

Estudio Tecnológico, Viabilidad Energética y Económico para la Generación Eléctrica Sostenible a través de la Energía Solar, con Aporte al Medio Ambiente

W. Leones

Celec, Electroguayas Central Térmica Trinitaria

Resumen-- La presente propuesta del tema tiene como propósito fundamental el estudio de viabilidad energética, económica para su proceso operacional de la generación de energía eléctrica sostenible a través de la energía solar, con el fin de disminuir el costo de energía química y proteger el medio ambiente.

Podemos aplicar un Benchmarking a futuros proyectos de centrales termoeléctricas utilizando nueva tecnología y poder diferenciar los Kilowatios sucios versus los kilowatios limpios a largo plazo.

Para el desarrollo de este análisis, realizaremos una comparación de datos y tecnologías termoeléctricas solares que existen. Tenemos lo siguiente:

- Receptor central del sol.
- Cilindros parabólicos.
- Discos parabólicos.

Cada uno tienen sus características técnicas en cuanto su potencia instalada, temperatura operacional, factor de capacidad anual, eficiencia pico, eficiencia neta anual, estado comercial, riesgo tecnológico, almacenamiento, diseño híbrido, costo del Kwh., costo de instalación.

Se empleará métodos y procedimientos analíticos para proponer la tecnología más adecuada, un modelo sostenible y, un mapa solar tentativo con los puntos más estratégicos considerando los valores más altos de la irradiación solar.

Para tal efecto se ha tomado como fuente de investigación datos especializados de la revista electrónica EnergíaRenovable.com, Centro de estudio de la energía solar (Censolar) y, base de datos del software RETSCREEN de la Nasa (EEUU) y Censol 5.0

Palabra Clave-- Benchmarking de la generación eléctrica solar, tecnología disponible y madura, Kw sucios vs Kw limpios, irradiación solar en el horizonte.

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente inagotable en el mundo para el hombre, este recurso provee una energía limpia abundante y disponible en la mayor parte de la superficie terrestre y por ende un aporte a la disminución de las emisiones al medio ambiente por la quema de fósiles que está provocando un calentamiento global lento al planeta tierra por las emisiones de gases efecto invernadero - GEI, ósea es un desorden del balance energético de la radiación solar, ver Fig. 1

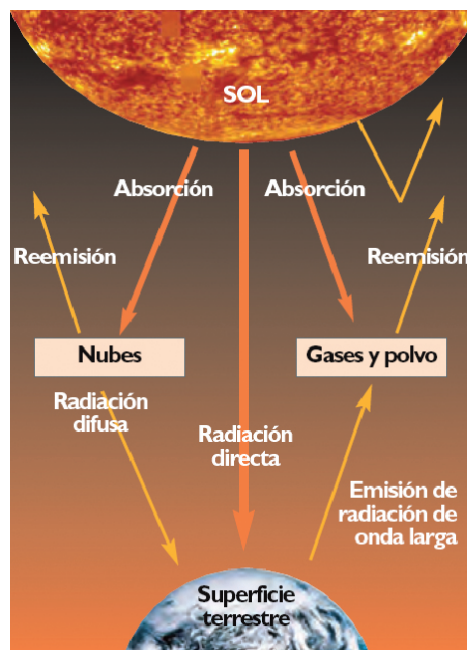


Figura 1: Balance energético

En promedio la cantidad de energía que llega a nuestra atmósfera exterior equivale a una potencia de 1,4 Kw. por cada metro cuadrado, cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo se reduce a 1kw por metro cuadrado.

Radiación directa difusa

La radiación que proviene directamente del sol y que llega hacia nosotros sin sufrir desviaciones se

denomina directa y las otras radiaciones que sufren desviaciones (nubes, viento, gases, polvo árboles) se llama difusa. La suma de estas dos se llama radiación global y es importante para una producción de energía en nuestro caso energía eléctrica en otros temas calentamiento de agua para procesos industriales y residenciales.

Aprovechamiento energético

Cuando los rayos de Sol llegan perpendicularmente a una superficie es cuando puede aprovecharse la mayor cantidad de radiación, por eso, la cantidad de radiación que recibe nuestro planeta depende de la inclinación de los rayos solares.

La radiación que llega a la Tierra es variable y dichos cambios deben conocerse para saber la cantidad de radiación que puede aprovecharse en cada lugar del planeta. En otras palabras, la radiación solar no es constante sino que cambia según las estaciones del año, las condiciones atmosféricas y la latitud de cada región.

Vamos a utilizar un simulador de seguimiento solar para identificar la posición del sol en el mes de diciembre y día 15 a la 12 hora solar, en este programa Censol 4.0 o 5.0 se puede saber la posición del sol del cualquier parte del mundo, de cada día y cada mes.

Geometría solar.

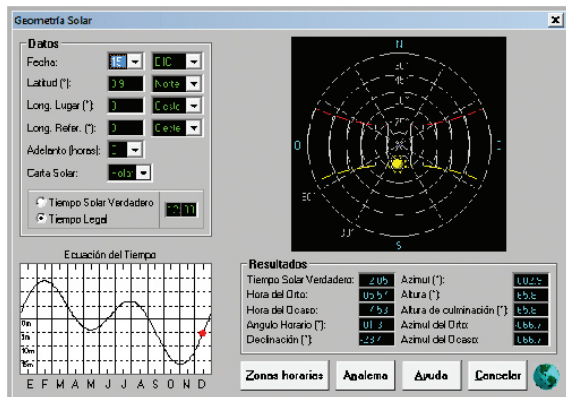


Figura 2: Obtenido en el programa Censol 4.0 de Censolar.

La generación de energía eléctrica termosolar reúne un conjunto de tecnologías diferentes que caracterizan para realizar concentraciones solar con el fin de alcanzar temperaturas que permitan la producción de energía eléctrica, estas tecnologías estuvieron en proceso de proyectos de investigación, desarrollo y en la actualidad en inversión comercial (I+D+i) los países como España, EEUU, Rusia, Israel, Alemania están invirtiendo para la producción comercial con la seguridad que el riesgo técnico es muy bajo y comercialmente está disponible.

