

Usos de Las Ciencias Exactas en Las Aplicaciones de Energía Solar- en particular Cocina/ Horno Solar.

Shyam S. Nandwani (*) Ph.D.

Profesor,
Laboratorio de Energía Solar, Departamento de Física,
Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica (Centro América)

Tel: (506)- 2773 482, 2773 345 Fax: 2773 344

E mail: snandwan@una.ac.cr

Web: www.una.ac.cr/fisica/energiasolar.htm

*) Miembro- International Solar Energy Society (ISES), Alemania.
Miembro- International Society on Renewable Energy Education (ISREE), EUA.
Miembro- Solar Cookers International (SCI), Sacramento, CA, EUA
Miembro- Red Iberoamericano de Secado Solar de Productos Alimenticio (RISSPA /CYTED),
Argentina,
Miembro- Senior Asociado: the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics
(ICTP), Trieste, Italy.

RESUMEN:

En esta presentación se trata de responder las preguntas comunes de los alumnos- para que sirve la Ciencia en nuestra vida diaria. Usamos conceptos del Reflexión, Refracción, Conducción, Convección, Radiación, Calor sensible y Latente etc. en usos de la energía solar (fuente gratuita, limpia y abundante) para diferentes aplicaciones. Debido a que muchos estudiantes del primarias y secundarias han visitados a nuestro laboratorio para conocer la construcción de Cocinas/ hornos Solares, por lo tanto explicamos este conceptos de ciencias en Cocinas Solares para usos domestico. Aparte de la enseñanza, estos artefactos sirven también para reducir consumir fuentes convencional de energía y reducir la polución y mantener nuestro ambiente mas saludable.

PALABRAS CLAVE:

Enseñanza, Ciencia, Física, Energía Solar, Cocina Solar, Ambiente.

1. INTRODUCCION:

Sin duda Ciencia y Tecnología ha jugado un papel muy importante en mejorar nuestra calidad/mejor facilidad de vida, sea para vestir, comunicación, diversión, salud, alimentos etc. Para lograr estos los empresarios usando conceptos de ciencias (Física, Química y Biología y matemática etc.) han desarrollados varios artefactos, como TV, Cámaras, Teléfono, Celular, maquinarias especiales. Muchas veces los estudiantes preguntan la importancias de estudio o algunos cursos en sus carreras, por lo tanto respondiendo esta preguntas puede crear más interés en estudio o motivar a los estudiantes. Aquí en nuestro laboratorio de Energía Solar, aparte del público en general, llegan muchos estudiantes del primaria y secundaria para conocer diferentes

dispositivos solares para sus proyectos científicos. Mostramos los artefactos y también explicamos el rol de cada componente, para mostrar la relevancia. En esta presentación se pretende mostrar los usos de algunos conceptos de física para explicar el funcionamiento de dispositivos solares pero en particular la Cocina Horno Solar para cocinar los alimentos. Este dispositivo práctico, además sirve para ahorrar fuentes convencionales de energía, reducir deforestación y la emisión del Dióxido de Carbono en la atmósfera, por ende minimizar las consecuencias adversas.

La Foto 1 muestra nuestro parqueo solar, donde pueden apreciar varios dispositivos funcionados con energía solar como Térmicos (Calentador, Cocina, Destilador, Secador) y Eléctrico (Alumbrado, TV, Bombeo, Refrigeradora etc.).



Foto 1. Algunos artefactos solares diseñados e estudiados por el autor (UNA).

Como explicamos hemos escogido solo un artefacto para explicar nuestro objetivo. Foto 2a muestra una cocina solar más común, diseñada, estudiada por el autor en 1979 y para cocinar en la casa. Vale la pena informar que de la energía que consume una casa, un gran porcentaje (del 30 al 90 por ciento) se emplea para cocinar alimentos. La Figura 2b muestra algunos detalles de esta cocina.



Foto 2a. Cocina/Horno Solar para uso familiar.

