

QUEMADOR DE RESIDUOS PARA LA PROVISION DE ENERGIA TERMICA AL MEDIO RURAL: ENSAYOS PRELIMINARES¹

A. Iriarte², V. García y C. Rodríguez
INENCO³ Catamarca

Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa.
Mtro. Quiroga N° 93 - 4700 Catamarca

L. Saravia²
INENCO, Salta - UNSa.
Buenos Aires N° 177 - 4400 Salta

RESUMEN

Este trabajo tiene por objeto el estudio del comportamiento de un quemador de residuos agrícolas con la finalidad de aportar energía térmica al medio rural.

Se ha desarrollado un sistema de fácil construcción, instalación y de operación semiautomática para el uso en invernaderos como fuente de calor para su calefacción y aporte auxiliar en el caso de su uso como secaderos.

En el presente trabajo se describe el sistema de calentamiento, sus partes constitutivas y un balance térmico. Además, se determinan el coeficiente global de transferencia térmica al aire circundante, la variación temporal de las temperaturas de cada componente, la eficiencia del sistema, el flujo de calor útil obtenido bajo distintas condiciones de flujo de carga de combustible y la variación del coeficiente global para diferentes cargas de combustible.

INTRODUCCION

La producción agropecuaria del NOA tiene requerimientos de energía térmica de cierta consideración, fundamentalmente respecto de las producciones intensivas y su posterior industrialización, tal es el caso del secado de productos agrícolas, el cultivo bajo cubierta, la producción pecuaria menor, etc.

La atención de estos requerimientos mediante combustibles tradicionales incide en forma significativa en los costos finales de los productos, especialmente en zonas alejadas de los centros urbanos, donde además, los problemas de transportes son un rubro a tener en cuenta.

La alternativa más económica y de mayor confiabilidad sería el uso de dos fuentes complementarias de disponibilidad local. En nuestro caso particular, por las ca-

¹ Parcialmente financiado por:
INENCO - BID CONICET N° 307
SEDECYT - UNCa.

² Miembro de Carrera del CONICET

³ Convenio UNCa. - UNSa. - CONICET

racterísticas de nuestra región, una fuente no convencional como la energía solar y la biomasa proveniente de desechos agrícolas, serían complementarias, está última puede ser usada en los períodos de escasez o baja disponibilidad de la primera. El aporte de energía solar permite cubrir un importante porcentaje del consumo total, de manera que los requerimientos de desechos no serán excesivos para el establecimiento rural.

El secado solar de productos agrícolas es una actividad que requiere de un sistema complementario para disminuir los costos de las instalaciones, debido al gran consumo de energía. Asimismo el aporte auxiliar debe ser a "fuego indirecto"; en razón de que los mercados internacionales son cada vez más exigentes con la presencia de impurezas en los productos deshidratados y particularmente ante residuos de la combustión.

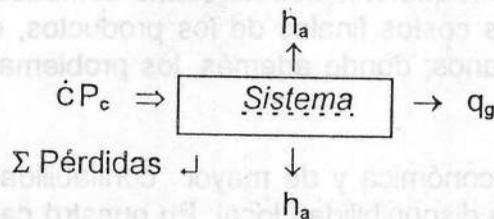
Por otro lado, los residuos agrícolas están disponibles a bajo costo en el medio rural, significando una economía importante para el productor. En este sentido, se ha iniciado los trabajos tendientes al desarrollo de un sistema energético integrado para el abastecimiento dual de energía solar y biomasa, lo que hace mucho más accesible el uso de fuentes no convencionales de energía. Esta primera estufa de diseño simple, que se describe en el presente trabajo, fue utilizada como fuente auxiliar de calentamiento de aire para un secador invernadero con túnel de secado, (Iriarte, A. et al 1995).

El objetivo del presente trabajo fue determinar los coeficientes de transferencia, la eficiencia del sistema con leña de la zona como combustible, a los efectos de disponer de un nivel de referencia con respecto al uso de combustibles sólidos provenientes de tratamientos de residuos agrícolas.

CARACTERISTICAS DEL PROTOTIPO

El quemador, Fig. 1, está constituido por cuatro partes básicas: 1.- Cámara de combustión donde se realiza la quema del residuo agrícola. 2.- Camisa de transferencia de calor, superficie de intercambio de calor con el aire que circula para el secado. 3.- Chimenea, conducto por donde circulan los gases de combustión. En el caso particular del ensayo integrado al secadero, los gases de combustión circulan a través de caños de intercambio de calor, impulsado por un turbo ventilador que ayuda a la combustión (Iriarte, A. et al 1994). 4.- Alimentador de combustible sólido.

