

## Diseño de un equipo termosolar para el tratamiento de lactosuero

OLGUÍN-CAMACHO, Juan†, ROJO-PEÑA, Daniel, VENTURA-CRUZ, Ignacio y JIMÉNEZ-ISALS, Donaji\*

*Instituto Tecnológico Superior De Huichapan*

Recibido 6 de Enero, 2017; Aceptado 9 de Marzo, 2017

### Resumen

La producción de alimentos para el consumo humano trae consigo la generación de residuos derivados de dicho proceso, los cuales afectan el entorno en el que se desarrolla la actividad, un ejemplo de ello es la producción del queso, en donde se originan sustancias de desecho, entre las cuales se encuentra el lactosuero, que constituye un foco de contaminación, puesto que es expulsado al ambiente sin ningún tratamiento previo. El presente trabajo reporta el diseño y construcción de un sistema para la separación del lactosuero mediante la implementación de un proceso evaporación-condensación, basado en un arreglo de precalentamiento solar por medio de un canal parabólico, el cual fue calculado en relación con la carga térmica del proceso que se determinó mediante la parametrización de un evaporador de tubos. Dando como resultado agua destilada y un concentrado de nutrientes con características nutrimentales utilizables en la elaboración de otros productos o para cría de ganado.

**agua, destilada, nutriente, ganado**

### Abstract

Production of food for human consumption brings with it the generation of residues resulting from such a process, which affect the environment in which the activity occurs, an example of this is the production of cheese, where the waste substances, among which the whey is originated to constitute a source of contamination for water, soil and air, since it is expelled to the environment without any prior treatment for reduce these effect. This paper reports the design and construction of a system for the separation of the whey through the implementation of an evaporation-condensation process, based on an array of solar pre-heating via a parabolic channel, which was calculated in relation to the load ends of the process which was determined by the parameterization of a tube evaporator. Resulting in distilled water and a concentrate of nutrients with nutritional features usable in the manufacture of other products or to the livestock breeding.

**water, distilled, nutrient, livestock**

**Citación:** OLGUÍN-CAMACHO, Juan, ROJO-PEÑA, Daniel, VENTURA-CRUZ, Ignacio y JIMÉNEZ-ISALS, Donaji. Diseño de un equipo termosolar para el tratamiento de lactosuero. Revista de Ingeniería Tecnológica 2017. 1-1:20-28

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: djimenez@iteshu.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En el desarrollo de productos lácteos se generan desechos inherentes a los procesos, uno de ellos es el suero de leche que está constituido de proteínas y agua. Lo anterior presenta la necesidad de generar estrategias para su aprovechamiento y así reducir la contaminación que este genera, mostrándose como un área de interés en donde trabajos como los siguientes son necesarios para solventar dicha necesidad: Ramón y Arteaga presentaron la construcción de un bioreactor para la obtención de una bebida energizante a partir del suero de leche.

El material que utilizaron para su construcción fue de acero inoxidable, posteriormente elaboraron una bebida energizante realizando dos formulaciones de esta, para después realizar una encuesta de degustación obteniendo como mejor resultado la fórmula 1, por lo que determinaron que el equipo cumple con todos los parámetros del diseño establecidos para el proceso de elaboración de la bebida [1]; Garcés presentó un método que permite convertir el suero de leche en materia prima o productos como el ácido cítrico mediante un proceso fermentativo, posteriormente para este proceso se empleó un suero de leche de una planta productora de queso [2]; Chiriboga presentó un proceso de membranas donde este separa los diferentes componentes nutricionales del lactosuero, posteriormente determinó el valor nutricional de estas proteínas y así poder elaborar un nuevo producto como también beneficiar al medio ambiente reduciendo la contaminación [3]; Yupa presentó un estudio sobre el lactosuero y sus proteínas analizando principalmente los ácidos de omega 3 ya que estos tienen un gran impacto en la nutrición debido al gran número de beneficios.

Para la implementación de este ácido lo mezclan con una nuez de macadamia, dando como resultado un producto para consumo pecuario [4]; Peñaloza propuso obtener etanol del lactosuero ya que este es un producto residual abundante en la industria, para su posterior aprovechamiento en el desarrollo de una bebida alcohólica.