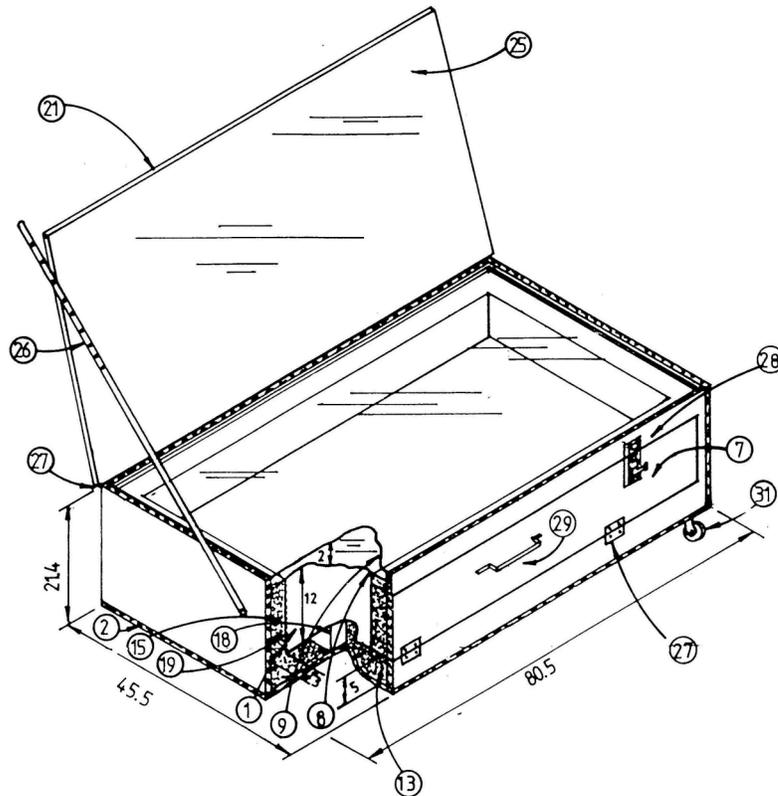


Figura 2b. Algunos detalles del Horno Solar.

En seguida explicamos en breve la construcción de este horno/cocina, diseñado e estudiado por el autor por primera vez en Costa Rica, a principios de 1979, usando principios básicos de Física, Química y con materiales y tecnología nacional.

2. CONSTRUCCION- HORNO/COCINA SOLAR:

Consiste en una **caja** de acero inoxidable (o madera) con **vidrio plano en la parte superior**. Dentro de la caja hay una **lamina metálica** de hierro galvanizado (**calibre 20- 24) pintada por parte superior de negro mate**.

En la parte posterior y lateral de la lamina (dentro del la caja) hemos usado un **aislante de calor**, lana de vidrio.

Usamos un **reflector de papel aluminio**, pegado a la lamina de metal o plywood fuera de la caja.

Dicho reflector puede **variar su ángulo con respeto a la horizontal** usando una varilla con varios huecos. En la parte frontal de la caja existe una puerta, forrada (en la parte interior) con lana de vidrio y papel aluminio; para introducir y sacar los alimentos.

El tiempo de cocción depende de la cantidad de radiación solar, temperatura del ambiente, velocidad del viento, calidad y cantidad de los alimentos y orientación del horno etc. Aunque los resultados detallados se pueden observar en otros folletos más completos, sin embargo en un día normal, la temperatura del aire y de la placa metálica dentro del horno, puede alcanzar hasta 100- 150 °C. Este horno también sirve para calentar agua sea para hacer café, te y para **pasteurizar (67- 70 °C)**.

3. PREGUNTAS COMUNES POR PARTE DEL ESTUDIANTES:

Porque Vidrio

Porque Placa Metálica

Porque Placa y olla pintada de Negro

Porque Aislantes,

Porque Caja no muy alta,

Que papel juega Espejo,

Porque lamina gruesa o delgada,

Como se medir temperatura de pasteurización del agua etc.

Para responder estas preguntas, vemos los principios básicos de Ciencia:

1. LUZ VIAJA EN LA LINEA RECTA:

Un cuerpo luminoso como Sol, bombillo o candela etc. emite luz que viaje en todas las direcciones pero en la línea recta.

