

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL



Trabajo de diploma

Título

Diseño y evaluación de un campo de concentradores solares integrados en el esquema de fluido térmico de la Empresa textil "Desembarco del Granma"

Autor: Adrián Marcel Pérez Sánchez

Tutor: Dr. Ing. Manuel Alejandro Rubio Rodríguez

Curso 2016-2017

Agradecimientos

A Ariam por la bibliografía brindada.

A mi tutor Manuel por revisar el documento y proponer sugerencias para mejorarlo.

Al oponente del trabajo de diploma: por ser una de las pocas personas que se brindó en ayudarme con este trabajo.

A mi familia por aguantarme y apoyarme incondicionalmente todos estos años de la carrera

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a todas las personas que creyeron en mí y me apoyaron a lo largo de la carrera.

A mis hijos por darme fuerzas para seguir adelante y querer ser un ejemplo para ellos.

A mi madre y padre que siempre me apoyaron no importa cual fuese la situación.

A todos mis amigos con los cuales comparto muy buenos recuerdos y momentos.

Resumen

En la UB textil “Desembarco del Granma” se utiliza aceite térmico para diferentes procesos de acabado de la tela. Este fluido térmico se usa a altas temperaturas por lo que es necesario la quema de combustibles fósiles para calentarlo y esto trae consigo un gasto a la empresa, así como un impacto negativo al medio ambiente. El presente trabajo de diploma estudia la utilización concentradores solares para apoyar el proceso de calentamiento del aceite térmico y reducir el consumo de combustible y el impacto sobre el medio ambiente al realizar este proceso. Como parte del estudio se calculó el potencial solar en la zona de estudio y el rendimiento global de un colector cilíndrico parabólico, así como el número de lazos del campo solar y la cantidad de colectores por lazo. El rendimiento global del colector fue de aproximadamente 65% afectado por las pérdidas geométricas, ópticas, térmicas y por las condiciones meteorológicas del lugar. El combustible ahorrado para la propuesta de diseño de campo concentrador resultó 200 t al año de fueloil. La evaluación económica del proyecto resultó positiva al lograrse un VAN de 3 millones de pesos y una tasa interna de retorno TIR de 17 %.

ABSTRAC

In the UB textile "Desembarco del Granma" thermal oil is used for different fabric finishing processes. For obtaining this thermal fluid at high temperature, it is necessary to burn a costly fossil fuel, which also pollutes the environment. This work conceives the idea to use solar heaters to support the process and reduce fuel consumption and the impact on the environment. The solar potential in the study area and the overall efficiency of the collector, as well as the number of solar field loops and the number of collectors per loop were determined. The overall efficiency of the collector was approximately 65% affected by the losses Geometric, optical, thermal and by the meteorological conditions of the place. From the designed solar heating system resulted that 200 t of fuel oil can be saved each year. The project is economically feasible with a 3 million pesos NPV and an internal IRR return rate of 17%.

Índice

INTRODUCCION.....	7
Capítulo 1. Revisión bibliográfica.....	10
1.1 La energía solar	11
1.2 Los sistemas térmicos solares.....	12
1.3 Colector solar	14
1.3.1 Tipos de colectores solares para calentar agua o fluido térmico.....	14
1.4 Colector Cilíndrico Parabólico (CCP)	16
1.4.1 Pérdidas en un colector cilíndrico parabólico (CCP)	18
1.4.2 sistema de seguimiento solar	19
Capítulo 2.	20
2.1 Cálculo de la radiación solar directa	20
2.1.1 Cálculo de la duración diurna del día (número de horas en que el sol está sobre el horizonte).....	21
2.2 Cálculo del rendimiento global del Colector Cilíndrico Parabólico (CCP)	22
2.2.1 Pérdidas geométricas	24
2.2.2 Pérdidas ópticas	25
2.2.3 Pérdidas térmicas.....	26
2.2.4 Pérdidas térmicas en el aceite térmico	27
2.3 Dimensionamiento del campo solar.....	30
2.4 Cálculo del número de lazos.....	31
2.5 Características del aceite térmico	31
2.6 Incremento de temperatura del aceite térmico en un colector	32
2.7 Número de colectores necesarios por lazo	32
2.8 Número de lazos en el campo solar	33
2.9 Calculo de ahorro cuc/año con la implementación de sistemas térmicos solares	33
Conclusiones parciales.....	34
Capítulo 3 Análisis económico.	35
3.1 Factibilidad económica del Proyecto	36

3.2 Tasa interna de retorno (TIR)	37
3.3 Valor actual neto (VAN)	37
3.4 Periodo de recuperación (PR)	37
3.5 Análisis de emisiones.....	38
Conclusiones parciales.....	38
Conclusiones.....	39
Recomendaciones.....	40
Bibliografía.....	41

INTRODUCCION

Entre los tipos de energía renovable la solar es muy prominente. Se aprovecha a través del uso de celdas fotovoltaicas y colectores para producir energía eléctrica y calefacción de agua respectivamente, en procesos industriales o en sistemas integrados de los domicilios. Uno de los factores más ventajosos en el uso de la energía renovable es su capacidad de tener un impacto muy ligero hacia el medio ambiente. Los calentadores solares, por ejemplo, no emiten los gases tóxicos y nocivos tales como CO₂ y NO_x que perjudican el medio ambiente y la vida humana.

En entrevista realizada a Luis Bérriz, presidente de la revista CUBASOLAR planteó: “Los combustibles fósiles y nucleares han sido las fuentes energéticas del capitalismo y el imperialismo, pues con ellas han dominado el mundo. Por ello, las fuentes renovables de energía serán las del socialismo, que pertenecen a todos. Una energética verdaderamente sostenible, independiente y libre del yugo imperial, se logra exclusivamente con un uso racional de los recursos, junto con el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, acompañada del desarrollo del conocimiento y las tecnologías. Esta es la llamada energética solar” [1].

La unidad básica textil “Desembarco del Granma” de Santa Clara, está subordinada a la Empresa Textil, de la organización superior de dirección empresarial GEMPIL adscrita al MINDUS. Instalada en 1979 con tecnología japonesa del año 1976 y diseñada en su concepción inicial para producir 60 millones de metros de tejido plano, está formada hoy, por 3 plantas productivas (Hilo de Coser, Tejeduría y Acabado) y una planta de Servicio (PSI). Posee además 3 calderas de aceite térmico que garantizan la transferencia de calor para parte de los equipos tecnológicos de acabado que trabajan con este tipo de calor.

El Taller de Blanqueo, el Taller de Teñido, el Taller de Estampado y el Taller de Acabado usan el aceite térmico en diferentes máquinas y para diferentes

procesos. En el Taller de blanqueo los tejidos de poliéster y sus mezclas son sometidos entre otros procesos al de termofijado con el objetivo de estabilizarlos dimensionalmente para que no se encojan o estiren durante su uso. El proceso consiste en someter el tejido a una temperatura a 200 grados centígrados durante un tiempo determinado, lo que se logra en cámaras calentadas con aceite térmico, recibido por los sistemas de suministro desde la planta de servicio.

Las 3 calderas de aceite térmico consumen fuel-oil, lo que se convierte en un impacto importante en el medio ambiente, y por tanto en los fondos públicos y la sociedad. Por otra parte, la energía solar está disponible casi en cualquier parte del mundo. La tecnología solar mediante el uso de colectores cilindro parabólicos es la más desarrollada a nivel comercial y la que, a día de hoy, presenta menor riesgo de inversión.

Problemática

La empresa UB Desembarco del Granma consume hoy fueloil para el calentamiento del fluido térmico en caldera con bajo aprovechamiento de los gases de la combustión del combustible debido a la alta temperatura de retorno del aceite.

Hipótesis

Es posible ahorrar fueloil para el calentamiento del fluido térmico en la UB Desembarco del Granma a partir de calentar el fluido térmico con energía solar en concentradores parabólicos.

