ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE USO DE RECHAZO DE CLASIFICACION DE PULPA CRUDA.

SERGIO VERA P. / JOSE PAZ P. Depto. Ing. Química, Universidad de Concepción
MIGUEL OSSES M. / KAREM SANHUEZA M. Celulosa Arauco y Constitución S.A. / Planta Arauco

SUMARIO

Este estudio tiene como objetivo conocer la factibilidad técnica y económica de la utilización de los rechazos de clasificación de pulpa cruda. Para lograr el objetivo señalado se analizaron las siguientes alternativas:

. Utilización como combustible.
. Recirculación al proceso.
. Obtención de productos secundarios.

Para esto, fue necesario realizar una caracterización de los rechazos en cuanto a:
. El porcentaje y la composición de la materia inorgánica.
. El porcentaje de fibras y material no deseado presente en los rechazos.
. La composición de la materia orgánica mediante una análisis elemental.
. La producción diaria de rechazos de cocción.

En la utilización como combustible, se concluyó que sólo se producirían efectos adversos cuando la fracción en peso sodio sobrepase el 10%, debido a la deposición de sulfato de sodio en los tubos de la caldera.
En lo que respecta a la recirculación al proceso, se determinó que ésta puede realizarse hasta en un 10% de alimentación de rechazo al digestor sin alterar las propiedades de pulpa.
La pulpa obtenida mediante desfibración mecánica posee un número de Kappa entre 100 y 105 y una blancura de 11º. Sus propiedades físico-mecánicas indican que esta pulpa es apta para la fabricación de productos como cartón Liner y puede ser utilizada como parte de la materia prima para la fabricación de cartón Kraft.

De la evaluación económica, los resultados fueron los siguientes:

ALTERNATIVA	V.A.N. (USS)	T.I.R. (%)	Período de pago (años)
Utilización como combustible	20.000	18,45	5,5
Recirculación al proceso	451.000	48,48	2
Obtención de productos secundarios	363.000	41,04	2

1 INTRODUCCION

Durante los últimos años, la legislación ambiental ha adquirido una gran importancia, puesto que ésta ha sido cada vez más rigurosa en cuanto a la ubicación y manejo de residuos por parte de la industria.
Es así como en la industria de celulosa, y particularmente en Planta Arauco, se han incorporado nuevas tecnologías referidas a modificaciones al proceso, con el fin de disminuir el impacto ambiental producido por los efluentes tanto gaseosos como líquidos. Entre ellas destacan:

. Incineración de gases no condensables, con el fin de eliminar el mal olor de estas emisiones.
. Aplicación de cocción modificada, en la cual se disminuye la temperatura y se aumenta el tiempo de reacción, para obtener un contenido de lignina más bajo y así disminuir el consumo de reactivos de blanqueo.
. Deslignificación con oxígeno. Esta tecnología se aplica como una etapa posterior a la obtención de pulpa y tiene como objetivo disminuir aún más el contenido de lignina.

Aparte de la preocupación por el tratamiento de residuos líquidos y gaseosos, se ha agregado en el último tiempo la preocupación por mejorar el manejo de residuos sólidos. En la industria de celulosa, y específicamente en Planta Arauco, donde se llevó a cabo este estudio, los residuos sólidos se encuentran constituidos principalmente por:

. Residuos provenientes de la madera: cortezas, aserrín y desechos forestales, los que son utilizados como combustible en calderas de poder.
. Residuos provenientes de caldera de poder. Como ya se mencionó, para la generación de energía en calderas de poder, se utiliza como combustible desechos de madera, los que al ser quemados generan cenizas (productos de combustión) y escoria (material leñoso sin combustionar).
. Lodos de caustificación. El licor verde generado se envía a un clarificador obteniendo licor verde clarificado e impurezas que se envían a un filtro. Estas impurezas denominan lodos verdes.

. Lodos de clarificación primaria. Constituidos principalmente por materia orgánica que decanta durante el tratamiento primario de efluentes líquidos, los que son utilizados como combustible en calderas de poder.
. Rechazos de clasificación de pulpa cruda. Después de la etapa de cocción, la pulpa se envía a una etapa de clasificación para eliminar los nudos presentes. Es así como los rechazos se encuentran constituidos principalmente por madera no reaccionada y fibras, las cuales a su vez se encuentran impregnadas en licor negro proveniente del proceso de cocción.

1.1. OBJETIVOS

Considerando las razones por las cuales se requiere la realización de este estudio, se han planteado los siguientes objetivos:

1.1.1. Objetivo general

Evaluar diferentes alternativas técnicas de uso de rechazo de clasificación de pulpa cruda de Línea 2 y evaluar económicamente cada una de ellas.

1.1.2. Objetivos específicos

. Caracterizar física y químicamente los rechazos de clasificación de pulpa cruda.
. Evaluar la factibilidad de uso como combustible.
. Evaluar la factibilidad de recirculación al proceso.
. Evaluar la factibilidad de fabricar productos secundarios a partir del rechazo.
. Establecer los respectivos flujos de caja para cada una de las alternativas señaladas.

