

# Determinación de Costos para la Producción de Celulosa mediante Método Kraft y Mecánico

**Resumen:** En la industria de la celulosa, son múltiples los métodos de producción dependiendo del tipo de papel deseado y de los recursos disponibles. Antiguamente solo se producía pasta a partir de la abrasión mecánica y la aplicación de procedimientos químicos a base de soda cáustica, sulfitos y sulfatos. Hoy día, los métodos más utilizados son el mecánico y el químico Kraft (basado en el uso de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio).

El objetivo del presente trabajo es generar datos certeros de costos operativos y de inversión necesarios en la producción de celulosa mediante estos métodos, los cuales son imprescindibles en la optimización de la cadena de suministro.

En primera instancia, se realiza un estudio de las actividades que conforman cada proceso productivo, considerando los recursos que se sacrifican en cada caso. Finalmente se proponen ecuaciones del cálculo de costos de dichos recursos y se analizan los resultados obtenidos.

**Palabras Claves:** Celulosa, Método Kraft, Método Mecánico, Costos.

**Abstract:** The paper pulp industry uses different production methods depending on the desired type of paper and on the available resources. In the past, the only method used to produce pulp was through mechanical abrasion and the application of chemical processes based on caustic soda, sulfites and sulfates. Nowadays, the mechanical and kraft chemical methods (based on the use of sodium hydroxide and sodium sulfide) are ones of the most common processes to produce pulp.

The purpose of this paper is to generate accurate data on the operational and investment costs, necessary for the production of pulp through these methods, which are essential in the optimization of the supply chain.

Firstly, for each case, all activities included in the production process, are studied in detail, considering also the resources that are used. Based on this, the costs equations of those resources are proposed and then, obtained results are analyzed.

**Keywords:** Paper pulp, Kraft Method, Mechanical Method, Costs

**Federico Mues, Jazmín N. Rolón, María E. Rodríguez**

Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional. Lavaise 610 (3000) Santa Fe, Argentina.0342-4601579

Mail: fede.mues@gmail.com - jazmin\_rolon@live.com.ar - mrodriguez@frsf.utn.edu.ar

Este trabajo ha sido realizado bajo la codirección del Ing. Victor Tucci y la dirección de la Dra. M. Analía Rodríguez, en el marco del proyecto "Modelo de costos para la gestión logística en cadenas de suministros". (2015 – 2017).

## INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro forestal posee una alta complejidad debido a que son múltiples actores los que intervienen en la red y existe una amplia gama de conexiones posibles entre las numerosas industrias situadas a lo largo y ancho del país.

Para lograr competitividad es necesario contar con datos certeros de costos y es por ello que se propone un estudio detallado de los costos que se incurren en uno de los nodos de la cadena: la producción de celulosa. Más allá de las diferencias prácticas existentes entre la producción a través del método Kraft y el mecánico, se propone un modelo de costeo general aplicable a ambos casos.

En referencia al análisis de costos, (Coronel de Renolfi, 2007) se estudian los costos de producción y su clasificación proponiendo una metodología de cálculo de aplicación a casos de empresas de forestación y aserraderos.

Se elabora un proyecto de inversión denominado "Producción de Pulpa de Madera BCTMP (pulpa quimi-termo-mecánica blanqueada)", el cual consiste en la en la instalación y operación de una planta productora ubicada en Entre Ríos y Corrientes, Argentina, destinada a la producción de papeles, utilizando madera de *Eucalyptus Grandis* (Chaikh, 2008).

De la experiencia obtenida con el contacto y el intercambio de información con empresas del rubro, se detecta un alto grado de desconocimiento de éstas en cuanto a la valorización y sistematización de sus costos.

En general se utilizan estimaciones que simplifican significativamente la realidad productiva y se emplean herramientas informáticas rudimentarias. Es por esto, que se pone en evidencia la necesidad de generar modelos de costos estándares precisos, adaptados a las necesidades específicas de cada industria. La aplicación concreta de estos modelos en empresas indus-

triales tendrá un impacto local y regional significativo permitiéndoles adaptarse mejor a entornos cada vez más dinámicos y posicionarse favorablemente en los mercados competitivos.

## METODOLOGÍA

En primer lugar se presentan los diagramas de flujo de la Fig. 1 que muestran las secuencias de operaciones. Luego se describen las etapas del proceso productivo que conforman el método mecánico y el método Kraft, con el fin de detallar los mismos. A partir de este estudio se calcula el consumo y el costo de los recursos que son sacrificados en ambas alternativas.

### Método mecánico

Es el primer método inventado para la fabricación de pulpa celulósica y representa actualmente por el 20% de la producción mundial (Bajpai, 2015).

