

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	GUSTAVO ANDRES	
Apellido (s):	MEZA MORA	
Código:	20171075031	
E-mail:	Andresmezaa1948@gmail.com	
Teléfono fijo:	9205234	
Celular:	3138440434	
Ejecutor 2		
Nombre (s):		
Apellido (s):		
Código:		
E-mail:		
Teléfono fijo:		
Celular:		
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE UN CICLO RANKINE PARA CAPTADORES SOLARES EN LA GUAJIRA	
Duración (estimada):	20 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:		
Línea de Investigación de la Facultad*:	SISTEMAS SOLARES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	CONVERSIÓN DE ENERGÍAS Y MECÁNICA DE FLUIDOS, ECOINGENIERÍA	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:		
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	ING. CAMILO ANDRÉS ARIAS HENAO	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)		

Tabla de contenido

Introducción	4
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Estado del arte	7
1.3 Justificación	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo General	10
2.2 Objetivos específicos	10
3 Marco Teórico	11
4 METODOLOGÍA	14
4.1 Planeación	14
4.2 Diseño	14
4.3 Evaluación	14
4.4 Documento Final	14
5. CRONOGRAMA	15
5.1 Cronograma	15
5.2 Diagrama de Gantt	15
6. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	17
6. BIBLIOGRAFÍA	18

Listado de Tablas

Tabla 1: Diagrama de Gannt	1
Tabla 2: Gastos	2

Introducción

Actualmente, debido a la globalización y a la ampliación de los mercados, se encuentra una mayor cantidad de productos y servicios que requieren de una gran cantidad de energía para poder ser ejecutados, por esta razón en la actualidad existe una necesidad inherente para poder conseguir dicho recurso.

Por ello, éste trabajo se enmarca en el contexto de evaluar la viabilidad de la instalación de un ciclo Rankine para la generación de electricidad mediante captadores solares, se realizará un diseño con el cual se busca mirar su eficiencia y la capacidad de generación de energía, del mismo modo se realizara un cálculo del valor del montaje del sistema y de sus costos de mantenimiento, con el fin de verificar en cuanto tiempo se lograría el retorno de la inversión y cuanto sería la utilidad del mismo durante el periodo de vida de la planta de generación eléctrica, de modo que se pueda comparar las utilidades de una plantación de palma africana en contrapeso de la planta eléctrica solar con el fin de pensar en futuras inversiones en regiones desérticas como las de la Guajira.

Teniendo en cuenta todo lo anterior este proyecto busca hacer la “Evaluación técnica y económica de un sistema de generación eléctrica de un ciclo Rankine para captadores solares en la Guajira”

1.1 Planteamiento del problema:

En la actualidad, al rededor del mundo se pueden ver las consecuencias de la contaminación causada por la utilización de combustibles fósiles, producto de la gran demanda energética que se ha creado en el marco del desarrollo mundial de la industrialización. Por ello es importante buscar nuevas alternativas para suplir las necesidades de la sociedad.

La energía solar representa la fuente energética más abundante de la tierra, por ello es apenas lógico pensar en incentivar su utilización, ya que no significa ninguna amenaza para el medio ambiente, además de ser un recurso ilimitado. Para el caso de Colombia podría llegar a ser una alternativa de gran relevancia ya que podría generar desarrollo en las comunidades y ser económicamente viable puesto que Colombia es uno de los países en donde hay mayor riqueza solar por el hecho de encontrarse en la región ecuatorial y de tener zonas con baja nubosidad.

Colombia en el contexto contemporáneo se encuentra en pleno desarrollo económico por lo cual una de las prioridades de los inversionistas es buscar alternativas que generen ingresos para sus compañías, este es el caso de las inversiones que se han hecho en los cultivos de palma africana, la cual es utilizada en el proceso de obtención de biocombustibles, aceites y otros productos que en la actualidad tienen una gran demanda.

En algunos sectores se habla que la utilización de este tipo de combustibles son solidarios con el medio ambiente, ya que los cultivos en sí, son capaces de borrar una parte de la huella de carbono que deja la quema de los mismos, pero a largo plazo es de amplio conocimiento, las consecuencias negativas que pueden acarrear este tipo de monocultivos, puesto que con el tiempo traen un deterioro en la fertilidad de la tierra en donde se es sembrado, inhiben el crecimiento de la flora autóctona de la región poniendo en riesgo la estabilidad de los ecosistemas, además de los peligros que pueden traer a la seguridad alimentaria de las personas de la región.