APLICACION: El hecho que la luz viaja en la línea recta se puede usar para calcular largo de la sombra causado por una fuente luminosa y una pared o árbol. Conociendo la altura del pared (h), ángulo del incidencia del sol (θ_i) y usando simple geometría (Fig. 3), se puede calcular la sombra $s = h \tan \theta_i$. El objetivo es minimizar la sombra o área, A efectiva ($s \cdot a$) de la sombra.

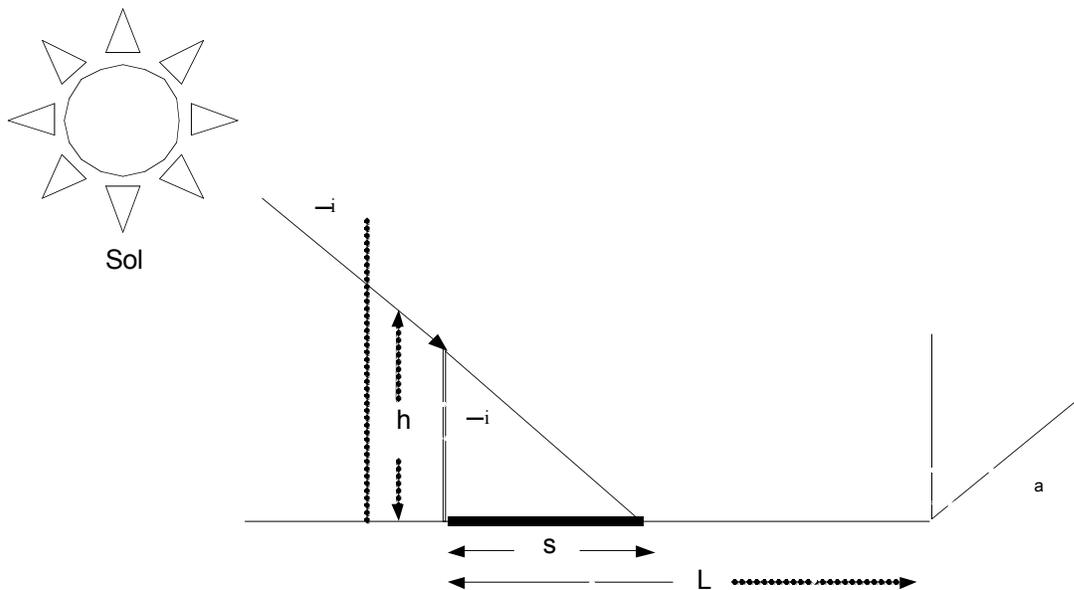


Figura 3. Calculo de sombra (s) por una pared con ángulo de incidencia del sol.

2. LEY DEL STEFAN'S Y BOLTZMAN:

Stefan in 1879 mostró que la radiación total emitido por un cuerpo caliente (con temperatura del T_c) es proporcional a T_c^4 . T_c es en K ($^{\circ}\text{C} + 273$).

$$Q = \sigma T_c^4. \tag{1}$$

Donde σ es Constante del Stefan ($= 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$). En el caso existe otro cuerpo con temperatura T_a (también en K) cerca del esto, la cantidad del energía perdida por el primer cuerpo esta dado por

$$Q = \sigma (T_i^4 - T_a^4) \tag{2}$$

Ley del Stefan's Boltzman

APPLICATION: Esta ecuación sirve para calcular la pérdida del calor por vidrio (T_c) hacia al ambiente (T_a).

3. ENERGIA Y LONGITUD DEL ONDA ELECTROMAGNETICA:

Longitud de onda emitida por fuente luminosa no es constante sino depende principalmente de la temperatura – dado por dos leyes:

3A. LEY DEL PLANCK - Distribución de energía $E(\lambda)$, emitida por un cuerpo negro.

Plank in 1901 demostró la siguiente relación teóricamente :

$$E_{\lambda} = \frac{8 \pi h c}{\lambda^5 (\exp^{(hc/\lambda kT)} - 1)} \quad (3)$$

h es constante del Planck (6.63×10^{-34} J-s),

c es la velocidad del ondas electromagnética, (3×10^8 m/s),

k es constante del Boltzman (1.38×10^{-23} J/°K)

T_c es la temperatura del cuerpo luminosa en °K (= °C + 273).

