


**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA  
 PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
 FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	David Ernesto	
Apellido (s):	Cortés González	
Código:	20142375028	
E-mail:	decortnng@correo.udistrital.edu.co	
Teléfono fijo:	2305685	
Celular:	3125197535	

**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	Diseño del sistema de manejo de gases y evaluación de aislamientos térmicos para la producción de carbón activado en la Planta Piloto TECSOL.	
Duración (estimada):	Seis meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Investigación - Innovación	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en Ingeniería Mecánica	
Grupo de Investigación:	Grupo de Investigación de Energías Alternativas de la Universidad Distrital - GIEAUD	
Proyecto de Investigación:	"MEJORAMIENTO DE LA PLANTA PILOTO DE CARBÓN ACTIVADO DE TECSOL PARA EXPLOTACIÓN COMERCIAL"	
Áreas del conocimiento que involucra:		

**INFORMACIÓN PASANTÍA**

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	Ing. MSc. Germán Arturo López Martínez
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Ing. MSc. Germán Arturo López Martínez

## Contenido

RESUMEN EJECUTIVO .....	2
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
ESTADO DEL ARTE .....	5
OBJETIVO GENERAL .....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
METODOLOGÍA.....	8
CRONOGRAMA.....	9
PRESUPUESTO DE INVERSIÓN.....	10
BIBLIOGRAFÍA .....	10

## Tabla de figuras

Figura. 1 Distribución en planta de los hornos para producir carbón activado (CA) .....	4
Figura. 2 Fotografía de la planta; horno de activación en primer plano, y carbonización al fondo.....	4

## RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo hace parte del proyecto macro “MEJORAMIENTO DE LA PLANTA PILOTO DE CARBÓN ACTIVADO DE TECSOL PARA EXPLOTACIÓN COMERCIAL”, proyecto seleccionado en la convocatoria # 701 - Convocatoria para el apoyo al desarrollo y validación precomercial y comercial de prototipos funcionales de tecnologías biológicas, biomédicas y energéticas con alto potencial de crecimiento empresarial 2014 de COLCIENCIAS. El cual está liderado por la empresa TECSOL, quien es el responsable del proyecto, y la Universidad Distrital a través de los Grupos de Investigación en Energías Alternativas GIEAUD y Sistemas Expertos y Simulación SES.

El equipo de trabajo está conformado por el Ing. Pedro Oswaldo Guevara, Gerente de I+D de TECSOL y líder del proyecto macro, el Ing MSc. Germán López Martínez, profesor de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, líder del grupo de investigación en energías alternativas (GIEAUD) de la Facultad Tecnológica, Tecnólogo Daniel Alberto Cifuentes Castro, estudiante de Ingeniería Mecánica, de la Facultad Tecnológica, perteneciente al grupo de investigación GIEAUD, cuatro estudiantes de ingeniería industrial de la Universidad Distrital encargados de análisis de costos y mantenimiento, coordinados por el profesor Germán Méndez de la facultad de Ingeniería, y personal externo encargado de

sistema control y monitoreo del proceso de producción, seguridad industrial y derechos de propiedad intelectual.

Uno de los requisitos de la convocatoria de COLCIENCIAS, es el desarrollo de mínimo cuatro proyectos de grado relacionados con el proyecto y este es uno de ellos. A lo largo del presente trabajo, se diseñará un sistema de manejo de gases y se estudiarán los aislamientos térmicos necesarios para la producción de carbón activado en la Planta Piloto TECSOL. Se debe garantizar una producción de 50 kg/h de carbón activado, con la planta funcionando 24h al día; el tiempo máximo para la ejecución de este proyecto es 6 meses.

En la actualidad, la planta de TECSOL cuenta con dos hornos rotatorios en los cuales se han realizado pruebas preliminares para la carbonización del cuesco de palma, y la activación de este carbón resultante, el proceso se ha realizado mediante carga manual. Uno de los objetivos del proyecto general, consiste en optimizar el proceso para la obtención de carbón activado y convertirse en planta piloto para su posterior escalamiento a nivel comercial.

