



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

TEMA:

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN TERMO SOLAR MEDIANTE DISCO REFLECTOR PARABÓLICO Y MOTOR STIRLING E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO A ESCALA PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE UN FILTRO DE PURIFICACIÓN DE AGUA CON LUZ ULTRA VIOLETA EN LAS AULAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN EL PERIODO 2014-2015.

Plan de trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en
Mantenimiento Eléctrico

Autores:

Chandi Paguay Kléber Andrés
Ruano Vega Eduardo Salvador

Director:

Ing. Pablo Méndez

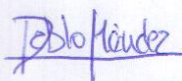
Ibarra, 2015

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Luego de haber sido designado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Educación, Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, he aceptado con satisfacción participar como director en el trabajo de grado titulado **“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN TERMO SOLAR MEDIANTE DISCO REFLECTOR PARABÓLICO Y MOTOR STIRLING E IMPLEMENTACIÓN DE UN APLICATIVO PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE UN FILTRO DE PURIFICACIÓN DE AGUA CON LUZ ULTRA VIOLETA EN LAS AULAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN EL PERIODO 2014-2015”**; de los señores egresados: CHANDI PAGUAY KLEBER ANDRÉS Y RUANO VEGA EDUARDO SALVADOR, previo a la obtención del título de Ingeniero en la especialidad de Mantenimiento Eléctrico.

Al ser testigo presencial, y corresponsable directo del desarrollo del presente trabajo de investigación, afirmo que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentado públicamente ante el tribunal que sea designado oportunamente.

Esto es lo que puedo certificar por ser justo y legal.



Ing. Pablo Méndez.
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres que han sido los pilares más importantes a lo largo de mi vida ellos que me supieron guiar por el camino correcto en la vida, a mi querida esposa que es parte complementaria de mi felicidad, a mi hijo que es el tesoro más grande que Dios me ha dado por el que siempre he luchado para verlo feliz cada día de su vida, a todos mis familiares que de forma directa o indirecta me han apoyado y han contribuido a la consecución de este logro tan grande en mi vida profesional.

KLÉBER

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios, quien no me abandonado nunca aun en los momentos más difíciles de mi vida, por su infinita misericordia y amor, por darme cada día que pasa vida y salud para lograr mis objetivos, a mi madre Consuelo Vega por haberme apoyado incondicionalmente siempre, por haber sido padre y madre para mis hermanos y yo, por sus consejos, sus valores, por ser el motor de inspiración y de lucha, por la motivación, su paciencia y amor eterno.

EDUARDO

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte por haber permitido realizar y culminar nuestra formación personal, cultural y profesional, a todos los ingenieros de la carrera por haber compartido sus conocimientos sin egoísmo permitiéndonos adueñarnos de los conocimientos necesarios para desempeñarnos tanto en nuestras vidas cotidianas como en nuestros trabajos.

Un agradecimiento especial al Ing. Pablo Méndez Director del Trabajo de Grado, Ing. Mauricio Vásquez Brito Catedrático de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, quienes guiaron y contribuyeron permanentemente en este trabajo de grado con pautas para su elaboración de manera teórica y práctica, por la amistad y confianza otorgada.

A nuestros padres quienes con infinito amor a través de la vida han sabido guiarnos con ejemplo de trabajo y honestidad, por todo su esfuerzo reflejado y por su constante apoyo que ha permitido alcanzar esta meta profesional.

Los autores

ÍNDICE GENERAL

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I	1
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Formulación del problema.....	6
1.4 Delimitación del problema	6
1.4.1 Temporal.....	6
1.4.2 Espacial.....	6
1.4.3 Tecnológica	7
1.4.4 Teórica.	7
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo General	7
1.5.2 Objetivos específicos	7
1.6 Justificación	8
1.7 Aporte	9
CAPÍTULO II	10
2 MARCO TEÓRICO	10
2.1 Fundamentación teórica	10
2.2 Fuentes de energía	11
2.2.1 Fuentes de energía no renovable	11
2.2.2 Tipos de energía no renovable	11
2.2.3 Fuentes de energía renovable.....	13
2.3 Energía solar	14

2.3.1 Energía solar fotovoltaica	15
2.3.2 Historia de la energía termo solar	15
2.3.3 Energía termo solar	17
2.4 El sol	17
2.5 Constante solar	19
2.6 Tipos de radiación	20
2.6.1 Radiación directa	20
2.6.2 Radiación difusa	20
2.6.3 Radiación terrestre o reflejada o de albedo	21
2.6.4 Radiación total.....	21
2.6.5 Irradiancia	21
2.6.6 Irradiación	22
2.7 Instrumentos de medición de la radiación	22
2.8 Sistemas termo solares de concentración.....	24
2.8.1 Sistemas colectores cilindro parabólicos	28
2.8.2 Sistemas de receptor central	29
2.8.3 Sistemas de disco parabólico y motor Stirling.....	30
2.8.4 Concentrador.....	33
2.8.5 Receptor.....	34
2.8.6 Sistema de generación	36
2.8.7 Estructura soporte y mecanismos.....	37
2.8.8 El motor Stirling.....	37
2.9 Ciclo Stirling.....	40
2.9.1 Etapas ciclo Stirling	40
2.9.2 Controlador de carga.....	43
2.9.3 El acumulador o batería.....	44
2.9.4 Generador (espacio)	45
2.9.5 Rectificador trifásico	46
2.9.6 Fórmulas para el diseño sistema disco motor.....	46
2.10 Costos comparativos de sistemas de generación eléctrica que aprovechan fuentes de energías renovables.	50
2.11 Simbología	51
2.12 Glosario de términos.....	52
2.13 Matriz de coherencia	55
CAPÍTULO III	57

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.1.Tipo de investigación	57
3.1.1. Investigación bibliográfica y documental.....	57
3.1.2. Investigación de campo	58
3.2.Métodos	58
3.2.1. Método Inductivo deductivo	58
3.2.2. Método analítico sintético	59
3.2.3. Método matemático estadístico.....	59
3.2.4. Técnicas e instrumentos.....	59
CAPITULO IV.....	61
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	61
4.1.Título de la propuesta	61
4.2.Objetivos	62
4.2.1. Objetivo general.....	62
4.2.2. Objetivos específicos	63
4.3.Desarrollo de la propuesta.....	63
4.3.1. Datos de irradiación solar en Ibarra.....	63
4.3.2. Pruebas experimentales para el Diseño	67
4.3.3. Valores de emisividad y reflectividad del aluminio	70
4.3.4. Diseño de Sistema Disco Motor	71
4.3.4.1. Cálculo del área del colector paraboloide de revolución Ac	73
4.3.4.2. Área del receptor AR	74
4.3.4.3. Factor de concentración C	74
4.3.4.4. Potencia absorbida por el receptor q	75
4.3.4.5. Potencia útil colectada q_{in}	76
4.3.4.6. Cálculo de la eficiencia del Sistema. EC	78
4.3.4.7. Cálculo de corriente en un foco de 5W	78
4.3.4.8. Construcción del colector.....	78
4.3.5. Autonomía del sistema	81
4.3.6. Presupuesto del proyecto.....	81
4.3.7. Mediciones del sistema.....	83
4.3.9. Análisis de la calidad después del purificador de luz UV	88
CAPÍTULO V.....	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
5.1 Conclusiones.....	90

5.2 Recomendaciones.....	91
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	93
LINCOGRAFÍA.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1: Irradiación solar global del Ecuador	3
Figura Nº 2: Concentrador solar de Mouchot.....	16
Figura Nº 3: El sol fuente de energía de la tierra	18
Figura Nº 4: Constante solar	20
Figura Nº 5: Componentes de la radiación terrestre total	21
Figura Nº 6: Piranómetro	23
Figura Nº 7: Pirheliómetro (mide irradiancia normal directa)	23
Figura Nº 8: Actinógrafo (mide radiación solar global diaria).....	23
Figura Nº 9: Heliógrafo (brillo solar)	24
Figura Nº 10: Cono de direcciones procedentes del disco solar	25
Figura Nº 11: Esquema simplificado de sistema termo solar.....	26
Figura Nº 12: Esquema general de una central energética termo solar	27
Figura Nº 13: Esquema de un sistema colector cilindro parabólico	29
Figura Nº 14: Sistema de receptor central	30
Figura Nº 15: Esquema de un disco parabólico	32
Figura Nº 16: Tipos de colectores solares	33
Figura Nº 17: Receptor de tubos directamente iluminados	35
Figura Nº 18: Receptor de tubos reflujo	36
Figura Nº 19: Receptor de tubos reflujo y motor Stirling.....	37
Figura Nº 20: Motor Stirling tipo alfa.....	38
Figura Nº 21: Motor Stirling tipo beta.....	39
Figura Nº 22: Motor Stirling tipo gamma.....	39
Figura Nº 23: 1-2 Compresión isotérmica.	40
Figura Nº 24: 2-3 Absorción de calor isocora.	41
Figura Nº 25: 2-3 Absorción de calor isocora.	41
Figura Nº 26: 4-1 Cesión de calor isocora.	41
Figura Nº 27: Controlador de carga Phocos CML-V2	43
Figura Nº 28: Funciones de Visualización del controlador de Carga	44
Figura Nº 29: Batería Ritar modelo RT 12180	45
Figura Nº 30: Generador de imanes permanentes Windzilla 24v	45
Figura Nº 31: Rectificador trifásico	46
Figura Nº 32: Esquema de un concentrador solar de foco fijo.....	46
Figura Nº 33: Coste de implantación de varios sistemas de generación eléctrica que aprovechan energías renovables	51
Figura Nº 34: Producción de energía por tipo de central (GWH).....	62
Figura Nº 35: Datos de Irradiación solar obtenidos en Censolar V 5.0	64
Figura Nº 36: Instalaciones de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.	65
Figura Nº 37: Instalaciones de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico	65
Figura Nº 38: Datos de radiación solar directa, mediante ArcGis,	66
Figura Nº 39: Valores de radiación solar directa UTN	66

Figura N° 40: Medición de temperatura prueba 1	67
Figura N° 41: Medición de temperatura prueba 2	68
Figura N° 42: Experimentación con GLP determinación operación.....	68
Figura N° 43: Motor Stirling tipo gamma.....	69
Figura N° 44: Medidor de potencia solar (Irradiancia mínima)	72
Figura N° 45: Medidor de potencia solar (Irradiancia máxima)	72
Figura N° 46: Grafica de paraboloides de revolución.	73
Figura N° 47: Forma cilíndrica del receptor	74
Figura N° 48: Gráfica de la parábola	79
Figura N° 49: Trazos geométricos del molde de un paraboloides.	80
Figura N° 50: Trazos geométricos del molde de un paraboloides1.	80
Figura N° 51: Estructura del paraboloides de revolución de 4 m	81
Figura N° 52: Ubicación del sistema de generación termo solar.	83
Figura N° 53: Medición de temperatura de operación sin carga.....	84
Figura N° 54: Irradiancia de operación del sistema sin carga.	84
Figura N° 55: Medición de voltaje de operación del sistema	85
Figura N° 56: Diagrama de arranque de motor impulsor	87
Figura N° 57: Muestras del agua antes y después de la purificación	88
Figura N° 58: Resultado del análisis de aguas	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Instrumentos de medida de radiación	22
Tabla N° 2: Matriz de coherencia.....	55
Tabla N° 3: Medición de temperatura vs RPM del motor Stirling.	67
Tabla N° 4: Especificaciones técnicas del motor Stirling tipo gamma.	69
Tabla N° 5: Valores de coeficientes de reflectividad.....	70
.Tabla N° 6: Valores de coeficientes de emisividad (ϵ)	71
Tabla N° 7: Factores de Concentración, según tipos de colectores	75
Tabla N° 8: Valores de la parábola con centro en el origen	79
Tabla N° 9: Materiales para la construcción de un paraboloides	80
Tabla N° 10: Presupuesto del sistema	82

RESUMEN

La presente propuesta de investigación tiene la finalidad de realizar el estudio de un sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico y motor Stirling, debido a la importancia que radica dicho estudio para las futuras generaciones y así aportar con el desarrollo de la investigación de energías limpias, utilizadas como alternativa en la generación de energía eléctrica que se pueden adaptar a nuestro medio y contribuir a la preservación de nuestro ecosistema mediante el aprovechamiento de la energía solar que es una de las fuentes de energía renovables inagotable que nos permitirá a futuro implementar sistemas descentralizados de generación solar para lugares aislados de las redes eléctricas de las empresas de distribución existentes en nuestro país. El primer capítulo está orientado a la ejecución de un análisis e investigación de cómo implementar los sistemas de generación termo solar, tecnología que permitirá el desarrollo sustentable en cuanto a la generación de energía eléctrica que a futuro reemplazará a las de tipo convencional que en la actualidad utilizamos, este estudio permitirá conocer la situación real del problema, sus causas y consecuencias que ayudará a su solución. En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico, realizado a través de fuentes de información secundaria en base a libros, textos, revistas, periódicos y páginas de internet; así también se ha tomado en cuenta documentos de instituciones involucradas en la investigación, con ello se ha determinado los fundamentos científicos necesarios para el desarrollo de la propuesta. En el tercer capítulo se definen los tipos de investigación, métodos y técnicas que contribuyeron al cumplimiento de los objetivos planteados en el proyecto. En el cuarto capítulo se realizó un análisis para realizar la implementación del aplicativo y se investigó los parámetros puntuales de funcionamiento del sistema. El capítulo quinto abarca las conclusiones y posteriormente las recomendaciones que perfilan la solución del problema

SUMMARY

The present research proposal has the objective to realize the study of a solar thermal generation system using parabolic reflector dish and Stirling engine, due to the importance of this study lies for future generations, so to contribute to the development of energy research clean used as an alternative to generate electricity that can be adapted to our environment and contribute to the preservation of our ecosystem by harnessing solar energy. That it's a source of inexhaustible renewable energy that we allow future implement decentralized systems solar generation for isolated locations of electrical networks distribution companies existing in our country. The first chapter is focused on the implementation of a research and analysis of how to implement generation systems solar thermal technology that it will allow sustainable development in the generation of electric power that in the future it will replace the conventional type that currently use, this study will reveal the actual status of the problem, its causes and consequences that help to solve the problem. In the second chapter the theoretical framework, realized through secondary sources based on books, texts, magazines, newspapers and Internet, So it has also been taken into account documents of institutions involved in the research, this has given the scientific basis necessary for the development of the proposal. In the third chapter the types of research methods and techniques that contributed to the achievement of the objectives defined in the project. In the fourth chapter analysis was performed for the implementation of the specific application and operating parameters of the system are analyzed. The fifth chapter discusses the findings and subsequent recommendations are outlined to solve the problem.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, se orienta con el propósito de aportar con la innovación para la producción de energía eléctrica empleando alternativas energéticas que se desarrollan a medida que se observa el deterioro del medio ambiente, y lograr el objetivo de que la Universidad Técnica del Norte sea reconocida como una Universidad Sustentable.

Con el pasar de los años se ha venido utilizando combustibles fósiles, pero al ritmo en que se los usa su agotamiento será cosa de tiempo. El desafío es encontrar nuevas alternativas de generación de energía eléctrica.

La investigación posibilita conocer factores a favor y en contra para la generación de energía termo solar, tomando en cuenta que la ubicación geográfica del Ecuador esta estratégicamente en el centro del planeta donde la incidencia de radiación solar es muy relevante, estos datos indican claramente que algunas de las zonas del territorio ecuatoriano son ideales para la implementación de sistemas de generación termo solar.

El trabajo de investigación presenta cinco capítulos, desarrollados de forma técnica que permiten determinar la posibilidad de establecer nuevas alternativas energéticas, descentralizadas que se comprometen con la conservación del medio ambiente.

Esta investigación define aspectos importantes sobre la producción de la energía eléctrica a partir de la generación termo solar, los cuales sustentan en el presente estudio.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

Las energías renovables son aquellas que tienen un potencial inagotable, como por ejemplo: solar, mareomotriz, eólica, geotérmica, entre otras, la energía que estas producen en forma natural continuamente a ningún costo, es muy importante pero poco aprovechada.

La mayoría de las fuentes de energía originan impacto ambiental, indistintamente de su nivel de afectación hacia el ecosistema donde éstas se desarrollan, por ejemplo la energía geotérmica provoca gases de efecto invernadero, arrastra metales pesados, además hace daño y es perjudicial al medio ambiente cuando se la aprovecha, la fuente de energía eólica provoca un impacto visual en el ecosistema, provoca ruido a baja frecuencia, y además suele ser trampa de aves que comparten el ecosistema, la hidráulica es la de menos agresividad, pero provocan pérdida de diversidad permiten emanar gas metano debido a la materia vegetal que no se la retira, permiten la reproducción de mosquitos que transmiten el paludismo, dengue, y otras enfermedades; pueden provocar enfermedades parasitarias, todo esto en especial en lugares de clima cálido, pueden inundar paisajes, zonas culturales, además pueden provocar la salinidad de cauces fluviales.

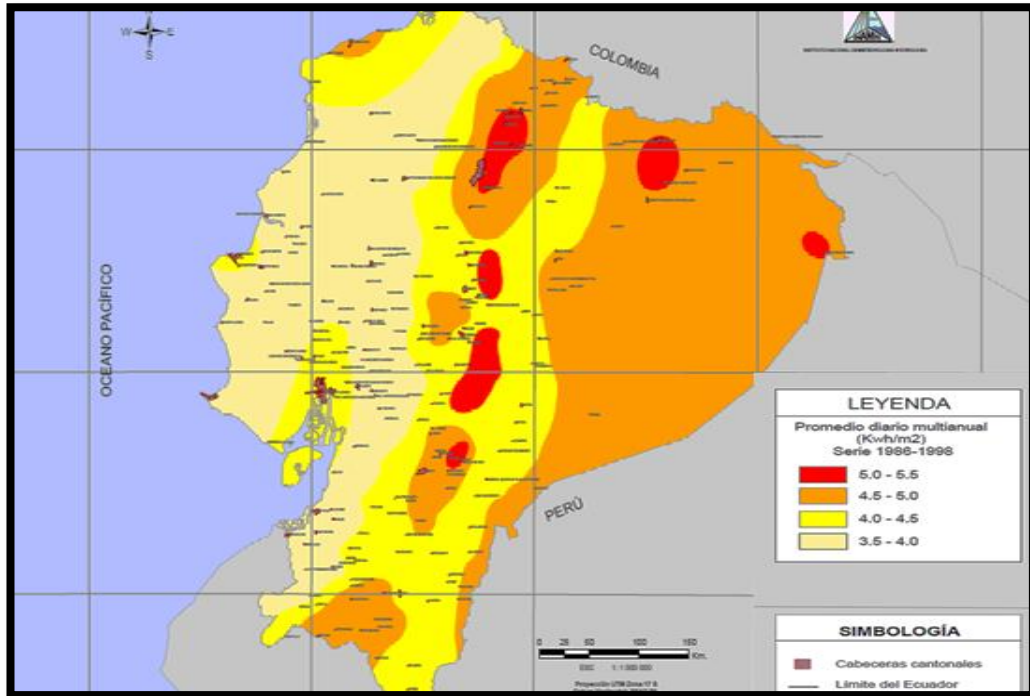
La energía solar es una fuente que se la considera entre las menos agresivas con el medio ambiente, ya que es una fuente de energía inagotable y además renovable, que se genera de forma natural en el lugar donde todos los seres vivos se desarrollan, sin tener que alterar el ecosistema para su aprovechamiento.

La mareomotriz es una fuente de energía renovable pero para su aprovechamiento es necesario tener altos recursos económicos, por lo que se ha descontinuado su aprovechamiento y también por su impacto ambiental que supone, la energía de las olas con la energía de las corrientes marinas tienen un bajo impacto ambiental, pero aún se realizan estudios para determinar su nivel de afectación al ecosistema.

En el Ecuador, la aplicación de energías renovables ha sido casi nula, y de esta forma se está dejando de aprovechar los beneficios que se puede tener cuando se utiliza este tipo de energías, por su ubicación geográfica el Ecuador posee diversos tipos de climas como: cálido, cálido húmedo y tropical, que brindan una característica importante para la realización de estudios de factibilidad para la generación de energía eléctrica en base a energía solar, debido al cambio climático que se registra en el mundo y nuestro país no ha sido la excepción, tanto que han llegado a registrarse temperaturas muy elevadas, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) las mayores temperaturas se registran en la región interandina.

En esta zona la temperatura máxima absoluta es de mayor intensidad respecto al resto de regiones, la temperatura es directamente proporcional a la incidencia de sol que se ve reflejada en la zona, en la cual las cifras que se registran en la zona ecuatorial y más precisamente en la provincia de Imbabura es de 4,5 a 5,0 kWh/m² según muestra la Figura N° 1. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI).

Figura N° 1: Irradiación solar global del Ecuador



Fuente: (INAMHI), http://www.inamhi.gob.ec/mapas/3Irradiacionglobal_A0.pdf

A nivel mundial instituciones de educación superior se sienten en la necesidad de desarrollar y aportar con estudios tecnológicos de nuevas formas de producción de energía eléctrica para reducir los impactos ambientales y el calentamiento global, mediante la explotación racional de energías limpias y renovables.

1.2 Planteamiento del problema

Culminando del siglo XVIII, se ponen en operación las primeras centrales de generación de energía eléctrica siendo la generación hidroeléctrica la pionera en algunos países desarrollados del mundo en Estados Unidos y países de la Unión Europea, aquel descubrimiento dio lugar al desarrollo e investigación de distintas formas, tecnologías, mediante las cuales se puede obtener energía eléctrica que con el pasar

de los años éstas contribuyen a que el calentamiento global se acelere dando lugar a la generación de contaminantes en el ecosistema y en los hábitats donde estas se desarrollan.

La generación hidroeléctrica en la actualidad es la técnica más utilizada en la región para producir energía eléctrica, sin embargo, involucra problemas medioambientales que se derivan a partir de la necesidad de tener que construir grandes embalses o represas en las que se acumula agua en grandes cantidades. El tener la energía potencial lista para utilizarse, implica que el agua aumente su salinidad, que se produzca enormes cantidades de metano y dióxido de carbono hacia la atmósfera debido a la descomposición de materia vegetal sin oxígeno, impedimento de circulación de fauna acuática, afectación a los lechos de los ríos, erosión, factores que afectan el ecosistema del lugar donde se asientan las centrales.

Las termoeléctricas emplean combustibles fósiles que liberan al medio ambiente dióxido de carbono que es el principal responsable del calentamiento global, además se puede considerar que dependiendo del combustible que usan estas centrales emanan a la atmosfera por ejemplo: óxidos de azufre, polvo, óxido de nitrógeno, variantes de residuos sólidos.

Las centrales nucleares producen una variedad de residuos radiactivos que afectan directamente al medio ambiente y a su vez a todos los seres vivos que en éste habitan, exponiéndolos a enfermedades alteraciones genéticas, cáncer y extinción de las especies.

Las centrales eólicas provocan la muerte de aves que chocan con las aspas de los aerogeneradores, generan ruido a frecuencias bajas perjudiciales para los seres vivos.