APLICACION: En el caso particular del Sol, cuya temperatura exterior es de 6000 K, se puede calcular la variación de la energía a diferente longitud. Esto será,

7 % en el rango del ultravioleta (< 4000 Å°),

47 % en el rango visible (4000- 8000 Å°),

46 % en el rango infrarrojo (>8000 Å°). (1Å° = 10^{-10} m)

La Figura 4 muestra esta variación para un cuerpo a la temperatura de 6000 °K (Como Sol) y otro cuerpo a temperatura de 400 °K (127 °C).

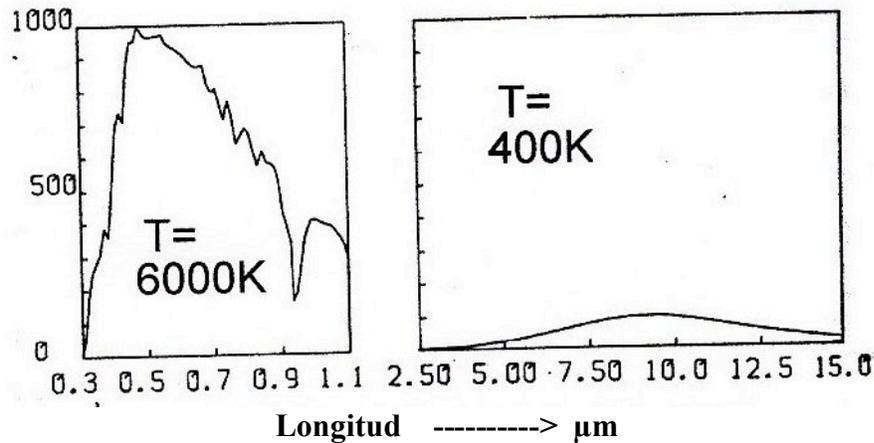


Fig. 4. Intensidad de energía emitida por un cuerpo negro a temperatura de 6000 K y 400 K.

Rango Ultravioleta es responsable para efectos químico – positivo (como desinfectante, y broncear) y negativo (quemadura y cáncer del piel y mas),

Rango Visible es responsable para ver o visualizar otro objeto,

Rango Infrarrojo es responsable para sentir calor (como estar frente una estufa encendida) .

Se puede observar que en el caso del Sol, mayor parte del radiación es emitida en el rango de baja longitud (menor que 0.8 μm o 8000 Å), en cambio energía emitida por otro cuerpo a temperatura de 100-150 °C, mayor parte de energía es emitida en mayor longitud de onda (mayor de 8000 Å).

4B. LEY DEL WEIN PARA UN CUERPO NEGRO, $\lambda(T)$:

Otro lado Wein demostró que producto del longitud de onda correspondiente máxima energía (λ_m) y la temperatura absoluta del cuerpo es constante, es decir,

$$\lambda_m \times T = \text{Constante} \tag{4}$$

El constante se llama como Wein Displacement constante y tiene valor del 0.002898 m-°K.

APLICACION: Del ecuación 6 se puede ver de nuevo que un cuerpo a mayor temperatura (como el Sol) emite radiaciones en menor longitud de onda y vice versa.

5. LA VARIACION DEL INTENSIDAD DEL LUZ CON LA DISTANCIA DEL FUENTE LUMINOSO Y ANGULO DE INCIDENCIA.

Según Lambert Cosine Law y Inverse square law, la intensidad del energía luminosa sobre una superficie es inversamente proporcional a la distancia (d) del fuente y la inclinación (θ) del superficie. Matemáticamente:

$$I_{\theta} = I_n \text{ Cos } \theta / d^2. \quad (5)$$

donde I_n es la intensidad cuando la superficie esta perpendicular sobre rayo luminoso y es I_{θ} es la intensidad sobre superficie inclinada a un ángulo θ ,

APLICACION: Esta ecuación indica que para una distancia fija (distancia Tierra- Sol es cerca de 150 millones de km.), la intensidad de energía sobre una superficie es inversamente proporcional a la inclinación del superficie con respecto rayos incidente (ángulo de incidencia). Es decir mayor ángulo. menor será la intensidad o energía y vice versa. Para fines prácticas, para los captadores solares (principalmente pequeños), es muy importante considerar este ángulo (inclinación) del superficie para aprovechar máxima radiación solar. Para los artefactos grandes, usando este concepto puede calcular ángulo optimo durante los periodos del uso del artefacto (s).

