

Evaluación Económica Financiera de Sistema Solar Térmico Parabólico en la Planta de Cárnicos de Zamorano

Omar Abdiel Castillo Stevenson

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

ZAMORANO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACION DE AGRONEGOCIOS

Evaluación Económica Financiera de Sistema Solar Térmico Parabólico en la Planta de Cárnicos de Zamorano

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Administración en Agronegocios en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

Omar Abdiel Castillo Stevenson

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2012

Evaluación Económica Financiera de Sistema Solar Térmico Parabólico en la Planta de Cárnicos de Zamorano

Presentado por:

Omar Abdiel Castillo Stevenson

Aprobado:

Miguel Calderón, M.Sc.
Asesor principal

Ernesto Gallo, M.B.A.
Director
Departamento de Administración de
Agronegocios

Rommel Reconco, M.A.E.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

RESUMEN

Castillo Stevenson O.A. 2012. Evaluación Económica Financiera de Sistema Solar Térmico Parabólico en la Planta de Cárnicos de Zamorano. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agronegocios, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 26p

La problemática actual existente en cuanto a la inestabilidad de precios de combustible por alzas y bajas ha provocado la búsqueda de fuentes alternativas de energía que reduzcan costos y a la vez se constituyan en un mecanismo de desarrollo limpio. La planta de cárnicos de Zamorano, actualmente incurre en costos de 20,688 USD anuales por la compra de diesel para consumo de la caldera. El objetivo de este estudio fue proporcionar información relevante que antes no se conocía en cuanto a viabilidad de sistema solar térmico parabólico en la planta de cárnicos para disminución de volumen de combustible consumido por mes y consecuentemente reducir el monto de egresos incurridos mensualmente por la compra del mismo. Para el desarrollo del estudio se realizó un dimensionamiento económico financiero de 2 escenarios, asignándole los nombres de escenario “0” para describir la situación actual del sistema que utiliza la planta de cárnicos sin previos cambios. El escenario “1” donde el Sistema Solar Térmico Parabólico (SSTP) actúa como complemento del sistema actual considerando que se realiza la inversión de 75000 USD para la compra del sistema. En el escenario 1 se determinó un ahorro de 48% en consumo de combustible. Además se obtuvo un beneficio adicional en la reducción de emisiones de CO₂ de 23.04 t/año de un total de 48 t/año emitidas en el escenario 0.

Palabras claves: Combustible, emisiones, mecanismo de desarrollo limpio, sistema solar térmico parabólico.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES.....	20
5. RECOMENDACIONES.....	21
6. LITERATURA CITADA.....	22
7. ANEXOS.....	24

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros		Página
1.	Materiales usados en el proceso investigativo.	8
2.	Cantidad de emisiones de CO ₂ por año	9
3.	Radiación solar promedio histórica mensual	10
4.	Resultados de análisis estadístico de la muestra	11
5.	Comparación total de medias realizado en el programa (SAS.2009).....	11
6.	Resumen del Escenario cero	12
7.	Datos Generales del Escenario cero	12
8.	Gastos anuales generados por la caldera	13
9.	Elementos y herramientas de SSTP.....	14
10.	Ahorro de combustible en los diferentes meses del año	15
11.	Resumen del Escenario uno	16
12.	Datos generales del escenario uno.....	16
13.	Flujo de caja SSTP + Caldera realizando la inversión	17
14.	Cuadro comparativo de escenarios	19
Figuras		Página
15.	Ubicación del SSTP en planta de cárnicos.....	3
16.	Comparaciones de eficiencia de Sistemas Solares Térmicos.....	4
17.	Esquema de distribución de consumo según el uso del agua.....	5
18.	Comportamiento de consumo de agua caliente en la Planta de Cárnicos.....	6
19.	Rotación del SSTP.....	7
20.	Resultado de muestreo probabilístico aleatorio simple	10
21.	Tuberías de conducción de agua fría y vapor.....	15
Anexos		Página
1.	Cálculos de eficiencia del SSTP.	24
2.	Cálculo de diesel ahorrado.....	24
3.	Tendencias en precio de petróleo.....	25
4.	Componentes del SSTP.	26

1. INTRODUCCIÓN

Cada año la demanda energética presenta una tendencia a un creciente aumento, con lo cual las fuentes de energía convencionales como el petróleo sufren un deterioro o escasez irreversible, a esto se le agrega el excesivo aumento de gases de efecto invernadero (GEI) producto de la combustión; contribuyendo así con fenómenos climáticos como el calentamiento global. Debido a todo lo antes mencionado surge la necesidad urgente de buscar formas alternativas de energía que puedan aplicarse para suplir la demanda energética con iguales o mejores resultados a menores costos que los implicados por el uso de combustibles convencionales, además de contribuir con otros beneficios mediante el empleo de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) con los cuales se obtenga una reducción de gases de efecto invernadero (GEI), garantizando así una mejora sostenible medioambiental y la plena existencia a futuro de estas fuentes de energía alternativas.

Utilizar energía solar para calentar agua, es una alternativa que contribuye con la reducción de toneladas de CO₂ emitidas y otros gases contaminantes, así como también reduce los costos incurridos en combustible, lo que subsecuentemente se traduce en ahorros sobre los costos de producción. La energía solar térmica de alta concentración presenta prospectivas de alto nivel de éxito debido a que es capaz de reducir costos hasta en muchos casos de 40 - 50% (Quaschnig 2004).

Una manera de motivar a los productores es por medio de la emisión de bonos de carbono por mitigación y mecanismos de desarrollo limpio (MDL), actualmente los países del anexo 1 del Protocolo de Kyoto que forman parte de la Unión Europea ofrecen el pago de bonos por mitigación, cuyo valor oscila entre 15 y 20 Euros, según sea el caso, por cada tonelada métrica de CO₂ no emitido (PNUD, 2012). Debido a la existencia de diferentes sitios del mundo donde se pueden comprar y vender los bonos, puede darse una variación en precios por cada tonelada de CO₂. Por ejemplo Chicago Climate Exchange, quien está en operación desde diciembre del 2003 establece un precio que ha oscilado desde \$0.90 hasta los \$2.10 dólares por tonelada de CO₂ (datos a junio de 2005). Por otro lado European Climate Exchange Carbon, en operación desde abril del 2005; constituye precios que fluctúan entre \$6.40 y \$19.70 euros por tonelada de CO₂ (datos a junio de 2005). (Point Carbon 2005)

La Planta de Cárnicos de la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano tiene egresos de 20,688 USD anuales por la compra de combustible para la generación de vapor a través de la caldera. Dentro de sus planes de desarrollo proyectados al año 2013 está la ampliación y remodelación de sus instalaciones. Una de las principales ideas es promover el desarrollo de una planta parcialmente sostenible mediante la instalación de un sistema que genere ahorros y que emplee energía limpia para llevar a cabo actividades que forman parte del procesamiento de sus productos contribuyendo así a realzar la imagen de la empresa.

