

ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE UN SECADERO DE BRIQUETAS DE CARBÓN A LEÑA

Miguel A. Lara¹ y Mabel Medina²

¹Fac. de Ciencias Agrarias (UNR)-Instituto de Física Rosario (CONICET)

²Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario (UNR)

Te: (0341) 4495467. Fax: (0341) 4802654

E-mail: malara@fceja.unr.edu.ar/mmedina@fceja.unr.edu.ar

Av. Pellegrini 250. 2000 Rosario

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es mostrar el diseño, características y optimización de un horno industrial alimentado con leña para el secado de briquetas de carbón vegetal. Se muestran las deficiencias en su concepción original, y las dos modificaciones realizadas al horno del secadero. Se evalúa el comportamiento de cada componente del sistema: (horno, túnel y briqueta). Con un escaso rendimiento original (2 %), en la primera modificación, mediante el cambio de circulación del aire caliente, se logra un rendimiento del 14,1 % con intercambiador de calor y cuando se anula el intercambiador (segunda modificación) se aumenta este rendimiento a un 17 %. La utilización de la biomasa como productora de carbón vegetal y su utilización como combustible renovable hacen que el desecho de carbonilla pueda ser reutilizable como un economizador de energía alternativa.

Palabras Claves: Briquetas; Leña; Secadero.

INTRODUCCIÓN

El transporte y el manejo del carbón vegetal producen carbonilla fina que puede alcanzar el 10%, en peso, en la mejor de las circunstancias, y el 20% o más, en el peor de los casos. Cuanto más el carbón vegetal es procesado y cuantas más son las etapas de transporte, tanta más carbonilla será producida. La carbonilla fina tiene una pureza muy inferior a la del carbón vegetal en pedazos, contiene, aparte del carbón vegetal, fragmentos, arena mineral y arcilla, recogidos del suelo, y de la superficie de la madera y corteza.

La carbonilla pulverizada fina producida de la corteza, ramitas y hojas tiene un contenido de ceniza mayor que el carbón vegetal normal de la madera. La mayor parte de este material indeseado con alto contenido de cenizas, puede ser separado tamizando la carbonilla y descartando el material de menor tamaño, que pasa por ejemplo la malla de 2 a 4 milímetros. Este material fino puede aun contener más del 50% de carbón vegetal según su grado de contaminación pero, sin embargo, es difícil hallarle utilidades. El material retenido sobre el tamiz consistirá mayormente en pedazos de buen carbón vegetal y, una vez machacado, puede ser aglomerado.

La carbonilla fina no puede ser quemada con los sencillos métodos corrientes de quemar el carbón, por lo que es difícil su venta. Pero si las carbonillas pudieran ser totalmente usadas, la producción global del carbón vegetal aumentaría de un 10 a 20%. El aglomerado en briqueta - o sea, convertir la carbonilla fina en trozos de carbón - parece ser una solución conveniente. Para aglomerar en briquetas es necesario un adhesivo que se mezcle con la carbonilla, una prensa para formar un bloque o briqueta que luego será pasado por un horno de secado, para curarlo o asentarlo, evaporando el agua para que dicho bloque resulte suficientemente resistente para ser usado en los mismos equipos de combustión del pedazo normal de carbón vegetal.

El carbón vegetal es un material que carece totalmente de plasticidad y necesita por lo tanto del agregado de una sustancia pegajosa o aglomerante para que se pueda formar el bloque. El adhesivo deberá preferentemente ser combustible, si bien puede adaptarse un adhesivo incombustible, efectivo a bajas concentraciones. Se prefiere el almidón por ser combustible, si bien es comúnmente caro. El almidón es el adhesivo más común y efectivo, siendo adecuado en alrededor del 4-8%, amasado con agua caliente.