El etanol obtenido cumplió con los requisitos para el consumo humano [5]; Márquez realizó un estudio de la calidad de quesillos y leches crudas que son elaborados artesanalmente en plantas productoras de lácteos.

Posteriormente como resultados obtenidos de las instalaciones seleccionadas para su estudio se confirma que estas plantas no cumplen totalmente con las especificaciones de la norma sanitaria para procesadoras artesanales es decir estas plantas elaboradas en condiciones que no son las adecuadas [6]; Pazmiño presenta la elaboración de queso dietético ricotta de lactosuero con 4 niveles de acidez, siendo este un alimento de alto valor biológico especialmente para la población infantil y para personas que no aceptan niveles altos de grasa [7].

De los trabajos anteriores se observa la necesidad de generar estrategias para la disminución y aprovechamiento de los residuos lácteos derivados de los procesos de producción [13, 14 y 15]. El presente trabajo reporta una alternativa sustentable para el aprovechamiento de los nutrientes y derivados del lactosuero y así disminuir la contaminación causada por este, por medio de la obtención y aprovechamiento de sus nutrientes y el agua presente en él.

## Desarrollo

### Planteamiento

El proceso consiste en convertir el lactosuero (suero de leche) en materia prima útil para la fabricación de otros productos, al ser este una sustancia compuesta en su mayor parte de agua y nutrientes sobrantes derivados de procesos previos (fabricación de lácteos).

Por lo tanto, para realizar dicho proceso primero se necesita extraer toda el agua del lactosuero, la cual se logra separar mediante la destilación y la posterior extracción de los residuos los cuales son una masa orgánica de nutrientes la cual puede ser aprovechada para el sector pecuario. Para ello se diseñó y construyó un recipiente cilíndrico para contener el lactosuero. En su interior fue implementado un intercambiador de calor para el proceso de destilación.

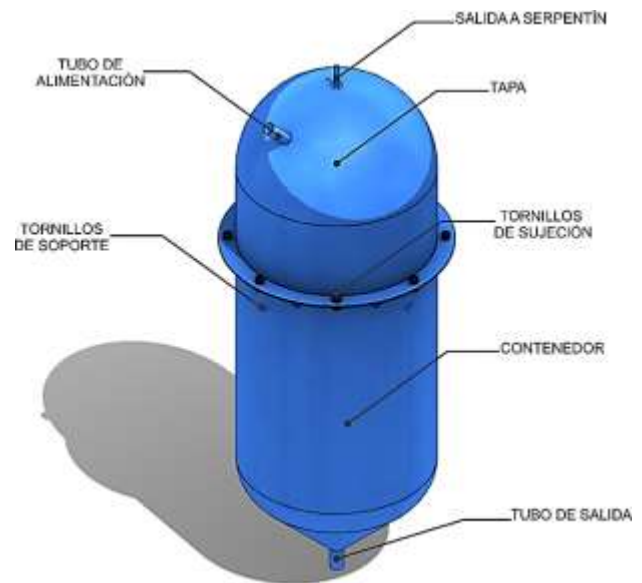
### Diseño

Para el diseño del evaporador se planteó dividir este en los siguientes puntos:

- Evaporador.
- Tubos.
- Configuración de tubos.
- Estructura.
- Soportes.

## Evaporador

El evaporador se diseñó a partir de un contenedor cilíndrico cerrado para que en el interior de este se pueda almacenar el lactosuero, además de alojar un circuito intercambiador de calor para la destilación. Como se muestra en la figura 1.



**Figura 1** Partes del evaporador (contenedor cilíndrico)

El evaporador contiene en su coraza múltiples aberturas para los tubos de entrada y salida; en la tapa (parte superior) se encuentra un tubo de alimentación para el llenado, y una salida en la parte más alta para extraer el vapor de agua resultante del proceso de destilación, la cual se conecta a un serpentín para su condensación y aprovechamiento, por lo que esta se diseñó en forma de cúpula a fin de concentrar todo el vapor en un solo punto.

