

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño de un sistema de evaporación de agua utilizando colectores solares
para la producción de energía eléctrica en una avícola en Guatemala

Guatemala
2006

Diseño de un sistema de evaporación de agua utilizando colectores solares para la producción de energía eléctrica en una avícola en Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Diseño de un sistema de evaporación de agua utilizando colectores solares
para la producción de energía eléctrica en una avícola en Guatemala

Trabajo de investigación presentado por Mayra de Jesús Salcedo Zea
para optar el grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

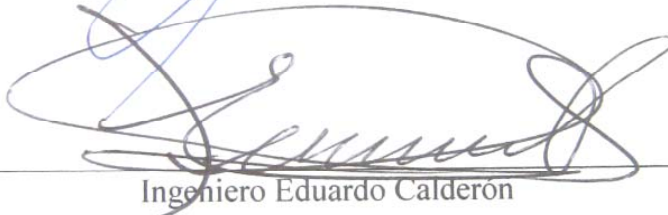
Guatemala
2006


Vo. Bo.:

(f) 
Ingeniero Gamaliel Zambrano

Tribunal

(f) 
Ingeniero Gamaliel Zambrano

(f) 
Ingeniero Eduardo Calderón

(f) 
Ingeniero Julio Paredes

Fecha de aprobación:

30 de Noviembre de 2006

Dedicado a:

Dios

mis queridos padres

mis hermanos

PREFACIO

Siempre me ha interesado la tecnología ambientalista, y cuando mi papá mencionó la posibilidad de generar energía eléctrica utilizando la energía solar surgió en mi mente la idea de aplicarla en la industria. Sin imaginármelo, una industria avícola abrió sus puertas a mi idea.

La obtención de información sobre la energía solar y sus aplicaciones fue uno de los factores limitantes, en Guatemala aún no se conoce la industria de las generadoras solares, por lo que la información con que se cuenta data de una década atrás o más. Al realizar búsquedas en Internet encontré bastante información de empresas distribuidoras de colectores, pero generalmente ellas realizan los proyectos por lo que no proporcionan la información necesaria para realizar un diseño.

La búsqueda fue larga, pero valió la pena. El mundo de la energía solar utilizando colectores se abrió a mis ojos y quedé fascinada con la tecnología que se está utilizando en otros países y que aquí, en Guatemala, es desconocida por la mayoría de la población.

Agradezco a Eduardo Zarza y al Ingeniero Andrés Urrutia por compartir conmigo su experiencia y conocimiento sobre los colectores solares. Y a todos aquellos que me apoyaron y ayudaron de diferentes formas a lo largo del desarrollo de este trabajo. ¡Qué Dios los bendiga!

Mayra Salcedo Zea

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar un sistema de evaporación de agua utilizando colectores solares, aprovechando la energía producida por el sistema de evaporación para producir corriente eléctrica alterna, en una avícola.

Para ello se recopiló información sobre colectores solares y se determinó que se necesitan 10 colectores solares parabólicos para producir vapor sobrecalentado a 1×10^4 kPa (100 bar) y 400 °C.

Con esta información se diseñó y dimensionó el equipo requerido: el turbogenerador para la producción de corriente alterna del sistema tiene una capacidad de 10.8 MW, trabajar a 60 Hz y 13,800 kV para poder conectarlo a la subestación de la empresa, el intercambiador de calor de concha y tubos para el sistema de calentamiento de agua la concha es de 0.3429 m de diámetro utiliza 151 tubos de 4.8768 m de largo, de 0.01905 m de diámetro BWG 16 entre los instrumentos y accesorios necesarios para el sistema están las válvulas de mariposa y las válvulas de globo, las bombas de diferentes capacidades y la trampa de vapor.

Después de realizar el análisis económico del proyecto se determinó que la tasa interna de retorno es de 44.51 %, el tiempo de recuperación del proyecto es de 2.10 años y el valor actual neto del proyecto es de Q 2,959,764.44. Por lo que el proyecto es factible económicamente, además de ser ambientalmente amigable.

ABSTRACT

The main objective of this work was design an evaporation system using solar collectors, using the energy product of the evaporation system to generate electricity for use it in a poultry.

To do it, I gathered information about solar collectors and I determined that is necessarily ten parabolic collectors to get superheater steam at 1×10^4 kPa (100 bar) and 400 °C.

With this information, I sized the required equipment: a turbo generator, to generate electricity, for 10.8 MW, working at 60 Hz and 13,800 KV, to connect it to the substation of the company; the heat exchanger for the heat system has a shell of 0.3429 m of diameter, and use 151 pipes BWG 16 of 4.8768 m of length and 0.01905 m of diameter; the system needed glove and butterfly valves, pumps of different size and a steam trap for superheat conditions.

I did an economic analysis of this project and I found that the internal return rate is 44.51%, the recovery time of this project is 2.10 years and the actual net value is Q 12,959,764.44 . So, this project is financially profitable and it is friendly for the environment.

ÍNDICE

	Página
PREFACIO.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	xi
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. RESUMEN HISTÓRICO.....	2
1. Reflectores solares.....	2
2. Motores impulsados por energía solar y otras aplicaciones.....	2
B. ENERGÍA SOLAR.....	3
1. Ventajas de la energía solar.....	3
2. Desventajas de la energía solar.....	4
C. COLECTORES SOLARES.....	4
1. Factores que afectan la disponibilidad de la energía solar.....	4
a. Localización geográfica.....	4
b. Localización del colector.....	4
c. Orientación del colector.....	4
d. Tiempo de radiación del día.....	4
e. Tiempo del año.....	4
f. Condiciones atmosféricas.....	4
g. Diseño del colector:.....	4
2. Colector plano.....	5
3. Colector parabólico.....	5
a. Configuración de colectores.....	5
b. Radio de concentración.....	6
d. Sistemas de calentamiento solar.....	6
e. Centrales térmicas de energía solar.....	7
f. Turbinas.....	7
1. Tipos de turbina de vapor.....	8
a. Turbina de condensación directa.....	8
b. Turbina directa sin condensación.....	8
c. Turbina de extracción no automática.....	8
d. Turbina de extracción automática.....	8
e. Turbina.....	8
f. Turbina de presión mixta.....	8
g. Turbina de recalentamiento.....	8
2. Selección de la turbina.....	8
G. GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA.....	9
H. AVÍCOLAS.....	9
III. JUSTIFICACIÓN.....	11

	Página
IV. OBJETIVOS	12
A. GENERAL	12
B. ESPECÍFICOS	12
V. PROBLEMA A RESOLVER	13
VI. METODOLOGÍA	14
VII. RESULTADOS	15
VIII. DISCUSIÓN	19
IX. CONCLUSIONES	23
X. RECOMENDACIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25
APÉNDICE	26
A. CÁLCULOS DE MUESTRA DEL DISEÑO DE EQUIPO	26
1. Determinación de la cantidad de colectores necesarios para evaporar agua.....	26
2. Determinación de las características del turbogenerador:	26
3. Diseño del intercambiador de calor	27
4. Diseño del tanque de almacenamiento	29
5. Diseño de bomba	30
B. CÁLCULOS DE MUESTRA DE LA DETERMINACIÓN DE COSTOS	32
1. Estimación de costo de equipo utilizando índices de costo.	32
2. Estimación de costos de forma directa.	33
3. Costo total del equipo.....	33
4. Obtención de la inversión inicial	33
5. Cálculo de la depreciación.....	34
6. Obtención de la tasa interna de retorno (TIR)	34
7. Obtención del valor actual neto (VAN).....	34
8. Cálculo del tiempo para la recuperación de la inversión.....	34
C. TABLAS Y GRÁFICAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.	35
D. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA DEL SISTEMA.	27
E. DATOS CALCULADOS EN EL DISEÑO DEL EQUIPO	38
F. DATOS CALCULADOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla No. 1 Colectores necesarios para el sistema.....	15
Tabla No. 3 Características del intercambiador de calor.....	15
Tabla No. 4 Equipo e instrumentos necesarios para el sistema.....	16
Tabla No. 5 Análisis económico del proyecto.....	16
Tabla No. 6 Factores de costo.....	33
Tabla No. 7 Porcentajes para la depreciación SMARC.....	34
Tabla No. 8 Coeficientes típicos globales de intercambio U.....	35
Tabla No. 9 Área transversal de flujo y superficie para tubos de calibre 16 BWG.....	35
Tabla No. 10 Bomba del tanque de almacenamiento a colectores solares.....	38
Tabla No. 11 Bomba de alimentación al tanque de almacenamiento.....	38
Tabla No. 12 Bomba de la trampa de vapor al tanque de almacenamiento.....	38
Tabla No. 13 Costo del equipo e instrumentación.....	39
Tabla No. 14 Costo de la obra civil.....	40
Tabla No. 15 Salarios de instalación y puesta en marcha.....	40
Tabla No. 16. Salarios de operación de la planta generadora.....	41
Tabla No. 17 Flujo de caja del proyecto.....	41
Tabla No. 18 Horas de sol promedio para el año 2006, en Guatemala.....	42

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Diagrama No. 1 Sistema de calentamiento solar	7
Diagrama No. 2 Esquema de una turbina	9
Diagrama No. 3 Diagrama de flujo del sistema de generación solar	17
Diagrama No. 4 Vista en planta del sistema de generación solar	18
Gráfica No. 1 Determinación del diámetro de la coraza o concha	36
Gráfica No. 2 Figura para determinar el espaciado de los deflectores	36
Gráfica No. 3 Horas de sol promedio para el año 2006, en Guatemala.....	42

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento de agua mediante energía solar es una alternativa ecológica y actualmente se ha convertido en una tecnología atractiva y competitiva; entre sus aplicaciones se encuentran el calentamiento de agua en aplicaciones industriales, secado, calefacción, conversión termodinámica en centrales solares para la generación de energía eléctrica y desalinización.

Se diseñó un sistema de evaporación de agua utilizando colectores solares, para aprovechar el vapor generado en la producción de energía eléctrica. Con ello se obtuvo agua caliente, como subproducto por el condensado, para la planta de producción y co-generación energía eléctrica para una avícola localizada en Guatemala.

Para ello se recopiló información sobre los colectores solares, determinando la cantidad necesaria de éstos para poder evaporar el agua, con el vapor generado se activó una turbina, la cual a su vez activó un generador de energía eléctrica (alterna) y al mismo tiempo se obtuvo, como subproducto, agua caliente para el proceso de desplume de los pollos en la avícola. Se determinó las características del turbogenerador para la producción de energía eléctrica alterna y se diseñó el intercambiador de calor para la obtención del agua caliente, así como se determinó los instrumentos y accesorios necesarios para el sistema. Además, se presentó un diagrama de flujo y el lay-out del sistema propuesto, así como el análisis económico del proyecto.

II. ANTECEDENTES

A. Resumen Histórico

1. **Reflectores solares.** Los antiguos griegos descubrieron el principio de los reflectores solares, ellos sabían que si un gran número de personas sostenían espejos planos en la posición apropiada y enfocados en un mismo punto, el blanco en ese punto podría incendiarse. Llegaron a construir reflectores esféricos y cóncavos. (Kreider 1981, p 5)

Muchos estudio sobre los reflectores se llevaron a cabo en la antigüedad y Edad Media. En Damasco, siglo I A.C., se utilizaban espejos esféricos y cóncavos para destilaciones. En los siglos XVII y XVIII se construyeron espejos esféricos y cóncavos de grandes dimensiones; los científicos los utilizaban para demostraciones espectaculares mas no para propósitos prácticos. (Kreider 1981, p 5)

2. **Motores impulsados por energía solar y otras aplicaciones.** En 1860, Francia, Mouchot empezó las primeras investigaciones científicas de la aplicación práctica de la energía solar, creando el primer evaporador solar, el cual podía aumentar la temperatura de $4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (1.05 gal) de agua de 10 °C a 100 °C en menos de una hora. (Kreider 1981, p 8)

En 1872, en el nublado desierto al Norte de Chile, un proceso de destilación solar fue construido para desalinizar agua salada para una mina de nitrato. Esta planta operó efectivamente por 40 años, produciendo más de 22.71 m³ (6,000 galones) de agua por día; este es un ejemplo de la aplicación a gran escala de la energía solar. En 1878, en una exhibición en París, los rayos solares eran enfocados es un sistema de evaporación de agua, que operaba un motor de vapor y éste accionaba una prensa de impresión. (Daniels 1974, p 8)

En 1901, al Sur de Pasadena, un colector en forma de cono desarrollaba 3.4 kW (4.5 hp) utilizando un área de 10.39 m²/kW (150 pie²/hp). Desde 1902 hasta 1908, en California, se construyeron cuatro motores solares. En 1907 y 1911, Shuman desarrolló motores de vapor solares de varios caballos de fuerza para bombear agua. En 1913, en Egipto, se construyó un gran motor solar cerca de 37.28 kW (50 hp), con cilindros parabólicos que enfocaban la radiación solar en una tubería central; utilizado para irrigar agua desde el Río Nilo. (Daniels 1974, p 9)