Anteriormente se han estado llevando a cabo investigaciones en base al tema de colectores

solares térmicos por investigadores como: (Kalogirou et al 1997; Bakos et al 2001a, b; Dudley et al 1994; Quaschnig et al 2002; Liipfert et al 2007, 2008; Odeh et al 1998) enfocándose en las áreas de: desarrollo de la estructura de soporte, desarrollo del reflector, el proceso en el desarrollo de diseño, fluido de transferencia térmica y el almacenamiento térmico. Sin embargo cabe resaltar que dichos estudios no se han realizado anteriormente para plantas de cárnicos.

En España están funcionando centrales térmicas en: Palma del Río, Córdoba, Lebrija, Granada, Sevilla. Además se estableció la primera planta termosolar capaz de funcionar durante 24 horas bajo ciertas condiciones, gracias a 15 horas de capacidad de almacenamiento térmico. Actualmente el ranking mundial de generación de energía termoeléctrica en el mundo está liderado por: España, 1102.4 MW; Estados Unidos, 760 MW; Emiratos Árabes, 100 MW; Marruecos, 30 MW; India 20, MW; Argelia, 20 MW; Egipto 20 MW; México, 12 MW; Australia, 10 MW; Francia, 2 MW; Alemania 2 MW; Italia 2 MW.

Una limitante para realizar el estudio fue que en Zamorano no se cuenta con investigaciones anteriores de factibilidad y pre factibilidad que sirvan de respaldo para el desarrollo de proyectos en base a energía renovable, razón por la cual para la realización de dicho estudio se tomó como base, investigaciones de journals, entrevistas, sitios web de fuente confiable y un estudio de colectores solares a base de tubos de vacío para la planta de lácteos escrito este año por el estudiante José Guillermo Tapia. El tiempo para realizar muestreos dentro de la planta fue otra limitante, debido a que no hubo disponibilidad de un horario completo dedicado al proyecto de graduación, limitando la disponibilidad para la recolección de datos en forma continua.

En este contexto se definió el objetivo que este estudio comprende y se resume en lo siguiente:

- Determinar la potencial reducción de costos para la planta mediante el escenario propuesto.
- Determinar beneficios económicos y ambientales aportados por Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- Analizar resultado de indicadores financieros al establecer un sistema solar térmico como complemento de la caldera

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La planta de cárnicos tiene un consumo promedio de combustible de 400 galones de diesel a granel por mes. Usado para calentar agua de sanitización en el área de producción, limpieza de bandejas y mesas, escaldado de cerdos, esterilización de herramientas de sacrificio, cocción de embutidos y ahumado. Según el departamento de bodega y suministros de Zamorano el precio de compra del galón de diesel al granel, actualizado al 28 de Marzo de 2012, es de 4.31 USD, por lo que el consumo de 400 galones implicó un costo de 1724 USD.

Descripción geográfica

En el presente estudio se realiza el dimensionamiento de un sistema solar térmico en la Planta de cárnicos de Zamorano, a 32 km de Tegucigalpa, Honduras, con una temperatura promedio anual de 24°C, la misma que está localizada en las coordenadas geográficas: N14°00'22.3'' W87°00'44.1'' (Google Earth 2012), 807 msnm (Ochoa D 2012); según la estación climatológica de Zamorano el promedio de irradiación solar histórico es de 4.72 KWh/m²/día, la precipitación promedio histórica es de 1097.8 mm por año. A continuación en la figura 15 se observa la ubicación del sitio.



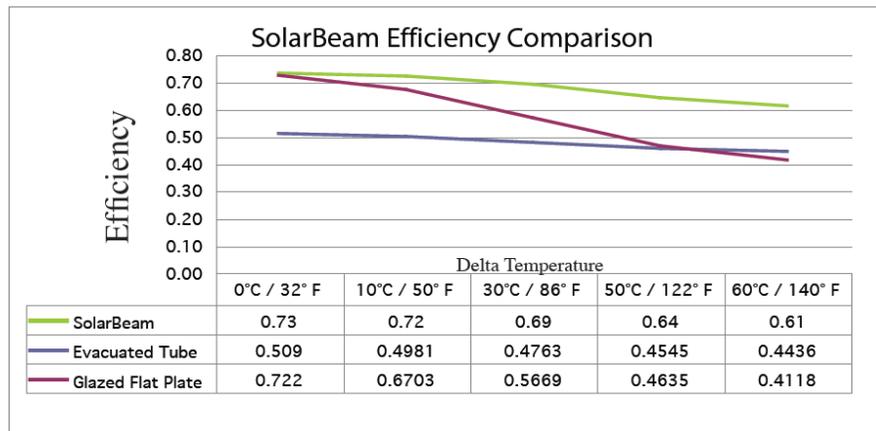
Figura 15: Ubicación del SSCP en planta de cárnicos

Fuente: Elaboración propia, con imagen de Google Earth 2012

Sistemas Solares Térmicos Parabólicos (SSTP)

Se le conoce como sistema solar térmico al conjunto de dispositivos cuya función principal es captar la radiación solar para luego transformarla en energía calorífica y generar temperaturas en un volumen de agua específico. Generalmente se componen por un sistema de acumulación o captación (paneles solares térmicos), sistema de auxiliar (caldera, equipos eléctricos), sistema de acumulación (termotanque), sistema de bombeo (bombas de presión), Sistema de tubería (líneas de agua fría y caliente), y sistema de control (Termostato, manómetro de presión, válvulas de control, válvulas de regulación). En la actualidad existen numerosos tipos de captadores solares térmicos, sin embargo, para efectos del caso y tomando en consideración las condiciones climáticas, se tomaron

ejemplos comparativos de captadores tipo placa plana vidriada, parabólicos por concentración (SSTP) y tubos evacuados. Según Kaltschmitt M. Streicher W. y Wiese A. (2010), la eficiencia de los colectores solares de placa plana están dentro de un rango de 65 a 70 %, mientras que los colectores parabólicos por concentración (SSTP) presentan una eficiencia de 80 %. Ver figura 16.