Las centrales mareomotrices necesitan de una inversión al inicio muy elevada debido a que se tarda muchos años en la construcción de las mismas.

En las últimas tres décadas la forma de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del sol ha ido evolucionando con la experimentación de diferentes tecnologías como son: Centrales de colectores cilindro parabólicos, sistemas de receptor central con campo de helióstatos, sistemas de disco reflector parabólico y motor Stirling, los cuales están en constante estudio y perfeccionamiento, el objetivo de desarrollar sistemas de generación libres de contaminación e impacto ambiental permite reducir el calentamiento global y poder aportar en gran parte al desarrollo de las energías renovables actualmente llamadas energías verdes o ecológicas.

La forma de obtener energía eléctrica a partir de los sistemas disco motor se considera energía limpia y sin impacto ambiental, esta tecnología se la puede aprovechar y aplicar en lugares remotos o de difícil acceso a las redes convencionales de servicio eléctrico, esto ha generado una amplia base de apoyo social y político, especialmente en países de Europa y Norte América, los cuales han facilitado el desarrollo, estudio y la implementación de sistemas de generación termo solar en dichos países.

En el Ecuador el estudio e implementación de nuevos sistemas para generación de energía eléctrica está en sus inicios con la producción de energía eólica en las islas Galápagos, pequeños proyectos de centrales de generación fotovoltaica pero aún no se ha implementado sistemas de generación termo solar motivo por el cual se planteó el estudio de un sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico y motor Stirling.

El estudio tendrá la finalidad de impulsar a la población ecuatoriana, especialmente en el norte del país a optar por la utilización de sistemas de generación termo solar y al mismo tiempo, reducir el consumo de energías contaminantes de alto impacto ambiental, con la finalidad de ir sustituyendo las mismas con la utilización de energías renovables sustentables y libres de contaminación.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo diseñar un sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico y motor Stirling e implementar un aplicativo para la alimentación de un filtro de purificación de agua con luz ultra violeta?

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Temporal

La investigación teórico práctica se la realizó en el período académico 2014-2015, esto se lo ejecutó tomando en cuenta el tiempo estimado de prueba para el funcionamiento del sistema.

1.4.2 Espacial

El estudio de generación termo solar se realizó en base a datos estadísticos de irradiación solar de la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, Barrio El Olivo, dicho estudio permitió el diseño del sistema para la alimentación de un filtro de purificación de agua con luz ultra violeta que se implementó en las instalaciones de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.

1.4.3 Tecnológica

Para la implementación del aplicativo se ejecutó la adquisición y montaje de los elementos constitutivos del sistema de generación termo solar realizando las siguientes tareas:

- Diseño y construcción del disco parabólico receptor.
- Adquisición de un motor Stirling.
- Adquisición de un generador AC de Imanes permanentes.
- Diseño esquemático del aplicativo.

1.4.4 Teórica.

- Estudio del funcionamiento del motor Stirling.
- Diseño del concentrador.
- Estudio de las características de funcionamiento de los dispositivos que conforman el sistema del aplicativo.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Realizar el estudio de un sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico y motor Stirling e implementar un aplicativo para la alimentación eléctrica de un filtro de purificación de agua con luz ultra violeta en las instalaciones de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la escuela de Educación Técnica de la FECYT.

1.5.2 Objetivos específicos

- Investigar el sistema de generación termo solar mediante la utilización de disco reflector parabólico y motor Stirling.

- Investigar los niveles de radiación solar, sobre la zona geográfica de estudio para determinar la factibilidad del proyecto.
- Diseñar el sistema para la alimentación y operación del aplicativo.

1.6 Justificación

El problema de la generación termo solar hace algunos años era el costo de implementación y la pérdida de potencia que se generaba.

Actualmente ha tenido una evolución en cuanto a la utilización y rendimiento de sistemas con unidades independientes con reflector parabólico, conectado a un motor Stirling situado en el foco. Las potencias de cada unidad van de 5 a 25 kW, esto dependiendo del tamaño del disco y la capacidad del motor Stirling, lo cual ha permitido la optimización en la producción y eficiencia de estos sistemas; la reducción en costos de producción que oscila entre 0,17 y 0,22 USD/kWh, además de reducción en emisiones e impacto ambiental.

Los sistemas disco Stirling se componen de vidrio, metal ligero y fibra de vidrio. Estos materiales tienen un proceso productivo más sencillo que el de las placas de silicio de sistemas fotovoltaicos, estos materiales son fácilmente reciclables lo que permite su reutilización en futuras instalaciones en un porcentaje muy elevado.

Se destaca la importancia de conseguir un sistema de fabricación sostenible de sistemas disco Stirling, acorde de la normativa ISO 14001, según la cual el proceso de diseño debe contemplar todos los aspectos de la vida del producto, incluido su proceso de reciclaje tras el fin de su vida útil con la finalidad de garantizar la reducción del impacto ambiental; el proyecto se sustenta en la generación de energía pura y libre de contaminación, dicha energía se obtiene a través de la radiación solar, otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta es la posición geográfica del país, ya que la mayoría de ciudades del Ecuador reciben

abundante energía en forma de radiación solar lo que optimizara en un alto porcentaje la eficiencia de todo el sistema a implementarse.

El funcionamiento del purificador de agua utiliza el principio de depuración basado en luz ultravioleta, que garantiza la salud integral de las personas, esto es un importante aporte para cumplir con la misión y visión de la Universidad Técnica del Norte y aportar con los proyectos de energías sustentables y libres de contaminación para cooperar con el desarrollo sostenible y estudio de energías limpias en nuestra provincia y en el país.

1.7 Aporte

La implementación de este sistema de generación eléctrica alternativo permite dar a conocer una tecnología en auge que está siendo utilizada en países como EEUU, Japón, España, entre otros, aprovechando la radiación solar, y su transformación en energía eléctrica.

La implementación del aplicativo permite a los estudiantes visualizar los componentes del sistema y la importancia del estudio de las energías renovables e incentivará a realizar investigaciones futuras para aportar con el mejoramiento del sistema y aportar con el desarrollo de prototipos de este tipo de generación de electricidad mediante la utilización de fuentes de energías renovables.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación teórica

El sol es considerado como una fuente inagotable de recursos para el ser humano, éste provee una energía limpia, abundante y disponible en toda la superficie terrestre, la misma que puede en gran magnitud liberar al planeta de los problemas ambientales generados por todas las formas convencionales de generación de energía eléctrica, como las que utilizan recursos fósiles petróleo, carbón, gas natural. Cabe destacar que a pesar de tener un avance tecnológico en la actualidad el aprovechamiento de la energía del sol ha sido insignificante, comparado con el consumo global de energía en el planeta. Los rayos del sol son captados por toda la superficie terrestre van en el orden de 1kW/m^2 en el medio día, esto varía según varios factores como latitud, humedad, nubosidad, etc. La principal desventaja que presenta el sol es su intermitencia.

En estación invernal en donde más se necesita de los rayos del sol, estos son emitidos en menor cantidad de modo que esta energía solar no la tenemos disponible a todo momento y no concuerda en muchos casos con la demanda que se quiere satisfacer. Es necesario el almacenamiento de energía para un determinado tiempo de autonomía y si se ve superado este tiempo ser complementado con otros sistemas de respaldo de energía.

José M. Fernández Salgado (2010) afirma:

Para el aprovechamiento destinado a la aplicación de la energía solar es necesario realizar los siguientes procesos: Captación y concentración de la energía solar, transformación para su utilización, almacenamiento para satisfacer uniformemente la demanda con un tiempo de autonomía establecido, disponer de una fuente energética suplementaria disponible si se supera el tiempo de autonomía, transporte de la energía almacenada para su utilización en los puntos de consumo. (Pp.1-2)

Para poder lograr una optimización de las inversiones a una solución técnica en un diseño de generación de energía solar térmica es necesario realizar un estudio detallado para poder conocer cuál es el tiempo de autonomía adecuado para la satisfacción energética de la demanda y tener en cuenta que cuanto mayor es la capacidad de almacenamiento de energía, menor será el tamaño de las fuentes energéticas suplementarias.

2.2 Fuentes de energía

2.2.1 Fuentes de energía no renovable

José M. Fernández Salgado (2010) afirma: “Se define usualmente como fuente de energía no renovable a aquella que está almacenada en cantidades inicialmente fijas, comúnmente en el subsuelo. A medida que se consume un recurso no renovable, se va agotando” (p.4).

2.2.2 Tipos de energía no renovable

La energía fósil es aquella que tiene su origen de la biomasa obtenida desde hace millones de años y que ha sufrido inmensos cambios los mismos que han dado paso a la formación de sustancias como por ejemplo el petróleo, carbón, o gas natural, etc., se conoce como energía fósil la que se obtiene a partir de la combustión de determinadas sustancias anteriormente mencionadas.

El petróleo en la actualidad es una fuente de energía muy importante, en materia prima para muchos procesos en lo que se refiere a la industria

química, es una mezcla de algunos hidrocarburos los mismos que están compuestos de hidrógeno, carbono en estado líquido y además con una variedad de impurezas que en conjunto se llama crudo.

Después que se lo explota entra a diferentes procesos o también llamada refinación obteniendo diferentes derivados que son utilizados día a día por la sociedad tal es el ejemplo de la gasolina, diesel, kerosén, gas licuado de petróleo. A nivel mundial este recurso ya no existe en abundantes cantidades ya que está en fase de agotamiento debido a motivos energéticos y financieros que exige la sociedad mundial.

El gas natural está constituido principalmente de metano y pertenece a la parte más ligera de los hidrocarburos, se lo encuentra en yacimientos en muchos de los casos acompañado del petróleo en forma gaseosa y normalmente se encuentra en el subsuelo continental y marino.

El carbón mineral está compuesto principalmente de carbono al igual que los anteriores de origen fósil y en grandes yacimientos en el subsuelo este es una roca dura de color oscuro o negro. En todo el mundo el carbón mineral es muy abundante, pero los daños ecológicos que provoca son mayores que los provocados por el petróleo y sus derivados.

La energía geotérmica es aquella que se puede obtener mediante el aprovechamiento de calor del magma que está en el interior de la tierra, en forma de vapor. Por medio de procesos térmicos se puede generar energía eléctrica en las plantas que comúnmente se las llama geotermoeléctricas.

José M. Fernández Salgado (2010) menciona:

La energía nuclear se obtiene de la modificación de los núcleos de algunos átomos, muy pesados o ligeros. En esta modificación, cierta fracción de su masa se transforma en energía. La liberación de energía nuclear, por tanto, tampoco involucra combustiones, pero sí produce otros subproductos agresivos al ambiente. (p.5)

2.2.3 Fuentes de energía renovable

Se dice que una fuente de energía es renovable cuando su cantidad disponible no disminuye a medida que se la consume como también se puede decir energía renovable a la que se maneja adecuadamente para aprovecharla ilimitadamente el viento, las olas, biomasa, entre otras.

La energía eólica es aquella energía que se aprovecha del viento, tal aprovechamiento se ve reflejado en algunas aplicaciones como por ejemplo: Generación eléctrica, bombeo de agua, transporte de veleros, entre otras, la energía eólica está asociada con la energía solar ya que en cierto modo el movimiento del aire de la atmosfera se debe al calentamiento provocado por el sol.

El aprovechamiento del vaivén de las olas del mar es otra de las formas de generación de energía eléctrica, es una fuente de energía renovable que tiene como principal protagonista a las olas, estas son producidas por medio del efecto del viento sobre el océano, por lo que también es una forma que se deriva de la energía solar.

La energía de la biomasa es aquella que se la obtiene a partir de compuestos orgánicos mediante procesos naturales, cuando se habla de energía de la biomasa se hace mención a la energía solar que en otras palabras está convertida en materia orgánica por la vegetación, a partir de la fotosíntesis las plantas utilizan la energía solar para producir sustancias con alto contenido energético, esta energía se la puede recuperar mediante la combustión directa o transformando esta materia orgánica en otros combustibles como por ejemplo alcohol, metanol, biogás de composición idéntica o parecida al gas natural, a partir de desechos orgánicos.

La energía maremotérmica conocida como, conversión de energía térmica oceánica (OTEC), es uno de los tipos de energía renovable, su principio de funcionamiento es utilizar las diferencias de temperaturas de las aguas oceánicas profundas más frías, y las superficiales más cálidas, para poder mover una maquina térmica que comprende un motor de calor y así poder producir un trabajo útil, en general en forma de electricidad.

Los factores principales que caracterizan a las energías renovables son:

- Los beneficios medioambientales que presentan las energías renovables son muy positivos debido a que sus tecnologías tienen menores niveles de impacto ambiental, y menores emisiones contaminantes con respecto a las energías tradicionales.
- Las energías renovables no desaparecerán nunca y garantizan energía a futuro sin sacrificar nada a cambio tales energías renovables son: el viento, el sol, la biomasa, etc.
- El uso de energías renovables para producir energía eléctrica conlleva consigo el llegar a adquirir seguridad energética, el incremento del uso de las fuentes de energía renovable y bajar la dependencia de países que exportan energía eléctrica a altos costos.
- Este tipo de energías en auge generan empleo y el costo de la energía será más barato a largo plazo generando economía regional y así promover la construcción de más suministros energéticos renovables, en lugar de importar recursos energéticos cotosos ya que se utilizan materiales y recursos humanos para el mantenimiento y la construcción de las nuevas tecnologías.

2.3 Energía solar

La utilización de la energía solar para funciones cotidianas fue indispensable para el ser humano hace algunos siglos atrás, pero con la llegada de la revolución industrial este tipo de energía natural alternativa fue totalmente sustituida por los combustibles fósiles.

Hace algunos años y hasta en la actualidad se han venido desarrollado varias tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar y que a partir de esta se pueda generar energía eléctrica, probablemente la más conocida sea la que se basa en la utilización de paneles solares o llamada también fotovoltaica, sin embargo hay otras formas de conseguir energía eléctrica a partir de la radiación solar y posiblemente con mejores resultados de ahorro de energía, eficiencia y libres de contaminación.

Otra de las formas de generar energía eléctrica a partir de la radiación solar es concentrándola en un receptor para poder obtener energía solar térmica o termo solar la misma que es utilizada inmediatamente, cuyo principio de funcionamiento es el ciclo termodinámico, dicho fenómeno se lo obtiene en base a la captación de la radiación solar, por medio de espejos y materiales reflectantes como el acero y aluminio.

2.3.1 Energía solar fotovoltaica

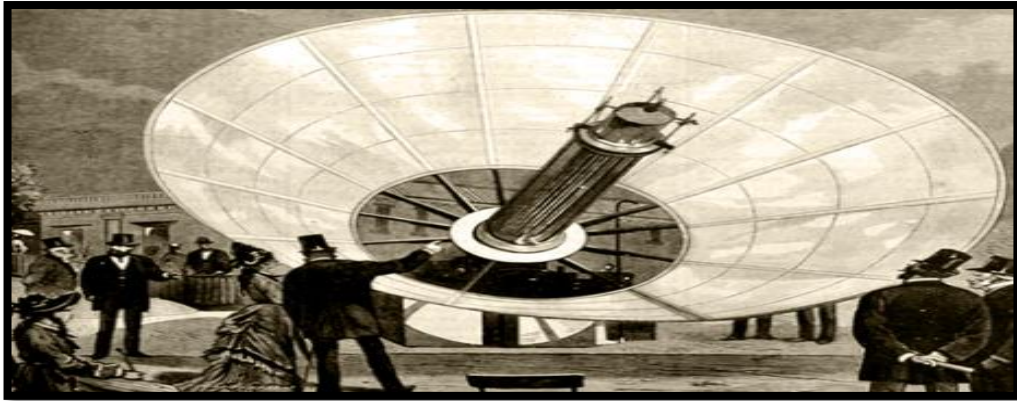
Javier María Méndez (2011) afirma: “La energía solar fotovoltaica es una energía que emite la radiación solar y es aprovechada para convertirle directamente en electricidad en base a células o paneles solares, que actualmente son una gran opción para la generación de electricidad”(p. 13).

2.3.2 Historia de la energía termo solar

Augustin Mouchot, francés licenciado de física y matemática en el año de 1.860 construyó una cocina solar posteriormente en 1.878 inventó una máquina que constaba de un motor solar con reflector parabólico, una caldera cilíndrica, motor a vapor, en si era un gran captador solar que estaba recubierto de espejos que concentraban la radiación solar en un solo punto, el calor que se generaba excitaba al motor de vapor, con esta

máquina pudo demostrar que se podía obtener hielo a partir del calor que se producía a partir de la radiación solar concentrada .

Figura N° 2: Concentrador solar de Mouchot



Fuente: (<http://landartgenerator.org/blagi/wp-content/uploads/2012/02/Mouchot2.jpg>)

En Egipto en el año de 1.913 el norteamericano Frank Shuman, implementó la primera planta termo dicha planta constaba de 5 reflectores grandes, cada reflector medía 62 metros de largo los mismos que estaban compuestos de espejos de vidrio que daba lugar a una forma de cilindro y al mismo tiempo tenía forma de parábola. Cada unidad concentraba la radiación solar a lo largo de una tubería que contenía agua, el vapor que se generaba alimentaba un motor que a su vez excitaba una bomba, por medio de este sistema de aprovechamiento de la energía termo solar se pudo transportar aproximadamente 6.000 galones de agua por minuto a lugares cercanos desde del Rio Nilo.

Durante el mandato de Jimmy Carter, en ese entonces presidente de los Estados Unidos de Norte América, entre los años de 1.977 a 1.981, impulsó el inicio de las plantas termo solares debido a la crisis del petróleo en aquella época, dichas plantas se las llamaba SEGS (Solar Energy Generating System) y para dar inicio a este tipo de tecnología, instaló colectores solares térmicos en el tejado de la Casa Blanca para poder calentar el agua.

En California en el año de 1.984 se implementó la primera planta, la misma que funcionaba en base a un sistema de concentrador cilindro parabólico, cada concentrador estaba distribuido paralelamente en filas y conectados en serie en una área determinada llamada también campo solar, la radiación solar captada se convertía en energía térmica, la misma que permitía calentar el aceite que circulaba por la tubería que se situaba en el punto focal de cada concentrador. El aceite caliente era enviado a un intercambiador de calor que daba lugar al vapor sobrecalentado, el mismo que se utilizaba para hacer girar una turbina y este a su vez accionaba un generador y así es como se producía la energía eléctrica.

En la actualidad varios países como EEUU, España, entre otros se inclinan por el aprovechamiento de la energía termo solar, independientemente del tipo de tecnología que estos utilicen.

2.3.3 Energía termo solar

Este tipo de energía es aquella que se la obtiene mediante algún tipo de medio para poder concentrar o calentar un receptor, la energía solar que es emitida por el sol se transforma en energía térmica, por ejemplo para aplicaciones de climatización de viviendas, refrigeración, etc

2.4 El sol

La energía solar o radiación solar se origina en el interior del sol como fuente primaria, en donde hay una temperatura de (15×10^6) °C ó (27×10^6) °F y la presión es de 340×10^9 veces la presión del aire en la tierra al nivel del mar, estos dos parámetros son tan intensos que llevan a cabo la reacciones nucleares. El sol es la principal fuente de energía que se manifiesta en la tierra en forma de luz y calor, es la estrella más grande de todo el sistema solar y la más cercana a la tierra.

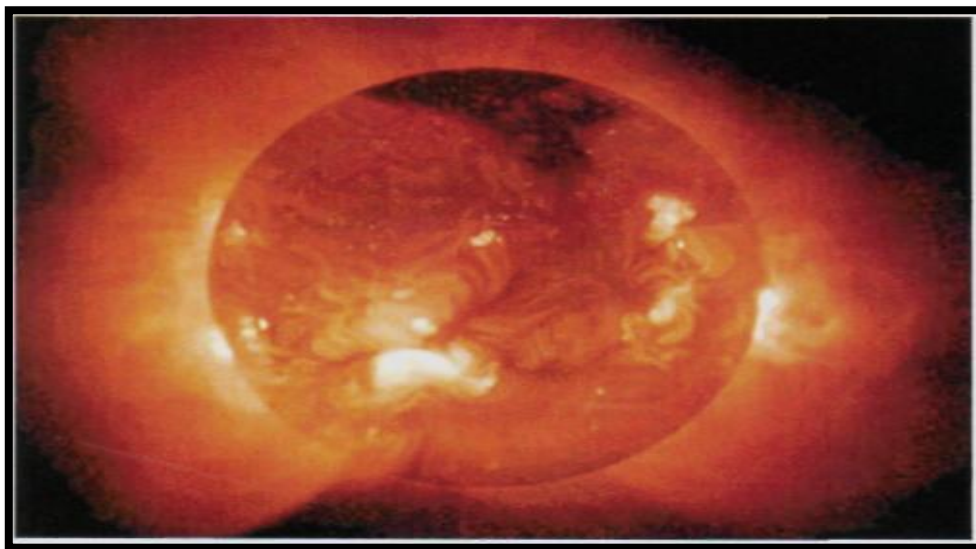
El sol es una estrella solitaria, considerado el astro más importante para el ser humano, es de forma esférica y su luz tarda 8'18" en llegar a la Tierra.

El sol está compuesto de 70% hidrogeno considerado el gas más común y ligero de todo el universo, 25% de helio y el 5% lo comprenden el carbono, oxígeno, nitrógeno, azufre, neón, magnesio y hierro.

El sol acapara más del 99% de la materia del Sistema Solar, este ejerce una gran fuerza de atracción gravitatoria sobre los planetas, los mismos que giran a su alrededor,

Santiago García Garrido (2009-2013) afirma: "El sol como cualquier otra estrella activa, es un gigantesco reactor de fusión donde por cada segundo se generan 600 millones de toneladas de helio a partir de hidrógeno, liberándose una potencia calorífica estimada en $3,85 \times 10^{23}$ kW térmicos" (p.55).

Figura N° 3: El sol fuente de energía de la tierra



Fuente: Santiago García Garrido (2009-2013), En su libro Centrales Termosolares CCP, Volumen 1

La gran liberación de energía que genera el sol es debido a la pérdida de masa del sol, convirtiéndose esta en energía de acuerdo a la fórmula

que descubrió el científico alemán Albert Einstein, $E = m \cdot c^2$, donde “E” es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa “m” y “c” es la velocidad de la luz.

El sol es un cuerpo que emite energía radiante a una temperatura superficial de alrededor de 5.506,85 °C ó 9.944 °K.

La intensidad de la radiación que se recibe en cualquier día va a depender del ángulo de inclinación de la misma radiación, entre más pequeño sea el ángulo formado entre la radiación solar y la superficie terrestre, la atmósfera será de mayor espesor creando resistencia al paso de la radiación solar hacia la superficie terrestre.

La radiación solar que se recibe en la superficie terrestre va a estar sujeta a condiciones previsible estas con lo que se refiere al movimiento aparente del sol y condiciones imprevisibles son aquellas que se refiere con presencia de polvo, vapor de agua condensada en la atmosfera sea en forma de nubes o nieblas, en si condiciones climáticas y ambientales que estén presentes en cualquier superficie terrestre.