Objetivo general

Evaluar la oportunidad de un posible proyecto para integrar energía solar térmica en el esquema de fluido térmico de la empresa textil “Desembarco del Granma” mediante el uso de Colectores Cilíndricos Parabólicos prototipo (EUROTrough-150).

Objetivos específicos

1. Calcular el potencial solar en la zona de la UB Desembarco del Granma.
2. Calcular el rendimiento global de un colector cilíndrico parabólico prototipo EUROTrough-150 en las condiciones de trabajo previstas
3. Dimensionar un campo de concentradores solares en áreas de la UB Desembarco del Granma con el propósito de sustituir una parte de la energía aportada por las calderas de fluido térmico.
4. Evaluar la factibilidad económica de invertir en un sistema de calentadores cilíndricos para ahorrar fueloil en el calentamiento del fluido térmico utilizado en la UB Desembarco del Granma.

Capítulo 1. Revisión bibliográfica

La creciente concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, debido principalmente al consumo de combustibles fósiles, se ha relacionado con un aumento de la temperatura media de la tierra. Este aumento de temperatura es el factor principal desencadenante del cambio climático mundial que originaría consecuentemente un aumento de desastres naturales y daños de enorme magnitud, amenazando a los seres humanos y los ecosistemas globales. En respuesta a esta amenaza, la Organización de Naciones Unidas (ONU) ha convenido la implementación del Protocolo de Kyoto en 1997, que establece objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los países industrializados. El protocolo sigue las recomendaciones del panel intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), el cual ha presentado evidencia de que existe la necesidad de reducir el 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2050, lo que implica por ejemplo una reducción de 80 a 95% de emisiones en Europa.[2]

Reducir emisiones y satisfacer la creciente demanda mundial de energía requiere un cambio en la manera en que se produce y suministra energía. Este cambio implica un uso global de energías renovables. Sin embargo, no existe una tecnología de producción de energía renovable suficientemente grande como para cubrir la demanda global, lo que implica el desarrollo de varias fuentes de energía renovable no convencional (ERNC). Pero llevar varias tecnologías de ERNC a escala industrial y transformar las matrices mundiales de energía en un tiempo no mayor a cuatro décadas, representa un cambio de enorme magnitud que sin duda desestabilizará la economía global. Por tanto, no serán solo las fuerzas del mercado, sino también el marco político y regulatorio elementos clave para el desarrollo de mercados de ERNC. [3]

1.1 La energía solar

La energía solar es la energía renovable por excelencia. La Tierra recibe más energía del sol en sólo una hora que el mundo utiliza en un año. Su forma más simple es el uso de colectores para calentamiento de agua para hogares, pero existe un alto interés para la producción de electricidad. Sin embargo, la energía solar produce menos del 0,04% del consumo de energía global, debido a sus altos costos. La eficiencia y los costos son factores clave en su desarrollo. Estos pueden variar de acuerdo a los índices de radiación solar. En Alemania, este índice es 800 - 1150 KWh/m², España desde 1300 hasta 2000 KWh/m², EE.UU. desde 1300 hasta 2500 KWh/m² y desde 1800 hasta 2500 KWh/m² en el desierto de Atacama. [2]

De existir marcos regulatorios globales que favorezcan el uso de energías renovables para mitigar el cambio climático, la energía solar sería la fuente más generalizada en las futuras décadas, ya que su aplicación representaría menores pérdidas de producto bruto interno global. [1]

La energía solar se aprovecha en procesos naturales como: calentamiento e iluminación de la tierra, crecimiento de las plantas, evaporación de las aguas, etc. Se ha aprendido a usarla en sustitución de los combustibles fósiles para las más diversas funciones como: calentamiento de agua, cocción de alimentos, obtención de corriente eléctrica, todas estas funciones sin contaminar el medio ambiente, ni destruir la naturaleza. [1]

En los últimos años se está produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica en el mundo; los avances tecnológicos permitieron la fabricación de sistemas de mejor calidad y a menor costo y la sociedad está entendiendo la necesidad de sustituir los combustibles fósiles.[4]

El sol nos da cada día la energía equivalente a 0,5 litros de Petróleo en cada metro cuadrado de la isla, si calculamos la cantidad para 110 mil kilómetros cuadrados que tiene Cuba, llegamos a la conclusión que el país recibe diariamente en energía solar el equivalente a 55 millones de toneladas de petróleo. Parece increíble, pero estamos diciendo “en cada día”. [5]

El uso de los colectores solares térmicos tiene antecedentes relativamente masivos en Cuba desde la década del 80. En el país se fabrican calentadores solares de diferentes capacidades, especialmente diseñados para escuelas, hospitales, círculos infantiles, hogares de ancianos, y otros sitios de interés social. Los colectores de fabricación nacional son muy sencillos, eficientes para el clima tropical y de bajo costo a pesar de estar contruidos con materiales de alta calidad. Más recientemente se ha incrementado el uso de estos sistemas solares en instalaciones hoteleras.[6]

1.2 Los sistemas térmicos solares

El objetivo esencial de cualquier sistema térmico solar es captar la energía que proviene del sol para transformarla y transportarla de la manera más económica y eficaz posible.

Las aplicaciones del aprovechamiento solar pueden ser directas, en forma de calor, o bien indirectas, utilizando este calor para obtener trabajo mecánico en un eje y finalmente electricidad. Desde su primera invención, hace 120 años, se han desarrollado diversas formas de colectores solares térmicos, que van de los colectores planos a los colectores parabólicos y helióstatos. [6]

Los sistemas solares activos son aquellos que usan un equipamiento específico para captar la energía solar: los captadores solares térmicos. El fluido calentado por energía solar que circula por su interior puede directa o indirectamente –por medio de un intercambiador de calor- transferir su energía al destino o aplicación final .[2].

El impacto ambiental del ciclo de vida de los sistemas solares activos es prácticamente nulo. El uso de carbón, gas, petróleo o energía nuclear supone un impacto importante en el medio ambiente, y por tanto en los fondos públicos y la sociedad. Impacto que no está reflejado en el coste específico al usuario, por lo que las energías renovables en general y los sistemas solares térmicos activos en particular compiten en desigualdad de condiciones. La energía solar está disponible casi en cualquier parte del mundo, lo que le confiere un inmenso

potencial de aprovechamiento, sobre todo con sistemas solares térmicos que aprovechan la radiación solar global (sistemas para baja y media temperatura) La energía solar térmica activa siempre induce una reducción en el consumo de energía primaria, pudiéndose combinar con casi cualquier sistema auxiliar de respaldo. [5]

Entre las tecnologías existentes, hay tres que destacan por su grado de desarrollo: los sistemas de colectores cilindro parabólicos (CCP), los sistemas de receptor central (SRC) o sistemas de torre central (STC), y los discos parabólicos (DP) o más propiamente, paraboloides de revolución. También existen los sistemas de concentradores parabólicos compuestos (CPC), que a pesar de no estar ampliamente desarrollados en cuanto a tecnología se refiere, merecen una mención. Los primeros y los últimos concentran la radiación solar en un eje (dos dimensiones), mientras que los sistemas de torre y los discos parabólicos lo hacen en un punto (tres dimensiones), pudiendo alcanzar por ello mayores relaciones de concentración.[6]

Aunque los campos de aplicación de los Sistemas Termosolares de Concentración (CSTS) son diversos, es en los campos de generación de electricidad, vapor de proceso o de ambos simultáneamente, donde estos sistemas han alcanzado su mayor grado de desarrollo, dando lugar a Centrales Energéticas Termosolares (CETS). Las CETS son, entre los sistemas basados en el aprovechamiento de las energías renovables, uno de los de mayor potencial de contribución a la satisfacción de la demanda energética, especialmente en las regiones situadas en el llamado “cinturón solar”, que son aquellas que se encuentran entre las latitudes 35º norte y 35º sur. Además, constituyen el medio más económico para la generación de electricidad a partir de la energía solar. [6]

Estos sistemas aprovechan la radiación solar directa, y en algunos casos la radiación difusa proveniente del Sol. El primer elemento que se encuentra la radiación, y que permite absorber la energía incidente es el “captador solar”, el

cual puede ser entendido como un tipo particular de intercambiador de calor que intercepta la energía radiante del Sol, la transforma en energía térmica y la transfiere a un fluido circulante por su interior que actúa como “fluido portador” de la energía térmica.[2]

1.3 Colector solar

De forma genérica, un captador solar está constituido en esencia por un absorbedor que recoge la energía solar, una cubierta transparente y un tubo o tubos por los que circula el fluido termo-portador.