2. CARACTERIZACION DE RECHAZOS DE CLASIFICACION DE PULPA CRUDA

2.1. Determinación de composición química

Se determinó el porcentaje de materia orgánica presente en cada muestra, y por otra parte se realizó un análisis del porcentaje en peso de diversos metales presentes dentro de la materia inorgánica de la muestra, según los procedimientos experimentales utilizados en Planta.
Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Muestra Nº	Materia orgánica %	Sodio %	Potasio %	Calcio %
1	94.09	2.92	0.40	0,10
2	86.41	1.36	0,18	0,38
3	73.50	12.67	3.53	4.34
4	80.84	2.16	0.36	0,16
5	83.75	1.59	0.24	0.55
6	87,75	1.45	0,18	0,24

2.2. Análisis físico de las muestras

. Determinación del porcentaje de fibra

Para determinar el porcentaje de fibras, fue necesario separar todo aquel material no deseado correspondiente a madera sin reaccionar y arena. Esto se llevó a cabo utilizando el *método Someville*.
Este método está diseñado para separar la pulpa con la máxima precisión posible del material no deseado, de manera tal de poder cuantificarlo. Por otro lado, también es posible recuperar la fibra que pasa a través de la placa ranurada (aceptado), para determinar sus propiedades físico-mecánicas. En este caso el análisis se expresa como de material clasificado. De un total de 35 muestras analizadas, los resultados promedio fueron los siguientes:

Nudos	:	66%
Aceptado (fibras)	:	30%
Arena	:	4%

2.3. Cuantificación de rechazos de clasificación de pulpa cruda

Una vez caracterizados física y químicamente los rechazos de cocción, se procedió a estimar la cantidad producida de ellos, ya que este antecedente tiene importancia en la evaluación económica.
Esto se realizó mediante la medición del flujo de rechazos del clasificador cuaternario. Dicha estimación se realizó en base a los valores promedio registrados por el indicador de flujo correspondiente, durante 35 turnos de producción, considerando además que esta corriente se presenta con una consistencia promedio de un 25%.
Así, el valor promedio para las mediciones realizadas en el período anteriormente mencionado fue de 2,8 ton de rechazo seco/día.

3. EVALUACION DE FACTIBILIDAD DE RECIRCULACION AL PROCESO

3.1. Introducción

La puesta en marcha de esta alternativa permitiría recuperar el material fibroso y la soda cáustica equivalente contenidos en el rechazo de cocción, con el fin de aprovecharlo como materia prima para pulpaje y a su vez, establecer un ahorro tanto en madera como en reactivo de cocción. Para esto, se cuantificó la producción diaria de rechazos y se determinó el porcentaje de fibras y el porcentaje de sodio sobre un determinado número de muestras.
En el presente estudio, se pretende realizar este tipo de evaluación, además del análisis de las propiedades de la fibra resultante en caso de poner en marcha dicha

alternativa, ante lo cual no se dispone de información en la literatura. Por otro lado, se incluirá en la evaluación económica el ahorro en el costo de transporte de estos residuos al vertedero de la Planta.

3.2. Estudio técnico

3.2.1. Simulación a escala de laboratorio

Las cocciones se hicieron en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Planta Arauco, utilizando dos digestores discontinuos, los cuales poseen un control automático de temperatura en función del tiempo. Dichos digestores poseen un volumen aproximado de 10 litros, y el mecanismo que favorece la reacción entre el licor y la alimentación de madera es, en este caso, la recirculación de licor.
Las cocciones fueron hechas en las condiciones usadas en Planta y variando la proporción de alimentación entre rechazo y madera. Al licor blanco se le ajustó previamente la sulfidez a un porcentaje de 30+_1. Dependiendo de los valores de álcali efectivo y álcali activo, se determinó el volumen de licor blanco a utilizar, considerando una carga de álcali previamente determinada, así como también el volumen de relleno para mantener la razón licor/madera en 4:1.

3.2.2. Resultados experimentales

Una vez determinadas las condiciones de proceso para las cocciones a nivel de laboratorio, se llevaron a cabo 6 experimentos con sus respectivos duplicados, dentro del margen de proporción de rechazos que los digestores permiten. Así, se determinaron los resultados de cocción y de propiedades físico-mecánicas de las pulpas obtenidas.

. **Resultados de cocción**

Los resultados de las diferentes cocciones se muestran en la Tabla Nº 2.