El proceso en general tiene un rendimiento que se encuentra entre el 90 y 98%, cuando se hace referencia únicamente al material celulósico. Cuando se tiene en cuenta el agua en el producto final el rendimiento del proceso es de aproximadamente 255%. Comparándolo con los demás procesos de fabricación de pulpa este porcentaje es muy alto y eso se debe a que no se elimina la mayor cantidad de lignina (material no celulósico) lo cual disminuye la calidad del papel que se produce. A continuación se explican en detalle las etapas del proceso.

**Selección:** Una vez comprados los troncos de *Pinus Elliotti* se realiza la selección de aquellos que sean aptos para el proceso de pulpado, se descartan los que se encuentran torcidos, podridos, con huecos o con metales. Se considera un rendimiento aproximado del

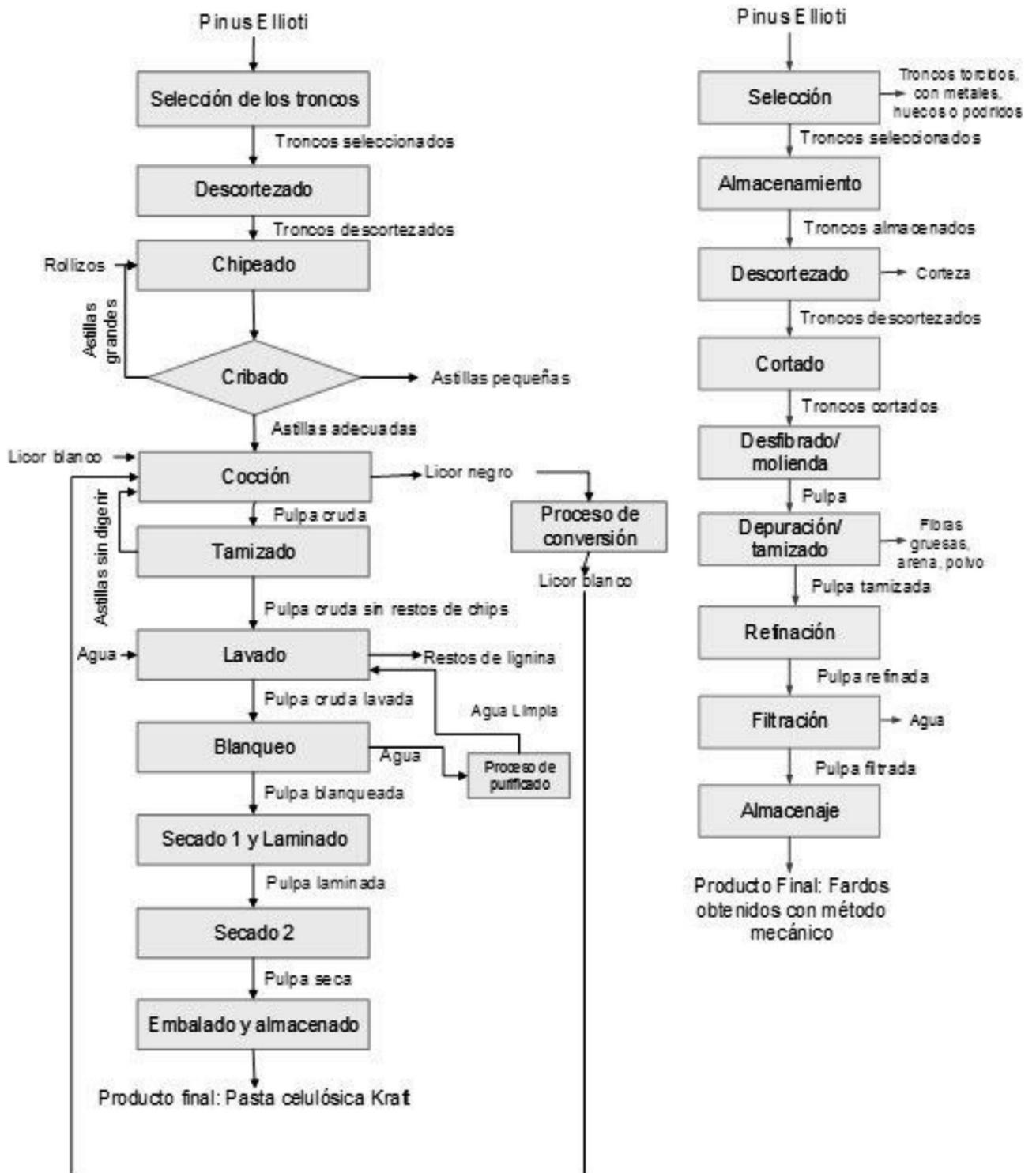


Fig. 1: Diagrama de flujos de ambos procesos.