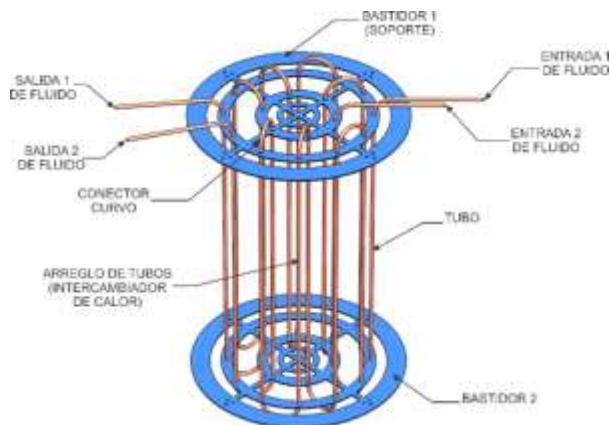
En los lados del contenedor existen dos entradas y dos salidas para el circuito intercambiador de calor, y una más para el termopar. Además, existe una salida en la parte inferior la cual se diseñó en forma de cono para extraer el concentrado lácteo (resultante del proceso) para su uso posterior.

El proceso de evaporado para el lactosuero se realizó a temperaturas por arriba de los 90°C (punto de ebullición del agua a 2000 m.) por lo que el cilindro se dispuso de una brida para su ensamble con la tapa y así asegurar la resistencia y hermeticidad necesaria, lo cual se puede observar en la figura 1.

Al ser un producto de grado alimenticio su fabricación fue requerida en acero inoxidable AISI 304 la cual es una aleación ampliamente usada en este sector debido a su elevada resistencia a la corrosión, tensiones mecánicas, variaciones térmicas y ausencia de recubrimientos de fácil deterioro, además de que no aporta partículas por desprendimiento y tiene un elevado grado de eliminación de bacterias [8].

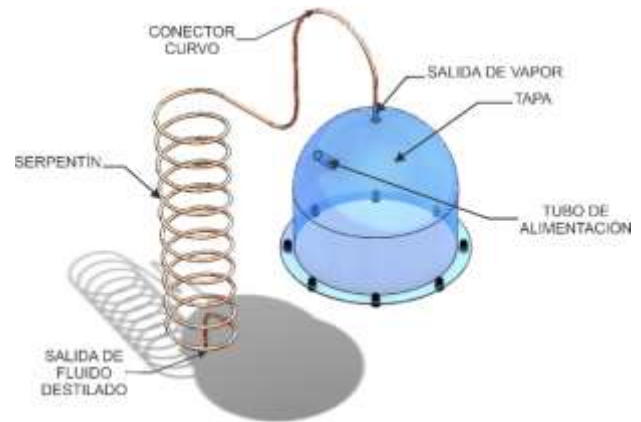
## Tubos

Los tubos son los encargados para transportar el fluido evaporador a lo largo del circuito de intercambio de calor, a la salida dicho fluido se hace recircular al inicio del proceso de calentamiento para volver a entrar al sistema.



**Figura 2** Arreglo de Tubos del Intercambiador de Calor y sus dos soportes

Para extraer el vapor se dispuso en la salida de la parte superior del evaporador un serpentín para su posterior condensación y así obtener agua destilada como producto final, lo cual se observa en la figura 3.

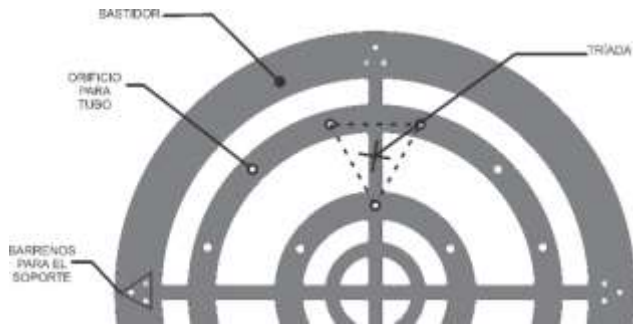


**Figura 3** Tubo de salida en la tapa del evaporador conectado a un serpentín en la parte superior

Por su funcionalidad en la generación de circuitos complejos el material utilizado para los tubos fue de una aleación de cobre estándar, poniendo suma atención a sus propiedades. Incluso es óptimo utilizar acero inoxidable AISI 304 o 316 [9].

## Configuración de Tubos

Para obtener la mayor eficiencia térmica fue necesario un arreglo de tubos en el interior del evaporador, el cual se diseñó de tal manera que los tubos recorrieran el mayor número de veces posibles el interior, además de que estos estuvieran dispuestos en triadas buscando aprovechar de mayor manera el calor circulante en el circuito lo cual se puede observar en la figura 4, que muestra un bastidor utilizado para guiar los tubos a lo largo de circuito evaporador en la configuración necesaria.