Rechazo Alimentado (%)	Indice Kappa	Rendimiento Clasificado (%)
0	29,1	47,1
1	29,4	48,5
10	28,3	49,6
30	21,4	49,7
50	20,6	52,1

. **Propiedades físico-mecánicas de las pulpas resultantes**

Estas fueron determinadas con un grado de drenabilidad de 25º SR, utilizando equipaje de laboratorio valley del Laboratorio de Fibra de Planta Arauco. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla Nº 3

Rechazo alimentado(%)	I.Rasgado ($m.Nm^2/g$)	I.Explosión ($kPam^2/g$)	I.Tensión (Nm/g)
0	10.4	8.7	115.0
1	10.1	8.8	113.6
10	10.3	8.3	109.5
30	10.7	6.9	94.5
50	10.9	6.3	86.5

. **Discusión**

Tal como se esperaba, a medida que aumenta la fracción de rechazo alimentado a la cocción, se produce una disminución en el Indice Kappa, por el hecho de tener madera con un cierto grado de cocción y un aumento en el rendimiento, debido al debilitamiento de la lignina presente en el rechazo.
En todo caso, una buena alternativa desde el punto de vista económico, resultaría la alimentación en forma discontinua con un 10% de rechazo, ya que se da un aumento en el rendimiento y un Indice Kappa cercano a 30, por lo que no sería complicado introducir modificaciones al proceso para lograr dicho valor. Lo mismo sucede con los valores de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa obtenida, en las cuales comienza a observarse una disminución en los índices de tensión y explosión cuando la proporción de rechazo alimentado es de un 30%. En el caso del Indice de Rasgado, éste no sufre grandes variaciones a medida que aumenta la proporción de rechazos.

3.2.3. Puesta en marcha

Para llevar a cabo esta recirculación, se propone desviar el flujo de rechazo del harnero cuaternario antes de ser prensado hacia un estanque de almacenamiento con una cierta altura que permita facilitar el bombeo hacia el último piso del edificio del digestor continuo, para pasar posteriormente por las siguientes unidades:
- Un sistema de depuración de arena, mediante hidrociclones.
- Un separador de fibras. (Por tamaño de partículas).
- El silo de astillas del cual, posteriormente, se alimentarían sólo los nudos hacia el digestor.

Una vez que las fibras sean separadas de los nudos, se propone alimentarlas a los harneros primarios de clasificación de pulpa cruda. (Ver figura 1).

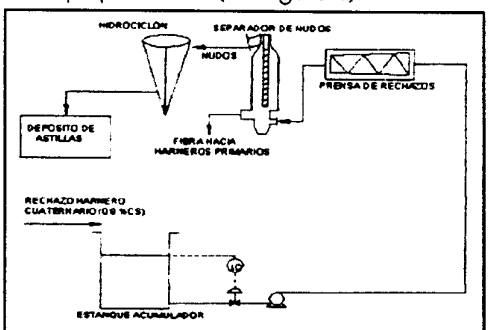


Figura 1. Puesta en marcha

3.3. Estudio económico

3.3.1. Inversión

3.3.2. La inversión ha sido estimada de acuerdo a lo señalado en la sección 6.2.3., lo cual se desglosa en la Tabla 4.

ITEM	COSTO (US$)
1 Prensa de rechazos	4.000
1 Estanque acumulador	5.700
1 Sistema de control + cables.	8.500
2 Bombas	6.000
1 Separador de nudos	110.000
1 Limpiador ciclónico.	2.000
85 m de cañería acero al carbono	3.800
SubTotal	**140.000**
Imprevistos (20%).	28.000
Total Inversión	**168.000**

3.3.3. Beneficios

Los beneficios de esta alternativa están representados por la recuperación del material fibroso presente en los rechazos y el sodio que éstos arrastran, expresado como soda. Además, se considera el ahorro en transporte al vertedero de la Planta. Dichos beneficios se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 5.

BENEFICIO	MONTO (US$/año)
Recuperación de soda.	10.415.
Ahorro de madera.	37.318
Recuperación de fibra	49.918
Ahorro en transporte	11.696
Total	**109.347**

3.3.4. Costos operacionales

Los costos de operación de esta alternativa, son el consumo eléctrico de los equipos con que ésta cuenta:

Tabla 6.

EQUIPO	POTENCIA (MW)	GASTO (US$/año)
Motor de bomba	0,0063	1.741
Rotor de separador de nudos	0,03	8.294
Prensa de rechazos	0,03	8.294
Total	**0,0663**	**18.329**

*Esta tendencia es válida para fracciones de rechazo superiores a un 10%.

3.3.5. Evaluación de índices económicos.

Para evaluar la factibilidad económica del proyecto, fueron calculados los siguientes índices:

Valor actual neto : 451.000 US$
Tasa interna de retorno : 48.48 %
Período de pago : 2 AÑOS

Estos índices representan una alta rentabilidad económica para esta alternativa.

3.4. Conclusiones

- La puesta en marcha de esta alternativa en forma continua, no afecta ninguna propiedad de la pulpa obtenida.
- Esta alternativa puede ponerse en marcha en forma discontinua hasta una alimentación de un 10% en peso de rechazos de cocción al digestor.
- La puesta en marcha de esta alternativa resulta ser factible desde el punto de vista económico, lo cual se ve reflejado en los valores de los índices obtenidos, los que además satisfacen ampliamente las expectativas de la empresa.