2.5 Constante solar

Santiago García Garrido (2009-2013) dice:

La constante solar es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del Sol. Los resultados de su medición por satélites arrojan un valor promedio de 1.366 W/m². (p.57)

La constante solar será mayor cuando más cerca esté la tierra con respecto al sol, la variación de esta constante entre la posición más alejada y la más cercana es de 7 W/m². La radiación emitida desde el sol hacia la tierra no toda incide directamente en la superficie.

La distancia del sol con respecto a la tierra, el diámetro y la temperatura del sol permiten determinar la constante solar.

La cantidad de energía disponible viene dada por la constante solar que se la conoce como también (G_{sc}).

Figura N° 4: Constante solar



Fuente: Centrales Termosolares CCP, Volumen 1 (2009-2013)

2.6 Tipos de radiación

2.6.1 Radiación directa

Es aquella que se recibe directamente desde el sol sin que se obstruya su paso por la atmosfera.

2.6.2 Radiación difusa

Es aquella que llega a la superficie de la tierra después de haber cambiado su dirección al pasar por la atmosfera terrestre. El desvío de rayos solares se da debido al choque de estos con ciertas moléculas y partículas contenidas en el aire, este tipo de radiación es la que se la

recibe después de haber hecho su paso por las nubes, si no hubiese la radiación difusa el cielo se lo vería negro y no azul.

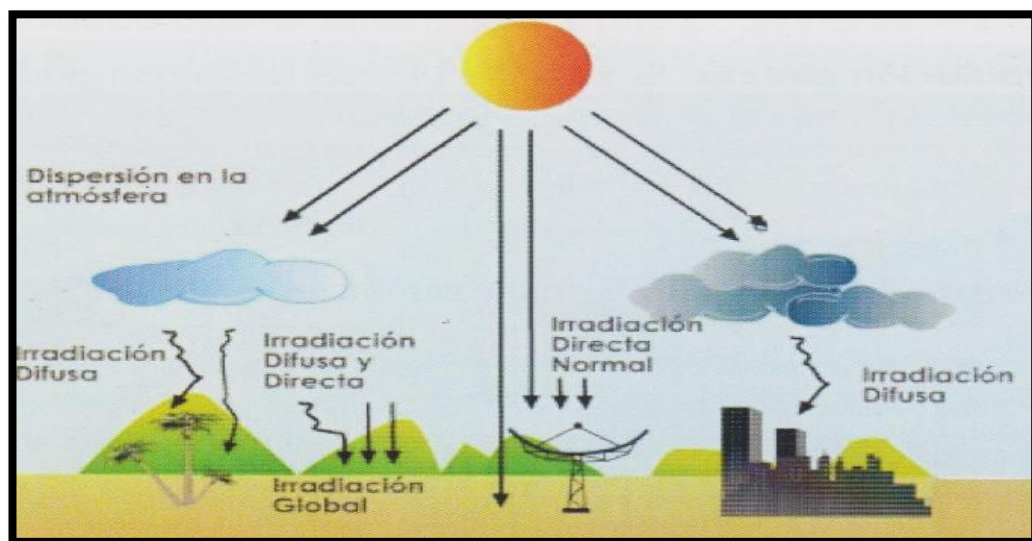
2.6.3 Radiación terrestre o reflejada o de albedo

Es la radiación solar reflejada a través de objetos terrestres por ejemplo la que refleja un charco, una pared blanca o un lago.

2.6.4 Radiación total

Esta radiación comprende todas las anteriores. Para el caso que se quiere medir la radiación solar para un proyecto solar y si no hay radiación de albedo se considera la radiación global que es la que comprende a la directa y la difusa

Figura Nº 5: Componentes de la radiación terrestre total



Fuente: Centrales Termosolares CCP, Volumen 1 (2009-2013)

2.6.5 Irradiancia

Es la cantidad de energía instantánea que se recibe por metro cuadrado de superficie su unidad de medida es W/m^2 , en otras palabras

es la potencia recibida por unidad de superficie, la irradiancia se la denota con la letra G, conjuntamente con los subíndices G_o, G_b, G_d, siendo la irradiancia extraterrestre, difusa y directa respectivamente.

2.6.6 Irradiación

Es la energía recibida durante un periodo de tiempo determinado en una superficie definida, su unidad de medida es MJ/m² o W.h/m² y año, es decir es la energía recibida por unidad de superficie registrada en un año.

La relación entre la irradiancia y la irradiación se la puede denotar por medio de la siguiente expresión: $I = \int_{t_1}^{t_2} G(t)dt$; donde la irradiación se la calcula desde el tiempo t₁ al tiempo t₂, siendo la irradiancia considerada función de tiempo.

2.7 Instrumentos de medición de la radiación

Para poder medir la radiación solar se utilizan algunos instrumentos radiómetros como por ejemplo los solarímetros o piranómetros y los pirheliómetros; según sus características pueden medir radiación solar global(directa y difusa), directa desde el rayo solar, difusa y brillo solar.

Tabla N° 1: Instrumentos de medida de radiación

Instrumentos meteorológicos de medición de radiación solar	
Tipo de Instrumento	¿Qué mide?
Piranómetro	Radiación directa, difusa, normal
Piranómetro espectral	Radiación global en intervalos espectrales de banda ancha
Pirheliómetro absoluto	Radiación directa
Pirheliómetro de incidencia normal	Radiación directa
Pirheliómetro (con filtros)	Radiación directa en bandas espectrales anchas
Actinógrafo	Radiación global
Heliógrafo	Brillo solar

Figura N° 6: Piranómetro



Fuente: (<http://sensorvant.com/img/meteorologia/radiacionsolar/piranometro-termico-LP02.png>)

Figura N° 7: Pirheliómetro (mide irradiancia normal directa)



Fuente: Centrales Termosolares CCP, Volumen 1 (2009-2013)

Figura N° 8: Actinógrafo (mide radiación solar global diaria)



Fuente: <http://meteorologia.pucp.edu.pe/estacion/eobjetos/actinografo.jpg>

Figura Nº 9: Heliógrafo (brillo solar)



Fuente: <http://ram.tiempo.com/numero26/imagenes/oj1.jpg>

2.8 Sistemas termo solares de concentración

Los sistemas que transforman las componentes directas de la radiación solar en cualquier otro tipo de energía para su determinada utilización o almacenamiento, se los considera sistemas termo solares de concentración.

Las tecnologías más usadas en este tipo de sistemas y siendo las más relevantes tenemos: los colectores cilindro parabólicos, los sistemas de receptor central o torre, y por último los discos parabólicos o llamados también disco-motor.

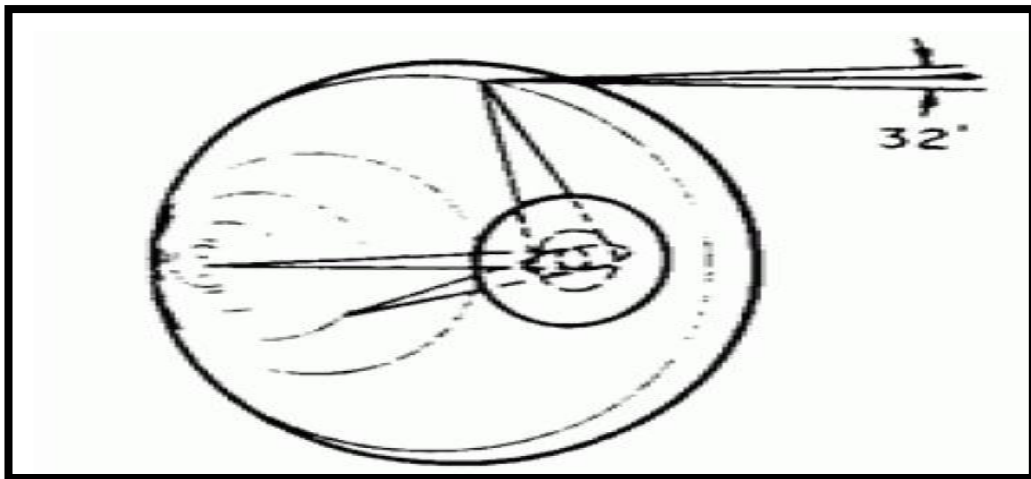
Los sistemas de colectores cilindro parabólicos son aquellos que concentran la radiación en un eje, esta concentración también es la llamada concentración bidimensional, mientras que los sistemas de receptor central y los discos parabólicos estos modelos concentran en un punto en específico conocida como concentración tridimensional, y llega a alcanzar mayores relaciones de concentración.

Los sistemas termo solares de concentración son aquellos que se caracterizan por la función que cumplen sus dispositivos que los comprenden, ya que permiten redireccionar la radiación solar en una

determinada superficie de captación y es concentrada sobre una superficie más pequeña llamada superficie absorbadora, el cociente de estos dos tipos de superficies que permiten estos sistemas termo solares de concentración se lo conoce como factor de concentración.

El factor de concentración máximo que se puede obtener de un sistema de concentración termo solar depende de la distribución angular de la radiación solar.

Figura N° 10: Cono de direcciones procedentes del disco solar



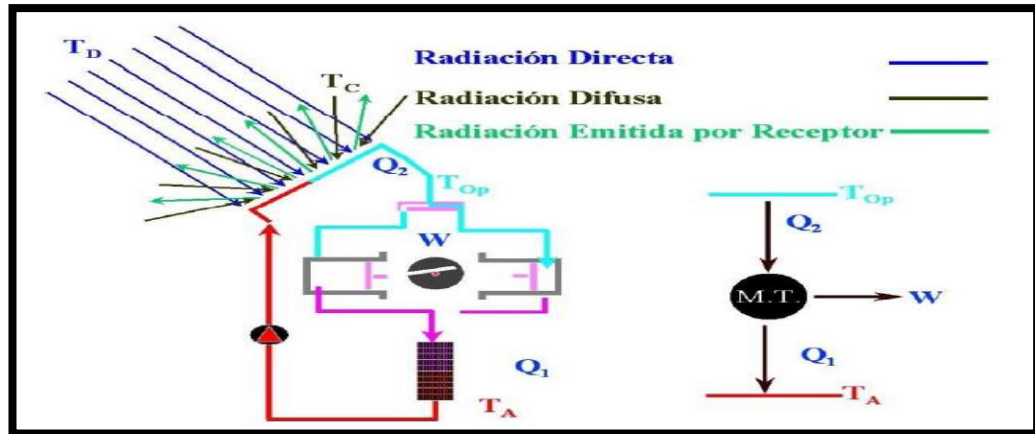
Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

De la gran variedad de sistemas y tecnologías para el aprovechamiento de la radiación solar en lo que se refiere a sistemas termo solares son tres los que han alcanzado un buen grado de desarrollo para propósitos de generación de energía eléctrica, vapor de proceso o ambos a la vez, los mismos que en la actualidad se los están implementando en países como por ejemplo en EEUU, España, Japón, Chile, etc. Los sistemas de concentración termo solar facilitan el aprovechamiento de los rayos del sol de una manera más eficiente y eficaz que los sistemas no concentradores.

A continuación en la Figura N°11. Se muestra un diagrama de un sistema termo solar en donde el receptor transforma la energía solar en

energía térmica, y por medio de un ciclo de potencia esta energía es transformada en un trabajo mecánico.

Figura N° 11: Esquema simplificado de sistema termo solar.



Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

La segunda ley de la termodinámica dice que el rendimiento de una máquina térmica será mayor cuando más alta sea la temperatura de operación (T_{Op}), que al mismo tiempo está ligada a la temperatura del receptor o llamada también temperatura de captación.

Las pérdidas de energía son directamente proporcionales al área de la superficie absorbedora, se pueden reducir si se aumenta la relación de concentración

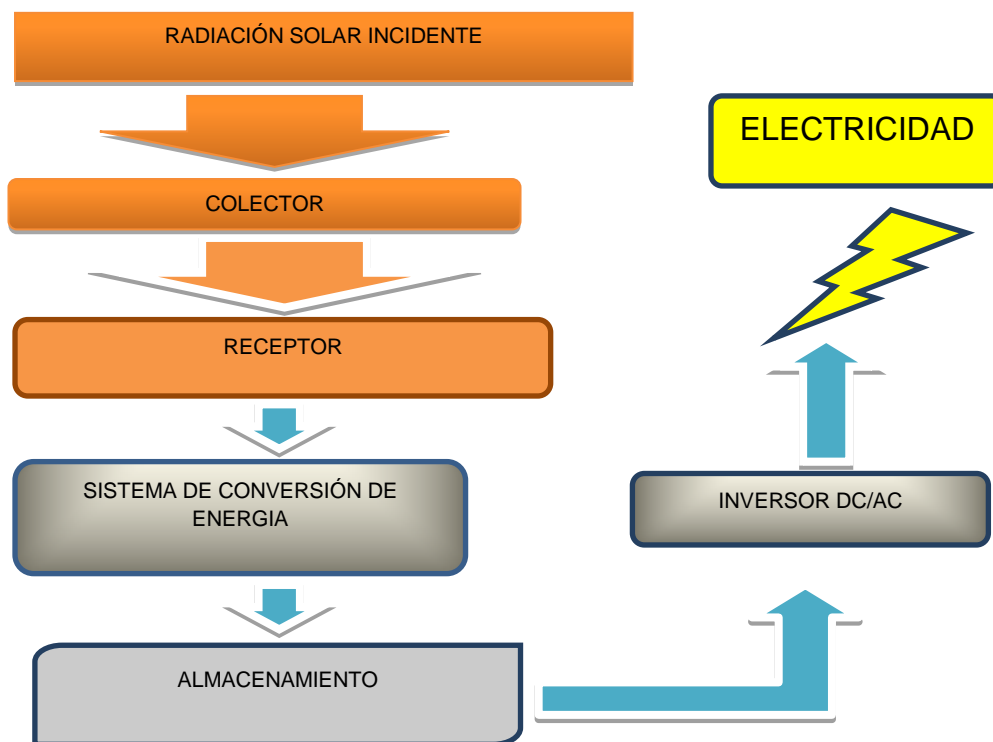
En una determinada temperatura constante de operación, su rendimiento será mayor siempre y cuando sea mayor el factor de concentración. Si el factor de concentración es directamente proporcional a la temperatura óptima de operación.

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía de los rayos del sol, los sistemas de concentración termo solar, están equipados de sistemas como: colector, receptor, conversor de potencia, además

pueden incluir un sistema de almacenamiento térmico y de combustible fósil.

El colector de un sistema de concentración termo solar capta y concentra la radiación solar sobre el receptor, dicha radiación solar se transforma en energía térmica normalmente tendiendo a elevarse.

Figura Nº 12: Esquema general de una central energética termo solar



Fuente: Los Autores, 2014.

Los sistemas más notables de centrales energéticas termo solares son: los sistemas de discos parabólicos y motores Stirling, receptor central, y los colectores cilindro parabólicos, cada tecnología tiene diferente nivel de desarrollo. Estos tres tipos de tecnologías son adecuados para la implementación en sistemas que solo aprovechan la radiación solar y como también en sistemas híbridos.

La capacidad que tienen estos tres sistemas de generación termo solar es que pueden integrar a las energías renovables y no renovables,

esta facilidad permite una viabilidad la transición a formas de generación eléctrica de energía limpia y sustentable como energía de potencia únicamente del sol.

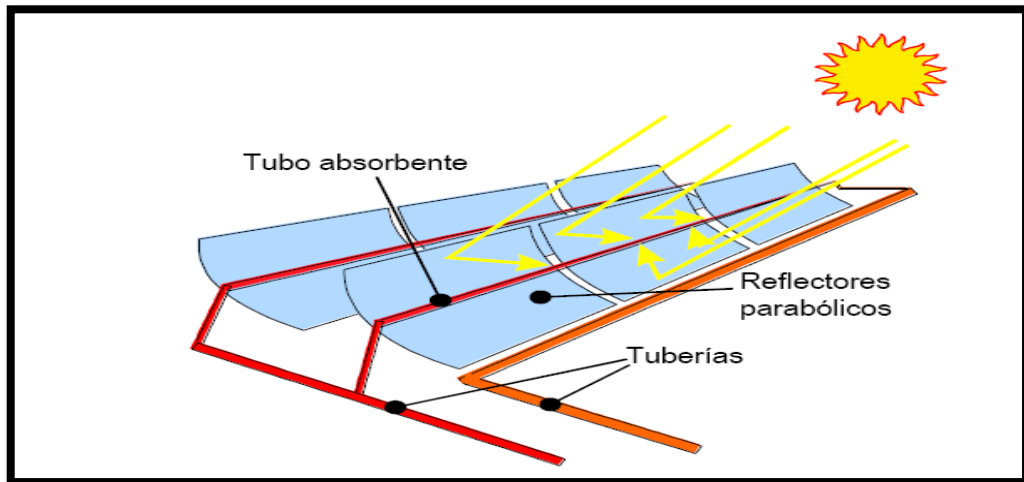
2.8.1 Sistemas colectores cilindro parabólicos

Esta tecnología de sistemas colectores cilindro parabólicos están constituidos principalmente de espejos reflectivos, como su nombre mismo lo dice estos tienen la forma cilindro parabólica los mismos que reflejan la radiación solar directa y concentrada en un tubo receptor que se sitúa a lo largo de una línea focal de la parábola formada, en el interior del tubo receptor circula el fluido de trabajo calentándose progresivamente a medida que los rayos solares son más intensos durante el día soleado.

Además de los espejos se suele utilizar películas o láminas de plata o aluminio, los mismos que se encuentran sobre un soporte de chapa metálica, vidrio o plástico, que le da rigidez al sistema.

Este tipo de sistema funciona con temperaturas que suelen ser alrededor de los 450 grados Celsius, el principio de funcionamiento es calentar el aceite térmico que está en el interior del tubo ubicado a lo largo de la línea focal, este fluido caliente produce vapor mediante un intercambiador que alimenta a una turbina la cual nos permite obtener energía eléctrica, otra manera es la de producir vapor directamente en el tubo focal.

Figura N° 13: Esquema de un sistema colector cilindro parabólico



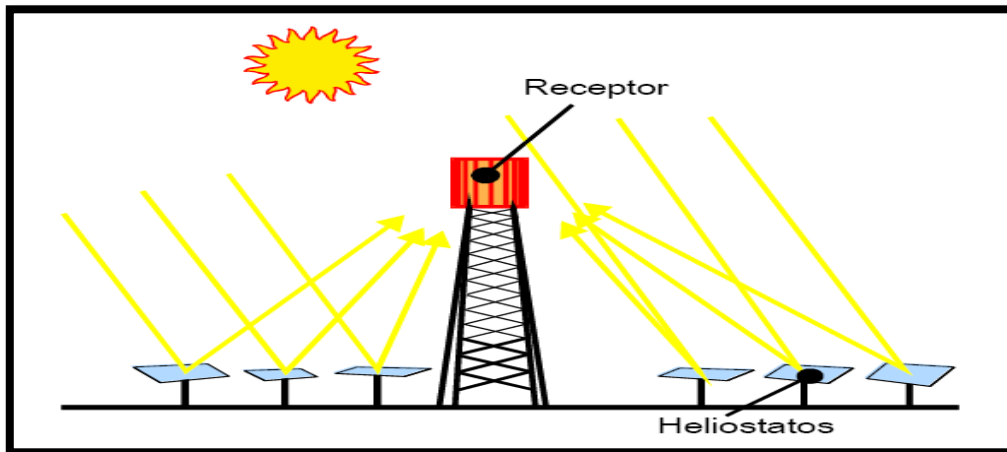
Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

2.8.2 Sistemas de receptor central

Este tipo de tecnología para poder captar una gran cantidad de radiación solar dispone de un grupo numeroso de unidades de espejos planos o también llamados heliostatos con seguimiento de rayos de sol en dos ejes, a campo abierto para que estos puedan reflejar la radiación incidente en un foco receptor en común, que normalmente está situado a una determinada altura sobre el suelo en una torre como se puede observar en la Figura N°14.

Este sistema termo solar de receptor central concentra la radiación solar en tres dimensiones y debido a esto alcanzan una alta cantidad de razón de concentración y por ende manejan altas temperaturas superiores a los 1.000 °C.

Figura N° 14: Sistema de receptor central



Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

El uso convencional de este sistema es la generación de vapor para poder generar energía eléctrica, en el receptor se calientan sales fundidas o aire que después transfieren calor al agua para que se transforme en vapor mediante un intercambiador de calor, además se puede evaporar el agua directamente en el receptor según la necesidad del sistema.

En el receptor también se puede calentar aire presurizado directamente a la salida del compresor, este entra a una cámara de combustión donde se ajusta su temperatura para que este bajo los parámetros necesarios para el funcionamiento de la turbina de gas, para poder transformar energía mecánica en eléctrica.

2.8.3 Sistemas de disco parabólico y motor Stirling

Este sistema permite generación de energía eléctrica en zonas aisladas o en plantas centralizadas, existen en operación en España y EEUU módulos de 7 a 25 kW

Los sistemas de disco parabólico se encuentran en fase de alto desarrollo. Se caracterizan por su alto rendimiento, modularidad y autonomía, este sistema no requiere de fluidos circulando en la planta

solar térmica lo que indica que son más simples notablemente y menos robustas, la potencia de concentración puede ser mucho mayor, lo que es directamente proporcional a la temperatura en el receptor y aún más eficiente el rendimiento del ciclo térmico.

De las tecnologías que concentran radiación en punto son dos las más relevantes las que se basan en discos parabólicos y las de torre central. Las primeras suelen utilizar espejos en forma de disco parabólico que permite captar y concentrar la radiación solar en el foco de la parábola, en este lugar geométrico de la parábola se ubica el receptor, el cual permite el calentamiento de un fluido que a su vez excita a un motor de ciclo Stirling, las segundas como anteriormente se ha hablado utilizan heliostatos distribuidos a lo largo de un campo solar y concentran en un punto en común situado a una gran altura.

Los discos parabólicos constituyen una gran variedad de unidades autónomas. La relación entre la distancia focal y el diámetro del concentrador ($f/D=0,6$), dicha relación se contempla para sistemas de foco externo, se puede obtener altas relaciones de concentración lo cual facilita llegar a conseguir temperaturas muy altas de operación entre los 650 y 800 °C, las cuales favorecen la eficiencia en el motor Stirling mayores a 40% en varios casos. La superficie cóncava del concentrador está cubierta de espejos de vidrio, espejos delgados, polímeros metalizados, los mismos que están fijados sobre un soporte fijado a una estructura de fibra de vidrio o membrana tensionada.