Así de esta manera, el balance sobre el sistema será:



$$q_c - q_a - \Sigma \text{Pérdidas} - q_g = 0$$

(1)

donde $q_c = \dot{C} P_c$ flujo de ingreso de combustible.

$$q_a = h_a A_c (T_c - T_a^p) \text{ flujo de calor transferido al aire (2);}$$

$$A_c = 2\pi R_c L$$

$$q_a = \dot{m}_a C_{pa} (T_a^s - T_a^e) \text{ flujo de calor absorbido por el aire (3)}$$

$$q_g = \dot{m}_g C_{pg} (T_g^s - T_g^e) \text{ flujo de calor cedido por los gases de combustión (4)}$$

De las ecuaciones (2) y (3) se obtiene que el coeficiente de transferencia pelicular del calor al aire que circula en contacto con la cámara de transferencia será:

$$h_a = \frac{\dot{m}_a C_{pa} (T_a^s - T_a^e)}{A_c (T_c - T_a^p)}$$

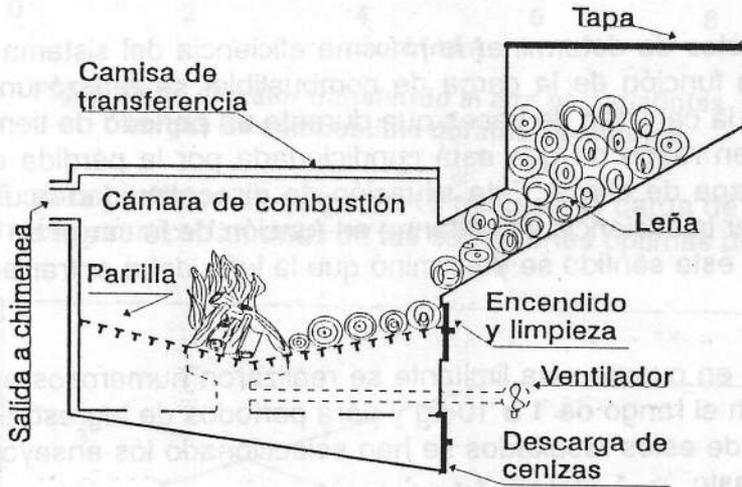


Fig.1.- Corte transversal del quemador

Asimismo, el balance global del sistema estará en función del flujo de calor producido por el ingreso de combustible y la transferencia de calor al aire circulante, esto es:

$$\dot{C} P_c = h A_c (\bar{T}_H - \bar{T}_a) \quad \text{de donde} \quad h = \frac{\dot{C} P_c}{A_c (\bar{T}_H - \bar{T}_a)}$$

de esta manera el rendimiento global del quemador será:

$$\eta[\%] = \frac{q_a}{q_{total}} = \frac{\dot{m}_a C_{pa} (T_a^s - T_a^e)}{\dot{C} P_c}$$

Así, por ejemplo, el flujo de combustible necesario para obtener un incremento de temperatura del aire circulante en orden de 50°C , si se asume una eficiencia $\eta = 0.30$, $\dot{m} = 1.2 \text{ kg/s}$ y $P_c = 19.8 \times 10^6 \text{ joules/kg}$, se obtiene un flujo de combustible $\dot{C} = 36.4 \text{ kg/h}$,

$$\text{usando; } \dot{C} = \frac{\dot{m}_a C_{pa} (T_a^s - T_a^e)}{P_c \cdot \eta}$$

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Por tratarse de un sistema de diseño sencillo y de fácil construcción, carece de estructura de soporte propio y en consecuencia fue necesario instalarlo en un recinto que permitiera controlar adecuadamente los parámetros que inciden en su funcionamiento como intercambiador de calor con el aire. En ese sentido fue instalado en una cámara de calefacción auxiliar de un secador invernadero descrita en un trabajo anterior (Iriarte A. et al 1994).

La cámara de calefacción permite ubicar al quemador de manera tal que el cilindro que constituye la cámara de transferencia quede en posición horizontal y transversal al flujo de aire que ingresa a la cámara. Se incluyen dispositivos fijos y móviles que permiten medir las temperaturas de entrada y salida de aire de la camisa y del aire de la zona pelicular de esta última. Asimismo dispone de registros para la variación del flujo de entrada del aire.

