



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES



TÍTULO:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HIDROSEGUIDOR
PARA EL CONTROL DEL SEGUIMIENTO DE UNA COCINA
SOLAR PARABÓLICA”

TESIS DE GRADO PREVIA
A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO
ELECTROMECÁNICO

AUTORES : Julio César Cuenca Lima
Ángel Rodrigo Quinde Quille

DIRECTOR : Ing. Jorge Luis Maldonado Correa

FECHA : Septiembre del 2010

Loja-Ecuador

CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Director de la Tesis, cuyo tema versa en “**Diseño y Construcción de un Hidroseguidor para el Control del Seguimiento de una Cocina Solar Parabólica**” de la carrera de *Ingeniería Electromecánica* de la *Universidad Nacional de Loja*, a petición de la parte interesada;

CERTIFICA:

Que el presente *Proyecto de Investigación* fue elaborado bajo mi dirección, y una vez que ha sido culminado, autorizo la presentación del mismo para los fines legales pertinentes.

Loja, 10 de Septiembre del 2010

.....
Ing. Jorge Luis Maldonado Correa
DIRECTOR DE TESIS.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Las ideas, hechos, principios, conceptos y resultados vertidos en el presente proyecto de tesis, son de exclusiva responsabilidad de los autores que firman a continuación, quienes a su vez, autorizamos al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables; hacer uso del presente documento en lo conveniente.

.....

Julio César Cuenca Lima
Egdo. Ingeniería Electromecánica

.....

Ángel Rodrigo Quinde Quille
Egdo. Ingeniería Electromecánica

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la *Universidad Nacional de Loja*, al *Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables*, que nos acogió en todos los años de estuantes, hasta llegar a nuestra profesionalización:

De manera muy apreciada;

- Al *Ing. Jorge Luis Maldonado Correa*, Director de Tesis, por haber colaborado en la realización del presente proyecto.

- *A nuestros familiares, compañeros y amigos* que con su apoyo y ánimo nos impulsaron a la culminación de nuestro Proyecto de Tesis.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico especialmente a Dios sobre todo, a mis Padres "José Ángel y Marianita de Jesús", quienes que con sabios consejos, paciencia y dedicación supieron guiarme por el buen camino, a mis hermanos "Diego y Diana", familiares, amigos y a todos aquellos que me brindaron todo su apoyo incondicional, desinteresado y sincero, en cada momento de mi vida, para cumplir esta meta.

Ángel R.

*Con Amor y aprecio a mi mamita, a mi "Belita" y a mi "Chon" por ser los pilares más importantes de mi vida... A mi padre por el apoyo incondicional y por ser junto a mi mamita mis primeros maestros... A mis hermanos "Fabiano, Tuliano, Cristiano y Elvin" por sus sacrificios... A mis cuñaditas; Rubica (que vale por dos), Diana y Melvis, y; A mis sobrinas/os "Fecha, chuchu, clon, cuico y manuco" por su cariño... A mis hermanas/os de la coordi de DDHH, del Acuerdo Nacional de jóvenes... y a todas/os las/los luchadores por las reivindicaciones sociales; entre estas las del "libre ingreso a la Universidad" y de ese tan luchado Art. 39 de la constitución del 2008... Dedicación especial a la "mama" Transito Amaguaña ejemplo de vida y luchadora incansable por nuestros derechos... A mis maestras/os que me exigieron y contribuyeron a mi formación; siempre con ese pensamiento amplio de que: "CUALQUIER CONOCIMIENTO APRENDIDO VALE, SOLO SI SE APLICA PARA BENEFICIO DE LA GENTE, DEL PUEBLO, PUES". A mis amigas/os por darme ánimos en esos momentos de depresión
Para ellos y uds. el presente trabajo*

Julio C.

1. RESUMEN

Los concentradores parabólicos de revolución tienen gran utilidad si lo que se quiere lograr es temperaturas altas. La cocina parabólica de revolución es una adaptación de este tipo de concentradores, a diferencia de otras cocinas solares, estas pueden cocinar ciertos alimentos que requieren para su cocción elevado gasto calórico, pero para su mayor eficacia necesitan de un elemento de seguimiento del sol.

El presente trabajo de tesis determina los parámetros de diseño y construcción de una cocina solar parabólica de revolución adaptada a un sistema de seguimiento de sol como lo es el Hidroseguidor; para luego proceder a experimentar.

ABSTRACT

The parabolic concentrators of the revolution has big benefits, if what wants to reach, high temperatures are. The parabolic kitchen of the revolution is, an adaptation this concentrators contrary to other solar kitchens these, that can cook her/it/them certain meal, that asks caloric high costs for his/its kitchen, with more effectiveness, taps but it stops his/its most severe effectiveness, that she/it need from an element of the prosecution of the sun.

The present thesis-work determines the design-parameters, and it is Hidroseguidor construction of a solar parabolic kitchen of the revolution that is tried on at a system of the prosecution of the sun like it; then, it stops to begin to find out.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	1
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	4
1. RESUMEN.....	5
ÍNDICE GENERAL	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
SIMBOLOGÍA.....	16
2. INTRODUCCIÓN	18
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
CAPÍTULO I: GENERALIDADES Y FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA	20
1.1 ¿POR QUÉ COCINAR CON EL SOL?	20
1.1.1 Necesidad de Cocinar y su dependencia Energética	20
1.1.2 Importancia de las cocinas solares	20
1.2 ESTUDIO DE LAS COCINAS SOLARES	21
1.2.1 Cocina de Acumulación	22
1.2.2 Cocina Parabólica de Concentración.....	22
1.2.2.1 Indicaciones acerca de la Construcción y manejo de la cocina de concentración... 23	23
1.2.2.2 Tipos de Concentradores.....	25
1.2.2.3 Demanda de Diseño de la Cocina Solar	29
1.2.2.4 Energía solar promedio (Ht).....	29
1.2.2.5 Área del colector Parabólico de Revolución (Ac).....	30
1.2.2.6 Geometría del colector parabólico de revolución.....	30
1.2.2.6.1 Cálculo de la Concentración	32
1.2.2.6.2 Pérdidas energéticas debidas a la geometría de la parábola.....	34
1.2.2.6.3 Intensidad máxima que puede inducir en la olla considerando únicamente pérdidas por geometría de la parábola	34

1.2.2.7	Concentración efectiva y Aplicaciones de las cocinas parabólicas.....	34
1.2.2.8	Consideraciones socioeconómicas entorno a las cocinas solares	35
1.3	ALINEAMIENTO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA	36
1.3.1	Radiación Solar	36
1.3.2	Irradiación sobre captadores.....	38
1.3.2.1	Generalidades Climáticas de Loja.....	38
1.3.2.2	Radiación promedio en Loja	39
1.3.3	Orientación e Inclinación	39
1.4	PÉRDIDAS POR ALINEAMIENTO: ÁNGULO DE INCIDENCIA O (FACTOR DE INCIDENCIA)	
	($\cos\theta$) A PARTIR DEL GIRO SOBRE UN EJE HORIZONTAL (NORTE-SUR) CON AJUSTE	
	CONTINUO DE LA ORIENTACIÓN	41
1.4.1	Características de la Radiación Directa.....	42
1.4.2	Definición de Parámetros	42
1.4.3	Relaciones Trigonométricas	45
1.4.4	Ángulo de Incidencia formado por los vectores \vec{n} y \vec{s}	46
1.5	BALANCE DE ENERGÍA EN LA COCINA SOLAR PARABÓLICA Y EL RECEPTOR	48
1.5.1	Calor útil de la cocina parabólica (qu)	48
1.5.2	Eficiencia Óptica de una cocina parabólica.....	50
1.5.3	Tipos de concentradores con Seguimiento del Sol.....	51
1.5.3.1	Concentradores Estacionarios	51
1.6	EVALUACIÓN DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA	55
1.6.1	El método estacionario para la medición del producto de la absorción (α) y transmitancia (τ); para el cálculo de la eficiencia óptica.....	55
1.6.2	Determinación de la eficiencia óptica	55
1.6.3	Coefficiente global de pérdidas	56
1.6.3.1	Determinación del coeficiente global de pérdidas de calor (UL).....	56
	CAPÍTULO II: PRINCIPIOS HIDRAULICOS Y FUNCIONAMIENTO TEÓRICO	
	PARA EL DISEÑO DEL HIDRO-SEGUIMIENTO.....	57
2.1	SEGUIDORES SOLARES.....	57
2.1.1	Fundamentos de los Seguidores Solares.....	57
2.1.2	Tipos de Seguidores Solares Solares	57

2.2 HIDROSEGUIDORES SOLARES.....	58
2.2.1 Metodología del Hidroseguiamiento.....	59
2.2.2 Descripción general de una instalación Solar con Hidroseguidor y su funcionamiento.....	60
2.2.2.1 Descripción del Hidroseguidor.....	60
2.2.2.2 Funcionamiento del flotador con carga.....	61
2.2.2.3 Ganancia.....	63
2.2.2.4 Funcionamiento del hidroseguidor normal.....	63
2.3 VACIADO DE UN DEPÓSITO.....	64
2.3.1 Teorema de Torricelli.....	64
2.3.2 El frasco de Mariotte.....	65
2.3.3 Orificios.....	66
2.3.4 Coeficiente de gasto.....	67
2.3.5 Orificio en pared delgada.....	68
2.3.5.1 Rendimiento de un orificio.....	69
2.4 EL CONTACTOR.....	69
2.4.1 Definición y generalidades.....	69
2.4.2 Funcionamiento del contactor.....	70
2.4.3 Contactos secundarios.....	71
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	73
4.1 DETERMINACIÓN DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA Y SU ALINEAMIENTO.....	73
4.1.1 Demanda del Diseño (Qd).....	73
4.1.2 Energía solar Promedio (Ht).....	73
4.1.3 Eficiencia y Área del Colector (Ac).....	74
4.1.4 Geometría de la Parábola (Cálculo del espejo Parabólico).....	74
4.1.4.1 Diámetro de apertura de la Parábola (dap).....	74
4.1.4.2 Cálculo de la distancia focal de la Parábola.....	74
4.1.4.3 Cálculo del ángulo (ϕ).....	75
4.1.4.4 Superficie Parabólica en el Plano.....	75
4.1.4.5 Ecuación del espejo Parabólico de Revolución.....	75
4.1.4.6 Área total de la superficie Parabólica de Revolución.....	76
4.1.5 Alineamiento Solar para Hidroseguiamiento.....	76

4.1.5.1 Alineamiento de la cocina Solar Parabólica.....	76
4.1.6 Eficiencia de la cocina solar Parabólica por alineamiento ($\cos \theta$)	78
4.1.6.1 Ángulo en declinación máxima	78
4.1.6.2 Desviación máxima de las horas de salida del sol (T)	78
4.1.6.3 Eficiencia por alineamiento $\cos(\theta)$ Giro sobre un eje horizontal (Norte-Sur) con ajuste continuo de la orientación	79
4.1.7 Concentración de energía en la cocina Parabólica	79
4.1.7.1 Nitidez de la imagen de gauss en la cocina parabólica (ϵ).....	79
4.1.7.2 Energía por unidad de superficie (I focal).....	80
4.1.7.3 Área del disco imagen de gauss (A1).....	80
4.1.7.4 Energía concentrada en el disco (I disco).....	80
4.1.7.5 El factor de concentración (C)	80
4.1.8 Pérdidas energéticas debido a la geometría de la Parabola(η_g)	80
4.1.9 Intensidad máxima que puede incidir en la olla considerando únicamente pérdidas por geometría de la parabola (Imo)	81
4.1.10 Área del absorbedor (Ar).....	81
4.2 EVALUACIÓN DE LA COCINA PARBÓLICA.....	82
4.2.1 Evaluación de acuerdo a la intensidad máxima de un colector solar parabólico de revolución sin pérdidas.....	82
4.2.1.1 Colector perfecto, sin pérdidas.....	82
4.2.1.2 Colector calculado o de diseño.....	82
4.2.1.3 Eficiencia del colector parabólico de revolución construido en la UNL 2010, con absorbedor sin cobertor de vidrio.....	83
4.2.1.4 Eficiencia del colector parabólico de revolución construido en la UNL 2010, con absorbedor con cobertor de vidrio.....	83
4.2.2 Evaluación utilizando el método estacionario	84
4.2.3 Balance de energía en la cocina parabólica (calor útil), (sin cobertor de vidrio)	84
4.2.3.1 Resultado (η_{01a}); entre absorción (α) y transmisión (τ) sin cobertor de vidrio. 85	
4.2.3.2 Determinación del coeficiente global de pérdidas (U_{La}) sin cobertor de vidrio	85
4.2.3.3 Eficiencia óptica (η_{0a}).....	85
4.2.3.4 Energía recibida por el absorbedor (qabs).....	86
4.2.3.5 Razón de concentración (X).....	86
4.2.3.6 Coeficiente global de pérdidas (U_{La}).....	86
4.2.3.7 Calor de pérdidas (qperdida), Abs.sin cobertor de vidrio.	87

4.2.3.8	Calor útil (q_u).....	87
4.2.3.9	Eficiencia instantánea.....	87
4.2.4	Balance de energía en la cocina parabólica (calor útil), (con cobertor de vidrio).....	87
4.2.4.1	Resultado (η_{01}); entre absorptancia (α) y transmitancia (τ) con cobertor de vidrio..	87
4.2.4.2	Determinación del coeficiente global de pérdidas (U_L) con cobertor de vidrio.....	88
4.2.4.3	Eficiencia óptica (η_0).	88
4.2.4.4	Energía recibida por el absorbedor (q_{abs}).....	89
4.2.4.5	Razón de concentración (X).	89
4.2.4.6	Coeficiente global de pérdidas (U_L).	89
4.2.4.7	Calor de pérdidas ($q_{pérdidas}$).	89
4.2.4.8	Calor útil (q_u).	89
4.2.4.9	Eficiencia instantánea.....	90
4.3	CÁLCULO DEL HIDROSEGUIDOR	90
4.3.1	Dimensionamiento del tanque	90
4.3.2	Cálculo del caudal requerido por el hidroseguidor.....	90
4.3.3	Flotadores	92
4.3.3.1	Funcionamiento del flotador con carga.	92
4.3.3.2	Ganacia.....	94
4.3.4	Cálculo del diámetro del orificio en la descarga del tanque.....	95
4.3.4.1	Rendimiento del orificio.....	97
4.4	CÁLCULO DE LA POLEA	97
4.5	CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	98
4.5.1	Materiales utilizados en la construcción.....	98
4.5.2	Costos	99
4.5.3	Montaje del equipo.....	102
5.	RESULTADOS	109
5.1	INSTRUMENTOS DE MEDIDA	109
5.2	EVALUACIÓN DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA POR EL MÉTODO ESTACIONARIO.. ...	109
5.2.1	Cálculo del producto entre absorptancia y transmitancia para el cálculo de la eficiencia óptica (absorbedor sin/con cobertor de vidrio).....	110
5.2.2	Cálculo del coeficiente global de pérdidas	111
5.2.3	Eficiencia instantánea o térmica	111