Santiago García Garrido (2012) declara:

Los receptores para sistemas disco/Stirling son de tipo cavidad, con una pequeña apertura y su correspondiente sistema de aislamiento. La unidad generadora está formada por un conjunto de espejos para reflejar y concentrar la radiación proveniente de los rayos del sol en un receptor, con el fin de alcanzar las temperaturas necesarias para convertir eficientemente el calor en trabajo. La radiación solar concentrada es absorbida por el receptor y transferida a un motor. (Pp.31-32)

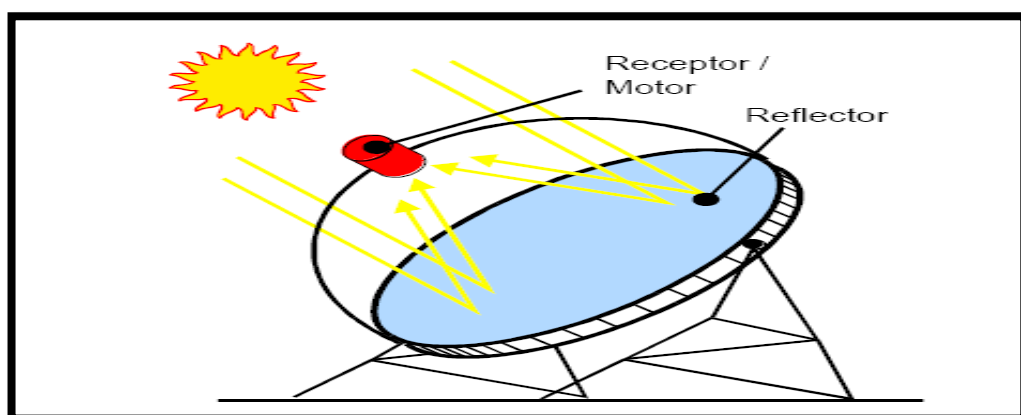
Este tipo de sistema disco-motor es una de las más antiguas tecnologías termo solares a partir del año 1.800, cuando algunas empresas desarrollaron sistemas solares sustentados por el ciclo Stirling.

La evolución de este sistema de concentración termo solar se dio entre los años 1.970 y 1.980 en algunas empresas de los Estados Unidos, que se basaban en pesadas estructuras de alto costo y ligadas al campo aeroespacial.

El desarrollo tecnológico ha permitido una evolución a gran escala de estos sistemas que en la actualidad son unidades autónomas y que incluyen un motor Stirling, este tipo de tecnología presenta muchas ventajas frente al reto de tecnologías de aprovechamiento de radiación solar, debido a su simplicidad y modularidad.

El no tener fluidos circulantes, la sencillez técnica, la posibilidad de posible automatización y lo más importante el alto nivel de rendimiento que transforma más del 25% de la radiación solar incidente en energía eléctrica, hace de los sistemas disco parabólico y motor Stirling que presente un futuro más prometedor y amigable con el medio ambiente.

Figura N° 15: Esquema de un disco parabólico



Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

Los elementos básicos un sistema de disco parabólico y motor Stirling son:

- Concentrador
- Receptor
- Sistema de generación.
- Estructura soporte y mecanismos.
- Motor Stirling.

2.8.4 Concentrador

Es un dispositivo que permite captar la energía solar incidente, la forma de la superficie reflectante se asemeja a un paraboloide de revolución. El tamaño de este elemento depende tanto de la potencia nominal como de la energía que se va generar durante un intervalo de tiempo y para determinadas condiciones de radiación solar.

Los sistemas disco-motor pueden ser de distintas formas que se aproximan de forma discreta a la geometría del paraboloide como también pueden ser láminas de metal que forman un paraboloide, que sea lo más óptima para el funcionamiento del sistema. La superficie que refleja la radiación solar del concentrador se consigue a base de espejos de vidrio, películas reflectantes como por ejemplo acero y aluminio de alto índice de reflectividad.

Figura N° 16: Tipos de colectores solares



Fuente: Gustavo Zabalza (2010), Maestría en Ingeniería de la Energía (p.7)

2.8.5 Receptor

Este dispositivo es el que permite la conexión térmica entre el concentrador y el motor Stirling, el cual tiene dos tareas fundamentales:

Absorber radiación solar, transferir la energía solar absorbida al motor Stirling en forma de energía térmica con pocas pérdidas.

Los receptores que se utilizan en los sistemas disco-motor son receptores de cavidad en donde la radiación que se concentra, entra por una apertura o cavidad situada en el foco del paraboloide, para que luego esta energía se convierta en energía térmica, los receptores tienen que ser sumamente eficientes para poder disminuir las pérdidas reflejadas, para así poder homogenizar el flujo radiante que incide sobre el receptor.

Existen dos tipos de receptor del sistema disco parabólico entre los que se encuentran los receptores de tubos directamente iluminados, y los receptores de reflujos.

Los receptores de tubos directamente iluminados permiten la adaptación directa del calentador de los sistemas disco-motor, el absorbedor que se encuentra en el receptor está formado de un haz de tubos por los cuales circula el fluido de trabajo del motor Stirling, los fluidos que normalmente se utiliza son: helio, aire o hidrógeno.

Los rayos del sol inciden directamente en dichos tubos, estos se transforman en forma de energía térmica, la misma que es transmitida al flujo de trabajo, consiguiendo así elevadas temperaturas de alrededor 750 °C en el absorbedor.

La radiación incidente en este tipo de receptores no es uniforme, lo que ocasiona que los tubos absorbedores presenten picos. Algunos sistemas disco motor para corregir problemas, tienen incorporado un

quemador de gas, obteniendo así un receptor híbrido lo que permite que el sistema funcione normalmente sin interrupción alguna, aun en las noches y en días nublados donde no se tiene a disposición energía solar constante. Este sistema de absorvedor Disco Stirling híbrido puede mantener la temperatura constante y homogénea en el absorvedor durante las 24 horas del día.

Figura N° 17: Receptor de tubos directamente iluminados

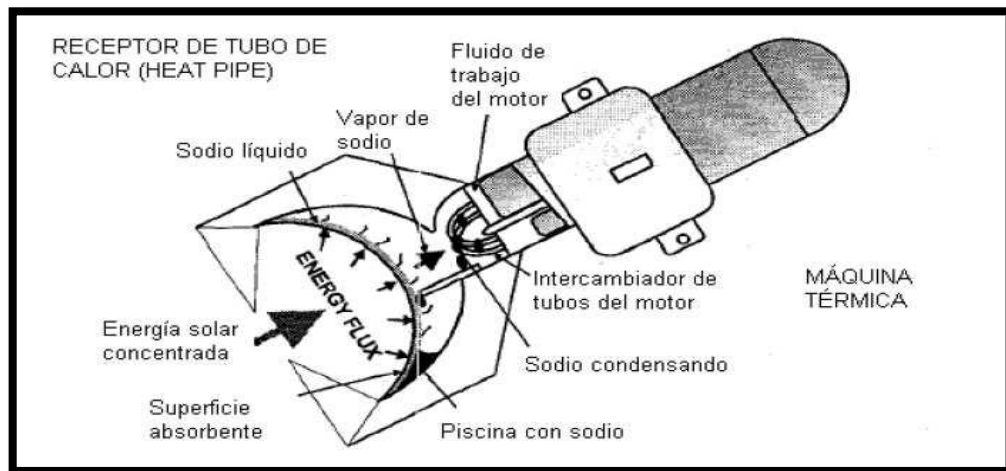


Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

Los receptores de reflujo utilizan una cantidad de fluido intermedio, para así poder mantener una temperatura uniforme en la superficie del absorvedor, manteniendo constante la energía que se entrega al motor Stirling.

Estos tipos de absorvedores utilizan sodio líquido, el cual se distribuye a lo largo de la superficie del receptor de flujo de energía, aquí el sodio absorbe el calor concentrado, se evapora y transporta al intercambiador de calor, entregando la gran parte de la energía que adquirió al gas de trabajo del motor Stirling, el sodio se condensa y cae a una piscina de sodio líquido donde se vuelve a distribuir sobre la superficie absorvedora, realizando el ciclo de funcionamiento repetitivo

Figura N° 18: Receptor de tubos reflujos



Fuente: Gustavo Zabalza (2010) Maestría de ingeniería de la energía

El inconveniente más notable en este tipo de receptor es que genera corrosión en los tubos intercambiadores de calor debido a las disoluciones líquidas del sodio, otro inconveniente es que si el sistema no está completamente aislado desde el exterior hay la posibilidad de que ingrese oxígeno al interior y se genere solubilidad de los metales acelerando la corrosión de estos. En aleaciones de níquel o hierro el oxígeno provoca:

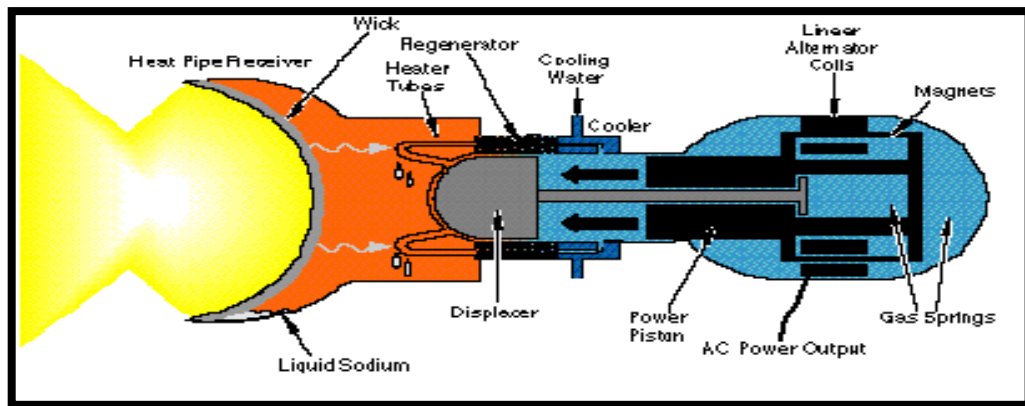
- Erosión de los materiales hasta llegar a fallo crítico en funcionamiento.
- Aparición de capas de óxidos que empeoran las propiedades térmicas de los materiales, dificultando la transferencia de calor y reduciendo así la eficiencia del sistema.

2.8.6 Sistema de generación

El sistema de generación de energía eléctrica de los sistemas disco motor se constituye de un ciclo termodinámico de potencia o llamado también máquina térmica, y el generador que transforma la energía mecánica en electricidad, los sistemas disco motor han ido siempre ligados a los motores Stirling desde su aparición.

Las potencias de estos generadores oscilan entre 5 y 25 kW, con rendimientos entre 30% y 40%.

Figura N° 19: Receptor de tubos reflujos y motor Stirling



Fuente: http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_10/1-8.gif

2.8.7 Estructura soporte y mecanismos

Los discos parabólicos poseen una estructura soporte y unos mecanismos que permiten su orientación en dos ejes, para poder seguir la posición del Sol en todo momento. Existen dos tipos de seguimientos:

Seguimiento acimutal-elevación, en el que el movimiento se realiza sobre los ejes vertical y horizontal.

Seguimiento polar, en el que un eje sigue las variaciones estacionales y otro el giro de la Tierra.

El seguimiento acimutal-elevación es más fácil de montar, en cambio el seguimiento polar es más fácil de controlar.

2.8.8 El motor Stirling

El motor Stirling fue inventado por Robert Stirling en el año de 1.816. Dicho motor fue diseñado para competir con el motor de vapor por tener la propiedad de ser más seguro y simple, pero con la aparición del

motor de combustión interna se estancó el desarrollo durante algunos años.

Todos los motores Stirling tienen en su gran mayoría un pistón, que transmite energía mecánica a un cigüeñal y a un desplazador, permitiendo el desplazamiento cíclico de un fluido de trabajo, entre una zona fría y una caliente.

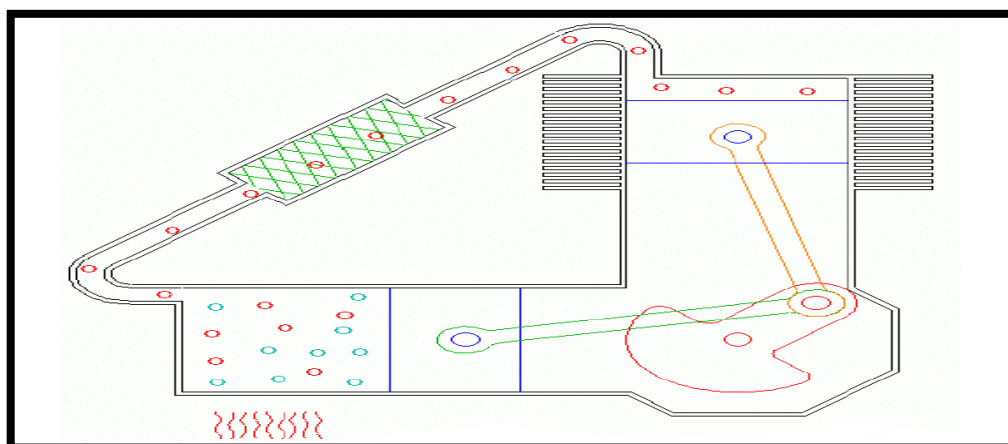
Los motores Stirling también pueden tener dos pistones en donde uno de los dos funciona como desplazador. Hay algunos tipos de motor Stirling y se los clasifica en base a su construcción y disposición de sus pistones.

Motores alfa: Este tipo de motores consta de dos pistones los cuales forman una uve mutuamente.

Motores beta: Este tipo de motores el pistón y el desplazador se encuentran en el mismo cilindro.

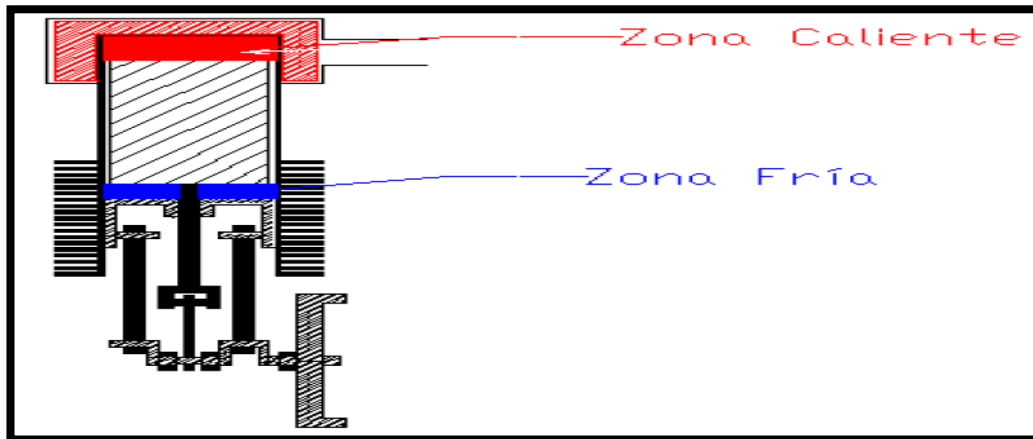
Motores gamma: El desplazador y el pistón se sitúan en dos cilindros diferentes.

Figura Nº 20: Motor Stirling tipo alfa



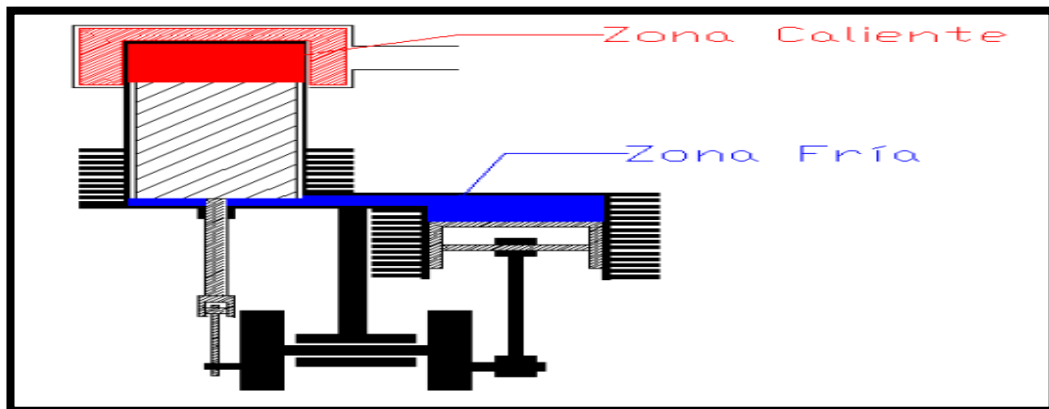
Fuente:(<http://biling.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

Figura N° 21: Motor Stirling tipo beta



Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

Figura N° 22: Motor Stirling tipo gamma



Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

El motor Stirling funciona en base a un ciclo cerrado, como su nombre mismo lo dice este en su interior posee gas encerrado que permite lograr las diferentes etapas del ciclo para su funcionamiento. El gas que se utiliza para hacer funcionar un motor Stirling es helio o hidrogeno y en algunos de los casos aire. La aplicación de calor al motor Stirling se la realiza externamente, por lo que se pueden utilizar diferentes fuentes de calor como energía nuclear, combustibles fósiles o energía solar.

El elemento más importante del motor Stirling es el regenerador el cual tiene la propiedad de absorber y ceder calor en las evoluciones con

volumen constante del ciclo. El regenerador es un medio poroso, con conductividad térmica despreciable, divide al motor en dos zonas una caliente y otra fría. El fluido se desplaza normalmente desde la zona caliente a la fría a lo largo de los diferentes ciclos de trabajo atravesando el regenerador.

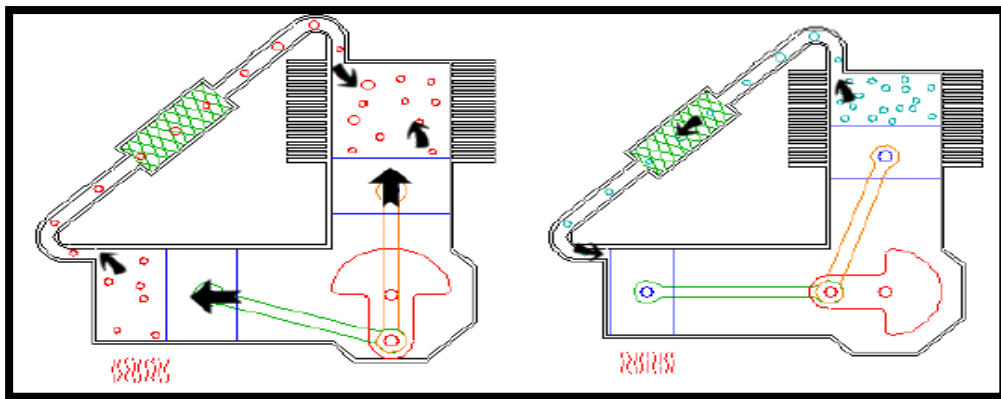
2.9 Ciclo Stirling

2.9.1 Etapas ciclo Stirling

- 1-2: Compresión isotérmica.
- 2-3: Absorción de calor isocora.
- 3-4: Expansión isotérmica.
- 4-1: Cesión de calor isocora.

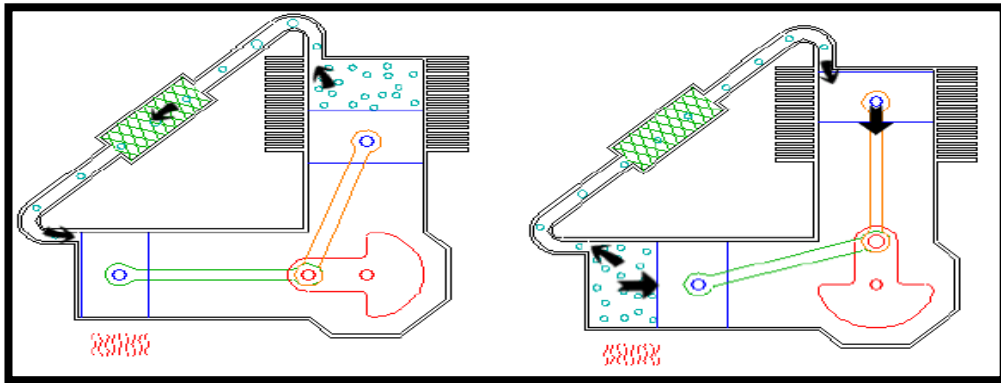
Las siguientes figuras muestran las etapas del ciclo de un motor Stirling de dos cilindros a 90°.

Figura Nº 23: 1-2 Compresión isotérmica.



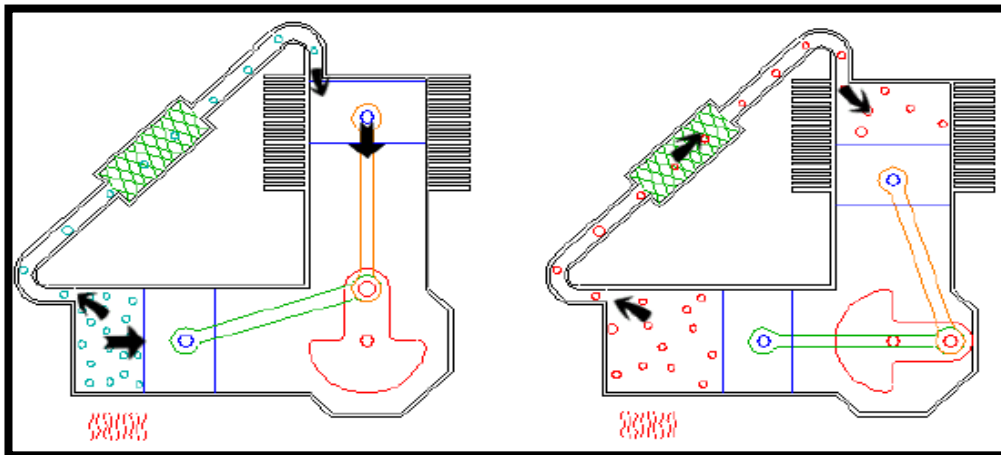
Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

Figura N° 24: 2-3 Absorción de calor isocora.



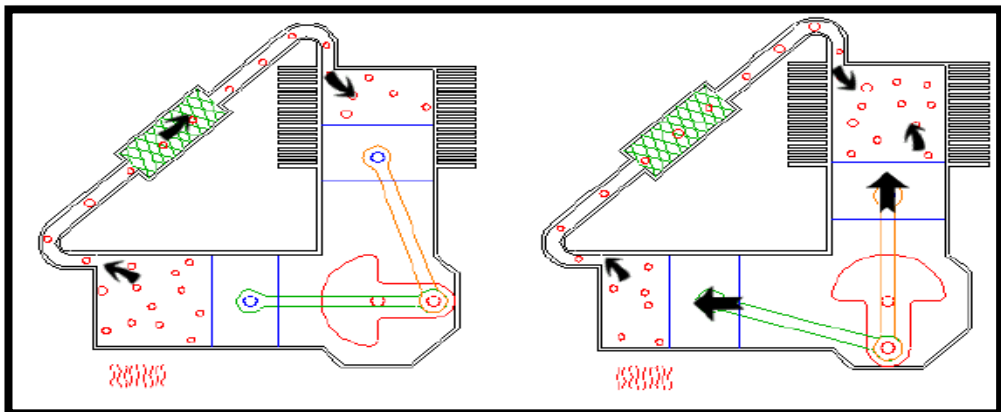
Fuente:(<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

Figura N° 25: 2-3 Absorción de calor isocora.



Fuente:(<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

Figura N° 26: 4-1 Cesión de calor isocora.



Fuente:(<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

El funcionamiento de un motor Stirling también se lo puede aprovechar en forma inversa cumpliendo la misión de refrigerar, en este caso se aporta energía mecánica al motor y este enfría uno de los focos.

El tiempo de reacción del motor Stirling es demasiado elevado.

