

DESARROLLO Y CONSTRUCCION DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE COCCION - 1ª ETAPA COCINAS SOLARES

Arturo F. Buigues Nollens * # y Esteban O. Rojos + #

Instituto de Mecánica Aplicada - Facultad de Ingeniería - Univ. Nac. de San Juan
Av. Libertador Gral. San Martín 1109 - Oeste - C. P. 5400 - San Juan - Argentina

RESUMEN

El sistema de cocción propuesto, constituido por tres concentradores parabólicos en 3D, es por su funcionalidad denominado "cocina solar de máxima y mínima" fue proyectado para ser operado en el exterior de viviendas clubes, campings, escuelas albergues etc., por lo tanto, sus componentes son económicas pero durables, desarmables atendiendo su transportabilidad, de simple regulación manual, con enfocamientos de cocción rápida y lenta o para mantenimiento térmico de los alimentos.

La metodología aplicada contiene el estudio teórico y diseño del modelo experimental, construcción del prototipo y su transferencia tecnológica incluye un seguimiento de la adopción en sus modos de vida.

Los resultados obtenidos con el sistema de cocción rápida (diciembre), en el punto de mayor brillo de su foco, es de 460 °C, produciendo en 10 minutos , 95 °C para 1 lt. de agua.

Otras aplicaciones a mayor escala son realizables en procesos industriales y emprendimientos micro productivos, tales como: producción de agua caliente, hervida y su pasterización o destilación; preparación de alimentos y dulces; esterilización de materiales; separación de la cera de retamo y de abejas.

INTRODUCCION

En zonas semirurales, las familias dedican gran esfuerzo a la búsqueda de leña para su hogar, depredando este recurso, lo que hace que cada vez sea mas difícil satisfacer sus crecientes demandas de sobrevivencia, debido a que impactan progresivamente su medio ambiente.

Es por esto que el desarrollo de sistemas alternativos de cocción, permiten brindar una eficaz solución a sus necesidades, ya que cuentan para la cocción, con una fuente de energía inagotable, gratuita y limpia, en el lugar de preparación de alimentos.

* Investigador asistente del CONICET

Docente de la cátedra Energías Alternativas del Depto. de Ing. Elec. - Fac. Ing. - UNSJ

+ Ex becario de perfeccionamiento de la Sec. de Ciencia y Técnica - Rectorado - UNSJ

ANALISIS FUNCIONAL

Las cocinas solares con concentrador parabólico a un solo foco, necesitan de un tiempo considerable de cocción para las necesidades del ama de casa. Ya que cuando se realizan preparaciones de un plato típico rural como lo requieren las costumbres de los pobladores de la zona, con salsas o complementos alimenticios, estofado criollo, fideos o tallarines y raviolos; no se pueden hacer en un solo recipiente, preparaciones simultáneas de calentamiento de agua, cocción de papas, preparación de tucos y cocción de huevos a la vez. Porque los ingredientes constitutivos de cada preparación necesitan de medios diferentes, ya que unos se hierven en agua, mientras que otros se fríen en aceite.

Por otro lado es imposible realizar platos principales con secundarios tales como platos típicos junto a sopas o agua caliente simultáneamente. Es decir la cocina necesita mas de una sola hornalla como alternativa de cocción o calentamiento. Por ello la cocina solar "apropiada" según el requerimiento funcional relevado de encuestas sociales, en San Juan - Argentina, requiere incrementar el número de sus focos. Resultando este uno de los aportes directos del trabajo. Este sistema ha sido ensayado en una región con un potencial energético natural elevado, donde los valores promedios anuales de radiación solar sobre el plano horizontal alcanzan los (5556 Watt/m² día) 20 MJ/m² día, donde el coeficiente de transparencia de la atmósfera es 0.61, con 12 horas de sol diario y 36 días de cielo cubierto.

CARACTERISTICAS DEL DISEÑO PROPUESTO

El prototipo desarrollado fue diseñado en base a un modelo que permite un seguimiento manual del recorrido solar, tanto a nivel de los planos azimutal como de altura solar, mediante apoyos giratorios horizontales y verticales, pudiendo también realizarse su nivelación horizontal.