5.3 RESULTADOS MONITOREOS	112
5.3.1 Monitoreo sin cobertor de vidrio (día: 12 de Julio del 2010).....	112
5.3.1.1 Curvas de temperatura alcanzadas sin el cobertor de vidrio.	113
5.3.2 Monitoreo con cobertor de vidrio (día: 15 de Julio del 2010).....	115
5.3.2.1 Curvas de temperatura alcanzadas con el cobertor de vidrio.	116
5.3.3 Curvas comparativas de temperaturas reales del agua en absorbedor sin/con cobertor de vidrio	117
5.3.4 Curvas comparativas de temperaturas máximas estabilizadas en 2horas del agua en el absorbedor sin/con cobertor de vidrio	117
 5.4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA	118
5.4.1 Tabla y gráfico de eficiencias de acuerdo a un colector solar parabólico de revolución sin pérdidas.....	120
 6. DISCUSIÓN	121
 7. CONCLUSIONES.....	123
 8. RECOMENDACIONES.....	124
 9. BIBLIOGRAFÍA.....	125
 10. ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1: Diagrama de una cocina de acumulación	22
Fig. 1.2: Cocina Parabólica de concentración; para optimizar su rendimiento se utiliza cobertores de vidrio y seguidores solares	23
Fig. 1.3: Algunas configuraciones de sistemas de concentración	27
Fig. 1.4: Concentradores cilíndricos parabólicos.....	27
Fig. 1.5: Concentradores Fresnel	27
Fig. 1.6: Geometría de la parábola.....	30
Fig. 1.7: Plano focal del paraboloide	32
Fig. 1.8: Eje de la parábola	33
Fig. 1.9: Inclinación de la tierra con respecto al sol.....	37
Fig. 1.10: Inclinación efectiva para 42° de latitud norte	40
Fig. 1.11: Diagrama de solsticios para Loja según su latitud	40
Fig. 1.12: Ángulo de inclinación β	41
Fig. 1.13: Desviación α	41
Fig. 1.14: Posiciones del Sol a lo largo del año	43
Fig. 1.15: Situación espacial de diversos ángulos.....	43
Fig. 1.16: Inclinación del sol según el vértice del lugar.....	44
Fig. 1.17: Relaciones entre razón de concentración y temperatura de operación del absorbedor.....	51
Fig. 1.18: Factores que intervienen en la elección del diámetro de un absorbedor.....	52
Fig. 1.19: Varios ángulos de borde para una apertura fija	53
Fig. 1.20: Diagrama de la eficiencia óptica.....	55
Fig. 2.1: Seguidor solar.....	58
Fig. 2.2: Pareja de Hidroseguidores Solares	59
Fig. 2.3: Esquema de un hidroseguidor con tanque elevado.....	60
Fig. 2.4a: Flotador cuando los contrapesos y el espejo están desconectados.....	62
Fig. 2.4b: Contrapeso conectado y $F_v=0$	62
Fig. 2.4c: Contrapeso conectado y F_v de igual sentido que F_c	62
Fig. 2.4d: Contrapeso conectado y F_v en sentido contrario a F_c	63
Fig. 2.5: Evacuación de un flujo por un orificio	65
Fig. 2.6: Frasco de Mariotte	66
Fig. 2.7: Orificios según el nivel de agua, aguas abajo.....	67
Fig. 2.8: Estanque con descarga natural por un orificio; en pared delgada.....	68

Fig. 2.9: Contactor accionado por energía magnética.....	70
Fig. 2.10: Funcionamiento del contactor	71
Fig. 4.1: Coordenadas de la cocina solar parabólica.....	75
Fig. 4.2: Cocina parabólica en el espacio, coordenadas (x,y,z)	76
Fig. 4.3: Inclinación efectiva para un ángulo de -4° de latitud sur (basada en la figura 1.10).....	77
Fig. 4.4: Representación del ángulo de inclinación $\beta=12^\circ$	77
Fig. 4.5: Ángulo de inclinación máxima (δ).....	78
Fig. 4.6: Ángulo en horario máximo (T).....	79
Fig. 4.7: Área del absorbedor.....	81
Fig. 4.8: Hidroseguidor que trabaja por descarga libre del agua	90
Fig. 4.9: Partes del tanque de descarga	91
Fig. 4.10: Flotador sin carga	92
Fig. 4.11: Flotador cuando los contrapesos y espejos están desconectados.....	93
Fig. 4.12: Contrapeso conectado.....	93
Fig. 4.13: Contrapeso conectado y F_v de igual sentido que F_c	93
Fig. 4.14: Altura de descarga (h) con el diámetro del orificio a calcular según Frasco de Mariotte	95
Fig. 4.15: Orificio calculado para la descarga 2L/hr.....	96
Fig. 4.16: Montaje de la cocina solar parabólica e hidroseguidor	102
Fig. 4.17: Espejo parabólico y su estructura	102
Fig. 4.18: Estructura del hidroseguidor.....	103
Fig. 4.19: Construcción y montaje de poleas	103
Fig. 4.20: Montaje de contrapesos	104
Fig. 4.21: Colocación de poleas y cable de acero	104
Fig. 4.22: Construcción y montaje de flotadores	104
Fig. 4.23: Tanque de descarga y carga de agua.....	105
Fig. 4.24: Montaje del tanque de descarga (bolsa de caucho, válvula check)	105
Fig. 4.25: Sistema del retorno de agua.....	106
Fig. 4.26: Pulsador de encendido y apagado.....	106
Fig. 4.27: Contactor para $\frac{1}{2}$ HP	107
Fig. 4.28: Interruptor de posición final o de carrera	107
Fig. 4.29: Construcción y montaje de la parrilla en la cocina parabólica	108
Fig. 4.30: Montaje del cobertor de vidrio	108

Fig. 5.1: Equipo armado para monitoreo, con olla sin cobertor de vidrio	109
Fig. 5.2: Equipo armado para medición de temperatura, olla con cobertor de vidrio.....	110
Fig. 5.3: Eficiencia instantánea o térmica para régimen de 7 horas.....	111
Fig. 5.4: Curvas reales del monitoreo sin cobertor de vidrio: Temperatura del agua en absorbedor Vs. Temperatura ambiente	113
Fig. 5.5: Curvas de temperatura del monitoreo sin cobertor de vidrio: Temperatura máxima del agua en absorbedor estabilizada en dos horas.....	114
Fig. 5.6: Curvas reales del monitoreo con cobertor de vidrio: Temperatura del agua en absorbedor Vs. Temperatura ambiente	116
Fig. 5.7: Curvas de temperatura del monitoreo con cobertor de vidrio: Temperatura máxima del agua en absorbedor estabilizada en dos horas.....	116
Fig.5.8: Curvas reales de temperatura del agua: con cobertor de vidrio Vs. Absorbedor sin cobertor de vidrio.....	117
Fig. 5.9: Curvas de temperatura máxima estabilizada en 2 horas: Absorbedor con cobertor de vidrio Vs. Absorbedor sin cobertor de vidrio	117
Fig. 5.10: Cocción de arroz.....	118
Fig. 5.11: Cocción de papa	118
Fig. 5.12: Cocción de pollo.....	119
Fig. 5.13: Cocción de cuero	119
Fig. 5.14: Huevo frito.....	119
Fig. 5.15: Eficiencias de colectores solares parabólicos de revolución, incluidos los datos del construido en la UNL 2010.....	120
Fig. 10.1: Equipo terminado (hidroseguidor solar con cocina parabólica)	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Valoración del uso de las cocinas solares de concentración y de acumulación.....	21
Tabla 1.2: Reflectividades globales (ρ) de materiales especulares y difusivos	23
Tabla 1.3: Períodos de tiempo para sitios con solo invierno y verano.....	37
Tabla 1.4: Datos generales de la ciudad de Loja.....	39
Tabla 1.5: Insolaciones promedio en la ciudad de Loja.....	39
Tabla 5.1: Diferencias de la eficiencia óptica.	110
Tabla 5.2: Coeficiente global de pérdidas.....	111
Tabla 5.3: Eficiencia instantánea o térmica.	112
Tabla 5.4: Temperaturas conseguidas en el monitoreo sin cobertor de vidrio.....	112
Tabla 5.5: Ficha técnica de monitoreo sin cobertor de vidrio.....	113
Tabla 5.6: Temperaturas conseguidas en el monitoreo con covertedor de vidrio.....	115
Tabla 5.7: Ficha técnica de monitoreo con cobertor de vidrio.....	115
Tabla 5.8: Cocción de alimentos por la cocina solar parabólica.....	118
Tabla 5.9: Eficiencia de colectores parabólicos de revolución, incluidos los datos del construido en la UNL 2010.....	120

SIMBOLOGÍA

h	Altura
hf	Altura del flotador
hd	Altura de descarga
hta	Altura de tacos
ho'	Altura de descarga aplicando el tubo de mariotte
S	Área
A	Área del disco
$Ac; A_a$	Área del colector o Área de apertura
A_{efec}	Área efectiva de la parábola
$Asop$	Área de los soportes
A_r	Área del absorbedor
A_ϕ	Área total de la parábola
G_d	Radiación solar directa incidente sobre el colector
C_p	Calor específico del Agua
q_u	Calor útil en la cocina parabólica
Q	Caudal
$q_{perdida}$	Calor de pérdidas
U_L	Coefficiente global de transferencia de calor
Q_d	Demanda de diseño
Dap	Diámetro de apertura
do	Diámetro del orificio
dip	Diámetro interior de la polea
Z	Día del año
T	Desviación máxima
η_0	Eficiencia óptica
Ht	Energía solar promedio
Is	Energía incidente real
Io	Energía incidente de origen
$Ifocal$	Energía por unidad de superficie
Idisco	Energía concentrada en el disco
q_{abs}	Energía recibida por el absorbedor
F	Error de seguimiento
C	Factor de concentración
fc	Fuerza del contrapeso
frf	Fuerza resultante del flotador con carga
fv	Fuerza del viento sobre la correa
g	Gravedad
H	Hundimiento máximo del flotador
Imo	Intensidad máxima en la olla
if	Juego del flotador
L	Longitud
m	Masa del agua en (kg)
Pf	Peso del flotador
Pip	Perímetro interior de la polea
Gt	Radiación solar promedio
rc	Radio del cilindro

rf	Radio del flotador
η_{sis}	Rendimiento del sistema
G_T	Radiación total
X	Razón de concentración
T_a	Temperatura ambiente
T_c	Temperatura del concentrador
T_m	Temperatura media
t	Tiempo
ΔT	Variación de temperatura
v	Velocidad
V	Volumen
vd	Volumen de descarga
va	Volumen de agua desplazada

CARACTERES GRIEGOS

α	Absortancia
ϕ	Ángulo máximo; coeficiente de fricción del líquido
$\cos\theta$	Ángulo de incidencia (pérdidas por alineamiento)
θ_s	Ángulo cenital solar
β_s	Ángulo acimutal del sol
τ	Ángulo horario
ξ	Coeficiente de pérdida de carga
δ	Declinación, espesor
ρ	Densidad, reflectancia.
γ	Factor de forma que depende de los errores en la pendiente del espejo; peso específico
f_τ	Fracción de la apertura no sombreada
β	Inclinación
λ	Latitud de un lugar sobre la superficie de la tierra
ε	Nitidez de la imagen de gauss
η_g	Pérdidas energéticas debido a la geometría de la parábola
ρ_R	Reflejancia del espejo
η_{or}	Rendimiento del orificio
τ	Transmitancia
η	Pérdidas debidas a la geometría de la parábola; factor de descarga
μ	Coeficiente de contracción para bornes agudos

SUBÍNDICES

a	Ambiente
c	Colector, cubierta
f	Final, fluido
i	Entrada, interior
u	Útil, viento

2. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética y la búsqueda de nuevas fuentes de energía han llevado a investigar aplicaciones de la energía solar, si se observan los mapas de radiación solar mundiales, se puede constatar que Ecuador es un lugar privilegiado en cantidad de energía recibida proveniente del sol, por lo cual nace la motivación de ocuparla con fines de generación.

La concentración de la radiación solar se hace necesaria cuando se desean obtener altas temperaturas, las cuales son una condición necesaria para el funcionamiento de cocinas solares parabólicas, tener estudios teóricos y experimentales de un concentrador parabólico son esenciales previo a su implementación a gran escala.

Los sistemas de cocinas solares parabólicas necesitan tener un sistema de seguimiento solar para aprovechar de mejor manera la radiación solar, el presente trabajo tiene por finalidad presentar una metodología de selección y cálculo para el diseño hidráulico y mecánico de las principales partes de un HIDROSEGUIDOR, para lo cual se parte de los principios hidráulicos fundamentales para el diseño del hidroseguimiento, estudios realizados específicamente sobre el teorema de torricelli, el frasco de Mariotte y vaciado de un depósito.

El sistema consiste en el acoplamiento de una cocina solar parabólica a un hidroseguidor solar, accionado por la energía de la gravedad durante la descarga libre de agua y con un sistema Automático de retorno del Agua. Está formado por dos recipientes: uno, trabaja por descarga libre de agua y acciona un extremo de un espejo cilíndrico-parabólico; y el otro, ubicado a menor altura, recibe por gravedad el agua del primer recipiente y acciona el otro extremo del espejo con movimiento sincrónico del espejo con el sol.

Por las ventajas que nos ofrecen los sistemas de Hidroseguimiento solar nos hemos planteado los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- Diseñar y Construir un Hidroseguidor para el control del seguimiento de una cocina solar parabólica

Objetivos Específicos:

- Caracterizar los componentes de los hidroseguidores y cocinas solares parabólicas.
- Diseñar un hidroseguidor aplicado al control de una cocina solar parabólica, para un óptimo aprovechamiento de la energía del sol.
- Construir un hidroseguidor para el control del seguimiento de una cocina solar parabólica.
- Validar y socializar el equipo construido en base a su seguridad y confiabilidad.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES Y FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA.

1.1 ¿POR QUÉ COCINAR CON EL SOL?

1.1.1. NECESIDAD DE COCINAR Y SU DEPENDENCIA ENERGÉTICA

Nuestros alimentos en gran parte necesitan una preparación previa, no sólo por razones gastronómicas, sino también para facilitar su digestibilidad y seguridad alimentaria.

La energía térmica suministrada por la combustión de la leña, ha sido y es, la forma mayoritaria de aportar esta energía para 2500 millones de seres humanos en la actualidad. Esto corresponde a un consumo de unos 360 Kg. de leña al año, pues se da un rendimiento muy bajo en su utilización (5%). Tales necesidades de madera son ya insostenibles en distintos lugares del planeta, estableciéndose un déficit de 1.000 millones de metros cúbicos de madera anualmente. Junto a todo ello se le añaden desastrosos problemas medio ambientales en el transcurso de su aprovisionamiento. El recurrir a otras fuentes energéticas, como la de los combustibles fósiles acarrearía a su vez, en el caso de ser posible, nuevos problemas ambientales.

Las cocinas solares se presentan como la solución idónea para estos problemas, a la par ofrecen otros campos de utilización, siempre con el carácter favorable tanto desde el punto de vista ecológico como económico.

1.1.2. IMPORTANCIA DE LAS COCINAS SOLARES

La cocina solar ofrece un sistema simplificado de cocinar, con un total ahorro de dinero, no necesitan ningún aporte de combustible u otra fuente de energía que no sea la radiación solar directa libre y gratuita.

También ofrece múltiples ventajas como: Mayor seguridad en la operación de cocinar y calidad nutricional de los alimentos cocinados. Como el que no manejan fuego, no se generan humos ni dióxido de carbono; y por tanto se mejoran las condiciones ambientales.

1.2 ESTUDIO DE LAS COCINAS SOLARES - la cocina parabólica y su necesidad de reorientarse.

Existen dos sistemas de cocinas solares: los basados en el principio de acumulación y en el de concentración.

Cada una de estos dos sistemas ofrece ventajas e inconvenientes respecto al otro. Así, por ejemplo en las cocinas concentración se puede obtener temperaturas tan altas, que se puede freír y asar los alimentos. En cambio en la cocina de acumulación (llamada también horno solar) no alcanza estas temperaturas, pero facilita una cocción más suave. En la *(tabla 1.1)* se presenta un listado de valoración de las prestaciones dadas por estos dos sistemas.