Uno de los primeros ensayos para almacenar la energía generada utilizando radiación solar fue hecho en Nuevo México por Harrington. Él enfocaba los rayos solares en un hervidor el cual activaba un motor de vapor y bombeaba agua a 6.096 m (20 pies) a un tanque, desde el cual bajaba a una turbina de agua, operando un dínamo y lámparas eléctricas que iluminaban una pequeña mina día y noche. Desde 1941 a 1946 se desarrollaron motores de vapor solares en Rusia. (Daniels 1974, p 9)

En 1970, en Francia, se construyó un horno solar de 1,000 kW, cuyo sistema utilizaba una batería de espejos

parabólicos. (Adams 1983, p 11)

La tecnología de la era espacial le ha dado a la energía solar un gran impulso. Los ingenieros de la NASA han adquirido suficientes conocimientos sobre la materia para desarrollar la energía necesaria para que las naves espaciales puedan desplazarse con sus propios medios, una vez en el espacio exterior. Un elevado porcentaje de la energía que emplean en la navegación espacial es suministrada por colectores solares fotovoltaicos, que la reciben directamente del sol. (Adams 1983, p 11)

B. Energía Solar

Energía es la capacidad de realizar un trabajo. Ésta se obtiene generalmente de cuatro fuentes primarias; el petróleo, gas natural y líquidos derivados, carbón y leña. Estos recursos son limitados e irrenovables. Debido a ello se ha buscado fuentes más duraderas permanentes, entre las cuales se encuentran la energía nuclear y la energía solar. La energía nuclear requiere técnicas muy desarrolladas y medios costosos para su utilización de forma segura, pudiendo tener efectos indeseables. La energía solar promete convertirse en una inagotable y segura fuente de energía. (Adams 1981, p 11)

La energía solar es la fuente permanente de energía más abundante que se conoce. La cantidad de energía solar interceptada por el planeta Tierra es de 170 billones de kW por año; de ella, el 30 % es reflejada al espacio, 47 % convertida en calor a baja temperatura y el 23 % acciona el ciclo de evaporación-transpiración de la biosfera. La cantidad de energía solar interceptada por la tierra es una pequeña fracción de la energía total de la conversión de hidrógeno en helio, por segundo, en el sol. (Adams 1981, p 13)

La intensidad de la radiación solar que llega realmente a la superficie de la tierra en un lugar determinado, depende de varios factores:

- La intensidad de la radiación solar aumenta cuando la Tierra se acerca al sol y disminuye cuando se aleja, debido al movimiento de traslación de ésta.
 - Las estaciones y las latitudes influyen en las condiciones de disponibilidad de energía recibida por el sol.
 - La radiación solar disminuye debido a la dispersión y absorción al atravesar la atmósfera terrestre.
- (Adams 1981, p 14)

1. Ventajas de la energía solar

- Es una fuente de energía gratuita.
- Es limpia, no contamina.
- Es renovable.
- Puede independizar la obtención de energía del petróleo o de otras alternativas poco seguras y/o contaminantes. (García 2005)

2. Desventajas de la energía solar

- Esta energía está sometida a continuas fluctuaciones.
- Es de vital importancia proseguir con el desarrollo de la tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala planetaria.
- Uno de los obstáculos para el aprovechamiento en general de la energía solar es su baja intensidad. Incluso para las condiciones de tiempo despejado, la baja intensidad y la variabilidad de la energía son unas desventajas importantes en una fuente de energía.
- Otro inconveniente que tiene esta energía es el impacto medioambiental. Porque hay que construir esta instalación en un amplio terreno ocupando mucho espacio. (García 2005)

C. Colectores solares

Un colector solar es un dispositivo que intercepta los rayos del sol y los convierte directamente en una forma conveniente para transportar energía. Un colector de calor solar absorbe la energía procedente del sol y la convierte en calor. Un colector fotovoltaico convierte los rayos del sol directamente en electricidad. (Adams 1981, p 29)

1. Factores que afectan la disponibilidad de la energía solar. Hay siete factores principales que afectan la cantidad de radiación solar que incide en un colector solar:
 - a. Localización geográfica: en regiones soleadas hay mayor radiación solar disponible para los colectores que en regiones nubladas. La disponibilidad de la radiación solar también aumenta con la altitud.
 - b. Localización del colector: los colectores parcialmente eclipsados no interceptarán tanta radiación solar como los colectores que se encuentren despejados.
 - c. Orientación del colector: éste es un factor extremadamente importante. Los colectores que se encuentran en la trayectoria del sol y se mantienen perpendicular a los rayos del sol, interceptan mayor radiación solar que los colectores estacionarios.
 - d. Tiempo de radiación del día: los colectores solares interceptan menor radiación solar durante la noche que durante el día; así como la radiación solar disponible durante el amanecer y atardecer es menor que durante el mediodía.
 - e. Tiempo del año: durante los meses de verano hay mayor disponibilidad de energía solar que durante los meses de invierno, porque los días son más largos en el verano.
 - f. Condiciones atmosféricas: la variable atmosférica más importante son las nubes; éstas reducen frecuentemente la cantidad de radiación solar que incide en el colector.
 - g. Diseño del colector: el diseño con mayores diferencias es entre el colector plato, el cual puede coleccionar radiación solar directa y difusa, y el colector concentrador, el cual sólo utiliza la radiación solar directa. (Kreider 1981, p 2)

2. **Colector plano.** En éstos un fluido motor pasa por el interior del colector, recoge el calor del sol de la superficie absorbente y lo transporta, enviándolo fuera del colector. El fluido calentado puede emplearse directamente o depositar el calor en un receptáculo de almacenamiento. (Adams 1981, p 29)

3. **Colector parabólico.** La concentración de radiación solar se hace necesaria cuando se desea obtener altas temperaturas, mayores a las que se pueden obtener con colectores planos. En éstos la radiación es reflejada hacia una tubería colocada en el centro del colector, en la cual fluye un fluido que absorbe el calor. (Kreider 1981, p 1)

Desde el punto de vista de ingeniería, los colectores presentan problemas adicionales a los colectores planos: los colectores parabólicos deben ser orientados hacia la trayectoria del sol para que la superficie pueda absorber directamente la radiación solar. (Duffie 1980, p 282)

Los colectores constan de dos partes: el concentrador y el receptor. El receptor es el elemento del sistema donde la radiación es absorbida y convertirla a otra forma de energía e incluye el absorbedor, asociado al cobertor e aislamiento. El concentrador o sistema óptico es la parte del colector que dirige la radiación al receptor. (Duffie 1980, p 282)

a. **Configuración de colectores.** Muchos tipos de concentradores se utilizan para incrementar el flujo de radiación en los receptores. Éstos pueden ser reflectores o refractores cilíndricos para enfocar en línea o circulares para enfocar en un punto. Los receptores pueden ser cóncavos, planos o convexos. (Duffie 1980, p 283)

El receptor plano utiliza reflectores planos en los extremos para reflejar radiación adicional en el receptor. El radio de concentración de este tipo son relativamente bajos. Algunos de los componentes difusivos de la radiación en los reflectores son absorbidos en el receptor. Estos colectores pueden verse como colectores planos con radiación aumentada. (Duffie 1980, p 283)

El reflector de sección parabólica, puede tener una superficie cilíndrica con un receptor tubular o con un receptor esférico o semi-esférico. (Duffie 1980, p 283)

En general, los concentradores con receptores más pequeños que la abertura son efectivos sólo con radiación directa. Es evidente que la orientación de la radiación en el concentrador es importante por lo que será necesario un sistema que permita seguir la trayectoria del sol. (Duffie 1980, p 285)

Los sistemas ópticos lineales enfocan la radiación al receptor si el sol se encuentra en el plano central al concentrador. Para estos sistemas es posible la rotación axial respecto a un solo eje según convenga. La rotación axial puede ser norte-sur, este-oeste, inclinada o paralela respecto al eje de la Tierra. (Duffie 1980, p 285)

Los recolectores que tienen superficies con concentradores circulares generalmente se deben orientar para que el enfoque, vértice y el sol estén alineados, y debe ser posible el movimiento en dos ejes. (Duffie 1980, p 285)

El sistema de orientación provee de ajuste continuo, con movimientos del colector, con lo cual compensa el cambio de posición del sol conforme pasa el día. Los sistemas de orientación continua pueden estar basados en operaciones manuales o mecanizadas. Los sistemas manuales dependen de la observación de los operadores y sus habilidades para realizar las correcciones necesarias y adecuadas si el radio de concentración no es el establecido y si los costos no son demasiado altos; este tipo de sistema se debe utilizar en áreas de bajo costo laboral. (Duffie 1980, p 285)

Los sistemas de orientación mecanizados pueden ser sistemas de seguimiento solar o sistemas programados. Los sistemas de seguimiento solar utilizan detectores para determinar la desalineación del sistema y a través de controles realiza las correcciones necesarias para realinearlo. Por otra parte, el sistema programado mueve el colector de forma predeterminada y solo necesita de un chequeo ocasional para asegurar la alineación. Éste se puede utilizar en combinación de métodos de trayectoria. (Duffie 1980, p 285)

b. Radio de concentración. El radio de concentración está definido como el área de la abertura entre el área del receptor. El límite superior del valor del radio depende si la concentración se realiza en un concentrador tridimensional como un paraboloides o en un concentrador bidimensional como un cilíndrico-parabólico. (Duffie 1980, p 286)

D. Sistemas de calentamiento solar

En el diseño de un sistema de calentamiento se deben considerar varios factores. Algunos factores generales se relacionan con los requerimientos del proceso en sí, como la temperatura requerida, la naturaleza continua o intermitente del proceso. (Harris 1985, p 678)

Los requerimientos del sistema para un proceso industrial de calentamiento de agua son diferentes de los sistemas domésticos. Debido a las altas temperaturas de operación en el sistema industrial, se necesita un desarrollo más exacto de los componentes del sistema, como la capacidad de operación a altas temperaturas lo cual normalmente es acompañada de altas temperaturas. (Harris 1985, p 678)

En general, un sistema de calentamiento para calentar fluidos y agua consta de un arreglo de colectores que consiste en colectores de temperatura alta conectados en serie o paralelo, cada banco de colectores tiene válvulas de aislamiento, de purga y de seguridad. El número de colectores conectado en serie se determina por medio de la temperatura requerida o deseada. El circuito de colectores consiste en intercambiador de calor de alta presión, purgador de aire, tanque de almacenamiento del fluido, bomba del circuito de colectores, válvula de seguridad (presión), válvula de presión, válvulas de aislamiento de la bomba, válvula de llenado, válvula de paso y válvula de purga. (Harris 1985, p 679)

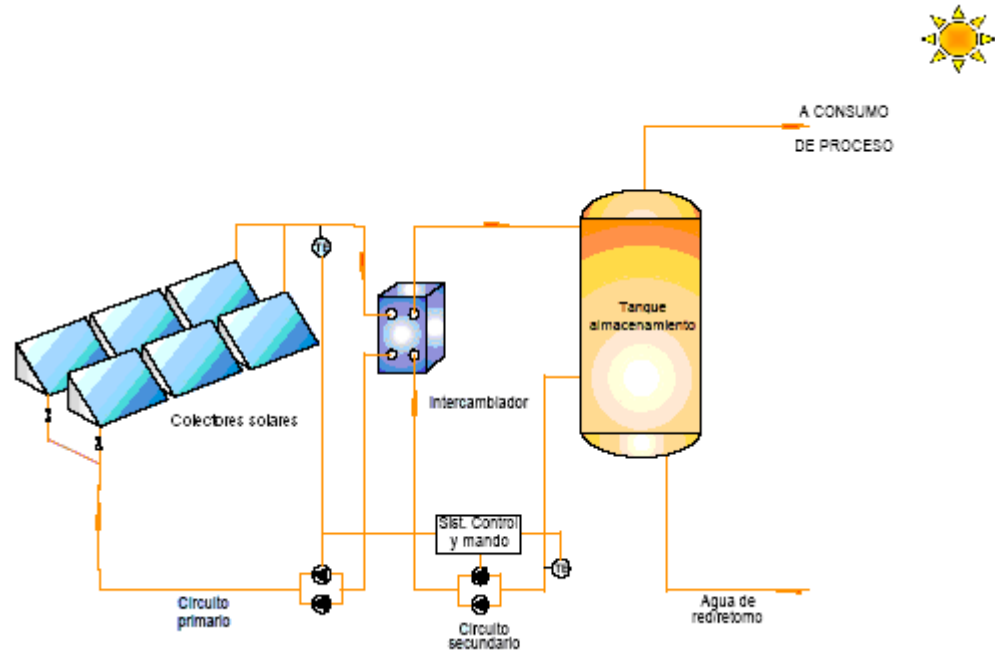


Diagrama No. 1 Sistema de calentamiento solar

E. Centrales térmicas de energía solar

La energía solar puede ser convertida en energía térmica por medio de colectores planos o parabólicos. Esa energía térmica puede ser utilizada para accionar una turbina y, por tanto, convertir la energía solar en energía mecánica. (Duffie 1974, p 346)