El absorbedor es el elemento más importante del sistema captador, pues es el encargado de recibir y absorber primero la radiación solar y transformarla después en radiación térmica, de forma que por conducción esta energía se transfiera al fluido circulante. Por otro lado, la cubierta transparente o semitransparente evita en gran medida la emisión calorífica por convección desde el absorbedor al ambiente, así como lo protege de los agentes externos.[7]

1.3.1 Tipos de colectores solares para calentar agua o fluido térmico

Existen varios tipos de colectores solares clasificados según los esquemas constructivos generales más comunes. Alguno de estos esquemas son:

1. Colectores de placa plana con cubierta (Glazed flat-plate collectors)
2. Colectores Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) Estacionarios
3. Colectores de placa plana sin cubierta (Unglazed flat-plate collectors)
4. Colectores de tubos de vacío (Evacuated-tube collectors)

Para calentar agua a temperatura media, para calefacción de espacios y para procesos industriales, las aplicaciones más utilizadas son los colectores planos, en los cuales el área de la superficie absorbente es la misma que el área total del colector; o tubulares, en los que el absorbente se encuentra dentro de un tubo de vidrio al vacío. Estos últimos pueden incluir, ya sea dentro o fuera del tubo, espejos cilindro-parabólicos para centrar la energía solar en el absorbente.

Temperaturas de 40 a 70 °C son alcanzadas fácilmente por los colectores planos; el uso de superficies selectivas y reflectores junto a la retención de calor, hace que los colectores de tubos de vacío alcancen temperaturas significativamente más elevadas. [3]

Un colector necesita ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la temperatura del fluido que debe proporcionar, para la aplicación prevista y de acuerdo al clima del lugar en el cuál va a estar emplazado. Un colector diseñado para aplicaciones en las que se necesitan fluidos a alta temperatura no resulta más eficiente cuando operan a bajas temperaturas.[8]

Teniendo en cuenta las temperaturas a las que puede llegar el fluido transportador, y en consecuencia, las posibles aplicaciones que pueden aprovecharse de dichas temperaturas. Además, el tipo de fluido que se utilice determina el rango de temperaturas de operación del campo solar, lo que acaba por influir en la obtención del rendimiento del ciclo de potencia. [8]

Temperatura baja (30oC - 100oC). Este rango se consigue con colectores planos. Entre sus aplicaciones están las de calentamiento de aguas sanitarias y de piscinas, calefacción, secado, desalinización y destilación. Estos sistemas son en general híbridos ya que casi siempre son usados con apoyo de otros tipos de energía como la eléctrica, pues que la energía solar no siempre está disponible, lo que puede ocasionar un paro en el servicio que se ofrece.[2]

Temperatura media (100 °C - 400 °C). Se alcanzan con concentradores lineales o esféricos y se usan en procesos industriales (Industria láctea, procesado de residuos, etc.), así como en refrigeración, en procesos químicos (Producción de acetona) y de desalinización. [2]

Temperatura alta (400oC - 3000oC). Estas altas temperaturas se alcanzan gracias a los concentradores puntuales como los de discos parabólicos y los campos de heliostatos o centrales de torre. Se utilizan en centrales solares foto térmica, fotovoltaica y fotoquímicas, también en hornos solares para tratamientos térmicos e investigación de materiales. [2]

Los colectores solares son dispositivos utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas.

1.4 Colector Cilíndrico Parabólico (CCP)

Los CCP's son captadores concentradores solares de foco lineal, que transforman la radiación solar directa en energía térmica, gracias al calentamiento de un fluido de trabajo que puede llegar hasta los 400°C en casos muy favorables. Por tanto, están englobados dentro de los colectores solares de media temperatura. [3]

Esta tecnología cilindro-parabólica basa su funcionamiento en seguimiento solar y en la concentración de los rayos solares en unos tubos receptores de alta eficiencia térmica localizados en la línea focal de los cilindros. En estos tubos, un fluido transmisor de calor, tal como aceite sintético es calentado aproximadamente a 400°C por los rayos solares concentrados. El aceite es bombeado a través de una serie de intercambiadores de calor para producir vapor sobrecalentado. El calor presente en este vapor, se convierte en energía eléctrica en una turbina de vapor convencional. Los colectores cilindroparabólicos, se emplean más a escala industrial de 10 a 100 MW para la generación de energía eléctrica en un campo solar y en un sistema de potencia. En el campo solar, la energía de la radiación solar se transforma en energía térmica en una serie de filas paralelas de colectores cilindro-parabólicos cada uno ellos con seguimiento solar. [7]

La eficiencia, durabilidad y costo de una central con colectores cilindro-parabólicos depende fuertemente de la estructura y robustez del colector. Un módulo colector, generalmente compuesto de elementos de 12 m de largo conectados en serie, puede tener hasta 150 m de longitud. Sus espejos parabólicos reflejan la radiación solar y la concentran sobre un tubo absorbente en su línea focal. [6]

A principios del siglo pasado (1912), la primera planta de canal parabólico fue construida en Meadi, Egipto, para bombeo de agua. Con 79 plantas 3 142,5 MW

instalados, esta tecnología es la más madura de las tecnologías CSP (más de 100 años de experiencia en operación) [1].

Las primeras centrales con colectores cilindro-parabólicos operan comercialmente en California desde 1985. En este periodo de tiempo, han generado más de doce mil millones de kilowatts hora de electricidad, lo que es suficiente para suministrar electricidad a aproximadamente doce millones de personas durante un año. Al igual que en centrales térmicas con combustibles convencionales y también en centrales nucleares, la corriente se genera en las centrales solares térmicas con una turbina a vapor y un generador acoplado.[6]

El Sistema de Generación de Energía solar (en inglés: Solar Energy Generating System, SEGS) es un conjunto de nueve plantas con una capacidad total de 350 MW. Actualmente es el sistema solar operacional más grande (tanto del tipo termal o no).

La planta Nevada Solar One tiene una capacidad de 64 MW. Están en construcción las plantas Andasol 1 y 2 en España, cada planta tiene una capacidad de 50 MW, sin embargo, estas plantas son de un diseño que tiene un sistema de almacenamiento de calor que requiere un terreno con colectores solares mayor en relación al tamaño del que debería tener para su generación. El almacenamiento de calor permite una mejor utilización de las turbinas de vapor. Con una operación diurna y parcialmente nocturna, la turbina de vapor de Andasol 1 con una capacidad de punta de 50 MW produce más energía que Nevada Solar One con una capacidad de punta de 64 MW, debido al sistema de almacenamiento de calor y un terreno de colectores más grande que posee la planta de Andasol 1. Existía la propuesta de instalar 553 MW adicionales en el Mojave Solar Park, California, pero este proyecto fue cancelado en el año 2011. También IBERDROLA (2013) puso en marcha en Egipto la central de Kuraymat, de 1508 megavatios (MW) de potencia. Se trata de una instalación pionera en el mundo, dado que incorpora una tecnología que utiliza de forma combinada el gas y la energía solar, lo que contribuye a disminuir las emisiones de CO₂ y a mejorar el rendimiento global de la planta También se generan 25 MW de vapor como

aporte para una planta de gas en Hassi R'mel, Argelia. El gobierno de India ha comenzado a desarrollar una iniciativa llamada Jawaharlal Nehru National Solar Mission (también conocida como la misión solar nacional) para resolver el problema de abastecimiento de energía eléctrica.[8]