Ventajas del motor Stirling:

- Menor cantidad de elementos móviles que en los motores de combustión interna, teniendo menores pérdidas por fricción.
- En caso de que el aporte de calor fuera mediante combustión, ésta sería externa, permitiendo controlar mejor el proceso, disminuyendo así las emisiones.
- Se pueden utilizar diversas fuentes de calor, como energía nuclear, combustión fósil o energía solar.
- Bajo nivel de ruido y ausencia de vibraciones.

Desventajas del Motor Stirling:

- ❖ Baja densidad de potencia debido al aporte de calor externo, lo que condiciona su tamaño.
- ❖ Difícil construcción del motor, impidiendo las fugas del fluido de trabajo, lo que eleva su coste.
- ❖ El fluido de trabajo se limita a helio o hidrógeno, debido a las exigencias en las propiedades de dicho fluido.
- ❖ Elevado tiempo de respuesta.
- ❖ Se requieren grandes superficies de intercambio, por lo que su tamaño es notablemente mayor en comparación a los motores de combustión interna.
- ❖ Elevado tiempo de encendido y apagado.

2.9.2 Controlador de carga

Figura N° 27: Controlador de carga Phocos CML-V2



Fuente: Manual del usuario 2014

Este dispositivo es el encargado de controlar el nivel de voltaje que recibe la batería brindando así la protección necesaria al momento de un exceso de voltaje de entrada generado por los picos de potencia recibida por el sistema de generación, además la tecnología de este regulador evita que exista descargas profundas de la batería, brinda la posibilidad de supervisar visualmente el porcentaje de carga que tiene la batería.

- a) Conectar el cableado a la batería con la polaridad correcta. Para evitar un corto circuito, se conecta primero el controlador y luego la batería, se debe tener en cuenta que la distancia del cable que une las baterías con el controlador será como máximo un metro.
- b) Conectar con la polaridad correcta los cables de salida a las cargas, para evitar corto circuitos o deterioro inmediato de las mismas, conectar primero el cable a la carga y luego al controlador.

Voltaje del sistema.

El controlador de carga se ajusta automáticamente al sistema de voltaje de 12v o 24v. Si durante el encendido el voltaje de entrada excede los 20V, el controlador cambia a un sistema de 24V.

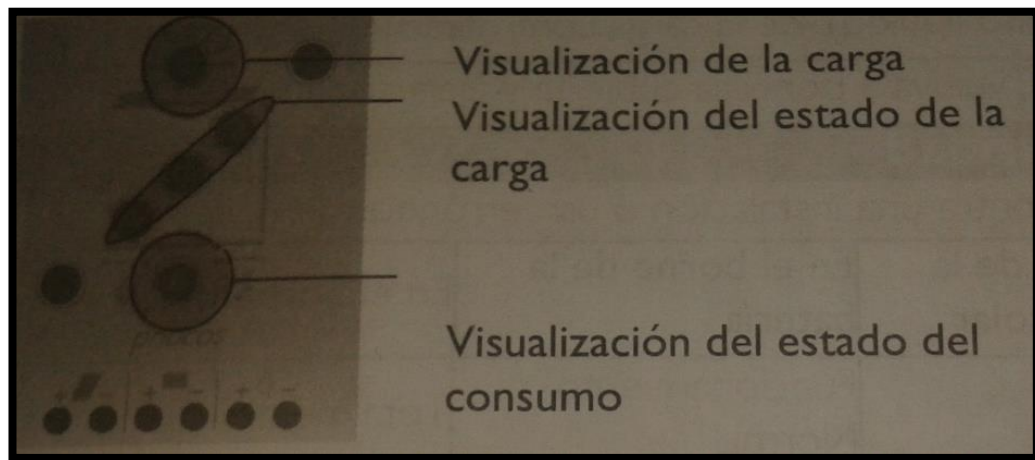
Recomendaciones de uso.

- El controlador se calienta mientras está en funcionamiento.
- El controlador no requiere ningún mantenimiento o revisión.
- Quitar el polvo con un trapo seco.

Nota.- Es importante que la batería se cargue completamente al menos una vez por mes, de otro modo se tendrá una señal de alarma en el regulador de carga que nos indicara permanente falla de batería, las características técnicas del controlador se muestran en el Anexo N° 1.

Las funciones de visualización del controlador de carga permiten mostrar la visualización de carga, estado de la carga, y estado de consumo como se puede observar en la Figura N° 28

Figura N° 28: Funciones de Visualización del controlador de Carga



Fuente: Los Autores, 2014

2.9.3 El acumulador o batería

Un acumulador es un dispositivo de almacenaje de corriente directa, su funcionamiento se basa en reacciones químicas de sus componentes internos que son por lo general electrodos positivos y negativos, que al momento de conectar un circuito eléctrico externo (carga) la energía química almacenada libera electrones que circulan por

dicho circuito, generando corriente eléctrica. Las características técnicas la batería se muestra en el Anexo N° 2.

Figura N° 29: Batería Ritar modelo RT 12180



Fuente: Manual del usuario

2.9.4 Generador

La función del generador de corriente continua es como su nombre lo indica generar energía eléctrica directa o DC que se acumula en las baterías, En la Figura N° 30 se observa un generador de imanes permanentes de origen canadiense desarrollado por la empresa Greenergy Star, las características técnicas se muestran en el Anexo N° 3

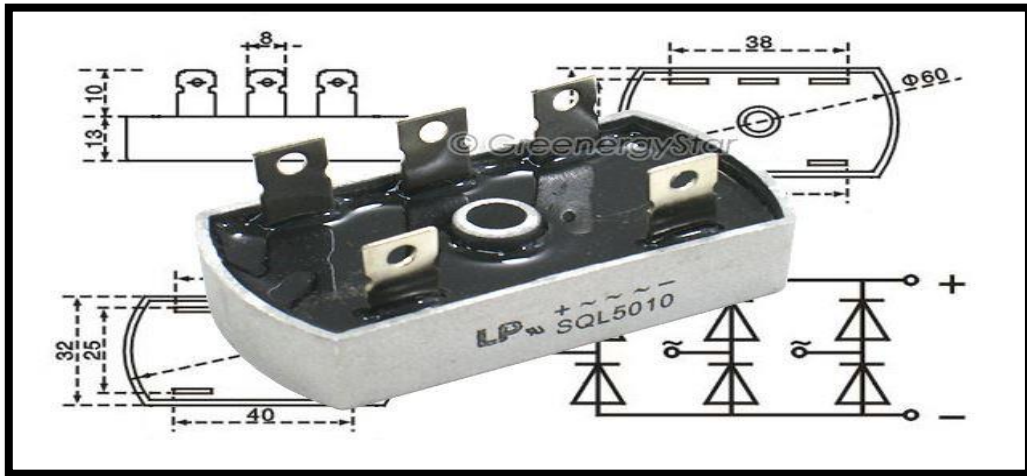
Figura N° 30: Generador de imanes permanentes Windzilla 24v



Fuente: [http://www.ebay.com/itm/WindZilla-24-V-AC-Permanent Magnet-Alternator-Wind-Turbine-Generator-PMA-/200938889874?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item2ec8e42292](http://www.ebay.com/itm/WindZilla-24-V-AC-Permanent-Magnet-Alternator-Wind-Turbine-Generator-PMA-/200938889874?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item2ec8e42292)

2.9.5 Rectificador trifásico

Figura N° 31: Rectificador trifásico

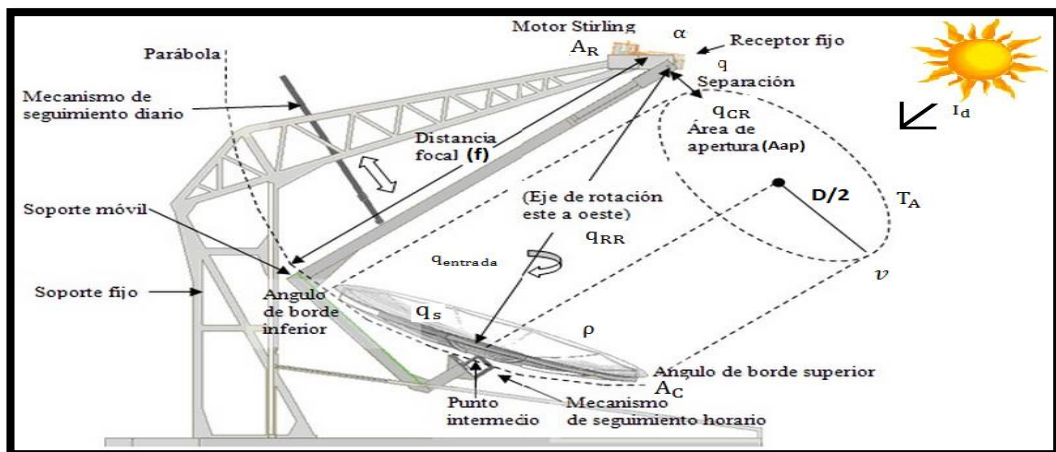


Fuente: http://www.ebay.com/itm/WindZilla-24-V-AC-Permanent-Magnet-Alternator-Wind-Turbine-Generator-PMA/200938889874?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item2ec8e42292

Rectificador trifásico es un dispositivo electrónico que convierte una señal alterna AC en señal continua DC, mediante dispositivos semiconductores como son los diodos, capaces de manejar grandes potencias. El rectificador se alimenta de una señal trifásica a la entrada y a su salida brinda una señal de voltaje DC, la misma que entra al controlador de carga del sistema.

2.9.6 Fórmulas para el diseño sistema disco motor

Figura N° 32: Esquema de un concentrador solar de foco fijo



Fuente: Los Autores, 2014

Para el estudio teórico se considera, a los rayos solares que inciden perpendicularmente sobre el concentrador parabólico los mismos que se reflejan en un punto focal en el cual se encuentra un receptor.

La potencia de entrada en el concentrador es dada por:

$$q_{\text{entrada}} = I_d A_{\text{ap}} \quad 1.1$$

$$q_{\text{entrada}} = I_d \pi R^2 \quad 1.2$$

Donde I_d es la irradiancia solar directa en W/m^2 , y A_{ap} es el área de apertura del colector.

La potencia solar concentrada, q (flujo de calor o cantidad de potencia captada en el receptor), en el receptor se da por la radiación solar reflejada por el colector, se la mide en vatios, el factor $\alpha\rho$ representa el producto entre la absorptividad del receptor y la reflectividad de la superficie del reflector que en este caso está construido de aluminio

$$q = I_d A_{\text{ap}} \alpha\rho \quad 1.3$$

$$q = I_d \pi R^2 \alpha\rho \quad 1.4$$

El factor de concentración C , se lo calcula de la siguiente manera:

$$C = \frac{q}{I_d A_R} \quad 1.5$$

Entonces:

$$q = I_d A_R C \quad 1.6$$

A_R Representa el área del receptor, C , es la radiación solar útil que se concentra en el receptor en relación directa con las propiedades de los materiales del receptor y del colector.

Reemplazando la Ecuación (1.3) en la Ecuación (1.5) simplificando I_d y despejando C se obtiene:

$$C = \frac{A_{ap}}{A_R} \alpha \rho \quad 1.7$$

Al considerar las pérdidas del colector, el siguiente formulario se centra en el balance energético en el receptor Entonces:

Potencia útil colectada $q_{in} = (q)$ potencia solar concentrada o captada en el receptor $- (q_{RR})$ Pérdidas de potencia por radiación $- (q_{CR})$ Pérdidas de potencia por convección de receptor

$$q_{in} = q - q_{RR} - q_{CR} \quad 1.8$$

La temperatura que alcanza el receptor a consecuencia de la concentración de radiación solar se la denota como T_R , las perdidas por radiación se calculan a partir de la siguiente ecuación:

$$q_{RR} = \varepsilon \sigma A_R (T_R^4 - T_{sky}^4) \quad 1.9$$

q_{RR} Involucra la emisividad del colector ε , la constante de Stefan-Boltzmann σ , cuyo valor es $5.667 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$, y la temperatura del cielo que está relacionada directamente con la temperatura ambiente T_A .

$$T_{sky} = 0.0552 T_A^{1.5} \quad 1.10$$

Desarrollando T_{sky} en la Ecuación 1.9 se tiene:

$$q_{RR} = \varepsilon \sigma A_R (T_R^4 - 9,2845 * 10^{-6} T_A^6) \quad 1.11$$

Las pérdidas por convección se calculan de la siguiente forma:

$$q_{CR} = h_R A_R (T_R - T_A) \quad 1.12$$

h_R Es el coeficiente de convección para la transferencia de calor en W/m^2 , A_R es el área donde se transfiere el calor por convección, en este caso el área de receptor.

h_R Depende de la velocidad del viento del lugar, su cálculo da en base al acabado de la superficie del receptor y la presencia de viento. En superficies planas con la corriente de aire paralela a la superficie se utilizan las ecuaciones de Jürges. Estas ecuaciones se diferencian entre superficies lisas (Ecuación 1.13), chapa laminada (Ecuación 1.14) y rugosas (Ecuación 1.15).

$$h_R = 7,120v_{20}^{0,775} + 5,129\exp(-0,6v_{20}) \quad 1.13$$

$$h_R = 7,137v_{20}^{0,780} + 5,350\exp(-0,6v_{20}) \quad 1.14$$

$$h_R = 7,739v_{20}^{0,784} + 5,850\exp(-0,6v_{20}) \quad 1.15$$

v_{20} Es la velocidad del aire a una temperatura de 293 K (20 °C) en m/s, por lo tanto:

$$v_{20} = 293 \frac{v}{T} \quad 1.16$$

Donde v Es la velocidad media del aire a una temperatura T .

En superficies lisas o planas con corriente de aire perpendicular a la superficie del receptor el coeficiente de convección es:

$$h_R = 16.9v^{0.45} \quad 1.17$$

Sustituyendo las ecuaciones 1.6, 1.11, y 1.12 en la 1.8, la potencia útil colectada para un caso genérico de pérdida de calor en el receptor es:

$$q_{in} = I_d A_R C - \varepsilon \sigma A_R (T_R^4 - 9,2845 * 10^{-6} T_A^6) - h_R A_R (T_R - T_A) \quad 1.18$$

La eficiencia del concentrador se la calcula dividiendo la potencia útil para la potencia solar total que acoge el concentrador.

$$E_C = \frac{q_{in}}{q_s} \quad 1.19$$

Para calcular la potencia solar total q_s que recibe el colector parabólico se muestra a continuación:

$$q_s = I_d A_C \quad 1.20$$

Sustituyendo las Ecuaciones. (1.18) y (1.20) en la Ecuación (1.19):

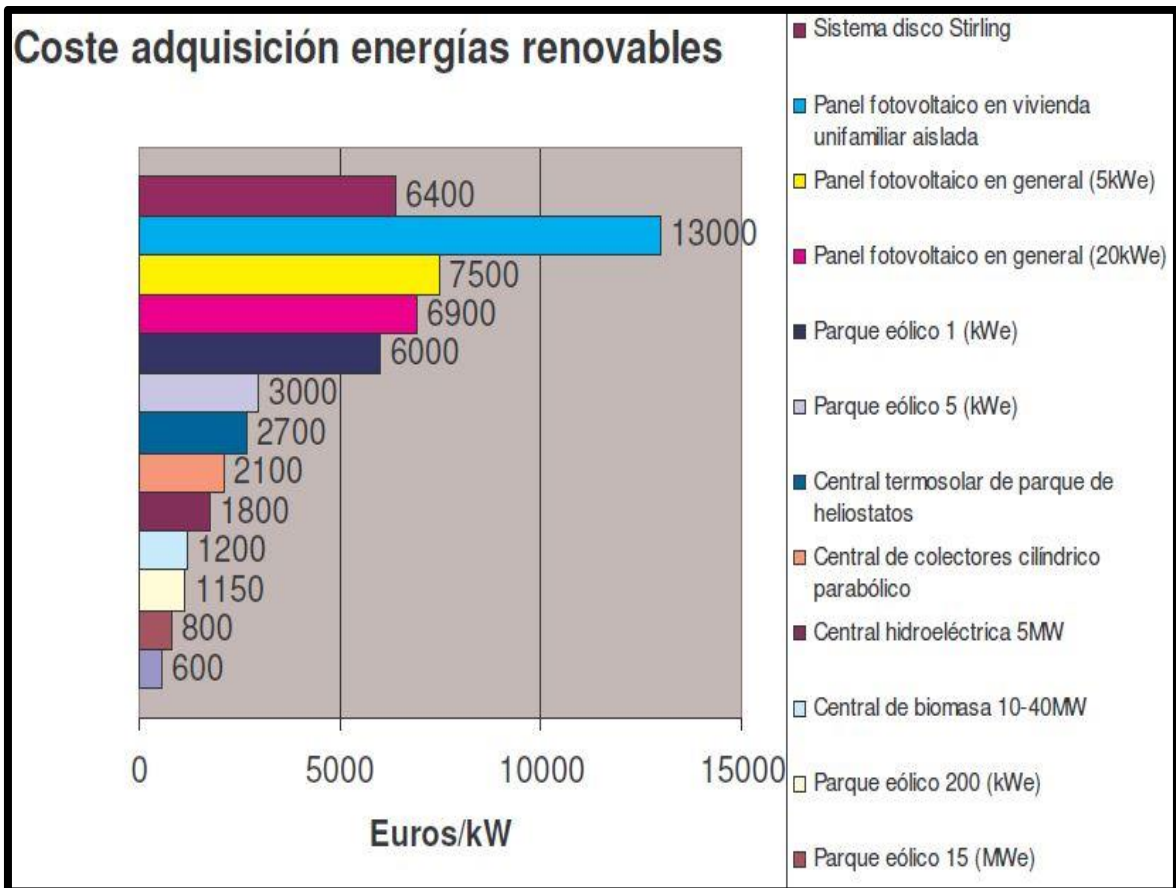
$$E_C = \frac{I_d A_{RC} - \varepsilon \sigma A_R (T_R^4 - 9,2845 \cdot 10^{-6} T_A^6) - h_R A_R (T_R - T_A)}{I_d A_C} \quad 1.21$$

Para calcular a que distancia focal debe ir el receptor, desde la profundidad del colector se calcula con la Ecuación 1.22 ($f/D=0,6$), donde f es la distancia focal, D es el diámetro del colector, esto se aplica para diseño de colectores de foco externo.

2.10 Costos comparativos de sistemas de generación eléctrica que aprovechan fuentes de energías renovables.

Los costes de las diversas tecnologías que aprovechan energías renovables virtualmente inagotables se las presenta en la Figura N° 33 dichos costos están considerados y calculados para Europa, en nuestro país dichos valores se los tomaría como referencia, para el cálculo en dólares los mismos que variarían según el valor de cambio que tenga el euro.

Figura N° 33: Coste de implantación de varios sistemas de generación eléctrica que aprovechan energías renovables



Fuente: <http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7869/Proyecto%20Dish%20Stirling.pdf;jsessionid=0D6721C9FCCD04C34CEAE14C68EB98F7?sequence=1>

2.11 Simbología

q .- Potencia solar concentrada en el absorbedor.

q_T .- Potencia solar total captada en un colector parabólico.

C .- Factor de concentración

A_C .- Área total del colector parabólico.

A_R .- Área del absorbedor o receptor.

q_{in} .- Potencia útil concentrada en el concentrador parabólico.

q_{RR} .- Potencia de pérdidas por radiación del concentrador, en el receptor

q_{CR} .- Potencia de pérdidas por convección.

σ .- Constante de Stephen Boltzmann.

h_R .- Coeficiente de convección.
 T_R .- Temperatura en el punto focal.
 T_A .- Temperatura ambiente.
 I_d .- Irradiancia Directa.
 ϵ .- Emisividad
 α .- Absortividad
 ρ .- Reflectividad de la superficie del colector
 A_{ap} .- Área de apertura del captador o concentrador
 f .- Distancia Focal
 D .- Diámetro del colector
 v .- velocidad media del aire a una temperatura T
 E_C .- Eficiencia del concentrador
 q_s .- Potencia solar total que recibe el colector solar

2.12 Glosario de términos

Energía solar.- La energía solar es una fuente de energía de origen renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol.

Energía renovable.- Tipo de energía que se obtiene de fuentes de energía implícitamente inagotables, ya sea por su gran cantidad o por la capacidad para regenerarse mediante métodos naturales.

Energía no renovable.- Tipo de energía que se obtiene de fuentes de energía convencionales que están en nuestro entorno en cantidades limitadas, las mismas que una vez aprovechadas no pueden ser sustituidas.

Generación termo solar.- Tipo de generadora de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética del sol.

Luz ultravioleta.- Se conoce como radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm (4×10^{-7} m) y los 15 nm ($1,5 \times 10^{-8}$ m). Su nombre proviene debido a que su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta, y es parte integrante de los rayos solares.

Piranómetro.- Es un instrumento de medida utilizado para la medición de radiación solar que incide sobre un área de la tierra.

Pirheliometro.- Es un instrumento de medida utilizado para la medición del haz directo de irradiancia solar.

Motor Stirling.- Un motor Stirling es un motor térmico operando por compresión y expansión cíclica de aire u otro gas, el llamado fluido de trabajo, a diferentes niveles de temperatura que convierten energía calorífica a energía mecánica.

Receptor.- Este dispositivo es el que permite la conexión térmica entre el concentrador y el motor Stirling.

Heliógrafo.- Es un aparato utilizado para medir la duración de la insolación de un día completo.

Colector Parabólico.- Es el elemento que recibe los rayos solares en forma de radiación y los concentra en un solo punto llamado foco.

Plato del absorbedor.- Parte del receptor que intercepta los rayos reflejados por el colector parabólico.

Receptor. Es el elemento que recibe y absorbe la radiación concentrada por el colector y la convierte en otro tipo de energía.

Constante de Boltzmann.- Es la constante que relación a la temperatura absoluta y la energía su valor es:

$$k \approx 1,3806504 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 1,3806504 \times 10^{-16} \text{ ergios/K}$$

Irradiación solar directa.- Es la energía recibida durante un periodo de tiempo determinado en una superficie definida y su unidad es el Wh/m².

Irradiancia solar directa.- Es la magnitud que describe la potencia incidente por unidad de superficie de cualquier tipo de radiación electromagnética, y su unidad es el W/m².

Reflectividad ρ .- Es la fracción de radiación incidente reflejada direccionalmente por una superficie de las longitudes de onda emitidas por la radiación solar.

Absortividad α .- Es la cantidad de luz absorbida por un cuerpo o material expuesto a la radiación solar.

Emisividad o Emitancia ϵ .- Es la porción de radiación térmica emitida por un área u objeto debida a una diferencia de temperatura con su entorno y se la obtiene mediante la integración sobre todo el espectro electromagnético y su valor máximo será igual a uno.