En este proyecto se estudiarán las características térmicas de los aislamientos de los hornos, se evaluará su estado actual y se determinará si requieren ser rediseñados o no, adicionalmente, se evaluará el sistema de manejo actual de los gases generados; y se diseñará un nuevo sistema de evacuación de los mismos, en el que se incluye el diseño de un secador de humedad y una cámara de combustión que use los gases de escape del horno de carbonización, entre otros.

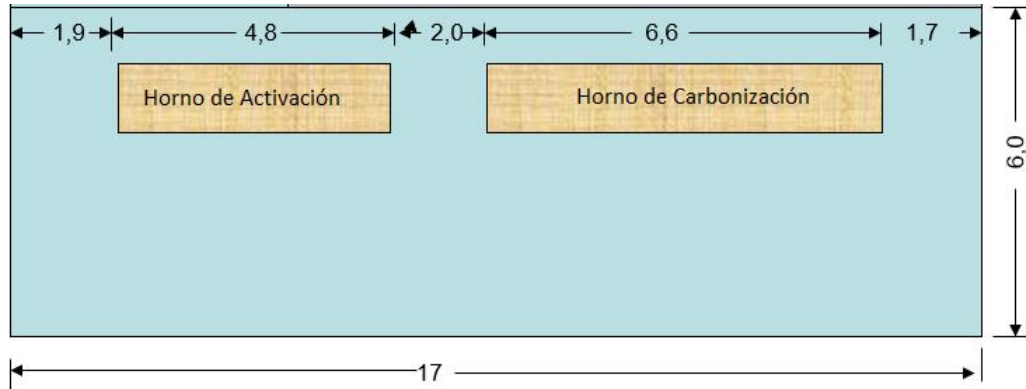
Para poder alcanzar estos propósitos, primero se evaluará el estado actual de la distribución de los equipos en la planta, se formularán posibles alternativas de distribución, y se seleccionará la mejor, teniendo en cuenta criterios de eficiencia térmica, manejo de materia sólida y gaseosa, seguridad industrial y costos de adecuaciones.

En segundo lugar se estudiarán y evaluarán los aislamientos y refractarios actuales en los hornos y se determinará si se requiere un rediseño o no. Por otro lado se planteará la opción de aprovechar el calor residual de los hornos para uso en procesos como el secado de cuesco de palma o precalentamiento de aire para combustión.

Finalmente se diseñará y simulará el sistema de manejo de gases, buscando primero aprovechar los gases del horno de carbonización para disminuir el uso de combustible en el horno de activación, y segundo transportar, al sistema de filtrado de gases, garantizando el cumplimiento de la reglamentación ambiental nacional vigente.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente TECSOL cuenta con una planta piloto conformada por dos hornos rotatorios (uno para carbonización de 6 m de largo y 0,7 m de diámetro interno y otro para activación de 4,8 m de largo y 0,85 m de diámetro interno) con capacidad de producción entre 50 y 100 kg/h, cuya operación y control son manuales. El área de la planta es de 102 m<sup>2</sup> (6X17 m) (ver Figura. 1).



**Figura. 1** Distribución en planta de los hornos para producir carbón activado (CA)

Fuente: Elaboración propia.

La planta está en la capacidad de producir carbón activado de manera intermitente por medio de dos hornos rotatorios; el primero se usa para carbonizar el cuesco de palma, cuyo carbonizado posteriormente se lleva al segundo horno donde ocurre la activación (ver Figura. 2).



**Figura. 2** Fotografía de la planta; horno de activación en primer plano, y carbonización al fondo.

Fuente: Elaboración propia.

La carbonización se realiza con reducidas proporciones de aire con el fin de obtener una combustión incompleta usando como combustible al gas natural, para generar un incremento en la temperatura suficiente para carbonizar la materia prima presente en el horno. Posteriormente estos gases son libreados a la atmósfera. La activación ocurre en el segundo horno, en donde el material carbonizado es calentado a temperaturas hasta 800°C con el objetivo de retirar moléculas de carbono superficial y así obtener carbón activado; al igual que con el primer horno, estos gases son libreados una vez terminada la activación.