Este sistema aprovecha la propiedad de las parábolas: todo rayo que choque sobre la parábola será reflejado en dirección a un punto llamado foco. Es decir, que, si se crea alguna superficie reflectora en forma de parábola, y se coloca un tubo receptor en ubicación exacta del foco, entonces este tubo recibirá todos los rayos solares de la superficie reflectora, logrando así una alta concentración de rayos solares sobre una pequeña región. Este tipo de colectores llegan hasta los 400°C.[2]

1.4.1 Pérdidas en un colector cilíndrico parabólico (CCP)

Pérdidas geométricas: Provocan la disminución del área efectiva de captación solar de los colectores. En un CCP se dividen en pérdidas debidas a la posición relativa de los colectores entre sí, los cuales se pueden dar sombra unos a otros; y las pérdidas inherentes a cada colector, que son motivo del ángulo de incidencia, el cual provoca que en los extremos del colector haya una pérdida de superficie reflexiva útil. La existencia del ángulo de incidencia también afecta a los valores de la reflectividad, absorptividad y transmisividad, ya que estos parámetros presentan su valor máximo cuando el ángulo de incidencia es 0°.[6]

Pérdidas ópticas: Se deben a imperfecciones en los materiales que componen el colector: la superficie del concentrador no es un reflector perfecto, ni el vidrio del tubo absorbedor es completamente transparente, ni el recubrimiento selectivo del tubo metálico es un absorbedor perfecto. Los cuatro parámetros que intervienen en las pérdidas ópticas de un canal parabólico son la reflectividad de los espejos parabólicos, la absorptancia del tubo metálico, la transmitancia de la cubierta de vidrio y el factor de interceptación

Pérdidas térmicas: Principalmente se encuentran asociadas a dos elementos del sistema: el tubo absorbedor y las tuberías de fluido térmico. Las pérdidas

asociadas están formadas por pérdidas por conducción, por convección y por radiación de los diferentes medios que conforman el conjunto del tubo absorbedor, es decir, por el tubo metálico, la cubierta de cristal, y la atmosfera. De manera que, la potencia térmica disipada en el colector equivale a la suma de las pérdidas térmicas en el receptor y las pérdidas térmicas en las tuberías por donde circula el fluido térmico. [6]

1.4.2 sistema de seguimiento solar

El seguimiento del sol se hace con el objetivo de aprovechar la mayor parte de horas posibles de luz, de forma que la radiación solar llegue lo más perpendicularmente posible al colector y se mantengan en el foco lineal continuamente. Los CCP's pueden tener seguimiento a dos ejes o a un único eje. Normalmente el seguimiento se realiza a un eje pues mecánicamente es más sencillo, esto implica menos costos y menores pérdidas térmicas por no haber tuberías pasivas.

Los mecanismos de accionamiento que mueven al colector pueden ser eléctricos (apropiado para equipos pequeños), hidráulicos (para lazos de colectores) y mecánicos (reloj de pesas)

Capítulo 2. Materiales y Métodos.

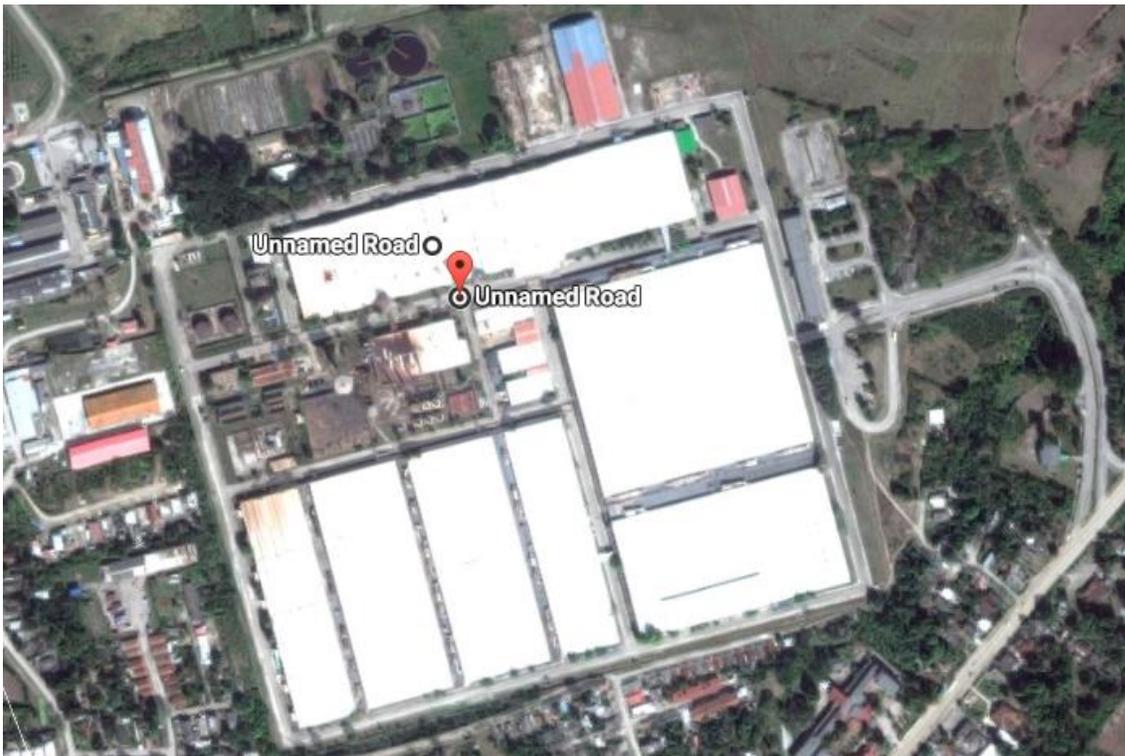
En este capítulo se describe el método de cálculo utilizado para del potencial de radiación, la eficiencia del sistema de captación de la energía solar y diseño del campo solar necesario.

La presente investigación se realizó desde el año 2016 hasta el año 2017. Para la realización de los cálculos se utilizó el software: Excel (2007)

2.1 Cálculo de la radiación solar directa

Para el cálculo de la radiación solar directa en la zona de la UB Textil Desembarco del Granma, Santa Clara, se tomaron como coordenadas de referencia la latitud y la longitud: Lat. 22.425, Lon 79.933

Figura 1 área de la textilera



$$\text{DNI} = 1230 \cdot e^{\frac{-1}{3,8 \cdot \cos(\theta_s - 1,6)}}$$

1

Dónde:

Ángulo de incidencia solar θ_s :

El valor del ángulo de incidencia (θ_s) sobre la normal a una superficie plana está dado por la siguiente fórmula:

$$\theta_s = \cos^{-1}(\sin d \cdot \sin L \cdot \cos s - \sin d \cdot \cos L \cdot \sin s \cdot \cos g + \cos d \cdot \cos L \cdot \cos s \cdot \cos w + \cos d \cdot \sin L \cdot \sin s \cdot \cos w \cdot \cos g + \cos g \cdot \sin s \cdot \sin g \cdot \sin w)$$

2

Dónde:

d- Ángulo de

declinación. L- Latitud

geográfica s-

Inclinación del colector

g- Orientación del

colector w- Ángulo

horario

Los valores de DNI directa que inciden en la zona de la textilera Santa Clara se mantuvieron por encima de 4.7 kWh/m²/día, siendo idóneos para la instalación de este tipo de tecnología. Esto pudiera ser debido, a que, por la metodología de cálculo utilizada, solo se tuvo en cuenta la latitud geográfica y el día del año en que se analizó dicha radiación.