Realizando un Benchmarking en el Ecuador para la generación eléctrica termosolar con los países que tiene esta tecnología, existe la disponibilidad en 3 lugares estratégico que será demostrado en este documento de los 73 lugares que existen estudios de irradiación solar, de lo cual se ha escogido 27 sitios idóneos para la producción de energía eléctrica solar, de lo cual 3 lugares para las tecnología termosolar y el resto para la producción fotovoltaica según base de datos del centro de estudio de la energía solar (Censolar-España) y NASA-EEUU.

En los otros lugares que no aprovecha las termosolares se aplicaría otro tipo de generación eléctrica solar basada en un efecto fotovoltaico, cuyos fundamentos teóricos serán de la física cuántica, se trata de un fenómeno por el cual los fotones inciden sobre un determinado material (silicio) y en condiciones apropiada pueden generar un diferencial de potencial, la cual puede ser recogida y aprovechada.

Para la sostenibilidad de ambas tipos de generación eléctrica existe lo siguiente: en la generación termosolar han desarrollado acumuladores de energía térmica de hasta 7.5 horas que cubriría la mayor parte de la noche, para completar las horas en ausencia del sol con la ayuda de la quema de combustible fósil siendo esta la energía de apoyo o auxiliar que estadísticamente es hasta el 12% y 15% para generación eléctrica solar basándose en un proceso termodinámicos que consisten en la utilización de generadores eléctricos de tecnología convencionales. En la fotovoltaica existirían los acumuladores electricos para la sostenibilidad en ausencia del sol.

El Benchmarking es una herramienta de producción y productividad que aplicaremos en el Ecuador, en zonas parecidas con irradiación solar aproximadamente iguales, en estos países existen proyectos Termosolares de 50 MW, comercialmente y técnicamente factibles.

2. ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS

En la generación eléctrica termosolar existen diferentes configuraciones de lo cual se clasifican en función del rango de temperatura baja, media y alta temperaturas.

Baja temperaturas

Destinada al calentamiento por debajo de su punto de ebullición, es decir menor a cien grados centígrados ($T < 100^{\circ}\text{C}$).

Media temperatura

Son aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a los cien grados centígrados en este tipo de sistema se la utiliza para la producción de vapor u otro tipo de fluido, pudiendo alcanzar temperaturas de trescientos grados centígrados ($100^{\circ}\text{C} < T < 300^{\circ}\text{C}$).

Alta temperatura

Son aplicadas en aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a trescientos grados centígrados, específicamente para producción de energía eléctrica ($T > 300^{\circ}\text{C}$), de lo cual existe 3 tipos de tecnologías.

Receptor central del sol, Cilindros parabólicos, Discos parabólicos, para estos tipos de tecnología se dispone las configuraciones térmicas con su tipo de fluido.

Cilindro parabólico

Los captadores de cilindro parabólico, se las abrevia CCP, se debe a este nombre por su componentes principales, que es una superficie reflectante cilindro parabólica que refleja la radiación solar directa concentrándose sobre un tubo absorbente colocado en la línea focal de la parábola.

Dicha radiación concentrada sobre el tubo adsorbente hace que el fluido caloportador circule por su interior, transformando de esta forma la radiación solar en energía térmica de calor sensible o calor latente del fluido.

Las características de estas tecnologías termosolares es que solo aprovechan la radiación solar directa, lo que es una condición que el colector tenga un sistema de seguidor solar.

Dependiendo de la temperatura de trabajo es el fluido caloportador, ósea si queremos una temperatura media utilizamos otro tipo de fluido, que sería agua desmineralizada o Etilen Glicol que en esa configuración de diseño tendrá una temperatura moderada ($< 200^{\circ}\text{C}$), si queremos un fluido caloportador de mayor temperatura tenemos que colocarlo como fluido de trabajo aceites sintético para aquellas aplicaciones que el fluido caloportador transfiera mas energía calorífica o altas temperaturas ($< 200^{\circ}\text{C} < T < 450^{\circ}\text{C}$), cuya potencia va desde 30 hasta 50 MW probados.

El campo Solar Electricity Generating Systems - SEGS está compuesto de filas paralelas de colectores cilíndricos parabólicos conectadas en serie que convierte la radiación solar directa en energía térmica, calentando el aceite que circula por los tubos absorbentes de los colectores solares, este fluido caloportador que es el aceite posteriormente es enviado a un intercambiador de calor aceite /agua donde se produce el vapor sobrecalentado requerido para rodar un turbo generador, generando la energía eléctrica mediante un ciclo termodinámico.

Esta es la tecnología Heat Transfer Fluid y conocido internacionalmente como HTF, porque se basa en un fluido caloportador (aceite sintético) para transportar la energía térmica desde el campo solar al bloque de potencia donde se genera la electricidad.

Esta tecnología es la que presenta actualmente un menor costo para generar electricidad o producir vapor sobrecalentado a alta presión ($375^{\circ}\text{C} / 100\text{bar}$) esta tecnología de las plantas termosolares del tipo SEGS esta totalmente disponible en la actualidad.

De este análisis de tecnologías realizado en los temas anteriores, los colectores de cilindro parabólico - CCP son las que cuenta con mayor investigación, desarrollo e inversión (I+D+i).



Figura 3: Central Eléctrica Híbrido Solar-Gas

En la Fig. 3 se observa la planta, que va a ser construida en la ciudad de Kuraymat, 95 kilómetros al sur de la ciudad de El Cairo, es una central eléctrica híbrida solar-gas que está previsto entre en funcionamiento en 2010 y que tendrá una potencia de 150 megavatios. Solar Millennium, compañía alemana especializada en esta tecnología, es una de las encargadas del diseño y construcción de la parte solar de la instalación.

Las plantas SEGS carecen de almacenamiento térmico, pero cuentan con una caldera de gas auxiliar para los momentos donde existe nubosidad y cuando la energía del sol no abastece que es el la noche.