Mediante tres parábolas, en chapa de acero galvanizado pulidas mecánicamente y cubiertas por un barniz conservante, se realiza el enfocamiento de mayor provisión de energía del sistema; dirigiendo sus puntos de mayor brillo al centro de ubicación del recipiente, para la cocción. Por otro lado cuenta con un control óptico que permite una rápida ubicación de la cocina. Posiciones individuales de cocción lenta o mantenimiento se adquieren automáticamente liberando sus puntos de fijación. Figura 1.

Los componentes utilizados en el modelo de bajo costo, son de materiales maleables, para la simple construcción del hombre de campo; resistentes a la corrosión de la intemperie y amplitudes térmicas, por su manejo en el exterior y desarmables por partes, atendiendo su transportabilidad. Figura 2.

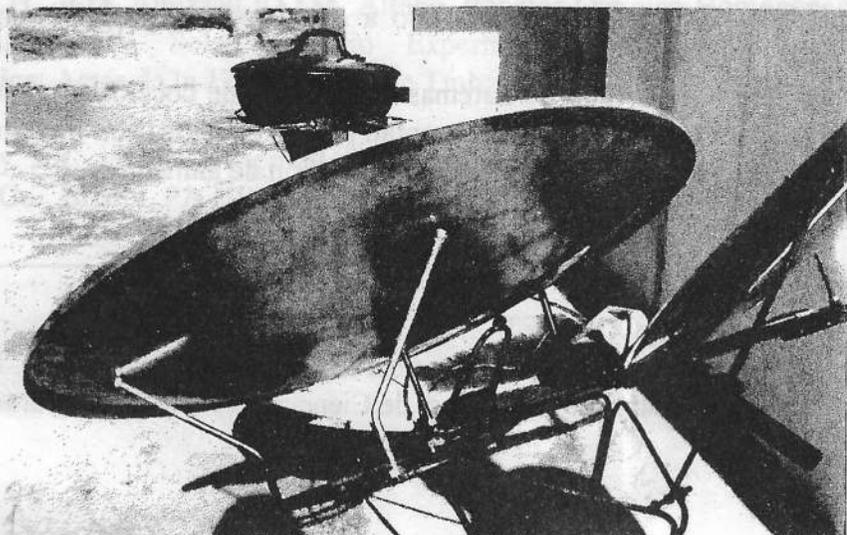


Figura 1

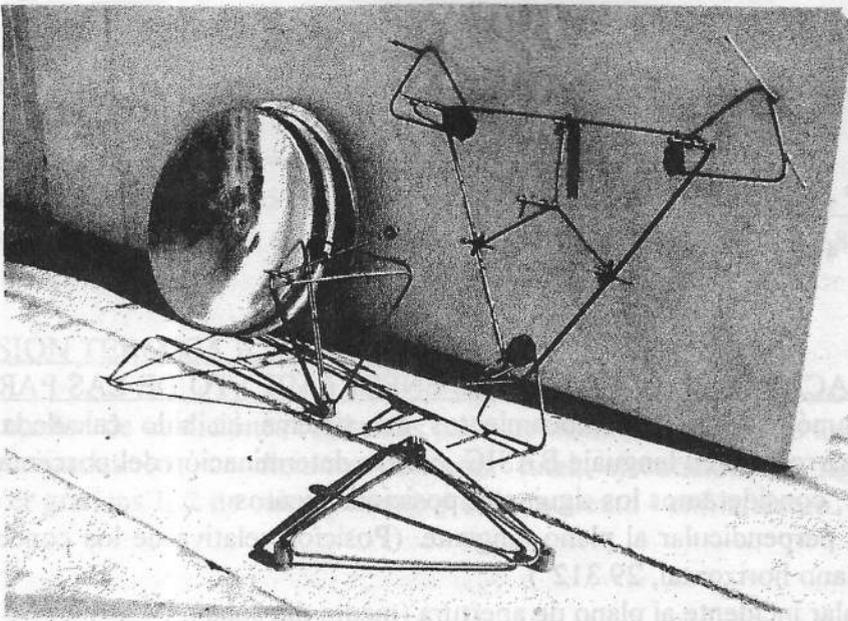


Figura 2: Detalles constructivos del sistema.

DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE LA IMAGEN DEL FOCO - W

$$W = \frac{2R_r \operatorname{sen} \left[\frac{(\delta/2 + \theta_s/2)}{\cos \theta} \right]}{\cos \left[\frac{(\phi_r + \delta/2 + \theta_s/2)}{\cos \theta} \right]} = 3.03 \text{ cm} \quad (1)$$

$$R_r = \frac{2f}{1 + \cos \phi_{rm}} \quad (2)$$

R_r = Radio del espejo máximo = 0.423 m = 42.3 cm

$\delta/2$ = Imperfección constructiva del concentrador ángulo de dispersión = 0.65°

$\theta_s/2$ = Angulo de incidencia radiación solar = 0.265° .

$\cos \theta$ = Distorsión, ensanchamiento y desplazamiento de la imagen -

θ = Posición relativa de los concentradores respecto del plano horizontal = 29°

ϕ_r = Angulo de borde = 51.03° .

f = Distancia del plano focal = 0.345 m.

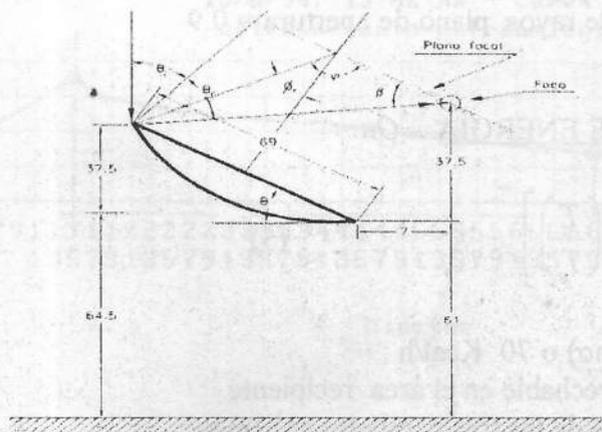


Figura 3: Parámetros de ubicación de las parábolas.

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MÁXIMA - C_m

$$C_m = \left\{ \frac{\sin^2 \phi_r \cos^2 [\phi_r + (\delta/2 + \theta_s/2)]}{4 \sin^2 \left(\frac{\delta/2 + \theta_s/2}{\cos 2\phi} \right)} \right\} - 1 = 224.17 \quad (3)$$

DETERMINACIÓN GEOMÉTRICA DEL ENFOCAMIENTO DE LAS PARÁBOLAS. La precisión geométrica de los enfocamientos del sistema ha sido calculada mediante un programa desarrollado en lenguaje BASIC, para la determinación del porcentaje de rayos en el absorbedor, consideramos los siguientes posicionamientos:

- De la recta perpendicular al plano tangente. (Posición relativa de los concentradores con respecto al plano horizontal, 29.312°).
- Del rayo solar incidente al plano de apertura (medio día solar).
- Del rayo solar reflejado hacia el absorbedor.
- Horizontal de los planos paralelos al fondo de la olla. Obtención del número de rayos que llegan al absorbedor. Datos: Radio de la parábola = 34.5 cm.
Angulo de inclinación de la parábola = 29.312° .
Radio de la olla = 9.1 cm.

Conclusión. La dispersión en el fondo de la olla, de los rayos reflejados, producida por la posición relativa de la superficie concentradora, con respecto al plano horizontal (medio día solar), es del 20 %.

DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN ABSORBIDA - S

$$S = I_b \rho \gamma \tau \alpha K_{(\gamma \tau \alpha)} = 174 \frac{W}{m^2} \quad (4)$$

G_{ba} = Radiación global incidente = 550 W/m^2

I_b = Radiación directa 277 W/m^2 (días fríos, 13 hs.)

ρ = Reflectancia especular del reflector de acero dulce galvanizado pulido = 70 %

γ = Factor de intercepción = 1

τ = Transmisión de la cubierta del absorbedor = 1

α = Absortancia radiación incidente en absorbedor = 1

$K_{(\gamma \tau \alpha)}$ = Desviación de rayos, plano de apertura = 0.9

GANANCIA ÚTIL DE ENERGÍA - Q_u

$$Q_u = A_c \left[S - \left(\frac{U_l}{C} \right) \left(\frac{T_l}{T_a} \right) \right] \quad (5)$$

Q_u = 82 Watt (Invierno) o 70 Kcal/h

Q_u = Calor neto aprovechable en el área recipiente.