2.1.1 Cálculo de la duración diurna del día (número de horas en que el sol está sobre el horizonte).

$$D = 2 \cdot \frac{WS}{15}$$

3

Dónde:

$$WS = \cos^{-1}(-\tan L \cdot \tan d)$$

L-Latitud geográfica

D-Declinación

Aun así, los lugares para desarrollar aplicaciones de energía solar térmica por concentración de acuerdo a la radiación solar perpendicular a la superficie incidente sobre un metro cuadrado de la siguiente manera

Se tuvieron en cuenta los valores de radiación solar directa (kWh/m²/día).

- ✚ No idóneos: Hasta 1700 kWh/m²/año (4,7 kWh/m²/día)
- ✚ Idóneos: Entre 1700 y 2700 kWh/m²/año (4,7 y 7,4 kWh/m²/día)
- ✚ Óptimos: Más de 2700 kWh/m²/año (7,4 kWh/m²/día)

En la tabla se calculó el promedio de horas de luz solar durante el día en la textilera Santa Clara y se observa que para todos los meses del año se encuentra por encima de las diez horas luz. Durante los meses de verano (Abril-Agosto) las horas de luz solar fue mayor.

Tabla 1 Promedio de horas de luz solar durante el día en la textilera Santa Clara.

meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Duración diurna del día (h)	10,75	11,22	11,86	12,55	13,22	13,4	13,27	12,78	12,11	11,43		
	10,87	10										

2.2 Cálculo del rendimiento global del Colector Cilíndrico Parabólico (CCP)

Tabla 2 Características del Colector Cilíndrico Parabólico Eurotrough-150 (ET-150)

Características	u/m	
Ancho de apertura	5,77	m
Longitud total de cada colector	150	m
Área de apertura del colector	817,5	m ²
Longitud focal	1,71	m
Longitud del absorbedor	4,1	m
Radio exterior del absorbedor	0,035	m
Radio interior del absorbedor	0,0325	m
Distancia entre filas de colectores	17	m
Rto. Óptico pico	78	%
Factor de ensuciamiento	95	%
Disponibilidad	97	%

Figura 2 Prototipo EUROTrough en la Plataforma Solar de Almería. España



Para el cálculo del rendimiento global de un Colector Cilíndrico Parabólico hay que realizar un balance energético teniendo en cuenta las pérdidas que suceden en el mismo.

2.2.1 Pérdidas geométricas

La geometría del canal parabólico lleva asociada una disminución del área efectiva de captación. Estas pérdidas se dividen en dos grupos:

Pérdidas debidas a la posición relativa de los colectores: los cuales se pueden dar sombra unos a otros.

Pérdidas inherentes a cada colector: son las debidas al ángulo de incidencia de la radiación solar (g) respecto a la normal del plano de apertura del colector

Como consecuencia de este ángulo existe una pérdida de superficie reflexiva útil en los extremos del colector. Por tanto, el ángulo de incidencia tiene gran importancia sobre el comportamiento térmico del colector puesto que limita la cantidad de radiación solar que se puede aprovechar.

Se hizo una comparación del ángulo de incidencia en cuanto a la orientación y el seguimiento solar del colector cilíndrico parabólico.

Si la orientación (g) es de Norte-Sur con seguimiento solar Este-Oeste $g = 0^\circ$

Si la orientación (g) es de Este-Oeste con seguimiento solar Norte-Sur $g = 90^\circ$

Declinación según fórmula de Cooper (Ribot et al., 2001)

$$d = 23,45 \cdot \text{sen} \left[360 \cdot \frac{(284 + n)}{365} \right] \quad 4$$

Siendo “n” el número de día natural para el 1 de enero $n=1$ y para el 31 de diciembre $n=365$.

El ángulo horario se calcula según la fórmula:

$$\tau = 15^\circ \cdot (hs - 12) \quad 5$$

Siendo “hs” las horas de reloj. El valor es negativo por la mañana y positivo tras el mediodía, y cero al mediodía solar.

Se consideró el ángulo horario 0° por ser el mediodía solar donde más radiación incide sobre la tierra con el objetivo de simplificar los cálculos.

Se consideró el ángulo de inclinación igual a 0° (disposición horizontal) por ser más eficiente.

La latitud del lugar en estudio (Textilera) Santa Clara es de 22.425°

Las pérdidas asociadas al ángulo de incidencia son mínimas cuando el ángulo es 0° $\cos \theta_s = 1$ y máximas cuando es 90° . Por tanto, cuanto menor sea el ángulo de incidencia, mayor es la energía solar incidente sobre el colector, y mayor es el rendimiento del mismo.

2.2.2 Pérdidas ópticas

Cálculo del rendimiento óptico pico del colector, $\eta_{opt.0^\circ}$, que es aquel que tiene en cuenta todas las pérdidas ópticas que tienen lugar en el captador con un ángulo de incidencia de 0° .

$$\eta_{opt.0^\circ} = \rho \cdot \gamma \cdot \tau \cdot \alpha$$

6

Donde:

ρ : reflectancia: no toda la energía incidente es reflejada hacia el tubo absorbedor.

γ : factor de interceptación: no toda la radiación reflejada por los espejos acaba incidiendo sobre el tubo absorbedor. Las causas son diversas, imperfecciones en los espejos, un mal posicionamiento de los colectores, etc.

τ : transmitancia: de aquella radiación que intercepta el tubo de vidrio, solo una parte consigue atravesarlo.

α : Absortancia: cantidad de radiación que absorbe la superficie selectiva del tubo metálico.

Además de las pérdidas debidas al ángulo de incidencia, existen otras pérdidas que se asocian a dicho ángulo. El efecto del ángulo de incidencia en el rendimiento del CCP se cuantifica mediante el modificador por ángulo de incidencia, $K(\theta_s)$. Éste considera todas las pérdidas ópticas y geométricas que

tienen lugar en el captador para un ángulo de incidencia $\theta_s \neq 0^\circ$ y que no se tienen en cuenta en el rendimiento óptico pico.

El modificador por el ángulo de incidencia depende directamente del ángulo de incidencia, siendo $K(\theta_s) = 1$ para $\theta_s = 0^\circ$, y siendo $K(\theta_s) = 0$ para $\theta_s = 90^\circ$ y se obtiene como función de éste según la expresión:

$$K(\theta_s) = 1 - 2,23073 \cdot 10^{-4} \cdot (\theta_s) - 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot (\theta_s^2) + 3,18596 \cdot 10^{-6} \cdot (\theta_s^3) - 4,85509 \cdot 10^{-9} \cdot (\theta_s^4)$$

7

Tabla 3 rendimiento óptico del colector solar.

Rendimiento óptico	
ñ: Reflectividad superficie reflectora	0,90
ô: Transmisividad del cristal absorbedor	0,95
á: Absortividad del tubo del absorbedor	0,96
γ: Factor de interceptación	0,95

Cuanto mayor es el valor del rendimiento óptico, mayor será el rendimiento del captador. Así, cuanto mayor sea el valor de las variables que lo definen, mejor será el rendimiento de los captadores

2.2.3 Pérdidas térmicas

Las pérdidas térmicas que tiene lugar en un CCP, dan como consecuencia que la energía térmica útil sea menor que la energía solar absorbida por el colector. Teniendo en cuenta esto, la potencia térmica útil por colector será igual la diferencia entre los calores absorbido y perdido:

$$\dot{Q}_{util} = \dot{Q}_{abs} - \dot{Q}_{perd} \tag{8}$$

Dónde:

\dot{Q}_{util} : Potencia térmica útil por colector (W)

\dot{Q}_{abs} : Calor absorbido por el fluido de transferencia de calor (HTF)(W)

\dot{Q}_{perd} : Pérdidas térmicas del HTF al ambiente (W)