A los efectos de determinar la máxima eficiencia del sistema y el coeficiente de transferencia en función de la carga de combustible, se realizó un ensayo preliminar para determinar la cantidad de veces que durante un periodo de tiempo se puede introducir la carga, en razón de que está condicionada por la pérdida de calor durante la apertura de la tapa de carga. Esta situación de discontinuidad ocurre solo cuando se desea determinar la eficiencia instantánea en función de la carga de combustible (carga discontinua). En este sentido se determinó que la leña debe entrar en tiempos mayores a 3 minutos.

Teniendo en cuenta esta limitante se realizaron numerosos ensayos con cargas comprendidas en el rango de 1 a 10 kg y para periodos de ingreso entre 10 a 30 minutos. Del análisis de estos resultados se han seleccionado los ensayos más significativo, omitiéndose el resto.

Para la medición de las distintas variables durante la realización de la experiencia, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- * Termocuplas Cromel - Alumen conectadas a un termómetro digital, rango de 1 - 1200 C \pm 5 C.
- * Balanza digital, rango de 0 - 5 kg \pm 0,1 gr.
- * Anemómetro de hilo caliente, rango 0 - 16 m/s \pm 0,2 m/s.

Del análisis de los datos obtenidos en la experiencia se destaca en la Fig. 2 y 3 la variación del flujo de calor transferido al aire en función del tiempo para distintas cargas de leña en periodos comprendidos entre 10 y 15 min. respectivamente. Se observa en la Fig. 2 que para cargas hasta 2 kg en 10 minutos (2/10) se alcanza el máximo valor de producción de calor a partir de los 6 minutos, decreciendo antes de completar el periodo establecido e indicando la necesidad de aumentar el ingreso de combustible. Sin embargo para valores mayores el sistema se satura y tiende a disminuir el flujo de calor, a pesar de que se trata de ensayos en estado de régimen, con tiempos de duración de 30 min., durante el cual se realizaron tres periodos de cargas de 2/10.

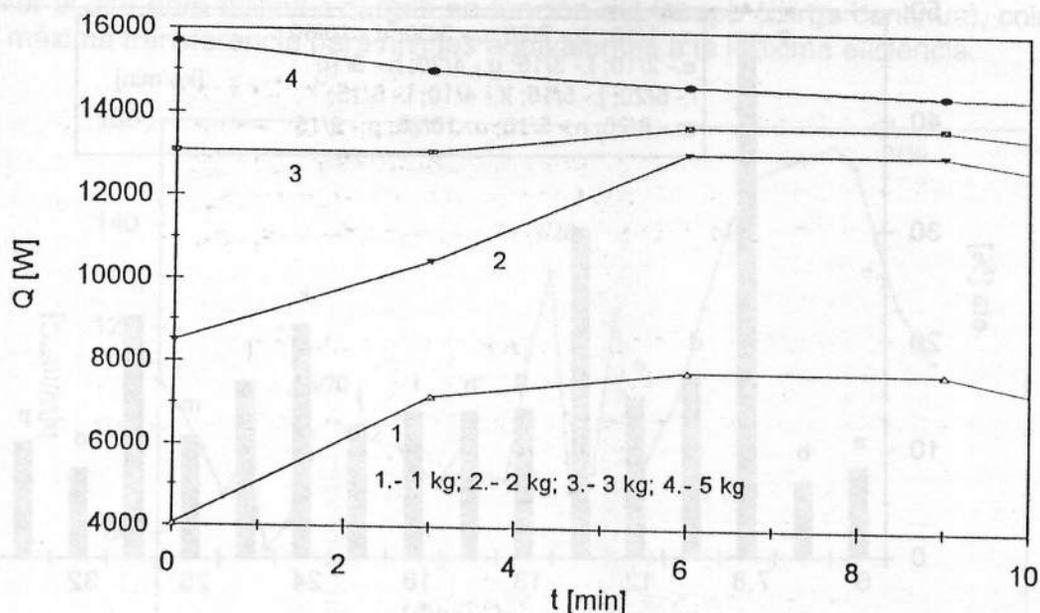


Fig.2. Flujo de calor transferido al aire para distintas cargas de combustible durante 10 minutos

En la Fig. 3. para períodos de carga de 15 minutos, la carga de 3 kg y 5 kg tienen una evolución correcta y marcarían unas de las condiciones óptimas de funcionamiento.