El principal problema es la limitación en la temperatura generada por los colectores solares; el sistema de suministro de energía solar trabaja mejor a temperaturas bajas, mientras que las turbinas son más eficientes con energía de alimentación de temperatura alta. Este problema se acentúa en colectores planos, los cuales están limitados, por consideraciones prácticas, proporcionando energía a aproximadamente 100 °C sobre la temperatura del ambiente; con esto da como resultado bajas eficiencias térmicas para la turbina. Los colectores parabólicos, pueden entregar energía a altas temperaturas y actualmente son utilizados para la generación de energía eléctrica. (Duffie 1974, p 347)

F. Turbinas

Una turbina consiste en un conjunto alternado de toberas y aspas giratorias a través de las cuales el vapor o gas fluye en un proceso de expansión en estado estacionario cuyo efecto total es la conversión eficiente de la energía interna de una corriente de alta presión en un trabajo de flecha. (Smith 2003)

Las turbinas de vapor se dividen en dos categorías principales: aquellas que se utilizan en la generación eléctrica y las turbinas de propulsión mecánica, las cuales son unidades de propósito general que se utilizan en el accionamiento de bombas, compresores, etc. (Perry 2006, p 22)

1. Tipos de turbina de vapor. Existen diversos tipos de turbinas de vapor:

- a. Turbina de condensación directa. Todo el vapor entra a la turbina a una determinada presión y todo el vapor abandona la turbina a la salida a una presión inferior a la atmosférica.
- b. Turbina directa sin condensación. La totalidad del vapor entra en la turbina a presión y la abandona a la salida a una presión igual o superior a la atmosférica.
- c. Turbina de extracción no automática, con o sin condensación. El vapor es extraído en una o más etapas, lo que no significa que haya control sobre la presión de vapor.
- d. Turbina de extracción automática, con o sin condensación. El vapor se extrae en una o más etapas, pero controlando la presión del vapor extraído.
- e. Turbina de extracción e inducción automática, con o sin condensación. El vapor se extrae o se admite en una o más etapas pero con capacidad de controlar la presión del vapor de extracción y/o del vapor de admisión.
- f. Turbina de presión mixta, con y sin condensación. El vapor entra a la turbina a dos o más presiones a través de los conductos de entrada diferentes, con los que se consigue el control de la presión del vapor de entrada.
- g. Turbina de recalentamiento. El vapor, después de haberse expandido en varias etapas de la turbina, sale de la misma y pasa por una sección de la caldera, donde se recalienta. El vapor recalentado vuelve a introducirse a la turbina, donde se expande. (Perry 2006, p 22)

2. Selección de la turbina. Las principales variables que afectan a la elección de una turbina son:

- a. Velocidad y potencia de la máquina arrastrada.
- b. Presión y temperatura de vapor disponible o previsible.
- c. Cantidad de vapor necesaria en el proceso, de tal forma que se pueda considerar la utilización de una turbina de contrapresión.
- d. Costo del vapor y eficiencia de la turbina, teniendo en cuenta el número de etapas y las diferentes opciones de válvulas.
- e. El uso de mecanismos reductores o incrementadores de velocidad.
- f. Extracciones para el calentamiento del agua de alimentación.
- g. Tener condensación en la turbina con extracciones para el proceso.
- h. Sistemas de control sobre la velocidad, la presión o controles sobre el proceso, de manera que pueden considerarse el control remoto de la turbina.
- i. Protecciones, como válvulas de escape de disparo por sobre-velocidad, monitores de velocidad, etc.

- j. Rango de precios desde el más pequeño de la turbina de etapa única la máximo de una turbina multi-etapa pero de máxima eficiencia. (Perry 2006, p 31)

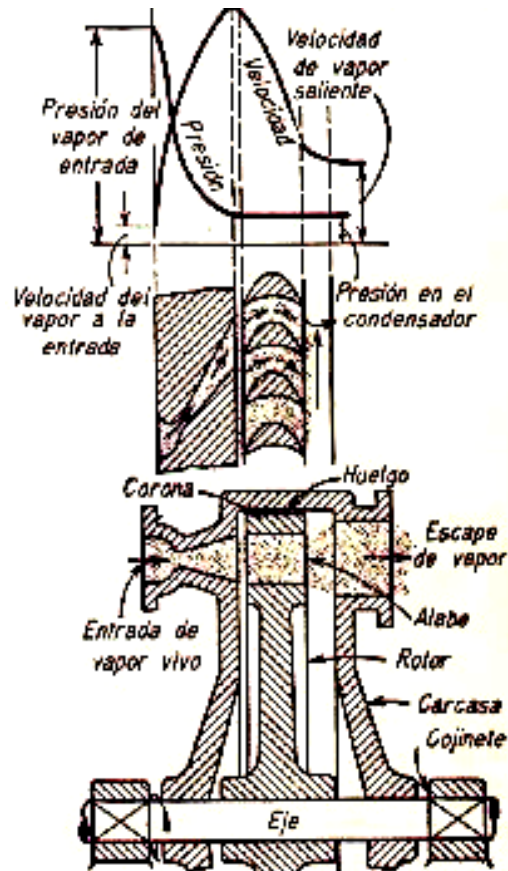


Diagrama No. 2 Esquema de una turbina

G. Generadores de corriente alterna

El generador de corriente alterna es un dispositivo que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. El generador más simple consta de una espira rectangular que gira en un campo magnético uniforme. (Franco 2006)

El movimiento de rotación de las espiras es producido por el movimiento de una turbina accionada por una corriente de agua en una central hidroeléctrica, o por un chorro de vapor en una central térmica. En el primer caso, una parte de la energía potencial agua embalsada se transforma en energía eléctrica; en el segundo caso, una parte de la energía química se transforma en energía eléctrica al quemar carbón u otro combustible fósil. (Franco 2006)

H. Avícolas

En la industria avícola, la venta de aves faenadas es importante. Para realizar el sacrificio y desplume pueden emplearse varios métodos: en los establecimientos donde el sacrificio de aves se lleva a cabo en escala comercial, se

cortan los vasos sanguíneos de la garganta con un instrumento de buen filo y se cuelga el ave de un gancho para que se desangre totalmente. (Winter 1991, p 346)

Para el desplume existen diferentes métodos para realizarlo: el desplumado en seco (poco utilizado actualmente); el escaldado intenso (consiste en sumergir cada ave en agua a una temperatura variable de 82 °C a 88 °C, el tiempo de sumersión varia con la temperatura del agua, hasta un máximo de 10 segundos); el subescaldado (se realiza cuando se preparan aves que tienen que ser congeladas rápidamente y vendidas en trozos preparados para cocinar, deben sumergirse en agua cuya temperatura no exceda de 60 °C, para evitar que la piel tenga un aspecto de escaldada y evitar manchas al refrigerar las aves después de su preparación); el semiescaldado (consiste en sumergir el ave en agua o esparcir sobre ella agua a una temperatura comprendida entre 50 °C y 53 °C, durante 30 segundos aproximadamente); y el desplumado con cera (consiste en bañar las aves en cera derretida, después de haber quitado la mayor parte de las plumas). (Winter 1991, p 347)

El desplumado se inicia inmediatamente después del semiescaldado. Cuando la preparación se hace en la explotación del productor, deben colgarse las aves de ganchos y desplumarse utilizando un desplumador mecánico, equipado con dedos de hule. En las instalaciones comerciales de preparación de aves, se llevan éstas desde el equipo de escaldado hasta las máquinas desplumadoras automáticas, colgadas de ganchos suspendidos de un transportador sin fin, movido por un motor. (Winter 1991, p 349)

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente nuestro planeta sufre de gran contaminación debido al uso excesivo de hidrocarburos, la combustión de los mismos para la producción de energía y operación de las plantas industriales. Sin embargo, la naturaleza nos provee opciones para producir energía, denominada “Energía Limpia”, que son ya utilizadas por el ser humano, como las hidroeléctricas y los colectores solares.

La radiación solar es un recurso energético abundante en el planeta y puede ser utilizado para suministrar calefacción, agua caliente o electricidad. La generación de electricidad se puede conseguir mediante una conversión directa (celdas fotovoltaicas) o por una conversión indirecta (mediante la previa conversión de energía solar a calor).

Una de las industrias que utiliza agua caliente es la industria avícola ya que la utiliza para el desplume de pollos, la temperatura del agua varía según el método a utilizar (el escaldado intenso, el subescaldado o el semiescaldado); por lo que requiere de un sistema de calentamiento de agua.

La opción más conveniente para las industria avícola sería un sistema solar por conversión indirecta para generar electricidad, ya que no sólo obtienen el vapor o agua caliente sino también producen electricidad; obteniéndose una reducción de costos y debido a que las colectores se pueden instalar en los techos o terrazas de las instalaciones no necesitan ampliar sus instalaciones, además el mantenimiento de las mismas es mínimo.

IV. OBJETIVOS

A. General

1. Diseñar un sistema para la evaporación de agua utilizando colectores solares, aprovechando la energía producida por el sistema de evaporación para producir corriente eléctrica alterna.

B. Específicos

1. Determinar la cantidad necesaria de colectores solares para alcanzar la evaporación del agua hasta vapor sobrecalentado a 1×10^4 kPa (100 bar).
2. Determinar las características del turbogenerador apropiado para la producción de corriente alterna del sistema.
3. Diseñar un intercambiador de calor apropiado para el sistema de calentamiento de agua.
4. Determinar los instrumentos y accesorios necesarios para el sistema.
5. Elaborar el diagrama de flujo y el lay-out del sistema propuesto.
6. Elaborar el análisis económico del diseño.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente, en Guatemala, una industria avícola requiere de agua caliente (a 65 °C) para el desplume de las aves. El agua caliente la obtienen utilizando vapor o resistencias eléctricas como medios de calentamiento, ambos métodos resultan económicamente muy costosos.

VI. METODOLOGÍA

1. Recolectar información sobre los colectores solares.

Se recolectó información sobre colectores solares en libros, Internet y proveedores de éstos.

2. Determinar la cantidad necesaria de colectores para producir vapor sobrecalentado a 1×10^4 kPa (100 bar).

A partir de la información obtenida se determinó la cantidad de colectores para obtener el vapor a las condiciones especificadas.

3. Determinar las características del turbogenerador de eléctrica alterna.

Utilizando las características del vapor generado en los colectores solares, se determinó las características del turbogenerador de energía eléctrica alterna adecuado para el sistema.

4. Diseñar el intercambiador de calor del sistema.

Se diseñó el intercambiador de calor para el calentamiento de agua del sistema.

5. Determinar los accesorios e instrumentos necesarios para el sistema

Se determinó los accesorios e instrumentos adecuados y necesarios para el sistema, así como sus materiales y dimensiones.

6. Diseñar de bomba

Utilizando la información sobre los colectores solares, se diseñó la bomba apropiada para el bombeo de agua de alimentación de los colectores solares.