95%. Este proceso es efectuado manualmente y como resultado se obtienen troncos seleccionados.

**Descortezado:** En esta etapa se procede a eliminar la corteza de los troncos ya que la misma posee poca fibra, presenta alto contenido de sustancias extractivas, es oscura y con frecuencia acarrea grandes cantidades de tierra. Este proceso es mecánico y se realiza mediante una descortezadora de madera. El producto intermedio obtenido son los trocos descortezados y el rendimiento del proceso es del 98%, debido a la corteza retirada.

**Cortado:** se cortan en trozos los troncos libres de corteza, se lleva a cabo un corte tanto longitudinal y transversal. Esta etapa es necesaria para poder procesar los troncos en la siguiente etapa. Como rechazo se obtiene el aserrín lo que provoca que esta etapa tenga un rendimiento del 99%. La máquina a utilizar es una sierra de cinta para trocos y luego de este proceso se obtienen troncos cortados.

**Desfibrado/Molienda:** se muele la madera en trozos más pequeños, a su vez se le agrega agua y al mezclarse comienza a formarse la pasta. La máquina que se utiliza permite obtener una mezcla de agua y pulpa con una concentración entre el 2 y el 5%. Teniendo en cuenta una concentración media del 3,5%, el rendimiento de esta etapa es del 2857%. Una vez finalizado este proceso, el producto intermedio que resulta es la pulpa.

**Depuración/Tamizado:** mediante un equipo de tamizado de pulpa gruesa se separan impurezas livianas, aire e impurezas pesadas, lo que provoca un rendimiento del 97% en esta etapa. El resultado de la etapa es la pulpa tamizada.

**Refinado:** la pulpa tamizada es sometida a un tratamiento mecánico para flexibilizar las fibras, esto permite que posteriormente la pulpa pueda ser utilizada para la producción de papel. Al no existir rechazos, el rendi-

miento es del 100%. Para llevar a cabo esta etapa se utilizan nueve refinadores de pulpa. La densidad de la misma debe ubicarse entre el 2 y 5% y el resultado de esta etapa se denomina pulpa refinada.

**Filtrado:** consiste en eliminar el exceso de agua obtenido en la etapa de desfibrado mediante una filtración por mallas metálicas finas. Se da por presión hidráulica y se elimina gran parte del agua que contiene la pulpa. La consistencia de entrada de la pulpa debe ser mayor al 3%, y la que se puede obtener de salida está entre el 25 y 45%. Considerando una media del 35%, el rendimiento de esta etapa es del 10%.

El producto obtenido es la pulpa filtrada, o celulosa mecánica, la cual se almacena en forma de fardos.

### **Método Kraft**

En la actualidad el método Kraft es uno de los más utilizados, cubriendo alrededor del 72% de la producción mundial de celulosa (Bajpai, 2015). El proceso que se lleva a cabo es químico y consiste básicamente en separar las fibras de celulosa mediante un proceso alcalino que genera la disolución de la lignina.

Si bien el rendimiento global del proceso es aproximadamente del 60%, una de las características más relevantes de esta alternativa es su capacidad de ser autosuficiente en cuanto a la provisión energética, ya que es posible suministrar parte o incluso la totalidad de las necesidades energéticas de la fábrica mediante la electricidad y vapor que resulta de la quema de componentes orgánicos de la madera disuelta. Además el proceso incluye la recuperación de uno de sus desperdicios convirtiéndolo nuevamente en un reactivo utilizable en la deslignificación (el licor blanco) (Colodette et al., 2005).

La celulosa que se obtiene a partir de este método se

utiliza en la fabricación de papel que requiere mejores características de calidad (Stellman, 2008).

Selección, almacenamiento, descortezado y cortado: estas etapas del proceso son idénticas a las llevadas a cabo con el método mecánico y se utiliza la misma maquinaria.

Chipeado: La actividad consiste en llevar a dimensiones más pequeñas los troncos cortados que se ingresan, con este objetivo se obtienen astillas del tamaño adecuado que sugiere el digestor en la etapa que sigue. La máquina que se utiliza se denomina astilladora y el rendimiento del proceso es del 99%.

Clasificación de astillas o cribado: el tamaño del producto intermedio producido por las astilladoras tiene un amplio rango y la preparación de la pasta requiere que sean de dimensiones muy específicas para asegurar un flujo constante a través de los refinadores y un nivel de reacción uniforme en los digestores. En consecuencia, las astillas pasan por una serie de cribas cuyo fin consiste en clasificarlas por longitud y grosor; aquellas demasiado grandes se vuelven a pasar por la máquina, las menores se utilizan como residuos combustibles o se convierten en aserrín y sólo las del tamaño adecuado se usan en el paso que sigue.

