



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

## MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN CALENTADOR DE AIRE BASADO EN CHAPAS METÁLICAS UTILIZANDO ENERGIA SOLAR TERMICA PARA SECADO A BAJA TEMPERATURA, CASO SECADO DE STEVIA “KA´A HEÉ”, IV CAIM 2014

D. Sartorio<sup>\*1</sup>, J. Pulfer<sup>2</sup>, M. Frutos<sup>3</sup>, J. Bordón<sup>4</sup>, S. Gonzalez<sup>5</sup>

<sup>\*1</sup>Laboratorio de Mecánica y Energía – Ingeniería Mecánica – Ingeniería Electromecánica -  
Universidad Nacional de Asunción – Barrio Villa Universitaria Campus Universitario  
San Lorenzo - Paraguay

correo-e: [dsartorio@ing.una.py](mailto:dsartorio@ing.una.py) - correo-e: [jcpulfer@ing.una.py](mailto:jcpulfer@ing.una.py)  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción

### RESUMEN

Este trabajo comprende el estudio del comportamiento térmico de un colector solar transpirado sin cobertor con variantes en la geometría de la placa colectora (senoidal y trapezoidal) mediante ecuaciones de transferencia de calor y balances de energías. Está orientado en la obtención del rango de valores de temperatura de salida del aire calentado en nuestro modelo para sus posibles usos en el secado. El modelo matemático obtenido fue ejecutado mediante un software académico, utilizado para resolver problemas de transferencia de calor y de ingeniería, llamado EES por sus siglas en inglés (Engineering Equation Solver). Se analizaron los resultados obtenidos y se grafican dichos resultados para su mejor interpretación. Mediante las mismas se sabe el comportamiento del colector y se puede dimensionar según los parámetros de demanda. En base a la evaluación económica realizada a los escenarios de secado podemos concluir que, para una migración del sistema de secado artesanal al sistema con uso de resistencias eléctricas, es viable económicamente a partir de que exista un incremento anual del precio en el mercado de la Stevia de al menos 3,5% anual, ya que arroja un valor de TIR igual a 12%. Mientras tanto para la migración del sistema artesanal al sistema híbrido, aunque requiere una inversión inicial mayor, pero menor costo operativo el escenario se vuelve más viable económicamente, esto, inclusive si el precio de la Stevia se mantuviese constante durante los años de análisis, arrojando un valor de TIR igual a 27%, pero para que sea óptimo se requiere de al menos un valor de 1% en el incremento del precio de mercado de la Stevia.

**Palabras Claves:** radiación solar, secado solar, energía solar térmica, stevia rebaudiana Bertoni



## 1. INTRODUCCIÓN

El proceso de secado es de gran importancia en países en vías de desarrollo, en su mayoría para productos agrícolas. La mayoría de estos países se ubican en la zona tropical del planeta, donde la humedad ambiente es muy alta y los productos precisan de secado para ser procesado. Con ánimos de innovar y emplear un tipo de energía no convencional se motiva al uso de secaderos solares, dicha idea se está extendiendo mucho en estas regiones por su independencia del suministro eléctrico, aunque no siempre está garantizada la energía solar, cabe resaltar que en estas zonas, por su localización geográfica, existe alta disponibilidad de energía solar.

Para un inicio en esta área y posibles aplicaciones en el país se desarrollan estudios preliminares del comportamiento de estas instalaciones. Ya que lo existente es precario y no garantizan estándares para que el producto sea considerado valioso en el mercado internacional. El estudio está basado en analizar las variaciones que se podrían obtener al modificar el área en el cual incide el sol, es decir modificando la geometría del colector.

Este estudio focaliza el colector solar de este tipo de instalaciones, analizando y buscando obtener mediante los parámetros de entrada la geometría más apta y económica, y tal vez a futuro poder realizar dichas instalaciones para fomentar la competencia en mercados internacionales con el mejor precio del producto.

El proceso de secado de productos puede ir desde productos agrícolas, materias primas a otros. Este trabajo es desarrollado en base a datos obtenidos para futura aplicación en el Paraguay, buscando obtener un secador solar moderno y viable económicamente.

## 2. MARCO TEÓRICO

Primeramente una introducción teórica para revisar los conceptos necesarios para el entendimiento del presente trabajo.