2.13 Matriz de coherencia

Tabla N° 2: Matriz de coherencia

<p>TEMA:</p> <p>“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN TERMO SOLAR MEDIANTE DISCO REFLECTOR PARABÓLICO Y MOTOR STIRLING E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO A ESCALA PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE UN FILTRO DE PURIFICACIÓN DE AGUA CON LUZ ULTRA VIOLETA EN LAS AULAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN EL PERIODO 2013-2014”.</p>	
<p>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p>
<p>¿Cómo diseñar un sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico y motor Stirling e implementar un aplicativo para la alimentación de un filtro de purificación de agua con luz ultra violeta?</p>	<p>Realizar el estudio de un sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico y motor Stirling e implementar un aplicativo para la alimentación eléctrica de un filtro de purificación de agua con luz ultra violeta en las aulas de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la escuela de educación técnica de la FECYT en el periodo 2013-2014</p>
<p>SUB PROBLEMAS/ INTERROGANTES</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p>
<p>¿Cómo diseñar un</p>	<p>Investigando los sistemas de purificación</p>

<p>tanque de purificación de agua mediante la utilización de una lámpara de luz ultravioleta?</p> <p>¿Cómo reconectar el sistema fotovoltaico de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico?</p>	<p>de agua en el mercado nacional.</p> <p>Realizando el estudio del sistema fotovoltaico y sus respectivos componentes.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

En la investigación se utilizó la investigación bibliográfica, la investigación experimental, y la investigación de campo, por lo que se tuvo que realizar consultas en diversas fuentes de investigación como son: libros revistas, folletos, manuales, CDs, bibliografía, entre otras, además de experimentación.

La investigación fue de tipo experimental, porque se relacionó una tecnología ya existente en Europa y otros países, y se la adaptó al análisis en base a datos de nuestra provincia, para poder obtener datos de las diferentes características de funcionamiento en los elementos que conforman en el sistema, la experimentación fue fundamental en esta investigación ya que por medio de esta se pudo lograr concentrar una temperatura adecuada para el funcionamiento del motor Stirling.

3.1.1. Investigación bibliográfica y documental

En este método se apoyó en la tecnología que se tuvo al alcance, la cual permitió conocer la factibilidad de la investigación y utilizar métodos específicos apoyados en teorías comprobadas.

La investigación bibliográfica ayudó a respaldar el proyecto desde el punto de vista teórico y técnico, por lo que se realizó diversas consultas en libros, manuales, folletos, y páginas de Internet; factores que permitieron centrar nuestro conocimiento de las energías renovables y los Beneficios que surgen al implementar sistemas de generación eléctrica termo solar.

3.1.2. Investigación de campo

Esta investigación constituye un proceso sistemático, riguroso y racional de recolección, tratamiento, análisis y presentación de datos, que se basa en una técnica de toma de datos de la realidad para la investigación.

Para avalar el proyecto, se realizó la adquisición de datos reales de consumo de energía eléctrica del aplicativo para la carrera de ingeniería en mantenimiento eléctrico; además se realizó mediciones de irradiancia, temperaturas, voltaje, etc. Dichos datos ayudaron a establecer la factibilidad del proyecto debido a que en la ciudad de Ibarra, se registran valores muy altos de radiación solar.

3.2. Métodos

3.2.1. Método Inductivo deductivo

El proyecto se enfocó en determinar los beneficios que se tiene al implementar sistemas de generación termo solar. Este método va de lo general a lo particular y algo que tenemos que tomar muy en cuenta es

que este método se basa en datos teóricos y reales, mas no en datos empíricos.

3.2.2. Método analítico sintético

El método analítico sintético consiste en la separación de un todo en sus partes, para observar su naturaleza u origen; este método permitió investigar de una forma individual cada uno de los elementos del sistema de generación eléctrica termo solar, y así tener una relación total para poder sacar conclusiones detalladas de este hecho, este método ayudo a una mejor conceptualización a partir de la información adquirida de textos, revistas, folletos, manuales, internet, entre otros, para la elaboración del marco teórico.

3.2.3. Método matemático estadístico

Este método es la base que ayudó a procesar, interpretar y analizar cada uno de los datos obtenidos en las mediciones que se realizó.

3.2.4. Técnicas e instrumentos

Existen diversas técnicas e instrumentos de investigación, pero en este proyecto se utilizó la técnica de observación, la cual consiste en observar fenómenos, situaciones, hechos, casos, acciones y objetos con el fin de obtener información explícita para la investigación.

CAPITULO IV

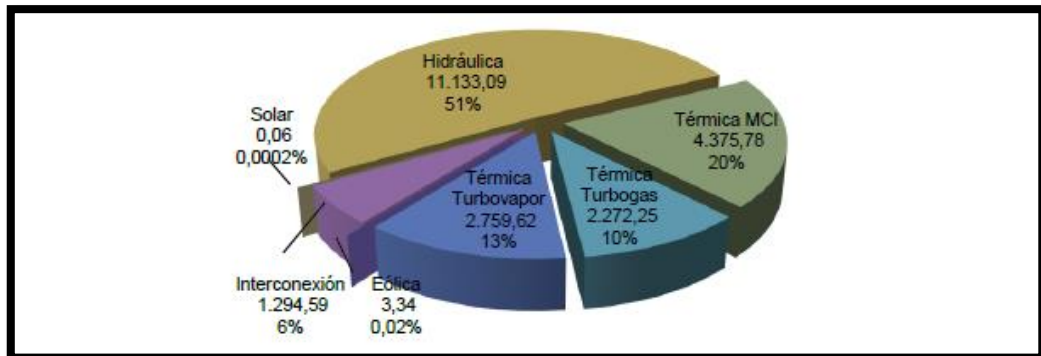
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. Título de la propuesta

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN TERMO SOLAR MEDIANTE DISCO REFLECTOR PARABÓLICO Y MOTOR STIRLING E IMPLEMENTACIÓN DE UN APLICATIVO PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE UN FILTRO DE PURIFICACIÓN DE AGUA CON LUZ ULTRA VIOLETA EN LAS AULAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN EL PERIODO 2013-2014.

En el campo de la generación eléctrica existe varias formas aprovechamiento de energía que se usan para la generación como es el caso de la generación hidráulica, la generación térmica, la generación geotérmica, la generación mareomotriz, entre otras, las cuales aprovechan recursos energéticos no renovables. En el Ecuador se aprovecha recursos renovables como no renovables para la generación eléctrica, los datos estadísticos del CONELEC en cuanto a los recursos y tipo de generación que aportan energía eléctrica para abastecer la demanda del país se puede comprender a continuación:

Figura N° 34: Producción de energía por tipo de central (GWH)



Fuente: Boletín estadístico del sector eléctrico ecuatoriano CONELEC 2011

Se puede apreciar que el mayor porcentaje de generación de energía eléctrica es obtenida a través de la generación hidráulica, seguida de la generación térmica, la generación térmica con turbo vapor, la generación térmica con turbo gas, la generación eólica y por último la generación solar.

Con el estudio del proyecto se logró aportar con la investigación de la explotación de la energía solar mediante la utilización de sistemas descentralizados disco motor, conocidos como sistemas de generación disco Stirling, con lo cual se fomentó el desarrollo de las investigaciones en este ámbito en la Universidad Técnica del Norte, ya que a nivel mundial son pocos los países que explotan este tipo de sistemas de generación que en un futuro no muy lejano serán los referentes para la generación de energía eléctrica con el aprovechamiento de energías alternativas como lo es la generación termo solar.

4.2. Objetivos

4.2.1. Objetivo general

Realizar el estudio de un sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico y motor Stirling e implementación de un

aplicativo para la alimentación eléctrica de un filtro de purificación de agua con luz ultra violeta en las aulas de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico escuela de educación técnica de la FECYT.

4.2.2. Objetivos específicos

- Habilitar el funcionamiento del sistema de generación fotovoltaica de la carrera de ingeniería en Mantenimiento eléctrico, para complementar el sistema de acumulación de energía del sistema de generación termo solar.
- Diseñar un tanque de purificación de agua mediante la utilización de una lámpara de luz ultravioleta.

4.3. Desarrollo de la propuesta

4.3.1. Datos de irradiación solar en Ibarra

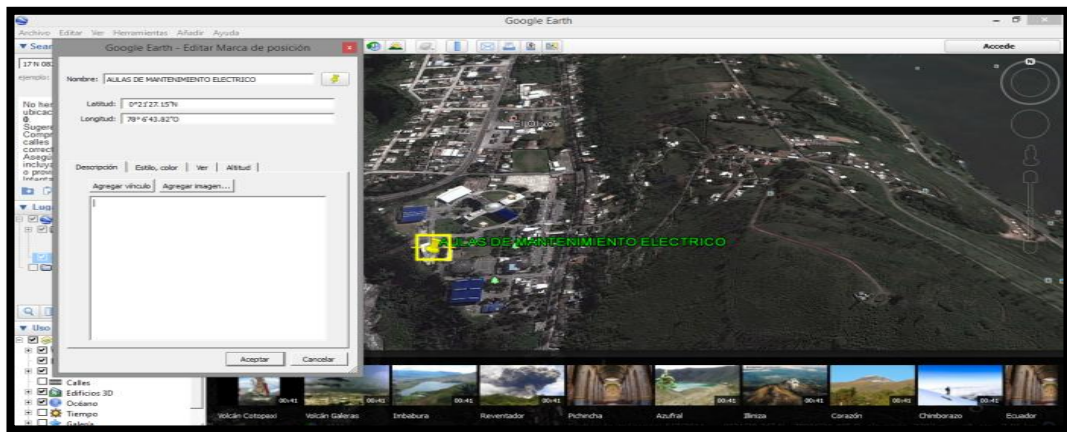
Censolar 5.0 es un programa de licencia libre que ayuda a obtener datos de irradiaciones solares de varios países, mediante éste programa se obtuvo los resultados de la provincia de Imbabura, los mismos que se muestran en la Figura N° 35.

Figura N° 36: Instalaciones de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.



Fuente: Los Autores, 2014

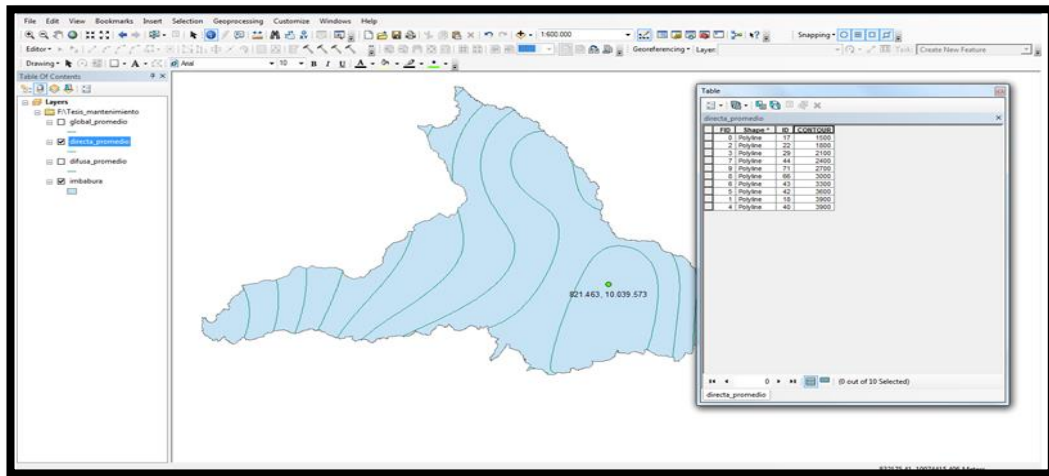
Figura N° 37: Instalaciones de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico



Fuente: Google Earth 2014

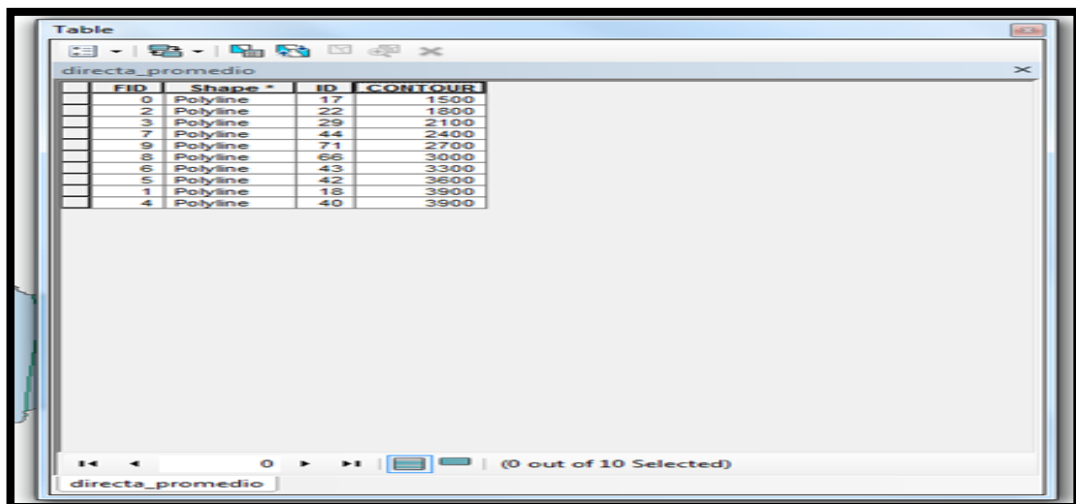
Obtenidas las coordenadas de ubicación geográfica del punto a implementar del sistema de generación eléctrica, en el laboratorio de Geomática de la FICAYA por medio del Arc Gis, y google earth se obtuvo los siguientes datos:

Figura N° 38: Datos de radiación solar directa, mediante ArcGis,



Fuente: Los Autores, 2014

Figura N° 39: Valores de radiación solar directa UTN



Fuente: Los Autores, 2014

Con estos datos promedio de Irradiación o radiación solar directa se pudo corroborar la factibilidad del sistema.

Irradiación promedio obtenida a partir de Arc Gis

$$\text{IRRADIACIÓN PROMEDIO} = \frac{\sum \text{ID } 17 - 40}{10} \text{ Wh/m}^2$$

$$\text{IRRADIACIÓN PROMEDIO} = \frac{28.200}{10} \text{ Wh/m}^2$$

$$\text{IRRADIACIÓN PROMEDIO} = 2,820 \text{ kWh/m}^2$$

4.3.2. Pruebas experimentales para el Diseño

Para saber qué rango de temperatura se debe tener en la zona caliente del motor Stirling y funcione en buenas condiciones sin afectar sus componentes, se procedió en forma experimental a partir de la combustión de gas licuado de petróleo.

Tabla N° 3: Medición de temperatura vs RPM del motor Stirling.

Descripción	Velocidad	Elemento de medición Utilizado
Temperatura	RPM	
300 °C	386	Cámara termo gráfica
336 °C	435	Pirómetro
341 °C	558	Pirómetro
401 °C	612	Pirómetro

Fuente: Los Autores, 2014

Las mediciones de temperatura que el motor necesita es de entre 350 y 500 grados centígrados, para que este funcione normalmente como se observa en las Figuras N° 39 y 40.

Figura N° 40: Medición de temperatura prueba 1



Fuente: Los Autores, 2014

Figura N° 41: Medición de temperatura prueba 2



Fuente: Los Autores, 2014

Figura N° 42: Experimentación con GLP determinación operación.



Fuente: Los Autores, 2014

Una vez determinado el nivel de temperatura de operación del motor Stirling, se procede al cálculo de la potencia que el concentrador solar necesita para que el motor funcione, estos cálculos necesitan de datos de irradiancia solar promedio. Se construyó un colector solar de diámetro 2m, el cual lograba concentrar en el punto focal la radiación a una temperatura de 250 a 290 °C, este no era factible utilizarlo para que excite el funcionamiento del motor Stirling debido a que el motor funcionaba a partir de los 350°C de temperatura en la zona caliente de este, por lo que se procedió a construir un colector más grande con diámetro al doble del primer experimento, para duplicar en igual forma la temperatura en el foco del concentrador parabólico y permita hacer funcionar al motor Stirling.

El motor Stirling que se utilizó en el sistema es un motor tipo gama con las siguientes características de fabricación.

Figura N° 43: Motor Stirling tipo gamma



Fuente: <http://www.hyporex.ca/stirling-engine.php>

Tabla N° 4: Especificaciones técnicas del motor Stirling tipo gamma.

Fabricante	Hyporex Technologies Inc.
Procedencia	Pakistán
Funcionamiento	Compresión de aire caliente
Refrigeración	Aire
Velocidad Nominal al vacío Vn	1000 RPM
Velocidad Nominal con carga Vn	400 RPM
Consumo	5BTU (5,27175004kJ) (1,25kcal)
Tamaño del motor	58 cc pistón de 50mm
Peso	8 kg
Altura	68.58 cm
Ancho	35.56 cm
Largo	35.65 cm

Fuente: <http://www.hyporex.ca/stirling-engine.php>

La elección de este tipo de motor es por su capacidad de compresión y su precio moderado, además de que es uno de los pocos modelos que se encuentra en el mercado con dichas especificaciones y características de conversión de energía térmica en energía mecánica de

movimiento rotacional. La tecnología de fabricación de este motor Stirling es de origen investigativo y experimental, por tanto el fabricante no proporciona datos más allá de los informativos debido a que en su patente de fabricación, no adiciona datos de construcción únicamente datos de revoluciones por minuto a las que gira en vacío, con carga y la unidad calorífica británica para su funcionamiento como se puede apreciar en la Tabla N° 5.

4.3.3. Valores de emisividad y reflectividad del aluminio

Tabla N° 5: Valores de coeficientes de reflectividad

Material	ρ
Pvc blanco	0.871
Al de alta reflectividad (verde)	0.90
Al de alta reflectividad (rosado)	0.853
Al de alta reflectividad (verde)	0.820
Chapadur prepintado blanco	0.741
Chapa galvanizada	0.588
Chapa pintada de blanco nueva	0.582
Chapa pintado de blanco envejecida	0.656
Fibra de vidrio pintada de blanco	0.709
Espejo de vidrio de 2mm	0.795
Espejo de vidrio de 3mm	0.754
Espejo de vidrio de 4mm	0.712
Acero inoxidable	0.572
Mylar (Cuba)	0.833
Papel aluminio (Cuba)	0.799

Fuente: <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t008-a003.pdf>

.Tabla N° 6: **Valores de coeficientes de emisividad (ϵ)**

Valores de emisividad de materiales comunes	
<i>Material</i>	<i>Emisividad*</i>
Aluminio, pulido	0,05
Aluminio, superficie rugosa	0,07
Aluminio, muy oxidado	0,25
Placa de amianto	0,96
Tela de amianto	0,78
Papel de amianto	0,94
Pizarra de amianto	0,96
Latón, mate, deslustrado	0,22
Latón, pulido	0,03
Ladrillo, común	0,85
Ladrillo, vidriado, basto	0,85
Ladrillo, refractario, basto	0,94
Bronce, poroso, basto	0,55
Bronce, pulido	0,1
Carbono, purificado	0,8
Hierro fundido, fundición esbozada	0,81
Hierro fundido, pulido	0,21

Fuente:<http://www.isotest.es/web/News/Tecnologias/Termografia/tabla%20de%20emisividades.html>

4.3.4. Diseño de Sistema Disco Motor

Mediante la utilización de las ecuaciones, tablas y a partir de la Irradiancia directa que incide en el lugar a implementarse el sistema, se realizó el cálculo del diseño.

Datos: La Irradiancia directa I_d en el punto de implementación del sistema, es de 1.250 W/m^2 siendo este un promedio, teniendo valores de entre $(1.100 \text{ y } 1.400) \text{ W/m}^2$. Tales valores se obtuvieron a partir de un medidor de potencia solar instantánea como se observa en las siguientes Figuras

Figura N° 44: Medidor de potencia solar (Irradiancia mínima)



Fuente: Los Autores, 2014

Figura N° 45: Medidor de potencia solar (Irradiancia máxima)



Fuente: Los Autores, 2014

- Radio del colector 2m
- Radio del receptor 0.025 m
- Constante de Boltzmann $5.667 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$
- Temperatura ambiente promedio de la ciudad de Ibarra $20^\circ C$
- Reflectividad del aluminio $\rho_{Al} = 0.90$
- Absortividad del receptor $\alpha =$ (entre 0.90 y 0.96) = se toma un promedio 0.93

Desarrollo:

$$q_{\text{entrada}} = I_d A_{ap}$$

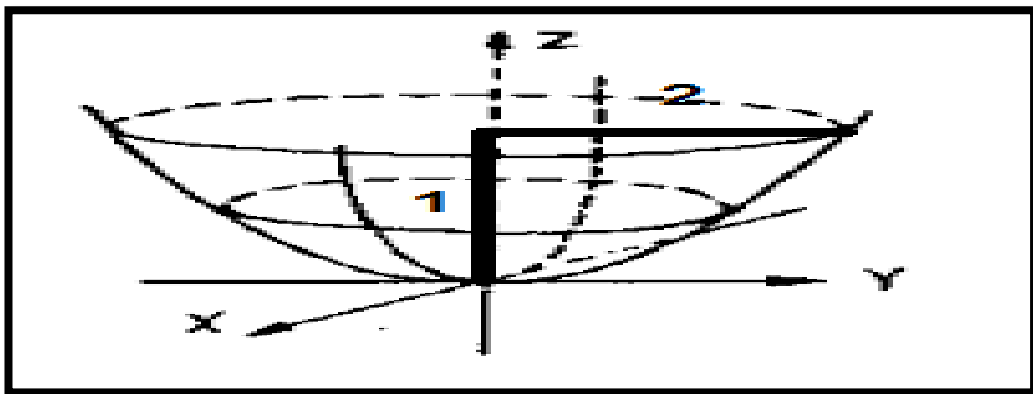
$$Q_{\text{entrada}} = 1250 \text{ W/m}^2 * \pi 2^2 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{entrada}} = 15,707 \text{ kW}$$

4.3.4.1. Cálculo del área del colector paraboloide de revolución A_c

Según el teorema de integrales dobles en coordenadas polares se utilizó la fórmula para el cálculo del área de un paraboloide de revolución.

Figura N° 46: Grafica de paraboloide de revolución.