La máquina de la cual se hace uso se denomina tamiz vibrante, donde el 90% de las astillas que se obtienen poseen un tamaño adecuado.

Cocción: Se lleva a cabo en un digestor de tipo continuo, las astillas o chips de madera se introducen por la parte superior y una vez que se encuentran dentro del digestor comienza la cocción entre éstas y el licor de impregnación (llamado licor blanco). Este último es una mezcla de hidróxido sódico (NaOH) y sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S) que permite la liberación de las fibras de celulosa mediante la disolución de la lignina.

El desecho generado en el proceso se denomina

licor negro, el cual es reprocesado para transformarse nuevamente en licor blanco.

El producto intermedio obtenido queda depositado en el fondo del digestor y se lo llama pulpa cruda. El rendimiento del proceso es del 62% de lo que ingresa al mismo.

Tamizado: La pulpa cruda se tamiza para separar los trozos de madera que hayan quedado sin digerir, los cuales se devuelven al digestor. El resultado de la etapa es la pasta cruda tamizada, la máquina utilizada se trata de un tamiz y el rendimiento es del 97%.

Lavado: La pasta de celulosa que sale del digestor es lavada y clasificada a través de varios filtros. Los nudos de la madera y otros chips que no pasan por los filtros son enviados de vuelta al digestor. La pasta filtrada y lavada por segunda vez constituye lo que se denomina celulosa sin blanquear. Esta pasta de celulosa tiene aún un contenido importante de lignina, que le da una tonalidad color café, similar al color natural de la madera. El rendimiento de esta etapa es 221,18% debido al ingreso de agua.

Blanqueo: Consiste en eliminar el remanente de lignina contenida en la pasta mediante la adición de productos químicos, tales como dióxido de cloro, oxígeno y soda cáustica. Existen dos procesos para llevar esto a cabo: ECF (libre de cloro elemental) y TCF (totalmente libre de cloro elemental). La diferencia radica en el agente oxidante utilizado. El primero utiliza dióxido de cloro y el segundo utiliza peróxido de hidrógeno y oxígeno. En el presente trabajo se utiliza la segunda opción.

Normalmente, en el proceso de blanqueo se pierde alrededor del 7% de la pasta color café, para alcanzar blancura estándar de 87-90%, según la norma ISO-2470.

En el proceso productivo se debe agregar un proceso de tratamiento de las aguas residuales con el

fin de lograr los estándares de emisión exigidos por las normas ambientales (Ley general del ambiente: Ley Nacional 25.675). Por ello, luego del proceso de blanqueo las aguas son enviadas a plantas de tratamiento.

Secado 1 y laminado: debido a que la pasta hasta este momento posee un gran contenido de agua, se utiliza una máquina llamada fourdrinier, la cual mediante el accionamiento de rodillos, extrae el agua de la pasta por gravedad y mediante bombas de vacío, dándole la forma de una lámina. El producto obtenido en esta etapa es la pulpa laminada. La consistencia de la pasta antes del secado es del 1 al 2% y luego del mismo pasa a ser del 46%.

Secado 2: consiste en dar un secado más intenso a la pasta laminada, en primer lugar utilizando pre-secadores, grandes cilindros en cuyo interior circula vapor a altas temperaturas. Luego pasa a los secadores principales, que por dentro están equipados de diversos rodillos calientes que conducen la lámina a través de calentadores por convección y radiadores infrarrojos. A la salida, la lámina secada posee una consistencia de 87 al 92%.

Embalado y almacenado: por último, utilizando una cortadora, las láminas toman una forma de pliegos que se apilan, éstos se presan y se embalan en una unidad denominada fardo, los cuales se almacenan en bodegas hasta el momento de su utilidad.

### Ecuaciones de cálculo

Costos Totales: se trata de la totalidad de costos, tanto operativos como de estructura, necesarios para llevar a cabo la producción. Se componen de costos fijos ( $CF_m$ ) y costos variables ( $CV_m$ ). El conjunto "m" está compuesto por dos elementos, "m1" será el método mecánico y "m2" el Kraft.

$$CT_m = CF_m + CV_m \quad \forall m \tag{1}$$

Costos Fijos: son aquellos que no varían dependiendo del nivel de actividad que tenga la planta, es decir que su cuantía permanece constante en el período que se considere. Se compone por el costo de amortizaciones las maquinarias ( $C_m^{AM}$ ) e inmueble ( $C_m^{AI}$ ) de ambos procesos, por la parte fija de los servicios a contratar (agua, electricidad) ( $CS_m^{PF}$ ) y por el costo que representan los salarios de los empleados. Estos últimos están conformados por los operarios, el personal jerarquizado y el administrativo ( $C_m^S$ ).

$$CF_m = C_m^{AM} + C_m^{AI} + CS_m^{PF} + C_m^S \quad \forall m \tag{2}$$

$C_m^{AM} + C_m^{AI}$ : Las máquinas (M) y los inmuebles pierden su valor o van desgastándose debido al mero paso del tiempo, por esta razón se amortizan según un período de tiempo. Las primeras en diez años y los segundos en cincuenta años. Para esto se definen los parámetros ( $P_{10} = \frac{1}{120 \text{ meses}}$ ) y ( $P_{50} = \frac{1}{600 \text{ meses}}$ ).

