

Sustitución de hornos de gasóleo por hornos de biomasa para el secado de la alfalfa

Estudio termodinámico de un horno de combustión de biomasa para industria de deshidratado de forraje

Este artículo se redacta como continuación del publicado en el nº 276 de Vida Rural sobre la sustitución de hornos de combustión de gasóleo por hornos de combustión de biomasa en industrias deshidratadoras de alfalfa. En dicho artículo se detallaron las características técnicas de los hornos de biomasa y aquí se realiza un estudio termodinámico que permite comprender el funcionamiento de este tipo de equipos.

Ramón Blanco Orús.
Ingeniero Agrónomo.

F. Javier García Ramos.
Escuela Politécnica Superior de Huesca.

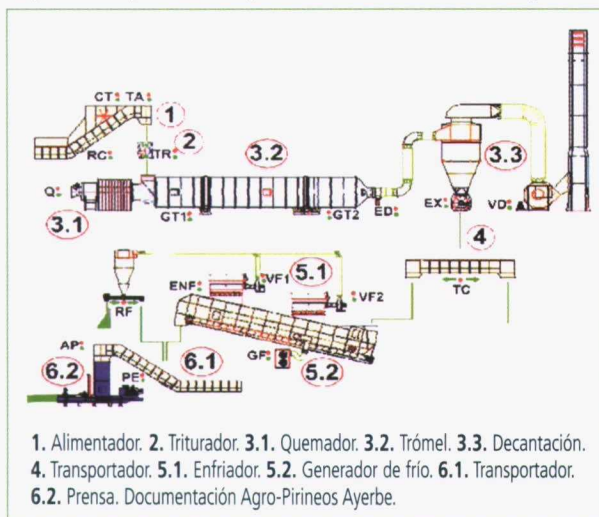
En relación con una industria de deshidratado de forrajes (figura 1), el objetivo final es la obtención de un producto deshidratado (foto 1) partiendo de un producto con una humedad habitual de entrada comprendida entre el 30% y el 35% (foto 2). La capacidad de producción horaria por línea se sitúa entre 9 y 12,5 t/hora de producto seco.

El sistema de secado consiste en un tambor rotativo o trómel (figura 2), en el que se introduce tanto el producto a secar (forraje), como el fluido térmico de secado (aire), a una temperatura elevada. El sistema funciona a presión atmosférica constante, por lo que se trata de un proceso isobárico.

El calor necesario para el secado se genera habitualmente mediante un quemador de gasóleo o de gas (foto 3). Sin embargo, ante la fluctuación de precios de los combustibles fósiles, actualmente se está considerando por parte de las industrias de secado la utilización alternativa de hornos de combustión de biomasa (foto 4).

FIGURA 1.

Esquema sinóptico de una planta de deshidratado de forrajes.



Proceso de combustión de la biomasa

La biomasa se caracteriza, en general, por tener un bajo contenido en carbono (<50%), un alto contenido en oxígeno (>44%) y un alto contenido en volátiles (>85%), presentando a su vez un bajo contenido en cenizas y un casi nulo contenido en azufre. En general se puede considerar que su poder calorífico puede oscilar entre 3.000 y 3.500 kcal/kg para la procedente de residuos ligno-celulósicos, 2.000 - 2.500 kcal/kg para la de residuos urbanos y 10.000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos.

La combustión es una reacción química entre el oxígeno del aire y los elementos oxidables de la biomasa, que origina desprendimiento de calor. Una combustión económica sólo se consigue cuando se oxidan totalmente todos los elementos combustibles, por eso, es necesario emplear siempre una cantidad de aire superior a la estequiométrica. Más de dos tercios del poder calorífico de la biomasa suele estar contenido en sus volátiles, que arden en forma gaseosa al desprenderse cuando la ésta se introduce en el hogar de combustión, por las altas temperaturas que en el mismo existen.

El proceso de combustión de la biomasa transcurre de la siguiente forma:

- Inicialmente el combustible se seca totalmente al ser introducido en la cámara de combustión.
- Por encima de los 150°C comienza la reacción térmica de forma lenta hasta los 200°C.
- A partir de los 275°C la reacción se acelera y comienza un proceso exotérmico en la partícula de combustible, que libera de forma rápida todos sus volátiles, los cuales arderán



Foto 1. Pacas de forraje desecado. Documentación Agro-Pirineos Ayerbe.



Foto 2. Introducción del forraje en el alimentador para iniciar el proceso de secado. Documentación Agro-Pirineos Ayerbe.

La experiencia ha demostrado que el 67% del aire necesario en el proceso debe alimentarse como aire secundario. Esto se resuelve mediante

soplantes accionados por motores eléctricos.