6. LEYES DE REFLECCION:

Luz que viaje en la línea recta cuando incide sobre una superficie reflectora (o rebotadora) puede cambiar su trayectoria conforme dos leyes del Reflexión:

Según primera ley de reflexión, si la luz o energía incide sobre una superficie a un ángulo θ_i (angulo de incidencia, medida partir del normal), este será rebotado (reflejado) a un ángulo θ_r (ángulo de reflexión, también medidos del normal) IGUAL al ángulo de incidencia.

Según segunda ley de reflexión, las tres líneas- rayos incidente, rayos reflejados y rayo normal están en el mismo plano.

A. APLICACION- INCLINACION NECESARIO PARA EL REFLECTOR:

Es bien conocido que la dirección de rayos solar (o ángulo de incidencia) sobre superficie reflectora, siguen cambiando su dirección continuamente (movimiento aparente del Sol con respecto a la Tierra). Por lo tanto para aprovechar máxima la radiación solar sobre superficie absorbadora, es muy importante variar ángulo del reflector en tal forma que ángulo del incidencia sea igual que ángulo del reflexión'.

Supongamos que AB es la superficie del vidrio y BC es el reflector cuyo ancho es el mismo que del vidrio. (Fig. 5).

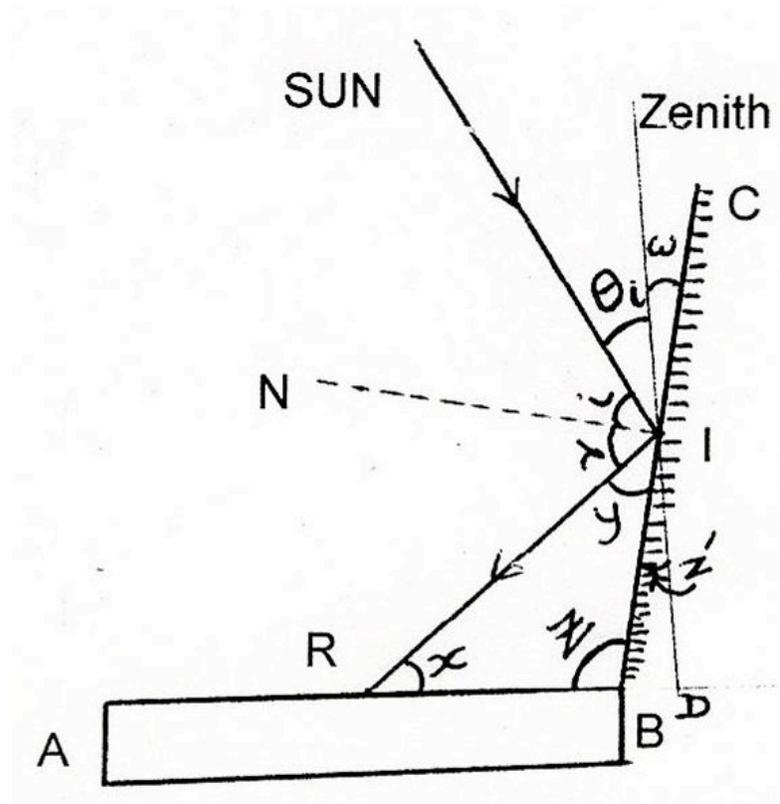


Fig. 6. Angulo apropiado del un reflector para diferentes ángulo de incidencia.

A cualquier momento (hora del día), SUN I es la dirección del rayo incidente (ángulo de incidencia partir del Cenit es θ_i) sobre el reflector BC. Nuestro objetivo es ajustar el ángulo del reflector (Z, a partir del horizontal) tal forma que rayo reflejado llegue sobre el vidrio AB. Se puede mostrar que

$$Z = (2/3) * (180 - \theta_i) \tag{6}$$

Como un simple chequeo, cuando $\theta_i = 0$ (casi medio día),

$$Z = 120^\circ .$$

Para cualquier otra hora ($\theta_i \neq 0$ o $\theta_i > 0$, antes o después de medio día), Z será menor que 120°

La Figura 6 muestra la variación de este ángulo del reflector durante todo el día y para todos los meses.