Transferencia de calor por [1]:

Conducción de Calor:  $q_k = -kA \frac{dt}{dx}$  "Ley de Fourier" (1)

Convección:  $q_c = h_c \cdot (T_s - T_\infty)$  "Ley de Newton del enfriamiento" (2)

Radiación:  $q_r = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{atm}^4)$  "Ley de Stefan-Boltzmann" (3)

Marco Referencial: Paraguay es un país rico en energía solar, por su ubicación geográfica. En el país existen zonas con alta energía solar pudiendo ser la temperatura media anual entre 21 °C en el sureste de la Región Oriental a más de 25 °C en el centro y norte del Chaco. En esta región se



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

registran las temperaturas máximas medias más elevadas, que superan los 31 °C y en la primera de las regiones se registran las temperaturas mínimas medias más bajas que están próximas a los 15 °C. En los meses con sol alto, las máximas diarias ocasionalmente superan los 40 °C, especialmente en el Chaco [2].

Potencial del Sol: la energía que recibe la tierra del sol cada 10 días, equivale a todas las reservas conocidas del petróleo, carbón y gas [3]. El Paraguay tiene un potencial muy importante con un valor medio de 1.725 KWh/m<sup>2</sup>/año. La radiación solar que recibe el territorio paraguayo anualmente es equivalente a 35.000 veces el consumo anual de energía en Paraguay.

En el país se emplean otros tipos de energía:



Figura 1. Matriz Energética en base al Balance Energético Nacional 2010. Fuente: Dirección de Recursos Energéticos del Vice Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, Paraguay

Secado Solar: el secado, como la separación total o parcial de un líquido desde un material sólido por aplicación de calor y su ejecución por medio de la transferencia de líquido desde la superficie del sólido hacia una fase vapor insaturada [4].

Secadores Solares: lugar donde se lleva a cabo el secado de los productos. En estos secadores ingresa el aire calentado lo que aumenta su capacidad de absorción de humedad, tomando la humedad y la transportándolo fuera del secador. Existen secadores de baja, media y alta temperatura [5].



Colector Solar: un colector solar consta de una placa captadora que, gracias a su geometría y a las características de su superficie, absorbe la energía solar y la convierte en calor para luego transferir esa energía al fluido de trabajo, que en nuestro caso es el aire.

### 3. Modelo Matemático Teórico

Se presenta un esquema, las geometrías adoptadas y las consideraciones para posteriormente indicar el balance energético.

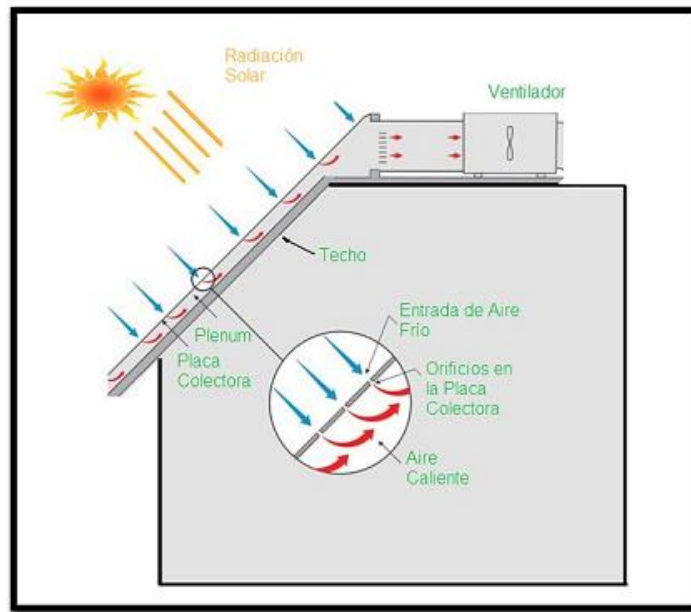


Figura 2. Esquema Colector Solar. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Chapas Metálicas Geometrías Estudiadas:

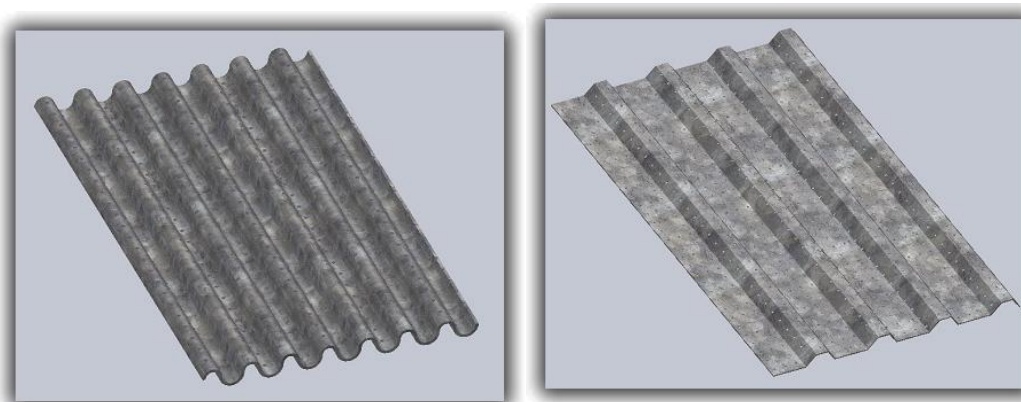


Figura 3. Perfil de la Chapa Senoidal y Trapezoidal. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