Existen dos grandes grupos de tecnologías para la incineración de estos combustibles sólidos: la de parrillas y la de lecho fluidizado. Para el caso que nos ocupa se suele utilizar la de parrillas. Las parrillas están construidas por piezas de fundición a través de las cuales circula el aire de combustión, que además servirá como medio refrigerante. El combustible es lanzado sobre la parrilla de forma que, en mayor o menor grado, entran en combustión antes de llegar a ella los finos y los volátiles que se desprenden, terminándose de quemar la fracción de mayor tamaño en la propia parrilla.

El horno es por tanto el lugar donde la energía química potencial del combustible se transforma en energía térmica, que se incorpora a los gases que forman el fluido térmico de secado.

Condiciones de partida para el estudio termodinámico

Para proceder al estudio termodinámico fijamos unas condiciones de partida. Unas están reglamentadas, como son la humedad mínima de entrada y la temperatura de entrada de los gases en el trómel, otras son constantes físicas y por último otras, vienen impuestas por diseño de los fabricantes del tambor rotativo o trómel.

El cuadro I muestra un ejemplo de valores orientativos de parámetros de trabajo para un proceso de secado industrial de alfalfa.

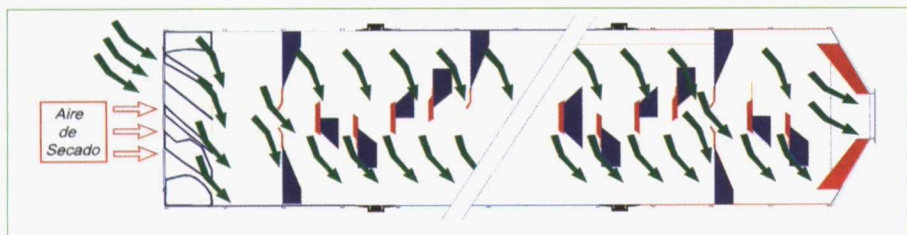
CUADRO I.

Valores orientativos de parámetros de trabajo para un proceso de secado industrial.

H_e = Humedad de la alfalfa a la entrada	30%
H_s = Humedad de la alfalfa a la salida	14%
T_e = Temperatura de entrada del aire al trómel	250°C
T_s = Temperatura del aire a la salida de la chimenea	90°C
T_{ae} = Temperatura de entrada de la alfalfa	20°C
T_{as} = Temperatura de salida de la alfalfa	70°C
T_{amb} = Temperatura aire ambiente	25°C
C_a = Calor específico del aire seco	0,24 kcal/kg °C
C_{alf} = Calor específico de la alfalfa para alfalfa al 30-40%	0,38 kcal/kg °C
C_{agua} = Calor específico del agua	1 kcal/kg °C
h_{agua} = Calor de vaporización del agua a 100°C	531,43 kcal/kg
m_1 = Producto húmedo a la entrada al 30% en kg/h.	(variable a determinar)
m_2 = Producto seco a la salida al 12% en kg/h	(variable a determinar)
m_3 = Caudal de aire efectivo	68.000 kg/h
m_4 = Caudal de aire disponible en el ventilador	85.000 m ³ /h
m_{agua} = kilos de agua evaporada en estas condiciones	(variable a determinar)
Q_{max} = Potencia máxima del quemador (biomasa)	5.000.000 kcal/h (dato aportado por el fabricante)

FIGURA 2.

Esquema del interior de un trómel rotativo. Documentación Agro-Pirineos Ayerbe.



con llama larga como combustible gaseoso.

- El sólido carbonoso que queda finalmente (brasa), arde lentamente y sin llama.

Esta forma de arder exige alimentar con

aire forzado el hogar en dos puntos diferentes: un aire primario para quemar el sólido carbonoso y un aire secundario, aplicado en una zona superior, para quemar los volátiles.



Foto 3. Quemador de gas. Documentación Agro-Pirineos Ayerbe. Foto 4. Horno de combustión de biomasa acoplado lateralmente a un horno de gasóleo, cuyo quemador (en rojo), se observa en primer plano.

Balance térmico

El principal parámetro a determinar en la instalación deshidratadora es la capacidad de evaporación, que se expresa en kilogramos de agua evaporada por hora. Su valor depende de la capacidad del contenedor, del caudal del ventilador y fundamentalmente del poder absorbente del flujo térmico.

Para realizar el balance térmico se iguala el calor generado por el quemador con los calores utilizados para evaporar el agua y las pérdidas de calor del proceso. Es decir, el calor total generado por el horno de combustión, debe de ser igual a la suma de los calores necesarios para:

- Calentar y evaporar el agua eliminada en el forraje.
- Calentar el agua no evaporada del forraje.