7. Elaborar el diagrama de flujo y el lay-out del sistema.

8. Realizar el análisis económico del diseño propuesto.

VII. RESULTADOS

Tabla No. 1 Colectores parabólicos (5.76 m x 50 m) necesarios para el sistema

Cantidad colectores parabólicos	10
---------------------------------	----

Tabla No. 2 Características del turbogenerador

<i>Energía proporcionada</i>	10.8 MW	
<i>Características del vapor alimentado</i>	Presión	10,000 kPa
	Temperatura	400 °C
	Flujo másico	1 kg/s
Generador	Frecuencia	60 Hz
	Voltaje	13,800 kV

Tabla No. 3 Características del intercambiador de calor de concha y tubo, arreglo 2-4

<i>Tubos</i>	0.01905 m de diámetro BWG-16	
	151 tubos de 4.8768 m de largo	
	Arreglo triangular	
	Espaciado	0.00889 m
<i>Coraza</i>	0.3429 m de diámetro	
	Espaciado bafles	0.2286 m

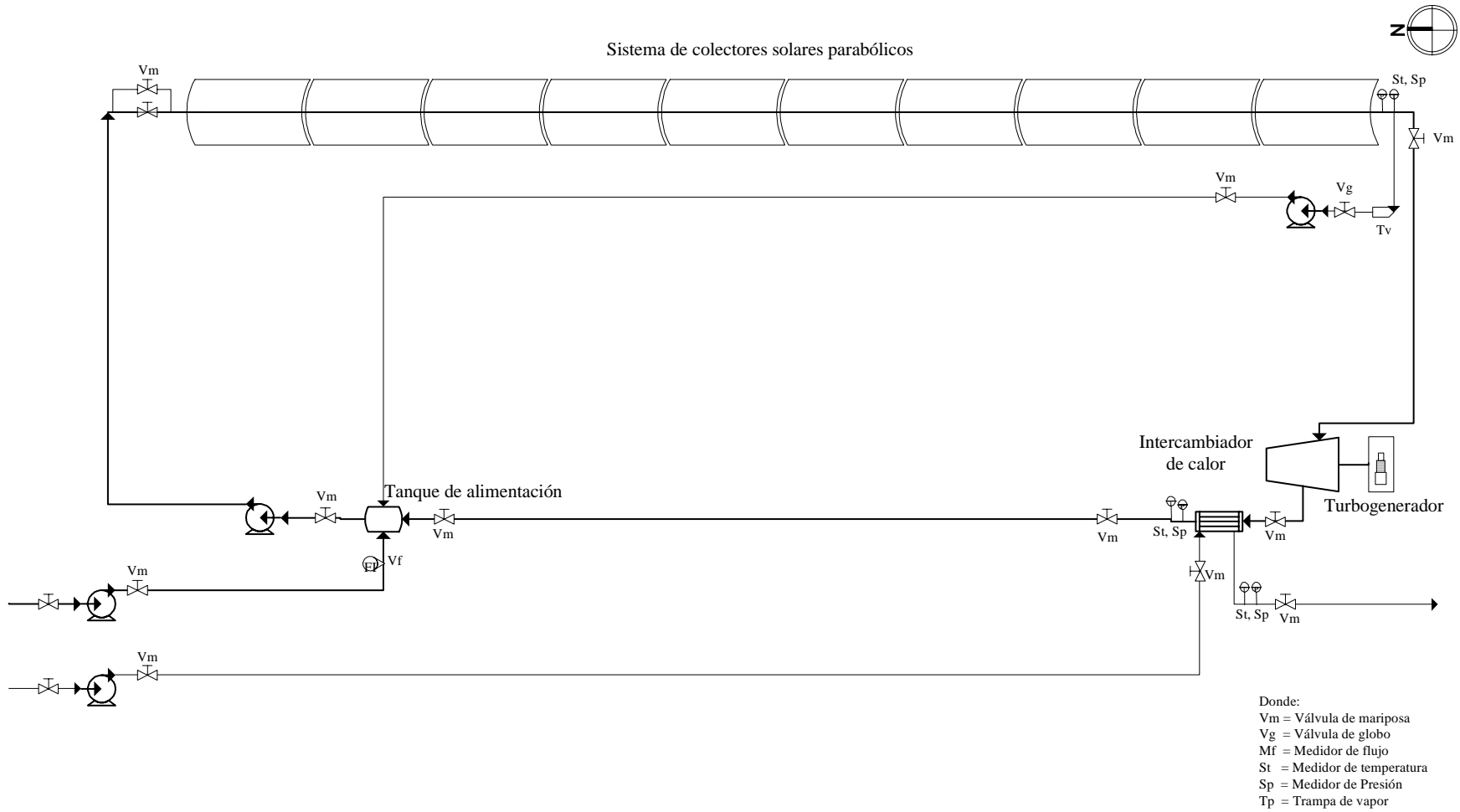
Tabla No. 4 Equipo e instrumentos necesarios para el sistema

Cantidad	Descripción
10	Colectores solares parabólicos de 5.76 m x 50 m
1	Turbogenerador 10.8 MW
1	Intercambiador de calor de concha y tubo, arreglo 2-4
1	Tanque horizontal de almacenamiento de acero inoxidable 310 (2.43 m de largo x 1.21 m de diámetro)
1	Bomba centrífuga para colectores, 59 kW , 3.55 de NSPH
1	Bomba centrífuga de alimentación a tanque, 5 kW , 8.45 de NSPH
1	Bomba centrífuga de la trampa de vapor, 6 kW , 19.04 de NSPH
1	Trampa para vapor bimetálica de titanio, 0.82 kg/s
5	Codos de acero al carbono, cédula 40, 0.051 m (2 pulgadas)
3	Codos de acero al carbono, cédula 40, 0.025 m (1 pulgada)
4	Codos de acero al carbono, cédula 40, 0.019 m (3/4 pulgada)
2	Válvula de globo 0.064 m (2 1/2 pulgada) de acero al carbono
1	Válvula de globo 0.025 m (1 pulgada) de acero al carbono
4	Válvula de mariposa 0.051 m (2 pulgadas) de acero al carbono
1	Válvula de mariposa 0.019 m (3/4 pulgada) de acero al carbono
1	Válvula de globo 0.051 m (2 pulgadas) de acero al carbono con asiento de teflón
4	Tubería de acero al carbono, cédula 40, 0.064 m (2 1/2 pulgada)
21	Tubería de acero al carbono, cédula 40, 0.051 m (2 pulgadas)
5	Tubería de acero al carbono, cédula 40, 0.025 m (1 pulgada)
24	Tubería de acero al carbono, cédula 40, 0.019 m (3/4 pulgada)
2	Unión universal, cédula 40, 0.064 m (2 1/2 pulgada)
4	Unión universal, cédula 40, 0.051 m (2 pulgadas)
3	Unión universal, cédula 40, 0.025 m (1 pulgada)
6	Unión universal, cédula 40, 0.019 m (3/4 pulgada)
3	Medidor de presión de carátula bimetálico, de acero inoxidable, rango de 0 kPa a 2000 kPa
3	Medidor de temperatura digital bimetálico, rango de 0 °C a 500°C
1	Medidor de flujo, rotámetro, rango de 0.0063 L/s a 0.32 L/s
1	Medidor de nivel de tambor, de acero inoxidable

Tabla No. 5 Análisis económico del proyecto

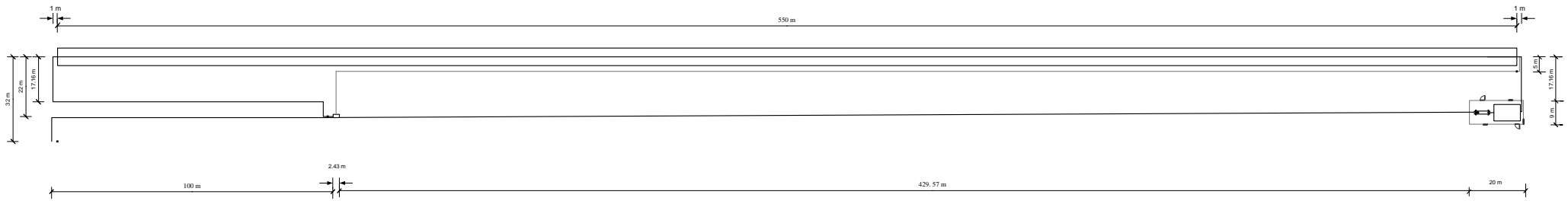
TIR	44.51 %
VAN	Q 2,959,764.44
Tiempo de recuperación	2.10 años

Diagrama No. 3 Diagrama de flujo del sistema de generación solar



Sin escala

Diagrama No. 4 Vista en planta del sistema de generación solar



Escala 1:1250

VIII. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar un sistema para la evaporación de agua utilizando colectores solares, aprovechando la energía producida por el sistema de evaporación para producir corriente eléctrica alterna. Para ello se tuvo que investigar que tipo de colectores solares eran capaces de evaporar el agua y llevarla a las condiciones de vapor sobrecalentado. Se encontró que los colectores solares parabólicos eran capaces de alcanzar dicha condición.

La distribución de los colectores así como el fluido de calentamiento varía dependiendo de las condiciones en que se desee trabajar. En el caso de este proyecto, se deseaba evitar el uso de fluidos viscosos y se prefirió utilizar agua, para evitar incurrir en un costo extra al tener que importar otro tipo de fluido como es el aceite térmico derivado del petróleo.

Este proyecto requiere de un espacio plano, amplio, nivelado y preferiblemente sin obstáculos que produzcan sombra. Para éste se contaba con un área sin construcción, plano, nivelado y sin obstáculos, por lo que no fue necesario remover ningún tipo de objeto u equipo del área, ni nivelar el terreno.

Debido a que es un sistema solar, sólo opera durante la mañana y algunas horas de la tarde. El INSIVUMEH, en el año 2006, pronosticó un promedio de doce horas diarias de sol, en Guatemala; por lo que la planta generadora trabaja por lo menos doce horas por día, de las cuales una hora se destina al arranque y una hora para detener su funcionamiento, por lo que trabaja 10 horas a su máxima capacidad en condiciones favorables (es decir, cielo despejado). Este tipo de colectores solares trabajan concentrando la radiación solar y convirtiéndola en calor, por lo que son más eficientes en días soleados ya que hay radiación de calor adicional. Esto no significa que los concentradores operen sólo en días soleados, ya que son capaces de trabajar inclusive en días nublados, pero no obtiene su eficiencia máxima.

Después de revisar diferentes configuraciones para el arreglo del sistema, se decidió un arreglo rectangular de un ciclo (ver diagrama de flujo del sistema, página 17), que utiliza agua como fluido térmico y que consta en general de colectores solares parabólicos, turbogenerador, intercambiador de calor (condensador) y tanque de almacenamiento. La mayoría de configuraciones para el arreglo de sistemas de generación de energía eléctrica alterna constan de dos o más ciclos, por que utilizan dos o más fluidos de calentamiento, requiriendo mayor espacio físico para su instalación. Debido que en el sistema propuesto se utiliza un solo fluido térmico (agua desmineralizada) y éste es utilizado directamente para la generación de energía eléctrica así como para el calentamiento del fluido del proceso (agua desmineralizada) no fue necesario utilizar más de un ciclo.

La cantidad de colectores se determinó a partir de la cantidad de energía térmica que proveen por metro cuadrado y la capacidad del turbogenerador a partir de las propiedades del vapor sobrecalentado a 1×10^4 kPa y 400 °C. Debido a que la energía eléctrica alterna producida por el turbogenerador se conectó a la subestación de la empresa, el voltaje

generado debe de ser de 13,800 kV, la energía eléctrica alterna será utilizada totalmente para el consumo interno de la empresa.

El conjunto de diez colectores tiene una longitud total de 550 m por lo que se determinó que la mejor distribución del equipo es en forma paralela a la posición de los colectores, teniendo el cuidado de colocar el equipo lo suficientemente distanciados de estos para evitar que la sombra del equipo obstaculice la recepción de la radiación solar en los colectores. Es decir, que en el arreglo rectangular del sistema, el equipo y los colectores se ubicarán en los lados paralelos del rectángulo (los lados de longitud mayor), ya que la longitud total de los colectores es mayor a la longitud total de todo el equipo.

Este conjunto de colectores solares requiere de un sistema de seguimiento solar, que permita detectar la posición del sol a las diferentes horas del día, por lo que éstos tienen que estar orientados de norte a sur, para permitir su movimiento de este a oeste. El sistema de seguimiento solar es necesario debido a la forma geométrica de los colectores; si éstos fuesen planos no sería necesario.

Tanto el turbogenerador como el intercambiador deben estar protegidos del medio ambiente, por lo que se colocaron en una bodega lo suficientemente espaciosa para poder darles mantenimiento. Debido a que la nueva construcción se encontraba situada paralelamente a los colectores solares, se calculó la sombra que ésta podría proyectar hacia el lado de los colectores y se colocó un 10% más alejada, siempre en paralelo, para evitar que interfiera en el desempeño de estos. Con ello se obtiene que la bodega esté suficientemente separada de los colectores solares así como resguardar el equipo del ambiente.

También fue necesario colocar una trampa de vapor (especial para condiciones de sobrecalentamiento) para evitar pérdidas por condensación, en la salida de los colectores; en la alimentación de los mismos se colocaron válvulas de control, ya que antes que el sistema llegue a trabajar a su capacidad total es necesario recircular el agua para formar el vapor de trabajo que se dirige hacia el turbogenerador.

El vapor sobrecalentado, después de pasar por el turbogenerador, sale como un líquido saturado (a 150 °C) y debido a que para el proceso de desplume de aves se requiere calentar agua de 20 °C a 65 °C, se decidió reemplazar el sistema condensador-torre de enfriamiento, utilizado generalmente en estos casos, por un intercambiador de calor que permitiera tanto el calentamiento de agua para el proceso de desplume como la condensación del vapor saturado hasta condiciones de líquido comprimido a 95 °C. Disminuyendo de esta forma los costos del proyecto y resolviendo el problema del calentamiento de agua en la avícola.

El intercambiador de calor diseñado es un intercambiador concha y tubo (tipo 2-4), ya que con éste es posible obtener una mejor recuperación de calor, y su coeficiente global de transferencia de calor es mayor respecto a un intercambiador de calor 1-2. Se decidió que el fluido que fluirá dentro de los tubos sea el del vapor a condensar ya que éste es el fluido de mayor presión en comparación al agua de calentamiento. El material de los tubos es cobre BWG 16, debido a que el cobre permite una mayor transferencia de calor; el diámetro de los tubos es de 0.019 m (3/4 pulgada) ya que es el adecuado para el flujo másico que se tiene de vapor y se escogieron de largo estándar 4.8768 m (16 pies) para facilitar su adquisición en el mercado.

