



Proyecto Industrial: Producción de pasta dissolving a partir de BEKP

Autores:

María Valentina Bazzano Vilas	IQ
Jean Paul Descoueyte Tellechea	IA
Bruno Ariel Guper Resnitzky	IQ
Mateo Hernández Kuster	IQ

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 Químico e Ingeniero en Alimentos.

Tutores:

Ing. Quím. Norberto Cassella
Dr. Ing. Quím. Gustavo Domínguez
Ing. Quím. Darío Huelmo

**Montevideo, Uruguay
Mayo 2025**

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que nos acompañaron y apoyaron durante la realización de este proyecto y a lo largo de nuestra formación profesional.

A nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional durante toda la carrera y especialmente en la realización de este proyecto final.

A la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Química y sus docentes, por brindarnos una formación sólida y exigente. A nuestros tutores, por su dedicación, guía y asesoramiento a lo largo del desarrollo del proyecto.

Agradecemos también a las personas, instituciones y empresas que colaboraron con información y recursos para llevar adelante este trabajo.

Por último queremos agradecer a nuestros compañeros, por el compañerismo y el apoyo compartido durante todos estos años.

A todos ustedes gracias.

Descargo de responsabilidad

Este informe de Proyecto de Grado ha sido desarrollado como parte de un ejercicio didáctico en el marco del programa de Ingeniería Química/de Alimentos en Facultad de Ingeniería, UdelaR. El objetivo principal de este proyecto es demostrar la capacidad del estudiante para aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos durante su formación académica.

La Propiedad Intelectual del presente informe pertenece a la Universidad de la República y los autores y tutores, de acuerdo a la Ordenanza de los Derechos de la Propiedad Intelectual de la Universidad de la República (Res. N° 91 de C.D.C. de 8/III/1994 - D.O. 7/IV/1994)

Aviso legal

Los contenidos, conclusiones y recomendaciones presentadas en este informe son resultado del trabajo académico del estudiante, basados en datos y supuestos disponibles hasta la fecha de finalización del proyecto. La institución y los supervisores del proyecto no asumen responsabilidad alguna por la exactitud, integridad o actualidad de la información proporcionada.

Este informe está destinado únicamente para fines educativos y de evaluación dentro del ámbito académico del programa de Ingeniería Química / de Alimentos. No debe interpretarse como un asesoramiento profesional, técnico o especializado en ninguna materia.

Advertencia de uso

Cualquier lectura, interpretación o aplicación de los resultados y conclusiones de este informe por parte de terceros, queda bajo su propia responsabilidad. La institución, los autores y los supervisores del proyecto no asumen responsabilidad por cualquier pérdida, daño o consecuencia que pudiera surgir directa o indirectamente del uso de la información proporcionada en este informe.

Los resultados presentados en este informe pueden estar sujetos a limitaciones y restricciones derivadas de la naturaleza didáctica del proyecto, incluyendo pero no limitándose a la disponibilidad de recursos, tiempo y alcance del ejercicio.

Se prohíbe cualquier reproducción, distribución o divulgación total o parcial de este informe sin el consentimiento expreso por escrito de los autores y de la institución.

Quien continúa con la lectura de este informe, acepta y comprende los términos y condiciones establecidos en este descargo de responsabilidad.

Resumen ejecutivo

Este proyecto tiene como objetivo principal el diseño, evaluación y propuesta de implementación de una planta industrial dedicada a la producción de pulpa soluble a partir de pulpa kraft blanqueada de eucalipto (BEKP), utilizando como materia prima este producto ya disponible en el mercado uruguayo, el cual abarca gran parte de las exportaciones del país. La iniciativa surge como una alternativa innovadora para agregar valor a la industria forestal nacional, diversificando la oferta de productos derivados de la celulosa y generando oportunidades en mercados internacionales de alta demanda, especialmente en el sector textil.

La pulpa soluble es un producto con alto contenido de celulosa, baja proporción de hemicelulosas y lignina, y propiedades específicas de blancura y reactividad. Su aplicación principal es como insumo en la producción de fibras regeneradas, tales como viscosa, rayón o lyocell, que representan una alternativa más sostenible frente al algodón y las fibras sintéticas. La demanda mundial de este tipo de productos se encuentra en constante crecimiento, impulsada por la transición hacia modelos productivos más amigables con el ambiente y por el fenómeno del *fast fashion*.

El enfoque del proyecto se basa en aprovechar la infraestructura existente en Uruguay para la fabricación de productos forestales, instalando una línea de producción posterior al proceso kraft que permita transformar la BEKP en pulpa dissolving mediante operaciones adicionales, conservando parcialmente la tradicional línea de producción. Esta propuesta permite reducir significativamente la inversión inicial en comparación con la instalación de una planta de prehidrólisis kraft. Adicionalmente se emplean en el proceso, reactivos de habitual uso en las pasteras, con una innovadora idea que permite reutilizar casi el 100 % de los mismos.

La planta proyectada se ubicará dentro de la zona franca CUECAR S.A., dentro del predio de UPM Paso de los Toros, aprovechando la producción de la mayor planta productora de BEKP del país. La ubicación dentro de la zona franca es necesaria, para la interacción con la planta kraft a la vez que beneficiosa en términos fiscales. Se proyecta una producción de 500.000 ADT anuales de pulpa soluble, posicionándose a la par de plantas instaladas en Brasil y Chile.