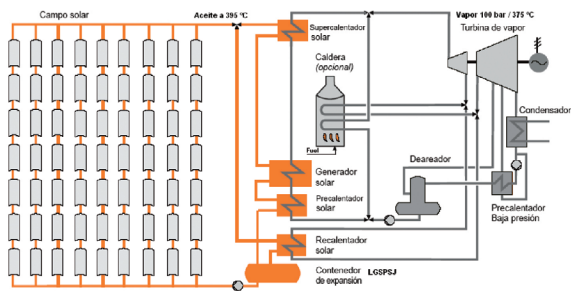


Figura 4: Sistema de generación eléctrica solar -SEGS, a través de un campo de captadores cilindro parabólico -CCP

En la actualidad los costo para un -SEGS que se implementen a corto plazo oscila entre 0.15 y 0.20 Euro/ Kwh., esta variación va a depender del tamaño de la planta y de la insolación disponible.

Para las centrales térmicas solares con CCP los resultan más interesante generar electricidad mediante un proceso termodinámico, con la integración de un ciclo combinado, minimizando los costo de la energía eléctrica producido por los campos CCP, de la conoce bajo la siglas ISCCS Integrated Solar Combined System, aunque la fracción solar se reduzca en esta caso del orden del 15%.

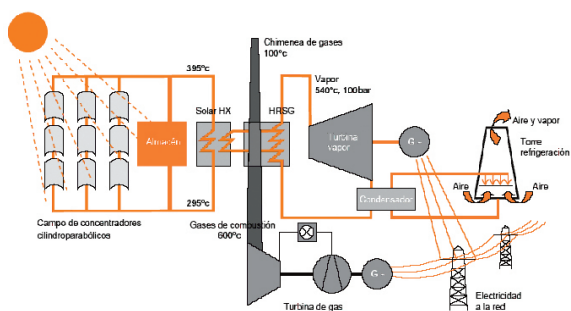


Figura 5: Sistema integrado de ciclo combinado solar -ISCCS, a través de un campo de captadores cilindro parabólico -CCP

Los costo para un ISCCS oscila entre 0.10 y 0.15 Euro/ Kwh., esta variación va a depender de la fracción solar.

Esta tecnología tiene un bajo riesgo tecnológico en diferencia a plantas de generación eléctrica convencionales, actualmente el banco mundial y su global Environmental Facility, están promoviendo estudios de viabilidad en diversos países (Egipto, india, Maruecos y México) para compensar dicha diferencia. Se espera que las nuevas plantas caigan rápidamente como consecuencia de su producción en masa, incluyendo el avance tecnológico se puede disminuir los costos.

Para la sostenibilidad de la generación eléctrica solar con tendencia a bajar el costo existe un proyecto en funcionamiento comercial. El principio fundamental del proyecto Manchasol-2 es el de convertir la energía primaria solar en energía eléctrica mediante un campo solar, con sistema de almacenamiento térmico de 7,5 horas y un ciclo de vapor de 49,9 MW. El esquema principal simplificado de funcionamiento de la planta está ilustrado en el gráfico 6. Gracias a su sistema de almacenamiento se puede asegurar siempre la capacidad de potencia y atender la demanda eléctrica de la red durante el día y la noche. En el caso de no tener almacenamiento térmico, los recursos solares permitirían sólo 2000 horas a plena carga de operación de la planta solar.

Un sistema de almacenamiento térmico de 7,5 horas de capacidad aumentaría a 3.525 el número anual a plena carga. Este incremento de horas de funcionamiento es la clave para la reducción de costes de producción, y permite un mejor rendimiento de la central de generación y una mayor productividad del personal de operación y mantenimiento.

Para maximizar la producción estos colectores cilindro parabólicos tienen un sensor óptico de alta precisión, siguen al sol de este a oeste, recogiendo así el máximo de radiación solar. En su línea focal poseen tubos absorbentes, por los cuales circula un fluido de transferencia de calor fluido térmico denominado -HTF *Heat Transfer Fluid*. Durante las horas de sol, los colectores cilindro parabólicos del campo solar concentran la radiación sobre los tubos absorbentes y calientan así este fluido térmico hasta una temperatura de 393 °C. La energía contenida en este fluido térmico puede ser bombeada directamente al generador de vapor o puede ser bombeada a un sistema de almacenamiento térmico donde se guardará para su uso posterior. La producción del generador de vapor va a una temperatura de 377 °C, este fluido térmico pasaría por tres intercambiadores de calor conectados en serie (precalentador, evaporador y sobrecalentador). El fluido HTF sale enfriado del precalentador y es enviado al campo solar para ser calentado de nuevo. De este modo, el fluido térmico actúa como el medio de transferencia de calor entre el campo solar y la central de generación del ciclo de vapor, calentándose en los colectores solares y enfriándose al producir el vapor que demanda el turbogenerador. El vapor así producido se envía a la central de generación, donde se expande en una turbina de vapor que acciona el correspondiente generador eléctrico.

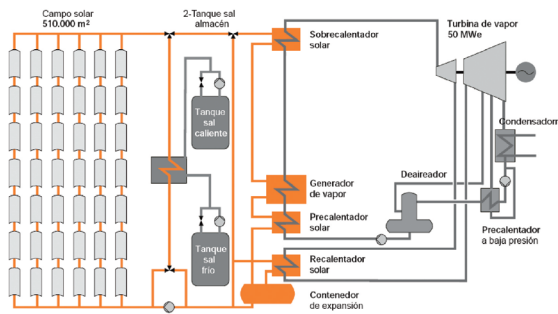


Figura 6: Proyecto Manchasol 2

En la Fig. 6 se observa el proyecto se llama Manchasol 2 con 49.9 MW, con almacenamiento térmico de 7.5 horas en el ciclo de vapor con 3525 horas de producción a plena carga.

Sistema de torre o receptor central

Este sistema está compuesto de un campo de helióstatos que siguen la posición del sol en toda su trayectoria (elevación y acimut), siempre orientado al foco que esta colocado en la parte superior de una torre, cuya potencia varía desde 10 hasta 200 MW, solo están probados hasta 11 MW.

