



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR



INSTITUTO DE
INGENIERÍA
QUÍMICA

Producción de carbón a partir de madera de pino por pirólisis lenta

Autores:

Bértola Miguel, Emiliano – Ingeniería Química

Boiwko Clavijo, Mariana – Ingeniería Química

De Maio Mirás, Fernando – Ingeniería Química

Rodríguez Maldonado, Agustina – Ingeniería Química

Sampietro Píriz, Ignacio – Ingeniería Química

Torres Vélez, Paulina – Ingeniería Química

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:

Ferro, Santiago
Testorelli, Eduardo

Montevideo, Uruguay
Mayo de 2023

Agradecimientos

Queremos agradecer principalmente a nuestra familia y amigos que nos acompañaron y apoyaron durante este camino.

A nuestros tutores, los Ing. Santiago Ferro y Eduardo Testorelli por guiarnos durante el transcurso del proyecto, por las correcciones y atención prestada.

Queremos también agradecer a todos los profesionales y empresas que prestaron su tiempo y conocimiento para llevar adelante el proyecto.

Por último, queremos resaltar el trabajo y el equipo formado, ya que sin la disposición de cada uno de los miembros del equipo este trabajo no hubiese sido posible.

Resumen ejecutivo

En el presente proyecto se plantea la instalación de una planta que produzca carbón vegetal y carbón activado a partir del procesamiento de residuos de pino proveniente de aserraderos mediante el proceso de pirólisis lenta.

Para el estudio de la viabilidad del proceso se estudiaron los siguientes aspectos: disponibilidad de materia prima, comercialización del producto, capacidad de producción, localización de la planta, ingeniería del proyecto, impacto social y ambiental de la instalación y análisis económico y financiero de las alternativas propuestas.

En lo que refiere a la materia prima, hoy en día la madera de pino tiene como destino los aserraderos o exportación. Según datos obtenidos en el año 2019 los aserraderos tuvieron un consumo de madera de pino de aproximadamente 700.000 m³, generando 350.000 m³ de residuos anuales, se espera en el futuro un aumento del consumo de madera de pino y, por lo tanto, un aumento de los residuos generados. Debido a que actualmente estos residuos no tienen un destino industrial definido, resulta atractivo convertirlos en productos de mayor valor agregado. En base a estos datos se determina la capacidad de procesamiento total de la planta, la cual será de aproximadamente 182.400 m³ para el año 1 y 217.600 m³ para el año 10 siguiendo la tendencia de aumento esperada en las ventas. Esto representa un 61% y 46% respectivamente, de uso de los residuos totales generados. En base a la capacidad de producción planteada se determinó que opere 330 días al año, las 24 horas del día.

Según el estudio de comercialización realizado, se seleccionó como segmentos de mercado para el carbón vegetal a nivel nacional para uso doméstico (450 USD/ton) y uso industrial en Cementos Artigas y ANCAP (170 USD/ton). Además, se plantea la exportación para uso doméstico en Alemania (330 USD/ton). En cuanto al carbón activado, se venderá a OSE (1.080 USD/ton) y se exportará a Brasil, Argentina y Chile (1.500 USD/ton). Se opta por una presentación en bolsas de 3kg para carbón vegetal de uso doméstico, bolsas big bag de 450kg para carbón vegetal de uso industrial y carbón activado con destino a OSE y bolsas de 25 kg para carbón activado para exportar.

Para la localización de la planta industrial, si bien se evaluaron distintos factores, el factor que pondera mayormente fue la cercanía a los principales proveedores de materia prima, debido al elevado costo de transporte. Tomando en consideración esto, se determinó que el departamento de Tacuarembó es la ubicación más adecuada.

Mediante una evaluación de las tecnologías disponibles para el proceso de carbonización por pirólisis lenta y la naturaleza de éste, se eligió trabajar en modalidad continua, maximizando los rendimientos en la producción. Las cantidades definidas a producir en el año 1 de operación son de aproximadamente 25.000 ton/año de carbón vegetal con destino comercial en el mercado local, uso industrial (cementera ANCAP y Cementos Artigas) y exportación a Alemania. En cuanto al carbón activado, se plantea producir aproximadamente 1.300 ton/año destinadas a exportación a Chile, Argentina y Brasil y su uso industrial (planta potabilizadora de OSE).

El proceso consta de una primera etapa de acondicionamiento de la materia prima, para obtener el tamaño de madera adecuado para su posterior secado. Luego, pasa a un horno rotatorio en el cual ocurre el proceso de carbonización mediante pirólisis lenta. Finalmente, el producto obtenido es enfriado y envasado dependiendo del destino.

Cabe destacar que mediante la utilización de estas tecnologías se logra que el proceso sea energéticamente autosustentable, debido a que el proceso de carbonización libera gases combustibles que serán utilizados como combustible en el horno. También se utilizan los gases calientes de combustión para el proceso de secado, resultando en un

proceso prácticamente autosuficiente. Esto contrasta con la forma en la que se produce actualmente a nivel regional ya que se realiza utilizando hornos más rudimentarios que operan en batch, lo cual hace que no se tenga un adecuado control del proceso, volviéndolo ineficiente e inseguro.

En cuanto a la cantidad de personal y la jornada laboral, se determinó un total de 85 trabajadores con un salario promedio de aproximadamente \$76.000/mes, divididos en 3 turnos.

El estudio económico y financiero del proyecto determinó una inversión inicial de 12,9 MUSD, siendo las utilidades año a año positivas. En cuanto a los indicadores de viabilidad financiera considerando el uso de capital mixto cubriendo un 52% de las inversiones totales, se obtiene una tasa interna de retorno (TIR) del 18,25%, un valor actual neto (VAN) de aproximadamente 3,6 MUSD y un período de repago de poco más de 5 años, esto indica una viabilidad económica y financiera favorable.

En base a este análisis y además considerando que el proyecto resulta una alternativa ambientalmente amigable debido a la propuesta de sustitución combustibles de origen fósil por uno proveniente de residuos renovables, resulta atractiva la implantación del proyecto propuesto.