Efficiency based on direct beam solar radiation of 1000 watts/m² based on SRCC data

Figura16: Comparaciones de eficiencia de Sistemas Solares Térmicos

Fuente: E.y.L Comercial Agro S.A. 2012

Proyección de escenarios

Para el dimensionamiento de los posibles escenarios fue necesario recolectar información acerca de los componentes técnicos tanto del sistema actual que suministra el vapor requerido mediante el uso de un caldero como también del sistema propuesto que consiste en un Sistema Solar Térmico Parabólico para uso industrial. Los escenarios de análisis son los siguientes:

Escenario 0: Situación actual. Se describió la situación actual de la planta sin previa modificación, considerando las variables de un consumo de combustible mensual y anual, la cantidad que representa en dinero, el precio de combustible, adicionado el costo de mantenimiento, la depreciación del sistema, valor de salvamento y vida útil.

Escenario 1: Implementación del SSTP como complemento de la Caldera realizando una inversión. Para la elaboración del mismo se tomó en cuenta el valor de ambos sistemas, la inversión inicial, vida útil, costos de mantenimiento, depreciaciones, el ahorro porcentual estimado en USD, precio de combustible, tasa de incremento anual en el precio de combustible, valor de salvamento, beneficio neto, indicadores de rentabilidad, VAN (Valor Actual Neto) que representa las ganancias que se obtuvieron del proyecto al sumar los valores actualizados de todos los flujos netos de caja menos la inversión inicial, TIR (tasa interna de retorno) siendo una herramienta para determinar el porcentaje de retorno sobre la inversión y PRI (Periodo de Retorno de la Inversión) que establece el periodo a partir del cual se termina de cubrir la inversión total.

Cuantificación de la demanda de agua caliente.

Según las normas ISO 14001 para este tipo de estudios es necesario graficar un diagrama de planta en el que se mapean los puntos críticos, definiéndolos como todos aquellos puntos donde se requiere de uso de vapor y agua caliente ya sea para sanitización o procesamiento de la carne.

Se dividió el volumen del agua consumida en dos tipos: sanitización y procesos. El agua caliente usada en sanitización sirve para lavar la maquinaria, mesas, herramientas para sacrificio, bandejas y el piso dentro del área de producción. Por otro lado el agua usada para procesos se ocupa para escaldado de cerdos, cocción de embutidos y ahumado. En la figura 17 se describe la distribución de consumo de agua caliente en la planta.

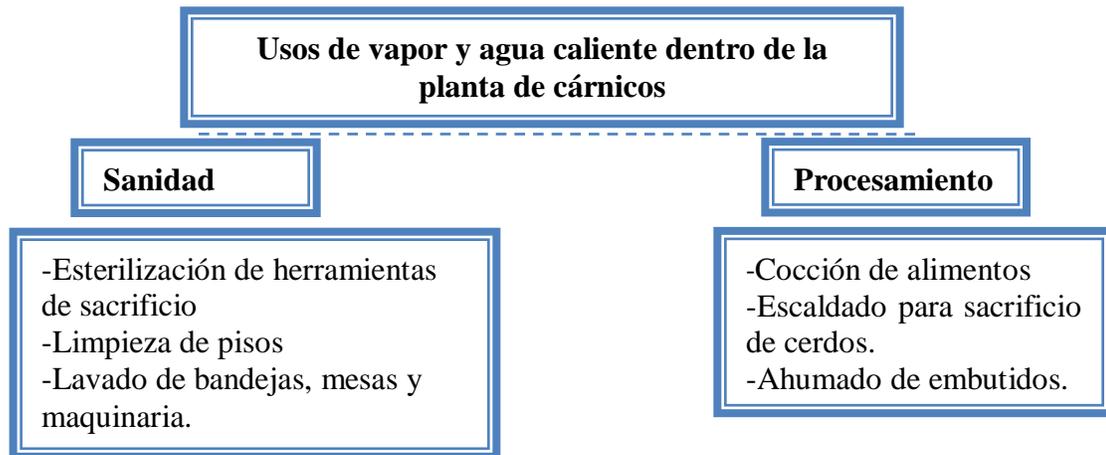


Figura 17: Esquema de distribución de consumo según el uso del agua.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Planta de Cárnicos.

Muestreo aleatorio simple

Según planta física de Zamorano (2011) Planta de Cárnicos de Zamorano consume un promedio de 9.47 m³ por día. Para obtener la cantidad total de consumo de agua caliente en planta de cárnicos se realizó un muestreo del que se obtuvieron 15 muestras en 15 diferentes días entre los meses de Julio y Agosto. Para llevar a cabo el análisis del muestreo se realizó el cálculo del caudal, se consideró las horas de trabajo efectivo de la caldera, se midió la temperatura en °C que se alcanza en cada uno de los puntos de calor. En la figura 18 se puede apreciar la variación diaria en consumo de agua caliente.

Se determinó que el mayor consumo en agua caliente se da los días lunes debido a las actividades de escaldado de cerdos y esterilización de herramientas, las cuales son realizadas de manera exclusiva este día.

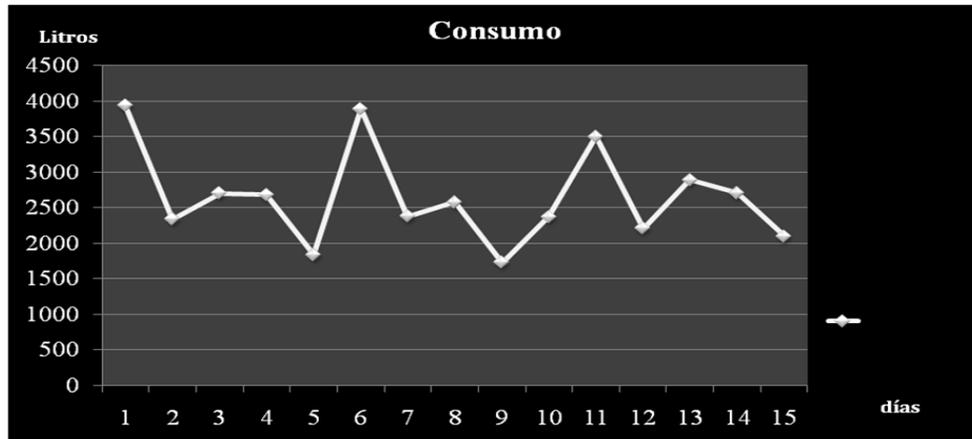


Figura 18: Comportamiento de consumo de agua caliente en Planta de Cárnicos
Fuente: Elaboración propia en base a datos de Planta de Cárnicos.

Cálculo del caudal

Para el cálculo del caudal se utiliza la siguiente fórmula que relaciona el volumen del fluido que circula en un instante de tiempo:

$Q = \text{Caudal}$

$V = \text{Volumen}$

$T = \text{Tiempo}$

Cálculo del volumen de agua promedio consumido por día

Para este caso se multiplica el volumen de agua consumido por el tiempo promedio de uso por cada punto de calor:

$VAC = \text{Volumen de agua consumido}$

$Q = \text{Caudal}$

$T_p = \text{Tiempo promedio de uso}$

Horas de trabajo efectivo

Pueden ser definidas como el tiempo en el que la planta de cárnicos consume el volumen de agua o vapor que ocupa por día, ya sea para los procesos y para el saneamiento. Este dato se toma a partir de la medición del tiempo con cronómetro desde el momento en que empieza a trabajar, hasta cuando se apaga la caldera.