El proceso de fabricación de las briquetas es el siguiente: Primero, la carbonilla se seca y se tamiza. La carbonilla muy fina se rechaza y la grande se muele. Este polvo se mezcla con la pasta de almidón pasándola a la prensa para el aglomerado (máquina briqueteadora). Las briquetas se secan hasta quedar con menos del 10% de humedad en un horno continuo a alrededor de 80° C. El almidón se asienta con la pérdida del agua, ligando el carbón en trozos que pueden ser transportados y quemados igual que el común pedazo de carbón vegetal en hornillos o parrillas caseras.

La virtual ausencia de material fino y polvo, y su uniformidad las hacen atractivas para parrilladas. Cuando el mercado tiene altos precios se venden generalmente a casi el mismo costo por kilo que el carbón vegetal en trozos, y tienen más o menos el mismo calor calorífico de un carbón vegetal comercial con el 10-15% de contenido de humedad. Como ventajas con respecto a la leña, podemos citar una mayor duración, más poder calorífico, baja humedad, ahorro de espacio de almacenaje, menor contaminación, fácil y rápido encendido

En este trabajo se presenta un horno continuo de secado de briquetas. Con un diseño original que no secaba a causa de la mala circulación forzada de aire caliente, se hace una primera modificación en el recorrido del aire caliente. A partir de allí, el horno se vuelve operativo. En una segunda modificación, anulando el intercambiador de calor y enviando parte de los gases de la combustión al horno de secado, se aumenta el rendimiento global y consecuentemente se disminuye el consumo de combustible.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Las experiencias se desarrollaron en el establecimiento CARBOSUR, fraccionadora de carbón vegetal para el consumo interno y exportación, ubicado en el Parque Industrial Alvear, Alvear (Provincia de Santa Fe). Esta empresa comenzó a fabricar briquetas por la demanda de exportación a Estados Unidos y al Mercado Común Europeo. Por otra parte, permite el aprovechamiento de la producción de carbonilla producida durante el transporte desde el lugar de origen, el proceso de embalaje y el almacenamiento dentro de la planta.

Para el secado de briquetas se decide la construcción de un secadero tipo túnel alimentado con leña a causa de la poca disponibilidad y el alto costo de los combustibles (gas y gasoil).



Figura 1. Vista del horno, cenicero, moto ventilador y chimenea



Figura 2. Detalles del túnel de secado: perchas, bandejas y entrada del túnel.

Las características de diseño y construcción del sistema “original” del secadero se muestran en la figura 1 y figura 2. El túnel está compuesto por tres pasillos de sección $3,84 \text{ m}^2$ y de 18 m de largo cada uno. Circulan en su interior 61 perchas (de 1 m^3 cada una), que en seis niveles cargan 18 canastas de material desplegable de $0,20 \times 1 \times 0,10 \text{ m}$. Por cada canasta se depositan las cargas entre $6-7 \text{ kg.}$, siendo la carga total del túnel de aproximadamente 7000 kg. de briquetas húmedas. Luego de la preparación de la mezcla con carbonilla, almidón y agua, esta pasa a la máquina briqueteadora en el cabezal del túnel (figura 4). Las briquetas recién moldeadas pasan a las canastas en las perchas que son movidas por una cinta transportadora accionada por un motoreductor de 1500 W que le imprime una velocidad de $0,20 \text{ m/s}$. La envolvente del túnel está construida de mampostería de ladrillos.

En el cabezal opuesto al túnel esta dispuesto el horno, como se puede observar en las figuras 1, 3 y 5. El horno fue realizado en paredes dobles con revestimiento interior de ladrillos refractarios y ladrillos comunes en su pared exterior. Posee un quemador de 2 m^3 alimentado por de dos bocas (ver figura 1). A ras del piso se encuentra el cenicero.