Fuente: Los Autores, 2014

$$A_c = \iint_R \sqrt{f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y) + 1} \, dx \, dy$$

$$A_c = \iint_R \sqrt{Z(x^2 + y^2) + 1} \, dx \, dy \quad Z = 1$$

En coordenadas polares $(x^2 + y^2)$ es igual a $x^2 + y^2 = r^2 \rightarrow dx \, dy = dA$ entonces:

$dx \, dy = r \, dr \, d\theta$, donde r va de 0 a 2 y los límites para θ van de 0 a 2π

$$A_c = \iint_R \sqrt{1} r^2 + 1 \, r \, dr \, d\theta$$

$$A_c = \int_0^{2\pi} \int_0^2 \sqrt{r^2 + 1} \, r \, dr \, d\theta \quad \int \sqrt{r^2 + 1} \, r \, dr$$

$$A_c = \int_0^{2\pi} \frac{1}{3} (r^2 + 1)^{3/2} \, dr \, d\theta \quad u = r^2 + 1$$

$$A_c = \int_0^{2\pi} \frac{1}{3} (2^2 + 1)^{3/2} - \frac{1}{3} (0 + 1)^{3/2} d\theta$$

$$A_c = \int_0^{2\pi} 3,393 d\theta$$

$$A_c = 3,393\theta_0^{2\pi}$$

$$A_c = 3,393(2\pi)$$

$$A_c = 21,3188 m^2$$

$$du = 2rdr$$

$$\frac{du}{2} = rdr$$

$$\int u^{1/2} \frac{du}{2} = \frac{1}{3} u^{3/2}$$

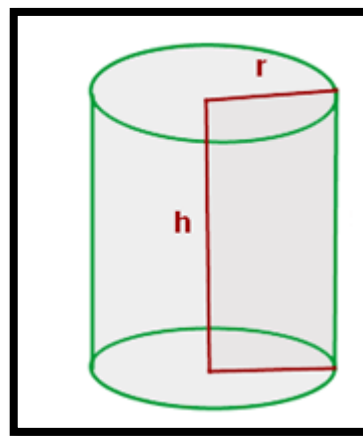
4.3.4.2. Área del receptor A_R

Altura (h)= 0,12m

Diámetro =0.05 m

Radio(r)=0,025 m

Figura N° 47: Forma cilíndrica del receptor



Fuente: Los Autores, 2014

$$A_R = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

$$A_R = 2\pi * 0,025 * 0,12 + 2\pi * (0,025)^2$$

$$A_R = 0,0227 m^2$$

4.3.4.3. Factor de concentración C

Mediante la Ecuación 1.5 se obtiene el factor de concentración.

$$C = \frac{A_{ap}}{A_R} \alpha \rho$$

$$C = \frac{4\pi m^2}{0,022 m^2} (0,93) * (0,90)$$

$$C = 478,09$$

Tabla N° 7: Factores de Concentración, según tipos de colectores

Colector	Concentración	Temperatura	Seguimiento
<i>Plano</i>	$C < 1$	$30 < T < 80^{\circ}\text{C}$	Estacionario
<i>Tubo evacuado</i>	$C < 1$	$50 < T < 190^{\circ}\text{C}$	Estacionario
<i>CPC</i>	$1 < C < 5$	$70 < T < 240^{\circ}\text{C}$	Estacionario
	$5 < C < 15$	$70 < T < 290^{\circ}\text{C}$	Un eje
Canal parabólico	$15 < C < 40$	$70 < T < 290^{\circ}\text{C}$	Un eje
Plato parabólico	$100 < C < 1000$	$70 < T < 930^{\circ}\text{C}$	Dos ejes
Torre central	$100 < C < 1500$	$130 < T < 2700^{\circ}\text{C}$	Dos ejes

Fuente: www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Presentaciones/SolarPowerPlants.pdf (Universidad Autónoma de México)

4.3.4.4. Potencia absorbida por el receptor q

Mediante la utilización de la Ecuación 1.4 se calcula la cantidad de potencia recibida por el receptor que en este caso es el pistón de la zona caliente.

$$q = I_d * \pi r^2 \alpha \rho$$

$$q = 1250 * 4\pi * 0,93 * 0,90$$

$$q = 13,147\text{kW}$$

4.3.4.5. Potencia útil colectada q_{in}

Considerando las pérdidas del colector despreciables y aplicando la Ecuación 1.8 la potencia útil colectada es:

$$q_{in} = q - q_{RR} - q_{CR}$$

Mediante la Ecuación 1.11 se obtienen la pérdida de potencia por radiación.

$$q_{RR} = \varepsilon \sigma A_R (T_R^4 - 9.2845 * 10^{-6} T_A^6)$$

Se sabe que $T_{sky} = 0.0552 T_A^{1.5}$ y la temperatura ambiente promedio de la ciudad de Ibarra es Ibarra 20°C, entonces calculando se tiene:

ε : La emisividad del aluminio es de 0,05 de acuerdo a la Tabla N°7

Temperatura en el receptor $T_R = 350^\circ\text{C}$

$$q_{RR} = \varepsilon \sigma A_R (T_R^4 - 9.2845 * 10^{-6} T_A^6)$$

$$q_{RR} = (0,05 * 5,667 \times 10^{-8} * 0,022) * (350^4 - 9,2845 \times 10^{-6} * 20^6)$$

$$q_{RR} = 0,9354\text{W}$$

Mediante la Ecuación 1.12 se obtienen las pérdidas de potencia por convección.

$$q_{CR} = h_R A_R (T_R - T_A)$$

Para una superficie lisa como las láminas de aluminio se calcula el coeficiente de convección del receptor mediante la Ecuación 1.13

$$h_R = 7,120v_{20}^{0,775} + 5,129\exp(-0,6v_{20}).$$

La velocidad del viento en Ibarra es de 8 m/s y la temperatura en el receptor es de 350°C

$$v_{20} = 293 \frac{v}{T_R}$$

$$v_{20} = 293 * \left(\frac{8}{350}\right)$$

$$v_{20} = 6,69 \text{ m/s}$$

$$h_R = 7,120v_{20}^{0,775} + 5,129\exp(-0,6v_{20}).$$

$$h_R = 7,120 * 6,69^{0,775} + 5,129\exp(-0,6 * 6,69).$$

$$h_H = 31,15$$

Entonces la potencia de pérdidas por convección es:

$$q_{CR} = h_R A_R (T_R - T_A)$$

$$q_{CR} = 31,15 * 0,022(350 - 20)$$

$$q_{CR} = 226,149$$

Los valores calculados se reemplazan en la Ecuación 1.8

$$q_{in} = q - q_{RR} - q_{CR}$$

$$q_{in} = 13147 - 0,9354 - 226,149$$

$$q_{in} = 12919,91W$$

4.3.4.6 Potencia total recibida por el colector q_s

$$q_s = I_d * A_C$$

$$q_s = 1250 \frac{W}{m^2} * 21,3188 m^2$$

$$q_s = 26648,5 W$$

4.3.4.6. Cálculo de la eficiencia del Sistema. E_c

Mediante la utilización de la ecuación 1.21 obtenemos la eficiencia del concentrador.

$$E_c = \frac{q_{in}}{q_s}$$

$$E_c = \frac{12919,91}{26648,5} * 100$$

$$E_c = 48,48 \%$$

4.3.4.7. Cálculo de corriente en un foco de 5W

El voltaje a la salida del regulador es de 12VDC,

$$P=V*I, \quad 5W = 12VDC * I, \quad I=0,4166A$$

4.3.4.8. Construcción del colector

Con los datos obtenidos se procedió a realizar el trazo de una parábola de cuatro metros de diámetro en cartón utilizando la fórmula de la parábola con centro en el origen con apertura positiva y eje Y.

$$Y = \frac{x^2}{4P}$$

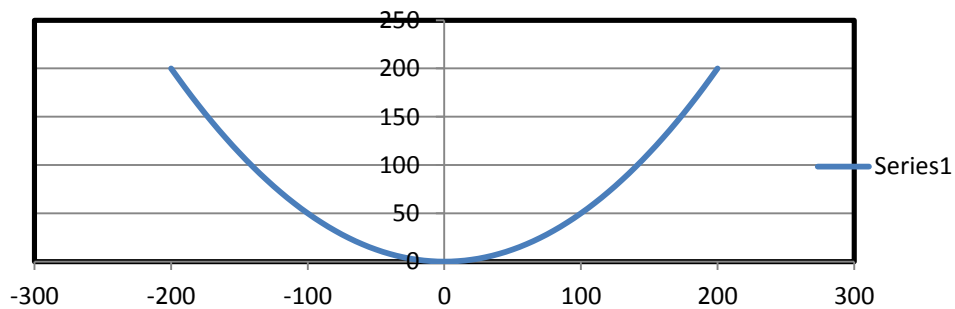
Para obtener la forma de la parábola damos valores a x para obtener los valores en Y como se indica en la Tabla 8.

Tabla N° 8: Valores de la parábola con centro en el origen

Formula	Valor en X	Valor en Y	Coordenadas en el plano (X,Y)
$Y = \frac{x^2}{4P}$	-200	200	(-200;200)
	-190	180.5	(-190;180.5)
	-180	162	(-180;162)
	-170	144.5	(-170;144.5)
	-160	128	(-160;128)
	-150	112.5	(-150;112.5)
	-140	98	(-140;98)
	-130	84.5	(-130;84.5)
	-120	72	(-120;72)
	-110	60.5	(-110;60.5)
	-100	50	(-100;50)
	-90	40.5	(-90;40.5)
	-80	32	(-80;32)
	-70	24.5	(-70;24.5)
	-60	18	(-60;18)
	-50	12.5	(-50;12.5)
	-40	8	(-40;8)
	-30	4.5	(-30;4.5)
	-20	2	(-20;2)
	-10	0.5	(-10;0.5)
	0	0	(0,0)
	10	0.5	(10;0.5)
	20	2	(20;2)
	30	4.5	(30;4.5)
	40	8	(40;8)
	50	12.5	(50;12.5)
	60	18	(60;18)
	70	24.5	(70;24.5)
	80	32	(80;32)
	90	40.5	(90;40.5)
	100	50	(100;50)
	110	60.5	(110;60.5)
	120	72	(120;72)
	130	84.5	(130;84.5)
	140	98	(140;98)
	150	112.5	(150;112.5)
	160	128	(160;128)
	170	144.5	(170;144.5)
	180	162	(180;162)
	190	180.5	(190;180.5)
	200	200	(200;200)

Fuente: Los Autores, 2014

Figura N° 48: Gráfica de la parábola



Fuente: Los Autores, 2014

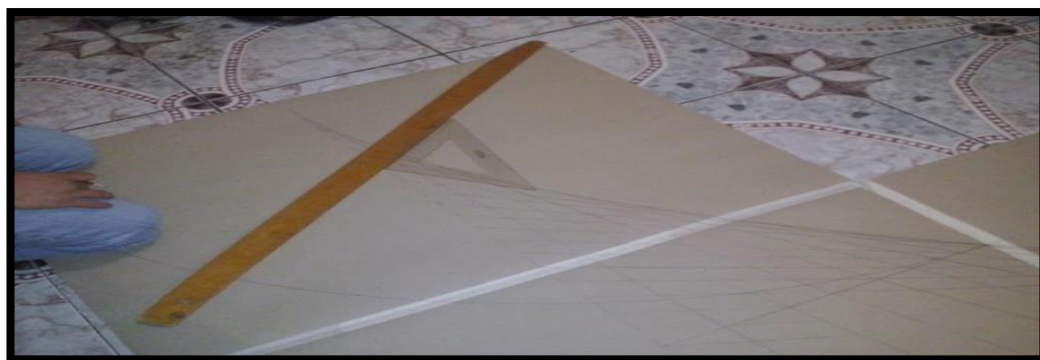
Para la construcción de la estructura se utilizó los siguientes materiales:

Tabla N° 9: Materiales para la construcción de un paraboloide

Material	Cantidades	Descripción
Tubo redondo de 1 ¼ de pulgada	6 m	Área circular
Tubo poste de 1 pulgada	5 m	Base de sujeción del motor
Tubo cuadrado de 3 pulgadas	6m	Base estructural del soporte del colector solar
Chumaceras de 1	2u	Movilidad
Láminas de aluminio espejado de 7mm espesor	2u	Concentrador
Remaches	100u	Sujeción de láminas de aluminio.

Fuente: Los Autores ,2014

Figura N° 49: Trazos geométricos del molde de un paraboloide.



Fuente: Los Autores ,2014

Figura N° 50: Trazos geométricos del molde de un paraboloide1.

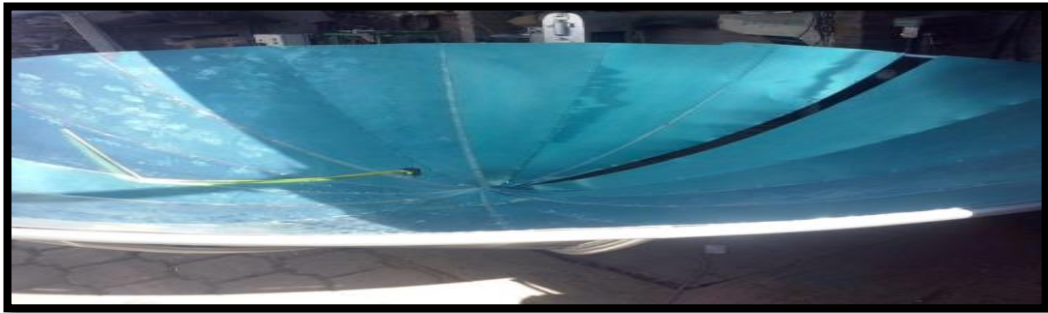


Fuente: Los Autores, 2014

Una vez realizado el Trazo del molde para conformar el paraboloide de revolución que se construyó en base a los materiales

detallados en la Tabla 9, se procedió a la construcción del mismo y posteriormente se realizó el corte y sujeción de las láminas de aluminio para conformar completamente el colector.

Figura N° 51: Estructura del paraboloide de revolución de 4 m



Fuente: Los Autores, 2014

4.3.5. Autonomía del sistema

Demandas.

- Lámpara UV 5w
- Micro bomba sumergible 8w
- Auto consumo del inversor 18w

$$P_t = (5 + 8 + 18)w$$

$$P_t = 31 w$$

Las especificaciones técnicas de las baterías Ritar Power el tiempo de autonomía del sistema está en un rango de 7 horas, como se tiene dos baterías el tiempo se duplica y la autonomía del sistema se totaliza en 14 horas.

4.3.6. Presupuesto del proyecto

Para realizar el cálculo del presupuesto para la implementación del proyecto se tomó en cuenta los precios de cada uno de los elementos adquiridos en el mercado nacional y los costos de los elementos importados, con los cuales se procede a desarrollar el cálculo para determinar la inversión del proyecto.

Tabla N° 10: Presupuesto del sistema

Presupuesto sistema de generación termo solar Disco Parabólico con Motor Stirling					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	V. unitario	V. Total
Colector Solar					
1	Tubo redondo de 1 1/4 pulgadas x 2 mm	Unidad	3	6.54	19.62
2	Tubo redondo de 1 pulgada x 1 mm	Unidad	10	4.805	48.05
3	Planchas de aluminio espejado de 7 mm	Unidad	8	28.75	230
4	Cartón Gris # 30	Unidad	8	1.74	13.92
5	Chumaceras de 1 pulgada	Unidad	2	6.5	13
6	Remaches	Unidad	100	0.035	3.5
7	Tubos de 4plg x 3mm	Unidad	2	200	400
8	Llantas de 4plg	Unidad	4	4	16
9	Elementos de anclaje	Unidad	1	20	20
10	Mano de Obra	Unidad	1	550	550
Elementos del Sistema					
11	Motor Stirling tipo Gamma	Unidad	1	550	550
12	Generador de Imanes Permanentes Trifásico	Unidad	1	315	315
13	Pintura Automotriz color plata mate	1 galón	1	18	18
14	Poleas de aluminio de 8 y 4 pulgadas	Unidad	2	16	32
15	Regulador de carga Phocos CML 12/24 10/10A	Unidad	1	56.58	56.58
16	Baterías Ritar Power RT12180 12V18Ah	Unidad	2	59.14	118.28
17	Caja y elementos de operación maniobra	Unidad	1	60	60
18	Motor universal	Unidad	1	60	60
19	Actuador lineal DC	Unidad	1	180	180
20	Fuente DC 12V 12,5A	Unidad	1	50	50
21	Termocupla tipo K	Unidad	1	10.5	10.5
Gastos Adicionales					

22	Gastos de Importaciones Aduanas	Unidad	2	40	80	
23	Rectificación y adecuación de poleas y Motor Stirling	Unidad	1	60	60	
24	Cables de conexión 4x14 AWG concéntrico	metros	20	1.35	27	
25	Cables de conexión 3x14 AWG concéntrico	metros	20	1.20	24	
26	Cables de conexión 2x14 AWG concéntrico	metros	20	1.05	21	
Aplicativo						
27	Tanque para almacenamiento	Unidad	1	7	7	
28	Válvula Check	Unidad	1	8	8	
29	Bomba tipo sumergible	Unidad	1	15	15	
30	Filtro UV	Unidad	1	85	85	
31	Mangueras	metros	2	5.5	11	
32	Abrazaderas	Unidad	6	2.5	15	
33	Flotador	Unidad	1	8	8	
34	Mano de Obra	Dias	3	25	75	
Extras						
35	Transporte	Unidad	1	100	100	
36	Alimentación	Unidad	1	60	60	
37	Impresiones	Unidad	4	28	112	
38	Instrumentos de medición	Unidad	3	30	90	
					Total	3582.45

Fuente: Los Autores, 2014

Figura N° 52: Ubicación del sistema de generación termo solar.



Fuente: Los Autores, 2014

4.3.7. Mediciones del sistema

Las pruebas se realizaron para obtener datos del funcionamiento del sistema sin carga y se obtuvo lo siguiente. La medición de temperatura se la realizó mediante el uso de una Termocupla tipo k que tiene un rango de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1.372\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se obtuvo $347\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una irradiancia de 1.162 W/m^2 , como indica la Figura N°52.

Figura N° 53: Medición de temperatura de operación sin carga.



Fuente: Los Autores, 2014

Figura N° 54: Irradiancia de operación del sistema sin carga.



Fuente: Los Autores, 2014

Medición de voltaje: La medición de voltaje se la realizó mediante el uso de una pinza amperimétrica y se obtuvo 12 voltios en corriente continua, a una irradiancia de 1.162 W/m^2 , y a una temperatura de $347 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figura N° 55: Medición de voltaje de operación del sistema



Fuente: Los Autores, 2014

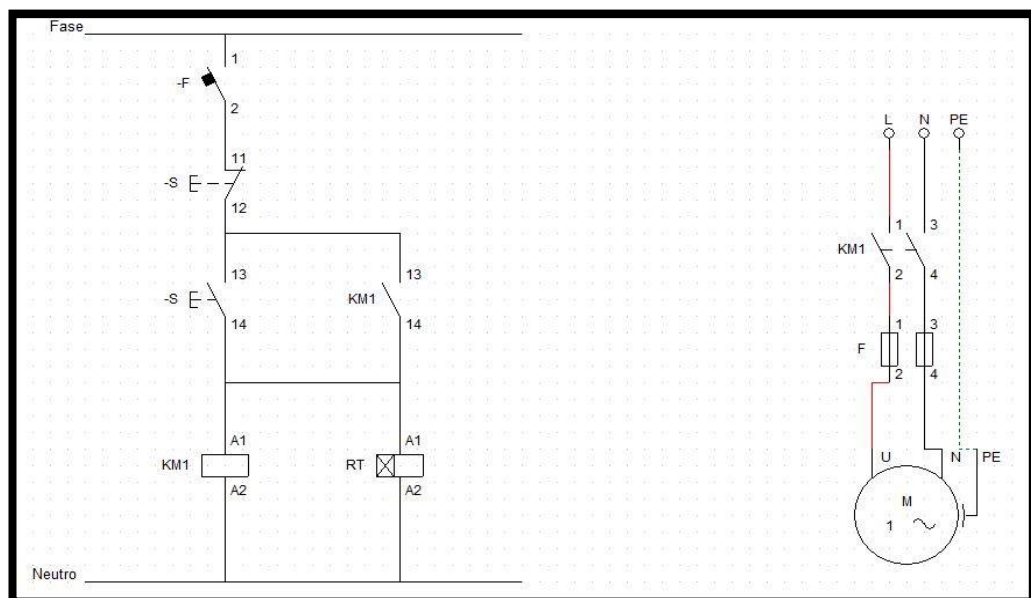
4.3.8. Análisis de resultados

La potencia de la energía mecánica rotacional generada por el motor Stirling es suficiente para generar 12v cuando el generador está en vacío sin embargo al conectarle una carga al mismo se genera una fuerza contra electromotriz que frena por completo el movimiento rotacional del generador, este fenómeno es causado por las siguientes razones.

- El motor Stirling implementado es un motor de tipo artesanal construido para funcionamiento con combustión de elementos derivados de petróleo, es en estas condiciones la temperatura se mantiene constante, en nuestro caso variaciones como la velocidad del viento, la cantidad de irradiación directa e imperfecciones en el colector, son los limitantes que determinan la variación de la temperatura y por ende una temperatura continua en los focos de trabajo del motor Stirling.
- El receptor del motor Stirling implementado no posee la tecnología de los sistemas de alta eficiencia como por ejemplo los receptores de tubos directamente iluminados y los receptores de reflujos de los sistemas Euro Dish que contienen gases como el sodio, helio e hidrogeno herméticamente sellados a alta presión, que aportan mayor transmisión de temperaturas en el foco caliente de los motores Stirling y garantizan una mayor potencia que el de nuestro sistema.
- Los grandes sistemas de generación termo solar que trabajan actualmente en países de Europa como en EEUU tienen implementado motores Stirling con un alternador ensamblado, sellado y acoplado directamente en su interior que es un sistema herméticamente sellado a alta presión y con fluidos de trabajo como los anteriormente mencionados, donde las pérdidas son mínimas, en el motor Stirling del sistema implementado el fluido de

trabajo es el aire a presión normal, el generador esta acoplado mediante banda y poleas donde se genera grades perdidas rotacionales causadas por el rozamiento y temperatura de operación no constante, lo que hace que el generador a su salida genere una baja corriente de operación y por ende al momento de conectar una carga la fuerza contra electromotriz sea mayor que la fuerza de presión del motor Stirling lo que ocasiona que el motor Stirling no continúe con su movimiento rotacional.

Figura N° 56: Diagrama de arranque de motor impulsor



Fuente: Los Autores, 2014

Hyporex Technologies Inc. (2014) En su página web afirma:

Después de encender la llama, espere 30 segundos, empuje el volante hacia la derecha, como se muestra en los videos de YouTube. (<http://www.hyporex.ca/stirling-engine.php>)

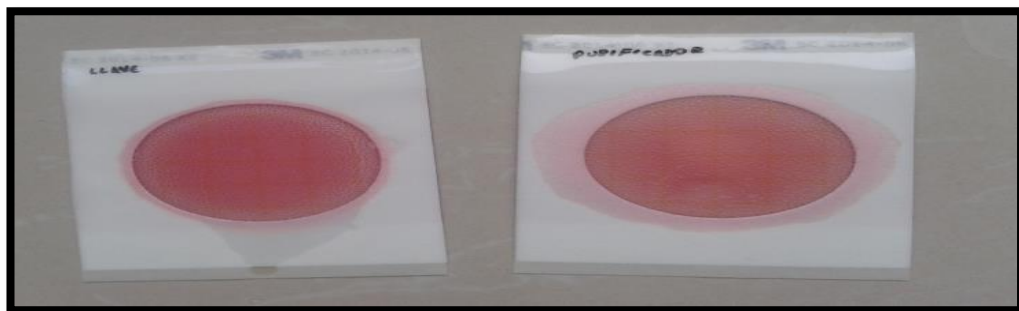
Como podemos observar en la cita anterior el motor Stirling necesita un impulso para empezar su ciclo de funcionamiento, por tanto se diseñó un sistema de arranque que ayuda a romper la inercia del motor Stirling, éste

está constituido por un actuador lineal y un motor universal el cual impulsa al motor Stirling para iniciar el proceso de compresión de aire en el foco caliente del motor y poder dar inicio al movimiento rotacional necesario para mover el generador de imanes permanentes que se encuentra unido mediante una banda a dos poleas que componen el sistema de transmisión para finalmente obtener la energía de salida en el sistema, dicho esquema lo podemos observar en el anexo N° 9.