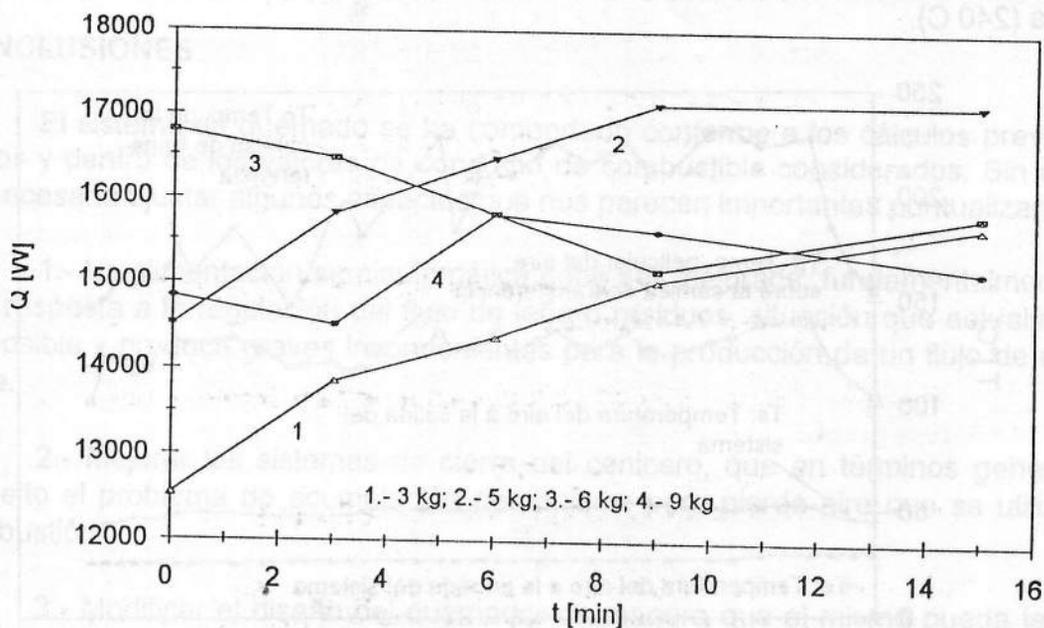


Fig.3. Flujo de calor transferido al aire para distintas cargas de combustible durante 15 minutos

En la Fig. 4. se muestra la eficiencia global del sistema en función de la carga de combustible en kg/h, advirtiéndose que para 7,8 kg/h, correspondiente a una carga discontinua de 3/30 tiene una eficiencia próxima al 50%. Sin embargo, el valor para 12,5 kg/h (3/15) es del orden del 30% siendo un valor mínimo razonable.