Consideraciones adoptadas:

- a) El colector funciona en estado estacionario.
- b) El flujo de aire a través de las perforaciones fue considerado homogéneo, sin considerar los efectos de la fricción y de flotabilidad.
- c) El flujo se considera uniforme dentro de la cámara de aire (Plenum).
- d) La temperatura en la placa colectora y la placa posterior fueron consideradas uniformes (isotérmicas).
- e) La cámara de aire (plenum) se considera isotérmica.
- f) El sistema opera en servicio de ventilación forzada.
- g) La placa colectora es considerada gris y difusa.
- h) Las perdidas generales a través de las caras laterales del colector son consideradas insignificantes en comparación con las pérdidas en el colector y placa posterior.
- i) Las perforaciones en la placa colectora son circulares y con paso cuadrado entre perforaciones.
- j) La transferencia de calor por radiación hacia el suelo se considera despreciable.
- k) La dirección del viento sobre la superficie exterior a la placa colectora se considera perpendicular a las corrugaciones de la chapa. Balance de Energía:

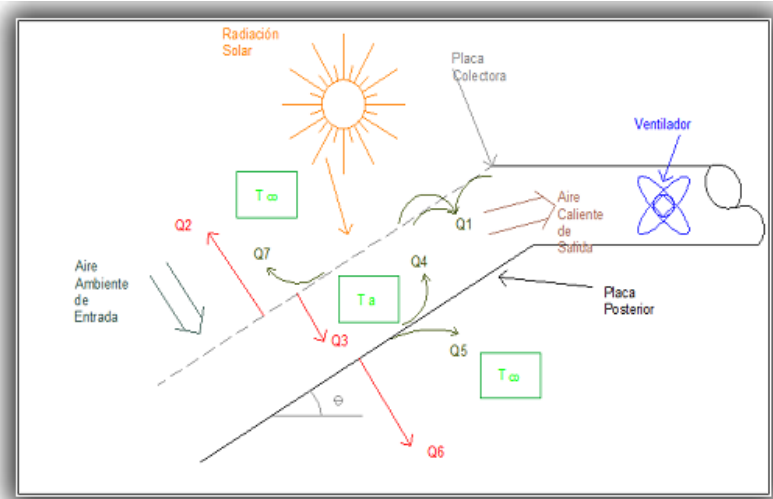


Figura 4. Esquema de Balance de Energía. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Placa Colectora [4], [5] y [6]:

$$\Delta E_{col} = (\alpha_{col} I_t A_2) - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_7) \quad (4)$$



Cámara de Aire (Plenum):

$$m_a C p_a (T_a - T_\infty) = (Q_1 - Q_4) \quad (5)$$

Placa Posterior:

$$\Delta E_{pp} = (Q_3 + Q_4) - (Q_5 + Q_6) \quad (6)$$

Se supone la transferencia de calor entre placa colectora y aire ambiente de entrada por los orificios lo que hace mejor a esta configuración.

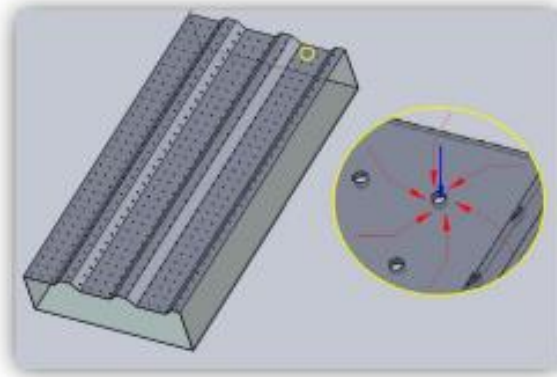


Figura5. Intercambio de calor aire-colector. Fuente: Elaboración Propia. Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

#### 4. Simulación

El modelo teórico creado con el fin de simular lo que ocurre en los colectores se escribirá en el compilador del software EES.

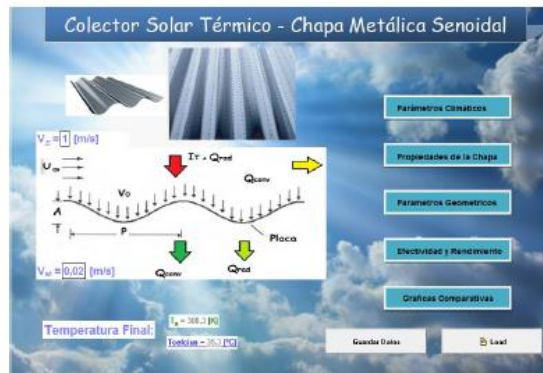


Figura 6. Pantalla Inicial Programa EES Colector Solar Térmico–Chapa Senoidal. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

Resultados del Modelo y Análisis: a continuación se detalla una tabla con los valores adoptados para la simulación.