A_c = Area de colección de las tres parábolas = 1.08 m^2 .

S = Radiación directa sin pérdidas ópticas = 174

Watt/m² (Invierno).

U_l = Factor de pérdidas térmicas = 17 Watt/h m² °C

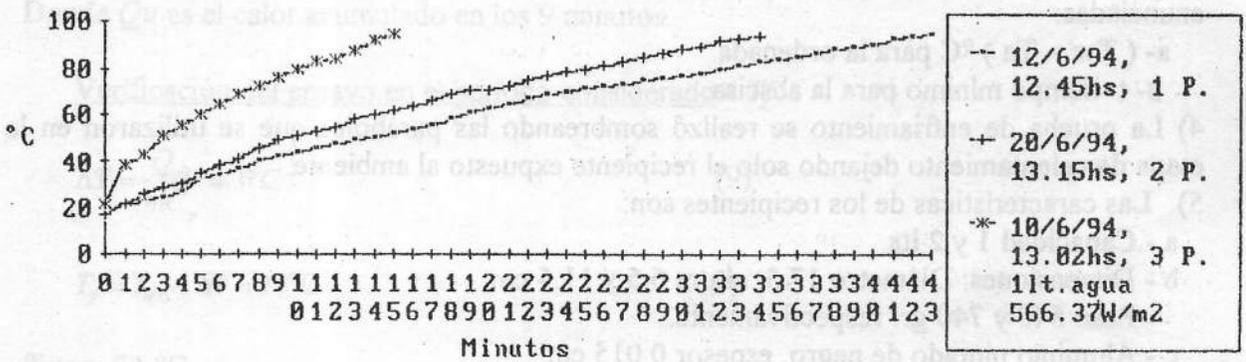
T_i = Temperatura de ebullición = 95 °C

T_a = Temperatura ambiente = 25 °C

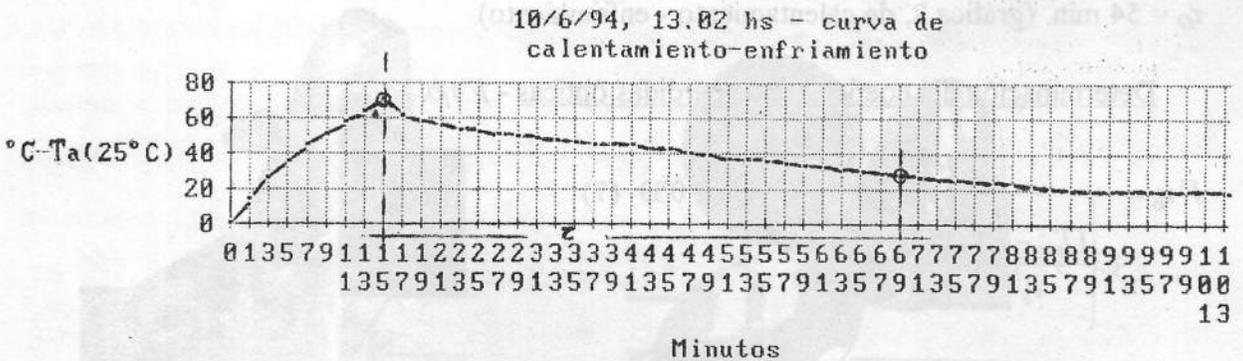
C = Relación de concentración entre las áreas de apertura y de la olla = 12.88

CONVERSIÓN TÉRMICA EXPERIMENTAL DEL SISTEMA

Las campañas de mediciones realizadas para los distintos estados de avance del sistema, han sido realizadas en condiciones de carga total, ejecutando las siguientes pruebas térmicas. Ver gráficas 1, 2 de calentamiento y calentamiento - enfriamiento.



Gráfica 1: Resultados experimentales en invierno.



Gráfica 2: Curva de calentamiento - enfriamiento.