En la concepción “original”, el túnel debía ser utilizado para secar la producción de briquetas y de hortalizas. Para evitar la contaminación que podrían producir los gases de la combustión se dispuso un intercambiador de calor de $1,50 \text{ m}^3$ sobre el quemador. El intercambiador tiene en su interior 4 canales de placas planas como se observa en la figura 5, con un área efectiva de salida de $0,82 \text{ m}^2$. El aire que atraviesa el intercambiador es forzado por un moto ventilador centrífugo de $365 \text{ m}^3/\text{min.}$ y de $7,5 \text{ Kw.}$ de potencia.

El aire de secado es llevado al interior del secadero por un conducto de hierro de $0,45 \text{ m}^2$ de sección y un caudal de $185 \text{ m}^3/\text{min.}$ El aire calentado por el paso por el intercambiador (ver figura 5) era forzado a través de un conducto subterráneo que desembocaba en el piso del tercer pasillo, cerca de la salida del túnel de secado. Con esta configuración “original”, el aire caliente escapaba a la atmósfera sin atravesar las perchas donde estaban las briquetas, sin secarlas. Las mediciones realizadas con esta configuración muestran que el rendimiento fue menor al 2% .(ver tabla 2).

Para mejorar el rendimiento del sistema se realizan dos modificaciones. En la “primera modificación” se efectúan aberturas directas a la pared del túnel de secado con el intercambiador existente. En la “segunda modificación”, se realiza un corte en el intercambiador en la zona opuesta del ventilador. En ambas modificaciones las secciones del túnel se reducen con cortinas de goma en los laterales y en el techo.

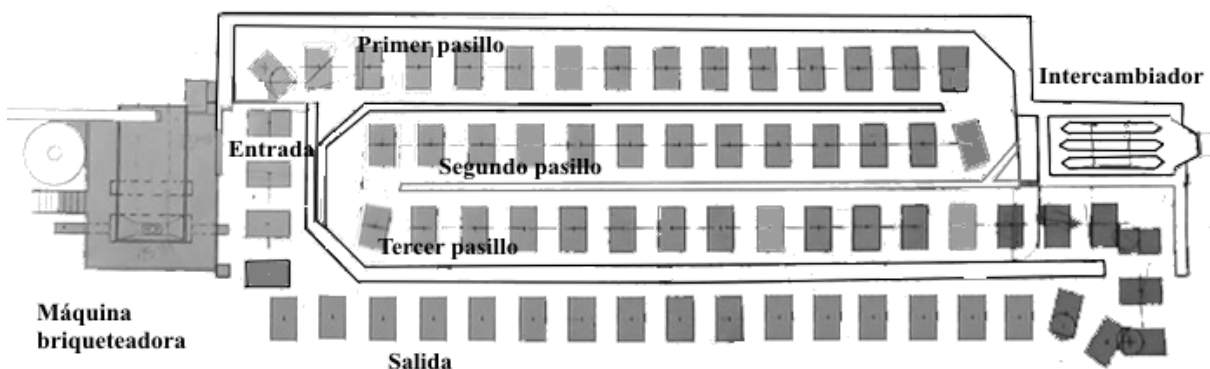


Figura 3: Planta del túnel de secado. Los rectángulos grises corresponden a las perchas.

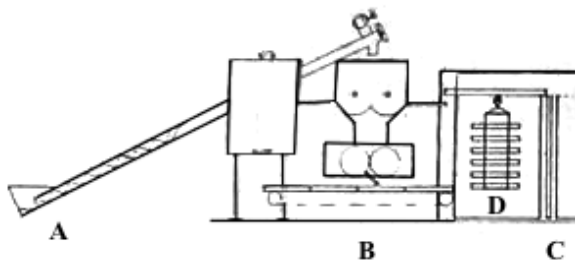


Figura 4. A Entrada de mezcla carbonilla-almidón de trigo-agua. B Máquina briqueteadora. C Entrada del túnel. D Percha con 6 niveles de 3 bandejas cada uno.