Tabla 1.1: Valoración del uso de las cocinas solares de concentración y de acumulación

Características	Cocina de concentración	Cocina de acumulación
Necesidad de reorientación	Alta	Media
Facilidad de manejo	Regular	Sencilla
Estabilidad frente al viento	Baja	Buena
Temperaturas alcanzables	Altas	Regulares
Velocidad de cocción	Alta	Baja
Necesidad de vigilancia	Elevada	Reducida
Riesgo de incendio	Posible	Nulo
Precio	Más elevado	Bajo
Mantenimiento	Regular	Muy reducido
Facilidad de acceso ollas	Fácil	Reducido
Construcción	Más complicada	Fácil
Limpieza de las ollas	Normal	Sencilla
Facilidad de almacenaje	Regular	Buena
Permite freír y/o asar	Si	No

En el caso de la presente investigación profundizaremos en el estudio de la cocina solar parabólica o de concentración.

1.2.1 COCINA DE ACUMULACIÓN

Es un recinto aislado térmicamente por todas partes, menos por la cara orientada hacia el Sol cubierta con un material transparente a la radiación solar, por lo general vidrio o plástico, nos permite recibir la energía radiante solar y almacenarla en su interior gracias al efecto invernadero.

En el caso de utilizar este sistema como cocina solar se sitúa en su interior un recipiente con los alimentos a cocinar. De este modo se pueden alcanzar de 90 a 120 grados centígrados, según el modo como se haya construido esta cocina. En la *(figura 1.1)* muestra un ejemplo tipo de una cocina de acumulación.

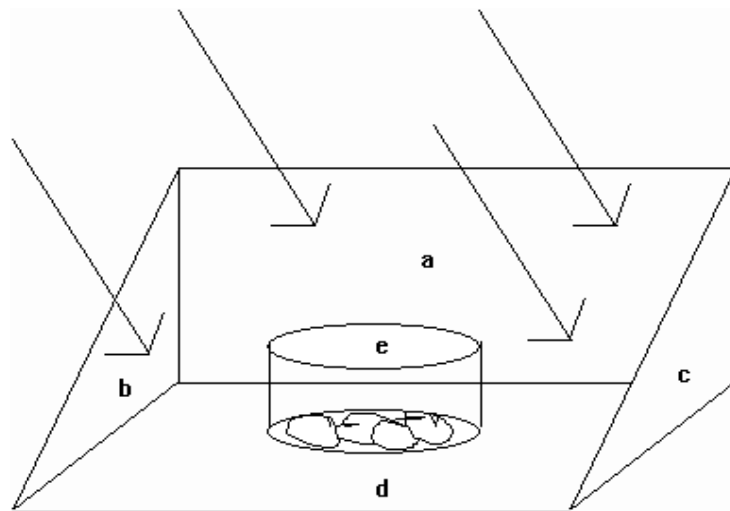


Figura 1.1: Diagrama de una cocina de acumulación

a) pared reflectora; b) pared con ángulo de inclinación y de superficie acumuladora; c) pared exterior con ángulo de inclinación y superficie aislante; d) base interior y superficie acumuladora; e) olla.

1.2.2 COCINA PARABÓLICA O DE CONCENTRACIÓN.

La cocina solar parabólica consiste en un paraboloide que puede ser de distintos materiales (generalmente se utilizan los que tienen mayor reflectividad) *(ver tabla 1.2)* este actúa concentrando los rayos solares en el foco del casquete.

Tabla.1.2: Reflectividades globales (ρ) de materiales especulares y difusivos

MATERIALES ESPECULARES	ρ	MATERIALES DIFUSIVOS	ρ
Espejo de vidrio de 2 mm	0,795	PVC blanco	0,871
Espejo de vidrio de 3 mm	0,754	Fibra de vidrio pintada de blanco	0,709
Espejo de vidrio de 4 mm	0,712	Chapadur prepintado blanco	0,741
Aluminio de alta reflectividad (verde)	0,839	Chapa pintada de blanco nueva	0,582
Aluminio de alta reflectividad (rosado)	0,853	Chapa pintada de blanco envejecida	0,656
Aluminio de alta reflectividad (celeste)	0,820	Chapa galvanizada	0,588
Mylar	0,833		
Papel de aluminio	0,799		
Acero inoxidable	0,572		

Por lo general las cocinas parabólicas interceptan la energía radiante solar llevándola a su zona focal. Sistemas como los de la cocina parabólica, para una intersección de 2 metros cuadrados ofrece una potencia de 1Kw con un **rendimiento del 50 y hasta de un 60 por ciento optimizando su rendimiento.** De este modo se logra un elevado aprovechamiento térmico en la olla donde se concentra la energía solar. En este segundo caso se alcanzan temperaturas mayores respecto a las cocinas de acumulación, con ello se pueden realizar no sólo operaciones de hervir, estofar, cocer al vapor, sino además freír y asar ver (*figura 1.2*) o, también ver (*anexo A*) diagrama de la cocina solar parabólica.



Figura 1.2: Cocina parabólica de concentración; para optimizar su rendimiento se utiliza cobertores de vidrio y seguidores solares

1.2.2.1 Indicaciones acerca de la construcción y manejo de la cocina de concentración; y su necesidad de reorientarse

Para la construcción de una cocina solar de acuerdo a nuestra realidad, se tienen que tomar en consideración algunos aspectos benéficos en nuestro país por su ubicación. Pues, en las regiones próximas a los trópicos y al ecuador hay cerca de unas 10 horas de radiación solar. (Ré, 2003)

En las regiones ecuatoriales el sol pasa poco menos que directamente en la vertical, y casi es suficiente con colocar el reflector al lado oeste de la cocina por la mañana, orientado hacia el este, y a mediodía ponerlo en el lado este, orientado de cara al oeste.

En la construcción de concentradores reflectores es necesario emplear superficies ópticas de grandes dimensiones. Los sistemas dióptricos, lentes de cristal, no se utilizan a causa de su fragilidad, peso y precio. Sin embargo existen colectores constituidos por un gran número de prismas de cristal de reflexión total de pequeño espesor, (sistemas catadióptricos), con un factor de reflexión del 95%; la reflectividad global es del orden del 90%, superior a la de los mejores espejos y no experimentan degradación con el paso del tiempo.

Los colectores de concentración utilizan sistemas ópticos reflectores y en algunos casos muy particulares, refractores, para aumentar la intensidad de la radiación solar que se dirige sobre una superficie receptora que la absorbe, (lentes Fresnel y lentes de líquido).

Cuan mayor sea el flujo solar sobre esta superficie, menor será la zona necesaria para conseguir el mismo efecto térmico sobre un fluido, lo que supone una reducción de las pérdidas térmicas.

Sin embargo aparecen otros tipos de pérdidas como son el que estos colectores funcionan únicamente con la componente directa de la radiación, (no se aprovecha la difusa) y que aparecen pérdidas ópticas por defectos de enfoque y dirección; asimismo aparecen otros problemas, como:

- a) *Una mayor complicación de las características ópticas de los concentradores, por cuanto precisan de sistemas de orientación y seguimiento del Sol, que permiten aprovechar al máximo la radiación solar incidente.*
- b) *La existencia de flujos no estacionarios en los fluidos que circulan por el receptor.*
- c) *Grandes variaciones tanto en la forma y diseño, como en las temperaturas y pérdidas térmicas de las superficies receptoras absorbentes. La amplia gama de configuraciones permiten la manipulación de una serie de nuevos parámetros de diseño.*
- d) *Una mayor complejidad con la introducción de factores ópticos adicionales, que*

complican los balances energéticos.

e) Una mayor calidad en los sistemas ópticos, ya que tienen que trabajar durante largos períodos de tiempo, lo que implica el que deben mantener inalterables sus propiedades ópticas contra la suciedad, erosión, oxidación, condiciones climáticas, etc.

Todo esto supone un mayor coste del colector lo que introduce algunas restricciones en su utilización, aunque la aplicación de nuevos materiales reflectantes y mejoras en los sistemas de seguimiento, les confieren una cierta importancia práctica. La intensidad de la radiación en las superficies receptoras puede llegar a ser del orden de 4 a 1000 veces el valor de I_0 lo que puede implicar temperaturas relativamente elevadas y una mayor precisión en los mecanismos de seguimiento del Sol y enfoque en la superficie receptora, lo que encarece el equipo.

Un colector reflector de media temperatura se compone de dos partes fundamentales, el concentrador y el receptor. El concentrador es la parte del colector que refleja (o refracta) la radiación solar incidente sobre el mismo, dirigiéndola hacia el receptor, que la absorbe y transmite a un fluido térmico que circula por el mismo.

Al ser el Sol la fuente de energía, es muy importante conocer la imagen del mismo reflejada sobre el receptor. El ángulo con el que el Sol se ve desde la Tierra es de aproximadamente 32' y este dato hay que tenerle presente, (aparte de otros propios motivados por errores de seguimiento y reflexión, así como de la dispersión de la radiación por la superficie reflectora originados por defectos de fabricación, etc.), a la hora de diseñar el dimensionamiento, tanto del concentrador, como del receptor.

1.2.2.2 Tipos De Concentradores

Existe una amplia variedad de medios que permiten aumentar el flujo de la radiación solar sobre un receptor pudiéndose clasificar teniendo en cuenta una serie de factores, como:

- a) El que sean lentes o reflectores*
- b) Por el sistema de montaje y modelo de orientación*
- c) Por la magnitud de la concentración de radiación que son capaces de conseguir*
- d) Por los materiales utilizados en su construcción*
- e) Por los fluidos térmicos que se van a utilizar que dependen de sus aplicaciones, etc.*

Una característica fundamental de estos colectores es el llamado índice de concentración (A_a/A_r), que es la relación entre el área de la superficie de abertura del concentrador y el

área de la superficie receptora.

En las (*Figuras 1.3*) se muestran tres secciones de sistemas de colectores de concentración; en cualquiera de ellos se enfoca la radiación con más o menos nitidez sobre un receptor que puede ser puntual o tener una geometría determinada por las características del concentrador; el índice de concentración para colectores de revolución es mucho mayor que para colectores cilíndricos.

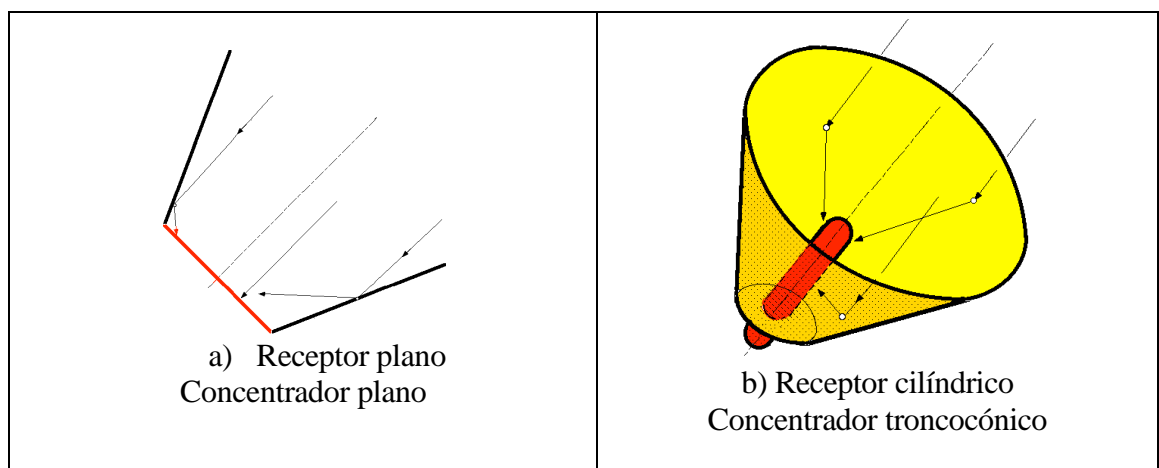
- **Receptor plano y concentrador-reflector plano.**- Tiene un bajo índice de concentración, inferior a 4; se aprovecha en el receptor parte de la componente solar difusa incidente sobre el colector.

- **Receptor cilíndrico y concentrador-reflector cónico.**- Se mejoran las características de concentración del caso anterior

- **Receptor cilíndrico y concentrador-reflector esférico.**- Se mejoran las características de concentración de los casos anteriores

Concentrador-reflector tipo paraboloide de revolución.- Permite obtener relaciones de concentración muy elevadas, lo que a su vez implica elevadas temperaturas; una modificación del mismo introduce un segundo reflector que permite llevar al foco a otra posición más conveniente.

Colector con concentrador-reflector cilíndrico parabólico y receptor tubular.- Es el modelo más usado y en el que el tubo receptor se encuentra a lo largo de todas las posiciones focales. La temperatura alcanzada en el mismo puede llegar a ser del orden de los 300°C, suficiente para muchas aplicaciones. En la (*Figura 1.4*) se representa un concentrador cilíndrico parabólico, y en la (*Figura 1.5*) un concentrador cilíndrico parabólico con reflector secundario.