En este sistema de receptor central o torre el intercambio radiactivo/convectivo se produce de una forma selecta y centralizada en un intercambiador de calor ubicado encima de la torre, este sistema tiene la capacidad de un flujo de radiación incidente de 300 hasta 1000 Kw/m², de lo cual permite trabajar a altas temperaturas e integrarse en ciclo mas eficiente de forma escalonada, admiten fácilmente el funcionamiento híbrido de una gran variedad de opciones y aportar con el potencial de generación eléctrica con altos factores de capacidad mediante la utilización de almacenamiento térmicos, pudiendo plantear en la actualidad sistemas que supera los 4500 horas equivalentes al año.

Técnicamente es posible alcanzar rendimientos del 23 %, el costo de inversión actual en el entorno de los 2.1 Euro/W_p, esta tecnología únicamente utiliza sales fundida y almacenamiento térmico superior a 12 horas, esta tecnología se ha probado su bajo costo y fiabilidad de las sales como fluido térmico.

Los sistemas híbridos ofrecen actualmente costo estimados de producción de 0,1-0,15 Euros/kwh.

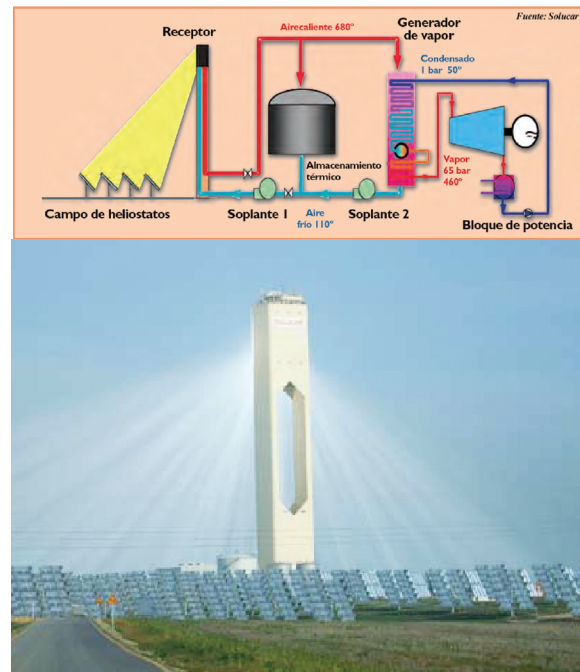


Figura 7: La planta PS10 tipo torre

En la Fig. 7 se observa La planta PS10 tipo torre, se construyo por Abengoa Solar después de varios años de I+D, empezó su funcionamiento comercial el 30 de marzo del 2007, localizada en España Sevilla.

Sistema de Disco Stirling

Esta tecnología se ha desarrollado en EEUU y España con el fin de construir unidades aislada y entre a competir con las fotovoltaicas, generadores de gas-oil (diesel). Esta tecnología consiste en una superficie cóncava del concentrador, está cubierto por espejo de vidrio.

Un sistema de concentrador disco Stirling está compuesto por un concentrador solar de alta reflectividad, por un receptor solar de cavidad, y por un motor Stirling o una microturbina que se acopla a un alternador. El funcionamiento consiste en el calentamiento de un fluido localizado en el receptor hasta una temperatura entorno a los 750° C. Esta energía es utilizada para la generación de energía por el motor o la microturbina. Para óptimo funcionamiento, el sistema debe estar provisto de los mecanismos necesarios para poder realizar un seguimiento de la posición del sol en dos ejes.

Los sistema disco Stirling han de mostrado la mayor eficiencia de conversión de radiación solar en energía eléctrica con valores probados de 30 % hasta un 25%, este tipo de tecnología esta diseñada para dar de 7 a 25 Kw

Se usa dos métodos para transferir la radiación solar a gas de trabajo:

1. Se ilumina directamente un panel de tubos por el interior de los cuales circula el gas que suele ser helio, hidrogeno o aire.

2. Se utiliza el método de tubos de calor o heat pipe, el objetivo es vaporizar el metal líquido (normalmente sodio) que luego condensa en la superficie de los tubos por los que circula el gas de trabajo y regresa nuevamente al absorbedor.

Las condiciones de trabajo de un generador eléctrico de 25 KWe para esta tecnología es de una presión de 20 MPa, 720° C, su gas de fluido es el hidrogeno. La potencia del motor se regula mediante la presión del gas, con una conversión neta del 30 %, incluido los sistemas auxiliares.

Está compuesto de 4 cilindro con desplazamiento de 95 cm³ por cilindro que están dispuesto en paralelo y montado en una caja cuadrada, conectándose al regenerador, el enfriador y usan pistones de doble acción.

Las dimensiones de cada unidad es de 10,5 m de diámetro una superficie captadora de 91,5 m² con un motor de 24 Kwe.

Cuadro comparativo de las tres tecnologías termosolares

Tabla 1: Comparación de las características de las Centrales Eléctrica Termosolar -CET.

CET	Cilindro Parabolico	Receptor Central	Disco Parabolico
Potencia	30-320 MW*	10-200 MW*	5-25 MW*
Temperatura de operacion	390 C	565 C	750 C
Factor de Capacidad			
Anual	23-25 %	20-77 %	25%
Eficiencia Pico	20 % (d)	23 % (p)	29.4 % (d)
Eficiencia Neta			
Anual	11 (d ^h)-16%	7 (d ^h)-20%	12-25 %* (p)
Estado Comercial	Disponible Comercial	Desmotración	Prototipo-Demostracion
Riesgo Tecnologico	Bajo	Medio	Alto
Almacenamiento Disponible	Actualmente hasta 7.5 horas	Si	Baterias
Diseno Híbridos	Si	Si	Si
Costo W Instalado			
€/m ²	525-229*	525-229*	525-229*
€/W	3,33-2,25*	3,33-2,04*	10,5-1,08*
€/Wp	3,33-1,08*	2,0,75*	10,5-0,92*
*El rango indicado se refiere al periodo 1997-2030 (p)=predicida; (d)=demostrada; (d ^h)=ha sido demostrada, el resto son valores predichos			

Comparación de las características de las Centrales Eléctrica Termosolar (CET), obtenido en la guía completa de la energía solar térmica y termosolar, ver Tabla 1.