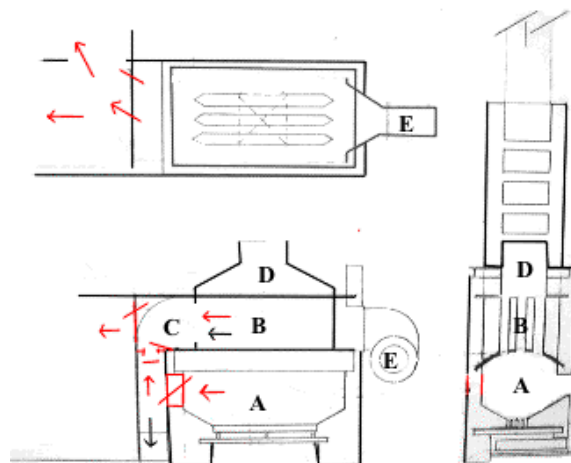


Figura 5. A Cámara de combustión. B Intercambiador de calor. C Cámara de mezcla, homogeneizadora de temperatura del aire. D Chimenea. E Ventilador. Las flechas muestran la circulación del aire, En negro la configuración "original", en rojo la "primera modificación".

Primera modificación

La primera modificación al sistema de secado se realiza luego de la comprobación de la baja eficiencia del diseño original. La baja eficiencia es debida al mal diseño de la geometría del túnel y de la ubicación de los conductos de aire. Consistió en abrir dos aberturas para mejorar la circulación de aire caliente.

La primera abertura de $0,60 \text{ m}^2$ se realizó en la pared de la cámara de combustión del horno (ver figura 5, A) hacia el conducto original regulado por una válvula mariposa. El flujo de gases de combustión resulta ser allí de $15,5 \text{ m}^3/\text{min}$.

La segunda abertura de $0,39 \text{ m}^2$, se hace en la chapa que cierra el conducto original a la salida de la cámara de mezcla (ver figura 5, C). El flujo de gases es de $15,0 \text{ m}^3/\text{min}$, y se regula a través de una válvula guillotina. Al pasar el aire por dicha abertura se produce una succión (tipo venturi) debida a la velocidad del aire forzado por el ventilados en la cámara principal. Para la protección contra chispas se coloca un apaga chispas en dicha abertura.

A causa de estas aberturas se logró un acceso directo del aire caliente a la parte superior del pasillo central. Para una mejor distribución de este aire caliente se colocaron dos deflectores regulables, uno en la parte superior que inclina el flujo hacia abajo y otro lateral para llevar un tercio del caudal al primer pasillo (entrada). En la figura 5 se observa en rojo la nueva circulación.

Otro efecto producido por las aberturas es la existencia de un flujo de $6,6 \text{ m}^3/\text{min}$., desde el piso del pasillo 3 en el túnel hacia esta cámara como un recuperador de calor de los gases de secado, invirtiendo la circulación en el diseño original.

Esta modificación incorpora $25,5 \text{ m}^3/\text{min}$. de gases de combustión al sistema, no significativo para el proceso de secado a 80 C , ya que el flujo total es de $195 \text{ m}^3/\text{min}$. (ver tabla 4).

Segunda modificación

La segunda modificación se produjo a los 60 días de efectuada la primera porque era necesario secar entre 12 y 13 Ton./día de briquetas húmeda, de acuerdo con las necesidades comerciales de la empresa.

Consistió en aumentar el aporte de los gases calientes, cortando los frentes de la salida del intercambiador de calor (figura 5, B) por lo que quedó inutilizado para el secado de productos agropecuarios. Se clausuraron las dos ventanas realizadas en la primera modificación a los fines de aumentar el flujo superior de los gases de la combustión directa con un sensible aumento de la temperatura del aire. La eficiencia en el secado se incrementa en un 45% en las bandejas superiores no así las inferiores, que deben completar dos circuitos.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este punto se muestran los resultados de las mediciones obtenidas. Se midieron parámetros que permiten apreciar el mejoramiento del funcionamiento del túnel de secado. Las mediciones de temperatura fueron hechas con un radiómetro MINOLTA/LAND -CYCLOPS Compact 2. Las mediciones de las velocidades fueron hechas con un termo anemómetro digital TESTO 425

En la tabla N 1 se observa la estratificación de los contenidos de humedad según su altura en la percha de secado. Esto es consecuencia de la estratificación en la temperatura del aire, el aire más caliente de la zona superior seca más rápidamente.