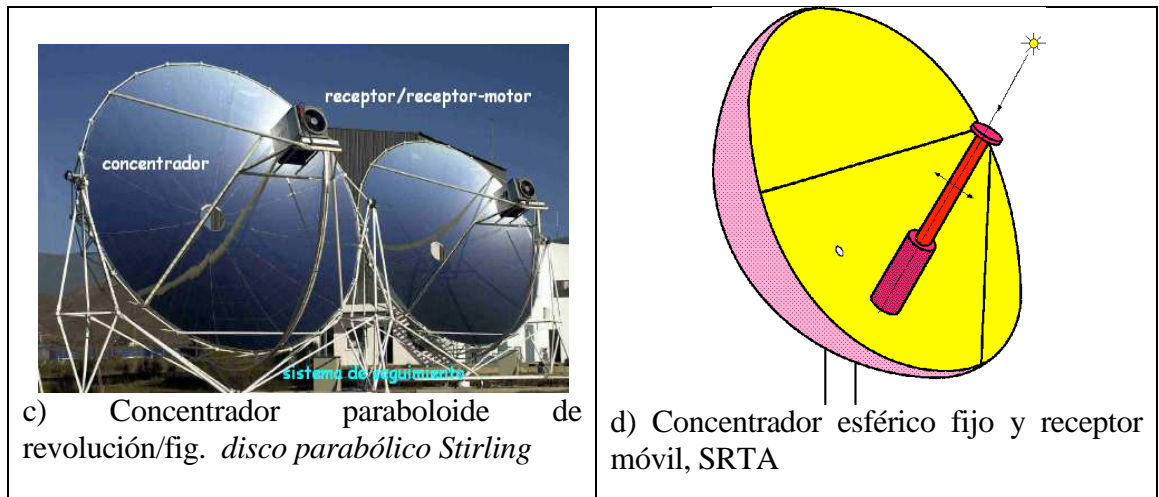


Figura 1.3: Algunas configuraciones de sistemas de concentración

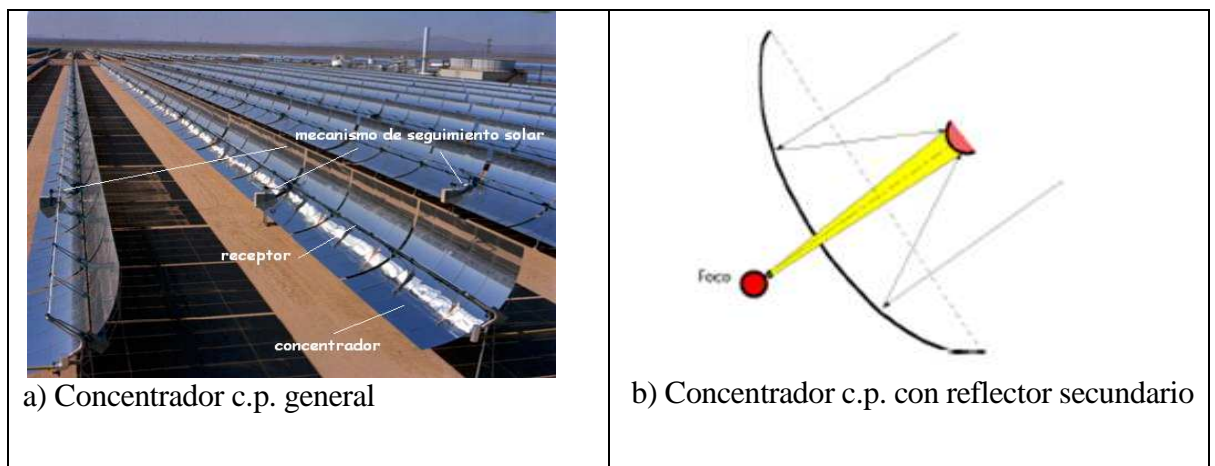


Figura 1.4: Concentradores cilíndrico-parabólicos

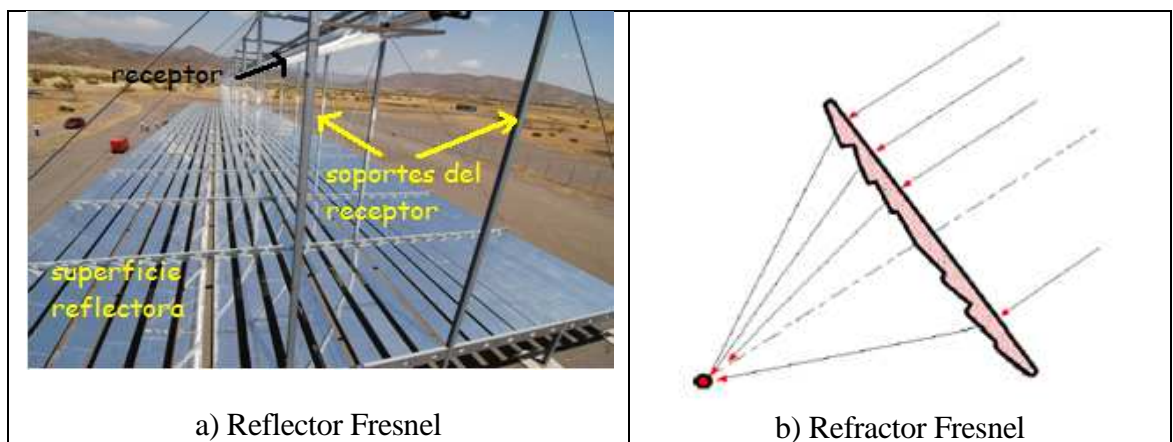


Figura 1.5: Concentradores Fresnel

Concentrador de reflexión Fresnel y concentrador refractor Fresnel.- En el reflector Fresnel, (*Figura 1.5a*) las superficies pueden ser planas o curvas, estando diseñada cada una para reflejar individualmente la radiación sobre el receptor; su gran ventaja radica en su facilidad de construcción, siendo muy interesante su utilización en colectores solares de gran potencia y alta temperatura.

El refractor Fresnel utiliza un sistema de concentración parecido a un montaje de lentes con un punto focal único, (*Figura 1.5b*). (Díez, 2005)

De experiencias en cocinas solares parabólicas pasadas de la Universidad nacional de Loja, tomamos y adaptamos para nuestro trabajo las: ***Ventajas y desventajas de una cocina solar parabólica***

a) Ventajas

- Las energías renovables se caracterizan por ser inagotables, abundantes, limpias, distribuidas geográficamente, baratas y de elevado potencial de utilización.
- Es muy económica, estas cocinas no necesitan madera, carbón, diesel, queroseno, parafina, ni electricidad
- El tiempo de cocción para los alimentos y el manejo es muy parecido al que existe en cualquier otro sistema de cocinar, donde un recipiente con alimentos se someta a la acción de un aporte térmico alto, ya sea éste a través de la combustión de leña, gas, petróleo, o un sistema eléctrico.
- Al no producir humo, se evitan riesgos para la salud, especialmente en ojos y pulmones.
- Muchas aplicaciones aisladas son actualmente más competitivas que las convencionales equivalentes.
- Los dispositivos de alta concentración, captan la radiación solar por medio de sistemas como espejos curvos o discos parabólicos, que se orientan hacia el Sol y reflejan su luz concentrándola en un punto.
- Como el cuerpo de la cocina está fijo en el suelo, solo es necesario ajustar el reflector a medida que cambia la posición del sol.
- La comida permanece caliente varias horas después de haber sido cocinada.

b) Desventajas

- Indudablemente presenta la necesidad de enfocar la radiación solar eficazmente y evitar deslumbramientos indeseados.
- La comida necesita continua supervisión debido a que alcanza altas temperaturas, la persona que cocina debe estar siempre atento a que la comida no se quemé, se pegue o se cocine demasiado rápido.
- Hay que orientarlas de cara al sol
- solo se puede cocinar una cacerola a la vez; son relativamente caras y requieren una construcción precisa y sólida.
- Son muy vulnerables frente al viento si su estructura no es sólida
- La principal desventaja es la dependencia espacial, con gran influencia de la latitud geográfica; la dependencia temporal, como componentes estacionales y diarios.
- Se debe cuidar la calidad de la superficie reflectante de la radiación solar

(Lalangui, y otros, 2005)

1.2.2.3 Demanda de diseño de la cocina solar (Qd)

La demanda de diseño viene dada por la fórmula:

$$Qd = m * Cp * \Delta T \quad (1.1)$$

Donde:

m= masa del agua en (Kg)

Cp= Calor específico del agua (valor de tabla)

ΔT = variación de temperatura

1.2.2.4 Energía solar promedio (Ht)

La energía solar promedio viene determinada por:

$$Ht = Gt * t \quad (1.2)$$

Donde:

Gt= radiación solar promedio

t= tiempo de acuerdo al diseño de la máquina

1.2.2.5 Área del colector parabólico de revolución (A_c)

El área del colector parabólico de revolución está determinado por:

$$A_c = \frac{Qd}{Ht * \eta_{sis}} \quad (1.3)$$

Donde:

η_{sis} = rendimiento del sistema

1.2.2.6 Geometría del colector parabólico de revolución.

Un paraboloides de revolución se obtiene por rotación de una parábola alrededor de su eje, como se ve en la (**Figura 1.6**), vamos a exponer algunas propiedades de esta curva, de aplicación en concentradores de energía solar. Un paraboloides es el conjunto de puntos situados a igual distancia de una recta fija llamada directriz y de un punto fijo F llamado foco (**figura 1.6**). La intersección de la parábola y su eje es el vértice S; si se elige este vértice como origen de coordenadas, la ecuación de la parábola es:

$$y^2 = 4fx \quad (1.4)$$

en la que f es la distancia focal (SF)

En coordenadas polares de polo F, la ecuación de la parábola es:

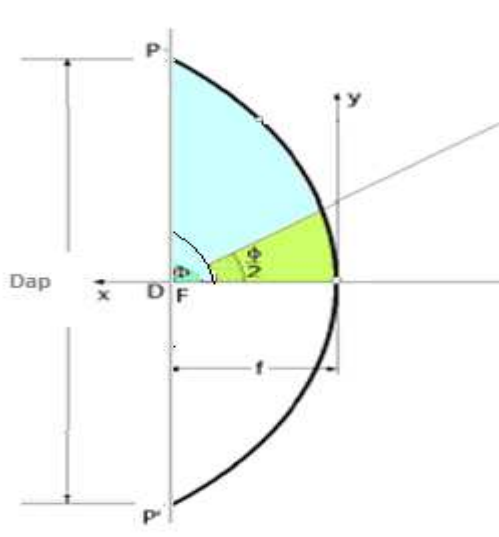


Figura 1.6: Geometría de la parábola

Las coordenadas del foco en el plano x, y, z serán;

$$f (P/2; 0; 0), \text{ cuando } \phi = 90 \text{ grados:} \quad (1.5)$$

$$\rho = \frac{f}{\cos^2 \frac{\Phi}{2}} \quad (1.6)$$

En la que: $\Phi = 2 \arctg \frac{h}{2f}$

El **diámetro (Dap) de abertura del paraboloide** y el **ángulo máximo (ϕ)** que le define viene relacionado por:

$$\phi = 2 \arctg \frac{Dap}{4f} \Rightarrow Dap = 4f * \tg \frac{\phi}{2} \quad (1.7)$$

Resultado que la **superficie de abertura (Aap) del paraboloide** es:

$$A_{ap} = \frac{\pi * Dap^2}{4} = \pi \frac{16f^2 \tg^2 \frac{\phi}{2}}{4} = 4\pi * f^2 \tg^2 \frac{\phi}{2} \quad (1.8)$$

El **área del paraboloide** se puede determinar a partir del teorema de Guldin, en la forma:

$$\begin{aligned} A_{\phi} &= \int_0^{\phi} 2\pi y ds = \left| \begin{array}{l} ds^2 = d\rho^2 + (\rho \cdot d\phi)^2 \\ y = \frac{f \cdot \text{sen}\phi}{\cos^2(\phi/2)}; ds = \frac{f \cdot d\phi}{\cos^3(\phi/2)} \end{array} \right| = \\ &= \int_0^{\phi} 2\pi \frac{f \cdot \text{sen}\phi}{\cos^2(\phi/2)} * \frac{f \cdot d\phi}{\cos^3(\phi/2)} = 2\pi f^2 \int_0^{\phi} \frac{\text{sen}\pi/2 * d\phi/2}{\cos^4\phi/2} = \\ &A_{\phi} = \frac{8\pi \cdot f^2}{3} \left[\frac{1}{\cos^3(\phi/2)} - 1 \right] \end{aligned} \quad (1.9)$$

Imagen del sol: La propiedad fundamental de un espejo parabólico es la de ser estigmático para el punto del ∞ . El diámetro d de la imagen del disco solar es:

$$d = f \varepsilon \cong 0,01 f; \text{ para una imagen nítida del sol}$$

Es decir, el número que marca la distancia focal en metros es el mismo que marca la distancia solar en centímetros.

$$\text{Se obtiene una imagen nítida del sol si: } \frac{Dap}{f} < 0,01 \quad (1.10)$$

Al momento de iniciar los *Cálculos de la concentración del apartado 1.2.2.6.1* se requiere proceder primero a determinar *las pérdidas por alineamiento de la cocina* que se estudian a profundidad en el apartado (1.3 y 1.4) (*postulado 1.1*)

1.2.2.6.1 Cálculo de la concentración.

Si en el punto I del paraboloide se refleja un haz cónico de rayos solares, ver (*figura 1.7*), y si llamamos $(IF) = \rho$, en el plano focal se obtiene una elipse cuyos ejes son:

$$\text{Eje menor, } 2b = (CE) = \rho \varepsilon$$

$$\text{Eje mayor, } 2a = (CG) = \frac{\rho \varepsilon}{\cos \phi}$$

$$\text{Área del círculo imagen de Gauss de diámetro (MN) es: } A_1 = \frac{\pi * f^2 * \varepsilon^2}{4} \quad (1.11)$$

$$\text{Área de la elipse correspondiente: } A_2 = \pi * a * b = \frac{\pi * f^2 * \varepsilon^2}{4 * \cos \Phi}$$

$$\Rightarrow \xi = \frac{A_1}{A_2} = \frac{f^2 \cos \Phi}{\rho^2}$$

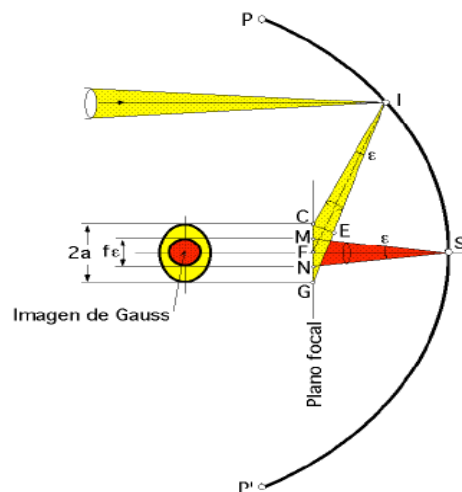


Figura 1.7: Plano focal del paraboloide

Si se considera un pequeño elemento (KH) del paraboloide, que se puede confundir con su tangente en I y si desde H se traza la paralela al eje de la parábola, recta (HB'), desde K la perpendicular a la recta (B'H) y desde K la perpendicular a (HF), siendo B el punto de intersección, resulta que (KH) es la bisectriz del ángulo (B'HB), por lo que (HB) = (KB') = $\rho d\phi$, ver (*figura 1.8*)

Si se hace girar el segmento elemental (KH) alrededor del eje del espejo se obtiene una corona elemental que proyectada sobre el plano focal origina un anillo elemental de área:

$$dA = 2\pi\rho^2 \sin\phi d\phi$$

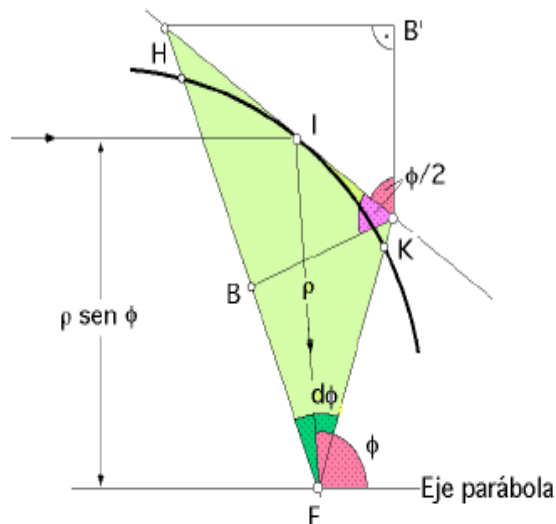


Figura 1.8: Eje de la parábola

Si la constante solar es I_0 (energía incidente sin considerar pérdidas), la radiación recibida por el anillo en el plano de la imagen solar es:

$$dI_0 = 2\pi I_0 \rho^2 \sin\phi d\phi$$

y la fracción de energía recibida por el disco focal:

$$dI_{\text{focal}} = 2\pi I_0 f^2 \sin\phi \cos\phi d\phi$$

Si llamamos (D_{ap}) al diámetro de abertura del paraboloide de revolución y Φ al ángulo de

abertura correspondiente, la *energía por unidad de superficie* es:

$$I_{focal} = 2\pi \cdot I_0 f^2 \int_0^{\Phi} \text{sen}\phi \cdot \cos\phi \cdot d\phi = \pi \cdot I_0 f^2 \text{sen}^2\phi$$

$$I_{focal} = \pi \cdot I_0 \cdot f^2 \text{sen}^2\phi \quad (1.12)$$

Que se recibe en un disco de área: $A_1 = \frac{\pi * f^2 \epsilon^2}{4}$ (véase formula 1.11)

Por lo que la densidad de energía concentrada en dicho disco es:

$$I_{disco} = \frac{I_{focal}}{A_1} = \frac{\pi \cdot I_0 \cdot f^2 \cdot \text{sen}^2\phi}{\frac{\pi \cdot f^2 \cdot \epsilon^2}{4}} = \frac{4 \cdot I_0 \cdot \text{sen}^2}{\epsilon^2} \quad (1.13)$$

y el factor o índice de concentración: $c = \frac{I_{focal}}{I_o} = \frac{4 \text{sen}^2\Phi}{\epsilon^2}$ (1.14)

1.2.2.6.2 Pérdidas energéticas debidas a la geometría de la parábola.- Si definimos la eficiencia del espejo como la relación entre la energía del círculo imagen de Gauss y la energía incidente recibida por la superficie de abertura normal a los rayos solares:

$$\eta = \frac{I_o * \pi * f^2 \text{sen}^2\Phi}{I_o * \pi * 4 * f^2 * \text{tg}^2(\Phi/2)} = \cos^4 \Phi/2 \quad (1.15)$$

Para: $\Phi = 90^\circ \Rightarrow \eta = 1/4$, por lo que el círculo imagen de Gauss no recibe más que la 4ª parte de la radiación incidente. (Postulado 1.2.)