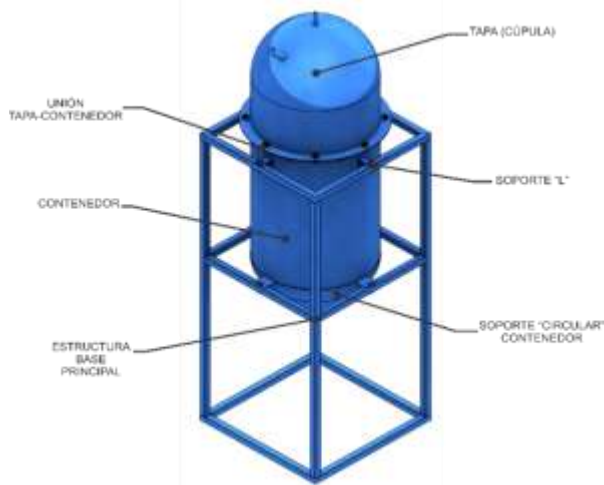


**Figura 4** Soporte interno para el intercambiador de calor (Bastidor)

El arreglo está constituido por 6 triadas dispuestas de forma homogénea a lo largo del bastidor y divididas en dos subcircuitos de intercambio con la entrada de fluido en posiciones opuestas buscado genera una temperatura homogénea en el recinto de intercambio como se muestra de igual forma en la figura 2.

**Estructura**

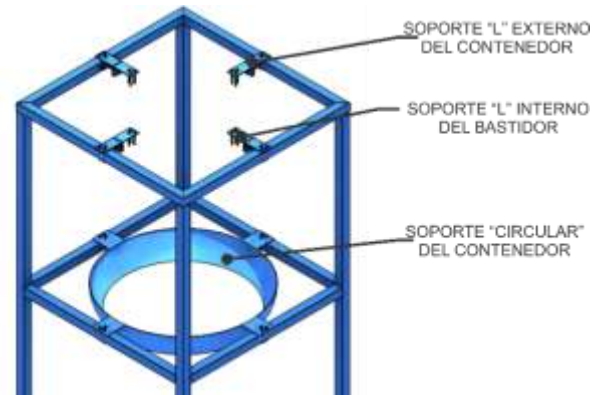
La estructura está conformada por la unión de varios perfiles que están dispuestos de tal forma que se pueda colocar y soportar el evaporador en el centro rígidamente.



**Figura 5** Evaporador acoplado en la estructura metálica

**Soportes**

Los soportes son partes metálicas de acero en forma de “L” (ángulo), los cuales se puedan acoplar a la estructura con tornillos para la sujeción de esta con el evaporador, estos estarían dispuestos en dos niveles de altura de la estructura, para hacer que el evaporador se fije completamente.



**Figura 6** Soportes para la sujeción del contenedor evaporador

**Modelo Tridimensional**

Para realizar el diseño y simulación se utilizó el software SolidWorks® [10] en donde se creó un modelo tridimensional y los planos de fabricación de este.

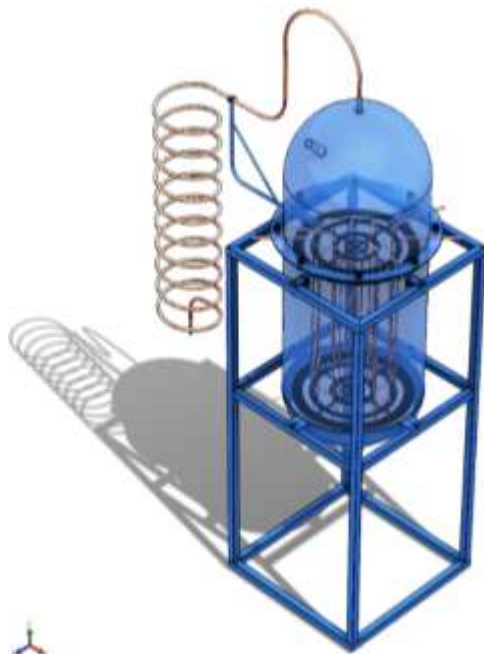


Figura 7: Modelo tridimensional completo del evaporador (Vista Isométrica)

**Simulación: Análisis de Fluidos**

Para terminar el comportamiento del fluido en el sistema de evaporación se utilizó el complemento FlowSimulation® de SolidWorks® [10], con el cual se simuló el comportamiento del fluido en el arreglo de tubos.