Dimensionamiento de Sistema Solar Térmico Parabólico (SSTP)

La propuesta innovadora traída a Zamorano en concepto de energía renovable para efecto de suplir la demanda de agua caliente para la planta de cárnicos a través de la generación de energía solar consiste en el diseño de un Sistema Solar Térmico Parabólico nombrado "Solar Beam" que requiere un área total a ocupar de 20m^2 para su instalación. Tiene un sistema de GPS que ubica al captador central de la parabólica en un punto paralelo al sol para captar la mayor concentración de radiación como se observa en la figura 19. Una ventaja de este tipo de sistema según (T. Tao et al. 2011) es que en todo el entorno del receptor se reflejan los rayos incidentes del sol, mientras que otros concentradores tradicionales solo pueden absorber rayos reflejados a través de la mitad inferior del receptor.

Hasta la fecha del 31 de diciembre de 2011 se tienen instaladas 300 parabólicas concentradoras de rayo solar principalmente en Canadá y Estados Unidos. También se tiene en menor cantidad en la Unión Europea, 3 en Australia y para la región de Latinoamérica se tiene un equipo Solar Beam en hoteles de Curazao. (Curt 2012)

En el campo de colectores solares de concentración, los concentradores solares parabólicos representan uno de los sistemas más desarrollados en tecnología (Richter, 1996). Las parabólicas han sido exitosamente utilizadas en gran escala alcanzando altas temperaturas para abastecimiento térmico de plantas industriales (Price et al 2002; Schwarzer et al 2008).

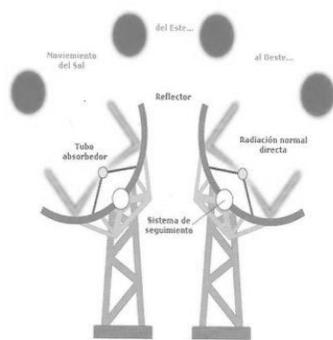


Figura 19 Rotación del SSTP

Fuente: E.y.L Comercial Agro S.A., 2012

2.6 Caldera industrial

Según la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE, 2002), Las calderas son equipos o sistemas de generación de vapor de agua, cuyo uso puede ser doméstico o industrial. Las calderas utilizan diferentes tipos de combustibles, las hay a gas, diesel, carbón y biomasa. Estos sistemas de generación de vapor están conformados básicamente por:

- Quemador. Sirve para la combustión o quema del fluido carburante, gas o masa.
- Hogar. Lugar donde se transforma el agua en vapor.
- Sistema de distribución de vapor. Es un conjunto de tuberías que ayudan a trasladar el vapor saturado desde el punto de generación hasta los distintos lugares en donde se le requiera.
- Sistema de retorno de condensados (tanque de condensación), que es utilizado para acumular el exceso o el sobrante de vapor condensado en líquido.

La mayoría de las calderas se construyen para alcanzar rendimientos cercanos al 80%, sin embargo, la gran mayoría trabajan al 65 y 85%, mientras que el 35% y 15% restantes son pérdidas (CONAE 2002). Para alcanzar una mejor eficiencia de la caldera se debe evitar

la carga de trabajo excesiva y la pérdida de calor en el sistema de distribución, así como también se debe asegurar una eficiente combustión de la fuente energética.

Las calderas industriales producen principalmente emisiones gaseosas de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), y Óxido de azufre (S₂O) (CESCCO 1992), y según (Cruz A. 2012), se agrega la generación de emisiones de gas Metano (CH₄), y monóxido de nitrógeno (NO).

Análisis económico – financiero

Se establecieron flujos de caja considerando la inversión total del proyecto, costos, ingresos y depreciación para determinar periodos de recuperación y ganancias. A continuación se procedió a calcular los siguientes indicadores financieros para medir la rentabilidad del proyecto:

Flujo de caja.

VAN (Valor Actual Neto)

PRI (Periodo de Retorno de la Inversión)

TIR (Tasa Interna de Retorno)

Cálculo de Depreciación

Dp = Depreciación

Io = Inversión inicial

Vs = Valor de salvamento

Vu = Vida útil

Materiales utilizados en el proceso de investigación

En el cuadro 1 se describen los materiales que se usaron dentro del proceso de investigación.

Cuadro 1: Materiales usados en el proceso investigativo

Material	Concepto	Actividad
SPSS	Estadística	Prueba t studen, medidas de tendencia central, Regresión Lineal.
SAS	Estadística	Probabilidad P, coeficiente de variación
Excel	Indicadores financieros, y cálculos	VAN, TIR, PRI

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escenario 0: Situación actual. Según bodega y suministros de Zamorano, la planta de cárnicos tiene una variación en el consumo de combustible de 300, 400 y 500 galones de diesel pesado al granel por cada mes. Las emisiones ocasionadas por su combustión se especificaron en el cuadro 2.

Cuadro 2: Cantidad de emisiones de CO₂ por año

Emisiones	300	400	500	Unidades
CO ₂	36	48	60	t/año
NO	93	124	155	Kg/año
S ₂ O	110	146	183	Kg/año
CH ₄	1	2	2	Kg/año

*Fuente: Elaboración propia en base a Prefactibilidad en Tubos de Vacío (Tapia, 2012)

Datos suministrados por la Estación Climatológica de Zamorano determinan que La radiación solar promedio histórica anual en Zamorano es de 4.72 kwh/m²*día. La mayor cantidad de radiación se da en el mes de abril con 5.44 kwh/m²*día, mientras que la menor radiación se da en el mes de diciembre con 3.81 kwh/m²*día, lo cual evidencia una variación entre el valor de radiación más alto y más bajo promedio histórico del año, por lo cual el ahorro no sería igual para todos los meses del año, ya que el mismo presenta una variación según la cantidad de calor en forma de radiación solar que recibe por día. Ver cuadro 3.