2.2.4 Pérdidas térmicas en el aceite térmico

Las pérdidas térmicas se producen a lo largo del circuito por donde se mueve el fluido térmico principalmente en dos lugares: en el tubo absorbedor y en las tuberías del campo de colectores. De manera que, la potencia térmica disipada en el colector equivale a la suma de las pérdidas térmicas en el receptor y las pérdidas térmicas en las tuberías por donde circula el fluido térmico:

$$Q_{perd} = Perd_{colect} + Perd_{tuber} \quad 9$$

Las pérdidas térmicas asociadas al tubo absorbedor, $Perd_{colect}$, se deben a la diferencia de temperaturas entre éste y el ambiente, pudiendo ser por conducción, por radiación y por convección desde el tubo absorbedor al ambiente. Aunque cada una de estas pérdidas podría calcularse aplicando las ecuaciones que rigen los mecanismos de transferencia de calor antes mencionados, en la práctica, las pérdidas térmicas globales en un colector se cuantifican mediante ecuaciones experimentales. Así, las pérdidas térmicas en el tubo absorbedor por metro longitudinal de colector vienen dadas por la ecuación:

$$Perd_{colect} = \frac{Perd_1 + Perd_2 + Perd_3 + Perd_4}{T_s - T_e} \quad 10$$

Dónde:

$$Perd_1 = (A_0 + A_s \cdot \sqrt{v}) \cdot (T_s - T_e)$$

$$Perd_2 = (A_1 + A_6 \cdot \sqrt{v}) \cdot \left(\frac{T_s^2 - T_e^2}{2} - T_{amb} \cdot (T_s - T_e) \right)$$

$$Perd_3 = \left(\frac{A_2 + A_4 \cdot DNI \cdot K(\theta_s) \cdot \cos(\theta_s)}{3} \cdot (T_s^3 - T_e^3) \right)$$

$$Perd_4 = \frac{A_3}{4} \cdot (T_s^4 - T_e^4)$$

11

Siendo:

T_s : Temperatura del aceite térmico a la salida del campo solar

T_e : Temperaturas del aceite térmico a la entrada del campo solar

T_{amb} : Temperatura ambiente

v : Velocidad del viento (m/s)

Los coeficientes empleados en las fórmulas se recogen en la tabla

Tabla 4 Coeficientes de pérdidas térmicas

A0	4,05
A1	0,247
A2	-0,00146
A3	5,65E-06
A4	7,62E-08
A5	-1,7
A6	0,0125

En general, las pérdidas térmicas en las tuberías del campo de colectores son pequeñas, del orden de 10 W/m².

Finalmente, la potencia térmica disipada por el aceite térmico a su paso por un colector es:

$$\dot{Q}_{perd} = Perd_{colect} \cdot L_{colector} + Perd_{tuber} \cdot S_c \quad 12$$

Dónde:

S_c : Área de apertura del colector

Un colector, como todos los sistemas de concentración de la energía solar, solo puede aprovechar la radiación solar que incide normal a su plano de apertura. De esta forma, la energía solar por unidad de tiempo y en el punto de diseño, que incide sobre la superficie de apertura de un CCP viene dada por la ecuación:

$$\dot{Q}_{sol} = DNI \cdot \cos(\theta_s) \cdot S_c \quad 13$$

La potencia absorbida por el colector, \dot{Q}_{abs} , va a ser menor que la \dot{Q}_{sol} ya que ésta última no tiene en cuenta las pérdidas ópticas y geométricas en el colector, ni la limpieza de los espejos, ni la disponibilidad del campo solar. La radiación solar absorbida en un colector CCP viene dada por la ecuación:

$$\dot{Q}_{abs} = DNI \cdot \cos(\theta_s) \cdot S_c \cdot K \cdot (\theta_s) \cdot \eta_{opt,0\%} \cdot F_c \cdot F_{disp} \quad 14$$

Siendo:

F_c : Factor de ensuciamiento de los espejos (95 %). Tiene en cuenta que, aunque los espejos se limpien, no recuperan su estado inicial.

F_{disp} : Factor de disponibilidad (97 %). Fracción del campo solar que está en operación y captando la energía solar.

El rendimiento global de un CCP viene dado por el cociente entre el aumento de entalpía en el aceite térmico a su paso por el colector y la energía solar incidente sobre el captador.

$$\eta_{colec} = \frac{\dot{Q}_{util}}{\dot{Q}_{sol}} \quad 15$$

Estas pérdidas térmicas influyeron negativamente en el rendimiento global del colector CCP ET-150 que tuvo un valor aproximado al 65%. Para los meses de verano hubo un mayor rendimiento, aunque este se vio afectado por la nubosidad. Debido al rendimiento global de colector cilindro-parabólico, la radiación solar directa captada fue menor que la radiación solar directa calculada por la metodología de trabajo utilizada.

2.3 Dimensionamiento del campo solar

El dimensionamiento del campo solar consiste en determinar el número de CCPs (o número de lazos) necesarios para aportar la energía que demanda este en el punto de diseño.

Para dimensionar el campo solar es necesario evaluar las condiciones del terreno donde se va a realizar el montaje de los colectores.

Balance energético

$$\dot{Q} = \dot{m}_{aceite} \cdot C_{p_{aceite}} \cdot \Delta T = \dot{m}_{aceite} \cdot (h_s - h_e) \quad 16$$

Dónde:

ΔH : Diferencia de entalpías a la entrada y a la salida del intercambiador (kJ/kg)

\dot{Q} : Potencia térmica intercambiada (kW)

\dot{m} : Caudal másico (kg/s)

C_p : Calor específico (kJ/kg °C)

ΔT : Diferencia de temperaturas a la entrada y la salida del intercambiador (°C)

h_s, h_e : Entalpías a la entrada y a la salida respectivamente (kJ/Kg)

Y según el teorema de conservación de la masa, se tiene que:

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale}$$

2.4 Cálculo del número de lazos

Los cálculos que se han desarrollado en los acápites anteriores, constituyen los datos de partida para el cálculo del número de colectores requeridos en el campo solar para poder alcanzar la potencia térmica demandada al campo solar.

2.5 Características del aceite térmico

El fluido térmico Shell Heat Transfer Oil S2 (Antigua denominación: Shell Thermia Oil B) está basado en aceites base minerales de selecto refino y especialmente seleccionados para ser utilizados en los sistemas de transmisión de calor industriales temperatura máxima de película 340 °C, temperatura máxima de trabajo 320 °C.

Poseen una excepcional estabilidad térmica y a la oxidación con un grado mínimo de formación de lodos, por lo que mantienen sus características durante largos periodos de tiempo.

Propiedades:

Gran estabilidad térmica.

Muy buena estabilidad a la oxidación.

Baja viscosidad para aumentar los coeficientes de transferencia térmica.

Adecuada bombeabilidad a bajas temperaturas.

Baja presión de vapor y mínima volatilidad.

No corrosivo.

2.6 Incremento de temperatura del aceite térmico en un colector

La potencia térmica útil del colector se invierte en aumentar la temperatura del aceite. De esta forma, el incremento de temperatura que sufre el aceite térmico a su paso por un colector, es decir, desde que entra en el colector y hasta que sale del mismo, es:

$$\Delta T_{colec} = T_s - T_c = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{\dot{m} \cdot C_p} \quad 17$$

ΔT_{colec} : Incremento de temperatura del aceite térmico en el colector (°C)

T_c, T_s : Temperatura del aceite térmico a la entrada y a la salida del colector respectivamente (°C)

$\dot{Q}_{\text{útil}}$: Potencia térmica útil por colector (W)

\dot{m} : Caudal másico de aceite térmico por colector (kg/s)

C_p : Calor específico del aceite térmico a la temperatura media de trabajo (kJ/kg °C)

2.7 Número de colectores necesarios por lazo

El incremento total de temperatura del aceite térmico por lazo, ΔT_{lazo} , es igual a la diferencia entre las temperaturas a la salida y a la entrada del campo solar. Por tanto, el número teórico de colectores en serie por lazo será igual a:

$$N_{colec} = \frac{\Delta T_{\text{lazo}}}{\Delta T_{colec}} \quad 18$$

N_{colec} : Número teórico de colectores por lazo

ΔT_{lazo} : Incremento de temperatura por lazo (°C)

Esto implica el salto térmico y caudal másico por lazo que es necesario tener el aceite para así poder alcanzar la temperatura de salida.