El cual nos indicó como sería el flujo de calor proveniente del fluido y en que partes del arreglo de tubos (interior del evaporador) se concentraría más la temperatura.

Con los resultados de la simulación se obtuvo la trayectoria, velocidad de flujo, volumen de flujo, flujo másico, temperatura, presión, entre otros.

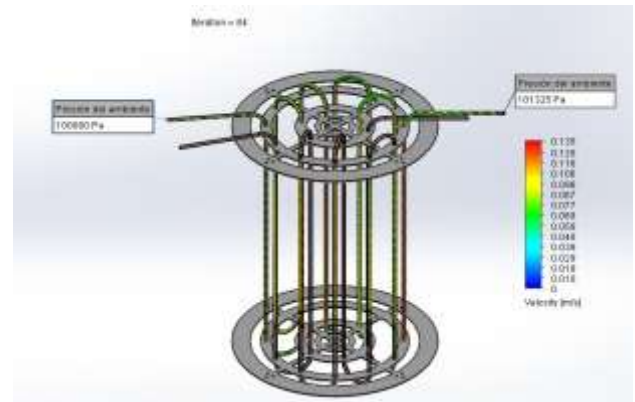


Figura 8 Simulación de análisis de fluidos con Flow Simulation®

**Análisis mediante termografía**

En el prototipo físico se le realizó una prueba utilizando vapor de agua con la finalidad de detectar los puntos de concentración y flujo de calor en el sistema, haciendo uso de una cámara termográfica FLUKE® Modelo Ti-125, los puntos de medición se encuentran en la figura 9.



Punto	Descripción
1	Cuadro Central
2	Rango de Temp.
3	Punto más Caliente
4	Punto más frío
5	Punto central
R1	Región 1
R2	Región 2
R3	Región 3
R4	Región 4

Figura 9 Puntos de medición en la imagen captada por la cámara termográfica



Los parámetros utilizados para la prueba fueron los mostrados en la tabla siguiente:

Emisividad (Cobre)	0.65
Temperatura Ambiente	22° C
Rango de Calibración:	-10°C a 350°C
Paleta de Colores	Metal Caliente
Marcadores	Punto y Cuadro Centrales
Valores Medidos	Punto, Mín., Máx., Prom.

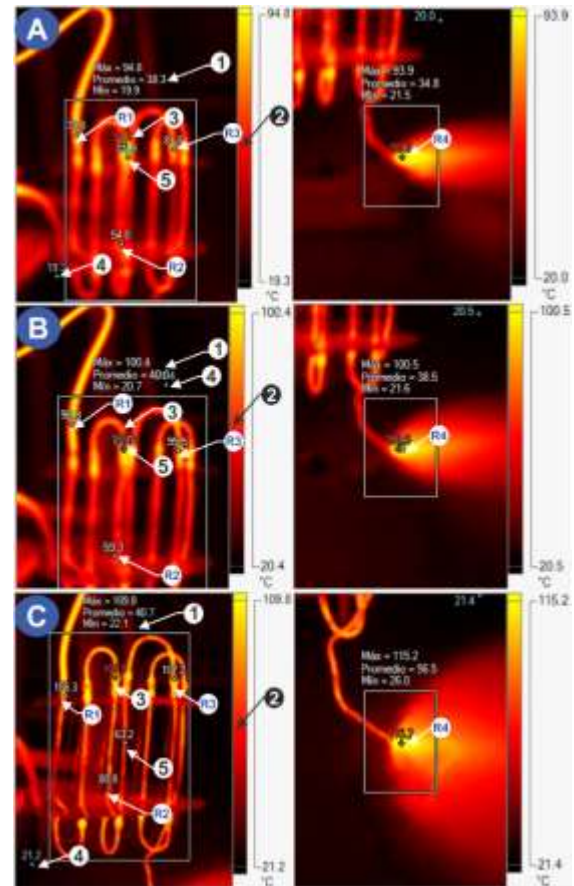
**Tabla 1** Tabla de parámetros configurados en la cámara termográfica

Las mediciones se realizaron en tres etapas: A) inicial, en donde los tubos se encontraban a temperatura ambiente; B) media, tiempo en el cual el vapor de agua lograba salir del circuito sin condensarse; C) final, tiempo en el cual la temperatura se estabilizó y el vapor de agua fluía por el circuito de forma constante. En la siguiente tabla se muestran los valores de las temperaturas en cada etapa.