Cuadro 3: Radiación solar promedio histórica mensual

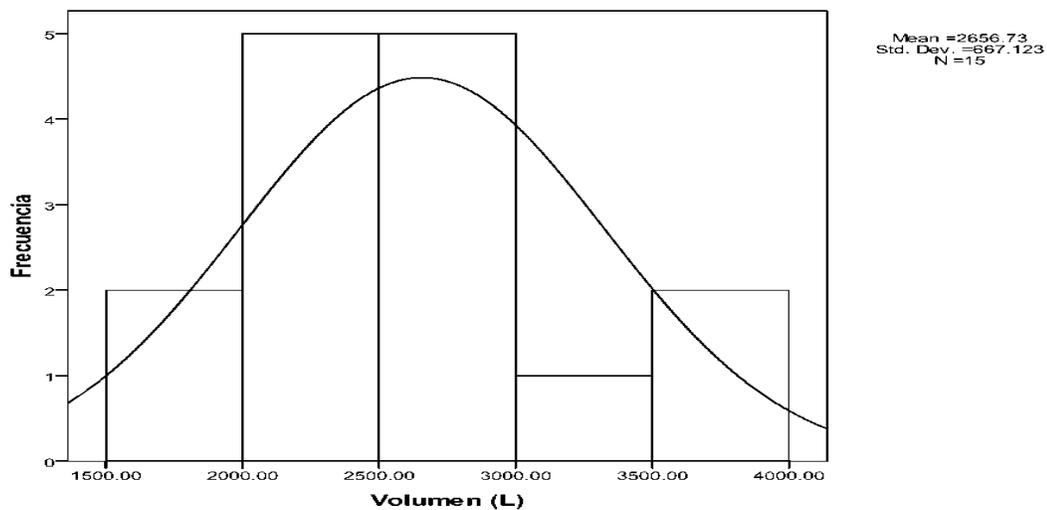
Mes	Kcal/m ²	MJ/m ²	kwh/m ²
Enero	3387.79	14.18	3.94
Febrero	3903.67	16.45	4.57
Marzo	4496.99	18.83	5.23
Abril	4677.56	19.58	5.44
Mayo	4411.01	18.47	5.13
Junio	4350.82	18.22	5.06
Julio	4110.06	17.21	4.78
Agosto	4256.23	17.82	4.95
Septiembre	4454.00	18.65	5.18
Octubre	3826.31	16.02	4.45
Noviembre	3551.16	14.87	4.13
Diciembre	3276.01	13.72	3.81
Promedio	4058.47	17	4.72

*Fuente: datos de la Estación Climatológica de la EAP, Zona I

Análisis estadístico de la muestra

Se desarrolló un muestreo probabilístico aleatorio simple con 15 muestras, cuyos resultados se muestran en la figura 20, en los que se observa que la media de consumo de agua por día fue de 2656 Litros. La mayor cantidad de datos se concentran en la media, por lo cual el muestreo fue significativo.

Se ha sobre dimensionado el sistema con un valor de holgura de 500 L. debido a que la producción de la Planta de Cárnicos puede incrementar y se requiere que el volumen de agua necesario siempre esté disponible.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Planta de Cárnicos de Zamorano.

Figura 20: Resultado de muestreo probabilístico aleatorio simple.

Las pruebas estadísticas realizadas a las muestras tomadas de volumen de agua caliente para saneamiento de t student, probabilidad P, indican que el proceso muestral fue bien realizado. Por un lado se obtuvo un R^2 de 0.85, lo cual justifica la significancia del muestreo, debido a que indica proximidad a 1. Adicionalmente para un alfa considerado de 0.05, la probabilidad de error fue de 0.002. con un coeficiente de variación de 12.68742, el cual es menor a 30 (nivel máximo aceptado), que indica que el muestreo fue bien realizado. Ver cuadro 4

Cuadro 4: Resultados de análisis estadístico de la muestra

Detalle	Valor	Unidad
Observaciones	15	muestras
Alpha	0.05	error
R^2	0.854121	
Coefficiente de variación	12.68742	
$P < 0.05$	0.002	error
Media	2656	Litros/día
Desviación estándar	667.123	Litros/día

Al observar el cuadro 5, se determina que entre el grupo de días de Martes a Viernes no existe diferencia significativa debido a que se mantienen con la misma letra, sin embargo la mayor diferencia significativa se da en los días Lunes en comparación a los demás días de la semana.

Cuadro 5: Comparación total de medias realizado en el programa (SAS.2009)

Letra	Media (Litros/día)	N	Día
A	3774	3	Lunes
B	2723	3	Jueves
B	2373	3	Martes
B	2309	3	Miércoles
B	2102	3	Viernes

*Las letras indican las diferencias entre las medias de los días muestreados.

Considerando la cantidad máxima de 4 horas de trabajo efectivo de la caldera y una producción de 690 L/hora, la caldera necesitaría para la máxima producción observada, un volumen total de 2760 L/día. Se midieron las horas de trabajo efectivo de uso de la caldera, cuyo valor promedio redondeado fue de 4 horas por día, el valor más alto registrado fue de 5 horas y el menor fue de 2 horas por día. Las calderas industriales consumen combustible cuando se genera vapor, y por consiguiente cuando se usa agua caliente.

Análisis Económico-Financiero

Escenario 0: Situación actual. El precio establecido para el estudio fue de 4.31 USD a una tasa de cambio de (\$1= L. 19.40) tomando como base el 28 de Marzo de 2012, fecha cuando se dio inicio al estudio según los datos proveídos por el Ing. Curt Hermann. A precio estándar de mercado, una caldera Fulton industrial de 20 HP para consumo de diesel cuesta en promedio \$15000, con una vida útil de 30 años, y un valor de salvamento de \$ 750. Para medir la depreciación anual de la máquina, se utiliza la fórmula de depreciación lineal con base en el tiempo.

Cuadro 6: Resumen del Escenario 0

Descripción	Valor	Unidad
Costo 400 galones de diesel por mes	1724	USD
Costo de mantenimiento en el año	473	USD
Depreciación anual de la caldera	570	USD
Costo del galón de diesel	4.31	USD
Inversión inicial	0	USD
Ahorro de costos	0	USD /año

Cuadro 7: Datos Generales del Escenario “0”

Descripción	Valor	Unidad
Radiación solar promedio histórica	4.72	Kwh/m ²
Precipitación anual promedio histórica	1095.79	mm/año
Consumo de diesel	400	Galones/mes
Emisiones de CO ₂	48	t/año
Emisiones de NO	124	Kg/año
Emisiones de SO	146	Kg/año
Emisiones de CH ₄	2	Kg/año
Máximo tiempo de uso de caldera	5	Horas /día
Potencia de la caldera industrial	20	HP
Vapor generado por la caldera industrial	680	L/Hora
Temperatura máxima requerida	83	°C
Consumo de diesel promedio	400	Galones/mes
Consumo de la caldera	5	Galones/hora
Ahorro en combustible	0	%

Cuadro 8: Gastos anuales generados por la caldera

	1	2	3	4	5
Inversión	o				
Consumo	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800
Precio/galón	4.31	4.52	4.75	4.98	5.23
Gasto	-20688	-21722	-22808	-23948	-25146
Costo de mantenimiento	473	473	473	473	473
Gasto Total	-21161	-22195	-23281	-24421	-25619

Escenario 1: Implementación de Sistema Solar Térmico Parabólico como complemento de la caldera realizando la inversión.