- Calentar el forraje hasta la temperatura de salida.
- Pérdidas por la chimenea.
- Pérdidas por convección en el horno y en el trómel.
- Calentar y evaporar el agua surgida de la combustión.

A partir de este balance se obtiene la masa de agua evaporada (kg/h) y posteriormente el consumo térmico específico (kcal/kg agua evaporada).

Características de los combustibles y consumos

El combustible a utilizar en la alimentación del quemador para este caso será, como ya se ha dicho, biomasa (foto 5).

Se define el poder calorífico de un com-

bustible como la cantidad de calor liberado cuando, al someterse a un proceso de combustión, se obtienen unos productos en su estado final de oxidación. Es decir, refleja la energía térmica potencialmente disponible. La forma más usual de expresarlo es en kcal/kg.

El poder calorífico superior (PCS) es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.

El poder calorífico inferior (PCI) tiene el mismo significado que el anterior, excepto en que el agua de la combustión se encuentra en estado vapor. Como norma general en aplicaciones industriales se utiliza este último parámetro en los cálculos justificativos.

En el gasóleo C, el poder calorífico inferior (PCI) es 10.213 kcal/kg. En las biomásas es un dato más variable y difícil de precisar, pues depende de la procedencia del combustible, su presentación y tamaño, humedad, etc.

En las industrias que nos ocupan se tiene inicialmente previsto el consumo de orujillo de oliva y cáscara de almendra, que son productos con un comercio más generalizado. No obstante, a modo orientativo, se presenta el cuadro II con los PCI de diferentes productos. Obviamente, si el producto se sirve con menor humedad, el dato energético aumenta en todos los casos.

Para poder calcular el consumo de combustible se divide la potencia calorífica que hay que generar (kcal/h) entre el poder energético del producto (kcal/kg), obteniendo el

CUADRO II.

Poder calorífico inferior (PCI) de diferentes productos.

PRODUCTO	HUMEDAD (%)	PCI (Kcal/kg)
Residuos forestales		
Leñas y ramas	20	3.590
Serrines y virutas	15	3.790
Cortezas	20	3.650
Residuos agrícolas		
Restos podas frutales	20	3.310
Paja de cereales	10	3.630
Sarmientos de vid	20	2.950
Orujo de uva	25	3.240
Residuos de industrias forestales y agroalimentarias		
Orujillo de oliva	15	3.780
Cáscara de almendra	10	3.940
Corteza coníferas	20	3.650

(Fuente CIRCE. Centro de investigación de rendimiento de centrales eléctricas).

consumo por hora de funcionamiento del equipo de en kg/h de biomasa.

Rendimientos

Con el planteamiento expuesto y el desarrollo llevado a cabo a lo largo de los apartados anteriores se obtiene el rendimiento del equipo con los siguientes parámetros clave:

- Humedad de entrada en %.
- Kilos de agua evaporada/hora.
- Consumo térmico específico en kcal/kg agua evaporada.
- Producción alfalfa seca (14%) en kg/hora.
- Consumo de combustible (biomasa) en kg/hora.
- Consumo de combustible por tonelada de alfalfa seca.

Algunas reflexiones

De cuanto antecede, se desprende que, con un horno de combustión de biomasa,



Foto 5. Algunos tipos de biomasa utilizables como combustible: cáscara de almendra y orujo seco de aceituna (orujillo).

una industria de deshidratado de forraje puede trabajar con los mismos rendimientos horarios de secado que con un quemador de gasóleo.

Como ejemplo, para el caso de una industria deshidratadora real, donde se ha realizado la sustitución del quemador de gasóleo por el horno de biomasa, por comparación con datos de anteriores campañas, se

han registrado unos consumos equivalentes de 2,6 á 3 kg de biomasa por cada kg de gasóleo, en función de la humedad de la biomasa y por tanto de su poder calorífico real.

En base a la experiencia obtenida de los primeros resultados funcionando con esta fuente de energía, se constata además que los ganaderos prefieren el forraje deshidratado con biomasa sobre el deshidratado con gasóleo por, al parecer, un olor más agradable del forraje, que parece aumentar la apetecibilidad por los animales, o evita su rechazo.

Este artículo tiene una finalidad divulgativa y no se incluye la formulación requerida para el cálculo de los rendimientos del horno. Aquellos lectores que quieran ampliar información sobre este tema pueden contactar con los autores del artículo. ●

70 a 180 CV

Con MICHELIN OMNIBIB serie 70, rentabilice su explotación

75 años

NUEVO



- Ahorro de carburante
- Duración y confort en desplazamientos
- Capacidad de carga

MISMA LLANTA QUE LA SERIE ESTANDAR