2.8 Número de lazos en el campo solar

A diferencia del número de colectores que viene fijado por el salto de temperatura del aceite térmico en el campo, el número de lazos paralelos que conforman el campo solar depende de la potencia térmica demanda por el campo. El número de lazos es igual al cociente entre la potencia térmica del campo solar y la potencia térmica útil por colector:

$$N_{lazo} = \frac{\dot{Q}_{campo}}{\dot{Q}_{\acute{u}til} X lazo}$$

19

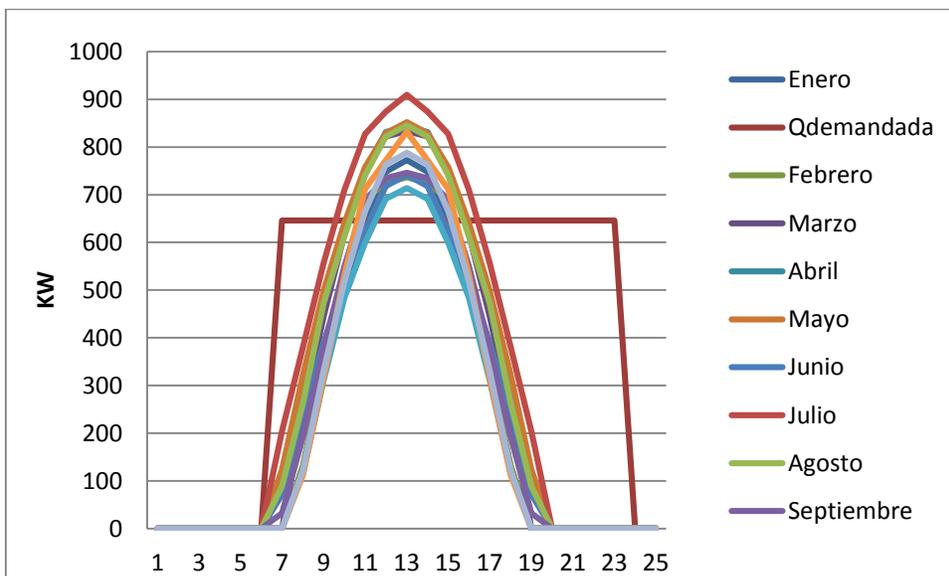
N_{lazo} : Número de lazos

\dot{Q}_{campo} : Potencia térmica del campo solar (kW)

$\dot{Q}_{\acute{u}til}$: Potencia térmica útil por lazo (kW)

2.9 Calculo de ahorro cuc/año con la implementación de sistemas térmicos solares

Figura 3 Gráfica de un día de trabajo.



Para 1 día de trabajo $Q_{dem} = 646.72$ KW

Para 1 día de trabajo $Q_{prop} = 437$ KW

Los turnos son de 18h y el calentador solar trabaja durante unas 11h al día.

$$Q_{dem} \times t = E_{dem} \quad 644.72 \text{ KW} \times 18 \text{ h} = 11640 \text{ KWh}$$

$$Q_{prop} \times t = E_{prop} \quad 437 \text{ KW} \times 11 \text{ h} = 7866 \text{ KWh}$$

Poder calórico de combustión del fuel-oil 40000KJ/Kg

$$E_{prop} \times 3600s / q_{com} = m$$

$$7866 \text{ KJ/s} \times 3600 \text{ s} / 40000 \text{ KJ/kg} = 707.94\text{Kg}$$

Precio Comb x m = Costo evitado

$$0.87 \text{ \$/Kg} \times 707.94\text{Kg} = 615 \text{ cuc para 1 día.}$$

La fábrica trabaja 24 días al mes y los 12 meses del año

$$615 \times 24 \times 12 = 177120 \text{ cuc/año}$$

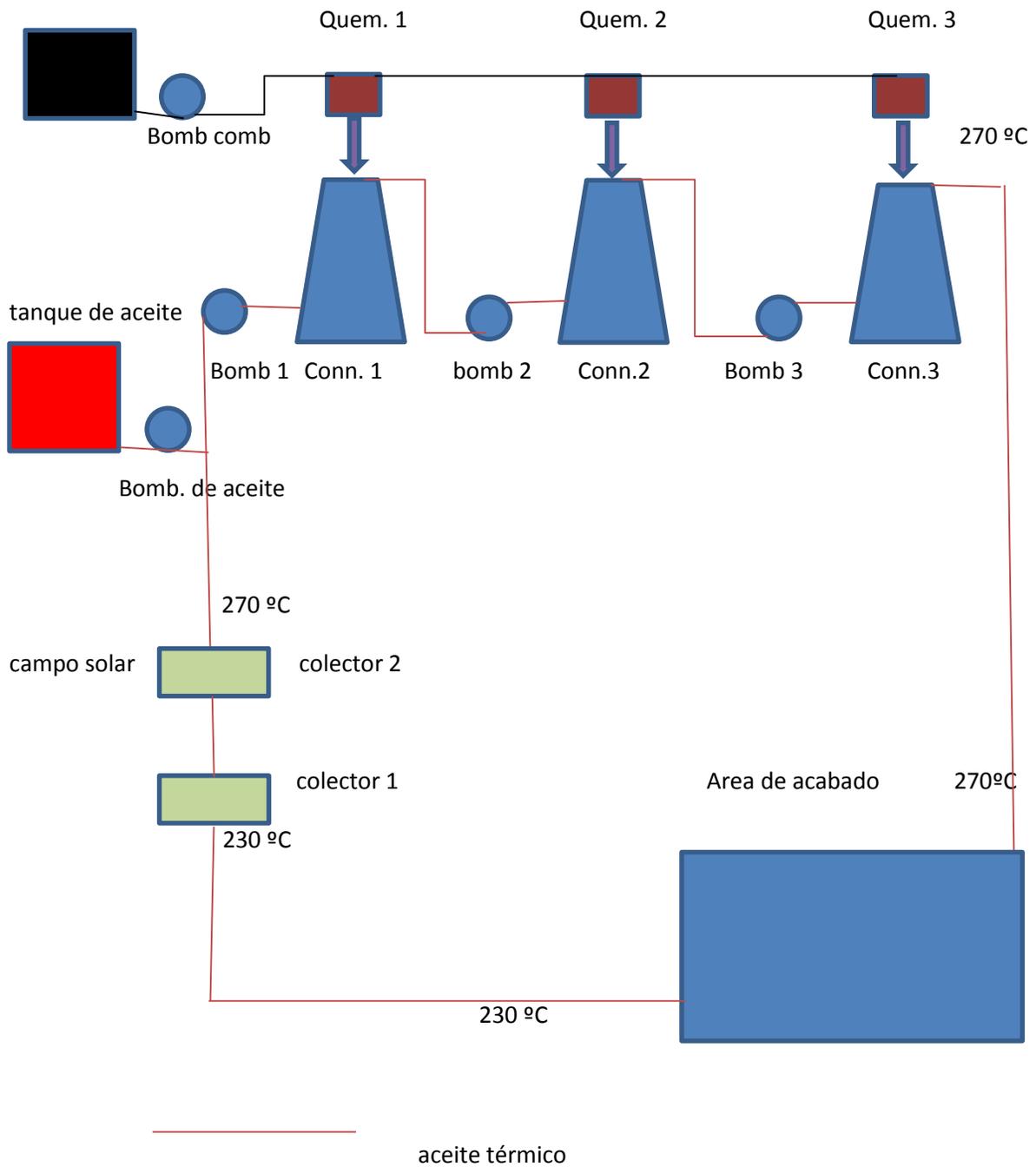
Conclusiones parciales

Mediante el software Excel se calculó las diferentes ecuaciones propuestas para cumplir con los objetivos propuestos.