1.2.2.6.3 Intensidad máxima que puede incidir en la olla considerando únicamente pérdidas por geometría de la parábola (Imo).

$$I_{mo} = \eta g \cdot I_s \quad (1.16)$$

1.2.2.7 Concentración efectiva y Aplicaciones de las cocinas parabólicas

“En lo anterior se ha supuesto que el concentrador paraboloidal de revolución es perfecto y que no existe ningún tipo de obstáculo entre él y el Sol; pero la realidad es que en la

concentración influyen una serie de factores que disminuyen la energía disponible sobre el plano focal. Estas pérdidas son debidas a: - La reflexión; - La absorción; - Las irregularidades geométricas de la superficie reflectora; - La sombra de las monturas; - El soporte del horno; - Las imperfecciones de orientación, etc”... ..por ejemplo” Para los espejos recubiertos con plata o aluminio, las pérdidas son del orden del 10% para cada uno, en total un 20%. Las demás pérdidas son difíciles de evaluar” (Díez, P. F. (2005), Universidad de Cantabria)

Se puede utilizar los concentradores para muchos fines. Así, dentro del campo alimentario se aplica a: Elaboración de confituras y compotas, Descongelado y recalentado de alimentos, Elaboración de conservas, etc; en el campo sanitario sus aplicaciones que van de la pasteurización del agua, al tratamiento de material sanitario por la esterilización y todo tipo de procesos químico industriales necesitados de energía térmica como la destilación del agua; Aplicaciones que son útiles en condiciones de desastres naturales, calamidades varias como en circunstancias bélicas.

1.2.2.8 Consideraciones socioeconómicas entorno a las cocinas solares

Por ofrecer un sistema muy económico de aporte energético dinamiza las posibilidades de desarrollo y empleo en especial en las zonas más desprotegidas, que por otra parte muy a menudo son muy ricas en radiación solar.

- a)* Al presentar un modo no contaminante de obtener energía se mejoran las condiciones sanitarias, véase por ejemplo la ausencia de afecciones respiratorias por la presencia de humos o los peligros de quemaduras, a los que son estadísticamente muy vulnerables los niños.
- b)* Puede resolver el problema de suministro de agua con calidad sanitaria a un coste prácticamente cero.
- c)* Por sus excelencias en el mantenimiento de los valores nutricionales de los alimentos se mejora por ejemplo los niveles vitamínicos de las poblaciones que las usan.

Su bajo coste de instalación hace posible construirlo con recursos locales.(GARCÍA, 2002).

1.3 ALINEAMIENTO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA.

Como la cocina va a seguir el sol de Este-Oeste, entonces debe estar en el otro eje Norte - Sur alineada de manera que pueda captar de mejor manera el sol.

1.3.1 RADIACIÓN SOLAR

La Tierra gira en torno al Sol describiendo una órbita elíptica, en donde el Sol ocupa una posición excéntrica al situarse sobre uno de los focos de la eclíptica, lo que produce que la distancia entre la Tierra y el Sol dependa de la época del año. Debido a esto, el Sol alcanza la superficie de la atmósfera terrestre transportando un flujo de 1353 W/m² conocido como constante solar, y que varía a lo largo del año entre un 0,97 y 1,03 de ese valor medio.

Pero, este hecho, no es el que provoca la existencia de las estaciones, dado que esa pequeña variación ($\pm 3\%$) de la radiación solar que alcanza la Tierra en las diferentes épocas del año resulta en una variaciones prácticamente inapreciables, aunque sin embargo explican la mayor severidad climática del hemisferio sur.

*La posición de la Tierra respecto al Sol no es lo que determina la variación de las temperaturas a lo largo del año, ¿qué es? Lo que determina la existencia de las estaciones y la variación de duración del día y la noche a lo largo del año es la desviación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de la eclíptica Esta inclinación de 23,5° y no la cercanía al Sol provocan que mientras que cuando en el hemisferio Norte es verano debido a que los rayos solares inciden preferentemente en él, en el Sur es invierno (**postulado 1.3**)*

La razón de la mayor severidad climática en el hemisferio Sur se debe a que el afelio, punto más alejado, y el perihelio, punto más cercano al Sol, se alcanzan en invierno y verano, respectivamente en el hemisferio Sur, con lo que en el hemisferio Norte, en verano se estará más alejado del Sol y se recibirá menos radiación, mientras que en invierno se estará más cerca. Así, el afelio se alcanza en torno al 4 de Julio, mientras que el perihelio, punto más cercano al Sol, se alcanza en torno al 3 de Enero, con lo que la intensidad de radiación solar fuera de la atmósfera es mayor en los meses de invierno. Ver (**figura 1.9**).



Figura 1.9: Inclinación de la tierra con respecto al sol.

En la (*tabla 1.3*) se observa los períodos de tiempo para una localidad como la nuestra con solo invierno y verano.

Tabla.1.3: Períodos de tiempo para sitios con solo invierno y verano.

Invierno	verano
23 Septiembre – 21 Marzo (NORTE)	21 Marzo – 23 Septiembre (NORTE)
21 Marzo – 23 Septiembre (SUR)	23 Septiembre – 21 Marzo (SUR)

La inclinación del eje de la Tierra respecto al plano de la eclíptica determina unos paralelos denominados trópicos. De tal modo que en el solsticio de verano, durante el mediodía, los rayos solares caen verticalmente sobre los lugares situados en el trópico de Cáncer, mientras que en el solsticio de invierno lo hacen sobre el trópico de Capricornio.

La irradiación es la cantidad de radiación que incide sobre una superficie, y su valor más representativo es el de irradiación global diaria media ($G_{dm}(0)$ [J/m^2]) sobre superficie horizontal, teniéndose unos determinados valores dependiendo de la ubicación de la instalación y cuyos datos vienen dados por provincias. Además, dado que un panel solar tendrá una determinada orientación, que vendrá dada por el ángulo de azimut (α), y una determinada inclinación, que vendrá dada por el ángulo de inclinación (β), habrá que determinar la irradiación sobre la superficie de los paneles ($G_{dm}(\alpha, \beta)$), lo que determinará

el grado de captación de la radiación.

Así, se definen unas pérdidas por orientación e inclinación respecto al ángulo de inclinación óptimo que depende de la latitud en la que se encuentre la instalación. Con lo que cuando la inclinación no coincida con la óptima habrá que aplicar el coeficiente de corrección k que viene determinado en función de la latitud y el ángulo de inclinación.

La inclinación del captador oscilará en torno a los $\pm 10^\circ$ con respecto a la latitud de la ubicación de la instalación, con lo que habrá que corregirlos según esa inclinación (β), lo que se hace por medio del denominado factor k .

Variando β mejoramos la captación en determinadas épocas del año, de modo que para optimizar la captación en invierno habrá que levantar el panel y en verano tumbarlo. (En Vigo (latitud 42°) para invierno $\beta=50-55^\circ$, para verano $\beta=20^\circ$ y para conexión a red (máximo captación anual) $\beta=30-35^\circ$). De modo que para una instalación de demanda preferente en invierno la inclinación óptima sería la latitud + 10° .

En una instalación solar fija, teniendo en cuenta que en verano hay mayor radiación solar, se favorecerá un ángulo de inclinación pequeño, de entre 25° y 35° para así captar la mayor energía, dado que en verano la mayor parte de la radiación será directa y el sol proyecta la luz más perpendicularmente a la superficie terrestre.

1.3.2 Irradiación sobre captadores

La energía recogida por los captadores dependerá fundamentalmente de la ubicación y posición, tanto en inclinación como en orientación de los colectores, por ello existen sistemas que realizan el seguimiento horario y diario (seguimiento en dos ejes).

Mientras que dependiendo de la ubicación de la instalación se tendrán unos determinados valores medios de radiación solar, la posición de los colectores determinará el grado de captación de esa radiación.

1.3.2.1 Generalidades Climáticas de Loja

Loja es una ciudad situada en la parte oriental de la provincia del mismo nombre, en el sur de Ecuador. Es la capital de la provincia y cantón homónimos.

Tabla 1.4: Datos Generales de la Ciudad de Loja

Ubicación	3°59' latitud Sur y 79°12' de longitud Oeste
Altitud	2.060 <u>msnm</u>
Superficie	52 <u>km²</u>
Población	175.895 hab. (2001)
Densidad	3388,2 hab./km ²

El clima de Loja es temperado-ecuatorial subhúmedo. Con una temperatura media del aire de 16°C. La oscilación anual de la temperatura lojana es de 1,5°C.

Los meses de menor temperatura fluctúan entre junio y septiembre, siendo julio el mes más frío. De septiembre a diciembre se presentan las temperaturas medias más altas (las cuales han llegado a 28°C), sin embargo en esos mismos meses se han registrado las temperaturas extremas más bajas. Particularmente en el mes de noviembre se registra el 30% de las temperaturas más bajas del año.

1.3.2.2 Radiación promedio en Loja

De investigaciones anteriores realizadas en Loja, se ha determinado que: como promedio diario sobre la superficie perpendicular a la radiación caen según la (*tabla 1.5*) de 2 a 2,7 KWh/m².

Tabla.1.5: Insolaciones promedio en la ciudad de Loja (ver anexo C)

Insolaciones promedios en la ciudad de Loja 2008		
Difusa	Directa	Global
2000 Wh/m2/DIA	2700 Wh/m2/DIA	4650 Wh/m2/DIA

1.3.3 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

Aunque la Tierra gira en torno al Sol describiendo una órbita elíptica, donde el Sol ocupa una posición excéntrica situado en uno de sus focos, este hecho sólo provoca que la radiación solar que alcanza la Tierra fluctúe en un $\pm 3\%$.

De hecho, el afelio, punto más alejado, se alcanza en torno al 4 de Julio, mientras que el perihelio, punto más cercano al Sol, se alcanza en torno al 3 de Enero, con lo que la intensidad de radiación solar fuera de la atmósfera es mayor en los meses de invierno.

Lo que determina las estaciones y la variación de duración del día y la noche a lo largo del año es la desviación del eje de rotación de la Tierra ($23,5^\circ$) respecto al plano de la eclíptica, y no la cercanía al Sol.

La inclinación del eje de la Tierra respecto al plano de la eclíptica determina unos paralelos denominados trópicos. De tal modo que en el solsticio de verano, durante el mediodía, los rayos solares caen verticalmente sobre los lugares situados en el trópico de Cáncer, mientras que en el solsticio de invierno lo hacen sobre el trópico de Capricornio.

Para un máximo rendimiento, los colectores sin sistema de seguimiento se orientan hacia el sur geográfico con una inclinación determinada por la latitud del lugar. Ver (*figura 1.10*).

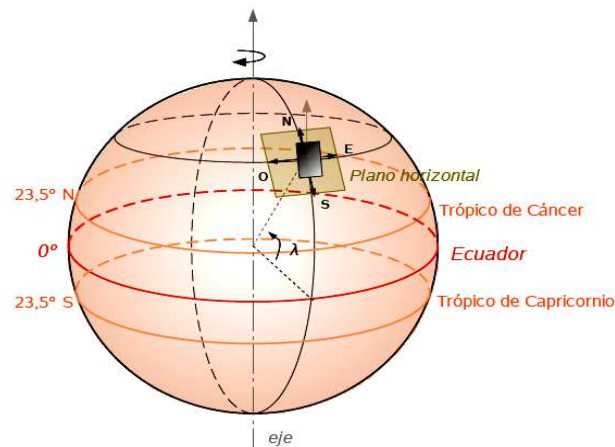


Figura 1.10: inclinación efectiva para 42° de latitud norte.

Importante recordar que para nuestro trabajo investigativo se debe utilizar 4° de latitud sur o -4° porque Loja está ahí, ver (*figura 1.11*).

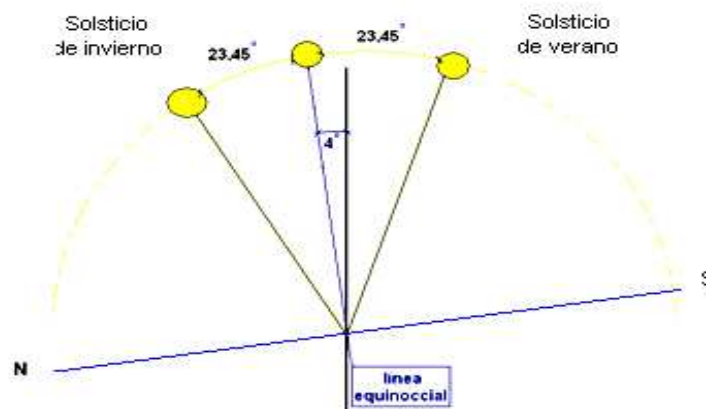
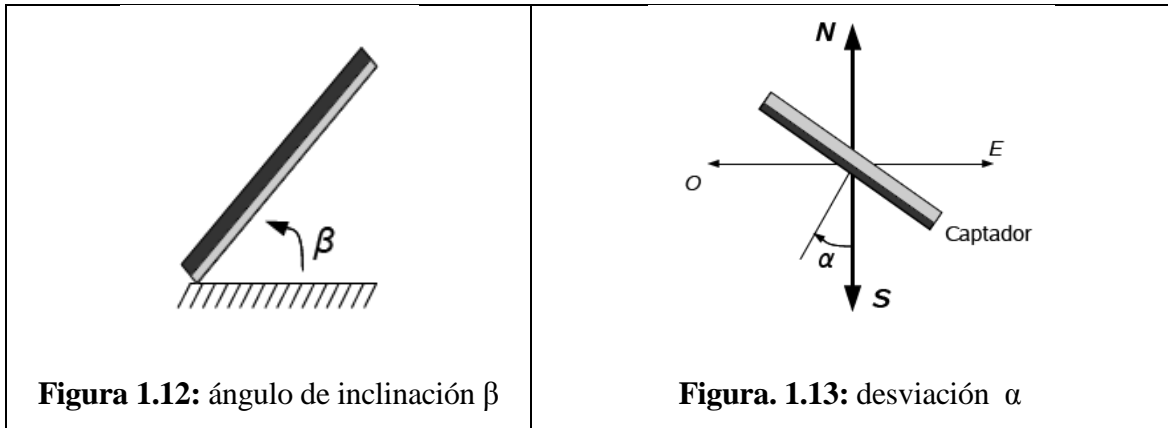


Figura 1.11: Diagrama de solsticios para Loja según su latitud

De este modo se tiene que la inclinación óptima estará en 10° en torno a la latitud del lugar de la instalación, dado que si es $+10^\circ$ se tendrá una captación preferente en invierno y -10° una captación preferente en verano, ver las (*figuras 1.12;1.13*).



Debido a que la orientación óptima (máxima captación de energía) es en dirección Sur, cualquier desviación (α) restará eficiencia al sistema, provocando unas pérdidas que no deben superar los valores establecidos por el CTE

Como los datos de irradiación vienen dados para una superficie horizontal, y el captador se sitúa con una inclinación que puede oscilar en torno a los $\pm 10^\circ$ con respecto a la latitud de la ubicación de la instalación, habrá que corregirlos según esa inclinación (β). A estas pérdidas, por orientación e inclinación, se añaden las producidas por sombras, teniéndose que deben respetar los límites establecidos por el CTE. (Sarmiento, 1980)

De lo expuesto en relación a la radiación solar se determina lo siguiente:

$$\beta = \text{latitud} \pm (10^\circ \text{ en oscilación}) \quad (1.17)$$

Por supuesto con las condiciones ya expuestas anteriormente.