Por ello es imperioso buscar nuevas soluciones que brinden oportunidades de desarrollo y que traigan consigo un beneficio económico sin alterar el entorno social y ambiental; el aprovechamiento de la energía solar, sería una de esas posibilidades, ya que se podría utilizar en zonas de baja productividad agrícola como lo son los desiertos en la Guajira, allí podemos encontrarnos con suelos áridos en donde sería imposible sembrar alimentos o realizar monocultivos como los de la palma africana, de modo que en la región se tienen bastas cantidades de terreno improductivo el cual debido a que es una región con gran radiación, poca nubosidad y en donde el suelo no es costoso, serian un

sitio propicio para colocar la planta de cogeneración de energía eléctrica ya que se sus tierras se volverían productivas, además generaría una buena fuente de empleo para la región.

Por ello el contexto de la investigación será centrada en el desarrollo de un sistema de generación eléctrica mediante ciclo rankine de captadores solares térmicos, con el fin de comparar su viabilidad técnica así como las utilidades y el retorno que pueden tener en comparación con los monocultivos de palma africana.

1.2 Estado del arte:

Durante los últimos años se ha incrementado el interés por buscar nuevas soluciones para captar la energía solar, es así que se utilizan varias formas para su aprovechamiento entre ellos tenemos sistemas térmicos y sistemas fotovoltaicos. Los primeros aunque su montaje es más caro, tiene una eficiencia que ronda el 35% mientras que los segundos unas eficiencias que están alrededor del 20% por ello algunos de los autores han extendido sus esfuerzos para el desarrollo de la generación eléctrica mediante sistemas térmicos solares [6].

En el año 2015 Martin János Mayer en su trabajo "Comparison of different solar energy utilization methods: photovoltaic systems and solar thermal power plants" [10] hizo un diseño y simulación de sistemas solares en el cual analiza la relación de la temperatura y la eficiencia de los captadores, con el fin de verificar su viabilidad técnica y de hallar los puntos críticos para aumentar su eficiencia, por otra parte hace una relación económica de viabilidad tanto para sistemas térmicos como fotovoltaicos. Dentro del mismo en el artículo podemos ver que el autor se decanta por la utilización de captadores cilindro-parabólicos debido a su menor costo de operación, fabricación e instalación.

En el 2016 se puede encontrar otro artículo el cual se titula "Feasibility study of a linear Fresnel concentrating solar power plant located in Ponce, Puerto Rico." [11] cuyos autores hacen un análisis de un sistema de captación de tipo fresnel para un uso de cogeneración de electricidad en Puerto Rico, lo importante de este artículo es que nos abre la posibilidad de entender cuáles son las especificaciones técnicas de este sistema, cuanto sería un aproximado de la inversión inicial y cuál sería su punto de retorno con un valor de la inversión en precio futuro, en su análisis utiliza dos tipos de funcionamiento de la planta uno con vapor directo y el otro con sal fundida, de manera que evalúa los dos diseños y nos concluye que el funcionamiento del primero puede ser hasta 7% menos costoso.

Por último, en el año 2017 se realizó un artículo titulado "Concentrated Solar Power: Analysis of Economic Aspects in Brazil" [12] publicado por Mariani P. dos Santos, Leonardo H. M. Leite, Dr., Adriana da Silva Reis, Dr. Del Centro Universitario de Belo Horizonte en el cual hacen un análisis completo de los dos sistemas térmicos para cogeneración, entre los cuales destacan el de sistema de generación por torre y el cilindro-parabólico; allí analizan todos los aspectos importantes para la puesta en marcha de algún posible diseño, verifican bajo unas circunstancias normales de operación en Brasil su funcionamiento, con ello logran calcular la producción promedio que tendría alguno de los dos sistemas, con ello logran hacer una evaluación para verificar cuál de las dos opciones es más viable financieramente, de modo que aunque el sistema cilindro-parabólico es menos eficiente su puesta en funcionamiento es un 32% más barato con lo cual la inversión inicial es mucho menor y el tiempo esperado para retorno es menor el cual se estima sea de 4.43 años.

Con estos artículos sumados a otros libros y textos científicos podemos concluir la importancia de continuar desarrollando avances en el sector de la

energía solar térmica, también es importante tomarlos como base para tomar la decisión de iniciar el que tal vez sea el mejor diseño para nuestros requerimientos, con el fin de incluirlo con las variables que encontraremos en la región de la Guajira y verificar su viabilidad técnica y económica.

1.3 Justificación:

Debido a la problemática existente, que en su mayoría se debe a la falta de inversión en fuentes de energía alternativa, se hace necesaria la implementación de este tipo de sistemas. En una región como la de la Guajira es aun de mayor importancia realizar este tipo de proyectos ya que son económicamente y ecológicamente sostenibles lo cual ayudaría al desarrollo social de la región.