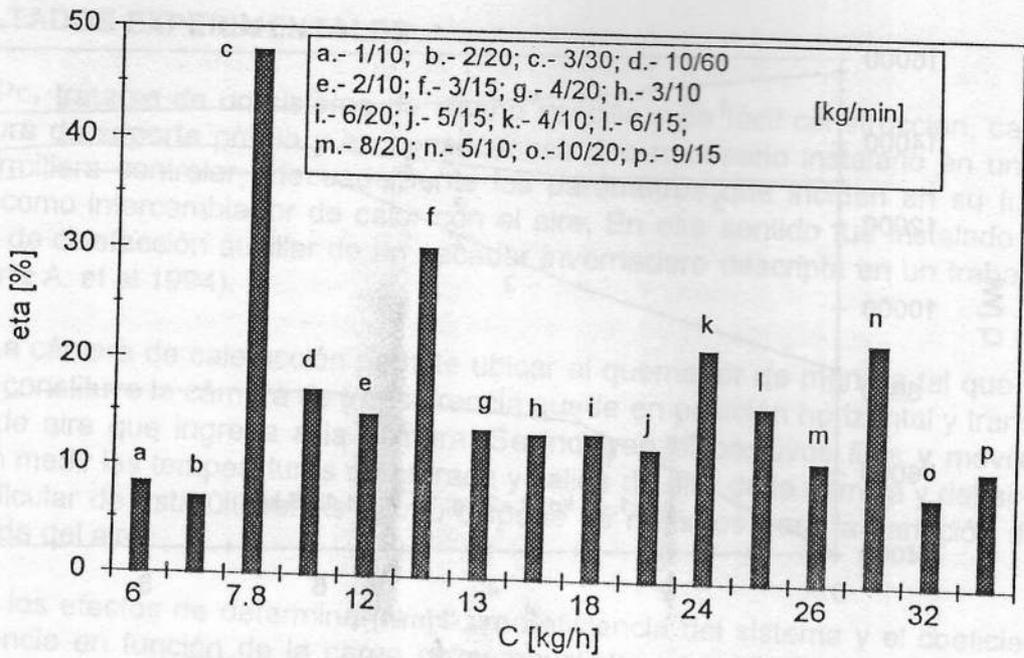


Fig.4. Eficiencia en función de la carga de combustible

En la Fig. 5 se muestra la variación de las temperaturas características del quemador y del flujo de aire a la entrada y salida del sistema. Se destaca la uniformidad de la temperatura del aire a la salida, así como el valor máximo de la camisa de transferencia (240 C).

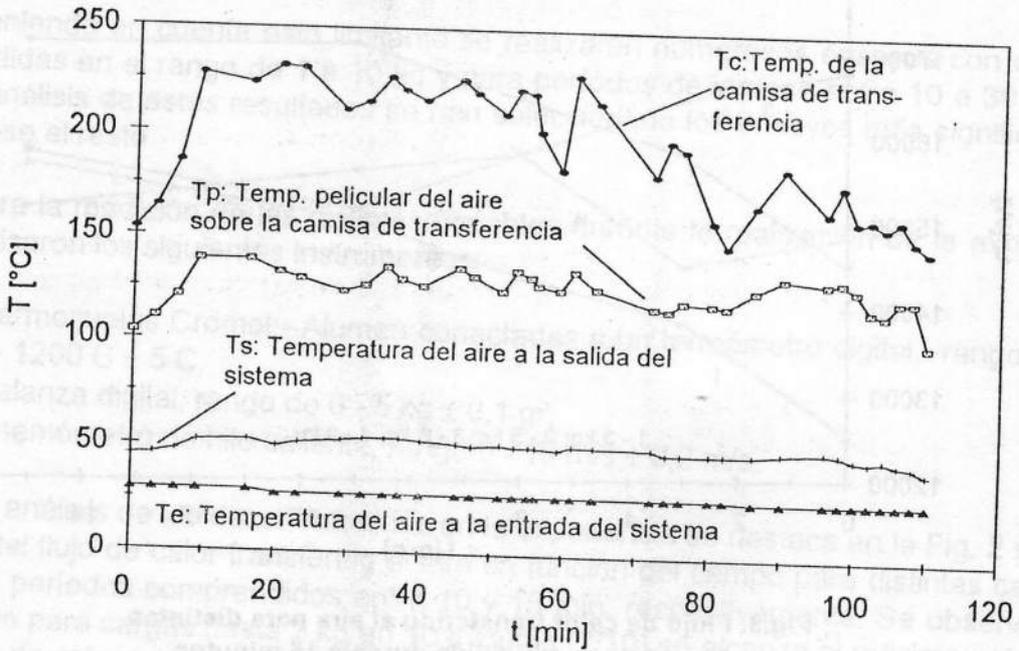


Fig.5. Variación de las temperaturas características del proceso de transferencia

Del análisis de la variación de la temperatura sobre la camisa de transferencia y de la homogeneidad de la temperatura del aire a la salida del sistema, se desprende que el coeficiente de transferencia depende de la carga de combustible, situación que se confirma en la Fig. 6, donde se observa la variación del coeficiente de transferencia

de calor al aire para distintas cargas en función del tiempo (carga continua), coincidiendo la máxima transferencia para niveles equivalentes a la máxima eficiencia.

