# Horno de carbonización de laboratorio programable

M.Sc. Sayra Navas O.*

*Se describe la construcción de un horno de carbonización eléctrico con control electrónico de temperatura programable. Este horno está diseñado para proporcionar una variación de comportamiento de la temperatura en función del tiempo, muy particular y que es requerida en los procesos de carbonización. Es capaz de reproducir en escala de laboratorio resultados similares a los de los métodos de carbonización comunes: carboneras de tierra, hornos de colmena, ovoidales o de rabo caliente y metálicos transportables.*

*Con este dispositivo es posible programar un ciclo que incluye los siguientes parámetros:*

- *tiempo de presecado de la madera con un gradiente de 2 grados Celsius por minuto hasta alcanzar (100 ± 10)°C;*
- *tiempo de secado de 10 a 12 horas, manteniendo la temperatura en (100 ± 10)°C;*
- *gradiente o tasa de aumento de la temperatura hasta alcanzar la temperatura de carbonización predeterminada hasta un máximo de 800°C; y*
- *tiempo de carbonización programable de 1 a 10 horas con temperatura de carbonización predeterminada.*

*Por sus características este horno constituye una herramienta de laboratorio para evaluar sistemáticamente el carbón y el líquido piroleñoso producidos a partir de diferentes especies de madera y de diferentes procesos de carbonización.*

## Aspectos Generales

### El proceso de carbonización

En la descomposición térmica de la madera, también llamada pirólisis o carbonización, destilación de madera, destilación destructiva o destilación seca, se observan cuatro fases:

- combustión
- deshidratación
- fase exotérmica
- enfriamiento

A temperaturas superiores a 100°C se inicia la descomposición térmica de la madera, a temperaturas superiores a 250°C la descomposición es aún más activa y a temperaturas mayores a 270°C se inicia la descomposición exotérmica (1, 2).

Como resultado de la carbonización se obtienen: un sólido, el carbón vegetal; un destilado llamado líquido piroleñoso que es una mezcla de agua y componentes orgánicos como ácido acético, metanol, etanol, ácido propiónico, ácido fórmico, furfural y compuestos fenólicos entre otros, y además se obtiene una mezcla de gases no condensables que contiene dióxido y monóxido de carbono, hidrógeno, metano, etileno, entre otros compuestos orgánicos (2, 3, 4, 5).

Los parámetros del proceso de carbonización son (4, 5):

- temperatura final de carbonización;
- gradiente o tasa de aumento de la temperatura (unidades de temperatura por minuto);
- equipo utilizado; y
- materia prima.

Al realizar estudios de carbonización, es deseable determinar y analizar la calidad del carbón o del líquido piroleñoso producido, así como también correlacionar esa calidad con parámetros del proceso, por ejemplo con la madera o maderas empleadas, la temperatura final de carbonización, etc. (5).

Un estudio de campo es costoso,

* Departamento de Química, ITCR.

pues demanda tiempo y recursos como la realización de varias repeticiones del proceso, dependiendo de la validez estadística requerida; la contratación de personal calificado para realizar los procesos; la disponibilidad de algún método de carbonización (hornos de colmena, metálicos transportables, ovoidales, carbonera de tierra) y requiere cantidades considerables de leña para carbonizar (6, 7).

El horno de laboratorio construido permite, a partir de pequeñísimas cantidades de virutas de madera, realizar sencilla y rápidamente procesos de carbonización, para obtener carbón o líquido piroleñoso de calidad representativa y reproducible.

La importancia de la fabricación de un horno de carbonización eléctrico con control electrónico de temperatura y de pequeña capacidad (1,5 litros), es que constituye una herramienta económica y eficiente, que reproduce en el laboratorio experimentos de mayor escala, y es por lo tanto útil para la evaluación comparativa del carbón y del líquido piroleñoso producido a partir de especies de madera y procesos de carbonización diferentes.

En la literatura aparecen descripciones de hornos de este tipo (3, 5, 8), sin embargo ninguno incluye un sistema de control de proceso como el empleado en el horno descrito en este artículo.