En este escenario se plantea el dimensionamiento de un Sistema Solar Térmico Parabólico, en un ciclo de recirculación cerrada y presurizado. Un SSTP está capacitado para abastecer una demanda de hasta 4500 litros de agua a 90°C por lo cual se requiere invertir en la compra de una unidad. El dimensionamiento del SSTP son los especificados en el cuadro 9.

Debido a la constante variación de los precios de combustible, se consideró un incremento porcentual de 6 % anual establecido por la Agencia Internacional de Energía (AIE), quien pronostica que para el 2030, los precios de combustible alcanzarán los \$200 por barril. En los Anexos 3 y 4 se aprecia mediante un análisis de regresión la tendencia de precios de combustible.

Se requiere la inversión total en la compra del SSTP de 75000 USD. Se utilizó una tasa de descuento al 15 % considerando que Zamorano invierte en la bolsa a dicha tasa. El sistema Solar Térmico Parabólico ha sido desarrollado por la empresa canadiense Solartron Energy System, especializada en la fabricación y comercialización de concentradores solares. Dentro de las facilidades que ofrece la empresa esta una garantía de 5 años, costos de mantenimiento por un periodo de 5 años, costos de transporte e instalación incluida. La vida útil del SSTP es de 30 años, por lo que su depreciación anual sería equivalente a 2467 USD.

Cuadro 9: Elementos y herramientas de SSTP.

Detalle	Cantidad	Unidad
Colector solar térmico	1	unidad
Termotanque de acumulación (2500L) y (2000L)	2	unidades
Bombas de recirculación	3	150
Válvulas de seguridad para presión	6	PSI
CPU-sistema GPS	1	unidad
Pilón de concreto	1	unidad
Manómetros	6	unidades
Termostatos	6	unidades

Se proporcionará agua caliente a rangos de temperatura de 72 a 90 °C para alimentar la caldera y también para actividades de saneamiento del área de producción. La distribución de uso de agua caliente según la capacidad del SSTP comprendería 2500 L para saneamiento y 2000 L para alimentar a la caldera. El volumen de agua caliente proporcionado por el SSTP para alimentar la caldera estaría disponible en las horas de la mañana desde las 6:00 am. La caldera industrial genera vapor cuando la planta usa agua caliente, ya sea para saneamiento o para procesos, y el vapor que no es utilizado se acumula en un taque de condensado.

La eficiencia de absorción del SSTP está evaluada en 90% para los niveles de radiación solar de Zamorano. Tomando en cuenta el valor de radiación promedio histórica, se sabe que por cada m² de absorción, se tienen 4,72 kW por cada hora pico de sol desde las 10:00 am hasta las 15:30 pm. Según la estación climatológica de Zamorano (2012), en Zamorano se tienen aproximadamente 6 horas pico de sol por día. Según datos aportados por Solartron Energy System, 2012 se estima la pérdida de calor en grados Celsius debido al trasladado del agua caliente desde el sistema hasta la caldera, y desde el sistema hasta el interior de la planta. Las tuberías están recubiertas con aislante térmico de poliuretano, por lo que las pérdidas caloríficas son de 3 a 6 °C, Así mismo según estudio realizado por (Tapia, 2012) las pérdidas de calor en el tanque térmico de acumulación son de 8°C cada 48 horas, tomando en cuenta el material del que está hecho el termotanque.

La ventaja que tiene el trabajar con el sistema solar térmico consiste básicamente en que se le otorga un volumen de agua precalentada al sistema de caldera. La reducción en el consumo de diesel se debe a que se sustituye un porcentaje de cantidad de calor (Q) aportado por el diesel a la caldera por una cantidad de calor ofrecida por el sistema solar térmico a la caldera. Al haber una variación térmica de 20 a 165°C hay mayor consumo de calorías en relación a una variación térmica de 90 a 165°C, esta diferencia en temperatura de 70° C es el equivalente al ahorro (48 % en promedio) proporcionado por el SSTP como auxiliar al sistema de caldera industrial.

El ahorro depende de la variación de temperatura por cada hora, el ahorro de combustible es mayor según las horas de trabajo efectivo de uso de la caldera. Basado en datos de radiación (Kcal/m²) establecidos en (Pre factibilidad de Tubos de Vacío, 2012) con una eficiencia del 90%, se determina un ahorro promedio anual de 49%, el cual difiere en 1% con el ahorro determinado en el estudio de 48%. La diferencia entre el mes de mayor ahorro (Abril) y el de menor ahorro (Diciembre) es del 17%. Ver cuadro 10.

Cuadro 10: Ahorro de combustible en los diferentes meses del año

Mes	Radiación (Kcal/m ²)	Ahorro de diesel (%)	Ahorro de diesel (Gal)
Enero	3387.79	41	164
Febrero	3903.67	48	192
Marzo	4496.99	55	220
Abril	4677.56	57	228
Mayo	4411.01	54	216
Junio	4350.82	53	212
Julio	4110.06	50	200
Agosto	4256.23	52	208
Septiembre	4454.00	54	216
Octubre	3826.31	46	184
Noviembre	3551.16	43	172
Diciembre	3276.01	40	160
Promedio	4058.47	49	196

Fuente: Elaboración propia en base a Pre factibilidad en Tubos de Vacío, 2012.

Codificación de tuberías en el interior de la planta

Para codificar las tuberías de agua y vapor se identifica la tubería **azul** para transporte del agua fría proveniente de la red potable, mientras que la tubería **roja** se identifica para transporte de vapor. Ver figura 21



Figura 21: tuberías de conducción de agua fría y vapor

Fuente: Planta de Cárnicos de Zamorano

Para dar mantenimiento al SSTP no es necesaria la intervención de gran cantidad de mano de obra, según la empresa productora y comercializadora del dispositivo (Solartron Energy Systems Inc); se le debe dar mantenimiento un mínimo de dos veces en el año. La operación del SSTP no requiere de mano de obra especializada debido a que no se necesitan conocimientos técnicos complejos para poner el sistema a funcionar y realizar las debidas actividades de monitoreo y control para su óptimo funcionamiento.