El proceso de transformación de la materia prima al producto deseado, implica reducción del contenido de hemicelulosas en la pulpa, además de controlar los metales presentes y reactividad final de la pasta dissolving. En este sentido, se opta por el siguiente método de producción: refino, operación que facilita el contacto entre las fibras y medio líquido, extracción alcalina en frío (CCE) usando soda cáustica para separar la mayoría de las hemicelulosas presentes en la BEKP, y una etapa de hidrólisis ácida, proceso que utilizando ácido sulfúrico tiene como objetivo alcanzar la reactividad exigida por el mercado en el producto final. Finalmente, la pasta es secada mediante un proceso tradicional, similar al empleado en las plantas actuales. Para ello, se instala una planta de secado que inicia con la formación de hojas y prensado, continúa con el secado propiamente dicho y finaliza con el cortado de hojas y el armado de *units* y fardos.

En el proceso de CCE no se evidencia una pérdida significativa de la soda alimentada. Por lo tanto, se emplea la misma cantidad de soda fresca que utiliza la planta de celulosa, de modo que el efluente de esta etapa contenga un flujo de soda equivalente al requerido en las etapas básicas del blanqueo kraft, permitiendo alimentar este proceso con el extracto alcalino obtenido. De forma análoga, en la etapa de hidrólisis ácida el consumo de ácido sulfúrico es mínimo. En consecuencia, se opera de manera similar a la etapa CCE, demandando una carga de ácido equivalente a la utilizada en la planta kraft y alimentando con el efluente de esta etapa los procesos ácidos del blanqueo. Esta forma de operación favorece la incorporación de la propuesta a una planta tradicional.

La inversión total de capital para la instalación de la planta se estima en 545 millones de dólares mediante un financiamiento mixto, considerando un endeudamiento del 47 %. Los resultados de un análisis económico y financiero presentan resultados alentadores, obteniendo una TIR de 39,4 % y un VAN de 479 millones de dólares, alcanzando un período de repago de 2,6 años. De esta manera la propuesta complementa su atractivo técnico y sostenible con alta rentabilidad.

Actualmente, la pulpa soluble de fibra corta es producida a partir del proceso prehidrólisis kraft (PHK), método que permite la producción en una misma planta (conocidas como plantas *swing*) de dos productos diferentes, pasta grado papel y soluble, operando por campañas.

En comparación, el proyecto propuesto presenta costos de producción mayores respecto a las plantas *swing*, lo que representa una desventaja frente a este tipo de procesos. Sin embargo, ofrece una mayor flexibilidad operativa, al permitir ajustar la producción de pulpa soluble en función de las condiciones del mercado, manteniendo inalterada la línea de producción de pulpa kraft tradicional. Adicionalmente, frente al proceso de PHK, se destaca por el potencial aprovechamiento del extracto de hemicelulosas, posibilitando la obtención de productos de mayor valor agregado, incorporando el concepto de biorrefinería.

La implementación del proyecto, colocaría a Uruguay como tercer país productor de pasta dissolving en América Latina, representando un aumento en 1,8 % en las exportaciones, aprovechando la infraestructura de la industria forestal en el país. Asimismo, se introducen grandes oportunidades en la investigación y desarrollo tecnológico a nivel nacional.

En conclusión, el proyecto resulta técnica y económicamente viable, consolidándose como una alternativa competitiva frente a los procesos tradicionales. Aprovecha reactivos ampliamente utilizados en la industria y se alinea con la creciente demanda mundial de pulpa soluble, posicionándose como una propuesta sólida y con proyección a futuro.

Palabras clave: Celulosa, pulpa soluble, dissolving pulp, BEKP, CCE, biorrefinería, soda cáustica, ácido sulfúrico, kraft, pasteras, Uruguay, Fast fashion.

Actualmente, la pulpa soluble de fibra corta es producida a partir del proceso prehidrólisis kraft (PHK), método que permite la producción en una misma planta (conocidas como plantas *swing*) de dos productos diferentes, pasta grado papel y soluble, operando por campañas.

En comparación, el proyecto propuesto presenta costos de producción mayores respecto a las plantas *swing*, lo que representa una desventaja frente a este tipo de procesos. Sin embargo, ofrece una mayor flexibilidad operativa, al permitir ajustar la producción de pulpa soluble en función de las condiciones del mercado, manteniendo inalterada la línea de producción de pulpa kraft tradicional. Adicionalmente, frente al proceso de PHK, se destaca por el potencial aprovechamiento del extracto de hemicelulosas, posibilitando la obtención de productos de mayor valor agregado, incorporando el concepto de biorrefinería.

La implementación del proyecto, colocaría a Uruguay como tercer país productor de pasta dissolving en América Latina, representando un aumento en 1,8 % en las exportaciones, aprovechando la infraestructura de la industria forestal en el país. Asimismo, se introducen grandes oportunidades en la investigación y desarrollo tecnológico a nivel nacional.

En conclusión, el proyecto resulta técnica y económicamente viable, consolidándose como una alternativa competitiva frente a los procesos tradicionales. Aprovecha reactivos ampliamente utilizados en la industria y se alinea con la creciente demanda mundial de pulpa soluble, posicionándose como una propuesta sólida y con proyección a futuro.

Palabras clave: Celulosa, pulpa soluble, dissolving pulp, BEKP, CCE, biorrefinería, soda cáustica, ácido sulfúrico, kraft, pasteras, Uruguay, Fast fashion.