Región	Temperatura por etapas		
	Inicial	Media	Final
1	79.8°C	90.9°C	105.3°C
2	54.0°C	59.3°C	80.8°C
3	81.8°C	95.5°C	107.2°C
4	93.9°C	100.5°C	115.2°C
Máx.	94.8°C	100.4°C	109.8°C

**Tabla 2** Tabla de temperaturas registradas en distintas regiones del intercambiador de calor en las tres etapas

En la figura 10 se muestran las fotografías correspondientes a las etapas citadas en la tabla anterior.



**Figura 10** Temperaturas registradas en distintas regiones del intercambiador de calor en las tres etapas

**Conclusión**

Se creó un equipo termosolar (evaporador) figura 11, capaz de destilar el suero de leche mediante un circuito intercambiador de calor, el cual funciona mediante fluido evaporador calentado por fuentes de calor renovables tales como un concentrador solar, el cual sirvió para convertir el suero en materia prima útil para la fabricación de alimento de ganado y otros derivados, así como la separación del agua presente en el suero, para su reutilización.



**Figura 11** Prototipo del Evaporador de lactosuero

## Referencias

- [1] Chiriboga, M. E. (julio-2009). Obtención de un concentrador proteico del suero de la leche de vaca utilizando tecnología membranas. Escuela Politécnica Nacional, 1-107.
- [2] Garcés, A. L. (2003). Obtención de ácido cítrico a partir de suero de leche por fermentación en cultivo líquido. Universidad Nacional de Colombia, 17-117.
- [3] Mercy Elena Arteaga Vinza, E. V. (2015). Diseño y construcción de un biorreactor para la obtención de una bebida energizante del suero de la leche. Riobamba-Ecuador, 1-115.
- [4] Márquez, c. i. (abril de 2004). Determinación de las leches crudas y quesillos elaborados artesanalmente en plantas productoras de lácteos área metropolitana de san salvador.
- [5] Pazmiño, a. y. (2007). “Elaboración de ricotta a partir de suero de leche con cuatro niveles de acidez: 12, 13, 14 y 15°d, en alao provincia de Chimborazo”.
- [6] Peñaloza, v. a. (2015). Producción de etanol a partir de suero de leche hidrolizado.
- [7] Yupa, g. c. (2014). Efectos de diferentes grasas con omega 3 en la elaboración de una bebida hidratante a partir del suero de leche.
- [8] Dyna (2002). El Acero Inoxidable En La Industria Alimentaria, 77(1). 38-42.
- [9] Conocimientos profesionales y soluciones para la industria alimentaria y de bebidas. Festo. (2013). 2-3.
- [10] Carlos J. R. (2009). Intercambiadores de Calor. Método de la Eficiencia.
- [11] SolidWorks® 2016 Education Edition, Dassault Systemes. Todos los Derechos Reservados. N° Serie [9710 0013 0010 7303 THGK R53J].
- [12] M. Hernandez R. y J.F Vélez R. (2014). Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. 13-22.
- [13] Terres-Peña, Hilario, Vaca-Mier, Mabel, Lizardi-Ramos, Arturo y Lopez-Callejas, Raymundo. Análisis energético y exergético del secado de hierbas aromáticas con energía solar. Revista de Prototipos Tecnológicos Volumen 2, 2016.
- [14] Hurtado-Rivera, Jacob, Hernández-Carbajal, Rafael, Díaz-Martínez, Joel y García-Vargas, Ma. del Rosario. Revista de Aplicación Científica y Técnica. Volumen 2, 2016.



[15] Valle-Hernández, Julio, Rojas-Ávila, Apolo, Pacheco-Reyes, Alejandro y Castillo-Jiménez, Víctor. Análisis térmico de un reactor termoquímico para la producción de hidrogeno con energía solar. Revista de Aplicación Científica y Técnica Volumen 2, 2016