4. EVALUACION DE FACTIBILIDAD DE OBTENCION DE PRODUCTOS SECUNDARIOS

4.1. Introducción

Debido al alto contenido de material fibroso presente en los rechazos de clasificación de pulpa cruda, al alto grado de cocción que éstos presentan, y a la abundante cantidad de licor que arrastran, se decidió evaluar la posibilidad de obtener pulpa café sin blanquear, utilizando el desfibrado mecánico como método de obtención de fibras. De esta manera se pretende aprovechar el debilitamiento de la lignina presente en dicho material fibroso, provocado por el alto grado de impregnación de licor en los nudos. Así, esta etapa sería similar a la etapa mecánica de un proceso de pulpaje semiquímico que utiliza como reactivo el licor blanco para debilitar el complejo lignina – carbohidrato de la unión entre fibras, por lo que se espera obtener rendimientos cercanos al 90%.

4.2. Estudio técnico

Para evaluar técnicamente la obtención de productos secundarios, se analizaron diferentes muestras de rechazos de cocción, de las cuales se obtuvo pulpa utilizando un desfibrador "Bauer", correspondiente a la clasificación de doble disco móvil, previa extracción de arena mediante lavado de muestras.

4.2.1. Procedimiento experimental

- Lavado de muestras.
- Lavar una cierta cantidad de rechazos de cocción en tamices de 3.5 x 3.5 cm utilizando un fuerte chorro de agua, hasta no observar la presencia de arena en el agua utilizada para lavar.
- Desfibrado mecánico.
- Ajustar la separación entre los discos del desfibrador "Bauer".
- Alimentar las muestras en la tolva del desfibrador, acompañado de una pequeña cantidad de agua que facilite la acción del tornillo transportador.

- Una vez obtenido el producto del primer paso por el desfibrador, clasificar las fibras y recircular el rechazo con una menor abertura entre los discos.
- Clasificar el producto obtenido en el segundo paso.
- Determinar el rendimiento clasificado del proceso.
- Determinar propiedades físico-mecánicas (Indices de Rasgado, Explosión, Tensión, volumen específico; gramaje).

Dadas las condiciones experimentales, los parámetros a modificar entre cada prueba fueron:
- Humedad de la muestra alimentada.
- Abertura entre los discos.

Los parámetros que se mantuvieron constantes fueron:
- Número de pasos (2).
- Alimentación de agua.
- Temperatura de desfibración (entre 70 y 85º C).

4.2.2. Resultados

. **Determinación de rendimiento**

Como se señaló anteriormente, una de las variables a modificar en los diferentes pulpajes mecánicos a realizar fue la separación entre los discos refinadores, manteniendo el número de pasos en 2. Se adoptó este último criterio, debido a que el rendimiento obtenido con un paso, no supera el 75%. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 7.

Consistencia Entrada (%)	Sep.1° Paso (pulg/100)	Sep. 2° Paso (pulg/100)	Rendimiento Clasificado (%
23,9	5	2	89,7
23,9	2	1	96,7
26,7	3	2	95,9
26,7	7	2	84,4
26,7	1	1	97,2
26,7	5	2	90,0
40,1	2	1	97,7
40,1	7	2	88,3

. **Propiedades físico-mecánicas sin refinar**

Debido a la escasa variación del grado de drenabilidad observado al refinar la pulpa obtenida por la desfibración mecánica del rechazo de cocción, se consideraron las propiedades físico-mecánicas del producto sin refinar, como criterio de comparación entre los diferentes pulpajes.
Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8.

C.E (%)	Ab.1° P (pulg/100)	Ab. 2° P (pulg/100)	I.R. (mNm^2/g)	I.E. ($kPam^2/g$)	I.T. (Nm/g)
23,9	5	2	54,0	4,2	94,5
23,9	2	1	58,9	6,4	157,1
26,7	3	2	54,1	4,2	95,2
26,7	5	2	49,5	3,7	107,3
26,7	7	2	47,8	4,6	109,6

Discusión.

Se dieron los resultados esperados, puesto que a medida que se aumenta la distancia entre discos, se observa una disminución del rendimiento. Por otro lado, se puede observar que la consistencia de entrada a la tolva del desfibrador favorece levemente el rendimiento, lo cual se ve reflejado en los resultados de los duplicados realizados a diferentes valores de la consistencia. Esto se puede explicar debido al hecho de que existe una mayor fricción entre nudos, con lo que se incrementa la acción mecánica.