Se pudo dimensionar el campo solar teniendo en cuenta el resultado de los cálculos en los que tenemos 1 lazo y 2 colectores para cumplir el objetivo de apoyar en el proceso de calentamiento del aceite térmico y así reducir el consumo de combustible y el envío de gases tóxicos al medio ambiente.

La fábrica se ahorra 177120 dólares al año con la implementación del sistema propuesto.

Tanque fuel-oil



Capítulo 3 Análisis económico.

3.1 Factibilidad económica del Proyecto

Para el cálculo de la rentabilidad económica se optimizó la dimensión del campo solar que fuera más rentable para este trabajo, donde se tuvo en cuenta el número de lazos necesarios del campo y la tasa interna de retorno.

Tabla 5 Valores necesarios para el cálculo de la factibilidad económica

Precio del combustible	0,87	\$/kg
Impuestos	30	%
Tasa de descuento	10	%
Vida útil	25	años

También se tuvieron en cuenta los costos de inversión del campo solar

Tabla 6 costos de inversión del campo solar.

Captación y concentración de energía solar		Campo solar(CCP)		
espejos	35	Eur/m ² apertura	1.635 m ²	57225 euros
estructuras metálicas	72	Eur/m ² apertura	1.635 m ²	117720 euros
sistemas de posicionamiento	6500	Eur/ud.	40 unidades	264000 euros
movimiento de tierras	21	Eur/m ² apertura	- m ²	0 euros
cimentación	37	Eur/m ² apertura	300 m ²	11100 euros
montaje	43	Eur/m ² apertura	300 m ²	12900 euros
nave de montaje	5,45	Eur/m ² apertura	- m ²	0 euros
costo total				462.945,00 euros
Sistema de conversión solar térmico				
aceite térmico	2,83	Eur/kg	1.050 Kg	2971,5 euros
tubos absorbedores	892	Eur/tubo	2 tubos	1.784 euros
juntas rotativas	190	Eur/ud.	4 unidades	760 euros
tuberías valvulas y accesorios	13400	Eur/lazo	1 lazos	13400 euros
sist.Trasiego aceites	87000	Eur/lazo	1 lazos	87000 euros
sist.Purificación de aceite	380000	Eur/ud.	1 unidades	380000 euros
Protecc.Contra incendios	11400	Eur/lazo	1 lazos	11400 euros
sist.Inertización	5900	Eur/lazo	1 lazos	5900 euros
Intercambiador aceite-vapor	240	Eur/KW	- kWe	0 euros
calderas GN	53	Eur/KWt	-	0 euros
costo total				503215,5 euros
TOTAL DEL COSTO DE INVERSIÓN				966.160,50 euros
				1.053.114,95 dolares

3.2 Tasa interna de retorno (TIR)

Se define como la tasa de descuento que iguala el VAN a cero.

Si $TIR > \text{tasa de descuento } (r)$: El proyecto es aceptable.

Si $TIR = r$: El proyecto es postergado.

Si $TIR < \text{tasa de descuento } (r)$: El proyecto no es aceptable.

Con 1 lazo en el campo solar se obtuvo el mayor valor de la TIR que fue de:

$TIR = 17\%$

La TIR calculada fue mayor que la tasa de descuento en unos 7 puntos porcentuales, por tanto, el proyecto es aceptable.

3.3 Valor actual neto (VAN)

Consiste en actualizar a valor presente los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontados a un cierto tipo de interés ("la tasa de descuento"), y compararlos con el importe inicial de la inversión. Como tasa de descuento se utiliza normalmente el costo de oportunidad del capital de la empresa que hace la inversión. La fórmula utilizada fue la descrita por el programa Excel

Si $VAN > 0$: El proyecto es rentable.

Si $VAN = 0$: el proyecto es postergado.

Si $VAN < 0$: el proyecto no es rentable.

El valor actual neto es positivo con un valor que asciende a \$3.415.534,00 cuc.

3.4 Período de recuperación (PR)

Se define como el período que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja descontados generados por el proyecto. La inversión se recupera en el año en el cual los flujos de caja descontados y acumulados superan a la inversión inicial.

El tiempo que se recupera esta inversión es de: 4 años

figura 4 período de recuperación de la inversión.



Teniendo en cuenta estos tres valores calculados el proyecto es económicamente rentable.

3.5 Análisis de emisiones

En un día de trabajo se ahorran 707.94 Kg de combustible

2.6 Kg CO₂/Kg combustible. 1840.64 Kg CO₂ al día

La fábrica trabaja 24 días al mes y los 12 meses del año

$1840.64 \times 24 \times 12 = 530104.32$ Kg CO₂/año

Se dejan de emitir 530104.36 Kg de CO₂ al año que es una cifra bastante considerable de apoyo al medio ambiente y la salud humana.

Conclusiones parciales

El proyecto es económicamente rentable ya que la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de descuento.

El valor actual neto es mayor que cero.

El periodo de recuperación de la inversión es de 4 años.

El proyecto tiene un impacto positivo hacia el medio ambiente.

Conclusiones

1. El potencial solar en la zona de la textilera Santa Clara es idóneo para instalar los colectores cilíndricos parabólicos porque la radiación solar directa se mantiene con valores por encima de 4,7 kWh/m²/día y la duración diurna del día supera las 10 horas.
2. El rendimiento global del colector cilindro-parabólico (CCP) prototipo EUROTrough-150 tiene un valor aproximado del 65 %, debido a las pérdidas geométricas, ópticas, térmicas y por las condiciones meteorológicas del lugar.
3. Se pudo dimensionar el campo solar en el que tenemos 1 lazo y 2 colectores para cumplir el objetivo de apoyar en el proceso de calentamiento del aceite térmico, lo que permite ahorrar 200 t de fueloil al año.
4. El proyecto propuesto es económicamente rentable con un VAN de 3 millones de cuc, una TIR de 17 % y esta inversión se recupera en un período de 4 años.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio más detallado de este tipo de sistema con almacenamiento para aumentar las horas de trabajo de este y así reducir el consumo de combustible y el envío de gases nocivos a la atmósfera.

Bibliografía

- 1 . A, M. *La energía del socialismo. Conversación con Luis Bérriz, presidente de CUBASOLAR Energía y tú*. Revista Científico Popular Trimestral de CUBASOLAR No 66, Consultado el: (<http://www.cubasolar.cu>).
- 2 . Cora Placco, L. S., Carlos Cadena. "COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE". 2006, [Consultado el:
- 3 . Corrales, A. A. "VAPOR SOLAR INDUSTRIAL: UN NICHOS DE MERCADO PARA UNA FUTURA INDUSTRIA SOLAR PERUANA". 2011, nº DOI
- 4 . Turrini, E. *El camino del Sol*. Editado por: Cubasolar. CIUDAD DE LA HABANA, CUBA.: 2006, ISBN: 959-7113-17-1.
- 5 . Canada, J. I. a. J. M. R. P. "Mantenimiento en instalaciones de energía solar". 2003, nº DOI
- 6 . Acosta, A. R. *Diseño y evaluación de un campo termosolar para la inyección de energía renovable en el ciclo combinado de ENERGAS Varadero*. Departamento de Energía. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara. 2015. Disponible en:
- 7 . Velasco, C. P. *DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO*

PARA APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY

CARMEN. Dpto. de Física Aplicada a los Recursos Naturales. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS, PARAGUAY. 2012. Disponible en:

8 . Pueyo, M. B. E. S. G. *Sistema de energía solar térmica para calentamiento de agua y climatización (producción*

de frío y calor), con apoyo de bombas de calor aire-agua, en las bodegas "Fuente del

Toro" de Haro, La Rioja. EOI – MERME. 2010. Disponible en: