiones 8x6x4 [m³]¹⁹, es decir, un volumen efectivo de 160 [m³]) lo que correspondería a transportar 32 [t/d] (pérdida de pasta en espesador: 2 [t/d]). El flujo promedio de los *stickies* sería de 4,5 [m²/min] coincidiendo con el valor crítico. Al igual que en el proyecto 2.a, 33% corresponde a fibra útil y el rendimiento de los coladores es de un 93%, siendo posible recuperar 9,3 [t/d] de fibra.



4.5.1.5 Alternativa 3

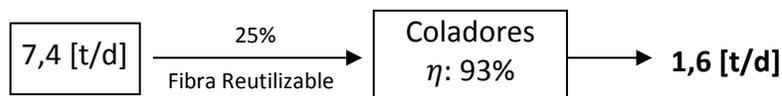
Con respecto a esta alternativa, el flujo de *stickies* es de 1,04 [m²/min] en 25 [t/d], que corresponde al flujo promedio que transporta el canal P. MP-20. En este caso, la pérdida de pasta en espesador es de solo 1 [t/d]. Al mezclar esta pasta con la que proviene de la máquina (131 [t/d] restantes para completar las 155 [t/d] que entran actualmente a los coladores) el flujo de *stickies* sería de 4,46 [m²/min] valor que está por debajo de la restricción de 4,51 [m²/min]. Se requeriría una cuba cuadrada con un volumen máximo de 170 [m³] (volumen efectivo: 141 [m³]) por lo que sus dimensiones serían 7x6x4 [m³]. Realizando el mismo análisis anterior de recuperación de fibra, en el P. MP-20 el 32% corresponde a fibra útil y el rendimiento de los coladores es de 93%, por lo que sería posible recuperar 7,1 [t/d] de fibra.



¹⁹ Las dimensiones están ordenadas de la siguiente forma: Largo x Ancho x Alto.

4.5.1.6 Alternativa 4

En este proyecto es posible recuperar toda la pasta pues el flujo que circula por el canal P. MP-8 es bastante bajo (7,4 [t/d]) al igual que la concentración (0,12 [%]). Se requeriría un espesador que alcance una concentración del 0,7 [% m/V] (teniendo una pérdida de pasta en espesador de 0,4 [t/d]). El porcentaje de fibra reutilizable en este canal es de 25% y el rendimiento de los coladores (al igual que en las alternativas 2.a, 2.b y 3) es de 93%, por lo tanto, se podría recuperar 1,6 [t/d] de fibra. El flujo de *stickies* proveniente del P. MP-8 es inferior en comparación a los otros canales (0,027 [m²/min]) por lo que no sería un problema contaminar la máquina (con el aporte de materia prima, el flujo total correspondería a 3,95 [m²/min]).



Las alternativas 1.b y 2.b requieren de una cuba donde se almacenen las enzimas y una bomba que agregue la dosis necesaria en la cuba que mantiene la pasta agitando. El proveedor (Buckman Laboratorios) se hace cargo de los equipos e instalación por lo que la empresa no tendría costos asociados.

4.5.1.7 Resumen análisis preliminar de factibilidad de proyectos

La siguiente tabla resume las características de los proyectos alternativos anteriormente descritos.

Tabla 10: Factibilidad preliminar de cada alternativa.

	Alternativa 1.a	Alternativa 1.b	Alternativa 2.a	Alternativa 2.b	Alternativa 3	Alternativa 4
Fibra Recup. [t/d]	1,3	1,8	5,2	9,3	7,1	1,6
Flujo de <i>stickies</i> [m ² /min]	0,95	0,94	4,48	4,51	4,46	3,95
Nuevos equipos						
Bombas	1	2	2	2	2	2
Espesadores	1	2	1	1	1	1
Cubas	0	0	1	1	1	1

Como se observa en la Tabla 10, los proyectos con las mejores alternativas (aquellas que presentan mayor recuperación de fibra) corresponden a los proyectos 2.a, 2.b y 3. Sin embargo, preliminarmente, entre las alternativas 2.a y 3, claramente sería más atractiva la 3 debido a que tiene una mayor recuperación de fibra y los costos asociados a conexiones son más bajos en este caso (proyecto 3) pues las distancias son menores. Por lo tanto, solo se evaluarán los proyectos 2.b y 3 económicamente.

4.5.2 Dimensionamiento de Proyectos

En esta sección se listan los equipos necesarios que componen cada uno de los proyectos con sus respectivas dimensiones características basados en los diagramas de flujo en que aparecen los balances de masa en el 0

Tabla 11: Dimensiones características de los proyectos a evaluar

	Unidad	Proyectos	
CONDICIONES DE OPERACIÓN		2.b	3
Temperatura (promedio)	°C	23	25
CARACTERÍSTICA DE BOMBAS (factor de seguridad: 10%)			
Bomba 1 (*)			
Presión (máxima)	bar	4,1	2,5
Flujo (nominal)	L/min	7.168	4.134
Concentración (nominal)	[% m/V]	0,31	0,42
Potencia	kW	24	13
Bomba 2 (Desde espesador a cuba nueva en MP-20)			
Presión (máxima)	bar	4,1	2,3
Flujo (nominal)	L/min	2.639	2.356
Concentración (nominal)	[% m/V]	0,31	0,7
Potencia	kW	24	10
CARACTERÍSTICAS DE CUBAS (volumen efectivo: 80% de volumen máximo)			
Volumen máximo	m ³	190	170
Potencia motor	kW	45	45
CARACTERÍSTICAS DE ESPESADOR			
Diámetro	mm	1.250	1.250
Largo	mm	1.580	520
Concentración (nominal)	[% m/V]	0,31 a 0,8	0,42 a 0,7
Potencia	kW	15	15
CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISOR Y CONTROLADOR DE NIVEL			
Longitud de trabajo	m	1 a 3,5	1 a 3,5

(*) La bomba 1 capta la pasta desde los distintos canales Parshall y requiere de una alta presión dada las distancias (pérdidas de carga) entre el punto de origen y el final. En el caso del proyecto 2.b, el transporte es desde el canal P. Cordillera hasta un espesador que se ubicaría en la MP-20. El proyecto 3, el trayecto es desde el canal P. MP-20 hasta el espesador ubicado en MP-20.

4.5.3 *Dimensionamiento de equipos*

A continuación se explica brevemente cómo se calcularon las dimensiones características de los nuevos equipos que se implementarían en los proyectos. Para mayor detalle acerca del desarrollo de la memoria de cálculo, ver ANEXO H.

- **Bombas:** Para poder realizar el dimensionamiento de estos equipos, los cálculos fueron basados en pérdida de carga con la ecuación de Bernoulli. Además, para poder utilizar esta ecuación, se consideró el supuesto de que se está trabajando con agua en vez de pasta, asumiendo que no influye al ser concentraciones tan bajas (inferiores al 1% de fibra, por ende, el 99% restante corresponde a agua). Para el proyecto, se utilizarían cañerías de acero inoxidable. A partir de una velocidad estimada y un flujo conocido, es posible calcular los diámetros de cañería y la presión necesaria que requeriría la bomba para transportar la pasta acuosa.
- **Espesadores:** Para el dimensionamiento de estos equipos, la estimación se realizó a partir de los espesadores que están actualmente operando en MP-8. Con los datos de sus dimensiones (diámetro: 1250 [mm] y largo: 3550 [mm]), concentraciones de entrada y salida (1,78% y 3,58%, respectivamente) y el tiempo que se demora en dar una vuelta (3 [s]), fue posible estimar la nuevas dimensiones de los espesadores que se requieren considerando el diámetro constante.
- **Cuba:** Este equipo requiere de un transmisor de nivel y un relé (controlador de nivel) ya que para la puesta en marcha, es necesario establecer un nivel mínimo cuya finalidad es que la bomba que transporta la pasta desde la cuba a los coladores no cavite, y un nivel máximo para que la pasta no precipite. Además, el transmisor a través de señales, informaría a los motores que la preceden, continuar o detenerse en caso de alguna falla. Las cubas se dimensionaron en base al flujo de entrada y el espacio donde se ubicaría.

4.5.4 *Cañerías y Conexiones*

La Tabla 12 resume las dimensiones y características de las cañerías y sus conexiones para la recuperación de fibra. Con respecto al montaje de los proyectos, estos fueron obtenidos a partir del layout de la planta el que permitió poder decidir el trazado de cañerías y realizar planos isométricos (en el ANEXO L se expone mayor detalle acerca de los diagramas isométricos para cada uno de los proyectos)²⁰.

²⁰ Para estimar los costos asociados a los materiales y a la mano de obra (fabricación e instalación de insertos) se realizó una cotización con la empresa Héctor Berroeta Aguirre (Montajes Industriales, Fabricaciones y Reparaciones) pudiendo así estimar los costos. Para mayor detalle sobre la cotización, ver en ANEXO I.

Tabla 12: Características de las cañerías y conexiones para la recuperación de fibra.

Piping y Fitting	2.b	3
Largo de cañería [m]	905	275
Diámetro de cañería [in]	10	10
Codos	23	17
Cuellos	4	4
Respaldos	4	4
Pernos tipo std.	4	4
Empaquetamientos	4	4
Válvulas de compuerta (tipo gullotina)	2	2

4.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS

En esta sección se evaluarán los dos proyectos elegidos anteriormente cuya finalidad es determinar, a partir de distintos indicadores, cuál es el mejor proyecto a realizar.

4.6.1 Supuestos para realizar flujo de caja

Para realizar el flujo de caja, se consideró como ingresos el papel obtenido a partir de la fibra tratada, como costos fijos las enzimas (proyecto 2.b) y la mano de obra y el consumo eléctrico de la máquina por tratar la fibra como costos variables. La inversión que se requiere para los proyectos involucra conexiones (en los proyectos 2.a y 2.b tiene un costo más elevado que el proyecto 3, pues las distancias son significativamente mayores) y nuevos equipos. La Tabla 13 resume estos valores.

Tabla 13: Ingresos e inversión de proyecto para recuperación de fibra

Proyecto	Fibra recuperada [ton/día]	Ingresos [US\$/año] (*)	Costo máquina [US\$/año] (**)	Costos fijos [US\$/año] (***)	Inversión [US\$] (****)
2.b	9,3	816.350	95.245 (176.380)	44.000	606.000
3	7,1	618.450	72.155 (133.620)	1.540	226.000

(*) Precio de la fibra: 250 [US\$/ton fibra] en base a 350 días.

(**) Valor por tratar la fibra en la MP-20 es de 29 [US\$/ton] el año 2013 y 54 [US\$/ton] desde el año 2014 en adelante.

(***) Costos incluyen enzimas y/o mano de obra (20 [h] mensuales, 4 ingenieros en ejecución, 161 [US\$/mes]).

(****) Valor incluye precio de cañería, uniones, codos, soporte, instalación, supervisión, imprevistos, válvulas, precio bombas, instalación y partida eléctrica y cuba. La estimación de bombas se hizo en base a cotizaciones con características similares.

El proyecto se financiará 100% con los ingresos de la empresa. Se consideró una tasa de descuento del 10,5% [20].

Finalmente, para estimar la depreciación de los activos, se consideró que éstos se deprecian de forma lineal, es decir, cada equipo tiene una depreciación fija todos los años. Este valor se obtiene dividiendo el precio del activo por el tiempo de vida que presenta (en este caso se consideraron las cañerías y bombas que tienen un tiempo de vida de 10 años).

La Tabla 14 resume la evaluación económica de cada proyecto (para el detalle del flujo de caja de cada proyecto, ver ANEXO J).

Tabla 14: Evaluación económica proyectada a 5 años con una tasa de descuento del 10,5%.

Proyecto	VAN [KUS\$]	TIR	Pay back [meses]
2.b	1.450	75%	15
3	1.330	160%	7

Cuando dos proyectos son mutuamente excluyentes, el criterio a seguir es elegir aquel proyecto con mayor VAN, pese a que un proyecto tenga mayor TIR que otro (la regla de decisión de la TIR no aplica en este caso para elegir el mejor proyecto).

Sin embargo, en la Tabla 14, se observa que la TIR del proyecto 3 es significativamente mayor que el 2.b. Además, paralelamente, la recuperación de la inversión es en la mitad del tiempo en el proyecto 3. Si se analiza más en detalle, en el caso de desarrollar el proyecto a largo plazo, es conveniente la alternativa 2.b; en caso contrario, si el proyecto está considerado a corto plazo (periodo de tiempo menor a 5 años), la opción más ventajosa es la alternativa 3. El quiebre es cercano a los 5 años y es ésta la razón de que el VAN de los proyectos sean similares. En la Figura 23 se evidencia lo anteriormente señalado.

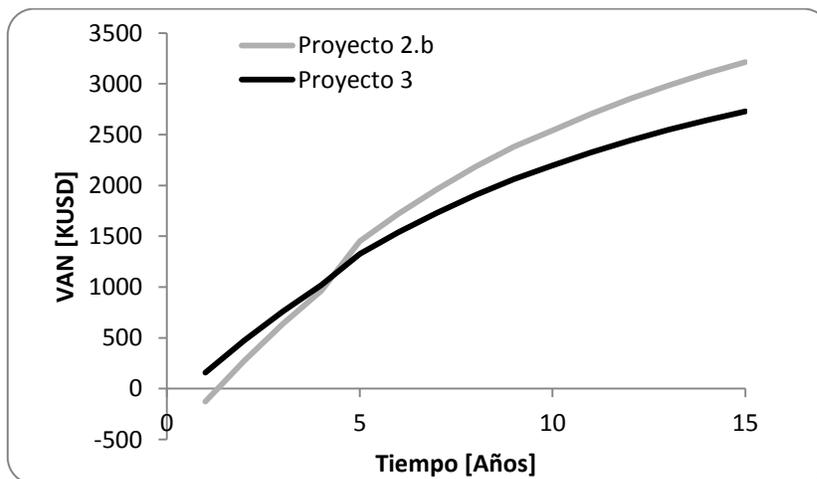


Figura 23: Comparación del VAN de los proyectos en función al tiempo.

En el contexto de Papeles Cordillera, el proyecto se pensaría a largo plazo, dada las condiciones de la empresa, por esta razón se sugeriría realizar el proyecto 2.b.

4.6.2 **Análisis de sensibilidad**

Se considerarán los siguientes parámetros críticos para realizar el análisis de sensibilidad con respecto a los proyectos 2.b y 3.

- **Inversión:** Se considera este parámetro pues influye mucho en lo que ocurre en los primeros años con respecto al flujo de caja, dado que éste puede provocar flujos negativos en un período de tiempo considerable y como consecuencia un VAN negativo. En la Figura 24 se observa el comportamiento del VAN en función de la inversión. Sobre un aumento de un 475%, recién el proyecto comienza a no ser rentable. En el caso del proyecto 3, el aumento tendría que ser superior al 1000% para que deje de ser rentable.

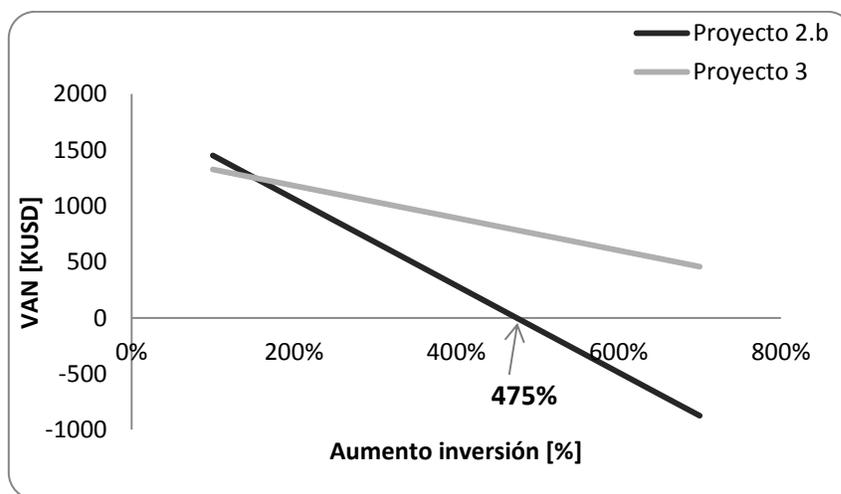


Figura 24: Gráfico del VAN en función del porcentaje de aumento de la Inversión.

- **Tasa de descuento:** En la Figura 25 se observa que el proyecto 3 es el de mayor TIR (160%). Sin embargo, el proyecto 2.b tiene un VAN superior cuando $r < 20\%$ (tasa de descuento de CMPC utilizada es de 10,5%). Para tasas de descuento superiores al 20%, se observa que el VAN del proyecto 3 supera al 2.b. Si la tasa de descuento fuese superior al 16%, conviene realizar el proyecto 3, ya que en este caso, los dos indicadores (VAN y TIR) serían mayores que en el proyecto 2.b.

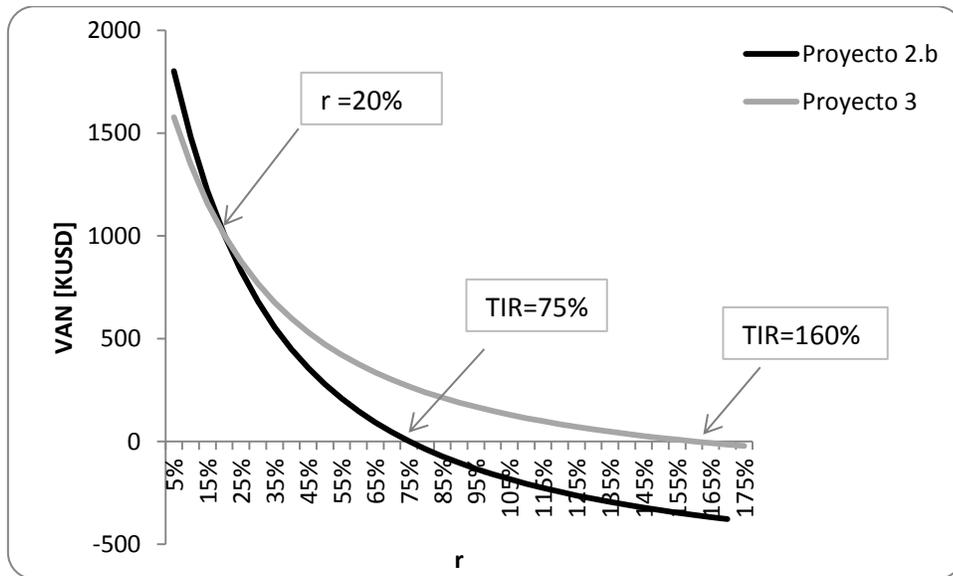


Figura 25: Gráfico del VAN en función de la tasa de descuento

- Fibra recuperada: Este parámetro debe ser evaluado, pues es importante saber qué ocurriría si se recuperara una masa de fibra inferior en cada alternativa. Se evaluó el proyecto considerando menor recuperación, como se observa en la Figura 26.

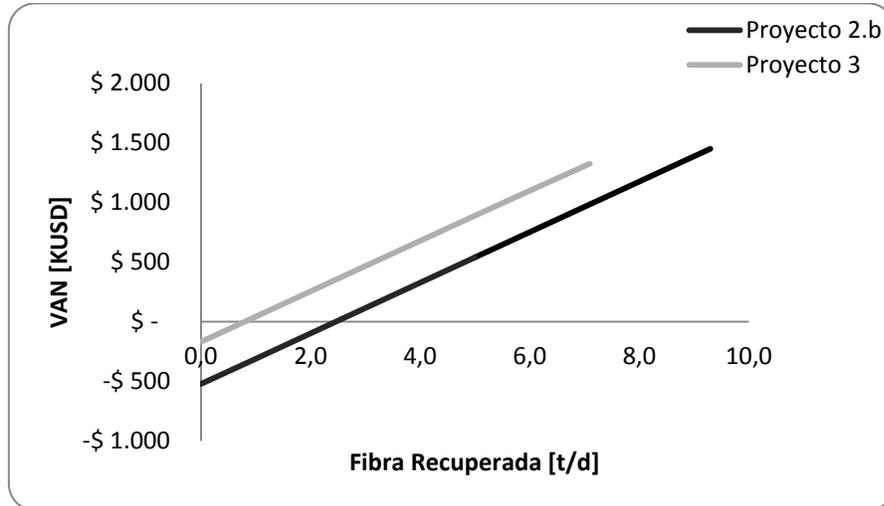


Figura 26: Gráfico del VAN en función de la variación de fibra recuperada.

Se puede advertir que el proyecto 2.b comienza a ser poco ventajoso en el momento en que la recuperación de fibra comienza a ser menor a 2 [t/d]. En cuanto al proyecto 3, el proyecto deja de ser rentable cuando la recuperación es menor a 1 [t/d].

4.6.3 Desventaja de los proyectos

Estos proyectos presentan la desventaja de que al recircular el efluente desde alguno de los canales Parshall la pasta contribuiría a un pequeño aumento de los contaminantes en la máquina y a una disminución en la fibra recuperable. La Figura 27, muestra la comparación entre la entrada al colador primario, los canales Parshall Cordillera y el Parshall de MP-20, los dos últimos ponderados con materia prima (M. Prima). Estas dos combinaciones (P. Cordillera – M. Prima y P. MP-20 – M. Prima) aportarían el mismo porcentaje de contaminantes y porcentajes similares de fibra recuperable en la entrada del colador primario debido a que recirculan distintos porcentajes (tanto de contaminantes como de fibra recuperable) desde los canales, como se muestra en la Tabla 15. En este gráfico (Figura 27), es claro observar que estas dos opciones no perjudicarían significativamente el proceso (los contaminantes aumentarían de un 20% a un 23% en ambos casos). En general, no se observan grandes diferencias, pues solo un porcentaje de la pasta que proviene de los canales Parshall se recircularía (15% en el caso de P. MP-20 y 20% recircula desde el P. Cordillera). Se recomendaría monitorear durante un período de tiempo si ese 3% de contaminantes afectaría a la máquina.

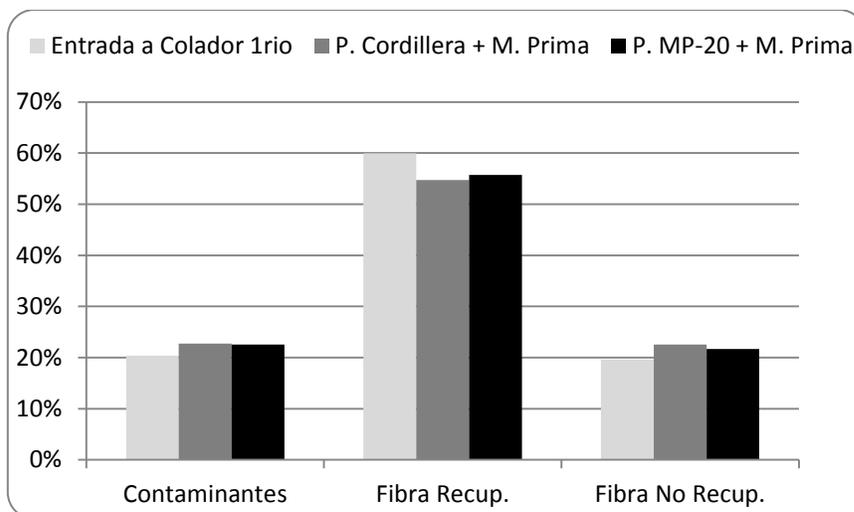


Figura 27: Configuraciones a la entrada de colador primario.

Tabla 15: Distribución de composiciones en los puntos de recuperación de fibra (canales Parshall).

	Contaminantes	Fibra Recuperable	Fibra No Recuperable
P. Cordillera	32%	33%	34%
P. MP-20	35%	32%	33%

4.6.4 **Recomendaciones para trabajos futuros**

Debido a que los proyectos más rentables corresponden a las alternativas 2.b y 3, es posible predecir que de la combinación de estos dos proyectos se obtendría un proyecto técnicamente factible y económicamente muy atractivo. Cabe señalar que no sería factible captar todo el flujo, ya que en ese caso, este nuevo reciclo provocaría acumulación en el proceso.

Como se mencionó en secciones anteriores, los equipos que permitirán la separación de fibra y contaminantes son las cribas en las alternativas presentadas. Sin embargo, la arena, al tener un tamaño inferior al de la fibra, no podría ser separada con equipos que clasifican por tamaño de partícula.

Una solución para esta separación sería utilizar un desarenador de vórtice. Para trabajos posteriores, sería de gran utilidad evaluar el desempeño de estos equipos (conocidos en Papeles Cordillera como *cleaners*) e instalar el reciclo al proceso justo una etapa antes de los equipos de separación (cribas).

Por otro lado, existe la posibilidad de eliminar la arena con un desarenador longitudinal. Este equipo funciona básicamente por gravedad y tiempo de retención. Los sólidos pesados se depositan en el fondo (arena) de donde es retirado periódicamente y los sólidos más ligeros flotan. Normalmente se construyen dos estructuras paralelas, para permitir la limpieza de una de las estructuras mientras la otra está operando.

Por lo anterior, se piensa que la primera opción es la mejor alternativa pues, como se mencionó, el proceso ya cuenta con esos equipos, por lo que no habría que incurrir en gastos. Sin embargo, se propone evaluar estas dos opciones en cuanto a eficiencia y a costos (instalación, mantención, gasto energético, etc.).

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo realizado en este período de tiempo, a partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que:

- De los seis proyectos inicialmente planteados, se seleccionaron tres después de un análisis preliminar del potencial de recuperación de fibra.
- De los proyectos elegidos, tomando en cuenta la recuperación de fibra en un nivel de análisis mayor, las alternativas que resultan más atractivas corresponden a los proyectos 2.b y 3, que consisten en transportar la pasta desde el efluente Cordillera y desde el efluente de MP-20, respectivamente, ambos proyectos se transportan hasta un nuevo espesador ubicado en el sector de papel viejo de la MP-20.
- Otros indicadores como la distancia para el transporte de pasta refuerzan la primera elección y el flujo de *stickies* refuerzan la segunda elección.
- El análisis da cuenta de que la alternativa que genera mayor utilidad corresponde al proyecto 2.b proporcionando un VAN proyectado a 5 años de 1.680 [KUS\$] y una TIR del 75%, evidenciando un proyecto rentable.
- El proyecto 2.b se sometió a un análisis de sensibilidad, demostrando que la rentabilidad del proyecto no es sensible, ya que a grandes variaciones, como el aumento de la inversión, significan poco cambio. Análogo es el caso de la tasa de descuento y la fibra recuperada. Así, es muy difícil que uno de estos parámetros varíe tanto como para que el proyecto no sea rentable.
- Cabe señalar que este trabajo es un análisis preliminar. En caso de querer profundizar en el tema, se precisa de un mayor número de mediciones para que los valores sean representativos. Además, se requeriría hacer la progresión desde la etapa de ingeniería conceptual a una básica y, finalmente a una ingeniería de detalles.
- Este proyecto propone cambios que, además de mejorar los parámetros económicos, aumenta la eficiencia del proceso relativa al uso de materia prima, con los consiguientes beneficios ambientales y ahorro en el tratamiento de RILes.