Como se mencionó anteriormente, el efecto de la abertura entre discos sobre las propiedades físico-mecánicas de las pulpas obtenidas, se comparó tomando como referencia la pulpa sin refinación posterior. De esta manera, se observa que no hay cambios significativos cuando la abertura del primer paso fluctuó entre los valores 3, 5 y 7 centésimas de pulgada, manteniendo la abertura del segundo paso en 2 centésimas de pulgada. Sin embargo, cuando se experimentó con 2 centésimas de pulgada de abertura para el primer paso (Pulpaje Nº 2) y con 1 centésima de pulgada para el segundo paso, se observa un fuerte aumento en las propiedades de resistencia (Rasgado, Tensión y Explosión). Tanto el gramaje como el volumen específico, no sufren grandes alteraciones. Es importante notar también lo que sucede al repetir esta combinación en la abertura de discos a consistencia de 40%, en el cual, ante una variación en la consistencia de entrada, disminuyen fuertemente las propiedades de resistencia mecánica, así como también el gramaje de la pulpa obtenida.

4.2.3. Puesta en marcha

Para poner en marcha esta alternativa , se propone la instalación de las siguientes unidades después del depósito de concreto que actualmente se utiliza para almacenar los rechazos de clasificación de pulpa cruda:

. Un limpiador ciclónico, que sea capaz de retirar los restos de arena que componen el rechazo, con el fin de no causar daño en los discos refinadores.
. Un desfibrador mecánico, que posea sólo discos refinadores, ya que la resistencia del material hace innecesaria la presencia de discos rompedores.
. Un harnero, para clasificar el producto obtenido y retirar los finos y pin-chips que no fueron refinados en el desfibrador.
. Un limpiador ciclónico, para extraer arena del producto.
. Un espesador, que aumente la consistencia de la pasta hasta un valor en el que pueda ser almacenada. (50%).

Por otro lado, es necesario conectar una matriz de agua de Planta en la tolva en que se alimentan los rechazos al desfibrador, con el fin de mantener una consistencia de entrada adecuada para la obtención de un buen rendimiento, como se ilustra en la Figura 2.

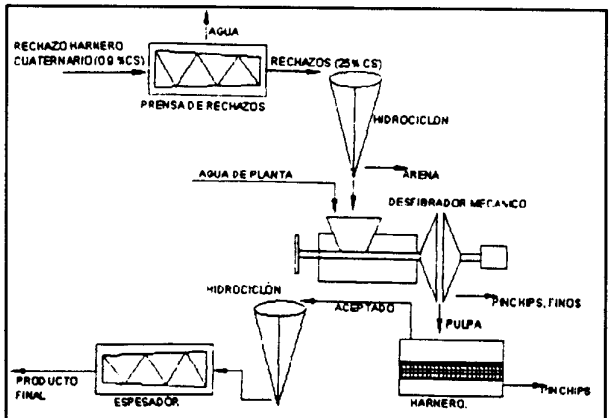


Figura 2. Puesta en marcha

4.3. Estudio económico

4.3.1. Inversión

Basados en antecedentes bibliográficos, se ha efectuado la siguiente estimación del costo de la inversión.
TABLA 9.

ITEM	COSTO (US$).
1 Limpiador ciclónico (para rechazos)	2.000
1 Desfibrador (incluido motor)	80.000
1 Harnero clasificador	17.000
1 Espesador	4.000
1 Limpiador ciclónico (para producto).	2.000
Subtotal	**105.000**
Imprevistos (20%).	21.000
Total Inversión	**126.000**

4.3.2. Estimación de beneficios anuales.

Los beneficios anuales de este proyecto se encuentran representados a través de los ingresos que se obtendrían al comercializar la pulpa fabricada, además del ahorro en un 90% en el costo del transporte hacia el vertedero, dado por el rendimiento del proceso.
TABLA 10.

BENEFICIO	MONTO (US$)
Venta de pulpa	87.318
Ahorro del 90% del transporte a vertedero	10.526
Total	**97.884**

4.3.3. Costos operacionales

Los costos de operación de esta alternativa son el consumo eléctrico de los equipos con que ésta cuenta, sumado al consumo de agua necesario para el transporte del material hacia los discos refinadores. (Ver Tabla 11).
TABLA 11.

EQUIPO	CONSUMO (MW)	GASTO (US$/año)
Prensa de rechazos	0.03	8.649
Desfibrador	0.06	17.298
Consumo agua de Planta	---	46
Total	0.09	**25.993**

4.3.4. Evaluación de índices económicos

Para evaluar la factibilidad económica del proyecto, fueron calculados los siguientes índices:

Valor actual neto	:	363.000	US$
Tasa interna de retorno	:	41,04	%
Período de pago	:	1,96	AÑOS

Estos índices representan una alta rentabilidad económica para esta alternativa.

4.4. Conclusiones

. Dado el rendimiento obtenido a partir del desfibrado mecánico de los rechazos de clasificación de pulpa cruda, ésta resulta ser una alternativa muy interesante desde el punto de vista técnico, debido a sus implicancias tales como: reducción en más de un 90% de este residuo sólido, obtención de un producto útil para la fabricación de papeles de diversa utilidad.