En la actualidad existen diferentes incentivos que pueden colaborar con la implantación de este tipo de energías, La ley 1715 por la cual regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, la cual incentiva el uso de energías no convencionales para su generación, uso y distribución por lo cual, realiza este tipo de proyectos traen beneficios entre los cuales se destacan:

- Reducción arancelaria con previa autorización de la DIAN tanto en la fabricación como en la importación de productos que se consideren o cuya finalidad sea la de generar energía mediante fuentes no convencionales de energía (FNCE)
- El gobierno se compromete a incentivar el uso de esta fuente energética como generación distribuida lo cual facilita su comercialización
- Capacitación del talento humano
- Incentivos financieros por partes del estado para implementar sistemas en zona no interconectadas
- Aceleración de la depreciación acelerada de los activos de la empresa.

Con ello podemos visualizar que es importante su promoción y desarrollo, con el plano social y gubernamental es posible llevar a cabo un proyecto de dicha magnitud.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad tanto técnica como económica de la implementación de un sistema de generación eléctrica de un ciclo rankine para captadores solares térmicos en la Guajira.

2.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar un sistema de generación eléctrica mediante ciclo rankine para captadores solares.
- Evaluar la eficiencia del sistema y la cantidad de energía que podría generar por hectárea de tierra.
- Evaluar costos, rentabilidad y el retorno de la inversión del sistema.
- Comparar los datos del sistema con los datos con la producción de palma africana en Colombia.

3 MARCO TEÓRICO:

El uso de la energía solar transformado el mundo a través de los años, y su inicios se remontan a la segunda mitad del siglo XIX donde tuvo como pionero al inventor francés Augustin Mouchot, [1] el cual introdujo diseños nuevos de concentradores solares para construir y operar varias máquinas solares como calentadores de agua, con el fin de aprovechar el uso calórico y transformarlo en movimiento mecánico utilizando los mismos principios de la máquina de vapor convencional, de manera que el vapor de agua da el empuje sobre el émbolo de un pistón el actual hace actuar sobre un mecanismo biela-manivela que genera un movimiento rotacional que luego es aprovechado de la manera que se desee.

Los siguientes diseños, buscaban que fueran sistemas mucho más eficientes, con lo cual modificaban la forma del concentrador, utilizaban diferentes fluidos de trabajo, o simplemente montaban varios captadores en serie con el fin de aumentar la eficiencia, pero aun así el principal impedimento era los costos del sistema, ya que para la época se utilizaban materiales como plata y vidrio que eran muy costosos.

Por ello la fuente energética proveniente de los combustibles fósiles fue la más acogida, la idea de obtener grandes potencias a bajo costo era una idea mucho más seductora que la de la energía solar.

Hemos visto nuevamente la necesidad de utilizar esta fuente energética, de modo que a finales del siglo pasado se ha utilizado en pequeña escala para calentar el agua de las casas y para acondicionar viviendas.

Posteriormente la energía solar se empezó a utilizar con turbinas de vapor y su funcionamiento se puede comparar con la de una central térmica, ya que se puede transformar en energía eléctrica lo que facilita su transporte y utilización. Para ello se han dispuesto captadores solares dentro de los que se destacan los disco Stirling, cilindro parabólicos, de receptor central, y de receptor lineal.

En la actualidad existen grandes plantas de generación donde se utilizan los principios del ciclo Rankine [2] el cual opera con vapor, y es el utilizado en las centrales termoeléctricas. Su funcionamiento se basa en calentar agua en una caldera hasta su punto de evaporación y de esta manera incrementar la presión y la temperatura del vapor, el cual se hace incidir sobre los álabes de una turbina, donde pierde presión transformándola en energía cinética. Después de allí el vapor se dirige a un condensador en donde se vuelve líquido nuevamente con el fin de poder impulsarlo y subir su presión mediante una bomba que lo dirige nuevamente a la caldera en donde empieza nuevamente el ciclo.

Disco Stirling:

El sistema de generación eléctrica de disco Stirling [4] está compuesto por un concentrador solar parabólico de alta reflectividad, el cual tiene un

receptor que se acopla a un motor Stirling que se acopla a un generador. El fluido se calienta hasta los 750 °C el cual aprovecha esta energía para generar electricidad mediante el motor Stirling o la microturbina brayton. Para que su funcionamiento sea eficiente debe funcionar con un mecanismo de seguimiento de dos ejes (Fuente: esrenovable.com). Mediante este sistema se alcanza la mayor eficiencia pero en contraprestación la tecnología suele ser mucho más costosa.