1.4 PÉRDIDAS POR ALINEAMIENTO: ANGULO DE INCIDENCIA O (FACTOR DE INCIDENCIA) ($\cos\theta$) A PARTIR DEL GIRO SOBRE UN EJE HORIZONTAL (NORTE-SUR) CON AJUSTE CONTINUO DE LA ORIENTACIÓN.

EL ($\cos\theta$) determina cuan alineado está el colector con respecto al movimiento aparente el sol, y en consecuencia las pérdidas por alineamiento.

Viene dado por la fórmula:

$$\cos\theta = \sqrt{(\sin\lambda \sin\delta + \cos\lambda \cos\delta \cos T)^2 + \cos^2\delta \sin^2 T} \quad (1.18)$$

Para entender las implicaciones del giro sobre un eje horizontal (norte sur se debe tener en cuenta lo siguiente:

1.4.1 CARACTERISTICAS DE LA RADIACIÓN DIRECTA

Como hemos venido estudiando, el movimiento de la Tierra alrededor del Sol se llama traslación y lo hace describiendo una órbita elíptica de muy poca excentricidad llamada Eclíptica, estando el Sol situado en uno de sus focos.

La duración del recorrido es de 365 días, 5 horas y 48 minutos a una velocidad de 108.000 Km/hora, aproximadamente. Esta órbita está inclinada con respecto al plano del Ecuador un ángulo de 23°45' y ello hace que sobre un punto determinado de la Tierra los rayos del Sol caigan unas veces más perpendicularmente que en otros y, por lo tanto, que la radiación incidente I_0 sobre la misma sea diferente, (**Figura 1.14**).

Por otra parte, la Tierra tiene un movimiento de rotación alrededor de su eje en el que emplea 24 horas. Ahora bien, debido a la inclinación del eje de rotación y del movimiento orbital de la Tierra, la duración del día y de la noche varía según la latitud λ del lugar. Así, en el Ecuador terrestre el día y la noche son iguales, es decir, de doce horas, pero esa igualdad se va perdiendo a medida que se pasa del Ecuador hacia los Polos, ya que progresivamente van apareciendo los inviernos de noches más largas en contraposición con los veranos de noches más cortas, incluso hasta en las regiones polares en donde duran medio año.

1.4.2 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS.- Para calcular la radiación solar incidente sobre una superficie que tiene una determinada inclinación y orientación, es necesario definir algunos términos, cuya representación se ha hecho en las (**Figuras 1.14; 1.15 y 1.16**)

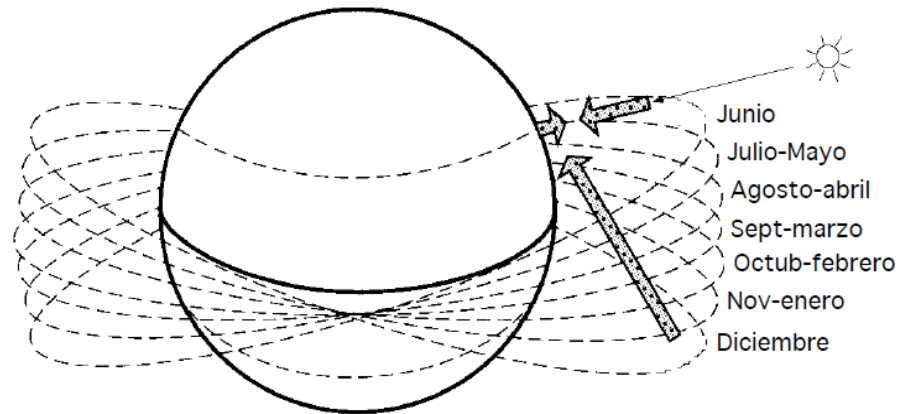


Figura 1.14: Posiciones del Sol a lo largo del año

-El **ángulo cenital solar** (θ_s), es el ángulo que forma la radiación directa del Sol y la vertical del lugar, en un punto cualquiera de la Tierra. Este ángulo varía continuamente a lo largo del día y depende también de la latitud del lugar y de la declinación.

-El **ángulo acimutal del Sol** (β_s), es el ángulo que forma la componente horizontal de la radiación solar directa, con la dirección Norte-Sur, en el hemisferio norte. Se mide sobre el plano horizontal que pase por el lugar.

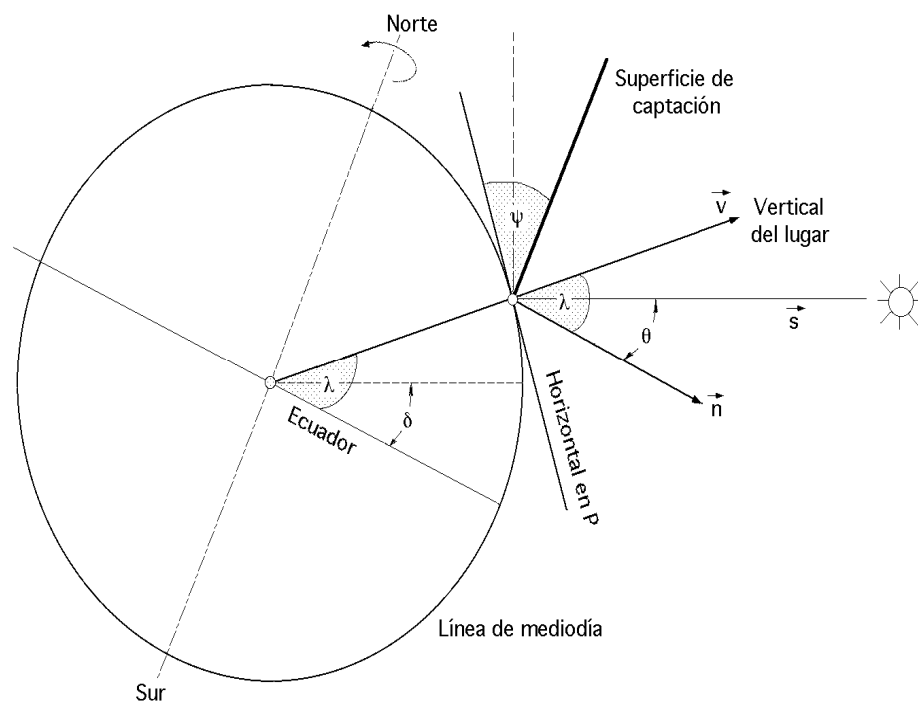


Figura 1.15: Situación espacial de diversos ángulos

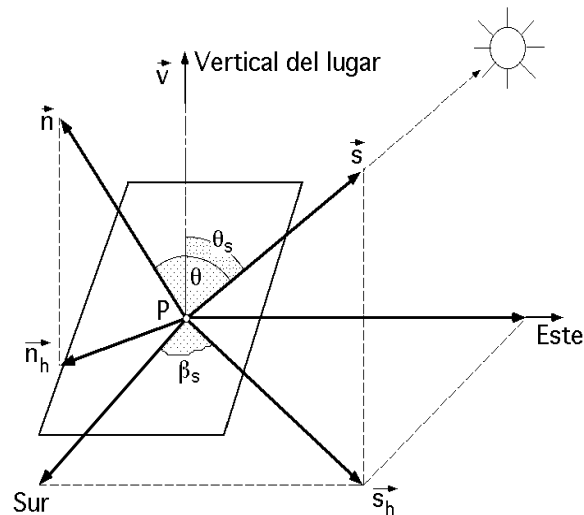


Figura 1.16: Inclinación del sol según el vértice del lugar

-**La declinación (δ)**, que es la posición angular del Sol al mediodía solar, respecto al plano del Ecuador terrestre; el valor de este ángulo se suele tomar cada día al mediodía solar. Esto es debido a que el eje de rotación de la Tierra está inclinado un ángulo de $23^{\circ}45'$ respecto al eje del plano que contiene la órbita que describe alrededor del Sol y de ahí que el valor de la declinación varíe entre $\pm 23^{\circ}45'$ a lo largo del año. La declinación al Norte del Ecuador se considera positiva.

-**El ángulo horario (τ)** es el desplazamiento angular del Sol, respecto al mediodía, que es el instante en que el Sol se encuentra más alto en el cielo y se corresponde con un ángulo cenital solar mínimo, es decir, con un ángulo horario igual a 0. Cada hora es igual a 15° de longitud, tomando un valor (+) por las mañanas y (-) por las tardes.

- **La latitud de un lugar cualquiera sobre la superficie de la Tierra (λ)**, es su desplazamiento angular por encima o por debajo del Ecuador, medido desde el centro de la Tierra. Se considera positiva al N del Ecuador.

- **La longitud del lugar (L)** es el ángulo que forma el semiplano que pasa por los polos en un lugar de la superficie de la Tierra y el semiplano que pasa por Greenwich. Este semiplano es un cero arbitrario y la línea que corta sobre la superficie terrestre se denomina meridiano de Greenwich. La longitud y la latitud son coordenadas que localizan un punto cualquiera sobre la superficie de la Tierra.

- *Otro ángulo que se debe tener en cuenta es el que forma el terreno, (o la superficie que se considere)*, con la horizontal del lugar y que llamaremos; éste es el ángulo cenital de la superficie y, por lo tanto, el ángulo que forma la normal a la superficie con la vertical del lugar.

1.4.3 RELACIONES TRIGONOMÉTRICAS.-

Las relaciones trigonométricas existentes entre la posición de un plano orientado en cualquier forma y en cualquier momento, respecto a la dirección de la componente directa de la radiación solar incidente, se puede expresar mediante la expresión (Benford y Book) de la forma:

$$\cos\theta = \operatorname{sen}\delta\operatorname{sen}\lambda\cos\psi - \operatorname{sen}\delta\cos\lambda\operatorname{sen}\psi\cos\beta - \cos\delta\cos\lambda\cos\psi\cos\tau + \cos\delta\operatorname{sen}\lambda\operatorname{sen}\psi\cos\beta\cos\tau + \cos\delta\operatorname{sen}\psi\operatorname{sen}\beta\operatorname{sen}\tau$$

En la que ψ es el ángulo que forma el terreno con la horizontal del lugar.

Cuando el plano del terreno coincide con el horizontal ($\psi=0$), por lo que el **ángulo cenital de la radiación solar directa** $\theta=\theta_s$, (Figura I.16), es:

$$\cos\theta_s = \operatorname{sen}\delta\operatorname{sen}\lambda + \cos\delta\cos\lambda\cos\tau$$

que define el ángulo cenital solar en función de la latitud del lugar λ , del día del año definido por su declinación media δ y la hora del día definida por el ángulo horario τ .

El ángulo acimutal solar viene dado por la expresión:

$$\cot\beta_s = \frac{\operatorname{tg}\delta\cos\lambda - \operatorname{sen}\lambda\cos\tau}{\operatorname{sen}\tau}$$

Mediante la ecuación del ángulo cenital solar se puede determinar **el ángulo horario** τ_s de salida o puesta del Sol, haciendo $\theta_s = 90^\circ$:

$$\cos\tau_s = \frac{-\operatorname{sen}\lambda\operatorname{sen}\delta}{\cos\lambda\cos\delta} = -\operatorname{tg}\lambda\operatorname{tg}\delta$$

El ángulo horario τ también está dado por la siguiente fórmula:

$$\tau = (12 - N_{hi}) \times 15^\circ \quad (1.19)$$

Donde N_{hi} es el número de la hora donde se inicia el recorrido de horas sol.

Para la *declinación* δ tomaremos el valor medio diario, al mediodía, dado por la ecuación:

$$\delta = 23.45 \text{sen}\left(360 * \frac{284+Z}{365}\right) \quad (1.20)$$

en la que Z es el día del año considerado, contado a partir del 1 de Enero.

1.4.4 ÁNGULO DE INCIDENCIA FORMADO POR LOS VECTORES \vec{n} y \vec{s}

Un factor a tener en cuenta es la orientación del colector y el mecanismo apropiado que permita hacer un seguimiento lo más preciso posible del movimiento aparente del Sol, lo que implica en la mayoría de los casos tener que hacer uso de más de un sistema de movimiento.

Así, un concentrador cilíndrico parabólico tiene que tener un mecanismo de seguimiento del Sol que permita que su vector unitario \vec{n} normal a la superficie de abertura y el vector unitario solar \vec{s} , conformen un plano que coincida con el plano focal que a su vez sea plano de simetría del concentrador y que por lo tanto contenga al receptor; con este montaje es posible obtener giros del colector alrededor de un sólo eje de giro que puede ser un montaje (Norte-Sur), (Este-Oeste), o inclinado y paralelo al eje de la tierra, con velocidad de giro de 15° por hora.

Sin embargo, el seguimiento perfecto del Sol se conseguirá cuando los vectores \vec{n} y \vec{s} coincidan, ya que en esas circunstancias, la superficie de abertura del colector será normal a los rayos solares incidentes; este montaje requiere la composición de dos movimientos o giros sobre dos ejes combinación de los citados anteriormente, que se conoce como *Alt-acimut*; el movimiento se realiza mediante giros alrededor de un eje vertical y otro horizontal, existiendo otros tipos de movimientos relativos, pero siempre, el vector unitario normal \vec{n} al plano de abertura, tiene que coincidir con la dirección de los rayos solares incidentes definida por el vector unitario \vec{s} .

El ángulo θ tiene una gran importancia en este tipo de colectores, por cuanto de él

depende el valor de I_s que es la energía incidente por unidad de superficie sobre el concentrador reflector, de valor:

$$I_s = I_o \cos \theta \quad (1.21)$$

Según sea el tipo de orientación y movimientos del colector necesarios para conseguirla, tendremos diversos valores para el ángulo θ destacando los siguientes:

a) Colector fijo, estando el plano de abertura normal a la radiación solar directa al mediodía de los equinoccios

$(\lambda - \psi = 0)$, Por lo que:

$$\cos \theta = \text{sen } \delta \text{ sen}(\lambda - \psi) + \text{cos} \delta \text{ cos}(\lambda - \psi) \text{ c}^2 \text{s } \tau$$

$$\cos \theta = \text{cos} \delta \text{ cos } \tau$$

b) Giro del colector sobre un eje horizontal (Este-Oeste) con un solo ajuste diario, de forma que la normal \vec{n} al plano de abertura coincida con la componente directa de la radiación solar definida por el vector \vec{s} , al mediodía de cada día del año; ésto implica que $(\delta = \lambda)$, por lo que:

$$\cos \theta = \text{sen} \delta \text{ sen} \lambda + \text{c}^2 \text{s } \delta \text{ c}^2 \text{s } \lambda \text{ cos } \tau$$

$$\cos \theta = \text{sen}^2 \delta + \text{cos}^2 \delta \text{ cos } \tau$$

c) Giro sobre un eje horizontal (Este-Oeste) con ajuste continuo de la altura del Sol, formando los vectores \vec{n} y \vec{s} un plano normal al de abertura de la superficie A_s

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \text{c}^2 \text{s}^2 \delta \text{ sen}^2 \tau}$$

d) Giro sobre un eje horizontal (Norte-Sur) con ajuste continuo de la orientación

$$\cos \theta = \sqrt{(\text{sen } \lambda \text{ sen } \delta + \text{c}^2 \text{s } \lambda \text{ c}^2 \text{s } \delta \text{ c}^2 \text{s } \tau)^2 + \text{c}^2 \text{s}^2 \delta \text{ sen}^2 \tau}$$

e) Giro sobre un eje paralelo al eje de la Tierra, con ajuste continuo,

$$\lambda - \psi = 0, \quad \tau = 0 \Rightarrow \text{c}^2 \text{s } \theta = \text{c}^2 \text{s } \delta$$

f) *Giro sobre dos ejes perpendiculares*, con ajuste continuo del seguimiento del Sol, de forma que siempre se cumpla que, $\vec{n} = \vec{s}$

$$\cos \theta = 1 \quad (1.22)$$

Por lo que $I_s = I_o$ y los rayos solares inciden en todo momento normalmente al plano de abertura, paralelos al plano de simetría del colector (Díez, 2005).

