

# **UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS**

INGENIERIA DE PRODUCCION

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR  
CILÍNDRICO Y PARABÓLICO PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA”**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a  
los requisitos Para obtener el titulo de Ingeniero de  
la Producción.

ING. JULIO CONDOR

ENRIQUE FRANCISCO MOYA OSORIO

**2008**

## **“AGRADECIMIENTO”**

A Dios por darles la vida a mis padres y mis hermanas.

A mis padres por ser las personas que me han formado como una persona.

A mis hermanas por estar junto a mí en las buenas y en las malas.

Al ingeniero: Julio Condor y a todas las personas que han intervenido para la culminación de este proyecto.

A la Universidad de las Américas por acogerme todos estos años en sus aulas, darme una educación de excelencia y el a ver compartido varias experiencias que me han formado como la persona que soy.

A mi Pamo quien ha sido un gran apoyo durante todo este tiempo, lo que me ha servido para la culminación de este proyecto.

Sin ánimo de olvidar a nadie y en particular a todas aquellas personas que de una u otra forma han compartido mi vida, mis más sinceros agradecimientos a su comprensión, estímulo y ayuda, ya que todos son parte de mi vida.

**Enrique Moya O., Paco – Quike**

## **DEDICATORIA**

Al culminar mis estudios en la Universidad de las Américas dedico el presente proyecto con todo cariño y mi amor a ti mi Dios, que me diste la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa, en especial la dedico a mis padres que con su esfuerzo, su apoyo y su sacrificio han logrado forjar en mi una persona de grandes valores, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre me han brindado todo su amor y su comprensión.

A mis hermanas Carolina y Diana, que me han apoyado en todo momento, me han cuidado y me han colaborado con su cariño en mis estudios, las quiero mucho y a mi novia Pamo que siempre me esta apoyando y este proyecto también es para ustedes amigos e ingenieros.

**Enrique Moya O., Paco – Quike.**

## RESUMEN

El uso de energías renovables es hoy en día un tópico que no se puede pasar por alto. Las energías renovables son limpias respecto de las emisiones de gases de efecto invernadero, reducen la dependencia de electricidad producida en centrales hidroeléctricas y termoeléctricas y de los combustibles fósiles, por último se dispone de una fuente energética gratuita como el sol que se puede transformar en energía térmica. Este proyecto va encaminado a satisfacer las necesidades de la demanda de calentamiento de agua a través de energía solar y se está convirtiendo en uno de los servicios energéticos preferidos por la población. Por esta razón será de gran ayuda el estudio de esta aplicación, principalmente en el calentamiento de agua doméstica, y su aplicación en lugares donde la red eléctrica no está al alcance de los usuarios, pero tienen al alcance energías renovables como la solar.

A la radiación solar se la puede concentrar y aprovecharla térmicamente, para calentar un fluido. Esto se lleva a cabo con los llamados concentradores solares que aprovechan las cualidades de absorción de la radiación y transmisión de calor de algunos materiales, del efecto invernadero que se produce con el vidrio y las propiedades geométricas del concentrador. La misión del concentrador cilíndrico parabólico (CCP) es reflejar y concentrar sobre el tubo absorbente la radiación solar directa que incide sobre su superficie. Se trata en definitiva de un espejo curvado en una de sus dimensiones con forma de parábola, que concentra sobre su línea focal toda la radiación solar que atraviesa su plano de apertura. Energía térmica que ayudará a ingresar al agua el calor útil necesario para obtener la temperatura deseada por el usuario. El calentamiento solar por medio de concentradores cilíndricos parabólicos es una tecnología nueva y se debe priorizar su desarrollo a través de capacitaciones, para que las personas puedan desarrollar nuevos proyectos de calentamiento solar y a su vez obtener ingresos generados por este prototipo.