Torres de concentración o helióstatos:

Este sistema está formado por un campo de espejos o helióstatos móviles que se van orientando según cambie la posición del sol, con lo cual se busca que refleje su radiación en un receptor situado en la parte superior de una torre. Allí acumula la energía reflejada por los espejos con el fin de aumentar la temperatura del fluido y el cual funcionarán con un ciclo Rankine. El fluido puede ser agua el cual puede ser utilizado directamente en el ciclo Rankine o un fluido que intercambiara calor con agua en una caldera, con ello se busca generar vapor a altas temperaturas y presiones con las cuales impulsaran los alabes de las turbinas que posteriormente lo transformaran en electricidad mediante un generador.

En este tipo de plantas como la del (SEGS) en California cuya capacidad instalada de 354 MW y genera 662 GWh de energía al año (1) actualmente cuenta con una adaptación de microturbinas de gas en los concentradores ofrece una alternativa diferente que brinda eficiencias menores compensadas con bajos precios en fabricación.

Concentrador fresnel:

Funciona de una forma similar a los captadores cilindro-parabólicos. Está compuesta por un concentrador lineal con seguimiento del sol en un eje, y un tubo captador el cual es fijo en él se refleja la radiación el concentrador por este pasa un fluido el cual se calienta hasta una temperatura inferior a los 400°C, Este tipo de captador es más económico que el cilindro parabólico pero en contraprestación tiene una eficiencia 15% menos que la cilindro-parabólica. Este tipo de captadores son viables siempre y cuando se hagan sistemas híbridos con gas natural o biomasa para alcanzar niveles grandes de cogeneración de energía [11].

Captador cilindro-parabólico:

De todos los sistemas solares térmicos este tipo de tecnología es tal vez la más confiable [5] ya que su tecnología data de hace varios años atrás con lo cual podemos certificar su viabilidad técnica, también permite que exista un gran historial en su utilización lo cual crea más confianza en los bancos e inversionistas. Su utilización a nivel comercial se hace desde los años 80 obteniendo resultados prometedores a partir de ese momento su tecnología ha ido mejorando y del mismo modo su demanda lo cual ha creado una disminución de los costos de fabricación e instalación,

En países como España tienen una capacidad instalada de 800MW y hay varias centrales en construcción donde el 95% de a la tecnología es de captadores cilindro parabólicos lo cual hace que existe una gran confianza en la utilización de dicha tecnología (3)

La tecnología cilindro-parabólica tiene un funcionamiento similar al del captador de fresner el cual hace un seguimiento del sol en un solo eje para que los rayos incidan perpendicularmente a la superficie de captación y los reflejen a un concentrador el cual está en una línea de focalización, ésta se une a otros captadores haciendo una línea en serie lo cual hace calentar un fluido que generalmente es un fluido orgánico sintético (HTF) el cual se calienta hasta unos 400 °C. Este fluido caliente se dirige un intercambiador el cual hace calentar agua de una caldera que posteriormente inicia un ciclo rankine.

Desde los gobiernos y el sector privado cada vez más se observa un mayor interés es con el medio ambiente lo cual ha hecho que exista una mayor demanda y una disminución de los costos de fabricación debido a su creciente demanda, por ello en Latinoamérica hay países como Chile que se están volviendo líderes en el mercado de la energía solar, aprovechando su gran riqueza solar como la encontrada en el desierto de Atacama, En Colombia poseemos una gran riqueza solar por lo cual utilizarlas debería estar dentro de las prioridades del desarrollo nacional.

En Colombia, apenas hace un par de años se han empezado a realizar avances como los de Celsia [4] Solar Yumbo que tiene una capacidad instalada de 9,8 MW y generará cerca de 16,5 GWh año de energía que equivale al consumo de 8 mil hogares (2), El grupo éxito y Alkosto también han realizado un par de proyectos los cuales buscan disminuir la cantidad de energía que consumen y la huella de carbono que hay en el medio ambiente.

4 METODOLOGÍA:

4.1 Planeación:

Durante esta etapa se realizara la búsqueda de material bibliográfico referente a los ciclos termodinámicos Rankine, así mismo la tecnología existente y los avances científicos de los últimos años.

4.2Diseño:

Durante el diseño se definirá el sistema y el montaje que se realizara indicando los dispositivos que se dispondrán para el funcionamiento, se realizara el diseño en primera instancia del captador y posteriormente el de la turbina que generara la electricidad.

4.3Evaluación :

Cuando se haya realizado el diseño se procederá a evaluar la eficiencia, la viabilidad técnica del montaje, con el fin de extrapolar la cantidad de energía que se pretende extraer del sistema y cuál sería su utilidad en contraprestación de los recursos económicos utilizados.

4.4Documento Final

Por último se realizara un documento en el cual tendrá todos los parámetros correspondientes de un proyecto de grado, explicando minuciosamente todos los parámetros y variables que tuvieron en cuenta para la realización del mismo.

Finalmente se hará énfasis en las conclusiones y recomendaciones para la implementación del sistema y de la viabilidad de económica del mismo.

5 CRONOGRAMA

5.1 Cronograma

Con el cronograma se pretende realizar una planeación, para destinar tiempos adecuados para garantizar el cumplimiento del tiempo establecido, el cual, para este proyecto es de 20 semanas, de manera que se realizó un listado de tareas y se les destino un tiempo de realización con lo cual se quiere optimizar el proceso de la investigación

5.2 DIAGRAMA DE GANTT

El diagrama de Gantt es un método gráfico mediante el cual se parten de unas tareas para destinarles un tiempo estimado en su ejecución. Para el caso de esta investigación se tomaron 4 tareas para realizarlas en un tiempo de 20 semanas

Tareas	semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
planeacion																						
Diseño																						
Evaluación																						
Documento Final																						

Tabla 1: Diagramas de Gannt

Fuente: el autor

6. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.

Se realizara una tabla con los valores unitarios y su respectivo argumento.

Software:

Se utilizara para el estudio software de simulación como lo es transys o algún software parecido, el cual cumpla con las características para poder evaluar el diseño del sistema, el software que se utilice deberá contar con su respectiva licencia por parte de la universidad.

Recursos Humanos:

Tutor: El profesor de planta encargado de realizar el seguimiento al proyecto deberá utilizar un tiempo determinado para poder realizar correcciones y observaciones a lo largo del proyecto.

Ejecutor: Encargado de realizar las labores propias indicadas en el anteproyecto

Se estima un promedio de 20 horas para el ejecutor y tres horas semanales para el tutor:

Recursos	Costo	Fuente de financiación	Porcentaje de financiación
Software	4000000	universidad	40%
Tiempo tutor	2000000	Universidad	20%
Tiempo ejecutor	4000000	Alumno	40%
Costo total	10000000		

Tabla 1: fuente el autor Costos del proyecto.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Augustin Mouchot, the solar pioneer whose moment in the sun came too soon.05/03/2018.Disponible en:
<https://www.thenational.ae/uae/environment/augustin-mouchot-the-solar-pioneer-whose-moment-in-the-sun-came-too-soon-1.585611>
- [2] Ciclo rankine. 05/03/2018. Disponible en:
http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4931/html/64_ciclo_de_rankine.html
- [3] Solar Electric Generating Station. 05/03/2018. Disponible en:
https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=28
- [4] Celsia. Granjas solares. 05/03/2018. Disponible en:
<http://www.celsia.com/granjas-solares>.
- [5] centrales térmicas cilindroparabolicos. 2012. 05/03/2018. Disponible en:
[http://www.centralestermosolares.com/centrales-de-c-cilindro-parabolico\(3\)](http://www.centralestermosolares.com/centrales-de-c-cilindro-parabolico(3))
- [6] JHONATAN PÉREZ CÁRDENAS; YEIDER ROLANDO PARRAGÁ IBAÑEZ. Evaluación de potencial energético de un sistema ciclo rankine con un concentrador solar parabólico como fuente de calor en la facultad tecnológica de la universidad distrital”
- [7] Ascensión Aynat Piquer. 2012. “Determinación del ciclo de vapor de una central solar termoeléctrica CCP de 50MW”
- [8] J. Valle-Hernández M. López-Arroyo, A. Pacheco-Reyes. 2015. Diseño de una central termoeléctrica a partir de energía solar concentrada [Design to a thermal power plant upon concentrated solar power]
- [9] S. K. Kariuki. 2016. Analysis of Parabolic Trough CSTP and Biogas Hybrid Power Plant
- [10] Martin János Mayer. 2016. Comparison of different solar energy utilization methods: photovoltaic systems and solar thermal power plants
- [11] Laura M. Adarme-Mejía. 2017. Feasibility study of a linear Fresnel concentrating solar power plant located in Ponce, Puerto Rico.
- [12] Mariani P. dos Santos . 2017. Concentrated Solar Power: Analysis of Economic Aspects in Brazil