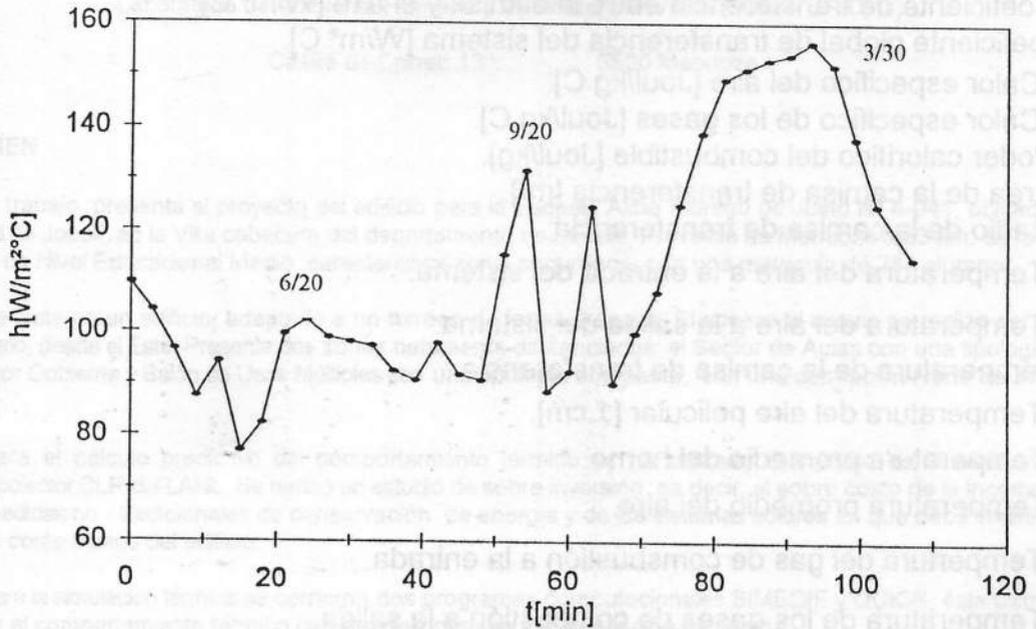


Fig. 6. Variación del coeficiente global de transferencia de calor al aire en función del tiempo

CONCLUSIONES

El sistema de quemado se ha comportado conforme a los cálculos previos realizados y dentro de los valores de consumo de combustible considerados. Sin embargo es necesario ajustar algunos aspectos que nos parecen importantes puntualizar:

1.- La alimentación semiautomática debe ser mejorada, fundamentalmente en lo que respecta a la regulación del flujo de leña o residuos, situación que actualmente no es posible y produce graves inconvenientes para la producción de un flujo de calor estable.

2.- Mejorar los sistemas de cierre del cenicero, que en términos generales ha resuelto el problema de acumulación de cenizas, pero pierde aire que se utiliza en la combustión.

3.- Modificar el diseño del quemador de manera que el mismo pueda tener funcionamiento en convección forzada o natural, tendiendo a incorporar al sistema un intercambio de calor adicional entre los gases de combustión y el aire circulante.

4.- Buscar en lo posible un diseño autónomo que permita adaptarse a otras situaciones de aplicación.

NOMENCLATURA

\dot{m}_a : Flujo másico del aire a calentarse [kg/s].



- \dot{C} : Flujo másico de combustible [kg/s].
 \dot{m}_g : Flujo másico de los gases expulsados [kg/s].
 h_a : Coeficiente de transferencia entre la camisa y el aire [$W/m^2 C$].
 h : Coeficiente global de transferencia del sistema [$W/m^2 C$].
 C_{pa} : Calor específico del aire [Joul/kg C].
 C_{pg} : Calor específico de los gases [Joul/kg C].
 P_c : Poder calorífico del combustible [Joul/kg].
 A_c : Area de la camisa de transferencia [m^2].
 R_c : Radio de la camisa de transferencia.
 T_a^e : Temperatura del aire a la entrada del sistema.
 T_a^s : Temperatura del aire a la salida del sistema.
 T_c : Temperatura de la camisa de transferencia.
 T_a^p : Temperatura del aire pelicular [1 cm].
 \bar{T}_H : Temperatura promedio del horno.
 \bar{T}_a : Temperatura promedio del aire.
 T_g^e : Tempertura del gas de comsustión a la entrada.
 T_g^s : Temperatura de los gases de combustión a la salida.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa colaboración de los Sres. Chaile, Ramón; Vargas, Rubén y Galván, Raúl; para la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Iriarte, A.; García, V. et al. "Secador solar semi - industrial de productos agrícolas: Resultados experimentales". ASADES'94 - Rosario. Pág. 381 - 388.
 Iriarte, A.; García, V. et al. "Invernadero tipo macrotúnel doble para secado de productos agrícolas". ASADES'95 - San Luis.