Cuadro 11: Resumen del Escenario uno

Descripción	SSTP	Caldera
Monto(USD)	75000	15000
Valor de rescate (USD)	1000	750
Vida útil (Años)	30	30
Depreciación anual (USD)	2467	570
Costo de mantenimiento/año	300	473

Cuadro 12: Datos generales del escenario uno

Descripción	Valor	Unidad
Vol. Agua caliente procesos/día	4500	Litros
Ahorro en consumo de combustible/mes	192	Galones
Tiempo de trabajo de caldera	5	Días
Vol. Agua caliente caldera/día	1321	Litros
Horas trabajo de caldera/día	4	Horas
Costo combustible/año	20688	USD
Depreciación	3037	USD
Precio combustible/galón	4.31	USD
Reducción emisiones de CO ₂ /año	23.04	t/año
Ahorro consumo de combustible	48	%
Ahorro pago de combustible	9930	USD

A continuación en el cuadro 13 se realizó el flujo de caja correspondiente al escenario 1. Para el cálculo de los diferentes indicadores financieros se toma en cuenta una tasa de

descuento al 15 % considerando que Zamorano invierte en la bolsa a dicha tasa, mientras que los gravámenes arancelarios son equivalentes al 0%. El sistema Solar Térmico Parabólico ha sido desarrollado por la empresa canadiense Solartron Energy System, especializada en la fabricación y comercialización de concentradores solares. Dentro de las facilidades que ofrece la empresa esta una garantía de 5 años, costos de mantenimiento por un periodo de 5 años, costos de transporte e instalación incluida. La vida útil del SSTP es de 30 años, por lo que su depreciación anual, sería equivalente a 2467 USD.

Cuadro 13: Flujo de caja SSTP + Caldera realizando la inversión

Detalles	1	2	3	4	5	6	
Inversion	75,000						
Consumo	2304	2304	2304	2304	2304	2304	
Precio/galon	4.31	4.57	4.84	5.13	5.44	5.77	
Utilidad	9930	10526	11158	11827	12537	13289	
Costo mantenimiento	473	473	473	473	473	773	
Ahorro	9457.24	10053	10685	11354	12063.7	12515.9	
Depreciación (-)	2942	2942	2942	2942	2942	2942	
Utilidad después de depreciación	6515.6	7111.4	7743	8412.4	9122	9574.2	
Depreciación(+)	2942	2942	2942	2942	2942	2942	
Beneficio neto acumulado	-75,000	9457.2	10053	10685	11354	12063.7	12515.9
PRI	-65,543	-55,490	-44,805	-33,451	-21,387	-8,871	

7	8	9	10	11	12	13	14
2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304
6.11	6.48	6.87	7.28	7.72	8.18	8.67	9.19
14086	14931	15827	16777	17784	18851	19982	21180
773	773	773	773	773	773	773	773
13313	14158	15054	16004	17011	18078	19209	20407
2942	2942	2942	2942	2942	2942	2942	2942
10372	11217	12113	13062	14069	15136	16267	17466
2942	2942	2942	2942	2942	2942	2942	2942
13313	14158	15054	16004	17011	18078	19209	20408
4,442	18,600	33,655	49,658	66,669	84,747	103,955	124,363

15	16	17	18	19	20	21
2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304
9.74	10.33	10.95	11.61	12.3	13.04	13.82
22451	23798	25226	26740	28344	30045	31848
773	773	773	773	773	773	773
21678	23025	24453	25967	27571	29272	31075
2942	2942	2942	2942	2942	2942	2942
18737	20084	21512	23025	24630	26330	28133
2942	2942	2942	2942	2942	2942	2942
21678	23025	24453	25967	27571	29272	31075
146,041	169,066	193,520	219,487	247,058	276,330	307,404

22	23	24	25	26	27	28
2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304
14.65	15.53	16.46	17.45	18.50	19.61	20.78
33758	35784	37931	40207	42619	45176	47887
773	773	773	773	773	773	773
32985	35011	37158	39434	41846	44403	47114
2942	2942	2942	2942	2942	2942	2942
30044	32069	34216	36492	38905	41462	44172
2942	2942	2942	2942	2942	2942	2942
32986	35011	37158	39433.9	41846.3	44404	47114
340,390	375,401	412,559	451,993	493,839	538,243	585,357

29	30
2304	2304
22.03	23.35
50760	53806
773	773
49987	53033
2942	2942
47046	50091
2942	2942
49987	54783
635,344	690,127

VAN	\$ 21,721.56
PRI	7 Años
TIR	18%

El Periodo de Retorno de la Inversión (PRI) es a 7 años, con un Valor Actual Neto (VAN) de \$.21, 721.56 al culminar los 30 años proyectados con respecto a la inversión inicial. Se tiene una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 18%, lo cual indica que el rendimiento futuro de la inversión es el 18% por encima de cada dólar que se invierta hoy.

3.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Cuadro 14: Cuadro comparativo de Escenarios

Detalle	E0	E1	Unidad
Tiempo de operación de la caldera	4	2	horas
Ahorro en combustible/año	0	48	%
Consumo de combustible/año	4800	2496	gal
Reducción en emisiones de CO2	0	23.04	t
Total de emisiones al año	48	24.96	t

4. CONCLUSIONES

- Con la implementación del escenario 1, el gasto en combustible se reduce en un 48%, equivalentes a 827 USD a partir del primer mes. Desde el momento en que el sistema suministra agua a la caldera, se proveería todos los días desde tempranas horas de la mañana, un volumen de agua con temperatura mayor a 20°C. En base a lo antes mencionado, se concluyó que se necesitaría liberar menos cantidad de energía calorífica para elevar la temperatura del agua desde 20°C hasta 165°C debido a menos uso de combustible, reflejando también que la cantidad de horas de uso de la caldera por mes se reducen de 4 horas a 2 horas al implementar el SSTP como complemento, optimizando la carga de trabajo de la caldera.
- Se reflejó una reducción en las emisiones de gases, contribuyendo así con el programa implementado por Zamorano “Eco Zamorano”, quien busca promover proyectos que sean autosostenibles y que aporten un beneficio al ambiente. Además se concluyó que la implementación del sistema contribuye con realzar la imagen de Zamorano, quien busca ser una universidad de ejemplo en Latinoamérica en la utilización de energía renovable. Contribuye con el mercadeo de Zamorano, debido a que al hacer uso del desarrollo de energía limpia en los procesos de productos dentro de la planta, se favorece a la atracción de inversionistas.
- El escenario 1 presentó un VAN de 21721.56 USD a un plazo de 30 años. Después del año 7 la inversión se recuperaría en su totalidad y si los precios de combustible continúan encareciéndose, el ahorro expresado en dinero será cada vez mayor.