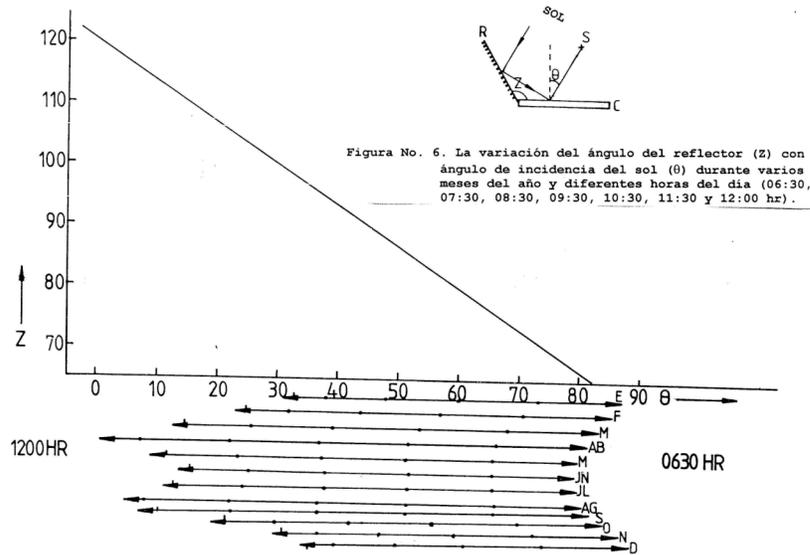


Fig. 5. Angulo apropiado del reflector para diferentes horas y días del año.

Aunque teóricamente este concepto puede usar para calcular ángulo del reflector a cualquier hora, sin embargo para fines practico, se inclinar reflector tal forma que rayos reflejadas (o brillo, la cual puede observar) reflejado llegue hasta esquina /borde de la caja.

7. TRANSMISION DEL ONDAS LUMINOSA: VIDRIO TRANSPARENTE CON LONGITUD DE ONDA:

La Figura 7 muestra la intensidad relativa del radiación luminosa pasando un vidrio común de 3 mm para diferentes longitud de ondas.

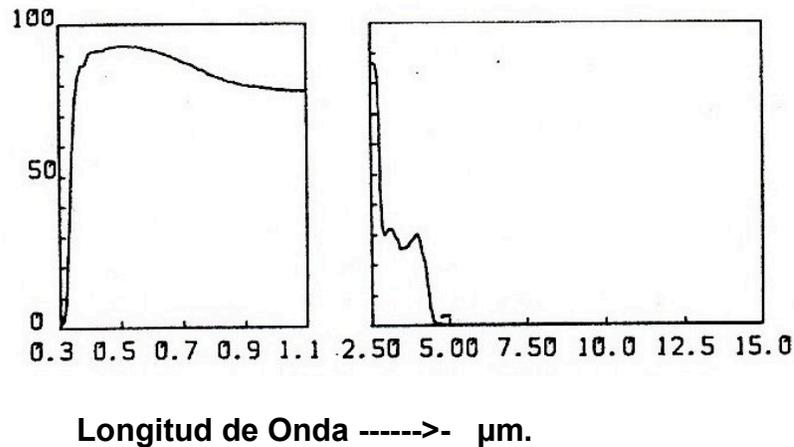


Figura 7. La intensidad relativa del radiación luminosa a través de un vidrio común para diferentes longitudes de ondas.

APLICACION: Con el fin de no entrar la lluvia y polvo etc., tenemos que tapar la caja del horno. Para buscar el material necesario, si comparamos (combinamos) la espectro de las ondas emitida por el Sol (6000 K), y la transmisión del vidrio para diferentes longitudes de ondas, (Fig. 4 y 7), vemos que prácticamente 90-92% de la radiación incidente (solar) es transmitida por el vidrio. Por lo tanto es recomendable poner algún material transparente sobre la caja, sea vidrio (preferiblemente) o plástico.