Tabla 2: Ventajas y desventajas de las tecnologías CET

Concentrador (CCP)		
Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Centrales conectadas a la red, calor de proceso (unidad mayor construida hasta la fecha: 80 MWe)	Comercialmente disponible—más de 10.000 millones de kWh de experiencia operacional; operan a una temperatura potencial de hasta 500°C (400°C comercialmente probados) Rendimiento anual comercialmente probado del 14% de la producción solar eléctrica a la red Costes de inversión y operación comercialmente probados Mejor empleo del terreno Demanda de material más baja Concepto híbrido probado Capacidad de almacenamiento	El uso de aceites como medios de transferencia de calor restringe las temperaturas de operación a 400°C, lo que origina calidades de vapor moderadas Mucho terreno y agua LGSPSJ

Central de torre		
Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Centrales conectadas a la red, calor de proceso a alta temperatura (unidad mayor construida hasta la fecha: 10 MWe)	• Buenas perspectivas a medio plazo de altas eficiencias de conversión con colección solar operando a temperaturas de hasta 1000°C potenciales (565°C probados a 10MW) Almacenamiento a altas T (°C) Operación híbrida posible	Valores de rendimiento anual proyectados, costes de inversión y operación todavía no vistos en operación comercial LGSPSJ

Disco Parabólico		
Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Aplicaciones independientes o pequeños sist. eléctricos aislados (unidad mayor construida hasta la fecha: 25 kWe)	Eficiencia de conversión muy alta — máxima de solar a eléctrica de aproximadamente un 30% Operación híbrida posible Experiencia operacional de los primeros prototipos	Fiabilidad tiene que mejorar Todavía por conseguir los costes proyectados de producción en masa LGSPSJ

3. ESTUDIO DE VIABILIDAD EN EL ECUADOR APLICANDO BENCHMARKING

En el Ecuador ya existen proyectos de generación eléctrica solar aislada que son las fotovoltaicas, pero es necesario impulsar la tecnología termosolar en la cual se necesita un modelo energético sostenible para este tipo de tecnología, Realizando estudio de eficiencia energética y desarrollando modelos meteorológicos

- Seguimiento solar.
- Geometría solar.
- Perdidas de sombra.
- Perdidas por posición.
- Soleamiento.
- Iluminación de la tierra.
- Base de datos de la irradiación solar del Ecuador.

- Estudio Económico

El CONELEC utilizó un modelo climatológico de radiación solar -CSR, este modelo fue utilizado por la Corporación para la Investigación Energética -CIE y convertido a una plataforma de trabajo que se escogió para el Sistema de Información de Geográfica -SI

Es importante el desarrollo de la tecnología en la información -TI, software que ayudaría a simplificar cálculos repetitivos como el programa de CENSOLAR desarrollado y actualizado en el 2007 cuyo nombre es CENSOL 5.0.

En la Fig. 8 se aplicado a baja temperatura incluidas las fotovoltaicas, este programa tiene aplicación en las termosolares cuando se realice un estudio energético en la localidad donde se aplique un estudio de viabilidad energética del Ecuador.

El programa RETSCREEN se la utiliza para estudios de energía renovable pero su utilidad entra en la base de datos de irradiación solar.



Figura 8: CENSOL 5.0 de CENSOLAR

Se ha procesado datos de irradiación solar con Lugares estratégicos para la producción de energía eléctrica solar.

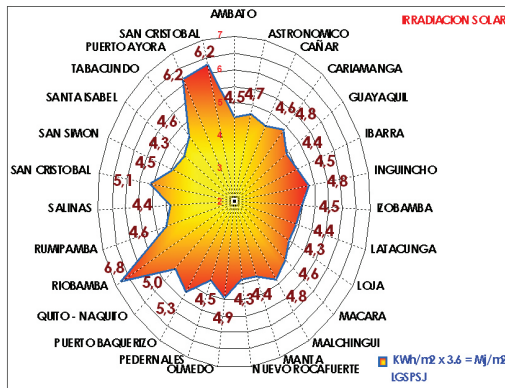


Figura 9: Censolar-España

Estos datos procesados se presentan tres lugares estratégico para un estudio de viabilidad para un proyectos de generación eléctrica termosolares para su investigación desarrollo e inversión (I+D+i) son: Riobamba, San Cristóbal y Puerto ayora, priorizando la ciudad de Riobamba por tener el más alto irradiación solar.

Observando la Fig. 9 se escogerá para caso de estudio de viabilidad un lugar que tenga la radiación solar alta, en este caso Riobamba con un promedio de 6.8 KWH/m² (24.4 MJ/m²), ver Tabla 3.

Este análisis se basa el un Benchmarking y se tendrá como comparación un proyecto en Ciudad Real (España) con una potencia nominal instalado de 50 MWe, ver Tabla 4.

Tabla 3: Valores medios de irradiación solar sobre el suelo horizontal, datos obtenidos de Software de Censolar

Riobamba	Lat	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
MJ/m ²	-1.6	24.5	22.7	27.4	27.4	26.7	22.4	25.1
KWH/m ²		6.8	6.31	7.611	7.61	7.42	6.22	6.97
		Agt.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Pro	
MJ/m ²		25.7	23.6	25.9	16.5	25.2	24.43	
KWH/m ²		7.14	6.56	7.194	4.58	7	6.78	

Ciudad Real	Lat	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
MJ/m ²	39	7	10.1	15	18.7	21.4	23.7	25.3
KWH/m ²		1.94	2.81	4.17	5.19	5.94	6.58	7.03
		Agt.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Pro	
MJ/m ²		23.2	18.8	12.5	8.7	6.5	15.91	
KWH/m ²		6.44	5.22	3.47	2.42	1.81	4.42	

Tabla 4: Valores medios de irradiación solar sobre el suelo horizontal, datos obtenidos de Software de Censolar



Generación eléctrica sostenible

La energía térmica absorbida por el campo solar y por medio de un proceso termodinámico suministra vapor al turbogenerador (igual que una central térmica convencional que quema fuel), cuenta con un sistema de almacenamiento que asegura la sostenibilidad de la generación de energía eléctrica cuando no existe radiación solar (en las noches).