. Para el desfibrado mecánico, un aumento en la separación entre discos implica una disminución en el rendimiento, así como también en las propiedades físico-mecánicas de la pulpa. Así, se puede concluir que una abertura baja en ambos pasos de la fibra por los discos desfibradores optimizan este proceso en cuanto a rendimiento y calidad del producto.

. Desde el punto de vista económico, esta alternativa es altamente rentable.

5.EVALUACION DE FACTIBILIDAD DE UTILIZACION COMO COMBUSTIBLE

5.1. Introducción

Como es de esperar, el rechazo de clasificación de pulpa cruda y posee altos niveles de sodio en su parte de materia inorgánica, debido al arrastre de licor negro que poseen las fibras que van junto con los nudos, por lo cual se ha puesto atención en lo que sucede al combustionador material con un alto contenido de metales alcalinos, los cuales, según las condiciones en que es combustionado el material, pueden presentar problemas de deposición de sales o cenizas en los tubos

de la caldera, lo cual puede ser un obstáculo en la transferencia de calor que se desea realizar.
Es por eso que la clave en relación a los problemas asociados con la deposición es conocer bien el combustible y las condiciones de operación a las cuales será sometido éste y sus gases de combustión. En particular, es necesario conocer la composición de la parte inorgánica presente en el combustible. Otros factores, tales como la humedad y la presencia de volátiles afectarán las características de la combustión y la temperatura de llama.

5.2. Estudio técnico

5.2.1. Combustión a escala de laboratorio

. Simulación de perfil de temperatura de los gases de combustión.

Para llevar a cabo esta actividad, se dispuso de un horno de tipo discontinuo, con una capacidad de alimentación de 25 g de muestra húmeda, siendo la temperatura de combustión controlada se dispone de un tubo de 2 pulgadas de diámetro al cual se le instalarán 4 bancos de 4 tubos de _ de pulgada, a los que se les hará circular agua. Entre cada cambio de temperatura se instalarán termocuplas, para mal copiado del original poder controlar la temperatura mediante la variación del flujo de agua y así poder obtener el perfil de temperatura deseando.
Una vez realizada la combustión, el tubo de 2 pulgadas será abierto con el fin de observar la posible existencia de depósitos de sales de metales alcalinos.
El horno también podrá ser abierto para extraer las cenizas remanentes del proceso de combustión. Las conclusiones obtenidas serán sólo de tipo cualitativas debido al escaso volumen de muestra. Se analizaron 5 muestras con un porcentaje de sodio entre 1 y un 3% y una muestra con un 12% de sodio.

. Resultados

Una vez analizadas todas las muestras, sólo en la muestra compuesta semanal entre el 16 y el 22 de septiembre de 1999, que contiene un 12,67% en peso de sodio, se observó la formación de un depósito a la salida del lugar en que se produce la combustión, es decir, aproximadamente en el momento en que la temperatura baja a 500º C.
Después de una análisis microscópico de dicho depósito, se determinó que éste posee:

-Restos de material carbonizado, mayoritariamente hollín.
-Cristales blancos sublimados, los que corresponden a sulfato de sodio.

. Discusión

Dadas las condiciones experimentales en las cuales se llevó a cabo esta actividad, fue muy difícil establecer el perfil de temperatura deseado, debido a que el gas de combustión se enfría muy rápidamente. De esta manera, la experimentación realizada no puede entregar datos representativos, debido a que la proporción masa combustible/velocidad de transferencia de calor, obtenida experimentalmente, es completamente diferente a la que se da a nivel de Planta. Sin embargo, se logró establecer que el depósito encontrado se formó bajo los 500º C, lo cual, extrapolado a condiciones de Planta en la caldera de poder, corresponde a la zona comprendida entre el banco generador y el economizador.
Por otro lado, existen más razones para suponer que el depósito formado corresponde a sulfato de sodio, aparte de la textura y forma de los cristales observados al microscopio. La fracción de sodio en el rechazo corresponde a un 12,67%, la cual es muy similar a la fracción de sodio presente en el licor negro (15-20%). Es por esto, que cualquier depósito formado al combustionar rechazos de cocción es comparable con la combustión de licor negro llevada a cabo en la caldera recuperadora, en donde se deposita una gran cantidad de sulfato de sodio, el cual presenta además, la misma textura y apariencia del depósito encontrado a nivel de laboratorio.

5.2.2. Puesta en marcha

Para decidir la puesta en marcha esta alternativa, es necesario realizar pruebas antes de la parada anual de Planta durante algunos meses, con el fin de investigar a nivel de Planta los problemas que ocasionaría la deposición de sales en los tubos de la caldera de poder.
En caso de decidirse la puesta en marcha, se propone desviar el flujo de rechazos del harnero cuaternario, bombeándolo hacia una prensa que se ubicaría al costado del galpón de corteza, en donde se aumente la consistencia a un 50%, para luego ser depositado en el galpón y mezclarlo con los demás desechos combustibles, como se ilustra en la Figura 3.