Además se recomienda, para posteriores desarrollos, los siguientes puntos:

- Evaluar el proyecto 3 con aplicación de enzimas, realizando mediciones de forma continua en el efluente de MP-20 durante un tiempo que se estime adecuado (para predecir la conducta de un proceso, es necesario verificar que el número de muestras sea el óptimo).
- Evaluar técnica y económicamente los desarenadores (*cleaners*) que se encuentran en la MP-20.
- Monitorear el aumento de contaminantes y su efecto sobre la MP-20, en caso de hacer efectivo el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CMPC EMPRESAS. El Papel. [en línea] <<http://www.papelnet.cl/pdf/papel.pdf>> [consulta: 10 marzo 2012].
- [2] EMOL. CMPC: Empresas CMPC S.A. [en línea] <http://www.economiaynegocios.cl/mercados/sector_accion.asp?simbolo=CMPC> [consulta: 14 julio 2013].
- [3] EMPRESAS CMPC. Mi papel en CMPC. [en línea] <<http://www.mipapelencmpc.cl/nuestra-empresa>> [consulta: 14 julio 2013].
- [4] EMPRESAS CMPC. Filial CMPC Papeles Cordillera. [en línea] <<http://www.papelescordillera.cl/>> [consulta: 18 diciembre 2012].
- [5] PAPERMARKET. Productores de Papel en Chile. [en línea] <<http://www.papermarket.cl/chile-2/>> [consulta: 20 diciembre 2012].
- [6] VOITH, Intensa Technology: Rebuild concept for more efficient pulping. [en línea] <<http://www.voith.com/en/products-services/paper/intensatechnology-2472.htm>> [consulta: 12 agosto 2013].
- [7] HERNÁNDEZ, José Determinar la cantidad de macrostickies y microstickies presentes en el proceso productivo de planta de destintado y de molinos. Informe técnico para empresa Papeles Venezolanos. Valencia, Venezuela. Universidad de Carabobo, Facultad Experimental de Ciencia y Tecnología, 2011. 15p.
- [8] EL RECICLAJE. El Reciclaje de Papel. [en línea] <<http://elreciclaje.org/content/reciclaje-de-papel>> [consulta: 28 julio 2013]
- [9] TURRADO J., CASTILLO M., SAUCEDO A., DELGADO F., ALZATE H., RAMOS Q. Aspectos físicos y químicos del destintado por flotación. En: 5º Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel - CIADICYP 2008: 20 al 23 de octubre de 2008. Guadalajara. Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel. 2008. pp. 1-9.
- [10] TURRADO J., REYNOSO Q., ABURTO G., SAUCEDO C., SAN JUAN D., VARGAS R. Las enzimas esterasa como alternativa de control de *stickies*. En: 5º Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel - CIADICYP 2008: 20 al 23 de octubre de 2008. Guadalajara. Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel. 2008. pp. 1-7.

- [11]JULIEN, F. ScreenClean: Optimisation of screening and cleaning technology to control deinking pulp cleanliness, April 2003 – March 2005. Final Technical Report. 2005
- [12]MONTE M. Depósitos Adherentes en el Proceso de Fabricación de Papel Reciclado. Tesis (para optar al grado de Doctor en Ciencias Químicas). Madrid. España. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Ingeniería Química. 2000. 299p.
- [13]ALZATE N., BORDA M. Elaboración de un material a partir de un residuo sólido no reciclable de una empresa de Artes Gráficas. Memoria (Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero de Procesos). Medellín, Colombia. Universidad Eafit, Departamento de Ingeniería de Procesos, 2006. 130 h.
- [14]JULIEN, F. Principles and Technology of Screening - Fractionation, 8th CTP/PTS Advanced Training Course on Paper & Board Deinking Technology, Paper n°12, Grenoble, 29-30-31 May 2007. 109p.
- [15]BUCKMAN LABORATORIES. Hoja técnica: OPTIMIZE[®] 540. Control enzimático de *stickies*. Proporcionada por el laboratorio. 2004.
- [16]BUCKMAN LABORATORIES. Hoja técnica: OPTIMIZE[®] PLUS 745. Producto enzimático de controle de *stickies*. Proporcionada por el laboratorio. 2009.
- [17]CISNEROS G. Estudio de la flotación para el destintado de la fracción de fibra corta en pulpa procedente de papel recuperado. Memoria (Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Químico). Universidad de Zaragoza, Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente, 2012. 41 h.
- [18]CLEANTOOL. Limpieza con abrasivos. [en línea]
<http://www2.cleantool.org/lang/sp/mat_cleaning/09_reinigungprozess.htm>
[consulta: 25 noviembre 2012]
- [19]MESER. Gases industriales optimizan la fabricación de papel. [en línea]
http://www.messer.es/Sectores_y_aplicaciones/pulpa_papel/Fabricacion_de_papel_0402_10.pdf [consulta: 06 septiembre 2012]
- [20]BBVA. Sector Forestal: El valor ya está en el precio. [en línea]
<http://www.bbva.cl/fbin/Forestales20120327_tcm319-314480.pdf>
[consulta: 19 julio 2013]

ANEXOS

ANEXO A . PRINCIPALES PRODUCTORES DE PAPELES EN CHILE

En Chile existen once plantas industriales que fabrican papeles de diversas características, de acuerdo a los distintos tipos de papel que demandan los mercados nacional e internacional.

La mayoría de estas fábricas están ubicadas entre la Región Metropolitana y la X Región. Las fábricas de papel periódico, que requieren de un mayor consumo de madera, están ubicadas en la VIII Región.

Tabla 16: Principales fábricas de Papel en Chile y tipos de papel que producen.

Empresa	Planta	Prod. Anual (miles de ton.)	Tipo de Papel que produce
Empresas CMPC S.A.	Puente Alto, RM	320	Papeles de impresión y escritura, papeles para corrugar, papeles para envolver y embalaje y papel tissue
	Maule VII Reg.	300	Cartulinas, papeles para corrugar y para la construcción
	Nacimiento, VIII Reg.	200	Papel para periódico
	TISSUE, Talagante y Pte. Alto	110	Papel tissue
	Laja, VIII Reg.	80	Papeles de impresión y escritura y papeles para embalaje
	Valdivia, X Reg.	75	Cartulinas, papeles para corrugar y para la construcción
Papeles Bío Bío	San Pedro, VIII Reg.	126	Papel para periódico y otros papeles de pulpa mecánica
Cía. Papelera del Pacífico	San Francisco de Mostazal, VI Reg.	90	Papeles para corrugar
Papelera Concepción S.A.	Coronel, VIII Región	60	Papel para periódico
Papeles Industriales S.A.	Lampa, RM	45	Papeles tissue y papeles para envolver
Fábrica de Papeles Carrascal S.A.	Quinta Normal, RM	40	Papeles para corrugar
Paimasa	Isla de Maipo, RM	15	Papeles para corrugar
Schorr y Concha	Talca, VII Reg.	6	Papeles para corrugar

*Datos actualizados a diciembre de 2011, aportados por las mismas empresas.

ANEXO B. ESTRUCTURA DE LOS ADHESIVOS

La Figura 28 muestra las distintas estructuras que poseen los *stickies*. Cabe señalar que el principal componente de estos adhesivos en el papel reciclado, corresponde a acetato de polivinilo (PVA).

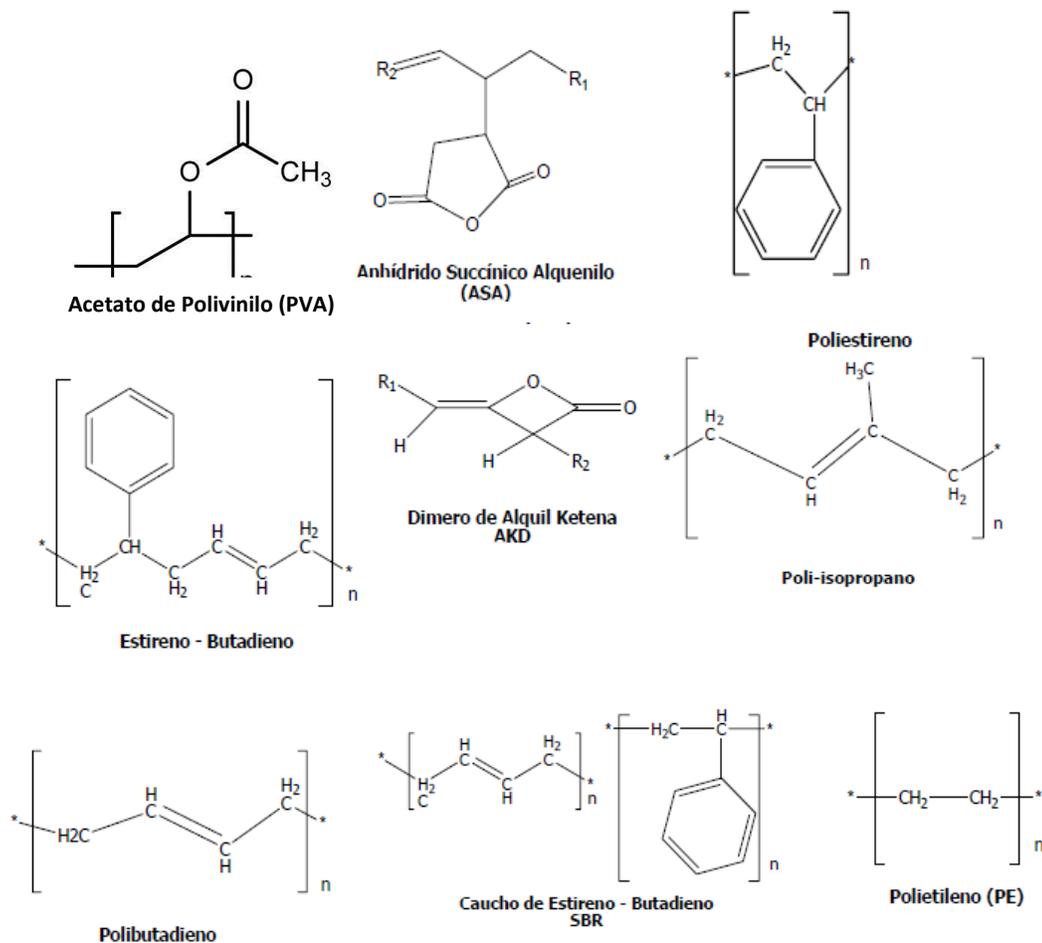


Figura 28: Adhesivos que se encuentran en el papel reciclado.

ANEXO C. PÉRDIDAS DE FIBRA

A partir de la siguiente ecuación es posible calcular la pérdida de fibra en cada una de las máquinas papeleras:

$$PF_{consumo} = \frac{CF \cdot (1 - \%HC) - PB \cdot (1 - \%HP) + (CA \cdot \%RA)}{CF \cdot (1 - \%HC)} \quad (Ec. 9)$$

Donde PF (consumo) corresponde a la pérdida de fibra en base a consumo; CF es el consumo de fibras; HC es la Humedad de consumo; PB se refiere a la producción bruta; HP es la humedad de producción; CA corresponde al consumo de aditivos y RA es la retención de aditivos.

A partir de la Ec. 9, reemplazando los valores con los que cuenta la empresa, fue posible obtener los datos que aparecen en la Tabla 17.

Tabla 17: Pérdida de fibra mensual de las máquinas papeleras durante el año 2012.

Fecha (2012)	Ene	Feb	Mar	Abr	may	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P.F MP-8 [%]	7,47	8,46	7,18	6,73	-	N.A	7,66	7,02	8,35	7,27	9,41	5,12
P.F MP-10 [%]	7,88	9,77	10,66	8,67	10,56	11,35	11,21	12,96	13,20	12,59	21,24	14,73
P.F MP-20 [%]	10,41	8,20	9,85	8,60	8,22	7,91	6,87	8,55	9,44	9,91	8,80	7,79

La Tabla 17 muestra las pérdidas de fibra de cada máquina mes a mes durante el año 2012. Cabe señalar que todo el mes de mayo, la MP-8 estuvo en mantenimiento, por lo que la máquina estuvo detenida durante todo ese mes. Además, el mes de junio se registró que el valor de pérdida de fibra no está disponible (*Not Available*). Es posible que con la puesta en marcha haya habido un alto porcentaje de pérdida de fibra en un comienzo, por lo que probablemente el valor no sería representativo.

Otro acontecimiento relevante es que en la MP-10, en el mes de noviembre, el valor de la pérdida de fibra es muy elevado en comparación con la media (alrededor del 12%), razón por la que se decidió no considerar este valor al momento de calcular el promedio anual.

En la Figura 29, Figura 30 y Figura 32, se observan las pérdidas de fibras mensuales en las máquinas papeleras a partir de los datos que aparecen en la

Tabla 17. Estos valores fueron entregados por la empresa. El promedio de la MP-8 el año 2012 fue de 7,5%, MP-10 fue de 11,24% y MP-20 fue de 8,7%.