Si no se cuenta con un almacenamiento solar solo permitiría 2000 horas de operación a plena carga solar. Sin embargo con un sistema de almacenamiento térmico de 7,5 horas de capacidad nominal a plena carga aumentaría la producción de energía eléctrica a 3525 horas, sería la clave para la reducción de costo y mejoraría la producción y productividad. A esta tecnología se le llama Cilindro Parabólica tipo Senertrough.

Tomaremos un ejemplo del procesos más adecuada tanto económicamente y técnicamente que es la tecnología cilindro Parabólica tipo Senertrough.

El excedente de la energía solar (horas pico de sol) se transfiere desde el sistema de fluidos térmico -HTF hacia la sal fundida del sistema de almacenamiento térmica para su uso posterior cuando la insolación es insuficiente. El HTF circula en un sistema de tuberías, bombas, tanques de expansión y válvulas de control este sistema de tubos de campo solar están aisladas para minimizar las pérdidas térmicas.

4. ESTUDIO ENERGÉTICO DE RIOBAMBA

En este estudio de energía la más alta radiación solar es Riobamba obteniendo los siguientes parámetros, ver anexo 1.

DEMANDA ANUAL	177068800 MJ/A
DEMANDA ANUAL	49185777,78 KWH/A
ENERGÍA APORTADA ANUAL POR M2 DE CAPTADOR	2160,33 MJ
NUMERO DE CAPTADORES	713 CAPTADORES
AHORRO ANUAL	4314196,714 EURO
DEFICIT ENERGÉTICO	21757718,28 MJ
COSTO DE LA ENERGÍA AUXILIAR	604381,1 EURO
AHORRO ENERGÉTICO	155311081,7 MJ/A
AHORRO ENERGÉTICO	43141967,14 KWH/A
PRODUCCIÓN ANUAL	2160,33 MJ/M2
ENERGÍA AUXILIAR QUE SE NECESITA EN	12%
EL AHORRO POR LA APORTACIÓN SOLAR SERA % DEL TOTAL	88%
SUPERFICIE CAPTADORA NECESARIA	81963,94 M2 LGSP5J

Tabla 5: Datos obtenido del estudio energético en Riobamba, hecho por Ing. Wilson Leones Vega

Con el anexo 1 se demuestra la viabilidad energética para los estudios de prefactibilidad, factibilidad y análisis de sensibilidad y riesgo de la ejecución de un proyecto en la ciudad de Riobamba. Los datos se comparan con el proyecto en ejecución en España (ciudad Real), usando la tecnología Cilindro Parabólico tipo Senertrough con un almacenamiento de 7.5 horas.

Tabla 6: Datos obtenido del Proyecto ubicado en España, ciudad real, de la revista electrónica de Energía renovable.

PROYECTO	Manchasol-2 (Ciudad Real)
Radiación Directa KWH/m2/a	2200
Nº colectores tipo Senertrough	624
Eficiencia térmica de los captadores cilindro parabólico anual	43 %
Eficiencia neta anual , conversión de radiación solar a energía eléctrica	16 %

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El gráfico a continuación, muestra que el costo actual por kWh de la tecnología solar siendo mayor los costos de los combustibles fósiles. A largo plazo los costo de las termosolares y fotovoltaica tienden a bajar que los combustible fósiles.

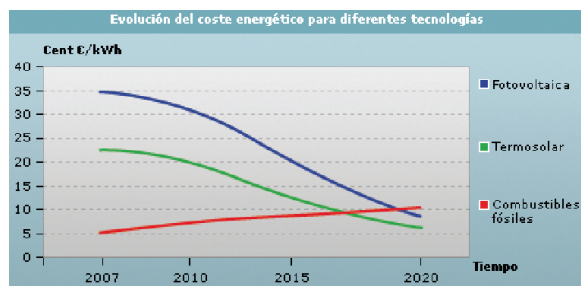


Figura 10: Este grafico se obtuvo de la revista electrónica de energía renovable

En lo que respecta a los costos de las tecnologías de Centrales Eléctrica Termosolar -CET considerando las clasificaciones se presenta el siguiente gráfico.

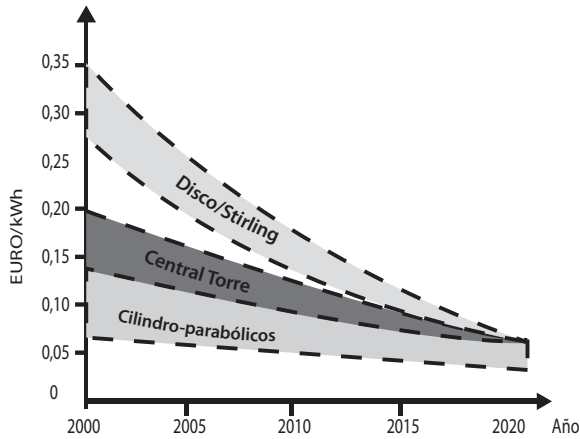


Figura 11: Este gráfico se obtuvo de la revista electrónica de energía renovable

Para estos proyectos de tecnologías CET se considera un periodo de retorno de la inversión aproximadamente hasta 15 años, considerando que la vida útil de estos proyectos son de 30 a 35 años y una buena tasa de rentabilidad interna aproximadamente mayor a 12 %.

6. APORTE AL MEDIO AMBIENTE

Estamos conscientes que la producción para esta tecnología existe un impacto al medio ambiente, pero sin embargo tomaremos en cuenta que aproximadamente de 30 a 35 años se producirán kilowatios limpios.

Todos sabemos que las lluvia acidas, destrucción de la capa de ozono, Efecto invernadero nos conlleva a un cambio climático y por ende a una gestión energética. La importancia de la gestión de la energía llevara al Ecuador a un modelo de investigación, desarrollo e inversión a largo plazo (I+D+i).

La Agencia Internacional de la Energía predice -IEA para el 2030 un aumento de CO2 hasta un 36 %, un aumento del consumo energético del 34 %, el 82 % del suministro de la energía primaria provendrá de los combustibles fósiles. La producción de kilowatios sucios se encarecerá, ver la Fig. 10.