Toma de Muestras Pechas	Humedad Promedio (%)
Bandejas inferiores	30,6
Bandejas del medio	23,45
Bandejas superiores	21.1

Tabla 1: Distribución de las humedades en las perchas de secado.

	Consumo de Leña (Kg./h)	Humedad Leña (bh) (%)	Agua Evaporada (Kg.)	Consumo eléctrico (KW)	Kg Briqueta/ Kg Leña hora	Rendimiento Térmico (%)	Kg. Leña /Ton Briq. seca
Sistema Original	200	18,0	798	8,8	0,78	2	1282
1ra. Modificación	150	13,2	1950	8,8	2,60	14,1	385
2da. Modificación	150	14.8	1602	8,8	3,33	17,6	300

Tabla 2: Indicadores térmicos del túnel de secado de briquetas.

En la tabla 2, se pone en evidencia el mejoramiento del rendimiento térmico global a través de ambas modificaciones. Se define el rendimiento térmico global como el cociente entre la energía utilizada para disminuir la humedad de las briquetas y la energía aportadas por la combustión de la leña (Rodríguez et al., 1997). Se adopta como poder calorífico de la leña 4.730 Kcal/kg hora. Para calcular las calorías necesarias para evaporar un kilo de agua se multiplica 540 cal por un coeficiente de 1,5 teniendo en cuenta que es agua ligada. Se nota la economía de leña empleada para secar una tonelada de briquetas, que disminuye a menos de un cuarto de la configuración original.

	Carga Briquetas (Kg./día)	Humedad promedio bh. (%)	Temperatura (C)		Contenido de humedad, 1ra. Pasada bh (%)			Contenido de humedad, 2da. Pasada bh (%)
			Entrada	Salida	Bandejas Inferiores	Bandejas Medio	Bandejas Superiores	
Sistema Original	7000	39,2	35	38	-	-	-	27.8 (48.hs)
1ra. Modificación	9330	38,1	42	59.2	30,6	25.5	21.5	9.8
2da. Modificación	12000	35	36	57	18.8	15.7	12.8	8,30

Tabla 3: Valores promedio físicos de briquetas.

En el sistema original (tabla 3), a pesar de transcurrir 48 horas en el túnel de secado, las briquetas no alcanzaban valores aceptables de humedad (menos del 10%), por lo que se puede afirmar que el túnel no era operativo. Con las modificaciones, los valores finales de humedad se encuadran en los requeridos. En segunda modificación, se observa que las diferencias de temperatura entrada-salida del aire son más grandes y sobre todo el incremento de productividad del horno, que llega a los valores deseados, sin incrementar la cantidad de leña utilizada respecto de la primera modificación. En las diferentes opciones se vuelve a ver la estratificación del contenido de humedad respecto de su ubicación en altura.

	Caudal (m ³ min)	Vel. Media sobre las bandejas (m/seg)	Velocidad media en los túneles (m/s)			Temperatura Media en los Túneles (C)					
			Entrada	Central	Salida	Entrada		Central		Salida	
						Sup	Inf.	Sup	Inf.	Sup	Inf.
Sistema Original	220	0,05	0,05	0,03	0,06	27	28	32	29	39	37
1ra. Modificación	195	0,36	0,36	0,76	0.602	65	48	75	57	68	59
2da. Modificación	180	0,1	0,41	0,81	0,70	68	43	78	71	54,5	35

Tabla 4: Valores promedios de temperatura y velocidad del aire en el túnel de secado (temperatura media ambiente: 30,5°C)

La temperatura del aire está muy por debajo de la indicada (80 °C) en la configuración original, mientras que en la segunda modificación en la zona superior, se acerca en la zona central a los 80 °C, como se ve en la tabla 4. Es de notar también el incremento de los valores de velocidad en el túnel, sobre todo en el pasillo central.