Finalmente, al promediar las pérdidas de fibra de las tres máquinas se obtuvo un valor cercano al 9%.

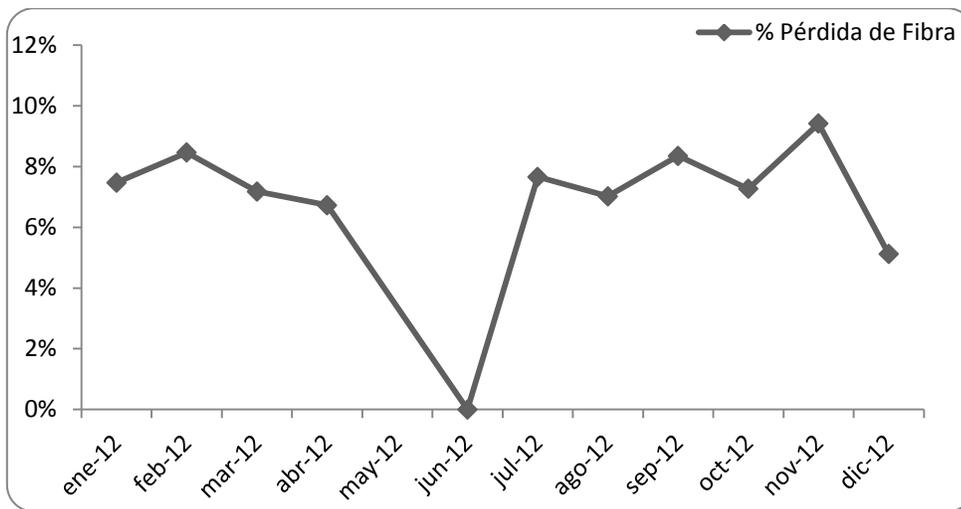


Figura 29: Pérdida de fibra de Máquina Papelera N°8 en base a consumo, 12 meses.

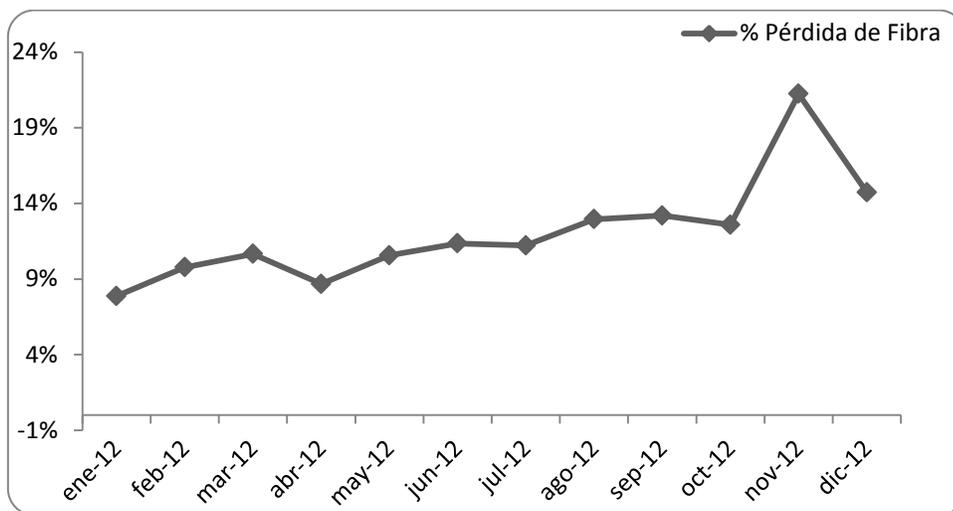


Figura 30: Pérdida de fibra de Máquina Papelera N°10 en base a consumo, 12 meses.

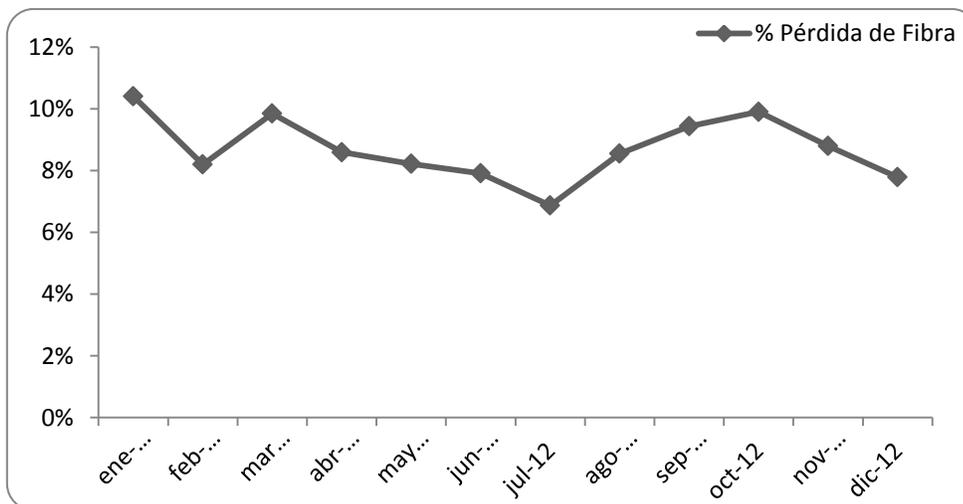


Figura 31: Pérdida de fibra de Máquina Papelera N°20 en base a consumo, 12 meses.

ANEXO D . CUANTIFICACIÓN DE RECUPERACIÓN DE FIBRA

En la tabla que se presenta a continuación se observan los flujos y sus respectivas concentraciones en cada uno de los Parshall.

Tabla 18: Cálculo de lodos en canales Parshall de las máquinas papeleras.

Fecha 2012	Q - MP 20 [m ³ /día]	C - MP 20 [gr/L]	Lodo MP-20 Base Seca [t/d]	Q - FAB [m ³ /día]	C - FAB [gr/L]	Lodo FAB. Base Seca [t/d]
Enero	8.698	3,3	28,9	8.065	2,9	23,1
Febrero	8.311	3,5	29,4	8.299	1,9	16,0
Marzo	7.781	3,7	28,5	7.356	2,2	16,2
Abril	8.753	4,1	36,3	4.589	1,8	8,2
Mayo	8.892	4,0	35,3	3.879	1,3	5,2
Junio	8.763	3,8	33,5	8.901	3,9	34,8
Julio	8.325	3,5	29,0	9.721	4,2	41,1
Agosto	10.093	3,7	36,9	8.331	3,8	31,7
Sept.	8.876	3,5	31,3	7.718	2,4	18,9
Octubre	8.528	3,2	26,9	8.436	2,4	20,2
Noviembre	9.010	4,1	36,6	8.423	2,1	18,1
Diciembre	8.887	3,6	32,0	8.397	1,3	11,2
Promedio	8.743	3,7	32	7.676	2,5	19

Tabla 19: Propiedades físicas de la fibra que cruza el Parshall Cordillera.

	Q [l/min]	C [gr/L]	Q [t/d]
Total	11.402	3,13	51,5

La Tabla 19 resume los valores promedios de caudal y consistencia en canal Parshall Cordillera, datos que serán utilizados en el balance de masa.

Las Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23 muestran los resultados de la clasificación de fibra en los distintos Parshall. En la Tabla 20 solo se observa los resultados a partir del análisis que realiza la clasificación Somerville Bauer (fraccionador y clasificación Bauer), mientras que las otras tres tablas exponen los mismos resultados pero añadiendo la arena presente en cada uno de los canales.

D.1 PARSHALL CORDILLERA

Tabla 20: Clasificación Somerville Bauer de canal Parshall Cordillera.

Fecha (2012)	C [%]	Contamin. [%]	Fibra Recup. [%]	Fibra no útil [%]	Q [L/min]	Q [t/d]	Fibra Recup. [t/d]
24-abr	0,53	14	37	49	12.498	95	36
19-jun	0,26	16	36	48	10.919	40	15
16-ago	0,20	11	33	56	14.623	42	14
20-ago	0,27	12	33	55	13.294	52	17
21-ago	0,17	15	41	44	12.281	30	13
30-ago	0,24	8	33	59	12.213	41	14
Promedio	0,23	13	35	52	12.638	51	18

D.2 PARSHALL CORDILLERA CONSIDERANDO ARENA PRESENTE

Tabla 21: Clasificación Somerville Bauer de canal Parshall Cordillera considerando la arena presente.

Fecha (2012)	C [%]	Contamin. [%]	Fibra Recup. [%]	Fibra no útil [%]	Q [L/min]	Q [t/d]	Fibra Recup. [t/d]
19-jun	0,26	15	34	31	10.919	40	14
16-ago	0,20	10	32	37	14.623	42	13
20-ago	0,27	11	31	36	13.294	52	16
21-ago	0,17	14	39	29	12.281	30	12
30-ago	0,24	8	31	38	12.213	41	13
Promedio	0,23	12	33	34	12.666	41	14

* El 21% restante corresponde a arena.

D.3 PARSHALL MÁQUINA PAPELERA N°8 CONSIDERANDO ARENA PRESENTE

Tabla 22: Clasificación Somerville Bauer de canal Parshall MP-8 considerando la arena presente.

Fecha (2012)	C [%]	Contamin. [%]	Fibra Recup. [%]	Fibra No útil [%]	Q [L/min]	Q [t/d]	Fibra Recup. [t/d]
10-jun	0,10	1,7	28	32	4.444	6,5	2,7
11-jun	0,14	3,1	23	34	4.444	9,0	3,0
13-jun	0,10	3,6	23	34	4.444	6,7	2,2
Promedio	0,12	3	25	33	4.444	7,4	2,7

* El 39% restante corresponde a arena.

D.4 PARSHALL MÁQUINA PAPELERA N°20 CONSIDERANDO ARENA PRESENTE

Tabla 23: Clasificación Somerville Bauer de canal Parshall MP-20 considerando la arena presente.

Fecha (2012)	C [%]	Contamin. [%]	Fibra Recup. [%]	Fibra No útil [%]	Q [L/min]	Q [t/d]	Fibra Recup. [t/d]
24-jun	0,52	15	31	35	3.086	23	7,1
26-jun	0,46	19	24	44	4.565	30	7,2
26-jun	0,28	22	43	21	5.678	23	9,8
Promedio	0,42	19	32	33	4.443	25,4	8,0

* El 16% restante corresponde a arena.

Cabe señalar que todas las muestras analizadas se trataron de tomar los días que las máquinas produjeron papel tipo onda, enunciado en la sección 1.3, enmarcado en el contexto anteriormente mencionado.

Es lógico pensar que los otros papeles producidos por las máquinas (por ejemplo, papel Liner Blanco) al ser de mejor calidad, eliminen mayor fibra provocando un aumento de flujo, razón por la que en la Tabla 18 se observan valores más altos que los mostrados en las Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23.

ANEXO E. DESEMPEÑO DE CRIBAS EN MÁQUINA PAPELERA N°8

Para poder evaluar el desempeño de las cribas que están en el sector de Papel Viejo de la Máquina N°8, se estudió la calidad de la fibra y, a partir del caudal mediante estimaciones con diagramas de flujo de la planta, se estimó el rendimiento de estos equipos. Para ello, se tomaron varias muestras en la entrada (Tabla 24 y Tabla 26) y salida aceptada de las dos primeras cribas (Tabla 25 y Tabla 27) las que fueron sometidas a un análisis de Clasificación Bauer y así, determinar el porcentaje de fibra reutilizable.

Tabla 24: Clasificación Somerville Bauer, entrada a CH7-1, MP-8.

Entrada CH7-1						
2012		Fibra				
Fecha	Contaminantes	Malla 28	Malla 48	Malla 100	Malla 200	Polvo
06-may	16,7%	38,2%	15,7%	7,5%	5,2%	16,7%
08-may	15,2%	38,6%	16,7%	8,0%	3,5%	18,0%
09-may	13,0%	42,2%	16,3%	7,9%	3,8%	16,9%
10-may	12,4%	38,8%	16,8%	7,6%	3,4%	20,9%
13-may	9,3%	40,1%	18,3%	8,5%	3,9%	19,9%
22-may	11,6%	39,1%	16,9%	8,0%	3,8%	20,6%
23-may	13,2%	35,8%	17,3%	8,9%	3,4%	21,4%
Promedio	13%	39%	17%	8%	4%	19%

Tabla 25: Clasificación Somerville Bauer, salida material aceptado de CH7-1, MP-8.

Aceptado CH7-1						
2012		Fibra				
Fecha	Contaminantes	Malla 28	Malla 48	Malla 100	Malla 200	Polvo
06-may	4,7%	46,4%	15,9%	8,0%	4,5%	20,5%
08-may	3,2%	47,5%	17,2%	7,9%	3,9%	20,4%
09-may	4,1%	49,4%	16,3%	7,8%	4,7%	17,8%
10-may	9,4%	42,3%	17,7%	8,0%	2,7%	19,8%
13-may	4,6%	46,6%	19,4%	8,9%	2,8%	17,7%
22-may	5,3%	49,6%	17,4%	8,5%	3,4%	15,8%
23-may	3,7%	44,2%	17,5%	8,3%	2,9%	3,7%
Promedio	5%	47%	17%	8%	4%	17%

Tabla 26: Clasificación Somerville Bauer, entrada a CH7-2 o CH7-3, MP-8.