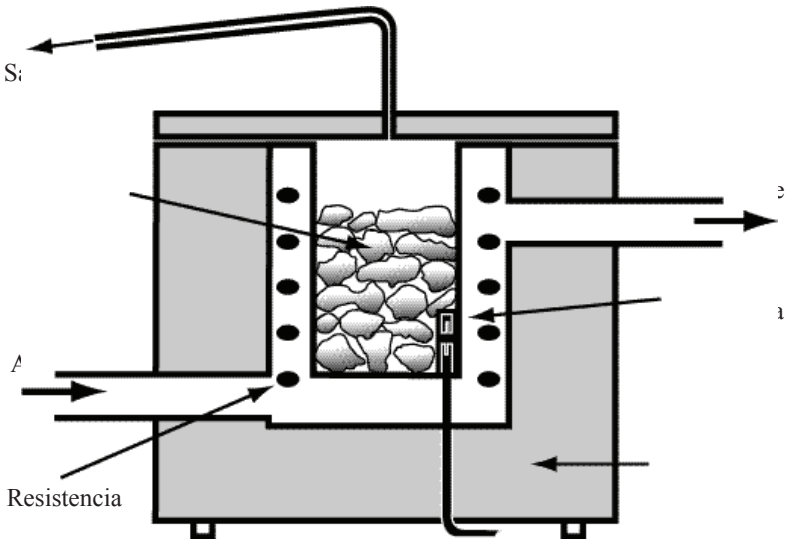



*FIGURA 1. Diagrama de la parte mecánica y eléctrica del horno.*

## Objetivo

Como parte de un estudio para determinar propiedades preservantes del líquido piroleñoso, se decidió fabricar un horno; que permitiera obtener a escala de laboratorio líquido piroleñoso representativo del obtenido en procesos de carbonización de campo.

## Materiales y Métodos

La construcción del horno se dividió en tres secciones:

### Sección Metalmécanica

Tal y como se describe en la figura 1, incluye: crisol de acero inoxidable 316 cuya capacidad es de 1,5 litros, rodeado de una capa aislante de material refractario de 10,6 cm de espesor con fondo reforzado.

- Tubo de salida de gases de cobre de 42 milímetros de diámetro
- Tubo para el termopar o sensor de temperatura
- Válvulas de seguridad
- Aberturas laterales.

Si bien las primeras fases del proceso de carbonización son endotérmicas, a temperaturas superiores a 270°C el proceso se torna exotérmico, por lo que se construyen las aberturas laterales señaladas en la figura, en caso de que sea necesario enfriar con aire.

### Sección Termoeléctrica

Internamente el horno está conformado por resistencias, dispuestas en ladrillos refractarios debidamente colocados para tal fin; a una tensión de 120 Voltios y un consumo total de 3000 Watts.

### Sección Electrónica Programable

Esta parte consiste en un sistema electrónico en estado sólido controlado por un microprocesador, que proporciona una variación del comportamiento de la temperatura en función del tiempo muy particular y que es requerida en los procesos de carbonización (Cuadro 1).

La figura 2, muestra la variación de la temperatura con el tiempo, proporcionada por el horno de laboratorio.

Los tiempos $t_1$ , $t_2$ , $t_3$ ... $t_4$ son

*CUADRO 1. Parámetros programables y su capacidad*

| | |
|---|---|
| TI | Temperatura inicial o ambiente (°C) |
| TM | Temperatura media, calculada por el controlador (°C) |
| TF | Temperatura final, calculada por el controlador (°C) |
| $t_1$ | Tiempo de presecado de la madera con un gradiente de 2°C/ minuto hasta alcanzar una temperatura de (100±10°C) |
| $t_2$ | Tiempo de secado de 10 a 12 horas manteniendo la temperatura de (100±10°C) + $t_1$ (minutos) |
| $t_3$ | Tiempo para alcanzar la temperatura final de carbonización + $t_2$ + $t_1$ (minutos) |
| $t_4$ | Tiempo para la temperatura final de carbonización programable de 1 a 10 horas con temperatura de carbonización predeterminada + $t_3$ + $t_2$ + $t_1$ (minutos) |
| t | Tiempo a partir del cual se desea que el proceso inicie, el control supone el tiempo t como ya transcurrido, por lo que se reinicia a partir de este tiempo. Este parámetro es normalmente cero, ya que únicamente es útil en caso de que el proceso se detenga por poco tiempo debido a causas exteriores (falta de fluido eléctrico, apagado voluntario o accidente) o bien en caso de que se conozca el tiempo aproximado en que el proceso se detuvo y así usar ese dato para reiniciar |
| m | El gradiente o tasa de aumento de la temperatura con el tiempo para alcanzar la temperatura de carbonización predeterminada, hasta un máximo de 800°C (°C/minuto) |

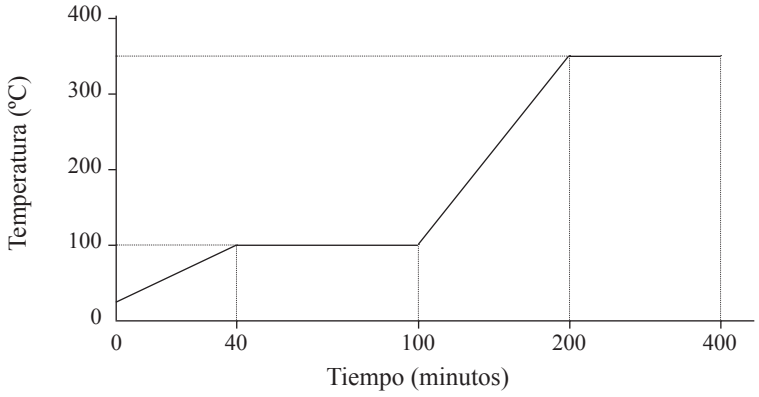



*FIGURA 2. Variación de la temperatura del horno con el tiempo de carbonización.*

programados por el usuario empleando el minuto como unidad.