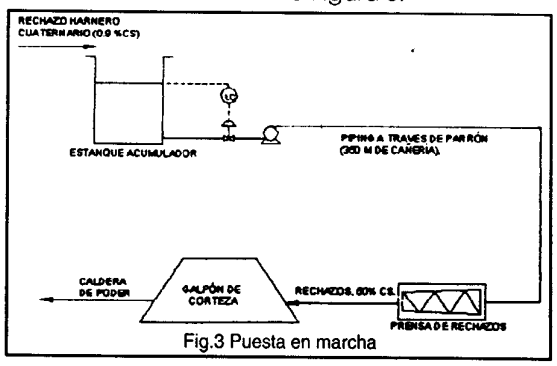


Fig.3 Puesta en marcha

5.3. Estudio económico

5.3.1. Estimación de la inversión

De acuerdo a los antecedentes expuestos en la sección 5.2.2., el costo de la inversión se desglosa de la siguiente manera:
TABLA 12.

ITEM	COSTO (US$)
2 Bombas.	10.000
1 Estanque de acero al carbono	5.700
1 Sistema de control + cables	8.500
350 metros de cañerías.	15.200
1 Prensa de rechazos	4.000
Sub Total	**43.400**
Imprevistos (20%)	8.680
Total Inversión	**52.080**

5.3.2. Estimación de beneficios

Los beneficios anuales que se obtendrían en caso de poner en marcha esta alternativa quedan representados por el ahorro de desechos combustibles. Así, se tiene lo siguiente:
TABLA 13.

BENEFICIO	MONTO (US$/año)
Ahorro en desechos combustibles	6.132
Ahorro en transporte	11.696
Total	**17.828.**

5.3.3. Costos operacionales

Los costos operacionales son determinados por el consumo eléctrico del motor de la bomba.
TABLA 14.

Potencia	Gasto
35 HP	**7500 US$/año.**

5.3.4. Evaluación de índices económicos.

Para evaluar la factibilidad económica del proyecto, fueron calculados los siguientes índices:

Valor actual neto	:	20.000	US$
Tasa interna de retorno	:	18,45	%
Período de pago	:	5.5	AÑOS

En cuanto al criterio V.A.N., éste representa una evaluación positiva de la puesta en marcha de esta alternativa, puesto que representa la obtención de utilidades durante la vida útil del proyecto.

5.4. Conclusiones

. La materia inorgánica presente en los rechazos de clasificación de pulpa cruda puede llegar a convertirse en un obstáculo para la transferencia de calor.

. En cuanto a la puesta en marcha de esta alternativa, ésta resulta ser sencilla, ya que se dan todas las facilidades físicas y, por otro lado, es un proceso sencillo de realizar.

. En caso de que dichas pruebas arrojen resultados positivos para la evaluación técnica de esta alternativa, la evaluación económica sería válida. De esta manera, la puesta en marcha de esta alternativa se podría calificar de rentable, puesto que sus índices económicos representan utilidades para la empresa, aunque el período de recuperación de la inversión no es idóneo para lo que la empresa espera de este tipo de evaluaciones.

6. CONCLUSIONES GENERALES

. Tanto la composición química como física de los rechazos de clasificación de pulpa cruda, indican que éstos representan un material valioso, que su transporte al vertedero representa una pérdida de material fibroso y altos contenidos de reactivo de cocción. Además, fue una información de gran importancia para el desarrollo de este estudio.
. El principal obstáculo para conseguir la recuperación de los rechazos de clasificación de pulpa cruda es la presencia de arena.
. Desde el punto de vista técnico, en estos momentos sólo es posible poner en marcha la recirculación al proceso y la obtención de productos secundarios. La puesta en marcha de la utilización como combustible necesita más estudio en cuanto a pruebas en Planta para su evaluación técnica.
. Las alternativas de recirculación al proceso y obtención de productos secundarios resultan ser ampliamente rentables desde el punto de vista económico al compararlas con la utilización como combustible, puesto que en ambas se considera la recuperación tanto de material fibroso como de reactivo de cocción.

7. RECOMENDACIONES

. Continuar la línea de estudio por aquellas alternativas en las cuales se aproveche el material fibroso y el reactivo de cocción presente en los rechazos de clasificación de pulpa cruda.

. Llevar un registro periódico de la caracterización de rechazos, ya que esto es la base para cualquier tipo de diseño con el que debe contar una evaluación técnico-económica.

. En caso de optar por la obtención de productos secundarios, es necesario realizar un estudio de mercado para dichos productos. Por otro lado, se recomienda realizar un estudio de las propiedades de estos productos, en cuanto a la variación de éstas con la refinación posterior, lo cual permitiría describir el producto en forma completa y obtener una calidad óptima con ciertos tipos de exigencias.