Entrada CH7-2 o CH7-3*						
2012		Fibra				
Fecha	Contaminantes	Malla 28	Malla 48	Malla 100	Malla 200	Polvo
06-may	11,9%	43,1%	15,3%	7,3%	4,6%	17,8%
08-may	10,2%	44,0%	17,1%	7,9%	4,0%	16,8%
09-may	6,7%	41,8%	20,1%	9,4%	4,3%	17,8%
22-may	4,7%	40,7%	18,0%	9,1%	3,9%	23,6%
23-may	8,0%	46,7%	20,3%	9,3%	4,1%	11,7%
Promedio	8%	43%	18%	9%	4%	18%

*No funcionan al mismo tiempo.

Tabla 27: Clasificación Somerville Bauer, salida material aceptado de CH7-2 o CH7-3, MP-8.

Aceptado CH7-2 o CH7-3						
2012		Fibra				
Fecha	Contaminantes	Malla 28	Malla 48	Malla 100	Malla 200	Polvo
06-may	10,3%	47,2%	15,6%	8,2%	4,4%	14,4%
08-may	6,7%	43,3%	17,1%	8,1%	3,6%	21,2%
09-may	9,3%	43,4%	19,6%	9,4%	4,2%	14,1%
22-may	5,1%	41,9%	19,0%	9,5%	3,9%	20,7%
23-may	5,2%	42,0%	18,9%	8,9%	3,7%	21,3%
Promedio	7%	44%	18%	9%	4%	18%

La Tabla 28 resume el promedio de las muestras tomadas en la entrada y salida aceptada tanto de la primera criba (CH7-1) como de la segunda (CH7-2 o CH7-3).

Tabla 28: Promedio de datos obtenidos mediante medición de concentración y clasificación Bauer en Depto. Técnico.

Cribas	Concentración [%]	Flujo Volum. [L/min] (*)	Fibra reutilizable [%]	Fibra útil [Ton/d]	Rendimiento [%] (**)
Entrada CH7-1	2,3	4195	56	78	88
Aceptado CH7-1	2,1	3711	64	69	
Entrada CH7-2 o 3	1,6	4910	64	69	97
Aceptado CH7-2 o 3	1,7	4386	61	67	

(*) El flujo volumétrico fue estimado en base a diagramas de flujos entregados por la empresa.

(**) El rendimiento se calcula como el cociente entre la entrada y el aceptado en cada una de las cribas.

ANEXO F. SIMULACIÓN DE COLADORES EN MP-20

F.1 COLADOR PRIMARIO, MP-20

En la Tabla 29 se aprecian distintos datos obtenidos a partir de análisis realizados en el Departamento Técnico, en donde la columna de fibra recuperable aceptada representa la variable de salida y su valor depende de las otras variables (flujo total aceptado, consistencia y fibra recuperable en la entrada del colador). Para poder estimar la masa de fibra aceptada en el colador primario se propuso un ajuste lineal. Sin embargo, la mejor predicción para la fibra recuperable aceptada se establece en función de la fibra recuperable de entrada.

Tabla 29: Propiedades físicas de la fibra en colador primario de MP-20.

Tipo de Papel	Fibra recuperable aceptada [t/d]*	Flujo total entrada [t/d]	Consistencia entrada [g/L]	Fibra recup. entrada [t/d]*
Onda 120	49,2	116,2	0,572	67,4
Onda Extra E HP 60-T, 180	52,2	122,0	0,597	75,7
Onda Extra E 602-T, 175	54,7	124,6	0,526	71,6
Liner Cordillera 175	57,0	139,2	0,684	79,2
Liner Blanco Industrial 140	65,5	145,1	0,711	88,5
Onda Extra E 602-T, 175	67,8	146,3	0,719	91,1
Liner Blanco Industrial 126	71,5	138,8	0,668	96,8
Onda Extra E HP 60-T, 180	73,2	151,7	0,721	101,9

* La fibra recuperable corresponde a la fibra larga, fibra de buena calidad correspondiente fibra retenida en mallas Tyler 28 y 48.

Lo anterior se hace evidente tomando en cuenta el análisis de coeficiente de correlación de los ajustes exhibidos en las Figura 32, Figura 33 y Figura 34.

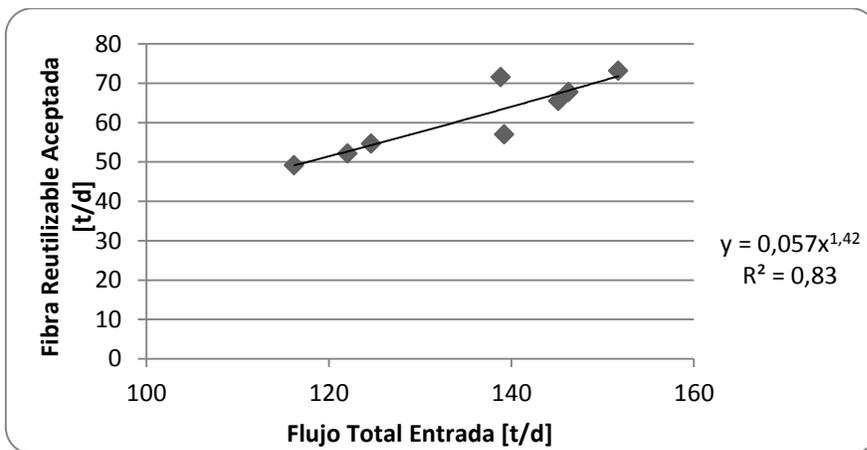


Figura 32: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida de material aceptado a partir del flujo total en la entrada del colador primario.

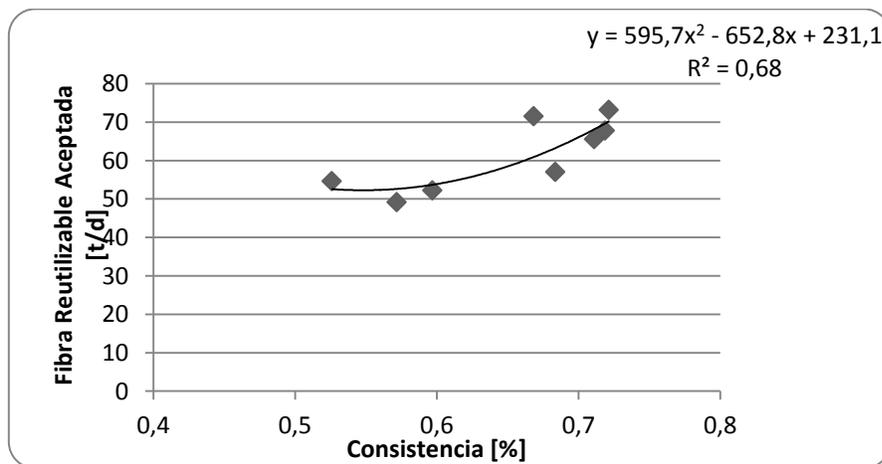


Figura 33: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida de material aceptado a partir de la consistencia en colador primario.

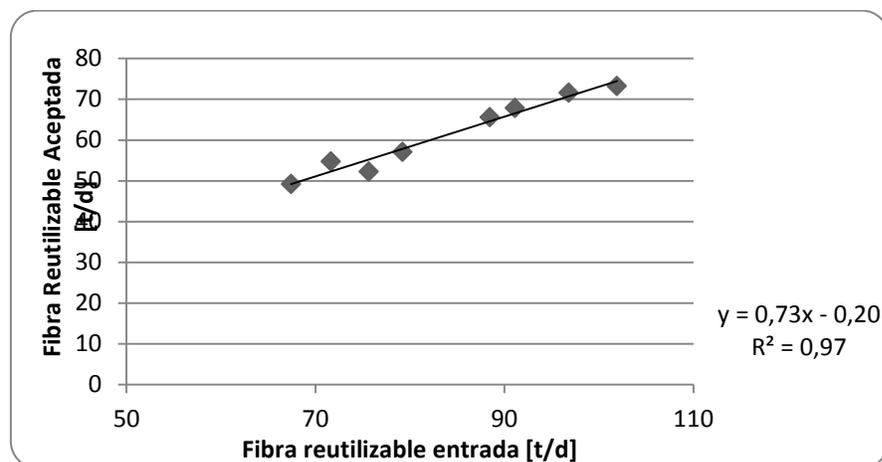


Figura 34: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida aceptada a partir de la cantidad de fibra de buena calidad en la entrada del colador primario.

La ecuación lineal encontrada se presenta a continuación:

$$f(x_{fe}) = P_1 \cdot x_{fe} + P_2 \quad (\text{Ec. 10})$$

Para poder estimar los parámetros, se consideró el método de los mínimos cuadrados para ajustar la curva. Mientras mayor sea el número de datos, más preciso será el ajuste. Hay que tener en consideración que para poder realizar el ajuste, el número de datos debe ser igual o mayor a la cantidad de parámetros que tenga la función (en este caso, ocho datos y dos parámetros, por lo que se cumple la restricción).

De acuerdo a los datos de la Tabla 29, junto con la Ec. 10 fue posible determinar los parámetros utilizando solver, obteniendo lo siguiente:

$$P_1 = 73,30 \cdot 10^{-2}; P_2 = 20,32 \cdot 10^{-2}$$

Por lo tanto, reemplazando los valores anteriores en la Ec. 10, la función corresponde a:

$$f(x_{fe}) = 73,30 \cdot 10^{-2} \cdot x_{fte} + 20,32 \cdot 10^{-2} \quad (\text{Ec. 11})$$

F.1.1 Validación del ajuste de colador primario

Se tomaron tres nuevas muestras con el fin de validar el ajuste anteriormente expuesto. Los valores se presentan a continuación:

Tabla 30: Propiedades fisicoquímicas de la fibra en colador primario de MP-20.

Tipo de Papel	Fibra recuperable aceptada [t/d]	Flujo total entrada [t/d]	Consistencia entrada [g/L]	Fibra recup. entrada [t/d]
Onda Extra E 602-T, 175	59,2	164,8	0,855	86,1
Onda Extra E HP 60-T, 180	58,9	149,8	0,767	85,3
Liner Blanco Industrial 126	37,4	98,3	0,504	54,7

Al ingresar la variable *fibra recuperable de entrada* en la Ec. 11, se obtiene:

- Onda Extra E 602-T, 175: $f(x_{fe}) = 62,9$, error: 6,3%
- Onda Extra E HP 60-T, 180: $f(x_{fe}) = 62,3$, error: 5,9%
- Liner Blanco Industrial 126: $f(x_{fe}) = 39,9$, error: 6,8%

Como se aprecia, el error máximo es cercano a un 7%. De lo anterior, es posible inferir que es un ajuste que se asemeja bastante a las condiciones reales, por lo que se acepta el ajuste.

Una vez validado el ajuste, el rendimiento se puede estimar como la fibra recuperable aceptada sobre la fibra recuperable de entrada obteniendo una recuperación promedio de 73%.

F.2 COLADOR SECUNDARIO, MP-20

Para el caso del colador secundario, se trabajó de forma análoga al colador primario.

Tabla 31: Propiedades físicas de la fibra en colador primario de MP-20.

Tipo de Papel	Fibra recuperable aceptada [t/d]	Flujo total entrada [t/d]	Consistencia entrada [% m/V]	Fibra recup. entrada [t/d]*
Onda Extra E HP 60-T, 180	30,0	62,1	0,479	35,9
Onda Extra E 609-T, 195	35,1	72,3	0,558	44,0
Liner Blanco Industrial 126	38,1	70,5	0,544	47,2
Liner Blanco Industrial 140	33,3	73,8	0,569	41,8
Onda Extra E HP 60-T, 180	41,6	99,6	0,769	58,6

Al igual que en el caso anterior, en función del coeficiente de correlación (R^2), es posible concluir que la mejor predicción para la fibra recuperable aceptada (ver Figura 35, Figura 36 y Figura 37) se establece en función de la fibra recuperable de entrada.

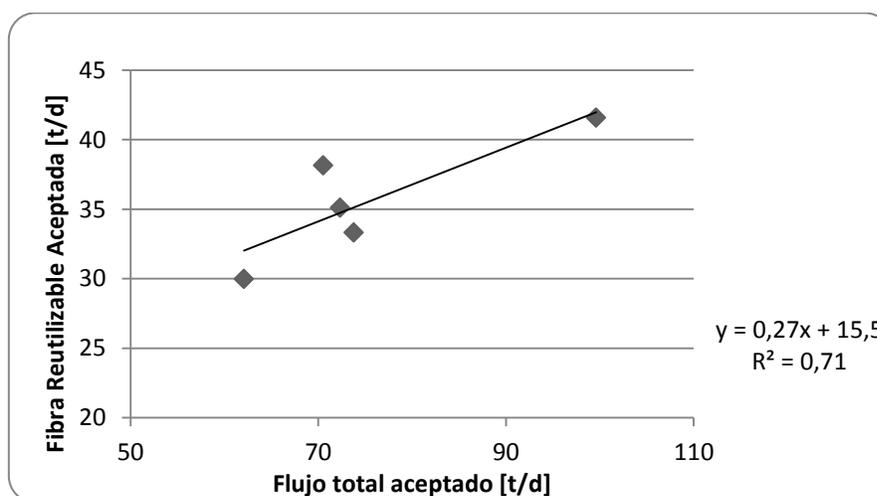


Figura 35: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida de material aceptado a partir del flujo total en la entrada del colador secundario.