Pruebas de pérdidas térmicas ($F'U_I$) y de rendimiento de eficiencia óptica ($F'\eta_o$). El procedimiento de prueba fue realizado en base a:

- 1) Determinación del tiempo requerido por el calor sensible para las cantidades de 1 y 2 lts. de agua hasta el punto de ebullición.
- 2) Normalización de las condiciones climáticas bajo el cual se provee calor sensible: para nuestro caso el horario adoptado en el período mas desfavorable (10/6/94 al 20/6/94) es 4hs. entre las 10.30 y 14.30 hs.

En condiciones normales de viento, calma o de 4 Km./h para esta época.

La radiación solar global para estas horas varía entre 504 a 584 W/m² adoptando como promedio 550 W/m² y como directa 277 W/m². Con limpidez atmosférica.

La temperatura ambiente durante la campaña de mediciones invernales, oscilaba entre 20 y 25 °C para las hs. de ensayo, manteniéndose constante en cada prueba.

- 3) La determinación de la curva de performance o rendimiento en función de períodos de tiempos presenta las siguientes características, de acuerdo a las variables climáticas enunciadas:

a- ($T_w - T_a$) °C para la ordenada.

b- t tiempo mínimo para la abscisa.

- 4) La prueba de enfriamiento se realizó sombreando las parábolas que se utilizaron en la etapa de calentamiento dejando solo el recipiente expuesto al ambiente.

- 5) Las características de los recipientes son:

a - Capacidad 1 y 2 lts.

b - Dimensiones: Diámetro 17.5, altura 6.5 y 11.5 cm.

Peso 540 y 740 gr. respectivamente.

c - Aluminio pintado de negro, espesor 0.015 cm.

Cálculo del coeficiente de pérdidas térmicas - $F'U_I$

$$F'U_I = \frac{(MC_p)'_w}{A_o \tau_o} = 18 \frac{kW}{hm^2 \text{ } ^\circ C} \quad (6)$$

$(MC_p)'_w$ = Eficiencia térmica del líquido y del recipiente.

C_p = Calor específico del agua = 1.16 W/kg. °C, del recipiente = 0.13 W/kg. °C.

A_o = Area del recipiente = 0.08 m².

τ_o = Tiempo de enfriamiento constante del sistema.

τ_o = 54 min. (gráfica 2, de calentamiento - enfriamiento)

Determinación del coeficiente de pérdidas ópticas - $F'\eta_o$.

$$F'\eta_o = \frac{F'U_I}{C \left\{ \frac{(T_{w2} - T_a)}{I_b} - \left[\frac{(T_{w1} - T_a)}{I_b} \right]^{1 - e^{-t/\tau_o}} \right\}} = 0.33 \quad (7)$$

C = Relación de concentración entre áreas reflectivas y absorbadora = 1.08/0.08 = 12.98.

$F'U_I/C$ = 1.33

T_{w1}, T_{w2} = Temp. del período experimental = 73 y 76°C.

T_a = Temperatura ambiente = 25 °C.

I_b = Radiación solar directa = 277 W/m²

e = Base de logaritmo Neperiano = 2.71828

τ = Intervalo de tiempo adoptado = 1 minuto.

Radiación neta reflejada sin pérdidas ópticas - S

$$S = I_b F' \eta_o = 91 \text{ W/m}^2 \quad (8)$$

Calor neto útil en el agua a los 9 minutos - $Qu9$

$$Q_u = A_a \left[\frac{S - F' U_l}{C(T_{w1} - T_a)} \right] = 30 \text{ W/h} = 25 \text{ kcal/h}$$

$$Qu9 = 25 \text{ kcal/h} / 9 = 3 \text{ kcal/h.}$$

Donde Qu es el calor acumulado en los 9 minutos.

Verificación del ensayo en el período considerado - T_f

$$\Delta T = \frac{Q_{u9}}{m C_p} = 3^\circ \text{C} \quad (9)$$

$$T_f = T_{w0} + \Delta T = 76^\circ \text{C} \quad (10)$$

$T_{w0} = 73^\circ \text{C}$

m = masa del líquido = 1kg.

C_p = Calor específico del agua = 1.16 W/kg. = 1 kcal/kg. °C.