Estas Tecnología CET puede demostrar su validez como herramienta para reducir las emisiones de CO2. El potencial estimado de reducción es de 2.000 t/año por MWe de potencia instalada o en otras palabras cada GWh producido con energía solar evita de 700 a 1.000 t de CO2, como regla general la producción de un kilovatio limpio evitara un kilogramo de CO2

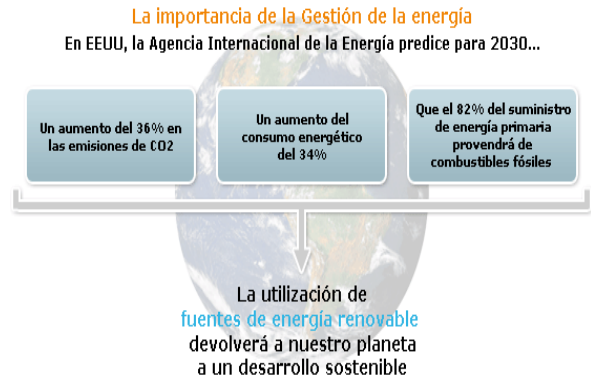


Figura 12: Se obtuvo en la revista electrónica de Energía Renovable, Referencia IEA.

No existen por tanto impactos sobre el medio físico, ni sobre la calidad del aire, ni sobre los suelos; tampoco se provocan ruidos ni se afecta a la hidrología existente.

En el análisis de las posibles afecciones sobre el medio biótico, hay que distinguir entre las tres tecnologías de concentración.

Disco-Parabólicos

Los generadores solares disco-parabólicos pueden usarse como unidades independientes y por tanto en este caso la ocupación de terreno no sería significativa y su repercusión muy escasa.

Cilindro-Parabólicos y tipo Torre

Se pueden llegar a ocupar superficies de territorio importantes por su tamaño de colectores de 100 a 120 m2 cada uno. En general estas plantas si son de gran tamaño se deben de construir donde exista alta insolación, poca fauna y flora, con frecuencia zonas desérticas ó semidesérticas en cuyo caso los efectos negativos se ven minorizados. La aplicación de estas tecnología CET puede tener incidencias sobre la fauna y flora. Pero sin embargo las instalaciones de generación eléctrica convencional tienen mucho más impacto ambiental.

7. CONCLUSIONES

Existen 3 lugares estratégicos en el Ecuador para estos proyectos de tecnología de Centrales Eléctricas Termosolares -CET. Se ha escogido algunas ciudades donde se continúen los proyectos de generación eléctrica solar ya sea conectada a la Red o aislada (Fotovoltaicas).

Tabla 7: Datos obtenidos de programa Censol 5.0 y RETSCREEN de la Nasa (EEUU)

N	CIUDADES	LAT	PROMEDIO ANUAL	
			KWH/M2	MJ/M2
			1	AMBATO
2	ASTRONOMICO	-0.2	4.68	16.84
3	CAÑAR	-2.6	4.58	16.50
4	CARIAMANGA	-4.3	4.79	17.25
5	GUAYAQUIL	-2.2	4.37	15.74
6	IBARRA	0.3	4.51	16.23
7	INGUINCHO	0.2	4.78	17.20
8	IZOBAMBA	-0.3	4.46	16.04
9	LATACUNGA	-0.9	4.37	15.73
10	LOJA	-4	4.31	15.53
11	MACARA	-4.3	4.60	16.55
12	MALCHINGUI	0	4.80	17.28
13	MANTA	-0.9	4.39	15.80
14	NUEVO ROCAFUERTE	-0.9	4.33	15.58
15	OLMEDO	0.1	4.94	17.78
16	PEDERNALES	0	4.53	16.29
17	PUERTO BAQUERIZO	-0.9	5.27	18.98
18	QUITO - NAQUITO	-0.1	4.99	17.95
19	RIOBAMBA	-1.6	6.78	24.43
20	RUMIPAMBA	-1	4.60	16.58
21	SALINAS	-2.1	4.36	15.68
22	SAN CRISTOBAL	-0.9	5.09	18.33
23	SAN SIMON	-1.6	4.46	16.06
24	SANTA ISABEL	-3.3	4.31	15.51
25	TABACUNDO	0	4.56	16.42
26	PUERTO AYORA - 90,3LOG	-0.8	6.16	22.16
27	SAN CRISTOBAL - 89,6.LOG	-0.9	6.22	22.40

El costo de inversión para las tecnologías solares es mayor que el de las energías convencionales, pero los costos de operación son más bajos. En este sentido la financiación de los proyectos a ejecutarse en el Ecuador, el tipo de interés y el gobierno de turno influyen enormemente en la promoción de los proyectos. En consecuencia, la industria está buscando competir en regiones donde exista una política que estimule su desarrollo o en nichos de mercado.

Al comparar los kilowatios sucios vs. Los kilowatios limpios, encontramos enormes ventajas económicas a largo plazo. El ahorro aproximado es de 4.3 millones de euro al año y una gran aporte a evitar aproximadamente 700-100 toneladas al año de CO2 por cada gigavatios horas limpios (generación eléctrica termosolar), como regla general la producción de un kilovatio limpio evitara un kilogramo de CO2.

8. RECOMENDACIONES

Para futuros proyectos de termosolares o fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica es tener personal altamente calificados en estos tipos de proyectos y fomentar al estudio verdadero de la irradiación solar sobre un metro cuadrados con equipos con tecnología de punta donde se pueda recoger y procesar la información de la investigación.

En esta investigación se debe de realizar un Benchmarking de costos en España que cuentan con instalaciones de tecnología de CET.