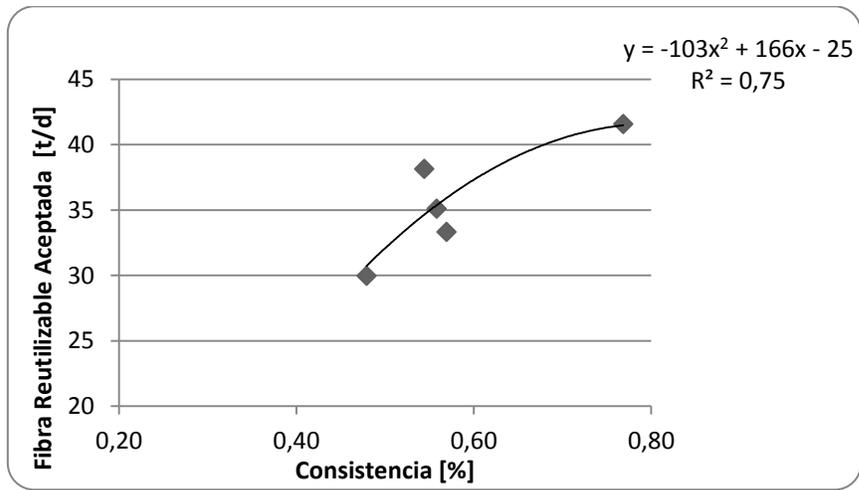


Figura 36: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida de material aceptado a partir de la consistencia de colador secundario.

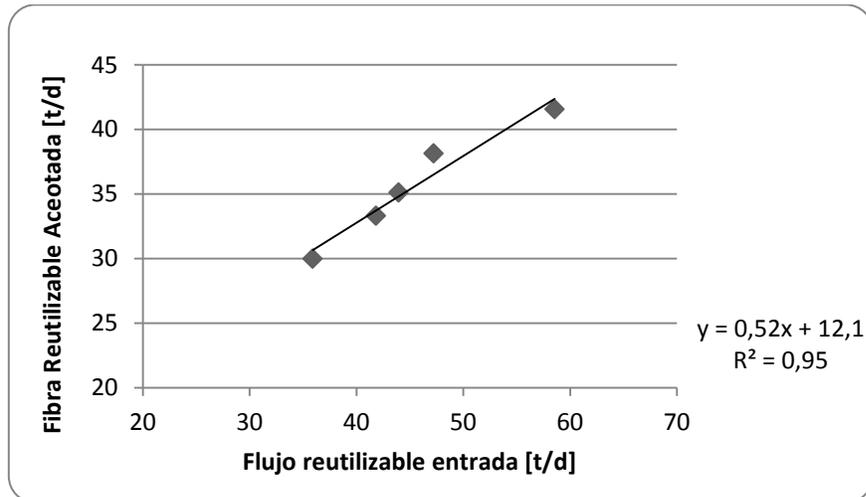


Figura 37: Función que grafica la fibra de buena calidad que actualmente se obtiene en la salida aceptada a partir de la cantidad de fibra de buena calidad en la entrada del colador secundario.

Al igual que en el colador primario, la función corresponde a una ecuación lineal (Ec. 10).

Los parámetros obtenidos se presentan a continuación:

$$P_1 = 0,55; P_2 = 10,46$$

Por lo tanto, la función corresponde a:

$$f(x_{fe}) = 0,55 \cdot x_{fte} + 10,46 \quad (Ec. 12)$$

F.2.1 Validación del ajuste de colador secundario

Para validar la función anteriormente expuesta, se tomaron dos nuevas muestras. Los valores se presentan a continuación:

Tabla 32: Propiedades fisicoquímicas de la fibra en colador secundario de MP-20.

Tipo de Papel	Fibra recuperable aceptada [t/d]	Flujo total entrada [t/d]	Consistencia entrada [g/L]	Fibra recup. entrada [t/d]
Onda Extra E 602-T, 175	32,2	81,0	0,625	46,2
Liner Cordillera 175	29,4	80,9	0,624	42,7

Al ingresar la variable de fibra recuperable de entrada en la Ec. 12, se obtiene:

- Onda Extra E 602-T, 175: $f(x_{fe}) = 35,8$ con un error del 11,3%.
- Liner Cordillera 175: $f(x_{fe}) = 33,9$ con un error del 15,4%.

Claramente se aprecia que mientras mayor sea la varianza de los datos, tanto mayor será el error del ajuste.

A partir de los datos, fue posible calcular el rendimiento en cada caso, que ronda entre el 73% y el 84% para fibra retenida en mallas 28 y 48. Se tomará por hipótesis de trabajo una eficiencia del 73% que corresponde al peor caso.

ANEXO G . DIAGRAMAS DE FLUJO DEL ÁREA DE DEPURACIÓN FINA

Las siguientes figuras muestran los diagramas de flujo del sector donde se encuentran las cribas.

G.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE MP-8

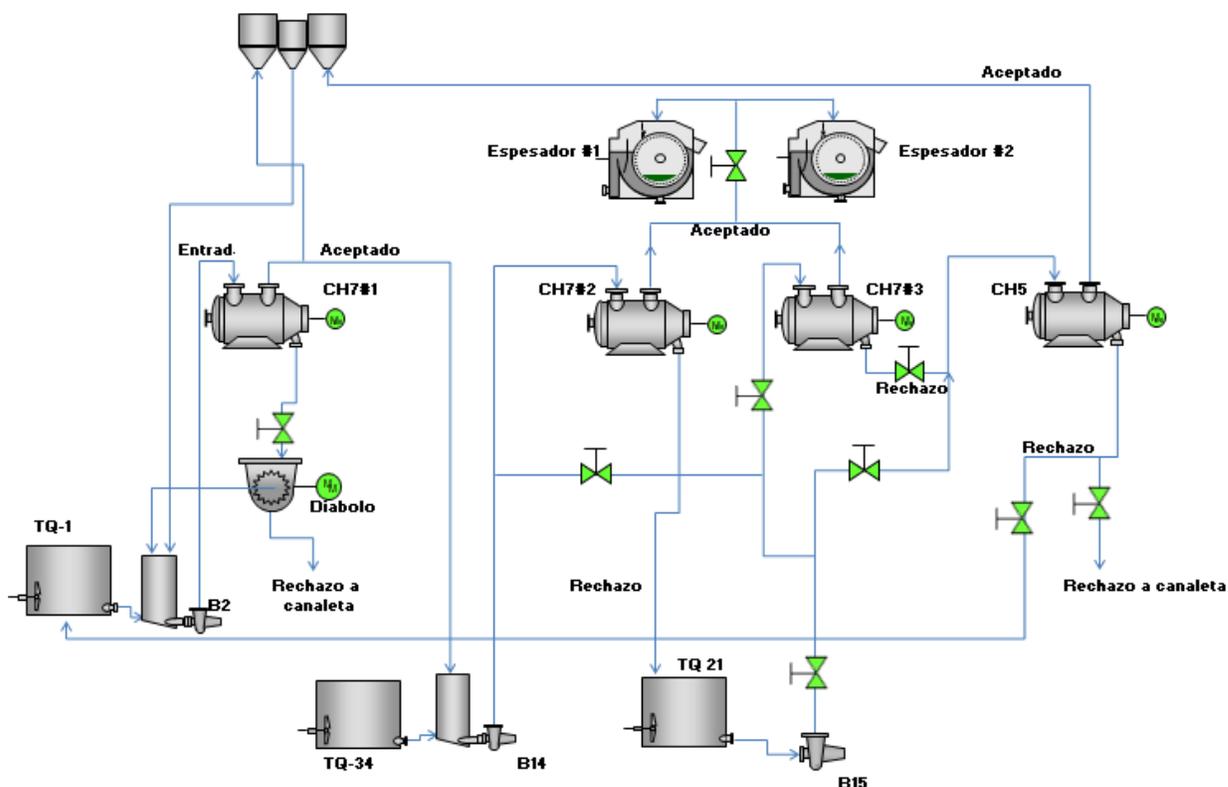


Figura 38: Diagrama de flujo de MP-8, Sector de Limpieza Fina, Papel Viejo.

En la Figura 38, se observa que el material aceptado del colador CH7#1 se dirige hacia el colador CH7#2 y el material aceptado de este colador, se dirige a los espesadores. En cambio, la Figura 39 presenta una configuración distinta, en donde el material aceptado del colador primario se va hacia el filtro disco y el material rechazado se dirige hacia el colador secundario. A su vez, el material del colador secundario se va hacia el filtro disco mientras que el material rechazado se mueve hacia el colador terciario (Multimizer).

G.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE MP-20

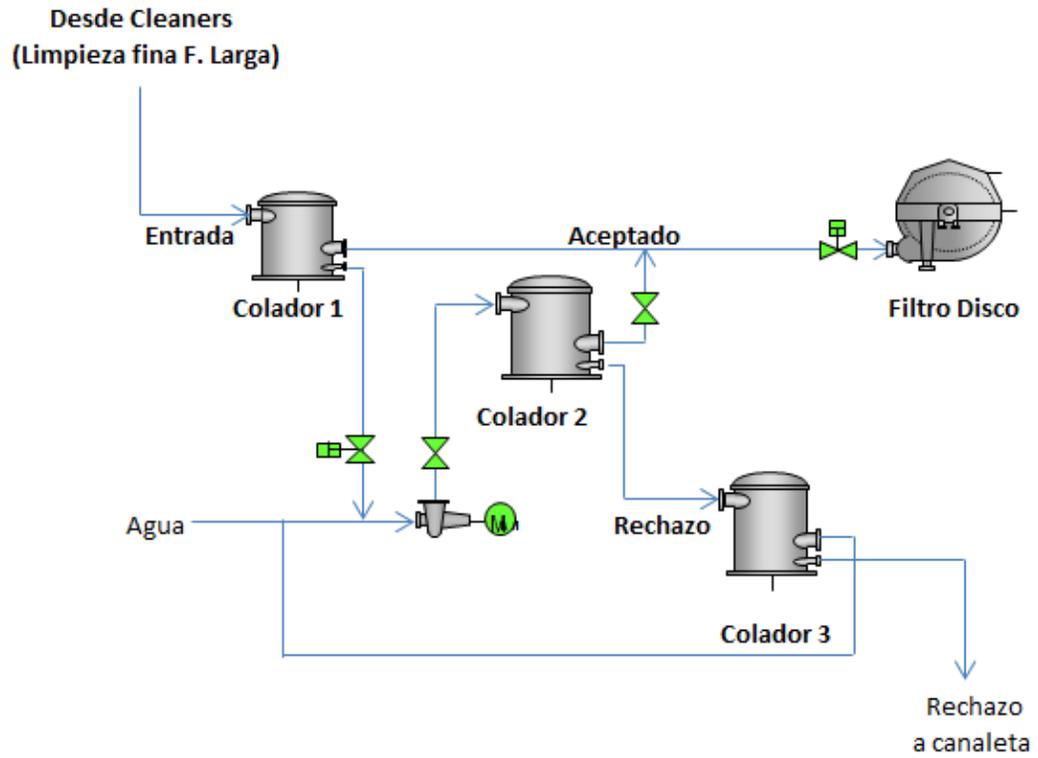


Figura 39: Diagrama de flujo de MP-20, Sector de Limpieza Fina, Papel Viejo.

ANEXO H . MEMORIA DE CÁLCULO

Bombas

Para calcular dimensiones características de las bombas, se utilizó la ecuación de Bernoulli con pérdidas de carga:

$$\frac{P_1}{\rho g} + h_1 + \frac{v_1}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + h_2 + \frac{v_2}{2g} + H^* \quad (Ec. 13)$$

$$H^* = H_f + H_s$$

Donde:

P_1, P_2 : Presiones de entrada y salida, respectivamente.

h_1, h_2 : Alturas de entrada y salida, respectivamente.

v_1, v_2 : Velocidades de entrada y salida, respectivamente.

ρ, g : densidad del fluido y gravedad, respectivamente.

H_f, H_s : Pérdidas de carga por fricción y singularidades

$$H^* = \left(f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) + \sum k \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (Ec. 14)$$

Donde:

f : Coeficiente de fricción

L, D : Largo de cañería y diámetro de cañería, respectivamente.

$\sum k$: Sumatoria de singularidades

Además, se puede suponer que la velocidad de entrada es igual a la de salida, por lo tanto, reordenando la ecuación, se obtiene:

$$P_1 = P_2 + \rho g \Delta h + \rho g \left(f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) + \sum k \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (Ec. 15)$$

A partir de los datos que aparecen en la Tabla 33, fue posible estimar las pérdidas de carga (Tabla 34 y Tabla 35) y, posteriormente, la presión de descarga necesaria para transportar la pasta.

Tabla 33: Datos y valores para estimar la pérdida de carga.

Datos	Proyecto 2.b	Proyecto 3
Diámetro [m]	0,26	0,22
Área [m ²]	0,054	0,038
Velocidad [m/s]	2,2	1,8
Flujo [L/min]	7168	4134
factor f	0,015	0,015
Largo [m]	905	275
P (salida) [bar]	1,0	1,0

Tabla 34: Pérdida de carga por fricción.

Datos	Proyecto 2.b		Proyecto 3	
	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 1	Bomba 2
Factor f	0,015	0,015	0,015	0,015
L/D	3481	63	1250	59
$v^2/2g$	0,2	0,2	0,2	0,2
ΔH_f	12,54	0,23	3,10	0,15

Tabla 35: Pérdida de carga por singularidad.