Determinación del tiempo de ebullición (En el min. 9) - τ_{eb}

$$\tau_{eb} = -\tau_o \ln \left\{ \frac{F' \eta_b - \left(\frac{F' U_l}{C} \right) \left(\frac{T_{w2} - T_a}{I_b} \right)}{F' \eta_b - (F' U_l / C) \left(\frac{T_{w1} - T_a}{I_b} \right)} \right\} \quad (11)$$

$\tau_{eb} = 12.30 \text{ min.}$

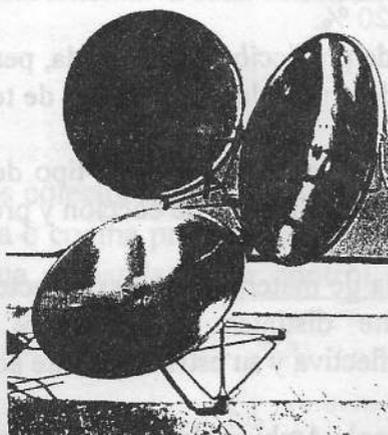


Figura 4

COSTEO DEL CICLO DE VIDA - PTV

El sistema que produce mas bajos costos para el ciclo de vida de una vivienda respecto a una cocina convencional, es el solar, donde los beneficios comienzan en el primer año de vida útil del sistema, exactamente a partir del segundo mes de funcionamiento. Alcanzando en el año 40 (vida útil) el sistema convencional un costeo de U\$S 6219.72 mientras que el sistema solar U\$S 465.72. Para una aplicación en 52 viviendas representa un ahorro de U\$S 299208, aproximadamente un 100 % del total de la inversión en materiales, a realizarse por el Programa Federal de Solidaridad y el Gobierno de San Juan, en la autoconstrucción de todo el conjunto habitacional.

RESULTADOS

Fueron obtenidos durante el mes de Diciembre con el sistema de cocción rápida, en condiciones normales del ambiente, en el punto de mayor brillo de su foco, temperaturas que alcanzaron 460 °C; produciendo en 10 min. 95 °C para 1 lt. de agua.

Por otro lado para los meses críticos de invierno se han obtenido los rendimientos de la gráfica 1, en donde es posible visualizar el comportamiento del sistema con 1, 2 y 3 parábolas. Cabe destacar que en posición de cocción rápida la demora para un litro de agua estuvo en el orden de los 15 min. con 566 Watt/m² de radiación solar, alcanzando 320 °C en su foco.

Otros resultados de tiempo de cocción fueron: 4 min. un huevo en agua; 15 a 20 min. un bistec de carne; 30 min. embutidos; 60 min. un estofado criollo.

CONCLUSIONES

1- Térmicas - ópticas a) En la etapa de puesta a punto fue necesario desarrollar un indicador de la posición de los focos para la obtención de la eficiencia o precisión del enfocamiento de las tres parábolas que constituyen el sistema. Ya que una variación mínima del ángulo de inclinación de las mismas, determinaba una gran variación en la intersección de los focos, en el plano del soporte del absorbedor.

b) La dilución del brillo del foco, por la inclinación de las parábolas no es significativo dado que se alcanzaron tiempos normales de ebullición de 1 lt. de agua.

c) La dispersión en el fondo de la olla, de los rayos reflejados, producida por la posición relativa de la superficie concentradora, con respecto al plano horizontal (medio día solar), es del orden del 20 %.

d) La curva de predicción desarrollada, permite obtener una aproximación del tiempo de ebullición, para determinadas condiciones de temperatura ambiente y radiación solar.

2- Funcionalidad a) Atendiendo al tipo de comidas a elaborar por los habitantes de la zona, se satisfacen tres puntos de cocción y preparación de alimentos en forma simultánea.

3- Resistencia de materiales a) Las características de los materiales empleados han sido probados durante distintas campañas de ensayo, manteniendo los concentradores inalterabilidad reflectiva y su estructura ante accidentes mecánicos.

4- Económicas y Ambientales a) Según el costeo de su ciclo de vida, con respecto a la cocina a gas, el sistema brinda beneficios, a partir del primer mes de funcionamiento.