Se utilizará el subconjunto ( $N_m$ ) para identificar a las máquinas pertenecientes a cada uno de los métodos. Además ( $C_m^{AM}$ ) identifica los costos de adquisición de cada una de las máquinas e ( $I_m$ ) el de cada uno de los inmuebles.

En el método mecánico, las máquinas que se emplean son una descortezadora (1), sierra de cinta para troncos (2), desfibradora (3), tamizadora (4), refinadora (5) y filtradora (6); y en el método Kraft se utilizan una descortezadora (7), sierra de cinta para troncos (8), astilladora (9), tamiz vibrante (10), digestor (11), filtros (12), máquina fourdrinier (13), secadores (14) y cortadora de láminas (15).

$$C_m^{AM} = \sum_{n \in N_m} C_n^{AM} * P_{10} \quad \forall m \tag{3}$$

$$C_m^{AI} = I_m * P_{50} \quad \forall m \tag{4}$$

$C_m^{PF}$  : Servicios parte fija: Consiste en un monto fijo que debe abonarse mensualmente por el simple hecho de adquirir el servicio, sin considerar el consumo. Los servicios ( $S_m$ ) utilizados en ambos procesos son el agua (1) y la energía eléctrica (2).

$$C_m^{PF} = \sum_{s \in S_m} C S_s \quad \forall m \tag{5}$$

$C_m^S$  El costo de los salarios se integra por el correspondiente a los administrativos ( $C_m^{AD}$ ), a los operarios de planta ( $C_m^{OP}$ ), y al personal jerarquizado ( $C_m^{JE}$ ). Para esto último se considera:

$$C_m^S = C_m^{AD} + C_m^{OP} + C_m^{JE} \quad \forall m \tag{6}$$

Se supone que en ambos procesos existe un número “a” correspondiente a administrativo, un número “o” para los operarios de producción y un número “j” correspondiente al personal jerarquizado. Por ( $R_a^{AD}$ ), ( $R_m^{OP}$ ), ( $R_m^{JE}$ ) se entiende al monto de remuneración mensual asignado a los trabajadores de cada una de las categorías respectivamente.

$$C_m^{AD} = \sum_{a \in A_m} R_a^{AD} \quad \forall m \tag{7}$$

$$C_m^{OP} = \sum_{o \in O_m} R_m^{OP} \quad \forall m \tag{8}$$

$$C_m^{JE} = \sum_{j \in J_m} R_m^{JE} \quad \forall m \tag{9}$$

Costos Variables: Representan los costos que varían según el nivel de actividad de la producción. Involucran costos de procesamiento tales como la parte de los servicios que dependen del consumo ( $C_m^{PV}$ ), materias primas ( $C_m^{MP}$ ) e insumos ( $C_m^I$ ).

$$C V_m = C S_m^{PV} + C_m^{MP} + C_m^I \quad \forall m \tag{10}$$

$C_m^{PV}$  : Servicios parte variable: Es lo que se abona mensualmente debido al consumo de cada unidad de servicio ( $S_m$ ). Dependiendo del mismo existe un costo por unidad ( $C S_u_s$ ), que multiplicado por lo consumido ( $G_s$ ), resulta el costo mensual.

$$C_m^{PV} = \sum_{s \in S_m} C S u_s * G_s \quad \forall m \tag{11}$$

$C_m^{MP}$  : El costo de la materia prima en ambos procesos está integrado por los principales componentes del producto. En ambos métodos la materia prima son los troncos de Pinus Elliotti. Se calcula como el costo unitario de estos ( $C_m^{MPu}$ ) por lo consumido ( $U_m$ ).

$$C_m^{MP} = C_m^{MPu} * U_m \quad \forall m \tag{12}$$

$C_m^I$  Costo de insumos: Representa lo sacrificado en conceptos de los insumos ingresados en las etapas de los procesos. Para el caso de estudio solo existen en el método Kraft. Se calcula como el costo unitario ( $C_m^{Iu}$ ) por lo consumido ( $V_m$ ).

$$C_m^I = C_m^{Iu} * V_m \quad \forall m \tag{13}$$

Mediante estas ecuaciones se diseña un sistema que está soportado por Microsoft Excel, en el cual a partir de los datos de entrada se obtienen los resultados que se presentan a continuación.