8. CUERPO NEGRO:

Cuando la radiación iluminosa incide sobre una superficie (no transparente) parte de esto esta absorbidas parcialmente y restante es reflejada. Cuando la parte absorbida es mayor que reflejada (lamina pintada con color oscuro), se dice que la superficie es Buen Absorbedor y cuando la parte reflejada es mayor que absorbida (pintado con color brillante) se dice que la superficie es Buen Reflector. En el caso que una superficie absorbe todas las radiaciones iluminosa (no reflexión y no transmisión) en todas las longitudes de ondas, se dice esta superficie es un Cuerpo Negro- como una superficie pintado con color negro mate, la cual absorbe cerca del 96 al 98% de la radiación luminosa.

APLICACION:

Debido a que queremos que la superficie dentro del horno solar, capta la máxima radiación solar y otra superficie fuera del horno, rebota (refleja) la máxima radiación solar hacia la placa absorbidora, por lo tanto, usamos dentro del horno la lamina captadora pintada de color muy oscuro (preferiblemente color negro) y lamina fuera muy brillante como papel aluminio o espejo.

9. LEY DEL KIRCHOFF:

Se ha observado que cuerpos que son buen absorbedor de la radiación también son buen emisor de la radiación /calor y viceversa.

APLICACION:

Con el fin de absorber máxima la radiación solar, hemos pintado la lámina dentro del horno con un color negro como buen absorbedor. Por lo tanto esta superficie cuando absorbe toda la radiación solar se calienta mucho, digamos cerca 100 - 150 °C. Una vez que calienta esta lamina, según esta ley de Kirchoff (desafortunadamente) va emitir (o perder) también mas energía en forma de calor hacia al ambiente, la cual bajaría la temperatura de la placa. Por lo tanto para minimizar esta inconveniencia usamos aislante del Calor dentro de la caja del horno.

10. UNA VEZ MAS WEIN DESPLACEMENT LAW- Y LA TRANSMISSION DE ENERGIA EN MATERIALES:

Hemos visto que la lamina absorbidora puede alcanzar un día soleado una temperatura del 150 °C, (mucho menor que la temperatura del Sol). Por lo tanto según Ley del Wein, longitud de ondas emitida por esta superficie caliente será en mayor longitud de onda. (Fig. 4).

Por lo tanto tenemos que buscar un material (transparente para la entrada de la radiación solar) cuya transmisión será muy baja en este rango de longitud de ondas.

Afortunadamente si observamos el espectro de transmisión del vidrio (Fig. 7 derecha), vemos que la transmisión del vidrio es muy baja en esta longitud de onda. En resumen este mismo material (vidrio o plástico) permite mayor entrada de radiación solar (del menor longitud de onda) proveniente del SOL, y menor salida de radiación calórica (mayor longitud de onda).

11. TRANSFERENCIA DEL CALOR:

Energía calórica siempre viaja del un cuerpo de mayor al otro cuerpo de menor temperatura. Además para que cuerpo caliente conduce más rápido, se usan materiales de buena conductividad como metal etc. Para que conduce menor (o no conduce) usan materiales de muy baja conductividad como plástico, lana de vidrio, cascarilla de arroz, papel etc. La Tabla 1 muestra conductividad térmica de algunos materiales:

Tabla 1. Material Conductividad Térmica (W/m °C).

Cobre	385
Aluminio	205
Hierro	52
Vidrio	1.0
Agua	0.591
Papel	0.127
Cáscara de maní	
O viruta de madera	0.10
Lana de vidrio	0.04
Aire	0.02624
Algodón	0.018

APLICACION: Esta transferencia es Buena y también mala noticia.

Es buena, cuando queremos la superficie que recibe la radiación solar y se calienta, queremos que esta calor energía térmica pase rápido otro parte del lámina, hacia la olla con los alimentos para cocinar. Por lo tanto usamos metal para lámina absorbidora y

para las ollas. Debido a la placa tiene mayor temperatura y los alimentos tiene menor temperatura, por esta transferencia (de alta a baja temperatura) la comida recibe la energía calórica y sigue cocinando.