La temperatura inicial (TI) también debe ser dada por el usuario y corresponde a la temperatura ambiente.

La temperatura media (TM) y la temperatura final (TF) son calculadas por el sistema y mostradas al usuario para su verificación en grados Celsius.

El gradiente o tasa de aumento de la temperatura en los tramos respectivos es programada por el usuario, usando como unidad grados Celsius por minuto.

Durante el proceso de carbonización, el sistema puede ser consultado para:

- Desplegar la temperatura fijada, cuyo valor se verifica observando el medidor de desviación con que cuenta el sistema.
- Desplegar el tiempo transcurrido desde que inició el proceso de carbonización.
- Desplegar para efecto de consulta y verificación, los parámetros introducidos.
- Modificar los parámetros introducidos, en cuyo caso el proceso se detiene y es reiniciado haciendo uso de los nuevos parámetros y cuando estos han sido reintroducidos.

Ninguna de las consultas anteriores, excepto la última afectan el desarrollo normal del proceso de carbonización.

En síntesis, el sistema de control electrónico programable del horno de carbonización de laboratorio consta de:

- Un sistema de control electrónico en estado sólido
- Un microprocesador que controla al sistema electrónico
- Un medidor de desviación de la lectura de temperatura
- Una pantalla o "display" que incluye mensajes como:
  1. |Calibrar?|
  2. |Introduzca los parámetros|
  3. |TI|
  4. |$t_1$=?|
  5. |$t_2$=?|
  6. |$t_3$=?|
  7. |$t_4$=?|
  8. |t=?|
  9. |m=?|
  10. |RNN?|
- Teclas numéricas que permiten responder a los mensajes de la pantalla
- Teclas para verificar parámetros (los introducidos más temperatura media y final (TM y TF) que son calculadas por el controlador
- Teclas para responder "SI" si se está de acuerdo con los parámetros y "NO" si hubo errores al introducirlos en cuyo

caso el sistema solicitará de nuevo todos los parámetros

– Teclas funcionales y funciones durante el proceso; cuando el proceso de carbonización se ha iniciado quedan activas cuatro teclas funcionales que realizan las siguientes funciones:
  1. Mostrar continuamente el tiempo de proceso transcurrido.
  2. Mostrar continuamente la temperatura actual del proceso.
  3. Mostrar los parámetros introducidos para efectos de verificar.
  4. Detener el sistema y pedir introducción de nuevos parámetros.

## Conclusiones

- Se ha fabricado un horno de carbonización eléctrico con control electrónico programable de temperatura a escala de laboratorio, que constituye una herramienta importante para la producción y análisis comparativo de los productos de carbonización de diferentes maderas o mezclas de maderas.
- El control electrónico programable constituye una novedad en este tipo de hornos de laboratorio, de acuerdo con lo descrito en la literatura.
- El horno fue exitosamente empleado para: obtener carbón de diferentes maderas y analizarlo y para obtener líquido piroleñoso bajo condiciones controladas de proceso.
- Se agradece la colaboración de las siguientes personas: Lic. Raúl Alvarez, Ing. Mario Conejo , Ing. Jean Paul Larouche y de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del ITCR para la realización de este proyecto.

## Literatura citada

1. “Deutsches Zetrum Fur Entwicklungstechnologien Charbon De Bois: production à Petite echelle et tilisations”. Schborn, Federal Republik of Germany, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, 1988.
2. Santona, M.C. Assumpão, R.M.V. “Pirolise De Madeiras Matérias Primas, Productos, Aplicacões”. Publicacão 940. São Paulo, 1971.
3. Doat, J, Petroff, G. “La Carbonisation Des Bois Tropicaux: Essais De Laboratoire Et Perspectives Industrielles”. Revue Bois et ForÍts des Tropiques, No. 159, Janvier-Fervier, 1975.
4. Briane, D.; Doat, J. “Guide Technique de la Carbonisation: La Fabrication du Charbon de Boiö”, Paris (Francia), EDISUD, 1985.
5. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais / CETEC “Producão e Utilizacão de Carvão Vegetal”. Serie de Publicacıes Técnicas / SPT 0.08. ISNN-0100-9540. Belo Horizonte, 1982.
6. Beek, aus der R.; Navas S. “Técnicas de Producción y Calidad del Carbón Vegetal en los Robledales de Altura de Costa Rica”. Serie técnica. Informe técnico No. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales No. 8, 1993.
7. Navas, S.; Beek, aus der R. Estudio Comparativo Entre Dos Métodos de Carbonización Aplicados en los Robledales de Altura de Costa Rica. Ponencia II Congreso Forestal Nacional, San José, noviembre, 1992.
8. Collet, F. “Estudio Comparativo, Em Escala de Laboratório, de Diversas Madeiras Utilizadas Na Fabricação de Carvão Vegetal”. Bol. ABM 12 (42): 5 - 14, São Paulo, 1956.