## RESULTADOS

A continuación se plantean casos de estudio para ambos métodos, con el objetivo de poner en práctica las ecuaciones estudiadas para el cálculo de costos.

Los datos de entrada tomados como referencia son: el precio de la materia prima e insumos (Boletín de precios y productos y servicios forestales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, 2015), tarifa de los servicios tales como agua y energía eléctrica, sueldo del personal (Acuerdo Registro N° 340/16 de la Federación de obreros y empleados de la industria del papel, cartón y químicos, 2016), valor y vida útil de los bienes de uso, las capacidades individuales de las máquinas y sus consumos y los rendimientos de cada una de las etapas productivas.

### Método Mecánico

Por turno, la empresa cuenta con 6 operarios distribuidos de manera tal que se cumpla con lo que se estima producir en el mes. Estos están coordinados por un Jefe de Producción. Por otro lado se cuenta con dos empleados encargados de la parte administrativa y un Jefe de Administración. Se trabaja con dos turnos de 8 horas cada uno, considerando 24 días al mes, es decir, de lunes a sábados.

La producción mensual viene dada por la capacidad de la máquina que menos produce por hora, en este caso es la filtradora, que puede filtrar hasta 0,93 toneladas de Pinus Elliotti por hora. Teniendo en cuenta esto y las horas trabajadas, la cantidad de materia prima a procesar es de 357 toneladas al mes.

Para determinar el costo unitario de la tonelada de celulosa se utiliza el modelo de costeo completo por absorción normalizado. Esto quiere decir que se costeará lo que se estima producir y que los costos fijos serán distribuidos por igual entre el total de toneladas a producir.

En las Tablas 1 y 2 se detallan los resultados obtenidos.

En las Fig. 2, 3 y 4 se muestra la desagregación de los costos mencionados.

En las Fig. 2 y 3, puede verse que el costo que representan algunos recursos es muy bajo si se lo compara con el resto de los conceptos. Por esta razón, debido a que no se toman decimales para el redondeo, arroja un porcentaje de 0%. Tal es el caso del Servicio de Agua en la Fig. 2 y del concepto Servicios de la Fig. 3, que representan valores muy poco significativos para el caso de estudio considerado.

COSTOS VARIABLES		COSTOS FIJOS	
Materia prima	\$ 65.041,83 \$/mes	Amortizaciones	\$ 39.322,92 \$/mes
Servicios	\$ 185.915,51 \$/mes	Servicios	\$ 130,45 \$/mes
		Salarios	\$ 432.100,00 \$/mes
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 250.957,34 \$/mes</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 471.553,37 \$/mes</b>

Tabla 1: Detalles de costos variables y fijos del proceso mecánico.

COSTOS TOTALES	
Variables	\$ 250.957,34 \$/mes
Fijos	\$ 471.553,37 \$/mes
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 722.510,71 \$/mes</b>

Tabla 2: Detalle costos totales del proceso mecánico.

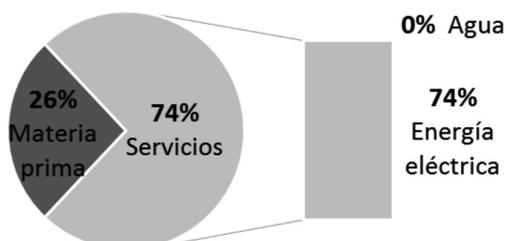


Fig. 2: Desagregación costos variables en proceso mecánico.

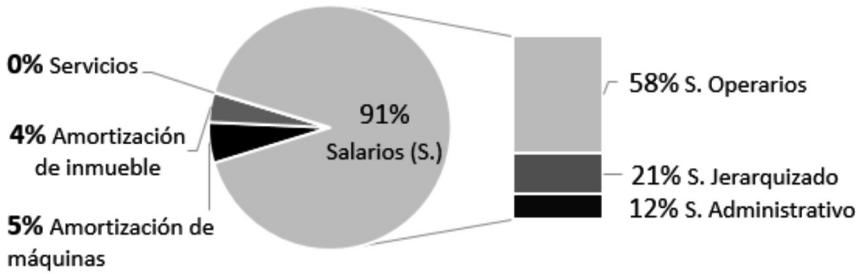


Fig. 3: Desagregación costos fijos en proceso mecánico.

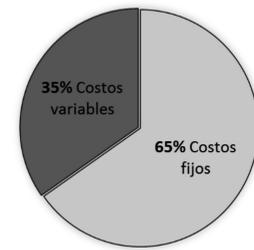


Fig. 4: Desagregación costos totales en proceso mecánico.