En la tabla 5, se indican los valores de temperatura medios. La reducción de temperatura en la chimenea en la segunda modificación respecto de la primera es debido a que parte de los gases de la combustión son directamente inyectados en el túnel. La temperatura de las placas del intercambiador disminuye de la primera a la segunda modificación mientras que la temperatura del aire aumenta como consecuencia que parte de los gases de la combustión pasan al aire que circula en el túnel.

	Temp. Media Horno (C)	Temp. Media Chimenea (C)	Temp. Media Cenicero (C)	Temp. Media Pared frontal (C)	Temperatura Media en el Intercambiador (C)	
					Placas	Aire
Sistema Original	980-1150	250	220.300	58-65	173	95-120-
1ra. Modificación	920-1200	275-402	362	59-80	151-176	103-108
2da. Modificación	1000-950	196-273	320	61-89	121-146	110-115

Tabla 5: Valores promedios de temperatura en el horno y el intercambiador. Temperatura de ingreso 32,5 C.

CONCLUSIONES

En este trabajo se muestran las características de un túnel de secado de briquetas que usa como combustible biomasa, con un diseño original que no alcanzaba a llevar a los valores de humedad deseados. Esto se pone de manifiesto en el bajo rendimiento térmico global (2%). A partir de las modificaciones introducidas, se obtienen valores muy mejorados de temperatura, velocidad de aire y contenido de humedad, según se puede apreciar en las tablas de la sección anterior. En la primera modificación, se mejora el recorrido del aire caliente, manteniendo el intercambiador de calor, y se logra un rendimiento térmico global del 14,1 %. Si bien no se pudo retirar totalmente el intercambiador, el corte en las placas (segunda modificación) aumenta un 3 % más su eficiencia. Al pasar un porcentaje de gases de la combustión a los túneles, el rendimiento mejora hasta el 17. Otra modificación que resultó favorable es la colocación de cortinas laterales en el túnel que obligaban a circular el aire de secado más eficientemente entre las bandejas.

Podemos concluir que la utilización de la biomasa como productora de carbón vegetal y su utilización como combustible renovable hace que el desecho de carbonilla pueda ser reutilizable como un economizador de biomasa.

REFERENCIAS

- [1] Lara, M.A.; Laura, R; Dreifus, R; (1992). Secado de granos con un generador de calor a leña. 15 Actas de la Reunión de Trabajo ASADES, Vol 2 pp. 353-361.
- [2] Rodríguez, C; Iriarte, A; Saravia, L; (1997). Calentador auxiliar para secaderos solares utilizando residuos forestales. Avances en Energía Renovable y Medio Ambiente. Vol 1, pp. 9-12.
- [3] Incropera, F.P.; De Witt, D.P.; (1990). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 3rd Edition. John Wiley & Sons.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Sr. Pablo García por el aporte en tratamiento digital de imágenes.

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF A COAL BRIQUETTE DRYER

ABSTRACT

The objective of the present work is to show the design, characteristics and optimization of an industrial furnace fed with firewood for the drying of vegetal coal briquettes. Deficiencies in its original conception and the two modifications made to the furnace of the dryer are shown. The behavior of each system component is evaluated: (furnace, tunnel and briquette). Results are evaluated and the behavior of the different modifications are shown. We started work with an original performance of 2 %. In the first modification, a performance of 14.1 % is obtained with a heat exchanger. In the second modification, the heat exchanger is neutralized and the performance yield is increased up to 17 %. The use of the biomass as of vegetal coal producer and its use as a renewable fuel allows the fine coal remainder to be re-usable as an economizer of alternative energy

Keywords: Briquettes; Firewood; Dryer