Tabla 1. Parámetros de Entrada. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Nº de Orden	Parámetros de Entrada	Rangos
1	Velocidad de Ataque	0,02-0,03 m/s
2	Radiación Solar	400-900 W/m <sup>2</sup>
3	Temperatura Ambiente	30°C
4	Velocidad del Viento	1,2 m/s
5	Caída de Presión a través del Colector	25-80 Pa
6	Ancho del Plenum	150 mm
7	Paso	12-24 mm
8	Diámetro de las Perforaciones	0,8 - 2mm
9	Material del Colector	Chapa Zincoalum
10	Parámetros de diseño empleados como referencia:	
	Absortividad	0,95
	Emisividad	0,85
	Paso	20 mm
	Diámetro de las Perforaciones	1,25 mm

Rendimientos, curvas comparaciones: a seguir los gráficos con los resultados obtenidos, para chapas metálicas senoidal:

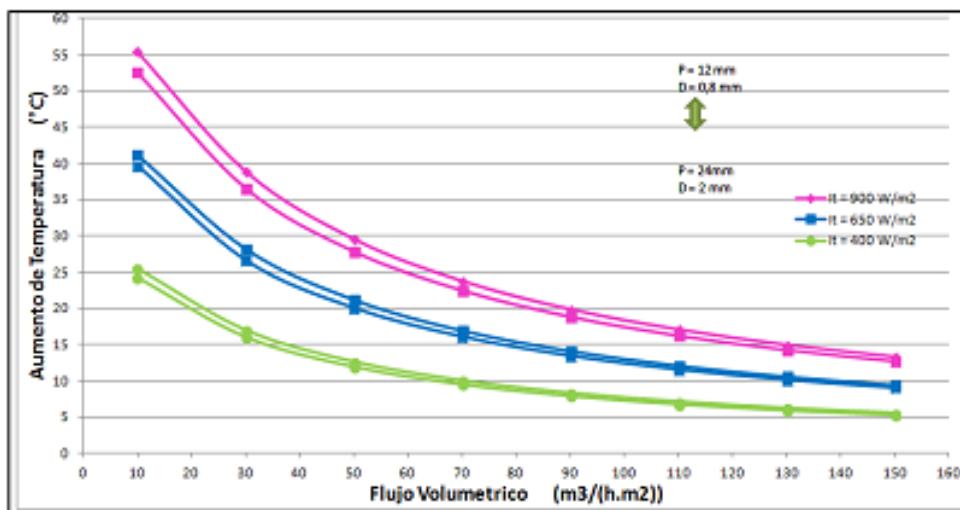


Figura 7. Efecto del diámetro de la perforación y el paso en la temperatura del aire. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

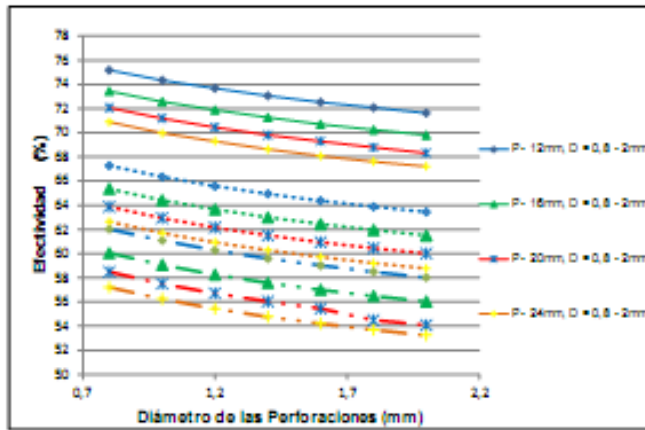


Figura 8. Efectividad en función del diámetro de las perforaciones y el paso entre las perforaciones. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

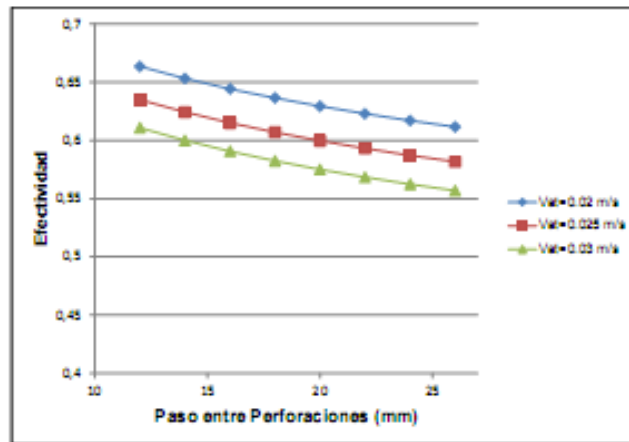


Figura 9. Efectividad en función al paso. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