### Método Kraft

La condiciones de jornada laboral y la cantidad de empleados administrativos se mantiene como lo planteado anteriormente.

Sin embargo, en este caso la mano de obra productiva alcanza un total de 130 personas, debido a las exigencias de este proceso.

Para esta alternativa la máquina más restrictiva en la capacidad es la astilladora que puede procesar 1,36 toneladas de materia prima por hora. Por lo tanto, la capacidad mensual de la planta se estima en 521 toneladas de materia prima. Al igual que en método mecánico, se aplica el modelo de costeo completo por absorción normalizado.

En las Tablas 3 y 4 se observan los resultados obtenidos.

COSTOS VARIABLES			COSTOS FIJOS		
Materia prima	\$ 94.881,36	\$/mes	Amortizaciones	\$ 34.254,17	\$/mes
Insumos	\$ 1.738.788,53	\$/mes	Servicios	\$ 130,45	\$/mes
Servicios	\$ 38.191,14	\$/mes	Salarios	\$ 2.827.500,00	\$/mes
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.871.861,03</b>	<b>\$/mes</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.861.884,62</b>	<b>\$/mes</b>

Tabla 3: Detalles de costos variables y fijos del proceso Kraft.

COSTOS TOTALES		
Variables	\$ 1.871.861,03	\$/mes
Fijos	\$ 588.284,62	\$/mes
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.460.145,65</b>	<b>\$/mes</b>

Tabla 4: Detalle de costos totales del proceso.

En las Fig.5, 6 y 7 se muestra la desagregación de los costos de las tablas 3 y 4. En las Fig. 5 y 6, al igual que en el proceso anterior, existen recursos cuyos costos son muy bajos si se lo compara con el resto. Por eso, debido a que no se toman decimales para el redondeo, arroja un porcentaje de 0%.

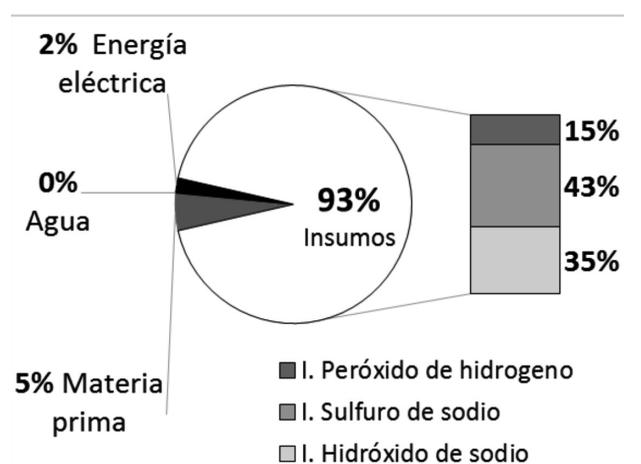


Fig. 5: Desagregación costos variables en proceso Kraft.

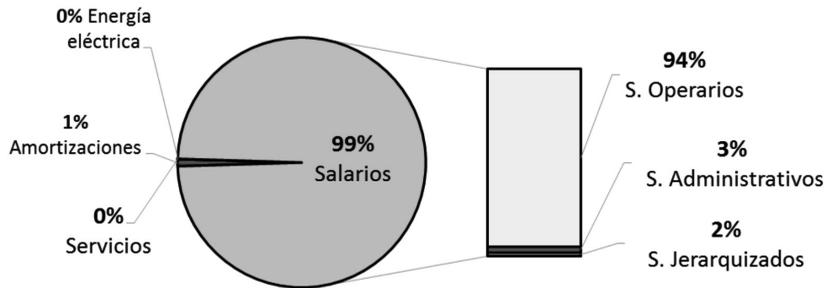


Fig. 6: Desagregación costos fijos en proceso Kraft.

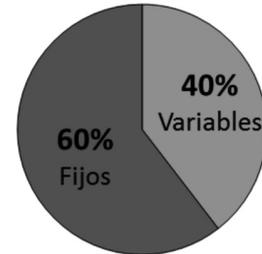


Fig. 7: Desagregación costos totales en proceso Kraft.

A modo de ejemplo se utilizan las ecuaciones planteadas anteriormente para el cálculo de algunos ítems de costos. Se efectúan dos ejemplos correspondientes a cada método de producción. En el mecánico se calcula el costo de la materia prima (Ecuación 10) y de la parte variable del servicio de energía eléctrica.

(Ecuación 11); y con respecto al método Kraft, se desarrolla el cálculo del costo del inmueble (Ecuación 2) y el costo de mano de obra debido al sueldo de los operarios de producción (Ecuación 8).