La mala noticia que una parte de esta energía calórica del placa metálica, también pasa a la caja, la cual está en contacto con el ambiente, por lo tanto un gran parte de energía se pierde hacia fuera a través de la caja. Por lo tanto usamos material aislante alrededor y parte inferior (abajo de la lamina absorbidora) de la caja, para minimizar esta pérdida.

12. CALOR ESPECIFICO DEL SÓLIDO, LIQUIDO Y GASES:

El calor específico de un material es la cantidad de energía requerida para aumentar la temperatura del 1 kg de este material por 1 °C. Se expresa como C, en la unidad del Kcal/ Kg °C. Tabla 2 muestra algunos valores:

Tabla 2.	Material	Calor Especifico (kCal. / kg °C)
	Hierro	0.11
	Acero	0.12
	Aire	0.23
	Concreto	0.23
	Madera	0.33
	Agua	1.0
	Mayorías de los alimentos Comestibles.	0.9- 0.95

APLICACION:

Este valor del C se utiliza para calcular la energía (Q_s) total necesaria, para aumentar temperatura de M Kg de material a una temperatura de ΔT (°C), a través de la ecuación,

$$Q_u = M \cdot C \cdot (T_{s2} - T_{s1}) \quad \text{kcal.} \quad (7)$$

donde T_{s1} y T_{s2} son las temperaturas iniciales y finales del material. Con esta ecuación se puede estimar la energía total necesaria para cocinar los alimentos.

Concepto del calor específico también tiene aplicación para almacenamiento de energía calórica. Un material con Mayor (M X C) tiene mayor capacidad calórica para acumular la energía calórica para liberar posteriormente.

4. CONCLUSIONES:

Hemos demostrado la utilidad de algunos conceptos de Ciencia para explicar el diseño, materiales usados y funcionamiento del Cocina / Horno Solar. Usamos conceptos del Reflexión, Refracción, Conducción, Radiación, Calor sensible y Latente etc. Aparte de la enseñanza, estos artefactos sirven también para reducir consumir fuentes convencionales de energía y reducir la polución y mantener nuestro ambiente más saludable.

AGRADECIMIENTO:

El autor agradece sinceramente señores Eliecer Madrigal, Carlos Delgado, para colaborar en la construcción del cocina / horno solar.

BIBLIOGRAFIA- ALGUNOS:

1. Shyam S. Nandwani, Aplicaciones de Energía Solar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, www.una.ac.cr/fisica/energia/solar.htm
2. Shyam S. Nandwani, Energía Solar y Sus Aplicaciones, VIII Congreso Nacional de Ciencias (Fundación, CIENTEC), 27 al 28 de Agosto, del 2006, Universidad EARTH, Guacimo, Limón, Costa Rica, (www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2006/ShyamNandwani.pdf)
3. Shyam S. Nandwani, Calentadores Solares de Agua- Sistema Circulación Natural, Folleto popular- Teoría, Construcción y Experimentación, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 1992, pp. 33.
4. Shyam S. Nandwani, Libro-El Horno/Cocina Solar, Hagalo Usted Mismo, Construcción, Funcionamiento y Las Recetas. Pagina 100, Editorial FUNDACION UNA- Heredia, Costa Rica, 1993, 2004.
5. Shyam S. Nandwani, My twenty five of years of experience with solar cooking in Costa Rica- Satisfactions and Frustrations, presentado en Conferencia mundial "ISES 2005 Solar World Congress", Orlando, EUA, 6-12 de Septiembre del 2005, publicado en la memoria.
6. Shyam S. Nandwani, Teaching concepts of Physics, I- Applied to Solar Cookers, presentado en VII International Symposium on Renewable Energy Education, Oslo, Noruega, del 15 al 18 de Junio del 2000. Publicado en CD Rom.
7. Robert Metcalf, Solar Water Pasteurization and other Non Cooking Applications of Solar Cookers, Developments in Solar Cookers, Memoria, Segundo Congreso Mundial sobre Estufas Solares- Uso y Tecnología, Universidad Nacional, Heredia, 12 al 15 de Julio del 1994. pp. 44 -50.
8. Jerry D. Wilson, Física, Prentice Hall and Hispanoamericana, S.A. 1996.