



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR

Producción de nanocelulosa para su aplicación en la Industria Papelera

Camila Quintero
Lucía García
Ignacio Glumcher
Florencia Ingold
Francisco Lage
Rodrigo Schertz

Proyecto de grado presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República
en cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del título de Ingeniero/a
Químico/a.

Tutores

Norberto Cassella
Rodrigo Álvarez

Montevideo, Uruguay
Junio de 2022

Resumen Ejecutivo

Este proyecto tiene como objetivo principal la evaluación de la viabilidad técnico-económica de la producción de nanocelulosa (CNF¹) para su aplicación en la industria papelera. Este se enfocó, dentro del sector de fabricación de cartón y papel, en el packaging, puntualmente en el componente liner, y en el papel tissue.

El proyecto consta de la producción de un material que permite sustituir la fibra larga y el DKL utilizados en la fabricación de papel, por fibra corta y/o papel reciclado con agregado de nanocelulosa, sin perder las propiedades del producto final. Esto tiene un aporte no solo a nivel económico, ya que se logra sustituir materia prima más costosa por otra más económica, sino que también contribuye a la transición hacia la sustentabilidad y una economía circular. Esto último se refleja en la generación de un nuevo sector en el cual el papel reciclado puede ser aprovechado, además de apoyar la sustitución de materiales no biodegradables como el plástico por materiales que sí lo son. Siguiendo con esta línea, Nanofiber apunta al aprovechamiento máximo de los insumos, mediante la recuperación de la mayor cantidad de recursos posible. Por ejemplo, el proceso cuenta con una recuperación del 74% del agua utilizada.

La incorporación de la CNF a la fabricación de papel a nivel local permitiría la inserción del país en el proceso de transición de economía lineal a una más circular, tendencia que cada vez toma más fuerza a nivel mundial y que es inevitable. La incorporación de procesos que fomenten estas prácticas traen a la economía y sociedad local diversos beneficios.

Además, la CNF cuenta con un sinfín de aplicaciones y su incorporación trae asociada grandes beneficios en cuanto a calidad, agregando valor a los productos generados. El manejo de este producto innovador podría hacer al Uruguay más competitivo a nivel de un mercado que, si bien hoy en día está en etapas piloto y de escalado, con algunas experiencias a nivel industrial, posee evidencia suficiente que muestra una tendencia a su crecimiento.

La nanocelulosa se fabrica a partir de pulpa de celulosa blanqueada que, en este caso, es de origen nacional, provista por la empresa UPM. En lo que refiere al proceso de obtención de la CNF, la principal etapa es una fibrilación mecánica. Esta puede ser realizada de diversas formas: molienda, microfluidización, homogeneización a presión y trituración, siendo esta última la seleccionada. Para esto se opta por un refinador de doble disco. El consumo energético en este suele ser muy elevado, dificultando la viabilidad económica de la producción. Es por esto que suele acompañarse la etapa mecánica de un pretratamiento químico o enzimático, optándose en esta instancia por el segundo.

La planta de Nanofiber procesa un total de 242 toneladas CNF_{BS}/año, a una consistencia del 18%(m/m), de las cuales 190 toneladas son provistas a PAMER S.A. y 42 toneladas a Softys.

En base a los clientes mencionados anteriormente, la demanda del producto y los costos asociados se vende la nanocelulosa como producto sólido al 18 %(m/m), a un precio de 7800 USD/ton a PAMER S.A. y 6800 USD/ton a Softys.

En lo que refiere a localización, la planta de nanocelulosa se ubicará en el predio del mayor cliente: PAMER S.A., en la ciudad de Mercedes.

La pulpa de celulosa se recibe en 14 fardos de 2 toneladas, los cuales son almacenados en la zona correspondiente. Como se menciona anteriormente, diariamente se requiere del uso de 842 kg de pulpa de celulosa. Para dar inicio al proceso productivo, esta debe sobrepasar un pretratamiento en el pulper. Con esto se logra mezclar la pulpa con 12 toneladas de una suspensión acuosa recirculada, de tal modo de obtener una corriente con 6%(m/m) de consistencia.