Proceso mecánico:

• Costo de materia prima:

$$C_{mec}^{MP} = 182,19 \frac{\$}{tn MP} * 357 \frac{tn MP}{mes} = 65.041,83 \frac{\$}{mes}$$

• Costo de variable de energía eléctrica:

$$CS_{mec}^{PV} = 0,53 \frac{\$}{kWh} * 349.125,56 \frac{kWh}{mes} = 185.856,57 \frac{\$}{mes}$$

Proceso Kraft:

• Costo de amortización del inmueble:

$$C_{Kra}^{AI} = 10.000.000 \$ * \frac{1}{600 mes} = 16.666,67 \frac{\$}{mes}$$

• Costo de sueldos de operarios:

$$C_{Kra}^{OP} = 130 op * 20.300 \frac{\$}{op*mes} = 2.639.000 \frac{\$}{mes}$$

## DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta el rendimiento global del proceso mecánico (25%), la cantidad producida en el mes y los costos detallados en la Tabla 3 se concluye que una tonelada de celulosa obtenida mediante el método mecánico tiene un costo de \$792,34. Si se cambia la unidad de análisis a toneladas de Pinus Elliotti, el costo unitario es de \$2.023,84. Esto se obtiene de utilizar el rendimiento como factor multiplicador. Por otro lado, para producir una tonelada de pulpa Kraft al nivel de máxima capacidad, los costos de procesamiento son de \$4.733.745,65 por mes y el de una tonelada de materia prima \$9.089,72, donde el 60% corresponde a costos fijos y 40% a costos variables. Además puede verse que de los costos fijos el más representativo en su volumen es el salario de los operarios de producción y con respecto a los variables, el valor que se destaca son los insumos utilizados en el proceso, es decir los productos químicos utilizados esenciales para la cocción de la pulpa (hidróxido de sodio y sulfuro de sodio).

Como trabajo futuro, se propone analizar los costos obtenidos con un incremento en la capacidad aprovechando la producción a escala. Se plantea además la comparación de resultados utilizando los mismos

métodos pero con materias primas diferentes, como ser diferentes especies de árboles o papel reciclado.

Se desarrollará un análisis de beneficios y rentabilidades considerando diferentes precios de venta de los productos y se evaluarán otros modelos de costeo a fin de comparar los resultados que cada metodología propone.

## CONCLUSIONES

Se pudo estudiar y detallar de manera precisa los métodos Mecánicos y Kraft para la elaboración de pasta celulósica. A partir de esto se formularon

ecuaciones generalizadas correspondientes para el cálculo de costos de ambos procesos. Utilizando el modelo de costeo completo por absorción se obtuvo datos de costos unitarios y así se generó información certera cumpliendo con el objetivo planteado para este trabajo. La misma será de vital importancia en la toma de decisiones.

## AGRADECIMIENTOS

Por la dirección de la Dra. Ma. Analía Rodríguez y la codirección del Mg. Ing. Victor Tucci. Se agradece a la UTN-FRSF por el apoyo y financiamiento brindado.

## REFERENCIAS

*Ley General del Ambiente: Ley Nacional 25.675. (2002).*

Web:<[http://www.icaa.gov.ar/Documentos/Ges\\_Ambiental/LEY-25675-GENERAL-AMBIENTE.pdf](http://www.icaa.gov.ar/Documentos/Ges_Ambiental/LEY-25675-GENERAL-AMBIENTE.pdf)>

Colodette, J., Gomez C., Rabelo M, Eiras K. "Avances en el blanqueo de pulpa Kraft de eucaliptus". II Coloquio de Eucalipto. Chile. (2005).

Coronel de Forestales". Facultad de Ciencias Forestales- Universidad Nacional de Santiago del Estero, Serie Didáctica, 30, 1-90. Santiago del Estero, Argentina.

(2007). <<http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-30-Costos-forestales-RENOLFI.pdf>>

Chaik, H. Proyecto: Producción de Pulpa de Madera BCTMP. Maestría en Evaluación de Proyectos. ITBA. Universidad del Cema. (2008). <[https://www.ucema.edu.ar/posgradodownload/tesinas2010/Tesina\\_MEP\\_UCEMA\\_Chaik.pdf](https://www.ucema.edu.ar/posgradodownload/tesinas2010/Tesina_MEP_UCEMA_Chaik.pdf)>

Stellman, J. Mager. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Chile, Santiago de Chile. Gestión editorial Chantal Dufresne BA. (2008).

Bajpai, P. "Pulp and Paper Industry". Patiala, Punjab, India. Elsevier. (2015).

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Boletín de precios de productos y servicios forestales. Argentina. (2015).

Federación de obreros y empleados de la industria del papel, carton y químicos. Acuerdo Registro No: 340/16. Buenos Aires, Argentina. (2016).

<<http://papeleros.org.ar/#>>