# INDICE DE CONTENIDO

<b>1. CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 ALCANCE.....	3
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.6 ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	5
<b>2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>7</b>
2.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	7
2.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	7
2.1.1.1 INTRODUCCIÓN.....	7
2.1.1.2 ANTECEDENTES.....	8
2.1.1.3 POTENCIA DEL SOL.....	9
2.1.1.4 LA CONSTANTE SOLAR.....	10
2.1.1.5 LA RADIACIÓN NORMAL EXTRATERRESTRE.....	11
2.1.1.6 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	13
2.1.1.7 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA ATMÓSFERA.....	14
2.1.1.8 RELACIONES ANGULARES.....	16
2.1.1.9 CÁLCULO DE LA RADIACIÓN DIRECTA SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL.....	19
2.1.2 ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR.....	21
2.1.3 CONCENTRACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	22
2.1.4 ANÁLISIS GEOMÉTRICO.....	26
2.1.5 SISTEMAS DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS.....	29
2.1.6 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN CCP.....	30

2.1.6.1 EL REFLECTOR.....	30
2.1.6.2 EL TUBO ABSORBENTE.....	32
2.1.6.3 EL SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL SOL.....	33
2.1.6.4 LA ESTRUCTURA METÁLICA.....	34
2.1.7 ESTIMACIÓN DE LA TEMPERTAURA DE UN CCP.....	34
2.1.8 FACTORES ÓPTICOS.....	38
<b>3. CAPÍTULO III: DISEÑO MODELO EXPERIMENTAL...39</b>	
<b>3.1 DISEÑO TÉRMICO DEL CONCENTRADOR CILÍNDRICO PARABÓLICO.....39</b>	
3.1.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES.....	39
3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO.....	40
3.3 CALCULO DE LA RADICACION SOLAR.....	41
3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA PARÁBOLA.....	46
<b>4. CAPÍTULO IV: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL.....81</b>	
4.1 PARÁMETROS DE CONSTRUCCION.....	81
4.2 CONSTRUCCIÓN DEL CONCENTRADOR CILÍNDRICO – PARABÓLICO.....	84
4.2.1 MATERIALES.....	84
4.3 CONSTRUCCIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	85
<b>5. CAPÍTULO V: PRUEBAS DEL MODELO EXPERIMENTAL.....87</b>	
5.1. HOMOLOGACIÓN DEL EQUIPO.....	87
5.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	88
5.2 VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO.....	90
5.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO.....	90
5.2.2 VERIFICACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA.....	91

5.2.3 RESUMEN MENSUAL DE LOS DATOS OBTENIDOS EN GRÁFICOS DE EXCEL.....	118
5.2.4 GUÍA DE LABORATORIO.....	121
5.3 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.....	121
5.3.1 BECKETT CONDENSATE REMOVAL PUMP.....	122
<b>6. CAPÍTULO VI: ANÁLISIS FINANCIERO.....</b>	<b>124</b>
6.1 ESTUDIO FINANCIERO.....	124
6.1.1 SERVICIOS DERIVADOS.....	125
6.2 ANÁLISIS FINANCIERO.....	126
6.2.1 COSTOS Y GASTOS.....	126
6.2.2 INGRESOS.....	132
6.2.3 FLUJO DE CAJA – EVALUACIÓN FINANCIERA.....	134
6.3 PRECIOS.....	135
6.4 RENTABILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO.....	136
<b>7. CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>138</b>
7.1 CONCLUSIONES.....	138
7.2 RECOMENDACIONES.....	140
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>145</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Día del Año.....	12
Tabla 2.2: Espectro Solar.....	14
Tabla 2.3: Valores de las constantes a y b.....	21
Tabla 3.1: Parámetros de diseño.....	41
Tabla 3.2: Heliofanía.....	44
Tabla 3.3: Datos Generales.....	45
Tabla 3.4: Datos Generales continuación .....	45
Tabla 3.5: Datos Generales continuación .....	46
Tabla 4.1: Parámetros de diseño.....	83
Tabla 4.2: Materiales.....	83
Tabla 5.1: Parámetros de diseño.....	91
Tabla 5.2: Datos Obtenidos Julio-Día 1.....	92
Tabla 5.3: Datos Obtenidos Julio-Día 2.....	92
Tabla 5.4: Datos Obtenidos Julio-Día 3.....	93
Tabla 5.5: Datos Obtenidos Agosto-Día 1.....	94
Tabla 5.6: Datos Obtenidos Agosto-Día 2.....	95
Tabla 5.7: Datos Obtenidos Agosto-Día 3.....	96
Tabla 5.8: Datos Obtenidos Agosto-Día 4.....	97
Tabla 5.9: Datos Obtenidos Agosto-Día 5.....	98
Tabla 5.10: Datos Obtenidos Septiembre-Día 1.....	99
Tabla 5.11: Datos Obtenidos Septiembre-Día 2.....	100
Tabla 5.12: Datos Obtenidos Septiembre-Día 3.....	101
Tabla 5.13: Datos Obtenidos Septiembre-Día 4.....	102
Tabla 5.14: Datos Obtenidos Septiembre-Día 5.....	103
Tabla 5.15: Datos Obtenidos Octubre-Día 1.....	104
Tabla 5.16: Datos Obtenidos Octubre-Día 2.....	105
Tabla 5.17: Datos Obtenidos Octubre-Día 3.....	106
Tabla 5.18: Datos Obtenidos Octubre-Día 4.....	107
Tabla 5.19: Datos Obtenidos Octubre-Día 5.....	108
Tabla 5.20: Datos Obtenidos Noviembre-Día 1.....	109