Debido a la reducción de diámetro de la tubería de la entrada del turbogenerador a la salida del intercambiador de calor, la velocidad y presión con que el condensado sale de este último es suficiente para que pueda fluir hasta el tanque de almacenamiento, por lo que se determinó que una bomba en éste punto era innecesaria, sin embargo se colocaron dos válvulas de mariposa, para regular el flujo del condensado y para facilitar el mantenimiento del área.

El tanque de almacenamiento se diseñó para tener 1.25 de la capacidad necesaria, ya que no es recomendable que éste se mantenga al cien por ciento de su capacidad total. Hay que recordar que éste contendrá agua proveniente del condensado del intercambiador, agua condensada de la trampa de vapor y agua de relleno, por lo que la temperatura del agua será aproximadamente de 90 °C. Siendo así, es preferible tener un espacio mayor al 10 % de su capacidad, generalmente utilizado en el diseño de tanques de almacenamiento de agua, el material del mismo es acero inoxidable para evitar su deterioro ya que es un material resistente a la corrosión y a temperaturas considerables.

La bomba de alimentación al tanque, se diseñó para proporcionar un flujo equivalente 10 % del flujo másico con que trabaja el sistema, para mantener el nivel de agua en el mismo, evitando que el sistema se vea afectado por la disminución del nivel de agua.

Las tuberías por las que fluye agua líquida comprimida, se escogieron de acero al carbono, ya que no se manejan en un medio corrosivo y la este material tiene beneficios de reducción de costos. A excepción de la tubería que conduce el vapor sobrecalentado de los colectores al turbogenerador y de la tubería que conecta el turbogenerador al intercambiador, ya que debido a la presión que se maneja en ellas no es adecuado utilizarlas de acero al carbono, por lo que se escogieron de acero inoxidable.

El control de la temperatura y presión es crítico en tres partes del sistema, la primera es la salida del vapor de los colectores, ya que de las condiciones del vapor producido depende el rendimiento del turbogenerador; el segundo corresponde a la salida del intercambiador, ya que es necesario controlar la temperatura del agua condensada así como su presión para poder determinar la calidad del condensado, que teóricamente debería ser cero ya que se espera condensar todo el vapor saturado proveniente del turbogenerador; el tercer punto importante es la salida del agua de enfriamiento del intercambiador de calor, ya que con este control se puede determinar la eficiencia de calentamiento del intercambiador además de tener registro de las condiciones del agua caliente para el proceso de desplume de las aves.

El agua utilizada por el sistema tiene que ser agua desmineralizada y sin cloro, para disminuir incrustaciones y desgastes en la tubería y equipo por la que fluirá, la importancia de que sea desmineralizada radica en que el vapor generado de la misma pasará por la turbina, donde la calidad del vapor es crítica, además circulará por la tubería de los colectores solares, en donde es imperante evitar tanto las incrustaciones como cualquier tipo de ataque a la tubería como la oxidación.

En lo que respecta a la factibilidad económica, el análisis de estimación de costos refleja que el tiempo de recuperación de la inversión de capital necesario es aceptable, lo cual es un indicador financiero de los beneficios económicos que se obtendrán con la instalación de la generadora. La tasa interna de retorno, obtenida del flujo de

caja del proyecto a diez años, es de 44.51 %, lo cual es bastante aceptable para un proyecto. Se considera que un proyecto es rentable si su TIR está en el intervalo de 40 % a 45 %, ya que si ésta es menor se dice que el proyecto no es rentable y si es mayor el proyecto existe la posibilidad que no se hubiesen tomado en cuenta la mayoría de los costos de instalación y puesta en marcha del proyecto, aunque esto no indique que sea imposible obtener un proyecto muy rentable (o sea con una TIR mayor a 45 %)

El valor neto actual es positivo, lo cual indica que es rentable. Si el VAN (valor actual neto) hubiese sido negativo, indicaría que el proyecto no es rentable y si hubiese sido cero, entonces el proyecto solo recupera el valor de la inversión por lo que tampoco es rentable. Para calcular el VAN se utilizó una tasa de interés de 14 % debido a que se basó en el interés bancario (11 %), al cual se le agregó un 3 % como un factor de corrección por el riesgo del proyecto.

Al reunir estos tres indicadores financieros (tasa interna de retorno, valor actual neto y tiempo de recuperación) se afirma que el proyecto es factible económicamente, esto a pesar de los costos del equipo.

Debido a que la energía producida es consumida por la empresa y no se comercializa, no es posible determinar el punto de equilibrio de la inversión.

El proyecto posee varias ventajas, las cuales lo hacen factible económicamente: la primera es el ahorro en energía eléctrica (el cual asciende a Q 26,688,962.59 anuales) y la segunda es la reducción del equipo utilizado actualmente para el calentamiento del agua del proceso de desplume. A esto hay que sumarle la ventaja que es totalmente ecológico y ambientalmente amigable, ya que no produce contaminación ambiental y debido a que el fluido térmico es agua, si existiese alguna fuga no contamina el ambiente.

IX. CONCLUSIONES

1. Se necesitan 10 colectores solares parabólicos de 5.76 m x 50 m para producir vapor sobrecalentado a 1×10^4 kPa (100 bar) y 400 °C.
2. Se requiere de un turbogenerador de 10.8 MW, que trabaje a 60 Hz y 13,800 kV, para la producción de corriente alterna del sistema.
3. El intercambiador de calor de concha y tubo, arreglo 2-4, apropiado para el sistema de calentamiento de agua utiliza 151 tubos de 4.8768 m de largo, de 0.01905 m de diámetro BWG 16, en arreglo triangular; la concha es de 0.3429 m de diámetro y el espaciado entre bafles es de 0.2286 m.
4. El proyecto requiere de una válvula de globo de acero al carbono de 0.051 m (2 pulgadas) con asiento de teflón.
5. El sistema de generación de vapor sobrecalentado requiere de una trampa de vapor bimetálica con asiento de titanio.
6. El proyecto es rentable por que la tasa interna de retorno es de 44.51 %, el valor actual neto es de Q 2,959,764.44 y el tiempo de recuperación es de 2.10 años.
7. El proyecto es amigable al medio ambiente, ya que no produce contaminación ambiental.

X. RECOMENDACIONES

- A. Debido a que el proyecto no se realizó físicamente, se recomienda realizar cotizaciones con equipos de contratistas, que permitan confirmar los costos estimados.
- B. Si se desea realizar un proyecto similar en otra localización o industria, se deben de desarrollar estudios sobre las localizaciones óptimas para montarlo, como el presentado en este trabajo.
- C. Ampliar los estudios para el diseño del sistema de generación eléctrica utilizando colectores solares, incluyendo la experiencia de proveedores y especialistas en los equipos a utilizar, antes de proceder a poner en marcha un proyecto tan innovador como el presentado.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, Robert. 1981. *Calor solar en su casa*. España, Paraninfo S.A. 188 págs.
- Daniels, Farrington. 1974. *Direct use of the sun's energy*. Inglaterra, Yale. 374 págs.
- Duffie, John, *et al.* 1980. *Solar engineering of thermal processes*. Estados Unidos de América John Wiley & Sons. 762 págs.
- Duffie, John, William Beckman. 1974. *Solar energy thermal processes*. Estados Unidos de América, John Wiley & Sons. 386 págs.
- Harris, Norman, *et al.* 1985. *Solar Energy systems design*. Estados Unidos de América, John Wiley & Sons, 763 págs.
- Kreider, Jan y Frank Kreith. 1981. *Solar energy handbook*. Estados Unidos de América, McGraw-Hill.
- Perry, Robert, Don Green. 2006. *Manual del ingeniero químico*. 7ª. Ed. Estados Unidos de América, McGraw-Hill. 4 vols.
- Smith, James, *et al.* 2003. *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. 6ª. Ed. México, McGraw-Hill. 837 págs.
- Winter, Raymond y Michelle Funk. 1991. *Poultry science and practice*. Estados Unidos de América, Lippincott company. 415 págs.

A. Fuentes de Internet

- CONAE. 2005. *Sistemas térmicos solares*. México. http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_630_termosolar
- Consolar. 2006. *La energía solar*. España. <http://www.censolar.es/menu2.htm>
- Figueroa, José y Felipe Barffuson 2001. *Diseño y construcción de un sistema de concentración solar de canal parabólico para su uso en desalación de agua de mar controlado por computadora*. México. http://216.109.125.130/search/cache?p=colector+parabolico&ei=UTF-8&fr=yfp-t-501&x=wrt&u=www.ramirez.8m.net/a/msf.pdf&w=colector+parabolico&d=HJqpROxsOM_L&icp=1&.intl=us
- Franco, A. 2006. *Física con ordenador, Curso interactivo de física en internet*. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccion/generador/generador.htm>
- García, P., *et al.* 2005. *Energía solar*. <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Departamentos/DFyQ/energia/e-2/ventajas.htm>
- Megasun, 2005. *Colector solar*. <http://www.energias-renovables.com/ProductosTienda/Documentos/Termica/COLECTOR%20SOLAR%20ST%20-%202500.pdf>
- Ministerio de Educación y Ciencia de España. 2005. *Tecnología de colectores cilindro-parabólicos*. <http://www.psa.es/webesp/areas/cilindroparabolica/index.html>

APÉNDICE

A. Cálculos de muestra del diseño de equipo

1. Determinación de la cantidad de colectores necesarios para evaporar agua

Condiciones requeridas para el vapor sobrecalentado: P = 10,000 kPa T= 400 °C Flujo de vapor : 1 kg/s

Según las tablas de vapor sobrecalentado del Manual del Ingeniero Químico de Perry, a estas condiciones:

H= 3099.9 kJ/kg

Realizando la conversión a kW:

$$3099.9 \text{ kJ / kg} \times \frac{1 \text{ Btu / s}}{1.055056 \text{ kJ/kg}} \times \frac{1.055056 \text{ kW}}{1 \text{ Btu / s}} = 3099.9 \text{ kW}$$

Debido a que cada 550 m² de superficie de colector proporcionan 300 kW térmicos en promedio, entonces la cantidad de colectores necesarios son:

$$3099.9 \text{ kW} \times \frac{550 \text{ m}^2}{300 \text{ kW}} \times \frac{1 \text{ colector}}{550 \text{ m}^2} = 10 \text{ colectores}$$

2. Determinación de las características del turbogenerador:

El turbogenerador necesario para el sistema se determinó tomando el vapor sobrecalentado con que se contaba, así se determinó que el turbogenerador debía de ser de 10.8 MW. Las condiciones de alimentación: 1 kg/s de vapor sobrecalentado a 10,000 kPa y 400 °C.

El generador debe tener una frecuencia de 60 Hz y un voltaje de 13800 kV.

3. Diseño del intercambiador de calor de concha y tubo, arreglo 2-4

Cálculo de cantidad de calor a intercambiar:

$$Q = C_p m (T_1 - T_2)$$

Donde :

Q = cantidad de calor a intercambiar

C_p = capacidad calorífica

m = flujo másico

T_1 = temperatura inicial

T_2 = temperatura final

Debido a que se tiene una condensación, se tomó en consideración el calor latente y el calor específico:

$$\begin{aligned} Q_{\text{condensación}} &= (2090.61407 \text{ J / kg} \cdot \text{K}) \times (3600 \text{ kg / h}) \times (150 - 95) \text{ K} \\ &= 4.1394 \times 10^8 \text{ J / h} = 1.1498 \times 10^5 \text{ J / s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{enfriamiento}} &= (2.3156 \text{ J / g} \cdot \text{K}) \times (3600 \times 10^3 \text{ g / h}) \times (150 - 95) \text{ K} \\ &= 4.5848 \times 10^8 \text{ J / h} = 1.2736 \times 10^5 \text{ J / s} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total}} = 4.5848 \times 10^8 \text{ J / h} + 4.1394 \times 10^8 \text{ J / h} = 8.7242 \times 10^8 \text{ J / h} = 2.4234 \times 10^5 \text{ J / s}$$

La diferencia media logarítmica:

$$\Delta T_L = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{\ln\left(\frac{T_2 - t_1}{T_1 - t_2}\right)}$$

donde :

T_1 = Temperatura inicial del fluido caliente

T_2 = Temperatura final del fluido caliente

t_1 = Temperatura inicial del fluido frío

t_2 = Temperatura final del fluido frío

$$\Delta T_L = \frac{(150 - 65) - (95 - 20)}{\ln\left(\frac{150 - 65}{95 - 20}\right)} = 79.8957 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De la tabla No. 7 (obtenida del Manual del Ingeniero Químico de Perry, séptima edición) se obtuvo el coeficiente global para el sistema vapor-agua: $4.0007 \text{ J / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C s}$ ($3440 \text{ kcal / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C h}$). Entonces el área de intercambio es:

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T_L}$$

donde

A = área de intercambio

Q = cantidad de calor a transferir

U = coeficiente global de transmisión de calor

ΔT_L = temperatura media log aritmica

$$A = \frac{8.7242 \text{ J / h}}{(3340 \text{ kcal / m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{h}) \cdot 79.8957 \text{ °C}} \times \frac{1 \text{ kcal}}{4.1868 \times 10^3 \text{ J}} = 0.7582 \text{ m}^2$$

Para la disminución de temperatura 150 °C a 95 °C del vapor, el flujo de vapor fue:

$$m = \frac{8.7242 \text{ J / h}}{(2.3156 \text{ J / g} \cdot \text{K}) \times (150 - 95) \text{ K} \times (1000 \text{ g / kg})} = 6850.2626 \text{ kg / h}$$

Caudal volumétrico:

$$v = 6850.2626 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.001903 \text{ m}^3 / \text{s}$$

La velocidad lineal del agua en la carcasa o choncha era de 3 m/s, entonces el área transversal del tubo fue:

$$\frac{0.001903 \text{ m}^3 / \text{s}}{3 \text{ m / s}} = 0.0006346 \text{ m}^2 \text{ (0.0068 pie}^2\text{)}$$

Utilizando tubos de 0.01905 m (3/4 pulgada), 16 BWG y utilizando la Tabla No. 8 (página 35):

El número de tubos de 0.01905 m (3/4 pulgada) requerido para 10.7639 m² (1 pie²) de área trasversal de flujo era de 476 tubos por 10.7639 m² (1 pie²) de área trasversal de flujo. Como el área transversal de flujo requerida es de 0.0006346 m² (0.0068 pie²) el número de tubos fue: $476 \times 0.0068 \text{ pie}^2 = 3.2498 \text{ tubos}$

De la tabla No. 8 (página 35), el área externa contenida en 10.7639 m² (1 pie²) de área transversal de flujo por pie de longitud era 94. Entonces, la longitud del tubo se obtiene dividiendo el área externa de intercambio por el área externa por pie de longitud:

$$\frac{4 \text{ ft}^2}{94 / \text{ft} \times 0.00068 \text{ ft}^2} = 741.6951 \text{ ft} = 226.0687 \text{ m}$$

Debido a que la longitud estándar de los tubos es de 4.8468 m (16 pie), entonces se calculó la cantidad de tubos de dicha longitud:

$$\frac{3.2498 \text{ tubos} \times 226.0687 \text{ m}}{4.8768 \text{ m}} = 150.6 \text{ tubos} \cong 151 \text{ tubos}$$

Utilizando la gráfica No. 1 (página 35), el número de tubos a través de la coraza para un haz de 151 tubos es de 14. El cociente diámetro de la coraza – diámetro de tubo es de 18, lo que da una coraza de de $18 \times \frac{3}{4}$ pulgada = 13.50 pulgada = 0.3429 m

Dado que es preferible tener una velocidad lineal de flujo del lago de la coraza de 0.6096 m/s (2 pie/s), el flujo del agua de enfriamiento es de:

$$\frac{30000 \text{ kg} / \text{h}}{1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 3600 \text{ s} / \text{h}} = 0.008333 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (0.2943 \text{ ft}^3 / \text{s})$$

Como la figura No. 2 (página 35) está basada en un caudal de 0.02832 m³/s (1 pie³/s), entonces la velocidad está representada en realidad por la curva 2/0.2943 , y dado que esta figura está basada en tubos de 0.0254 m (1 pulgada) y los utilizados son de 0.01905 m ($\frac{3}{4}$ pulgada) entonces la curva que se debe utilizar es:

$$\frac{2 \times \frac{3}{4}}{0.2943} = 5.097 \text{ ft} / \text{s} = 1.5536 \text{ m} / \text{s}$$

Usando dicha curva, se tuvo que para 14 tubos el espaciado entre tubos es de aproximadamente 0.2286 m (9 pulgada).

4. Diseño del tanque de almacenamiento

El tanque debe ser capaz de almacenar por lo menos el equivalente a la cantidad de fluido que pasa por los colectores. Tomando en cuenta tubería de 0.051 m (2 pulgadas) y omitiendo el equipo:

Longitud total de tubería: $552 \text{ m} \times 2 + 20 \text{ m} \times 2 = 1144 \text{ m}$

$$\text{Área de la tubería} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.04925 \text{ m})^2}{4} = 0.00191 \text{ m}^2$$

Utilizando un factor de seguridad del 25 %:

$$\text{Volumen total} = (0.00191 \text{ m}^2 \times 1144 \text{ m}) \times (1.25) = 2.4676 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del tan que} = \pi \frac{D^2}{4} h$$

Donde

$$h = \text{l arg o del tan que} = 2D$$

Entonces :

$$\text{Volumen del tan que} = \pi \frac{D^3}{2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{2V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 2.4676}{\pi}} = 1.21 \text{ m}$$

$$h = 2 \times (1.21 \text{ m}) = 2.41 \text{ m}$$

5. Diseño de bomba

Por la ecuación de Bernoulli

$$\eta W_p = \frac{P_B - P_A}{\rho} + g(Z_B - Z_A) + \alpha \frac{(V_B - V_A)}{2} + h_f$$

Donde :

W_p = trabajo de la bomba

P_B, P_A = presión en el punto B y A, respectivamente

ρ = densidad del fluido

g = gravedad

Z_B, Z_A = altura sobre el plano de referencia

α = factor de corrección de la energía cinética

V_B, V_A = velocidad promedio en el punto B y A, respectivamente

h_f = pérdida por fricción

Para la bomba de alimentación de los colectores, se requiere un flujo de 3600 kg/h (15.85 gpm, 60 lpm).

$$Z_A \text{ (nivel agua en tanque)} = 0.989 \text{ m}$$

$$Z_B \text{ (Nivel tubería colector)} = 3 \text{ m}$$

$$P_A = 9.6985 \text{ kPa}$$

$$P_B = 19.7267 \text{ kPa}$$

$$g = 9.18 \text{ m/s}^2$$

Del Manuel del Ingeniero Químico de Perry, se obtuvieron los siguientes datos:

$$\text{Densidad} = 965.421 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Viscosidad} = 0.000255 \text{ Pa s}$$

$$\text{Presión de vapor } (P_v) = 0.0007 \text{ kPa}$$

Para la velocidad promedio en A

$$V_A = \frac{3600 \text{ kg/s}}{\pi(0.627 \text{ m})^2} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} = 0.3237 \text{ m/s}$$

Se realizó el mismo procedimiento para la velocidad promedio en B.

$$V_B = 0.4619 \text{ m/s}$$

Para el factor de fricción h_f :

$$h_f = \left(4f \frac{L}{D} + K_f \right) x \frac{V^2}{2}$$

Donde:

h_f = factor de fricción

f = factor de fricción de Fanning

$\frac{L}{D}$ = Relación longitud – diámetro de tubería

K_f = fricción por accesorios

El factor de fricción de Fanning se determinó utilizando la Figura 5.10 (página 120) de McCabe (sexta edición)

$$f = 0.0014 + \frac{0.125}{\text{Re}^{.32}}$$

$$\text{Re} = \frac{DV\rho}{\mu}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

D = diámetro de tubería

V = velocidad promedio del fluido

μ = viscosidad del fluido

Sustituyendo:

$$\text{Re} = \frac{(0.0627\text{m})(0.3227\text{m/s})(965.42\text{kg/m}^3)}{0.000255\text{Pa}\cdot\text{s}} = 76865.5737$$

$$f = 0.0014 + \frac{0.125}{(76865.5737)^{.32}} = 0.004816$$

$$h_f = \left(4 \times 1.1 \times (0.004816) \times \frac{99.4\text{ m}}{0.0525\text{ m}} \right) x \frac{(0.4629\text{ m/s})^2}{2} = 4.98\text{ m}^2/\text{s}$$

La eficiencia de la bomba se obtuvo por medio de la curva de una bomba que cumple con el flujo y carga total requerida: $\eta = 0.572$

$$\text{Re} = \frac{(0.0627\text{ m})x(0.3227\text{ m/s})x(965.42\text{ kg/m}^3)}{0.000255\text{ Pa}\cdot\text{s}} = 76865.5737$$

Entonces:

$$W_p = \left(\frac{(19.7267 \text{ kPa} - 9.6985 \text{ kPa}) \times 1000 \text{ Pa} / 1 \text{ kPa}}{965.421 \text{ kg} / \text{m}^3} + (9.81 \text{ m} / \text{s}^2) \times (3 \text{ m} - 0.989 \text{ m}) + \frac{(19.7267 \text{ m} / \text{s})^2 - 0.3237 \text{ m} / \text{s}}{2} + 4.98 \text{ m}^2 / \text{s}^2 \right) \frac{1}{0.572}$$

$$W_p = 58.76 \text{ J/kg}$$

Potencia de la bomba:

$$Potencia = 51.21 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 58.76 \text{ kW}$$

Se realizó el mismo procedimiento para las otras bombas.

B. Cálculos de muestra de la determinación de costos

1. Estimación de costo de equipo utilizando índices de costo.

Para estimar los costos de compra de equipo, se emplearon gráficas proporcionadas por la revista Chemical Engineering (Perry, 1997), donde se encuentra el precio en función de la capacidad del equipo.

Por ejemplo para el turbogenerador de 10.8 MW, se leyó que el precio de compra del equipo, en 1982, era de Q 881600.00 (US\$ 116000). El costo del equipo se ve influenciado por el factor de módulo simple, y éste para turbinas de vapor es de 3.5.

Debido a que éste es el costo del equipo en 1982, se utilizó los índices de costos, para relacionar el precio obtenido en el año dado con el precio en el año actual.

De esta forma, para el cálculo del costo del turbogenerador:

$$Costo = C_p \times F_{BM} \times \frac{I_{2006}}{I_{1982}} \times \frac{Q \ 7.60}{1 \ US\$}$$

$$Costo = US\$ 145000 \times 3.5 \times \frac{582.3}{315} \times \frac{Q \ 7.60}{1 \ US\$} = Q \ 7,129,940.00$$

Éste es el costo del equipo incluyendo el transporte.

2. Estimación de costos de forma directa.

Utilizando el método directo, se obtienen costos directamente de cotización de los proveedores. Utilizando este método se obtiene solamente el costo del equipo.

Por ejemplo, el costo de la trampa de vapor, se obtuvo por medio de la cotización de la misma a la empresa Maquinsa S.A., con un costo de Q 17,910.54 (US\$ 2,356.65).

3. Costo total del equipo

Para determinar el costo total de un equipo se utilizaron los factores del Manual del Ingeniero Químico de Perry:

Tabla No. 6 Factores de costo

Descripción	Factor material	Factor mano de obra	Factor total
Instalación	0.000	0.090	0.09
Instrumentos instalados	0.090	0.040	0.13
Tubería	0.155	0.135	0.29
Fundición y acero	0.080	0.100	0.18
Pintura de recubrimiento	0.025	0.085	0.11
Electricidad	0.060	0.120	0.18
Preparación del lugar			0.08
Auxiliares			0.55
Costo total del equipo			1.61

Por ejemplo para el costo del turbogenerador por la instalación:

$$Q 5,703,952.00 \times 0.09 = Q 513,355.68$$

Se siguió el mismo procedimiento para los demás factores y equipo.

4. Obtención de la inversión inicial

La inversión inicial de proyecto se calculó realizando la sumatoria del costo total del equipo, así como los salarios de instalación y puesta en marcha. A este resultado se le agregó el 12 %, del cual 2 % es por los intangibles y el 10 % como contingencia:

$$(Q 80620508.69 + Q 557587.27) \times 1.12 = Q -90,919,467.47$$

5. Cálculo de la depreciación

Se utilizó la depreciación SMARC para calcular la depreciación del equipo a diez años. Para ello se utilizaron los porcentajes definidos para dicho tipo de depreciación (ver tabla No. 7, página 34)

Tabla No. 7 Porcentajes para la depreciación SMARC

Tiempo (años)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Porcentaje de depreciación	10	18	14.4	11.52	9.22	7.37	6.55	6.55	6.55	6.55

Así para la depreciación en el primer año del turbogenerador:

$$Q\ 7,129,940.00 \times 10\% = Q\ 712,994.00$$

Se realizó el mismo procedimiento para los años restantes y para los demás equipos.

6. Obtención de la tasa interna de retorno (TIR)

La TIR se obtuvo a partir del flujo de caja del proyecto (Ver tabla No. 16, página 39) , utilizando en Microsoft Excel la función TIR. Obteniéndose el valor de 44.51 % .