1.5 BALANCE DE ENERGÍA EN LA COCINA SOLAR PARABÓLICA Y EL RECEPTOR

1.5.1 Calor útil en la cocina parabólica (qu)

$$q_u = q_{abs} - q_p = q_{abs} - U_L(T_c - T_a)A_r$$

Donde la energía recibida por el absorbedor (q_{abs}) está dada por:

$$q_{abs} = \eta_o A_a G_d \quad (1.23)$$

Siendo:

- A_a área de apertura;
- A_r área del absorbedor;
- G_d radiación solar directa incidente sobre el colector;
- T_a temperatura del aire ambiente, en $^{\circ}\text{C}$;
- T_c temperatura del (concentrador), en $^{\circ}\text{C}$;
- U_L coeficiente global de transferencia de calor, y
- η_o Eficiencia óptica.

Algunas definiciones necesarias para entender los concentradores solares son:

- **Radiación solar:** Energía radiante recibida del Sol en su forma directa y difusa. La componente directa es la que recibe directamente del sol sin haber sufrido ninguna desviación en su trayectoria; la difusa se debe a su dispersión al atravesar la atmósfera y reflexión sobre la tierra.
- **Colector solar:** Dispositivo que absorbe la radiación solar y transfiere su energía a un fluido.
- **Concentrador:** Dispositivo que concentran la componente directa de la radiación solar sobre un absorbedor.

- **Abosbedor:** Componente de un dispositivo solar que tiene como función captar y retener la mayor cantidad de radiación solar.
- **Área del absorbedor:** Área que recibe la radiación concentrada.
- **Área de apertura:** Área del captador que intercepta la radiación solar.
- **Razón de concentración:** Se define como el cociente entre el área de apertura colectora y el área del absorbedor.
- **Ángulo de aceptación:** Amplitud de la zona angular dentro de la cual la radiación es captada por el absorbedor de un concentrador. Por ejemplo, el valor mínimo de aceptación es del orden de $\frac{1}{2}^{\circ}$ y se debe al tamaño finito del sol, mientras que un colector tiene un ángulo de aceptación de 180° .
- **Eje de concentrador:** Línea que pasa por el foco y su vértice.
- **Ángulo de borde:** Ángulo formado por el eje de un concentrador (tipo parabólico) y la línea imaginaria que va desde su borde al punto focal.
- **Absortancia:** Razón de la radiación emitida por la superficie de la radiación incidente.
- **Emitancia:** Razón de radiación emitida por la superficie de un cuerpo a la radiación emitida por un radiador perfecto a la misma temperatura.
- **Eficiencia óptica de un colector:** Razón de la energía captada por el colector solar a la energía solar incidente sobre el colector.
- **Helioestado:** Dispositivo que sirve para reflejar la componente directa de la radiación solar sobre un blanco fijo.
- **Reflejancia:** Razón de radiación de un material a la radiación incidente sobre el mismo.
- **Reflejancia especular:** Esta consiste cuando una fracción de la energía entrante incide sobre un espejo con un ángulo de incidencia particular, entonces ésta es reflejada dentro de un cierto ángulo sólido que estará centrado alrededor de un rayo saliente con un ángulo igual al de incidencia respecto de la normal.
- **Factor de forma:** Razón de la energía (radiación) incidente sobre el absorbedor a la radiación directa incidente sobre el área de apertura del concentrador.
- **Transmitancia:** Razón de la energía radiante transmitida por un material dado a la energía solar incidente.
- **Eficiencia óptica de un colector:** Razón de radiación que recibe la apertura de un colector ideal en dirección al sol a la que es eventualmente absorbida por el absorbedor de un colector real que puede no estar dirigido directamente hacia el sol.

Esta eficiencia depende de la reflejancia del espejo, transmitida de la envolvente, que pueda existir sobre el absorbedor, absortividad del absorbedor, factor del sistema concentrador y del ángulo de incidencia de los rayos concentrados hacia el absorbedor.

1.5.2 Eficiencia Óptica De Una Cocina Parabólica

Si la eficiencia instantánea del colector es:

$$\eta_c = \frac{q_u}{G_d A_a} \quad (1.24)$$

Entonces:

$$\eta_c = \eta_0 - \frac{U_L(T_c - T_a)}{G_d} * \frac{1}{C} \quad (1.25)$$

Donde la razón de concentración C está definida como $C = A_a/A_r$.

Debido a que las pérdidas de un colector plano en el que $A_a/A_r=1$ crecen al aumentar la temperatura, la ganancia de energía a altas temperaturas es baja. En cambio, en concentradores al aumentar la razón de concentración, A_a/A_r , manteniendo A_a constante, las pérdidas térmicas se reducen, permitiendo alcanzar altas temperaturas. Sin embargo, las pérdidas por reflexión, factor de forma y la no concentración de radiación difusa en los concentradores, reducen la energía absorbida comparada con la que capta un colector plano.

Para colectores planos $C=1$ y para concentradores $C>1$. De la (**ecuación 1.25**) Es evidente que entre mayor sea C. más grande será la eficiencia; este tipo de análisis es muy simple, ya que no refleja la reducción en la eficiencia óptica que ocurre debido al uso de espejos o lentes imperfectos.

Además, para altas temperaturas es más complicado obtener U_L (**ecuación 1.25**) debido a que las pérdidas por radiación son muy importantes y proporcionales a la temperatura elevada a la cuarta potencia.

Cuanto más alta es la temperatura a la cual la energía va a ser entregada en un concentrador, mayor deberá ser la razón de concentración; para lograr esto, la geometría del concentrador necesita ser la más precisa posible, así como del sistema que permite seguir al sol; en la (**figura 1.17**) Se muestra los valores de razón de concentración y tipos

de colectores con los que se pueden entregar energía a diferentes temperaturas sobre un absorbedor.

1.5.3 Tipos De Concentradores Con Seguimiento Del Sol

Los concentradores se pueden clasificar según las siguientes características:

- Temperatura de operación;
- Exactitud en el seguimiento aparente del sol, y
- Tipo de seguimiento, que puede ser de un solo eje o biaxial.

1.5.3.1 Concentradores Estacionarios

Los concentradores menos complejos son los que no requieren seguimiento continuo del sol; éstos tienen un ángulo de aceptación muy grande, concentración baja y diseño con base en alguna curvatura sencilla; su orientación debe ser en dirección este-oeste (E-W) a fin de obtener mejor aprovechamiento de los ángulos de aceptación; las concentraciones pueden llegar hasta 10 con un tiempo de captación del orden de 7h, con ajuste una vez al día.

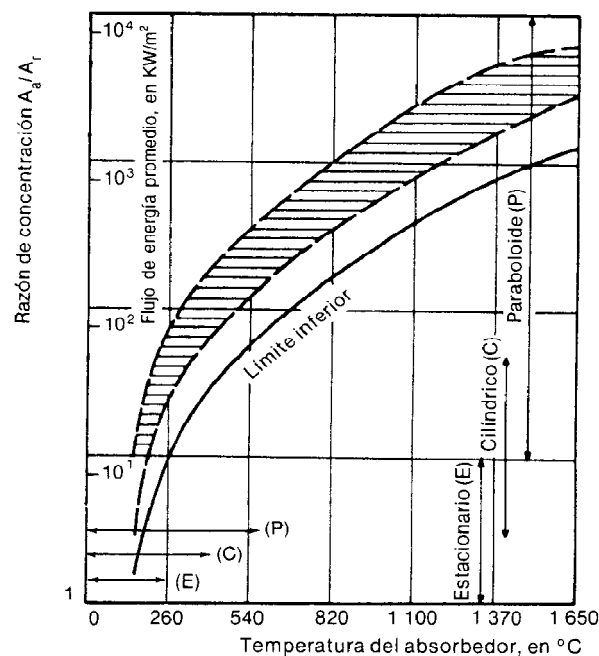


Figura 1.17: Relaciones entre razón de concentración y temperatura de operación del absorbedor.

La curva límite inferior representa razones de concentración a las cuales las pérdidas térmicas son iguales a la energía generada. La región sombreada corresponde a eficiencias de colección de 40 a 60 por ciento y representa el intervalo usual de buena operación. La escala de densidad de flujo muestra la densidad de flujo promedio de radiación reflejada en el área focal.

En el **(anexo I)** se muestra la eficiencia de los concentradores según la temperatura del tubo absorbedor; se observa que las pérdidas por reflexión debidas a la reflectancia de los espejos es de 15 por ciento; estas pérdidas no se pueden eliminar, ya que técnicamente sería difícil fabricar espejos baratos con mejores características ópticas. Las pérdidas por el factor de forma son las que se deben a la conservación de una buena geometría durante la construcción de cilindros parabólicos; este factor puede empeorar a lo largo del tiempo si la geometría se deforma.

Un aspecto muy importante en el funcionamiento de un concentrador es el absorbedor. Como intento inicial para fijar el diámetro del absorbedor, es apropiado captar toda la energía reflejada en el espejo parabólico. El diámetro del receptor dependerá del tamaño angular del sol, magnitud del error cometido en el seguimiento, error de curvatura del espejo, irregularidad de la superficie reflejante y de la absorción angular característica de la superficie receptora (*figura 1.18*).

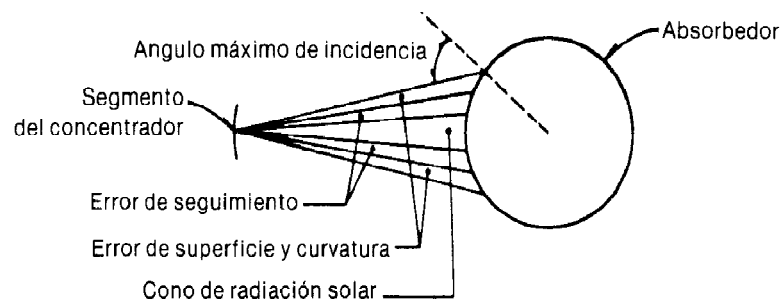


Figura 1.18: Factores que intervienen en la elección del diámetro de un absorbedor

Las pérdidas térmicas son directamente proporcionales al diámetro del receptor; para tener un receptor con el menor diámetro posible y así reducir las pérdidas térmicas, es necesario seleccionar un ángulo de borde para el espejo de tal forma que se logre minimizar la distancia máxima ($r_{\text{máx}}$) de la superficie reflejante del foco. Como se observa en la figura 9, el cono de radiación aumenta su sección circular conforme se incrementa la distancia

reflector-receptor, ya que ésta aumenta al irse alejando del foco; es por esto que se requiere minimizar dicha distancia (*figura 1.19*).

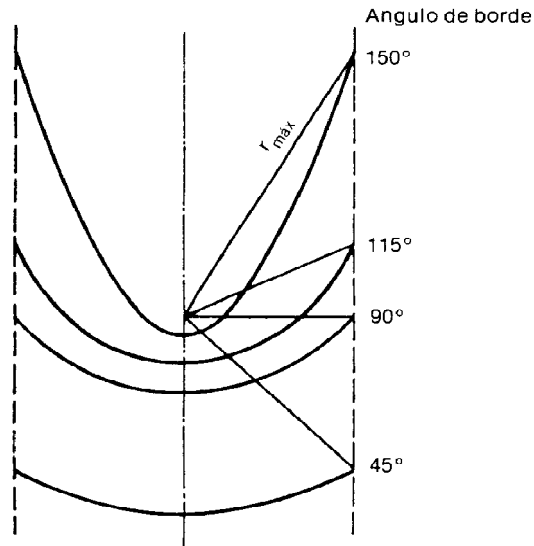


Figura 1.19: Varios ángulos de borde para una apertura fija. Para un foco común y una apertura fija $f_{\text{máx}}$ es mínima a un ángulo de borde de 90° , por tanto, se requiere un absorbedor de menor diámetro que para los otros ángulos de borde.

Cuando la apertura del concentrador se conoce; el diámetro del receptor se puede calcular tomando en cuenta las características ópticas del espejo.

Una vez que la radiación solar llega al absorbedor, es importante sea captada en la mayor medida posible, por eso es necesario cubrir el absorbedor con sustancias de alta absorbidad.

Otro tipo de pérdidas importantes en estos concentradores son debidas a la convección y conducción de calor al medio ambiente, por lo que es necesario reducirlas mediante el encierro del tubo absorbedor dentro de tubos de vidrios para bajar la presión del espacio intermedio.

A. Paraboloïdes de revolución

Los espejos parabólicos son los únicos que mantienen una distancia focal constante desde el vértice del propio espejo.

El paraboloide de revolución es una superficie producida al girar una parábola alrededor de su eje óptico.

En este tipo de concentradores se pueden alcanzar concentraciones de 500 a 3600. Debido al tamaño finito del sol y a imperfecciones en la construcción de espejos, el foco en sistemas de este tipo no es puntual. Las temperaturas que se han logrado alcanzar en estos sistemas van desde los 500 hasta los 2000°C.

La eficiencia óptica de un canal parabólico es muy semejante a la de un paraboloide de revolución y está dada por:

$$\eta_o = \rho_R \tau \alpha \gamma F f_\tau \quad (1.26)$$

Donde

$F \text{ o } \cos \phi$ =error en el seguimiento;

α =absortancia del absorbedor;

γ =factor de forma que depende de los errores en la pendiente del espejo y de la dispersión que sufre la radiación solar directa incidente;

ρ_R o ρ_R = reflejancia del espejo; (valor de tabla 1.2)

τ =transmitancia de la envolvente del absorbedor (valor de tabla, anexo 5.8).

f_τ = fracción de la apertura no sombreada por soportes y absorbedor

$$A_{efec} = A_a - A_{sop} - A_r \quad (1.27)$$

$$f_\tau = \frac{A_{efect}}{A_\phi} \quad (1.28)$$

Donde:

A_{efect} =Área efectiva de la parábola

A_{sop} =Área de los soportes

A_ϕ =Área total de la parábola

Debido a que el área del absorbedor es reducida, las pérdidas térmicas son pequeñas y principalmente radiativas; generalmente no es necesario utilizar cubierta en el absorbedor para evitar efectos convectivos.

El funcionamiento de un paraboloide de alta concentración es mucho más sensible a las propiedades ópticas del sistema que a las pérdidas térmicas. (Almanza, y otros, 2003)

1.6 EVALUACIÓN DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA

1.6.1 El método estacionario para la medición del producto de la absorptancia (α) y transmitancia (τ); para el cálculo de la eficiencia óptica.