Uno de los principales problemas que posee la planta corresponde al manejo de gases, puesto que del horno de activación salen a altas temperaturas directamente al ambiente, sin aprovechamiento de su calor, ni garantía de manejo ambiental adecuado; por otro lado del horno de carbonización salen gases como CO, además de materia volátil (alquitranes entre otros) remanentes de la primera etapa del proceso que aún pueden seguir siendo quemados para producir calor en el horno de activación, ahorrando gas natural además de requerir una temperatura superior a 350°C para impedir su condensación y problemas de evacuación de estas sustancias. Otro inconveniente detectado son las pérdidas de calor en paredes de los ductos de conducción de gases y en el aislamiento de los hornos. Dichos problemas se traducen en gastos energéticos considerables para la empresa. Adicionalmente la materia prima (cuesco de palma) requiere de un proceso de secado previo el cual puede hacerse con estos gases, situación que no se está realizando en la actualidad.

No menos importante que los anteriores problemas es la ubicación de los hornos y disposición de ductos, ya que no garantizan un adecuado manejo de los gases ni permiten realizar el proceso de secado de la materia prima, generando costos innecesarios en el proceso de producción.

## **ESTADO DEL ARTE**

La pérdida de calor en la pared de un horno representa una cantidad significativa del consumo total de energía. Varios estudios, sobre hornos rotatorios, han demostrado que con ciertas modificaciones se pueden disminuir o aprovechar estas pérdidas de calor; uno de estos estudios fue realizado por Q. Yin et al. (Yin, Chen, Du, Ji, & Cheng, 2016) donde se diseñó un sistema de recuperación de calor, integrado por 9 intercambiadores de calor para precalentar agua. Primero se modelaron matemáticamente las regiones de la pared de un horno rotatorio con el fin de analizar sus pérdidas y distribución de temperaturas, luego se relacionaron con las mediciones experimentales para crear las condiciones de diseño de los intercambiadores de calor. Posterior a la optimización se redujo el área de transferencia de calor en un 15,6%. Los resultados de los cálculos mostraron que

la tasa de pérdida de calor y temperaturas de la pared del horno obedecen a las reacciones químicas dentro de los hornos rotatorios y las características mecánicas de la pared.

Como conclusión de este estudio se llegó al planteamiento de un modelo matemático con un bajo porcentaje de error respecto a las pruebas experimentales, el cual demostró la importancia de un método de optimización y análisis de los factores que influyen en las pérdidas de calor en la pared de un horno. Para el caso específico del cuesco de palma y el carbón activado se hace necesario realizar un análisis específico, donde se tenga en cuenta las reacciones químicas presentes y la pérdida de calor en la pared.

Jimmy Johnson en su estudio (Jimmy Johnson, 1990) encontró que la recirculación de materia volátil; a través de un quemador; puede incrementar la eficiencia térmica del horno de carbonización en un 37,12% para la producción de carbón vegetal. Esto debido a que dicha materia proviene del proceso de pirolisis y no de una combustión completa, por lo tanto posee gases útiles para un nuevo proceso de quemado; como el CO, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>; para lo cual se requiere de un quemador que pueda liberar su energía intrínseca e inclusive llevando el sistema a la autosuficiencia según concluye la investigación.

El estudio abordó teóricamente las posibilidades de incrementar la eficiencia al recircular la materia volátil y aislar térmicamente el horno, pero se hace necesario contrastar dicha teoría con un experimento real, debido a que las pérdidas de calor son inevitables y no pueden ser cuantificadas teóricamente de una manera precisa.

Daniel Rodríguez et al. (Daniel Rodríguez, Pedro Remedios, & José Gil, 2015) estudió la disminución de pérdidas de energía y recuperación del calor de productos a la salida de un horno eléctrico, dicho horno utilizado para el secado de pintura en polvo por la empresa DURALMET. Luego de hacer el balance energético y realizar mediciones durante el funcionamiento, recomendó una capa aislante de 16 cm de grosor que garantiza una reducción en pérdidas de energía de 5,84 KWh, sumado a la disminución de temperatura y tiempo de horneado e instalación de una pre y pos cámara que recupera el calor perdido por ventanas y soportes, finalmente se obtuvo una eficiencia del sistema que aumentó de 26% a 51%. Aunque se trata de un proyecto que integra la investigación con la industria y refleja experimentalmente la teoría en cuanto a aislamientos, no se aplica a hornos que usan combustible para poder analizar elementos a la salida del sistema que puedan ser útiles en una segunda combustión o un sistema que impida la salida de elementos nocivos al ambiente.