Tabla 8: Se obtuvo de la revista electrónica de energía renovable

CET	Situación Actual de las Tecnologías de Centrales Eléctricas Termosolares					
	Costo capital euro/kwh	O&M euro/Kwh	Costo global de producción euro/Kwh 2000			
Cilindro parabólico	2.81	0.0093	0.0633	0.1042	0.0518	0.0843
Tipo torre	2.81	0.0065	0.0482	0.0759	0.0307	0.0500
Disco/motor	2.81	0.0187	0.0759	0.1205	0.0373	0.0373

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] www.greenpeace.org
- [2] www.censolar.org.
- [3] www.greenpeace.org
- [4] www.energia-renovable.com
- [5] Libro de estudio de la energía solar 6 tomos.
- [6] Libro Guía completa de la energía solar térmica.
- [7] Base de datos de Irradiación solar CENSOLAR
- [8] Software de CENSOL 4.0 y 5.0
- [9] Base de datos de irradiación solar, software
- [10] Atlas solares con fines de generación eléctrica.



Wilson Leones Vega.-
Actualmente trabaja en Celec, Electroguayas Central Térmica Trinitaria. Cargo desempeñado de jefe del departamento eléctrico. Maestría en producción y productividad. Ingeniero Eléctrico

Mecánica con mención en Gestión Empresarial Industrial. Tecnología instalaciones solares. Certificación de Bureau Veritas ISO 9K, 14K, 18K. Experiencia diagnóstico mantenimiento eléctrico e instrumentación y control en centrales eléctricas a vapor hasta 133 MW de quema fuel. Experiencias en otros procesos industriales (Cervecería, Aceite la única, Balanceo de camarón, automatización industrial nivel medio y climatización).

10. ANEXO

CIUDAD	RIOBAMBA	INCLINACION DE CAPTADORES=	5 °
LATITUD	-1.6	TERMOSOLAR	1
CONSUMO DIARIO=	160000 KG/DIA	NECESIDAD ENERGÉTICA EN UNA TURBINA DE 100BAR A 3	
AREA CAPTADOR =	115 M2	ENTALPIÁS EN UNA TURBINA DE 100BAR A 375 °C	3032 KJ/KG
TIPO DE ENRGIA AUXILIAR =	(0,1 EURO/KWH)		
DÍAS DE AUTONOMÍA			LGSPSJ
ENERO	25 JULIO		25
FEBRERO	15 AGOSTO		26
MARZO	28 SEPTIEMBRE		22
ABRIL	28 OCTUBRE		27
MAYO	28 NOVIEMBRE		11
JUNIO	15 DICIEMBRE		25

LGSPSJ		6	7	8	9	10	11
		NECESIDAD ENERGETICA MENSUAL (MJ)	NECESIDAD ENERGETICA DIARIA (MJ)	H (TABLAS) MJ/M2	H (CPRREGIDA) MJ/M2	INCLINACION= APROX 5° LATITUD=-1,6	E MJ/M2
31	ENER	15038720	485120	24.5	25.7	1.02	24.7
28	FEBRE	13583360	485120	22.7	23.8	1.01	22.6
31	MARZO	15038720	485120	27.4	28.8	1	27.0
30	ABRIL	14553600	485120	27.4	28.8	0.98	26.5
31	MAYO	15038720	485120	26.7	28.0	0.97	25.6
30	JUNIO	14553600	485120	22.4	23.5	0.96	21.2
31	JULIO	15038720	485120	25.1	26.4	0.97	24.0
31	AGOSTO	15038720	485120	25.7	27.0	0.98	24.9
30	SEP	14553600	485120	23.6	24.8	1	23.3
31	OCTUBRE	15038720	485120	25.9	27.2	1.01	25.8
30	NOV	14553600	485120	16.5	17.3	1.02	16.6
31	DIC	15038720	485120	25.2	25.7	1.03	24.9
	TOTAL	177068800		24.4			

LGSPSJ		12	13	16	17	18	19	20	21	22
		NMEROS DE HORAS DEL SOL	I (W/M2)	RENDIMIENTO %	APORTACION SOLAR POR M2	ENERGIA NETA (DIA) DISPONIBLE POR M2	ENERGIA NETA (MES) DISPONIBLE POR M2	ENERGIA SOLAR TOTAL	% DE SUSTITUCION	DEFICIT ENERGETICO
25	ENER	8,5	806.1	40	9.9	7.9	197.3	16173209.3	100%	0
15	FEBRE	8	785.7	40	9.1	7.2	108.6	8902837.2	66%	4680522.79
28	MARZO	9,5	790.8	40	10.8	8.7	242.3	19860882.3	100%	0
28	ABRIL	9,5	774.9	40	10.6	8.5	237.5	19463664.6	100%	0
28	MAYO	9	789.0	40	10.2	8.2	229.0	18772882.8	100%	0
15	JUNIO	8	737.0	40	8.5	6.8	101.9	8350268.7	57%	6203331.26
25	JULIO	8,5	785.3	40	9.6	7.7	192.2	15757067.9	100%	0
26	AGOSTO	9	767.2	40	9.9	8.0	206.8	16952060.3	100%	0
22	SEP	8	808.8	40	9.3	7.5	164.0	13440784.8	92%	1112815.24
27	OCTUBRE	8,5	843.8	40	10.3	8.3	223.1	18284152.9	100%	0
11	NOV	7,5	615.2	40	6.6	5.3	58.5	4792551.0	33%	9761048.99
25	DIC	8,5	813.3	40	10.0	8.0	199.1	16318438.1	100%	0
	TOTAL		9317.1				2160.3	177068800.0		21757718.3

DEMANDA ANUAL	177068800	MJ / A
DEMANDA ANUAL	49185777.78	KWH / A
ENERGIA APORTADA ANUAL POR M2 DE CAPTADOR	2160.33	MJ
NUMERO DE CAPTADORES	713	CAPTADORES
AHORRO ANUAL	4314196.714	EURO
DEFICIT ENERGETICO	21757718.28	MJ
COSTO DE LA ENERGIA AUXILIAR	604381.1	EURO
AHORRO ENERGETICO	155311081.7	MJ / A
AHORRO ENERGETICO	43141967.14	KWH / A
PRODUCCIÓN ANUAL	2160.33	MJ / M2
ENERGÍA AUXILIAR QUE SE NECESITA	12%	
TOTAL	88%	
SUPERFICIE CAPTADORA NECESARIA	81963.94	M2
		LGSPSJ