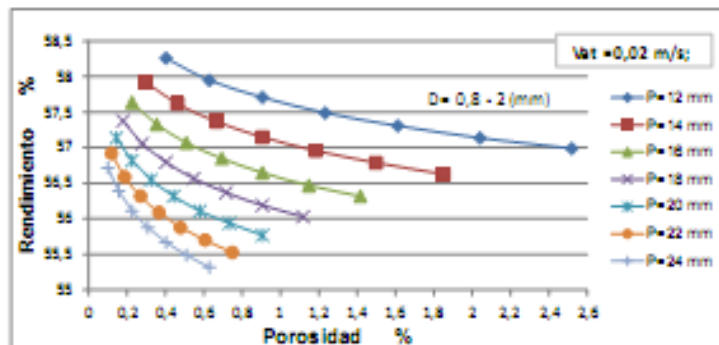


Figura 10. Efectividad en función a la porosidad. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

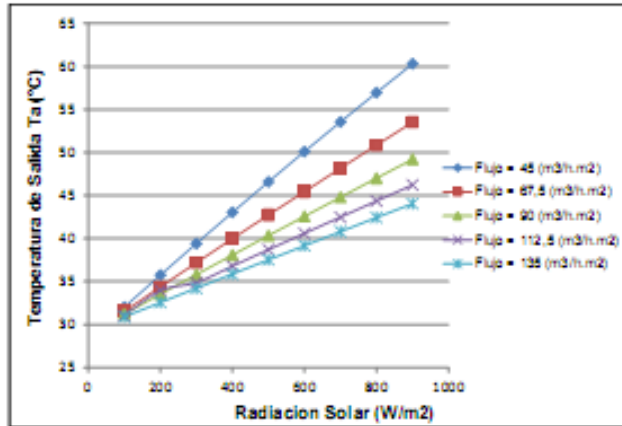


Figura 11. Temperatura de salida en función a la radiación solar. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

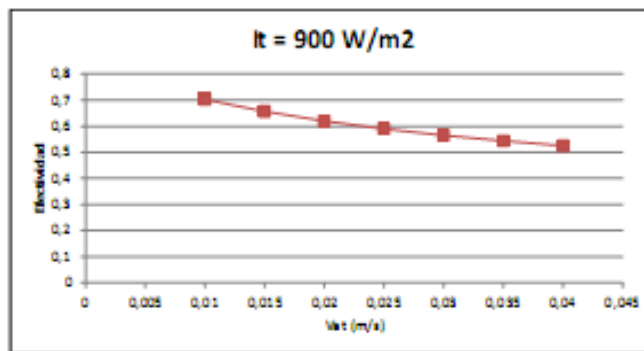


Figura 12. Efectividad en función a la velocidad de ataque. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

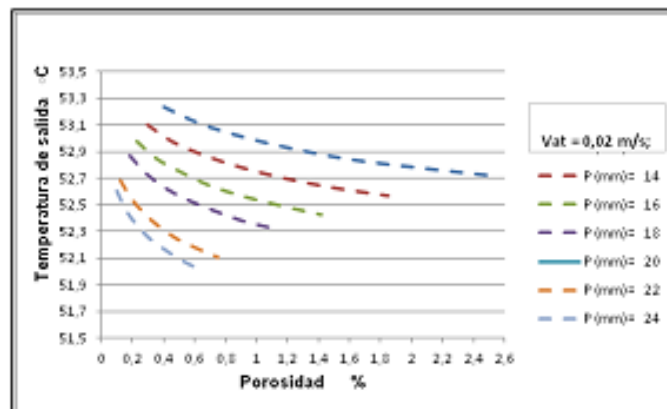


Figura 13. Temperatura a la salida en función a la porosidad. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

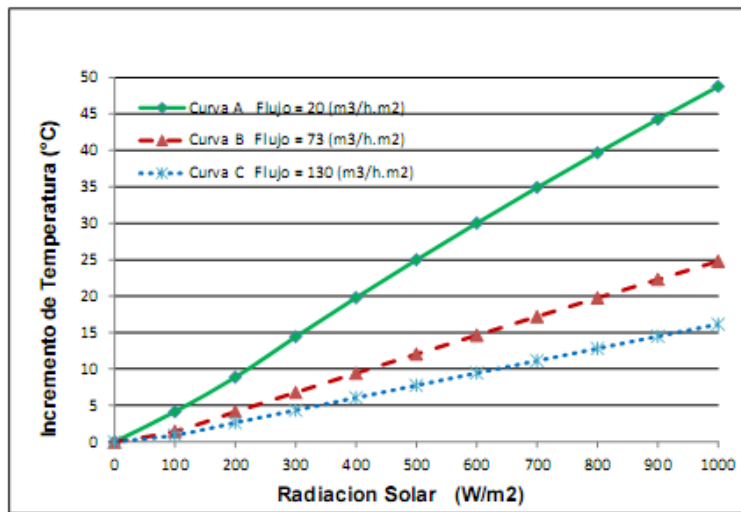


Figura 14. Incremento de temperatura VS Radiación Solar. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Los resultados del modelo se utilizaron para mostrar los efectos de los parámetros en el rendimiento del sistema para una temperatura del aire de suministro entre 40-55 °C, destinado al uso en aplicaciones de secado mediante el uso de la energía solar como medio energético. Las observaciones indican que la capacidad de absorción solar, el paso, y la velocidad de ataque o tasa de flujo de aire tienen el efecto más fuerte sobre el colector en cuanto a su efectividad de intercambio de calor, así como el rendimiento, lo cual se ha visto en ambas geometrías de colector. Así, también se observa que el efecto de la porosidad en la efectividad de intercambio de calor es moderado. Los resultados indican el rendimiento térmico prometedor de este sistema para el rango de temperatura entre 40-55 °C. Además de ofrecer alternativas a sistemas de secado industrial, para que los mismos no sean de fuente energética convencional pura, sino que sean híbridos. Sin embargo, establecer un buen equilibrio entre la tasa de flujo de aire, aumento de la temperatura del aire, la efectividad del colector y la pérdida de presión es la clave para lograr el mejor rendimiento de los colectores. Cabe resaltar que no existe una diferencia considerable en el uso de las chapas senoidales o las trapezoidales, si hablamos en términos térmicos los resultados son bastante aproximados [6]. Comparativas Térmicas entre la Geometría Senoidal y la Trapezoidal:

- Diferencia en la Elevación de Temperatura 1,4 °C.
- Diferencia en la efectividad de la transferencia de calor 2,5 %.
- Diferencia en el rendimiento en un 2,2 %.



### 5. Aplicación del Modelo para el estudio de caso.

Ejemplo de Aplicación: se compara el secado con el colector solar perforado estudiado y un secador que utiliza energía eléctrica, se emplearan realizados por el Ing. Jean Claude Pulfer, que es Investigador del LME-FIUNA.

Tabla 2. Parámetros Considerados para el Proceso de Secado de Stevia. Fuente: Datos proveído por el Ing. Jean Claude Pulfer.

Parámetro	Cantidad	Unidad
superficie a cultivar	20	ha
rendimiento específico anual	5.000	kgbs/ha
cantidad cosechada anual	100.000	kgbs
cantidad de cortes anuales	3	
cantidad cosechada por corte	33.333	kgbs
duración de cada corte	80	días
cantidad cosechada por día	417	kgbs/día

Parámetros de entrada del colector para cada día promedio por estación en el cual se realiza la simulación:

Tabla 3 - Valores por Estación del Año. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO
Irradiancia Promedio (W/m <sup>2</sup> )	900	850	820	710
Altura Nubosa (m)	1.080,45	1.298,80	1.201,92	1.030,86
Nubosidad %	63,12	59,60	64,10	63,60
Absortividad	0,95	0,95	0,95	0,95
Emisividad	0,85	0,85	0,85	0,85
Temperatura de aire promedio (°C)	27,33	24,00	29,39	32,25
Caudal (m <sup>3</sup> /S)	4,90	4,90	4,90	4,90
Paso (mm)	35	35	35	35
Diámetro (mm)	2	2	2	2
Profundidad del Plenum (mm)	150	150	150	150

En este caso el valor de la radiación es el promedio de la Irradiancia de un día promedio por estación entre las 09:00 y las 16:00. La mejor disposición para el valor del ángulo del colector según cálculos obtenidos es de 30 grados de inclinación con respecto a la horizontal y con dirección al Norte, según nuestra localización geográfica. Con esta disposición se pierde un poco de radiación sobre el plano inclinado en verano pero se gana en el resto del año. Una vez introducidos los parámetros de entrada en el software obtuvimos los siguientes resultados para la placa Senoidal:



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

Tabla 4 - Resultados Placa Senoidal. Fuente: Elaboración Propia, Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

	Altura H (m)	Ancho W (m)	Temperatura de Salida (°C)	Calor Útil (KW)	Rendimiento %	Perdida de presión (Pa)
OTOÑO	10	18	44,80	98,26	60,65	31
INVIERNO	10	18	40,49	93,92	61,39	31
PRIMAVERA	10	18	46,43	91,80	60,00	31
VERANO	10	18	45,86	77,02	59,32	31

En la simulación se varia los valores de Ancho y Altura del colector,, para una profundidad de 0,15 m, para así obtener valores satisfactorios de temperatura para el proceso, verificando además que los parámetros de caída de presión estén dentro del mínimo permitido (al menos 25 Pa) para evitar los puntos calientes en la placa colectora. Se puede calcular un área mayor para obtener la temperatura de trabajo de 45°C en invierno, pero en invierno debido a las condiciones ambientales existe poca producción de la hierba y como estaríamos sobredimensionando para las otras estaciones del año.

Consumo de Energía: El proceso de secado dura unas 8 horas/día, se tendrá 7 horas de autonomía solar para todas las estaciones en promedio, a excepción de invierno que se necesitará un respaldo eléctrico para alcanzar la temperatura satisfactoria, con esto se realiza el siguiente análisis por estación.

Tabla 5 - Ahorro por Empleo del Colector Solar en el Proceso de Secado. Fuente: Elaboración Propia, Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

	Energía Necesaria (kWh/día)	Energía ahorrada (kWh/día)	Energía de Respaldo (kWh/día)	Energía útil Captada (kWh/día)	Consumo de Energía Eléctrica (Gs/día)	Ahorro Diario (Gs/día)	Ahorro (%)
OTOÑO	800,86	700,75	100,11	700,75	20.921	146.450	87,50
INVIERNO	951,78	657,47	297,83	657,47	62.243	137.404	68,82
PRIMAVERA	707,49	619,06	88,44	642,59	18.482	129.377	87,50
VERANO	577,87	505,64	72,23	539,15	15.096	105.673	87,50
Costo (kWh)	208,99	Gs					



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

Gastos Anuales:

Tabla 6. Gasto Anual Secadero con Resistencias Eléctricas. Fuente: Elaboración Propia, Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

	Energía Necesaria (kWh/día)	Costo diario eléctrico (Gs)	Costo eléctrico mensual (Gs)	Costo Anual (Gs)	Consumo de Energía Eléctrica por tanda (Gs)
OTOÑO	800,86	167.371	3.347.428	38.094.753	83.686
INVIERNO	951,78	198.913	3.978.267		99.457
PRIMAVERA	707,49	147.859	2.957.179		73.929
VERANO	577,87	120.769	2.415.377		60.384
Costo (kWh)	208,99	Gs			

Tabla 7. Gasto Anual Secadero Híbrido. Fuente: Elaboración Propia, Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

	Costo eléctrico total mensual (Gs)	Ahorro Diario (Gs/día)	Ahorro Mensual (Gs/mes)	Gasto Mensual (Gs)	Gasto Anual (Gs)
OTOÑO	3.347.428	146.450	2.928.999	418.428	6.960.542
INVIERNO	3.978.267	137.404	2.748.085	1.230.183	
PRIMAVERA	2.957.179	129.377	2.587.531	369.647	
VERANO	2.415.377	105.673	2.113.455	301.922	
Costo (kWh)	209	Gs			

Se observa la diferencia anual de 31.134.211 Gs. en el costo del proceso de calentamiento de aire. La comercialización está basada en la calidad de producto, pudiendo ser el precio de mercado de la Stevia entre 4.500 y 6.000Gs. el kilogramo, todo dependiendo de la calidad del secado. Los cálculos realizados son válidos para esta aplicación específica seleccionada, los mismos podrían sufrir variaciones para otra aplicación, pero siempre producirán ahorros energéticos y económicos. A seguir la Tabla comparativa técnica y de costos de ambos sistemas:

Tabla 8. Tabla comparativa. Fuente: Elaboración Propia, Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

	Artesanal a eléctrico	Artesanal a híbrido
<b>Características Técnicas</b>	Resistencias eléctricas y ventiladores	Colector solar, con ventiladores y respaldo de resistencias eléctricas
<b>Costo de Inversión</b>	G. 111.262.800	G. 131.062.800
<b>Costo de Energía (G./año)</b>	G. 38.094.753	G. 6.950.542
<b>Costo de RRHH (G./año)</b>	G. 60.856.000	G. 60.856.000
<b>Costo de Mantenimiento (G./año)</b>	G. 17.585.000	G. 17.585.000



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

Se realiza un análisis económico, analizando los escenarios de la migración de un Secadero Artesanal al Eléctrico y otro del Artesanal al Híbrido, para conocer y definir el flujo de caja de manera a obtener el VAN y TIR y evaluarlos. El horizonte tomado para los escenarios planteados será de 11 años. En los escenarios considerados se supone que ya se cuenta con los recursos para la producción, el terreno y la mano de obra.

Según el análisis, para que el escenario de un Secadero Artesanal al eléctrico, sea viable se necesita que el valor de la tasa de incremento del precio de mercado de la Stevia sea al menos un 3,5 % anual, con el cual arroja un VAN positivo y TIR de 12%.

En cambio, para el escenario Artesanal Híbrido (Solar/Eléctrico), los resultados para diversos precios de mercado de la stevia, arrojan resultados positivos, como ser:

- Con 0% de incremento del precio anual de la stevia: VAN positivo y TIR del 27%
- Con 1% de incremento del precio anual de la stevia: VAN positivo y TIR del 31%
- Con 3% de incremento del precio anual de la stevia: VAN positivo y TIR del 40%

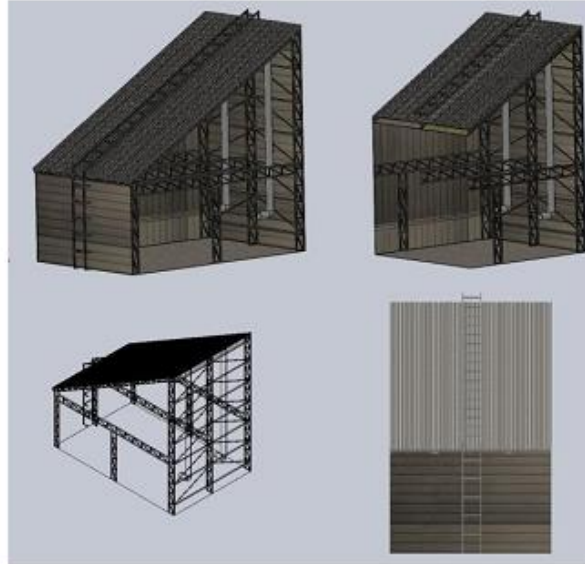


Figura 15. Estructura del secador. Fuente: Elaboración Propia, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

## 6. Conclusiones

Al término de esta investigación se logró obtener un mecanismo apto para el secado de productos, en base a parámetros definidos, con el uso de la energía solar para generar ahorros económicos y energéticos. Los resultados del modelo se utilizaron para mostrar los efectos de los parámetros



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

claves en el rendimiento del sistema para una temperatura del aire de suministro entre 40-55 °C, destinado al uso en aplicaciones de secado mediante el uso de la energía solar como medio energético. Los resultados indican que la capacidad de absorción solar, el paso, y la velocidad de ataque o tasa de flujo de aire tienen el efecto más fuerte sobre el colector en cuanto a su efectividad de intercambio de calor, así como el rendimiento, lo cual se ha visto en ambas geometrías de colector. Así, también se observa que el efecto de la porosidad en la efectividad de intercambio de calor es moderado. En base a la evaluación económica realizada a los escenarios de secado, para una migración del sistema de secado artesanal al sistema con uso de resistencias eléctricas, y al uso del sistema híbrido, se concluye que esta última alternativa, aunque requiere una inversión inicial mayor, el costo operativo es menor, haciendo que el escenario se vuelve más viable económicamente, esto, inclusive si el precio de la Stevia se mantuviese constante durante los años de análisis, arrojando un valor de TIR igual a 27%, pero para que sea óptimo se requiere de al menos un valor de 1% en el incremento del precio de mercado de la Stevia. Así entonces se visualiza que es posible la inclusión del sistema solar térmico para procesos de secado y se demuestra que es una alternativa para diversificar la matriz Energética Nacional.

## REFERENCIAS

- [1] Frank Kreith, Mark S. Bohn. Principios de transferencia de calor. Thomson. México, 2001.
- [2] Dirección de Recursos Energéticos del Vice Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, Paraguay, 2011.
- [3] Cengel Yunus A., - Afshin J. Ghajar. Transferencia de Calor y Masa. Mejioco : Mc Graw Hill, 2011.
- [4] S. Motahar, A. Akbar Alemrajabi. An Analysis of Unglazed Transpired Solar Collectors, 2010.
- [5] Kutscher, Keith M. Gawlik - Charles F Wind Heat Loss from Corrugated, Transpired Solar Collectors, 2002.
- [6] Kutscher C. F. Development of a flow distribution and design model for transpired solar collectors, 1997.
- [7] Bordón, J.A., Gonzalez, D.S., Modelado y Simulación de un Calentador de Aire basado en Chapas Metálicas utilizando Energía Solar Térmica para Secado a Baja Temperatura, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Electromecánica, Universidad Nacional de Asunción.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Laboratorio de Mecánica y Energía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay, por el apoyo en la realización de este trabajo.