En otro estudio realizado por Karina Mirabá et al. (Karina Mirabá, Marlon Rodríguez, & Daniel Salavarría, 2010) se desarrolló un software para diseño y optimización de un intercambiador de calor de gases-líquido-aire, para transferir la energía de los gases a la salida de la cámara de combustión de un horno a un fluido intermedio, que luego entrega el calor al aire requerido para calefacción. Dicho software entrega las características del intercambiador de calor y condiciones de operación del sistema dependiendo de datos de entrada como temperatura del aire, temperatura a salida de los gases de combustión del horno y distancia de disposición del aire de calefacción. La prueba del software se hizo contrastándolo con un estudio real previo, y así demostrando ser útil en el desarrollo de este tipo de sistemas de aprovechamiento de energía a la salida de los hornos.

Además del aprovechamiento de gases que pueden reintegrarse a la combustión, en el horno de activación, se puede extraer calor de los gases que ya no se pueden recircular, todo esto con ayuda de intercambiadores de calor, que en la planta piloto de carbón activado se pueden usar en el secado de la materia prima o en el precalentamiento de aire que entra a los hornos.

Los límites de emanación de gases contaminantes también son de vital importancia, es por esto que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia creó la resolución 2153 de 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), ajustando así el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, adoptada en la resolución 760 de 2010 y considerando que a través de la resolución 909 de 2008, este ministerio estableció las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.

La resolución aborda los siguientes temas:

- Tres procedimientos de medición de emisiones atmosféricas (medición directa, balance de masas y factores de emisión) los cuales se describen con sus respectivos métodos y consideraciones.
- Descripción de los pasos para el estudio de los datos recolectados.
- Determinación de las frecuencias para el monitoreo de las mediciones.
- Exposición de requerimientos de la altura de descarga al igual que el sistema de control de emisiones integrado por elementos como ciclones, precipitadores electrostáticos, quemador de gases, lavador húmedo o Venturi, e incluso procesos de adsorción con carbón activado o absorción.
- Elaboración del plan de contingencia de los sistemas de control de emisiones atmosféricas.

- Listado de dispositivos para el control de emisiones molestas con sus respectivas especificaciones.
- Prueba de quemado para instalaciones donde se realice tratamiento térmico de residuos peligrosos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el sistema de manejo de gases y evaluar los aislamientos térmicos necesarios para la producción de carbón activado en la empresa TECSOL, con el fin de mejorar la eficiencia térmica del proceso.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la eficiencia térmica del proceso actual.
- Proponer al menos tres distribuciones de planta que puedan mejorar la eficiencia térmica del proceso, y seleccionar la mejor alternativa, teniendo en cuenta aspectos como el manejo de materiales, seguridad industrial y costos de adecuaciones. Evaluando la eficiencia por medio de una simulación.
- Diseñar un quemador que aproveche los gases de escape del horno de carbonización y un intercambiador de calor para el secado de la materia prima aprovechando los gases de escape.
- Realizar un estudio de costos de materiales para la construcción del sistema de manejo de gases, incluyendo su montaje y mantenimiento.

## **METODOLOGÍA**

Metodológicamente la investigación está orientada a resolver un problema industrial mediante el uso de conocimientos científicos, según Muñoz (Muñoz, 2010) se clasifica como investigación tecnológica.

La metodología a llevar para cumplir los objetivos es:

1. Analizar el estado actual de la planta.
2. Elaborar las propuestas de distribución de planta teniendo en cuenta el manejo de gases, las pérdidas de calor en el sistema, manejo de materiales, seguridad industrial y costos de adecuaciones.
3. Utilizar herramientas para la evaluación de propuestas de diseño como el método Pugh, en el cual se busca encontrar la mejor distribución de planta