5. RECOMENDACIONES

- Si la planta no invierte en el sistema propuesto, se recomienda invertir en investigaciones con el establecimiento de un sistema piloto más pequeño para medir rendimientos térmicos, determinar la capacidad de concentraciones de radiación y las temperaturas a las que se puede llevar el agua.
- Para promover el desarrollo de una planta parcialmente sostenible se recomienda realizar una inversión en un estudio de factibilidad previo para un sistema de recirculación cerrada de reciclaje de agua, donde se incluya el dimensionamiento de dicho sistema, incluyendo aspectos tanto técnico como económico financiero con el objetivo principalmente de optimizar el volumen de agua que se pierde al final de los procesos, el que a su vez posiblemente optimizaría también el gasto en combustible y generación de emisiones de CO₂.
- Se propone incluir la instalación de domos prismáticos en la nueva Planta de Cárnicos de Zamorano, un producto innovador ofrecido por la empresa Camco Energy que optimiza la iluminación dentro de la planta, con el objetivo de contribuir con la imagen de la empresa y reducir la dependencia de energía eléctrica proveída por la red.

6. LITERATURA CITADA

American Institute of Physics. J. Renewable Sustainable Energy. E. Venegas-Reyes, A. Jaramillo, R. Castrejón-García, J. O. Aguilar, and F. Sosa-Montemayor. Posgrado en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Temixco, Morelos 62580, México

Akinoglu B. G. (1991), A Review of Sunshine-Based Models Used to Estimate Monthly Average Global Solar Radiation, *Renewable Energy*, Vol. 1, p. 479-497.

Banco Mundial. 2010. Panorama general, desarrollo y cambio climático. Washington, Estados Unidos. 2 – 6p.

Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Temixco, Morelos 62580, México, Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n, Quintana Roo 77019, México (Received 6 March 2012; accepted 24 August 2012; published online 12 September 2012)

Cotización de paneles solares térmicos, consultado el 5 de Julio de 2012, disponible online en: <http://www.sunsurf.com.cn/products/201111169.shtml>

Volker.Quaschnig, Elsevier2004. Technical and economical system comparison of photovoltaic and concentrating solar thermal power systems depending on annual global irradiation. Available online at (www.sciencedirect.com);(www.volker-quaschnig.de.)

Javier García-Barberena , Pierre García , Marcelino Sanchez , Manuel J. Blanco, Carlos Lasheras , Asun Padro ´ s , Jaime Arraiza . National Renewable Energy Centre (CENER), Solar Thermal Energy Department, Ciudad de la Innovación 7, Sarriguren, Navarra, Spain
Kaltschmitt M., Wiese A., y Streicher W. 2010. *Energía Renovable, Tecnología, Economía y Ambiente*. Leipzig, Alemania. 123 - 170p.

N. Rosado Hau and M. A. Escalante Soberanis, “Efficiency of a parabolic trough collector as a water heater system in Yucatán, México,” *J. Renewable Sustainable Energy* 3, 063108 (2011).

Ochoa D. 2012. Análisis del uso de estrategias bioclimáticas y refrigeración solar en una planta agroindustrial. Tegucigalpa, Honduras. 60, 92p.

Price, H., Lufert, E., Kearney, D., et al., 2002. Advances in parabolic trough solar power technology. *Journal of Solar Energy Engineering* 124 (5), 109–125.

Suárez A. 1980. Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa. Madrid, España. 53 – 71p.

Solartron E.y.L Comercial Agro S.A. Depto. de Energías Renovables, 2012. Disponible en www.solartronenergy.com

Twindell J. y Weir T. 2008. Recursos de Energía Renovable. Nueva York, Estados Unidos. 115 – 140p.

Tapia Arreaga, J.G. 2012. Prefactibilidad de tubos de vacío en planta de lácteos de zamorano. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 46 p.

Valan Arasu and T. Sornakumar, “Design, manufacture and testing of fiberglass reinforced parabola trough for parabolic trough solar collectors,” *Sol. Energy* 81, 1273–1279 (2007).

Valan Arasu and T. Sornakumar, “Performance characteristics of parabolic trough solar collector system for hot water generation,” *Int. Energy J.* 7, 137–145 (2006).

7. ANEXOS

Anexo 1: Cálculos de eficiencia del SSTP

Mes	Kcal/cm2	MJ/m2	Kw/m2*h	Kcal/ m2*hora	Qp/hora	Qe/hora	T	T (sistema/hora)	T(sistema/hora)
Enero	339.62	14.2	3.94	3396200	142000	127800	52.7199	32.71989923	150.8796
Febrero	393.24	16.44	4.57	3932400	164400	147960	57.88135	37.88134812	171.5254
Marzo	450.51	18.83	5.23	4505100	188300	169470	63.38843	43.38842975	193.5537
Abril	468.66	19.59	5.44	4686600	195900	176310	65.13964	45.13963563	200.5585
Mayo	441.76	18.47	5.13	4417600	184700	166230	62.55891	42.55891118	190.2356
Junio	435.92	18.22	5.06	4359200	182200	163980	61.98286	41.98285662	187.9314
Julio	418.54	17.49	4.78	4185400	174900	157410	60.30078	40.30077729	181.2031
Agosto	462.23	19.32	4.95	4622300	193200	173880	64.5175	44.5174967	198.07
Septiembre	446.06	18.65	5.18	4460600	186500	167850	62.97367	42.97367047	191.8947
Octubre	383.22	16.02	4.45	3832200	160200	144180	56.91358	36.91357645	167.6543
Noviembre	355.98	14.88	4.13	3559800	148800	133920	54.28677	34.28676764	157.1471
Diciembre	328.47	13.73	3.81	3284700	137300	123570	51.63692	31.63691665	146.5477
Promedio	410.35	17.15	4.72						

Anexo 2: Cálculo de diesel ahorrado

vol vapor (lb)	masa (kg)	diesel	Ahorro diesel (%)	ahorro diesel (gal)	ahorro diesel (\$)
1739.2	83.38		48%	7.2	31.03

Anexo 3: Tendencias en precio de petróleo

Año	Mes	PETRÓLEO WTI (US\$/bb.)
2001	Promedio	25,9
2002	Promedio	26,1
2003	Promedio	31,1
2004	Promedio	41,4
2005	Promedio	56,5
2006	Promedio	66,0
2007	Promedio	72,3
2008	Promedio	99,61
2009	Promedio	61,7
2010	Promedio	79,4
2011	Promedio	95,1

Fuente: Banco Central de Chile, en base a información de Bloomberg.

Precio	Diferencia		Tendencia	Volumen
01:48 - \$ 86.94				
		0.15 0.17%		
Max/Min	Abierta	52 Semanas	Pronóstico anual	
86.84 - 87.05	86.91	77.56 - 109.95	\$100 / Barril	

Fuente: Precio de Petróleo Crudo por Oil-Price.NET

Anexo 4: Componentes del SSTP