Datos	Proyecto 2.b				Proyecto 3			
	Bomba 1		Bomba 2		Bomba 1		Bomba 2	
	Nº	k	Nº	k	Nº	k	Nº	k
Codo 90° std	23	17,25	2	1,5	17	12,75	2	1,50
Válvula	2	0,34	1	0,17	2	0,34	1	0,17
ΔH_s	ΣK	4,23	ΣK	0,40	ΣK	2,16	ΣK	0,28

En las Tabla 36 y Tabla 37 se presentan las presiones de descarga de las dos bombas necesarias para cada uno de los proyectos:

Tabla 36: Pérdida de carga total en bomba 1.

Bomba 1	Proyecto 2.b	Proyecto 3
ΔH [m]	16,77	5,26
h_2-h_1 [m]	14	6
Pe [bar]	4,0	2,1
Pe [bar] (factor de seguridad 10%)	4,4	2,3

Tabla 37: Pérdida de carga total en bomba 2.

Bomba 1	Proyecto 2.b	Proyecto 3
ΔH [m]	0,45	0,63
h_2-h_1 [m]	6	6
Pe [bar]	1,6	1,6
Pe [bar] (factor de seguridad 10%)	1,8	1,8

Espesadores

Para estimar las dimensiones de los espesadores, se consideraron las medidas de un espesador que está en funcionamiento en la MP-8 y, a partir de éste, fue posible escalar los que se requieren para los dos proyectos.

Para poder dimensionar sus medidas, se consideró constante el radio y, de esta manera, poder estimar el largo a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L \cdot s}{t} \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde Q corresponde al flujo [m^3/s]; R es el radio del espesador [m]; L es el largo del espesador [m]; s es el espesor [m] y t corresponde al tiempo que demora el cilindro del espesador en dar una vuelta.

Las dimensiones y propiedades del espesador de la MP-8 se presentan en la Tabla 38.

Tabla 38: Dimensiones y propiedades físicas de espesador MP-8.

Datos	MP-8
Radio [m]	0,625
Largo [m]	3,55
tiempo [s]	3,0
Concentración entrada [% m/V]	1,78%
Concentración salida [% m/V]	3,58%
Flujo entrada [m^3/s]	0,07

Para poder calcular el espesor de MP-8, se utilizó la Ec. 16 y se reemplazaron los datos de la Tabla 38.

$$s = \frac{Q \cdot t}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L} = \frac{0,7 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \cdot 3 [\text{s}]}{\pi \cdot 0,625 [\text{m}] \cdot 3,55 [\text{m}]} = 3,15 \cdot 10^{-2} [\text{m}]$$

Para estimar el tiempo en cada uno de los espesadores, se utilizó la siguiente ecuación:

$$t_{ep} = t_{e \text{ MP-8}} \cdot \frac{(\%C_{sep} - \%C_{eep})}{(\%C_{se \text{ MP-8}} - \%C_{ee \text{ MP-8}})} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde t_{ep} corresponde al tiempo que tarda la pasta en dar una vuelta en el espesador de algún proyecto (en este caso, 2.b o 3); $t_{e \text{ MP-8}}$ es el tiempo que tarda la pasta en dar una vuelta en el espesador de la MP-8; $\%C_{sep}$ es la concentración a la salida del espesador de un proyecto; $\%C_{eep}$ es la concentración a la entrada del espesador de un

proyecto; $\%C_{se\ MP-8}$ se refiere a la concentración a la salida del espesador de la MP-8; $\%C_{ee\ MP-8}$ es la concentración a la entrada del espesador de la MP-8.

La Tabla 39 muestra los datos que se requieren para estimar el largo de los nuevos espesadores.

Tabla 39: Dimensiones y propiedades físicas de los espesadores que se requieren en los proyectos a evaluar.

Datos	Espesador Proyecto 2.b	Espesador Proyecto 3
Radio [m]	0,625	0,625
tiempo [s]	0,6	0,8
Concentración entrada [% m/V]	0,31	0,42
Concentración salida [% m/V]	0,70	0,80
Flujo entrada [m^3/s]	0,119	0,069

Finalmente, las dimensiones de los nuevos espesadores se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40: Dimensiones características de los espesadores de cada proyecto.

Características	Cuba Proyecto 2.b	Cuba Proyecto 3
Radio [m]	1,25	1,25
Espesor [m]	$3,15 \cdot 10^{-2}$	$3,15 \cdot 10^{-2}$
Largo [m]	1.580	520

Cubas

Las dimensiones de estos equipos se calcularon a partir del flujo de entrada con una autonomía (tiempo que tarda en vaciarse la cuba) de 1 hora. La Tabla 41 muestra las dimensiones características de las cubas necesarias en cada proyecto.

Tabla 41: Dimensiones y propiedades físicas de las cubas que se requieren en los proyectos a evaluar.

Características	Cuba Proyecto 2.b	Cuba Proyecto 3
Flujo [L/min]	2.639	2.356
Flujo [m^3/h] (factor de seguridad, 20%)	170	190
Dimensiones cuba [m^3] (Largo x Ancho x Alto)	8x6x4	7x6x4

ANEXO I. PRESUPUESTOS DE CAÑERÍAS Y CONEXIONES

Tabla 42: Cotización de materiales y mano de obra para proyecto 2.b

Unidades	MATERIALES	Costo Unitario [US\$/unid.]	Costo Total [US\$]
905	Metros de cañería Inox. De 10"	170	153.996
23	Curvas Inox. de 10" x 90°	230	5.290
4	Collarines Inox. de 10" cal 304	146	585
4	Respaldo	61	245
4	Pernos Zincados de 3/4" x 4"	1	5
4	Empaques de Gomas	9	35
Por compras y traslado Materiales			1.922
Total Materiales.....			162.078
MANO DE OBRA			
Por concepto de Fabricar e Instalar Insertos			81.039
Total M.O.....			81.039
NETO de este Presupuesto.....			243.117
Más IVA.....			289.309

Tabla 43: Cotización de materiales y mano de obra para proyecto 3

Unidades	MATERIALES	Costo Unitario [US\$/unid.]	Costo Total [US\$]
275	Metros de cañería Inox. De 10"	170	46.794
8	Curvas Inox. de 10" x 90°	230	1.840
4	Collarines Inox. de 10" cal 304	146	585
4	Respaldo	61	245
4	Pernos Zincados de 3/4" x 4"	1	5
4	Empaques de Gomas	9	35
Por compras y traslado Materiales			594
Total Materiales.....			50.098
MANO DE OBRA			
Por concepto de Fabricar e Instalar Insertos			25.049
Total M.O.....			25.049
NETO de este Presupuesto.....			75.147
MÁS IVA.....			89.425

ANEXO J. FLUJO DE CAJA

Las Tabla 44 y Tabla 45 exhiben los flujos de caja de los proyectos 2.b y 3, respectivamente.

Tabla 44: Flujo de caja anual del proyecto 2.b proyectado a 5 años (Valores monetarios en dólares americanos).

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos						
<i>Fibra Tratada</i>		816.354	816.354	816.354	816.354	816.354
Costos						
<i>Fijos (Enzimas*, Mano de obra)</i>		-43.994	-43.994	-43.994	-43.994	-43.994
<i>Variables (Consumo Máquina)</i>		-95.245	-176.380	-176.380	-176.380	-176.380
Depreciación		-60.612	-60.612	-60.612	-60.612	-60.612
Ganancia/Pérdida de Capital						303.062
Utilidad antes de impuesto		616.503	535.368	535.368	535.368	838.430
Impuesto (19%)		-123.301	-107.074	-107.074	-107.074	-167.686
Utilidad después de impuesto		493.202	428.294	428.294	428.294	670.744
Depreciación		60.612	60.612	60.612	60.612	60.612
Ganancia/Pérdida de Capital						-303.062
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		553.815	488.907	488.907	488.907	428.294
Inversión	-606.124					
Valor residual						363.674
IVA inversión	-115.164					
Recuperación IVA		115.164				
Capital de trabajo	-11.603					
Recuperación Capital de trabajo						11.603
FLUJO DE CAJA CAPITAL	-732.891	115.164	0	0	0	375.278
FLUJO DE CAJA	-732.891	668.978	488.907	488.907	488.907	803.572

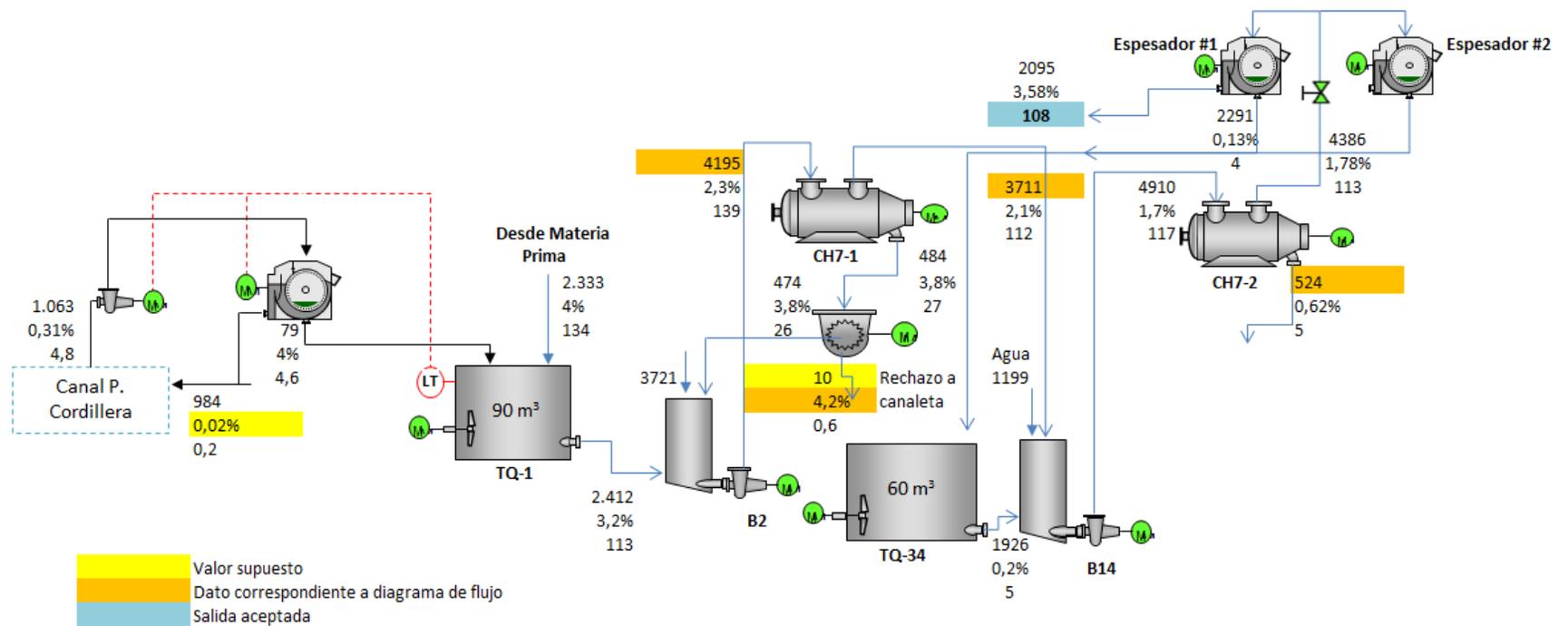
* La enzima Optimize 540 tienen un costo de 21,6 [US\$/kg enzima] y la dosis utilizada es de 0,15 [kg de fibra/ton enzima].

Tabla 45: Flujo de caja anual del proyecto 3 proyectado a 5 años (Valores monetarios en dólares americanos).