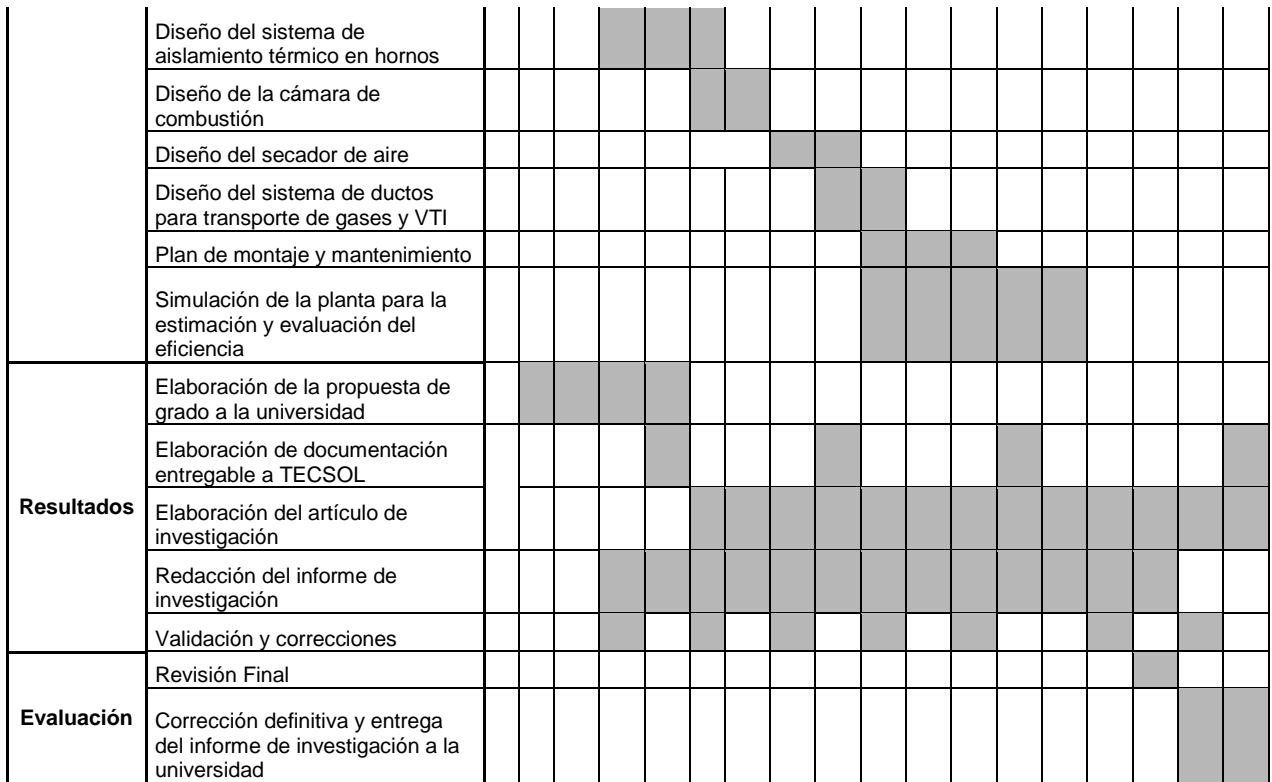


Tabla 1 Diagrama de Gantt con actividades del proyecto.

### PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

El siguiente cuadro ilustra el presupuesto de inversión requerido para la realización de este proyecto.

Tabla 2 Detalle del presupuesto total del proyecto.

### BIBLIOGRAFÍA

Daniel Rodríguez, Pedro Remedios, & José Gil. (2015). Racionalización del Consumo Energético en Horno de Secado de Pintura en Polvo. *Revista Académica de Investigación TLATEMOANI*, (18), 11.

Jimmy Johnson. (1990). *Análisis Térmico de un Horno para Producir Carbón* (Proyecto de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Recuperado a partir de

<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/4323/6843.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Karina Mirabá, Marlon Rodríguez, & Daniel Salavarría. (2010). *Programa para Optimización del Diseño de Recuperadores de Energía de Gases de Escape desde Hornos* (Trabajo de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Recuperado a partir de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10913>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2153 de 2010. Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, Pub. L. No. 2153 de 2010 (2010).

Muñoz, C. (2010). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis* (2.<sup>a</sup> ed.). Pearson.

Yin, Q., Chen, Q., Du, W.-J., Ji, X.-L., & Cheng, L. (2016). Design requirements and performance optimization of waste heat recovery systems for rotary kilns. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 93, 1-8. <http://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.078>