4.3.9. Análisis de la calidad después del purificador de luz UV

La calidad del agua que sale después de la purificación por medio de la luz UV, es muy buena para el consumo humano de acuerdo a los análisis respectivos que se hizo en los laboratorios especializados de la FICAYA, para tal análisis se tomó muestras de agua de la llave, y a la salida del purificador de agua tales resultados se los puede observar en la Figura N°55.

Figura N° 57: Muestras del agua antes y después de la purificación



Fuente: Los Autores, 2014

Figura N° 58: Resultado del análisis de aguas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 - CONEA - 2010 - 129 - DC.
 Resolución No. 001 - 073 - CEAAACES - 2013 - 13
FICAYA
 Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS			
DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Eduardo Ruano	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Ibarra
Teléfono:		Parroquia:	La Victoria
Fax:		Sitio:	Universidad Técnica del Norte
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	Potable Purificada	Nro. Reporte:	194 - 2014
		Tipo de Análisis:	Parcial
		Muestra:	2
		Fecha de Ingreso:	11 de noviembre de 2014
		Fecha de Reporte:	18 de noviembre de 2014
Parámetros Microbiológicos	Unidad	Potable	Purificada
Recuento de Coliformes totales	UFC/ ml	0	0
Recuento de E. coli	UFC/ ml	0	0
		Método Aplicado	
		EPA - 40 CFR	EPA - 40 CFR

Nota: Los resultados pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas en el laboratorio.



Bioq. José Luis Moreno
TECNICO DE LABORATORIO



Fuente: Los Autores, 2014

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los niveles de radiación solar en la ciudad de Ibarra son favorables para poder implementar un sistema de generación eléctrica a partir del sol, esto se sustenta en base a datos de irradiancia e irradiación adquiridos a partir de un medidor de poder solar, INAMHI, CONELEC y CENSOLAR 5.0, al comparar estos datos con la radiación solar que hay en EEUU y Europa indica que si es factible la implementación de sistemas de generación eléctrica a partir del sol en la provincia de Imbabura.

Para implementar sistemas termo solares, mediante el cual se quiere obtener energía eléctrica es necesario realizar un estudio minucioso de las variables climáticas que involucra el lugar en donde se pretende instalar el sistema, como por ejemplo la irradiancia incidente del lugar, la velocidad del viento y las condiciones climáticas, temperatura ambiente, etc., ya que son difíciles de predecir.

Debido a la construcción del motor Stirling, a las modificaciones y acoplamientos realizados en el sistema implementado ya que no se incluyeron todos los elementos por su costo, no se obtuvieron los resultados deseados en cuanto a potencia generada, sin embargo se puedo generar un voltaje de operación de 12 Vcc.

Los fluidos ideales de trabajo en un motor Stirling son los gases como el helio y el hidrogeno presurizados, debido a que estos brindan altos rendimientos en cuanto a potencia mecánica necesaria para generar suficiente fuerza motriz con la cual generar la energía rotacional ideal para la generación de energía eléctrica; en el sistema implementado se utilizó aire.

5.2 Recomendaciones

En el sistema termo solar implementado se debe de realizar un mantenimiento periódico, especialmente en el colector parabólico, debido a que en éste se acumula polvo que ocasiona la reducción del factor de reflectividad del material, lo que genera pérdidas por refracción que disminuyen la energía incidente en el receptor, el tiempo que se tomaría en cuenta es el de un mes aproximadamente esto dependerá mucho de la estación climática del año en la que nos encontremos.

El seguimiento solar es fundamental para alcanzar el máximo aprovechamiento del recurso solar en este proyecto, sin embargo el diseño del motor Stirling es limitado en cuanto a su disposición para su operación por lo que se recomienda un seguimiento solar no más allá de los 30 grados de inclinación respecto al ángulo de incidencia solar.

Para mantener una temperatura constante de operación del sistema sería aconsejable implementar un sistema hibrido o de cogeneración mediante la utilización de combustibles alternativos para obtener una mayor cantidad de potencia en el motor Stirling para aumentar el rendimiento del generador.

Adicionalmente sería recomendable diseñar e implementar un sistema de absorción de radiación en el receptor para que así se aumente el calor que excite al motor Stirling y mejore su eficiencia.

En el Ecuador se debería incentivar el desarrollo de este tipo de energías renovables debido a que las magnitudes de radiación solar en gran parte del territorio del país, son adecuadas para la instalación de estos proyectos de energía renovable.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Aguilar P. Campo Elías. (2008), Guía Práctica para la Elaboración de Tesis.
2. Antonio Madrid Vicente. (2009), Energía Solar Térmica y de Concentración: Manual Práctico de Diseño, Instalación y Mantenimiento: Madrid - España, AMV ediciones.
3. Bridge Wáter, Alban; Bridgewater, Gill. (2009). Energías Alternativas Handbook: Madrid, Paraninfo.
4. Cengel (2007), Ingeniería Mecánica, Termodinámica McGraw-Hill
5. Cevallos Augusto. (2000). Hablemos de Electricidad Segunda Edición. Politécnica Nacional.
6. Editorial Idae (2007), Manuales de Energías Renovables.
7. Fernández Barrera Manuel (2002), Energía Solar: Visionnet Ediciones.
8. García Garrido Santiago (2012), Centrales Termo Solares CCP, Madrid, Renovetec Editoriales.
9. Gustavo Zabalza (2010), Maestría en Ingeniería de la Energía.
10. Javier María Méndez Muñiz, Cuervo García Rafael (2011). Energía Solar Térmica Tercera Edición: Madrid- España, Gráficas Marcar, S.A.
11. José M. Fernández Salgado (2010), Guía Completa de la Energía Solar Térmica Termoeléctrica
12. Pérez Escudeo Llorenc (2004), Estudio Teórico y de Vialidad de la Radiación Solar Concentrada en un Motor Stirling
13. Renovetec (2012), Centrales Termo Solares de Concentrador Cilindro-Parabólico, Madrid, Renovetec Editoriales.
14. Renovetec (2012), Ingeniería de Centrales Termo Solares CCP, Madrid, Renovetec Editoriales.
15. Santiago García Garrido (2009-2013) , Centrales Termo Solares CCP, volumen 1

16. Santiago García garrido (2012), Guía Técnica de la Energía Solar Termoeléctrica.

LINCOGRAFÍA.

1. <http://censolar.com/>
2. <http://cienciageografica.carpetapedagogica.com/2013/05/caracteristicas-del-sol.html>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_thermal_energy_conversion
4. http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar
5. http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/biomasa.htm
6. <http://www.adrformacion.com/cursos/solarter/leccion1/tutorial5.html>
7. http://www.amazon.com/adidas-Athletic-Stretch-2-Pack-Heather/dp/B004RKJF8M/ref=sr_1_17?s=apparel&ie=UTF8&qid=1408593216&sr=1-17&keywords=adidas
8. http://www.amazon.com/adidas-Golf-Climalite-3-Stripes-Pullover/dp/B00AKYVI7U/ref=pd_sim_a_3?ie=UTF8&refRID=1FWF4ZSJE64GX1E66XY1
9. http://www.amazon.com/adidas-Mens-CC-Superlite-Sock/dp/B00B9BCFXO/ref=sr_1_6?s=apparel&ie=UTF8&qid=1408593216&sr=1-6&keywords=adidas
10. http://www.amazon.com/adidas-Outdoor-1-Sided-Fleece-Jacket/dp/B00AZJMUTA/ref=sr_1_32?s=apparel&ie=UTF8&qid=1408599626&sr=1-32&keywords=JACKET+ADIDAS+MEN+COTTON
11. http://www.amazon.com/New-Balance-MX623-Cross-Training-White/dp/B007JTXJY4/ref=sr_1_66?s=apparel&ie=UTF8&qid=1408598611&sr=1-66
12. http://www.amazon.com/PUMA-Tricot-Jacket-Black-White/dp/B006VWJSL8/ref=sr_1_10?s=apparel&ie=UTF8&qid=1408598204&sr=1-10

13. <http://www.ame.gob.ec/ame/index.php/institucion/objetivos-estrategicos/67-mapa-cantones-del-ecuador/mapa-imbabura/284-canton-ibarra>
14. <http://www.centralestermosolares.com>
15. http://www.ebay.com/itm/WindZilla-24-V-DC-Permanent-Magnet-Generator-Wind-Turbine-Motor-PMA-Rectifier-/360687153137?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item53faa12ff1
16. <http://www.evwind.com-termsolar-con-discos-stirling>
17. <http://www.metric-conversions.org/es/temperatura/kelvin-a-celsius.htm>
18. <http://www.monografias.com/trabajos65/radiacion-solar/radiacion-solar2.shtml>
19. <http://www.opex-energy.com>
20. <http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm017.htm>
21. <http://www.renovetec.com>
22. <http://www.renovetec.com>
23. <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num10/art67/imagenes/Figura01.jpg>
24. <http://www.solarweb.net/termosolar.php>
25. <http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report05/Comunicaciones/Mesa%20IV/D.%20%C3%81lvaro%20Ramos%20Sol%C3%A1%20-%20IBERDROLA%20-%20.pdf>
26. <http://www.wordreference.com/definicion/convección>
27. https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=H94rVMiYLIbn9AbcjoH4DQ&gws_rd=ssl#q=opaco%20significado
28. Instituto Nacional de Meteorología e hidrología (2012), Mapas climáticos. Recuperado de: <http://www.inamhi.gob.ec/index.php/paute>
29. Wikipedia.org, (2012), Fuentes de energía. Recuperado de http://es.wikipedia.org/wiki/Fuentes_de_energ%C3%ADa_renovables#Renovables_o_verdes

ANEXOS

ANEXO 1: Controlador de carga Phocos CML- V2

Datos Técnicos

Voltaje nominal	12 / 24 V, reconocimiento automático
Voltaje de carga profunda	14.5 / 29.0 V (25° C), 2 h
Voltaje de ecualización	14.8 / 29.6 V (25° C), 2 h
Voltaje de flotación	13.7 / 27.4 V (25° C)
Función de Desconexión por Bajo Voltaje	11.4-11.9 / 22.8-23.8 V controlado por el estado de carga, 11.0 / 22.0 V controlado por el voltaje
Voltaje de reconexión de carga	12.8 / 25.6 V
Compensación de temperatura	-4 mV/cell*K
Máx. corriente de panel solar	5 / 8 / 10 / 15 / 20 A de acuerdo con el número de modelo @ 50° C
Máx. corriente de carga	5 / 8 / 10 / 15 / 20 A de acuerdo con el número de modelo @ 50° C
Dimensiones	80 x 100 x 32 mm (w x h x d)
Peso	180gr
Máx. tamaño de cable	16 mm ² (AWG #6)
Autoconsumo	4 mA
Escala de temperatura ambiental	-40 a + 50° C
Caja de protección	IP 22

Sujeto a cambios sin aviso.
Versión: 20121217
Hecho en uno de los siguientes países:
Alemania- China - Bolivia - India
Phocos AG - Alemania
www.phocos.com

ISO9001:2000

 RoHS

ANEXO 2: Baterías de ciclo profundo Ritar Power RT 12180



RT 12180 (12V18Ah)

RT 12180 is a general purpose battery with 5 years floating design life, meet with IEC, JIS standard. With heavy duty grid, thickness plates, special additives, RT series battery have long and reliable standby service life.



Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	18Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 5.0 Kg
Max. Discharge Current	180A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 14 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float charging Voltage	13.7 to 13.9 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	5.4 A
Equalization and Cycle Service	14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RTAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Faston P3/P13
Container Material	A.B.S. (UL94-HB), Flameability resistance of UL94-V2 can be available upon request.



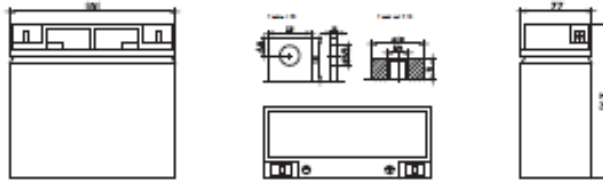




ISO9001:2000 Certified

Dimensions

Unit: mm Dimension: 181(L)×77(W)×167(H)



Constant Current Discharge Characteristics : A(25°C)

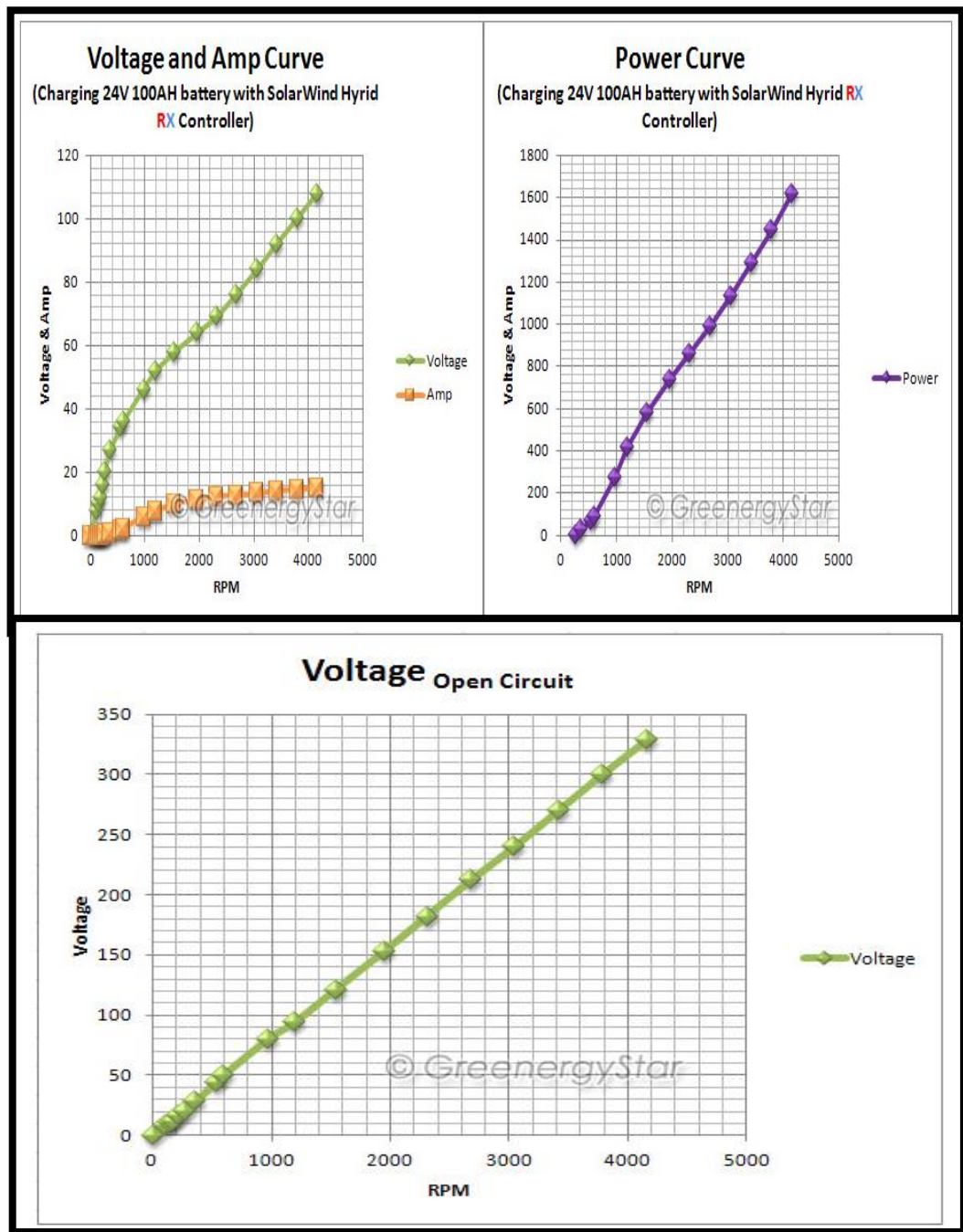
F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.80 V	73.19	47.99	37.81	21.11	12.55	7.228	4.910	3.929	3.263	2.078	1.799	1.010
10.0 V	70.55	46.79	36.41	20.84	12.20	7.080	4.820	3.875	3.208	2.070	1.781	0.973
10.2 V	68.40	44.47	35.40	20.53	12.09	7.005	4.777	3.837	3.173	2.051	1.754	0.955
10.5 V	59.89	41.58	33.39	19.98	11.85	6.914	4.734	3.800	3.135	2.033	1.745	0.927
10.8 V	53.48	38.78	31.50	19.30	11.64	6.857	4.679	3.781	3.102	2.025	1.736	0.873
11.1 V	46.79	35.55	29.08	18.57	11.32	6.581	4.587	3.748	3.070	2.009	1.689	0.858

Constant Power Discharge Characteristics : W(25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.80 V	770.0	510.4	402.7	241.7	145.7	84.30	57.40	46.30	38.83	24.89	21.56	12.10
10.0 V	749.9	499.8	396.9	239.2	143.5	83.58	57.28	46.30	38.43	24.79	21.35	11.87
10.2 V	713.3	480.0	391.7	237.1	142.5	83.05	57.07	46.01	38.06	24.60	21.15	11.68
10.5 V	651.0	460.2	371.3	232.3	140.8	82.38	56.83	45.59	37.61	24.40	20.93	11.13
10.8 V	587.4	430.5	350.8	226.8	138.3	81.70	56.17	45.42	37.22	24.29	20.81	10.69
11.1 V	518.0	400.8	330.4	220.8	135.7	79.88	55.07	44.96	36.86	24.12	20.31	10.32

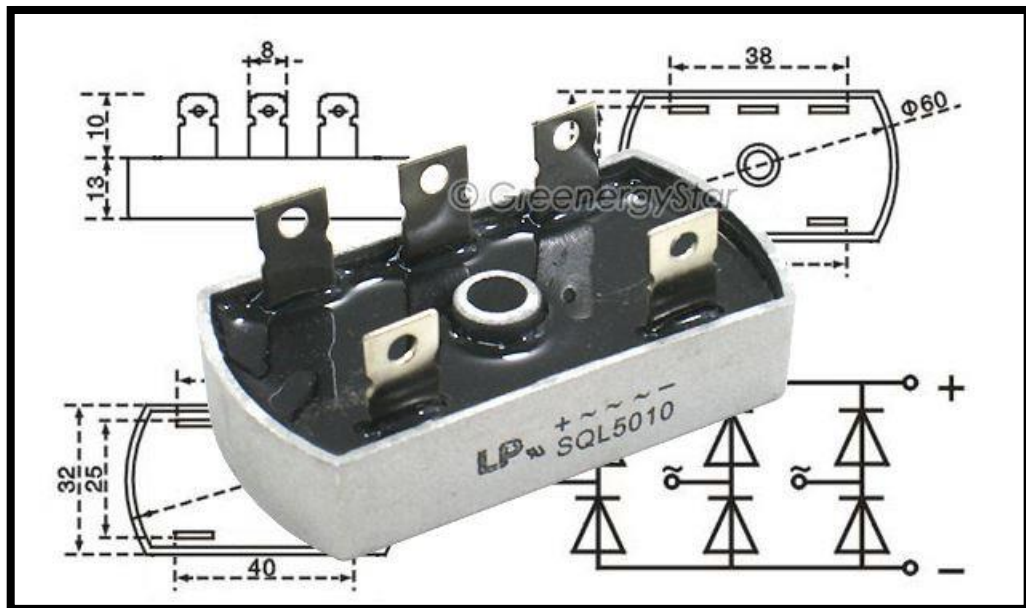
All mentioned values are average values.

ANEXO N°3: Generador de imanes permanentes Windzilla 24v,550 W.



Fuente: http://www.ebay.com/itm/WindZilla-24-V-DC-Permanent-Magnet-Generator-Wind-Turbine-Motor-PMA-Rectifier-/360687153137?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item53faa12ff1

ANEXO N° 4: Rectificador trifásico



Rectifier Specification:	
Voltage	1000V
Current	50A
Temperature	55°C
<p><i>Features:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Converts 3 phase AC (up to 1000V) to DC - Works on all battery banks - High voltage / current carrying capacity 	
<ul style="list-style-type: none"> - Aluminum casing to facilitate heat dissipation, great cooling capabilities - Epoxy to seal of electronics / connections from moisture 	

Fuente: <http://www.ebay.com/itm/50-AMP-A-3-THREE-PHASE-BRIDGE-RECTIFIER-WIND-TURBINE-DC-/360380457434>

ANEXO N° 5: Implementación del sistema de generación termo solar
Disco Stirling



Fuente: Los Autores, 2014

ANEXO N° 6: Implementación del purificador de agua con lámpara ultravioleta.



Fuente: Los Autores, 2014

ANEXO N° 7: Reconexión del sistema fotovoltaico como respaldo de energía del sistema de generación termo solar.



Fuente: Los Autores, 2014

ANEXO N° 8: Puesta en línea del sistema fotovoltaico como respaldo de energía del sistema de generación termo solar.



Fuente: Los Autores, 2014



2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Chandi Paguay Kléber Andrés, con cédula de identidad Nro. 040145203-2, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular del derecho patrimonial, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de Abril del 2015

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Chandi Paguay Kléber Andrés
C.I.: 040145203-2

Facultado por resolución de Consejo Universitario _____



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Chandi Paguay Kléber Andrés, con cédula de identidad Nro. 040145203-2, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: "ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN TERMO SOLAR MEDIANTE DISCO REFLECTOR PARABÓLICO Y MOTOR STIRLING E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO A ESCALA PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE UN FILTRO DE PURIFICACIÓN DE AGUA CON LUZ ULTRA VIOLETA EN LAS AULAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN EL PERIODO 2014-2015.", que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

TELÉFONO FIJO: TELÉFONO MÓVIL: 0990740489

DATOS DE LA OBRA

TÍTULO: ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN TERMO SOLAR MEDIANTE DISCO REFLECTOR PARABÓLICO Y MOTOR STIRLING E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO A ESCALA PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE UN FILTRO DE PURIFICACIÓN DE AGUA CON LUZ ULTRA VIOLETA EN LAS AULAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN EL PERIODO 2014-2015.

(Firma).....
Nombre: Chandi Paguay Kléber Andrés
C.I.: 040145203-2

Ibarra, a los 22 días del mes de Abril del 2015

FECHA ACEPTADO: 2015-04-22

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Pablo Méndez

5. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Ruano Vega Eduardo Salvador, con cédula de identidad Nro. 040133535-1, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

6. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular del derecho patrimonial, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de Abril del 2015

EL AUTOR:

ACEPTACIÓN:

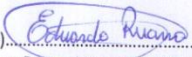
(Firma)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Ruano Vega Eduardo Salvador, con cédula de identidad Nro. 040133535-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: **"ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN TERMO SOLAR MEDIANTE DISCO REFLECTOR PARABÓLICO Y MOTOR STIRLING E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO A ESCALA PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE UN FILTRO DE PURIFICACIÓN DE AGUA CON LUZ ULTRA VIOLETA EN LAS AULAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO EN EL PERIODO 2014-2015."**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

(Firma) 
Nombre: Ruano Vega Eduardo Salvador
C.I.: 040133535-1

Ibarra, a los 22 días del mes de Abril del 2015.