8. REFERENCIAS

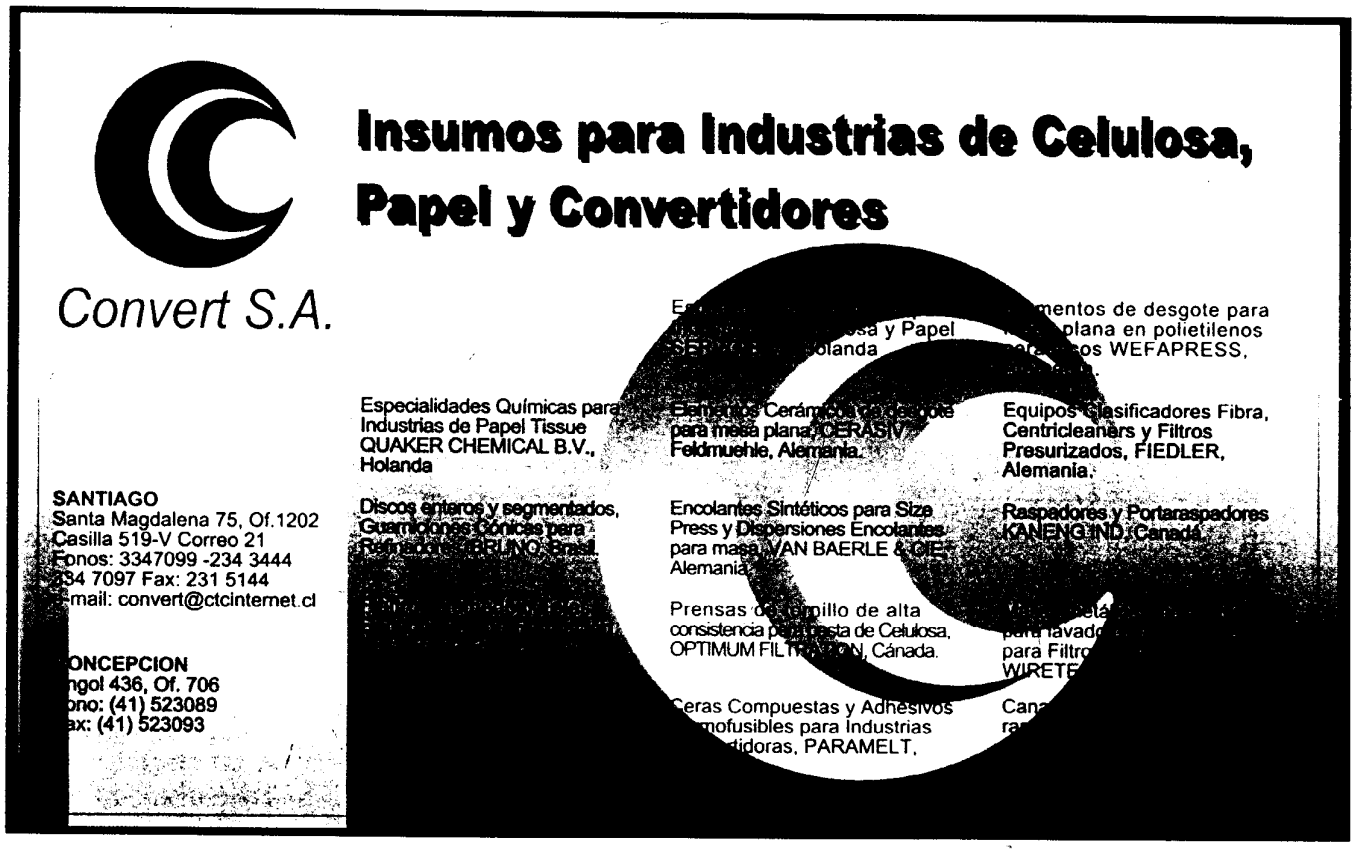
1. Couch, Gordon, "Understandings slagging and fouling in pf combustion", IEA Coal Research, London, Agosto de 1994.

2. Verril, Chrisppher L., A. Wessel, "Detailed black liquor drop combustion model for predicting fume in kraft recovery boilers", Tappi Journal, 81(9) 139-148 (1998).

3. Travers, Alarick J., Homghi Tran, Timothy P. Ried, "Effect of char bed temperature and temperature distribution on fume generation in a kraft recovery boiler", Tappi Journal 8(19), 134—138 (1998).

4. Celulosa Arauco y Constitución S.A., Planta Arauco, Subgerencia de Producción, "Alternativas de recuperación de fibras secundarias en Planta Arauco", noviembre de 1993.

5. Celulosa Arauco y Constitución S.A., Planta Arauco, Superintendencia Técnica, "Antecedentes sobre generación, transporte y almacenamiento de residuos industriales sólidos de Planta Arauco", enero de 1997.

6. Celulosa Arauco y Constitución S.A., Planta Arauco, "Caldera de Poder Línea 2, Información Técnica".

7. Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Proyecto Multinacional de Celulosa y Papel, "Seminario Sobre Pulpas Semiquímicas", Laboratorio de Productos Forestales, Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Escuela de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile. (1973).