La suspensión acuosa será diluida a una consistencia de 5%(m/m) y pretratada enzimáticamente, con el objetivo de realizar una disminución del diámetro preliminar y más suave, previo a la refinación (etapa de fibrilación principal). Con esto se logra un ahorro energético posterior. Esta etapa insume 2 horas de reacción a pH=5 y T=50°C, con el agregado de 44 kg de solución buffer, 6 kg de solución enzimática y 900 kg de vapor. Además, insume media hora de desactivación enzimática a T=80°C, con la inyección de 820 kg de vapor. Al final de esta etapa, debido al fenómeno de dilución generado, se obtiene una suspensión con una consistencia de 4,3%(m/m).

Posteriormente, dicha corriente es bombeada a un primer filtro prensa en el que se realizan 5 ciclos de prensado y lavado para generar el producto intermedio: sólido de nanocelulosa al 18%(m/m), donde se insumen 6,6 toneladas de agua. Este es enviado a la zona de almacenamiento hasta su uso posterior.

El producto intermedio es cargado al pulper, en donde se resuspende generando una corriente de consistencia del 6%(m/m) e insumiendo 8 toneladas de agua limpia.

La suspensión es luego impulsada a un tanque pulmón en donde se realiza un nuevo ajuste de consistencia del 6 al 4% (m/m), quedando la suspensión lista para pasar por el refinador. Esta etapa insume 6 toneladas de agua limpia.

La etapa de refinación mecánica opera con una recirculación del 100%, en la cual la corriente de salida del refinador es enviada al tanque pulmón y de regreso al refinador. Esto ocurre hasta transcurridas 4 horas, momento en el cual se deriva la suspensión, haciendo baipás al refinador, y enviándola hacia un segundo filtro prensa.

La última etapa del proceso se compone de 5 ciclos de prensado de la suspensión hasta generar el producto final de 18% (m/m) de consistencia. Este es almacenado en Big Bags hasta su distribución: incorporación en la línea productiva de PAMER S.A. y stockeado y posterior transporte a Softys.

El proceso cuenta además con su propia planta de tratamiento de efluentes, con el objetivo de acondicionar las corrientes generadas en los filtros prensa para su vertido en el Río Negro. Este tratamiento consta de una coagulación, sedimentación primaria, tratamiento biológico y sedimentación secundaria. A partir de este tratamiento, se evalúa la posibilidad de recuperación de fibras, con una posible revalorización a un precio del 20% del de venta. Esto genera una ganancia extra de 3.600 USD/año.

El consumo de energía eléctrica de la planta es de 980 MWh/año.

La empresa constituirá una Sociedad de Responsabilidad Limitada, con 9 empleados directos divididos en dos áreas: Operaciones y de Administración y Finanzas. Algunos servicios serán tercerizados, utilizando el personal de PAMER S.A. Desde la elaboración del anteproyecto hasta el comienzo de operación de la planta (a una capacidad del 50%) se estiman necesarios 22 meses.

La inversión para llevar a cabo el proyecto es estimada en 2,2 millones de USD. Se realizó un análisis económico, tanto para capital propio como mixto. En el primer caso, se obtuvo un punto de equilibrio (PE) correspondiente a 712.000 USD, con unas ventas de 1.6 millones de USD. En el caso de capital mixto, se obtuvo un punto de equilibrio de 812.000 USD, con unas ventas de 1.8 millones de USD. Dado que en ambos casos se obtuvo un PE menor a las ventas, se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vista económico.

Se hizo además un análisis de viabilidad financiera, tanto para capital propio como mixto, en el cual se analizan el VAN y TIR. Se obtuvieron valores de VAN de 1,8 millones USD y 2,2 millones USD, respectivamente, ambos positivos, indicando viabilidad financiera. Desde el análisis a través del TIR se obtuvieron valores de 25 y 40% respectivamente, mayores a la tasa de descuento considerada del 10%. Esto también indica viabilidad financiera.

Con el fin de estudiar los factores en los que se debe prestar especial atención a futuro, pues cambios en estos pueden afectar la viabilidad del proyecto, se realizaron diversos análisis de sensibilidad. Se simuló variaciones en el costo de la pulpa de celulosa blanqueada y los precios de venta de CNF. De estos se destaca el impacto de este último, particularmente el del precio de venta a PAMER S.A., por el ser el mayor cliente.

Si bien el proyecto se elaboró en base a un mercado nacional limitado, pues se enfoca en la aplicación en la industria papelera, con clientes que además no proyectan un aumento en su capacidad productiva, sería interesante evaluar la posibilidad de extender los usos de la nanocelulosa fabricada. Esto podría a su vez fomentar la ampliación del mercado tanto a nivel local como regional y mundial.