



Sustitución total o parcial de fuel oil en horno de cal pasteras. Gasificación de madera.

Autores:

Virginia Alonzo
Irina Alvarez
Pablo García
Romina Marquisá
Lorena Martinez
Gabriela Umpiérrez

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.

Tutores:

Dr. Ing. Químico Gustavo Dominguez
Ing. Químico Rodrigo Álvarez, MBA
Ing Químico Raúl García

Montevideo, Uruguay

Marzo 2022

Agradecimientos

En primer lugar agradecemos a nuestros tutores Dr. Ing. Gustavo Dominguez, Ing. Rodrigo Álvarez, MBA y Ing. Raúl García por su compromiso y dedicación a lo largo de todo el proyecto.

Por otro lado, deseamos agradecer a la Ing. Fernanda Arrosbide, Ing. Inés Eluen, Ing. Miguel Paolino, Ing. Andrés Hernández y Ing. Magdalena Urrutia por recibirnos en la visita a UPM Fray Bentos, junto con nuestro tutor Ing. Rodrigo Álvarez. Fue una experiencia enriquecedora que nos permitió conocer de primera mano el proceso de producción y obtener información valiosa para nuestro trabajo. Queremos destacar especialmente la ayuda y el tiempo que nos dedicó la Ing. Fernanda Arrosbide, quien además nos brindó su apoyo y respondió amablemente a nuestras dudas durante todo el proyecto.

También queremos agradecer al Ing. Conrado Pons por recibirnos en la planta de Montes del Plata, lo cual nos permitió ampliar nuestra comprensión del proceso de producción.

Asimismo, estamos agradecidos con el Ing. Andrés Gramajo por brindarnos información técnica valiosa sobre el proceso de gasificación, lo cual fue fundamental para la realización del proyecto.

No podemos dejar de mencionar a la Ing. Karina Esposito, quien nos guió en el diseño del gasoducto, y al Ing. Joaquín Quinteros, quien nos ayudó enormemente en la parte de automatización del proceso.

También mencionar al Ing. Patricio Vitale, quien nos brindó su guía técnica para el diseño de las cintas transportadoras, lo cual fue de gran ayuda en nuestra investigación.

Queremos agradecer en general a todas las demás personas, a aquellos que brindaron información valiosa, a los que compartieron su experiencia y conocimiento, y a los que estuvieron dispuestos a ayudar en cualquier momento, nuestro más sincero agradecimiento.

No podemos dejar de mencionar a nuestras familias y amigos, quienes nos apoyaron incondicionalmente a lo largo de todo el proceso. Agradecemos por su paciencia, comprensión y motivación, sin la cual no habríamos podido llegar hasta aquí.

Resumen Ejecutivo

El objetivo del presente proyecto es evaluar la viabilidad técnica, económica y financiera de la sustitución parcial del fueloil en el horno de cal de UPM Fray Bentos. Para esto, se propone el uso de la gasificación de madera a partir de los residuos de corteza y finos generados en la propia planta. Este proceso implica la conversión termoquímica de la biomasa en gas combustible, en presencia de aire como agente gasificante y bajo condiciones de altas temperaturas.

Este proyecto se destaca por reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y valorizar los residuos que actualmente se descartan. De esta forma, se clasifica como un proyecto que fomenta la economía circular, lo que lo hace aún más atractivo para los inversores.

El horno de cal desempeña una función esencial en una planta de pulpa de celulosa y constituye el punto de mayor consumo de energía fósil. Además, debido a la creciente preocupación por el impacto ambiental de estas industrias, las empresas en Uruguay tienen como objetivo cercano eliminar por completo el uso de energía fósil en sus procesos productivos. Para lograrlo, están trabajando en implementar tecnologías más sostenibles y reducir su huella de carbono en todas las etapas del proceso de producción.

La utilización de combustibles alternativos en el proceso de producción del horno de cal tiene efectos en su operación, así como en la caustificación y el resto del ciclo del licor. Uno de los impactos se debe a la adición de elementos ajenos al proceso, como el potasio, el fósforo y el silicio, que se acumulan en el ciclo del licor y la cal. Además, el perfil de temperatura y la estabilidad de la llama en el horno tienden a cambiar, lo que puede provocar, por ejemplo, efectos en la formación de anillos.

Otro factor a tener en cuenta es el aumento de las emisiones de NOx. Como el poder calorífico del gas producido es bajo, se requiere un mayor volumen de combustible para lograr el mismo calentamiento, generando una mayor cantidad de gases a la salida. Si este exceso de gases excede la capacidad del horno, deberán ser tratados adecuadamente.

Las experiencias operativas de hornos que han sustituido el fueloil por gasificación de madera han demostrado una eficiencia significativa, reduciendo hasta el 100% del uso de fueloil. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la sustitución no es necesariamente válida para todas las industrias celulósicas, ya que cada una debe ser evaluada y estudiada en detalle.

En el caso específico de UPM, se debe tener en cuenta que el proceso de caustificación es el cuello de botella de la planta y, por lo tanto, se deben evitar paradas no planificadas. A pesar de los beneficios de la sustitución de fueloil por gasificación de madera, es importante analizar cuidadosamente las condiciones de cada planta y evaluar la viabilidad de la sustitución en cada caso.

Teniendo en cuenta que la planta de UPM Fray Bentos opera actualmente a su capacidad máxima en el horno de cal y que se debe garantizar la disponibilidad constante de la cal, se ha tomado la decisión de sustituir el fueloil en un 56%. Esta sustitución se llevará a cabo utilizando residuos de corteza y finos generados por la planta. Es importante destacar que esta decisión fue tomada luego de un exhaustivo análisis técnico, que evaluó la viabilidad y los posibles impactos de esta sustitución en la operación y el rendimiento de la planta.

La actividad industrial tendrá lugar en las instalaciones de la planta de UPM Fray Bentos. Luego de considerar varios factores, tales como la distancia al horno de cal, la cercanía a los residuos de biomasa, los costos asociados al transporte del gas a través del gasoducto y las distancias recorridas de la biomasa húmeda a través de las cintas transportadoras, se ha determinado que la

ubicación óptima para la actividad es aquella que se encuentra más próxima a la generación de la biomasa.

La capacidad productiva se ha establecido en 172 MM m³/año, y se ha definido que el precio del gas producido es de 0,1 USD/m³.

Según el estudio económico-financiero realizado, se estima que el proyecto requiere una inversión de USD 33 MM. Los resultados obtenidos muestran una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 21,1% y un Valor Actual Neto (VAN) positivo de USD 29 MM, basándose en capitales propios. Si se obtiene un préstamo que cubra el 70% de la inversión y se establece una tasa de interés del 6%, el período de repago es de 2,7 años, lo que eleva la TIR a 40,7% y el VAN a USD 30 MM.

Después del análisis detallado llevado a cabo, se puede concluir que el proyecto resulta altamente atractivo tanto desde el punto de vista económico y financiero, considerando que cuenta con una subvención de capital mixto, como desde una perspectiva técnico-ambiental, ya que apuesta por la utilización de fuentes renovables y se alinea con los principios del desarrollo sostenible.