7. Obtención del valor actual neto (VAN)

El VAN se obtuvo a partir del flujo de caja del proyecto (Ver tabla No. 16, página 39), utilizando en Microsoft Excel la función VNA y una tasa de interés del 14 % . Obteniéndose el valor para el VAN de Q 2,959,764.44

8. Cálculo del tiempo para la recuperación de la inversión

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Beneficios anuales}}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{Q\ 90,801,733.07}{Q\ 43,437,249.24/\text{año}} = 2.10 \text{ años}$$

C. Tablas y gráficas utilizadas en el diseño del intercambiador de calor.

Tabla No. 8 Coeficientes típicos globales de intercambio U.

CORRIENTE CALIDA	CORRIENTE FRIA	Btu/(pie ² °F h)		Kcal/(m ² °C h)	
Agua	Agua	140	- 280	86	- 1400
Solventes orgánicos	Agua	45	- 130	215	- 645
Gases	Agua	2.6	- 45	13	- 215
Aceites Livianos	Agua	60	- 160	300	- 770
Aceites Pesados	Agua	10	- 45	50	- 215
Solventes orgánicos	Aceites Livianos	20	- 70	100	- 345
Agua	Salmuera	105	- 210	515	- 1030
Solventes orgánicos	Salmuera	26	- 90	130	- 430
Gases	Salmuera	2.6	- 45	13	- 215
Solventes orgánicos	Solventes org.	20	- 62	100	- 300
Aceites Pesados	Aceites Pesados	8	- 44	40	- 215
Vapor	Agua	260	- 700	1290	- 3440
Vapor	Aceites Livianos	44	- 140	215	- 690
Vapor	Aceites Pesados	9	- 80	40	- 390
Vapor	Solventes org.	105	- 210	515	- 1030
Vapor	Gases	3.5	- 35	17	- 170

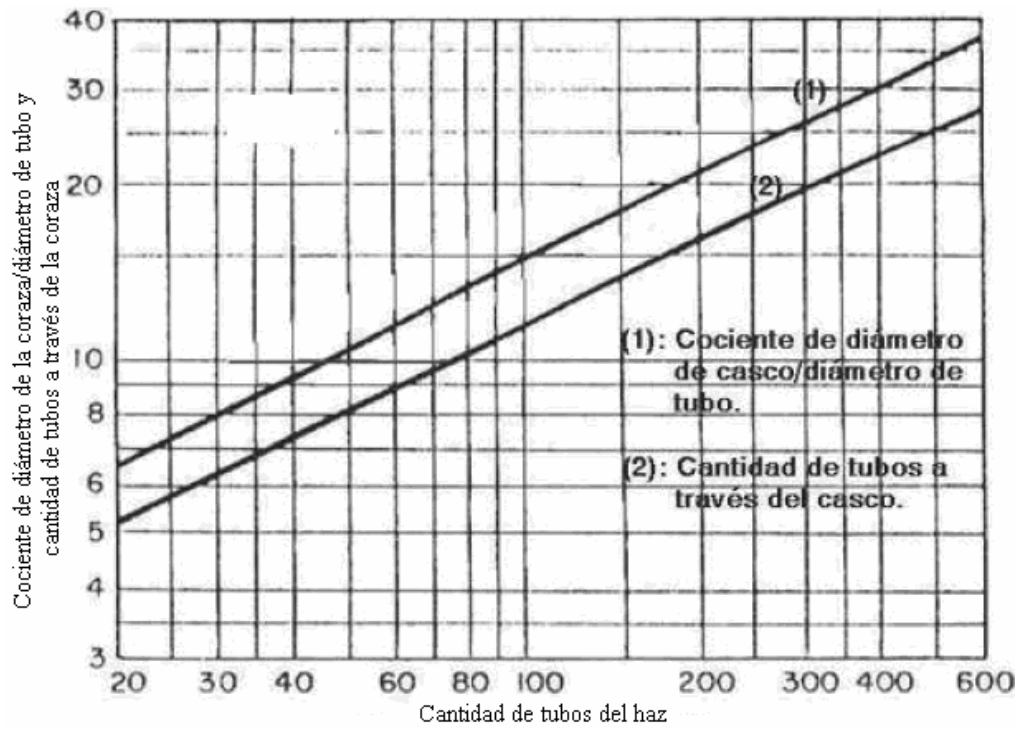
Nota: Para convertir a J/m² °C s multiplicar kcal/m² °C h por 1.163

Tabla No. 9 Área transversal de flujo y superficie para tubos de calibre 16 BWG

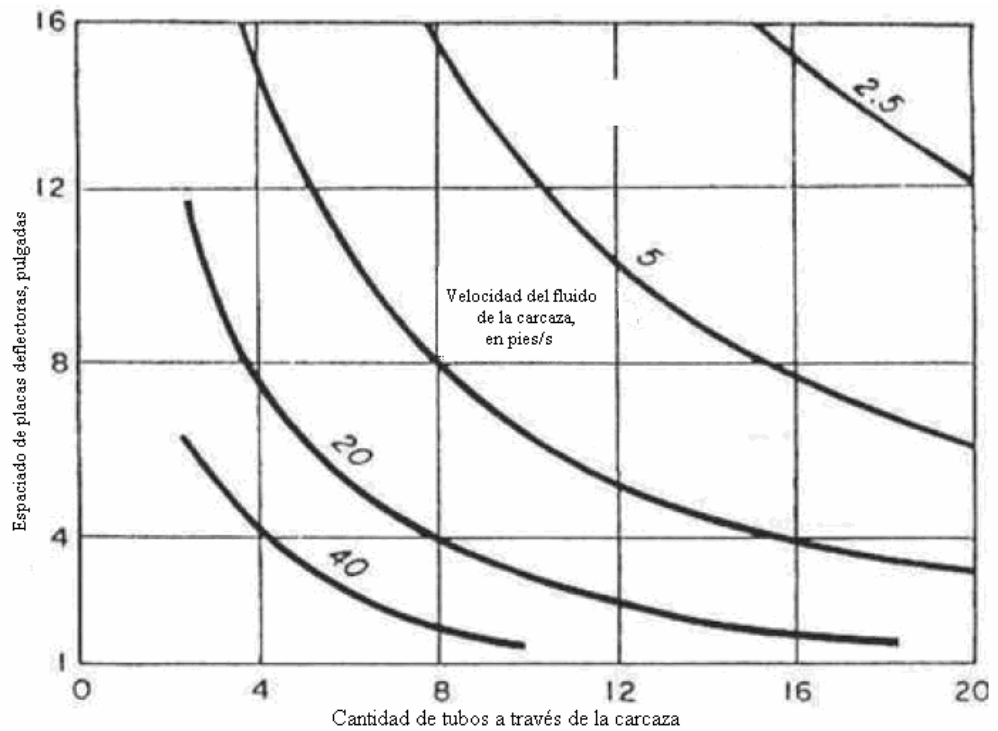
Diámetro externo pulgadas	Número de tubos conteniendo 1 pie ² de área transversal de flujo	Superficie por pie de longitud de haz conteniendo 1 pie ² de área transversal de flujo
1/2	1340	175
5/8	746	122
3/4	476	94
7/8	330	76
1	242	63
1 1/8	185	55
1 1/4	146	48
1 1/2	99	39

Nota: Para convertir pie² a m² multiplicar por 0.09290

Gráfica No. 1 Determinación del diámetro de la coraza o concha
(basado en arreglo triangular, espaciado de tubos $0.25 \times$ diámetro del tubo)

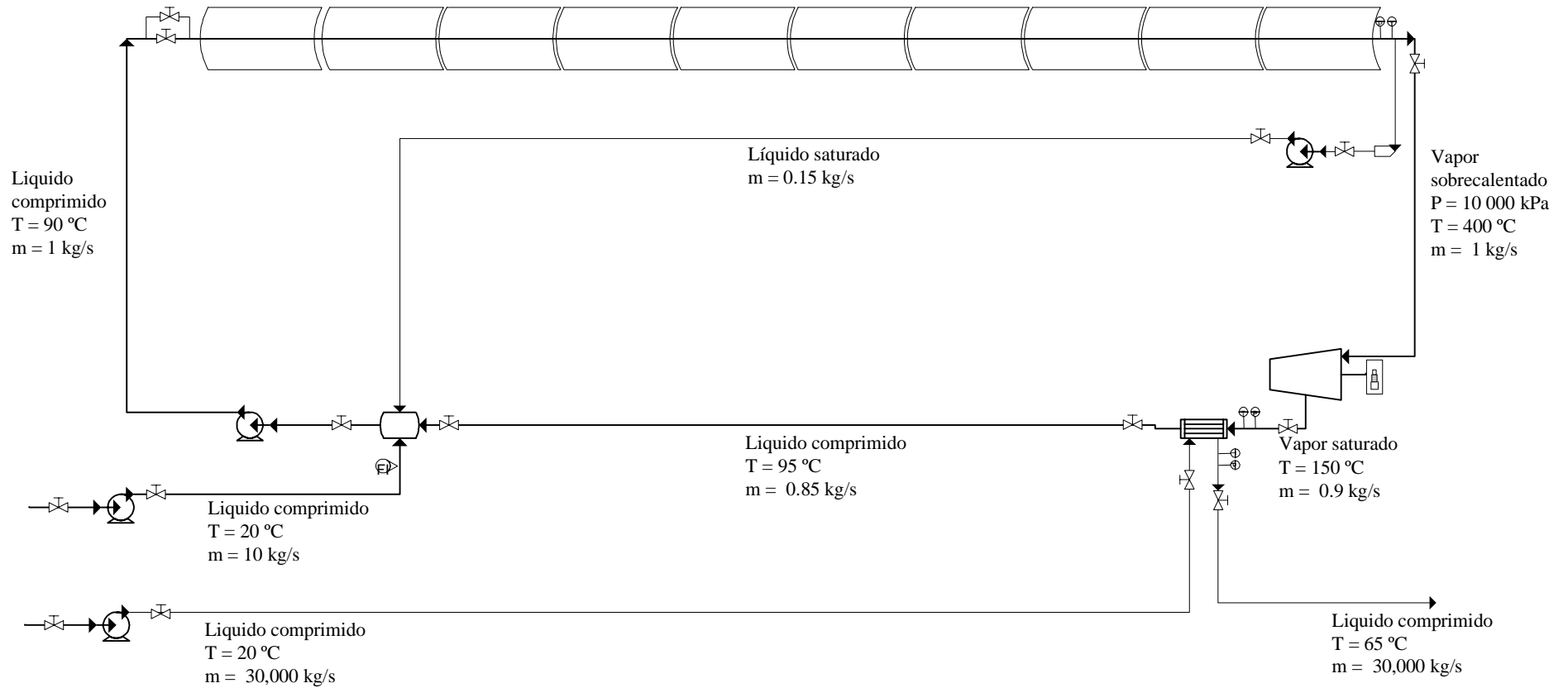


Gráfica No. 2 Figura para determinar el espaciado de los deflectores
(basado en un flujo de $.002832 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1 \text{ pie}^3/\text{s}$) y tubos de 0.0254 m (1 pulgada) de diámetro)



Nota: Para convertir m/s a pie/s multiplicar por 3.2808;
para convertir pulgadas a metros multiplicar por 0.0254

D. Balance de masa y energía del sistema.



Sin escala

E. Datos calculados en el diseño del equipo

Tabla No. 10 Bomba del tanque de almacenamiento a colectores solares

	Antes de bomba	Después de bomba
Altura (m)	0.989	3
Velocidad (m/s)	0.3237	0.4619
Presión (kPa)	9.6985	19.7267
Coeficiente de fanning	0.004816	
Coeficiente de fricción	4.29	
Gravedad (m/s ²)	9.18	
Potencia (kW)	58.76	
Carga total (m)	3.989	
Presión de vapor (kPa)	0.0007	
NSPH (m)	3.5546	

Tabla No. 11 Bomba de alimentación al tanque de almacenamiento

	Antes de bomba	Después de bomba
Altura (m)	2	1.10
Velocidad (m/s)	0.1793	0.2907
Presión (kPa)	19.6128	10.7715
Coeficiente de fanning	0.009292	
Coeficiente de fricción	11.47	
Gravedad (m/s ²)	9.18	
Potencia (kW)	4.9517	
Carga total (m)	3.10	
Presión de vapor (kPa)	0.00002337	
NSPH (m)	8.4529	

Tabla No. 12 Bomba de la trampa de vapor al tanque de almacenamiento

	Antes de bomba	Después de bomba
Altura (m)	1.10	2.4
Velocidad (m/s)	0.4360	0.2690
Presión (kPa)	10.7715	23.5353
Coeficiente de fanning	0.006080	
Coeficiente de fricción	1.58	
Gravedad (m/s ²)	9.18	
Potencia (kW)	5.85	
Carga total (m)	3.5	
Presión de vapor (kPa)	0.8452	
NSPH (m)	19.0390	