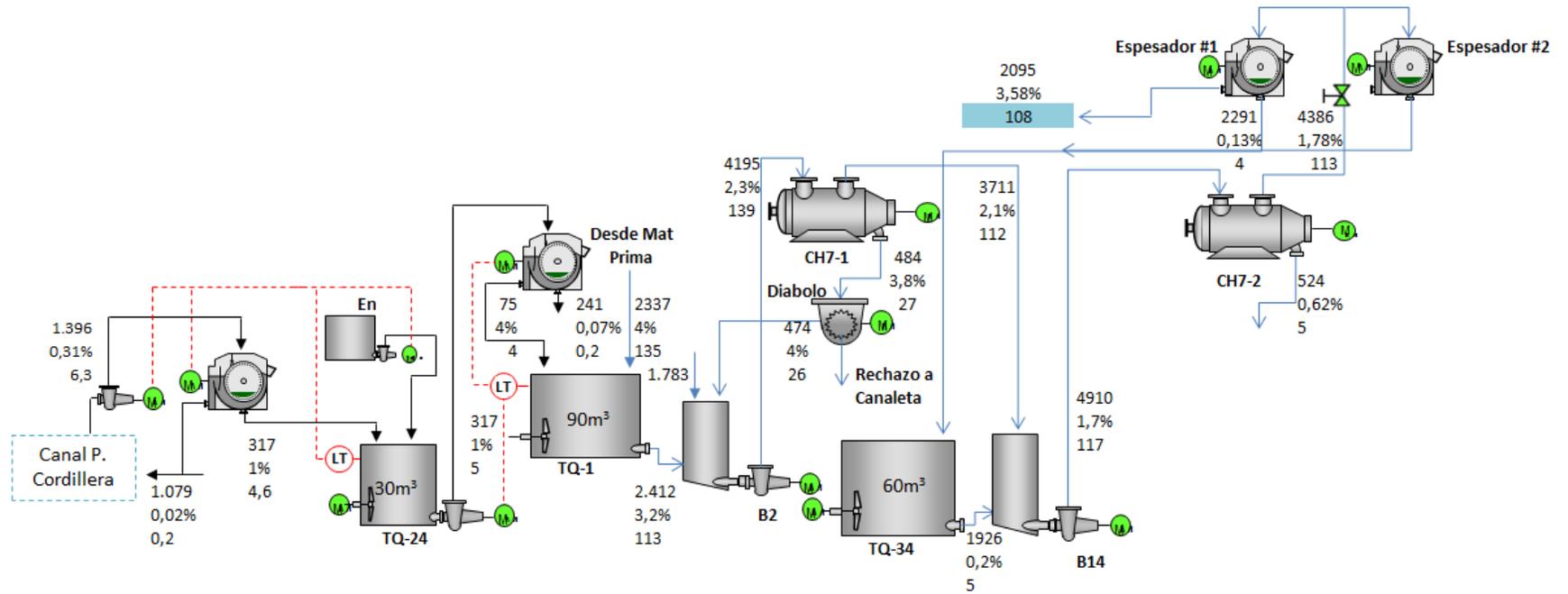
Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos (US\$)						
<i>Fibra Tratada</i>		618.450	618.450	618.450	618.450	618.450
Costos						
<i>Fijos (Mano de obra)</i>		-7.706	-7.706	-7.706	-7.706	-7.706
<i>Variables (Consumo Máquina)</i>		-72.155	-133.621	-133.621	-133.621	-133.621
Depreciación		-22.624	-22.624	-22.624	-22.624	-22.624
Ganancia/Pérdida de Capital						113.120
Utilidad antes de impuesto		515.965	454.499	454.499	454.499	567.619
Impuesto (19%)		-103.193	-90.900	-90.900	-90.900	-113.524
Utilidad después de impuesto		412.772	363.599	363.599	363.599	454.095
Depreciación		22.624	22.624	22.624	22.624	22.624
Ganancia/Pérdida de Capital						-113.120
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		435.396	386.223	386.223	386.223	363.599
Inversión	-226.240					
Valor residual						135.744
IVA inversión	-42.986					
Recuperación IVA		42.986				
Capital de trabajo	-6.655					
Recuperación Capital de trabajo						6.655
FLUJO DE CAJA CAPITAL	-275.880	42.986	0	0	0	142.399
FLUJO DE CAJA	-275.880	478.382	386.223	386.223	386.223	505.998

ANEXO K. DIAGRAMAS DE FLUJO

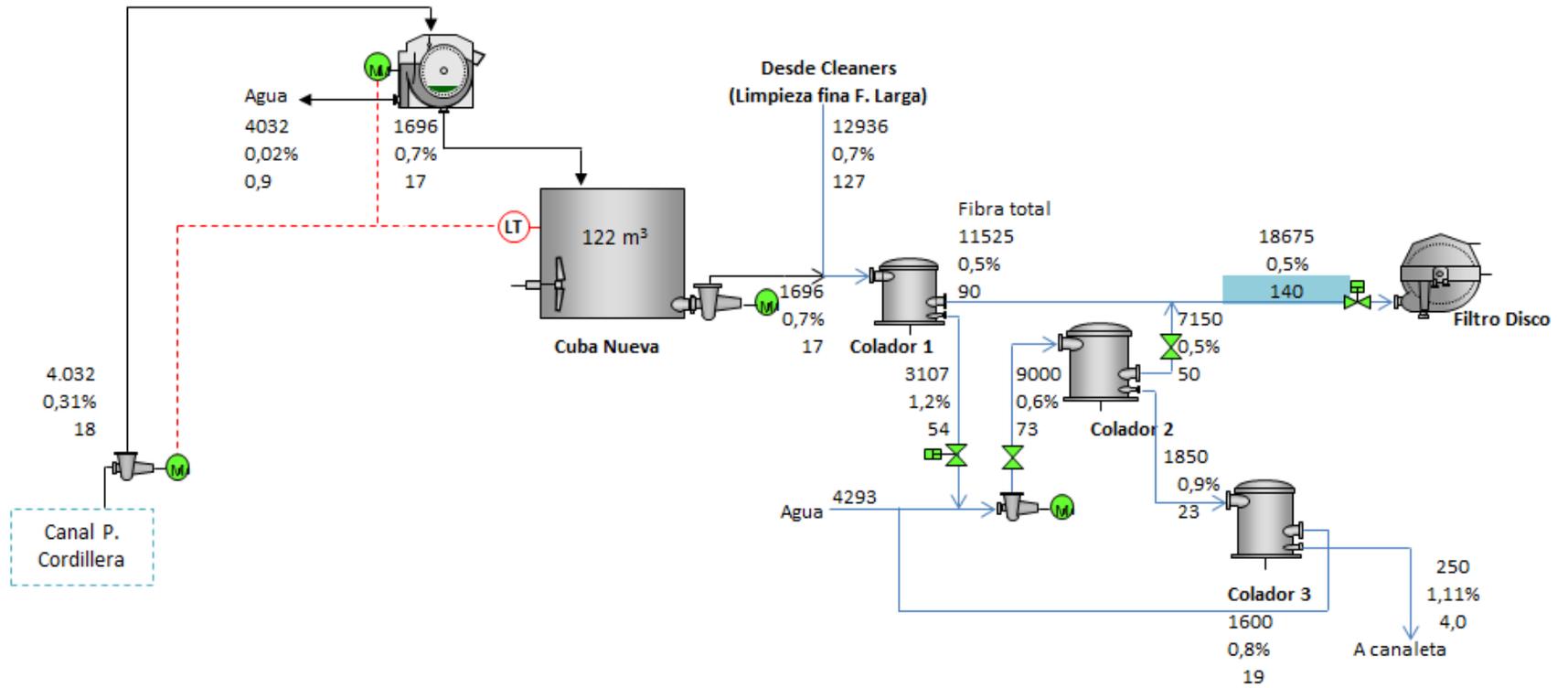
Proyecto 1.a: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-8



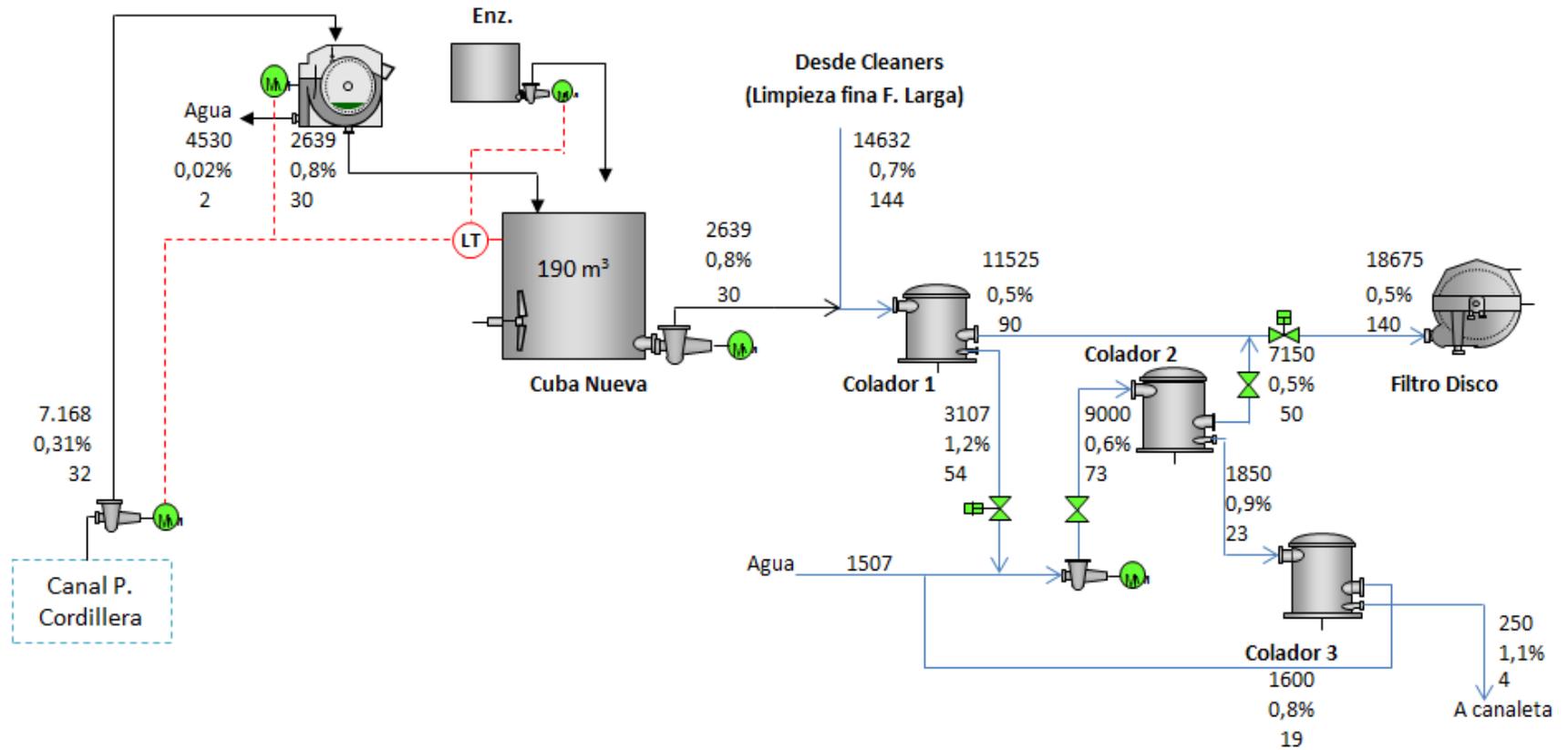
Proyecto 1.b: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-8 con aplicación de enzimas



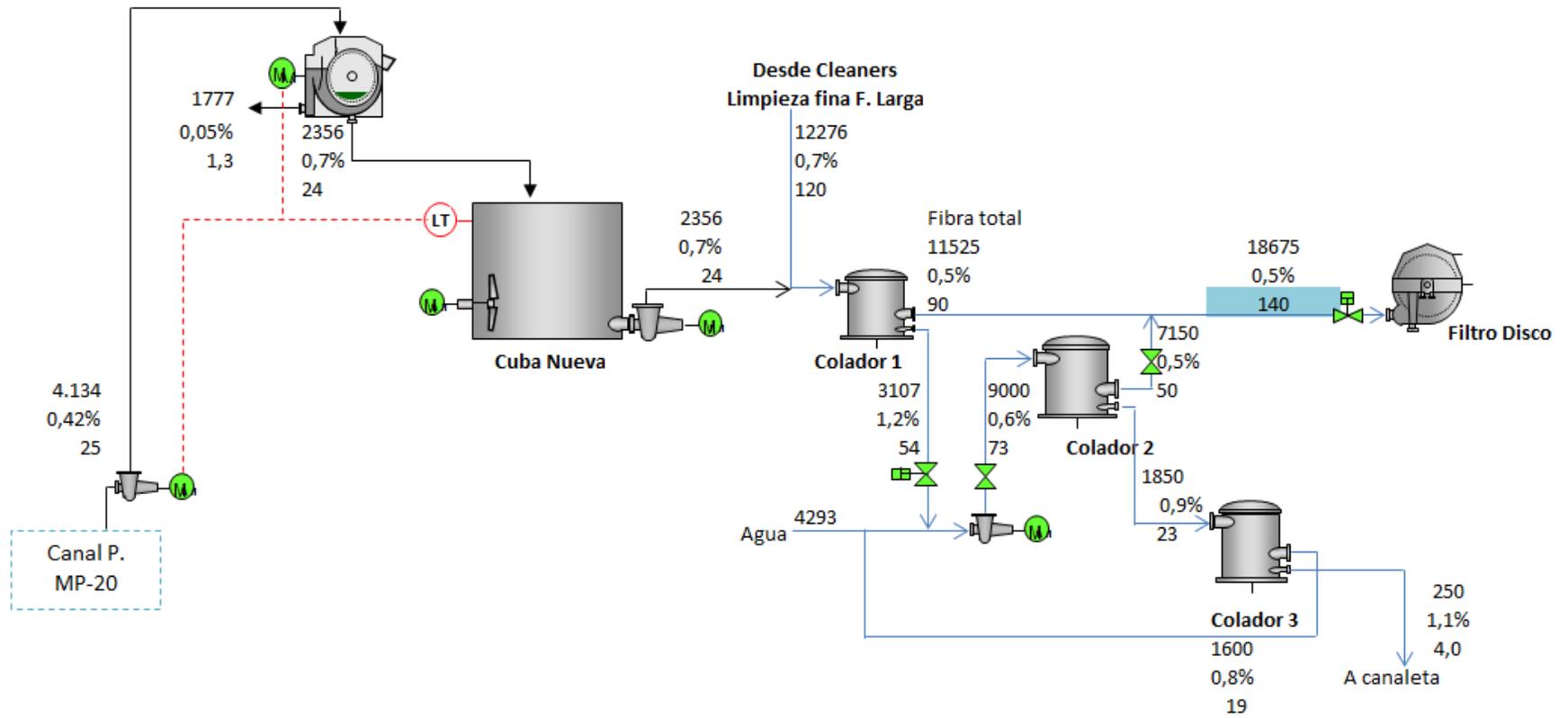
Proyecto 2.a: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-20



Proyecto 2.b: Transporte desde canal P. Cordillera a MP-20 con aplicación de enzimas



Proyecto 3: Transporte desde canal P. MP-20 a MP-20



Proyecto 4: Transporte desde canal P. MP-8 a MP-20