<b>Tabla 5.21: Datos Obtenidos Noviembre-Día 2.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 5.22: Datos Obtenidos Noviembre-Día 3.....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 5.23: Datos Obtenidos Noviembre-Día 4.....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 5.24: Datos Obtenidos Noviembre-Día 5.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 5.25: Datos Obtenidos Diciembre-Día 1.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 5.26: Datos Obtenidos Diciembre-Día 2.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 5.27: Datos Obtenidos Diciembre-Día 3.....</b>	<b>116</b>
<b>Tabla 5.28: Datos Obtenidos Diciembre-Día 4.....</b>	<b>117</b>

## INDICE DE FIGURAS

Fig.2.1: Irradiancia Espectral.....	13
Fig.2.2: Representación esquemática de la interacción Radiación-Atmósfera.....	15
Fig.2.3: Relaciones entre los ángulos.....	16
Fig.2.4: Concentradores de seguimiento.....	23
Fig.2.5: Concentradores Estáticos.....	23
Fig.2.6: Concentración de Radiación Solar en una Línea.....	24
Fig.2.7: Concentración de Radiación Solar en un Punto.....	25
Fig.2.8: Parábola.....	25
Fig.2.9: Elementos de la Parábola.....	27
Fig.2.10: Arco Parabólico.....	29
Fig.2.11: Concentrador Cilíndrico Parabólico CCP.....	30
Fig.2.12: Esquema de un tubo absorbente típico de un colector cilindro parabólico.....	33
Fig.2.13: Sistema de Seguimiento.....	34
Fig.2.14: Áreas.....	35
Fig.2.15: Angulo de Aceptancia de un CCP.....	36
Fig.2.16: Relaciones entre razón de concentración y temperatura del receptor.....	37
Fig. 2.17: Factores Ópticos.....	38
Fig. 3.1: Vista transversal del elemento absorbedor.....	40
Fig. 3.2: Parábola.....	46
Fig. 3.3: Balance de energía.....	47
Fig. 3.4: Temperatura en el absorbedor.....	48
Fig. 3.5: Calores que intervienen en el absorbedor.....	49
Fig. 3.6: Calores que intervienen en el balance de energía en la cubierta.....	60
Fig. 3.7: Red eléctrica.....	67
Fig. 3.8: Red eléctrica simplificada.....	68
Fig. 3.9: Red eléctrica final.....	69

<b>Fig. 3.10: Elemento Diferencial.....</b>	<b>75</b>
<b>Fig. 4.1: Sección Transversal del Tubo.....</b>	<b>82</b>
<b>Fig. 4.2: Transmisor LM335.....</b>	<b>86</b>
<b>Fig. 5.1: Esquema del Equipo.....</b>	<b>87</b>

## NOMENCLATURA

a, b	=	Constantes de cálculo
Aa	=	Área de apertura del concentrador
ATA	=	Área Total del Absorbedor
CCP	=	Concentrador Cilíndrico Parabólico.
C	=	Razón de Concentración
Dc	=	Diámetro nominal de la cubierta
Dt	=	Diámetro nominal del tubo Absorbedor
Gb	=	Irradiación solar directa
H	=	Irradiación diaria global
KT	=	Índice de Claridad
n	=	Número de días del año
Qut	=	Calor útil transferido al fluido de trabajo
T	=	Temperatura
Tamb	=	Temperatura Ambiente
$\alpha$	=	Absortancia
$\beta$	=	Pendiente del plano
$\delta$	=	Declinación Solar
$\gamma$	=	Acimut de la superficie
$\omega$	=	Ángulo horario
$\phi$	=	Latitud Geográfica
$\rho$	=	Reflejancia
$\theta$	=	Ángulo de incidencia
$\theta_z$	=	Ángulo de cénit

$\tau$  = Transmitancia

$\varepsilon$  = Emitancia

$\theta_A$  = Ángulo de Aceptancia

$\theta_s$  = Mitad del ángulo subtendido por el sol

# INTRODUCCIÓN

La energía solar, como recurso energético terrestre, es aquella recibida por la Tierra en forma de radiación visible, infrarroja, irradiación y rayos ultra violetas que emite el Sol. Ecuador es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio y durante buena parte del año.

Por razones económicas, ambientales, políticas y sociales es necesario buscar otras fuentes alternativas de energía que sean a la vez económicas, abundantes, limpias, preserven el equilibrio ecológico y que permitan el acceso a la mayoría de la población.

La Energía proveniente del Sol, el Viento, Mareomotriz y de la Tierra misma (geotérmica), son las mejores opciones con respecto a las energías convencionales. Se pueden construir dispositivos solares de cualquier tamaño. Esto presenta la posibilidad de llevar energía a las casas en zonas remotas, áreas protegidas, donde no pueden instalarse proyectos convencionales.

Además, la energía del sol es un excelente porque:

- El sol emite energía los 365 días al año a nuestra planeta. Todos los lugares reciben esta energía en diferentes proporciones, según la ubicación (latitud),
- La fuente de energía es abundante y gratuita;
- No es contaminante, como el petróleo, el carbón y otras energías tradicionales ;
- No tiene desechos radioactivos, como la nuclear;
- No necesita ningún tipo de cables o tanques, para su transportación y/o almacenamiento;
- El sol es responsable de que en nuestro planeta existan las condiciones adecuadas para la supervivencia de la vida humana, animal y vegetal.

En el Ecuador el estudio, la explotación y el desarrollo de las Energías no Convencionales ha sido mínimo o casi nulo. Uno de los tipos de energía con que nuestro país cuenta, es la energía solar, por eso se hace necesario e indispensable su estudio y aprovechamiento.

Este proyecto va encaminado a satisfacer las necesidades de comodidad de las personas, a través del calentamiento de agua con un concentrador solar cilíndrico y parabólico, aprovechando la excelente radiación solar que existe en el Ecuador y minimizando el consumo de energía eléctrica y de combustibles fósiles por parte de las personas en especial en lugares donde el servicio es de difícil acceso.

Ésta es una buena alternativa para la diversificación de recursos energéticos, para reducir la dependencia de las compañías eléctricas o de combustibles fósiles las cuales son las principales fuentes de energía y éstas son una de las fuentes más grandes de contaminación ambiental en el país y del mundo.

Es por eso que se puede reducir la contaminación ambiental aprovechando la disponibilidad de una fuente energética inagotable, gratuita y respetuosa con el medioambiente como es el sol.