F. Datos calculados para el análisis económico

Tabla No. 13 Costo del equipo e instrumentación

Cantidad	Descripción	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)	Fuente
10	Colectores solares parabólicos de 5.76 m x 100 m	2,489,000.00	62225000.00	Costo estimado
1	Turbogenerador 10.8MW	7,129,940.00	17325754.20	Costo estimado
1	Intercambiador de calor de concha y tubos	76,033.66	198447.85	Costo estimado
1	Tanque horizontal de almacenamiento de acero inoxidable 310 (2.43 m de largo x 1.21 m de diámetro)	211,529.53	552092.08	Costo estimado
1	Bomba para colectores, 59 kW , 3.55 de NSPH	68,235.33	178094.22	Costo estimado
1	Bomba de alimentación a tanque, 5 kW , 8.45 de NSPH	11,388.42	29723.77	Costo estimado
1	Bomba de la trampa de vapor, 6 kW , 19.04 de NSPH	14,235.52	37154.72	Costo estimado
1	Trampa para vapor bimetálica de titanio, 0.82 kg/s	7,910.54	24716.55	Maquinsa S.A.
5	Codos de acero al carbono, cédula 40, 0.051 m (2 pulgadas)	19.00	131.10	Alaisa S.A.
3	Codos de acero al carbono, cédula 40, 0.025 m (1 pulgada)	9.00	37.26	Alaisa S.A.
4	Codos de acero al carbono, cédula 40, 0.019 m (3/4 pulgada)	7.00	38.64	Alaisa S.A.
2	Válvula de globo 0.064 m (2 1/2 pulgada) de acero al carbono	738.00	3055.32	Alaisa S.A.
1	Válvula de globo 0.025 m (1 pulgada) de acero al carbono	435.00	600.30	Alaisa S.A.
4	Válvula de mariposa 0.051 m (2 pulgada) de acero al carbono	695.00	3836.40	Alaisa S.A.
1	Válvula de mariposa 0.019 m (3/4 pulgada) de acero al carbono	380.00	524.40	Alaisa S.A.
1	Válvula de globo 0.051 m (2 pulgada) de acero al carbono con asiento de teflón	738.00	3808.80	Alaisa S.A.
4	Tubería de acero al carbono, cédula 40, 0.064 m (2 1/2 pulgada)	690.00	11012.40	Almacén Americano
21	Tubería de acero al carbono, cédula 40, 0.051 m (2 pulgada)	380.00	1228.20	Almacén Americano
5	Tubería de acero al carbono, cédula 40, 0.025 m (1 pulgada)	178.00	4073.76	Almacén Americano
24	Tubería de acero al carbono, cédula 40, 0.019 m (3/4 pulgada)	23.00	110.40	Almacén Americano
2	Unión universal, cédula 40, 0.064 m (2 1/2 pulgada)	40.00	154.56	Alaisa S.A.
4	Unión universal, cédula 40, 0.051 m (2 pulgada)	8.00	82.80	Alaisa S.A.
3	Unión universal, cédula 40, 0.025 m (1 pulgada)	20.00	140.76	Alaisa S.A.
6	Unión universal, cédula 40, 0.019 m (3/4 pulgada)	7.00	8188.51	Alaisa S.A.
3	Medidor de presión gauge de carátula, de acero inoxidable, rango de 0 kPa a 2000 kPa	1,977.90	8188.51	www.grainger.com
3	Medidor de temperatura digital bimetálico, rango de 0 °C a 500 °C	2,394.00	9911.16	www.grainger.com
1	Medidor de flujo, rotámetro, rango de 0.0063 L/s a 0.32 L/s	1,026.00	1415.88	www.grainger.com
1	Medidor de nivel de tambor, de acero inoxidable	851.2000	1174.66	www.grainger.com
	Total		80620508.69	

Tabla No. 14 Costo de la obra civil

Área (m ²)	Descripción	Costo por unidad	Costo total
180	Bodega para turbogenerador	Q 2,000.00	Q 360,000.00

Tabla No. 15 Salarios de instalación y puesta en marcha

Puesto	Cantidad	Horas/día	Sueldo (Q/h)	Horas extra	Salario (Q)						
					Q /h _{extra}	lunes-sábado	domingo	Mensual	Annual sin prestaciones	Prestaciones	Annual con prestaciones
Ingeniero especializado en colectores	1	8	135.71	4	203.57	1900.00	316.67	9500.00	28500.00	13110.00	41610.00
Ingeniero civil	1	8	75.00	4	112.50	1050.00	175.00	5250.00	63000.00	28980.00	91980.00
Ingeniero químico	1	8	75.00	4	112.50	1050.00	175.00	5250.00	63000.00	28980.00	91980.00
Ingeniero mecánico-eléctrico	1	8	75.00	4	112.50	1050.00	175.00	5250.00	63000.00	28980.00	91980.00
Ingeniero en sistemas	1	8	75.00	4	112.50	1050.00	175.00	5250.00	63000.00	28980.00	91980.00
Soldador	2	8	33.33	4	50.00	466.67	77.78	2333.33	28000.00	12880.00	40880.00
Electricista	2	8	33.33	4	50.00	466.67	77.78	2333.33	28000.00	12880.00	40880.00
Operario	2	8	27.27	4	40.91	381.82	63.64	1909.09	22909.09	10538.18	33447.27
Albañil	4	8	26.79	4	40.18	375.00	62.50	1875.00	22500.00	10350.00	32850.00
Total											557587.27

Tabla No. 16. Salarios de operación de la planta generadora

Puesto	Cantidad	Horas/día	Q/h	Horas extra	Salario (Q)						
					Q /h _{extra}	lunes-sábado	domingo	Mensual	Annual sin prestaciones	Prestaciones	Annual con prestaciones
Ingeniero químico	1	8	75.00	4	112.50	1050.00	175.00	5250.00	63000.00	28980.00	91980.00
Ingeniero mecánico-eléctrico	1	8	75.00	4	112.50	1050.00	175.00	5250.00	63000.00	28980.00	91980.00
Ingeniero en sistemas	1	8	75.00	4	112.50	1050.00	175.00	5250.00	63000.00	28980.00	91980.00
Soldador	2	8	33.33	0	50.00	266.67	44.44	1333.33	16000.00	7360.00	23360.00
Electricista	2	8	33.33	0	50.00	266.67	44.44	1333.33	16000.00	7360.00	23360.00
Operario	2	8	27.27	4	40.91	381.82	63.64	1909.09	22909.09	10538.18	33447.27
Guardias de seguridad	4	8	27.27	4	40.91	381.82	63.64	1909.09	22909.09	10538.18	33447.27
Total											389554.55

Tabla No. 17 Flujo de caja del proyecto

Tiempo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso (ahorro) (Q)		44,218,399.55	44,218,399.55	44,218,399.55	44,218,399.55	44,218,399.55	44,218,399.55	44,218,399.55	44,218,399.55	44,218,399.55	44,218,399.55
Costos variables (Q)		-389,554.55	-389,554.55	-389,554.55	-389,554.55	-389,554.55	-389,554.55	-389,554.55	-389,554.55	-389,554.55	-389,554.55
Costos fijos (Q)		-391,595.77	-391,595.77	-391,595.77	-391,595.77	-391,595.77	-391,595.77	-391,595.77	-391,595.77	-391,595.77	-391,595.77
Depreciación (Q)		-3,241,927.30	-5,835,469.14	-4,668,375.31	-3,734,700.25	-2,989,056.97	-2,389,300.42	-2,123,462.38	-2,123,462.38	-2,123,462.38	-2,123,462.38
Valor en libros (Q)											-1,066,594.08
Amortización por intangibles (Q)		-16,124.10	-29,023.38	-23,218.71	-18,574.97	-14,866.42	-11,883.46	-10,561.29	-10,561.29	-10,561.29	-10,561.29
Utilidad bruta (Q)		40,179,197.84	37,572,756.71	38,745,655.22	39,683,974.02	40,433,325.84	41,036,065.35	41,303,225.57	41,303,225.57	41,303,225.57	40,236,631.49
Impuestos (5 %) (Q)		2,008,959.89	1,878,637.84	1,937,282.76	1,984,198.70	2,021,666.29	2,051,803.27	2,065,161.28	2,065,161.28	2,065,161.28	2,011,831.57
Utilidad neta (Q)		38,170,237.94	35,694,118.88	36,808,372.46	37,699,775.32	38,411,659.55	38,984,262.09	39,238,064.29	39,238,064.29	39,238,064.29	38,224,799.91
Depreciación (Q)		3,241,927.30	5,835,469.14	4,668,375.31	3,734,700.25	2,989,056.97	2,389,300.42	2,123,462.38	2,123,462.38	2,123,462.38	2,123,462.38
Valor en libros (Q)											1,066,594.08
Amortización por intangibles (Q)		16,124.10	29,023.38	23,218.71	18,574.97	14,866.42	11,883.46	10,561.29	10,561.29	10,561.29	10,561.29
Inversión inicial (Q)	-90,919,467.47										
Flujo de caja (Q)	-90,919,467.47	41,428,289.35	41,558,611.40	41,499,966.48	41,453,050.54	41,415,582.95	41,385,445.97	41,372,087.96	41,372,087.96	41,372,087.96	41,425,417.66

Gráfica No. 3 Horas de sol promedio para el año 2006, en Guatemala

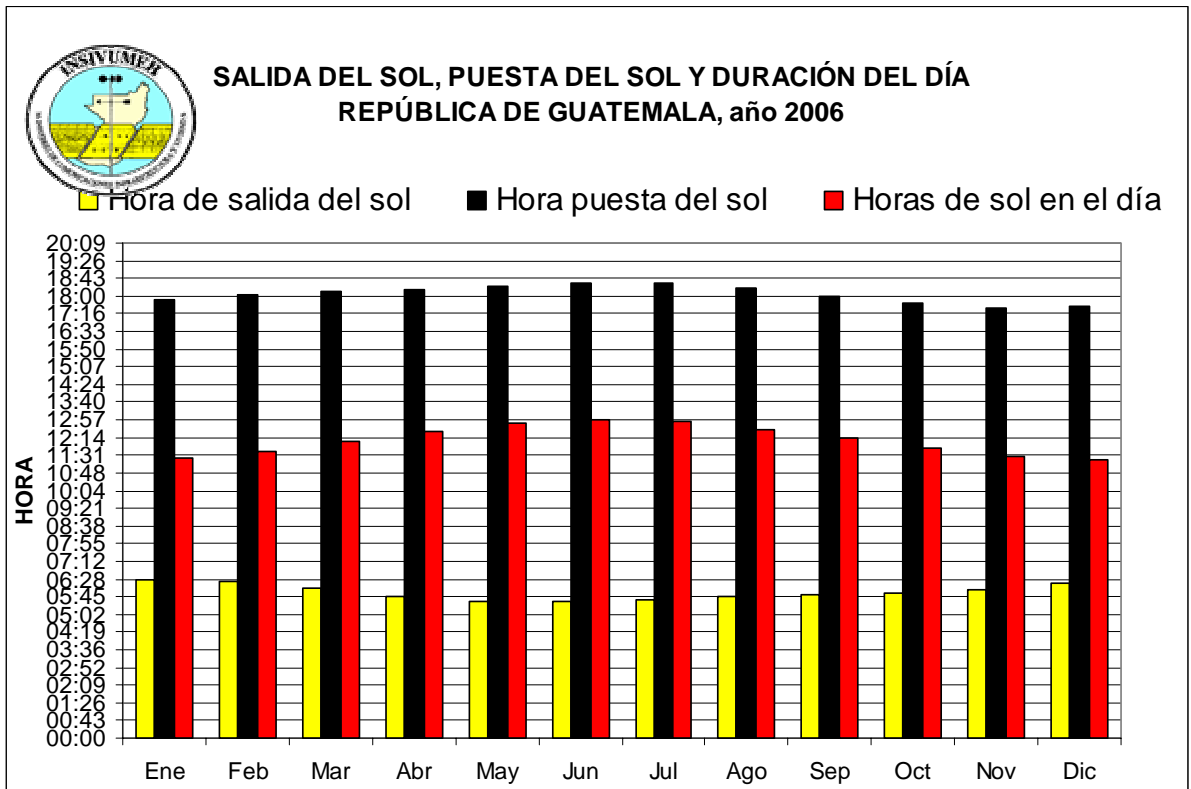


Tabla No. 18 Horas de sol promedio para el año 2006, en Guatemala

Mes	Hora de salida del sol	Hora de puesta del sol	Horas de sol durante el día
Enero	06:27	17:51	11:24
Febrero	06:22	18:04	11:42
Marzo	06:07	18:10	12:03
Abril	05:47	18:15	12:28
Mayo	05:34	18:22	12:48
Junio	05:32	18:30	12:58
Julio	05:39	18:31	12:52
Agosto	05:46	18:21	12:35
Septiembre	05:49	18:01	12:12
Octubre	05:53	17:41	11:48
Noviembre	06:03	17:31	11:28
Diciembre	06:17	17:36	11:19
Promedio			12:08