Viene dado por:

$$\alpha \tau = \frac{\dot{m} c_p (T_s - T_e)}{G_t A_r} \quad (1.29)$$

η eficiencia óptica (*figura 1.20*):

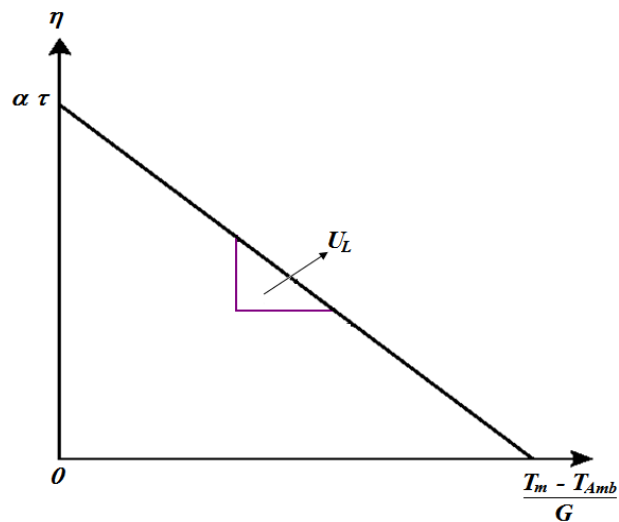


Figura 1.20: Diagrama de la eficiencia óptica

Donde:

C_p = Calor específico del agua

\dot{m} = flujo másico

T_s = Temperatura de salida

T_e = temperatura de entrada

G_t = Irradiación de acuerdo a las horas de régimen

A_r = área del absorbedor

1.6.2 Determinación de la Eficiencia Óptica

Para la determinación de la eficiencia óptica del Colector parabólico de revolución/ cocina

parabólica, se llena la olla/absorbedor con agua fría, a una temperatura inferior a la temperatura ambiente ($T_e \ll T_{amb}$).

El agua fría ingresa a temperatura T_e , el flujo másico del agua (\dot{m}) se determina a través de la siguiente relación:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad (1.30)$$

Donde:

m = masa del agua en el absorbedor

t = tiempo de calentamiento del agua

Luego entonces el agua sale a temperatura T_s .

1.6.3 Coeficiente global de pérdidas.

Viene dado por:

$$U_L = \frac{\dot{m} cp(T_s - T_e)}{A_r(T_m - T_{Amb})} \quad (1.31)$$

1.6.3.1 Determinación del Coeficiente Global de pérdidas de calor: (U_L) y ($\alpha \tau$)

Calentando el agua en un tiempo de régimen, hasta una temperatura de 90 °C de promedio estabilizada (teóricamente) en 2 horas, previo a esto se realiza un monitoreo desde la temperatura de entrada hasta la de salida del absorbedor, simultáneamente, se mide la temperatura del ambiente de trabajo (T_{amb}), se calcula el flujo másico (\dot{m}).

Se determina la temperatura media (T_m) entre las temperaturas de entrada y salida del agua del absorbedor, se mide el área del absorbedor (A_r), y finalmente se calcula U_L y el resultado entre ($\alpha \cdot \tau$) según la (ecuación 1.31 y 1.29 respectivamente).

La temperatura media viene dada por:

$$T_m = \frac{t_s - t_e}{2} \quad (1.32)$$

(Bravo & Sacari, 2009)

CAPÍTULO II: PRINCIPIOS HIDRAULICOS Y FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DEL HIDRO-SEGUIMIENTO.

2.1 SEGUIDORES SOLARES

2.1.1 FUNDAMENTOS DE LOS SEGUIDORES SOLARES

El seguidor solar, es un dispositivo mecánico que puede orientar paneles solares u otros aparatos que necesiten seguimiento solar; y, este los coloca muy cerca de la perpendicular de los rayos solares, desde el este en el alba hasta el oeste en el ocaso.

Estos seguidores solares tienen toda una estructura que sigue el sol girando sobre un eje inclinado según valoración previa de condiciones; o, sobre dos ejes que le permiten moverse en los cuatro puntos cardinales. Estos últimos permiten con mayor efectividad seguir el sol.

El aumento de rendimiento que dan los seguidores es de un 34% a un 40% más, respecto de los paneles fijos de inclinación óptima. Así mismo en instalaciones solares térmicas para agua caliente sanitaria doméstica no son habituales los seguidores.

Por último podemos decir que lamentablemente, la mayoría de instalaciones solares se hacen fijas, quizás se debería valorar mucho más el diseño de instalaciones solares con seguimiento; porque, dado el movimiento aparente del sol, el seguirlo aumenta el rendimiento energético que nos ofrece.

2.1.2 TIPOS DE SEGUIDORES SOLARES

Existen de varios tipos:

- En dos ejes (2x): la superficie se mantiene siempre perpendicular al sol.
- En un eje polar (1xp): la superficie gira sobre un eje orientado al sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol. La velocidad de giro es de 15° por hora, como la del reloj.
- En un eje acimutal (1xa): la superficie gira sobre un eje vertical, el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a

la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al Sol. La velocidad de giro es variable a lo largo del día.

- En un eje horizontal (1xh): la superficie gira en un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol.

En la siguiente (*figura 2.1*) tomada del catálogo en Internet; www.seguidorsolar.org/cas/index.html. Apreciamos un tipo de seguidor solar, cuyas características generales son las siguientes:

- Sistema de seguimiento del sol de dos ejes.
- Superficie máxima de placas 80m²
- Potencia máxima 11,5 kW (en función de la cantidad y tipo de placas)
- Seguimiento del sol paso a paso.
- Adaptable a diferentes tipos y medidas de placas.
- El seguidor se sitúa en posición horizontal en caso de rachas fuertes de viento
- Simplicidad de funcionamiento, por tanto mínima posibilidad de averías



Figura 2.1: Seguidor solar

2.2 HIDROSEGUIDORES SOLARES

Los Hidroseguidores, “son amplificadores hidráulicos programados accionados por la energía de la gravedad durante la descarga y carga libre de agua”, están formados por dos

recipientes: como se ve en la (*figura 2.2*) uno, trabaja por descarga libre de agua y acciona un extremo de un espejo cilíndrico-parabólico; y el otro, ubicado a menor altura, recibe por gravedad el agua del primer recipiente y acciona el otro extremo del espejo con movimiento sincrónico del espejo con el sol. Es posible, que cada recipiente maneje un espejo cilíndrico-parabólico.

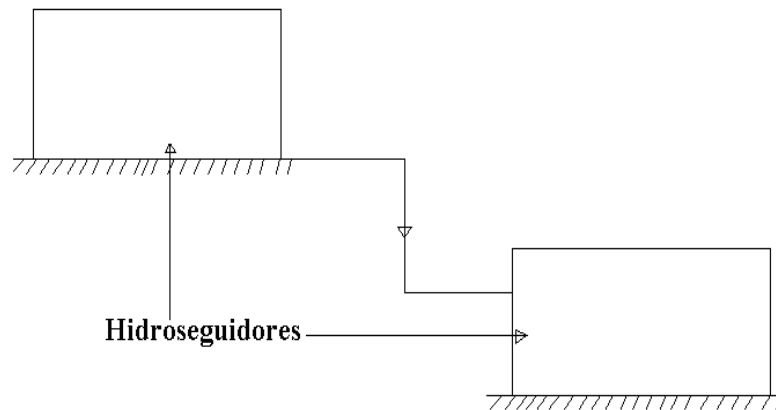


Figura 2.2: Pareja de Hidroseguidores Solares

Recordemos pues que la figura antes mencionada representa un diagrama de bloques de hidroseguidores, que en nuestro proyecto aplicaremos a una parábola de revolución o “cocina parabólica”. Gracias a que solo necesitamos seguir al sol con un enfoque parcial, ya que la propiedad del espejo parabólico es de que: todo rayo que incida en el área del espejo parabólico se refleja hacia el foco, o en otros casos hacia una línea focal.

2.2.1 METODOLOGÍA DEL HIDROSEGUIMIENTO

Al comenzar un diseño de Hidroseguidimiento es necesario especificar:

- a) Qué tipo de dispositivo va a accionar (en nuestro caso concentrador parabólico de revolución)
- b) El sitio o la localidad donde va a funcionar el hidroseguidor (en nuestro caso Loja)
- c) Si la motobomba impulsa el agua a un tanque elevado como en la figura o si solamente es de retorno como se mostrará en nuestro diseño alternativo más adelante.

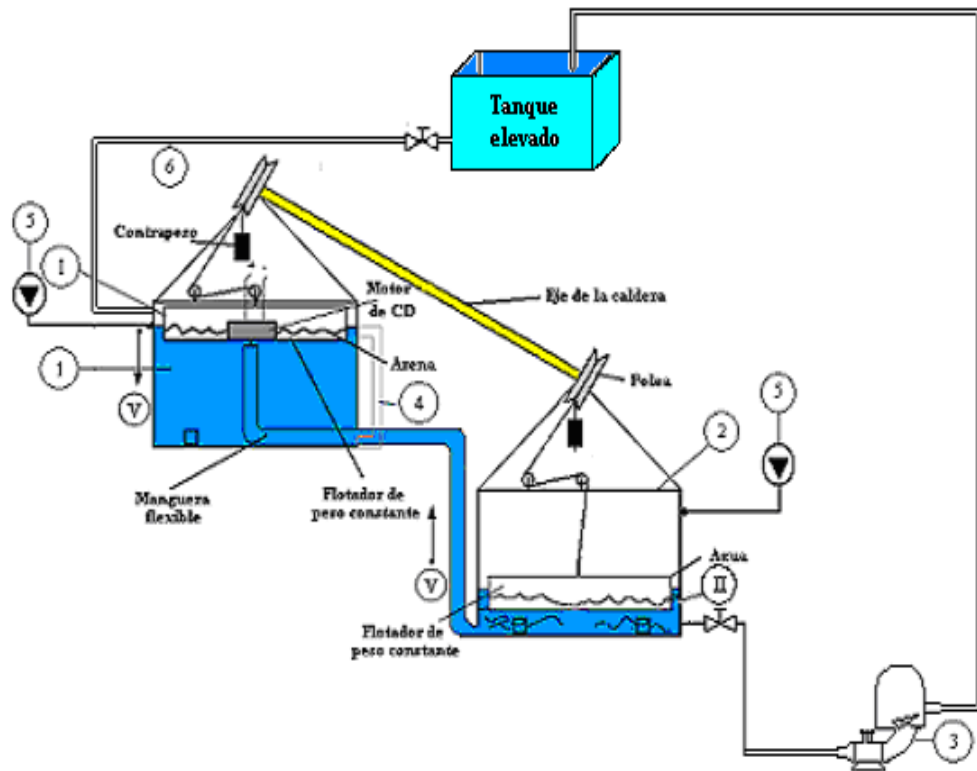


Figura 2.3: Esquema de un hidroseguidor con tanque elevado (Pre-Diseño de una Estación Fotovoltaica Accionada con Hidroseguidor en Régimen Autónomo)

En la (figura 2.3) 1- Hidroseguidor que trabaja por descarga libre de agua durante el día.; 2- Hidroseguidor que trabaja por carga libre de agua durante el día.; 3- Motobomba encargada de evacuar el Hidroseguidor ubicado en posición más baja al concluir cada día de trabajo.; 4- Medidor de nivel visual para el llenado del tanque 1. ; 5- Sensores de nivel en el tanque 1 y 2; 6- Tuberías y válvulas check o retención; I y II- Flotador de peso constante.; V- Velocidad de desplazamiento constante de los flotadores.

2.2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA INSTALACIÓN SOLAR CON HIDROSEGUIDOR Y SU FUNCIONAMIENTO.

2.2.2.1 Descripción del hidroseguidor.- Un Hidroseguidor estará compuesto por:

- **Hidroseguidor que trabaja por descarga libre de agua durante el día** Es un tanque con todas sus dimensiones previamente calculada donde por descarga libre de agua durante el día accionará el flotador de peso constante I, permitiendo de esta forma la rotación del eje de caldera.
- **Hidroseguidor que trabaja por carga libre de agua durante el día** Es un tanque con todas sus dimensiones previamente calculada donde por carga libre de

agua durante el día accionará el flotador de peso constante II, permitiendo de esta forma la rotación del eje de caldera.

- **Flotadores de peso constante** Son los dos flotadores cada uno en un tanque diferente, que permiten que al subir o bajar el nivel del agua el eje de la caldera realice un movimiento giratorio controlado.
- **Motobomba de recirculación del agua** Es una motobomba que trasiega el agua del tanque 2 al concluir el día, al tanque 1 para crear las condiciones iniciales de seguimiento del próximo día.
- **Sensores de nivel en el tanque 1 y 2** Son los que permiten a través de un accionamiento inteligente controlar el nivel de ambos tanque para que el seguimiento sea efectivo, así cuando el tanque 1 llegue a su nivel máximo sería desactivado la bomba de recirculación y comenzará el proceso y cuando el nivel del tanque 2 este al máximo se conectará esta bomba de recirculación se llenará el tanque 1 desde el 2.
- **Medidor de nivel visual para el llenado del tanque 1** Este le permite a los especialistas tener una apreciación visual del nivel de agua existente en el tanque 1.
- **Tuberías y válvula check o retención** Es la tubería que permite la recirculación del agua al tanque 1 con sus válvulas de retención.
- **Contrapesos** Son dispositivo de una masa debidamente calculada, empleados para realizar una fuerza contraria al giro del Hidroseguidor para que este movimiento tenga un control más efectivo.
- **Manguera flexible** Es el conducto por el cual se abastecerá de agua directamente el tanque 2 desde el tanque 1. Ella deberá ser flexible para evitar que si en algún momento se dobla, se parta.
- **Polea** Es el enlace entre los flotadores y el eje de caldera, permitiendo de esta forma el accionamiento directo del eje al variar la posición de los flotadores.

2.2.2.2 Funcionamiento del Flotador con Carga

Sobre el flotador con carga del Hidroseguidor solar actúan las fuerzas:

F_c , la fuerza del contrapeso,

F_{rf} , la fuerza resultante del flotador con carga, y

F_v , la fuerza del viento sobre la correa.

Cuando los contrapesos y los paneles están desconectados (*Figuras 2.4*), la suma de las fuerzas externas sobre el flotador es cero, por tanto, sólo está el peso del flotador con carga. El volumen de agua desplazado por el mismo es:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (2.1)$$

El peso específico del agua es:

$$\gamma_{agua} = \frac{1kgf}{dm^3} = 1000kgf/m^3 \quad (2.2)$$

Entonces la fuerza del concentrador será:

$$F_c = V \cdot \gamma_{agua} \quad (2.3)$$

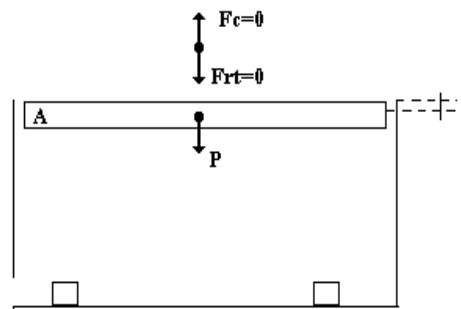


Figura 2.4a: Cuando los contrapesos y el espejo están desconectados

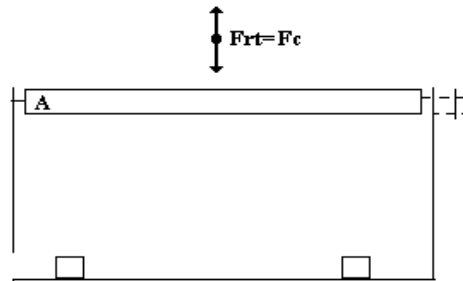


Figura 2.4b: Contrapeso conectado y $F_v = 0$

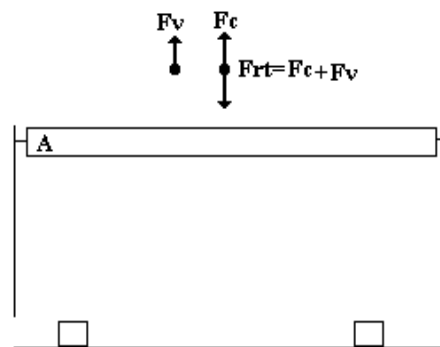


Figura 2.4c: Contrapeso conectado y F_v de igual sentido que F_c

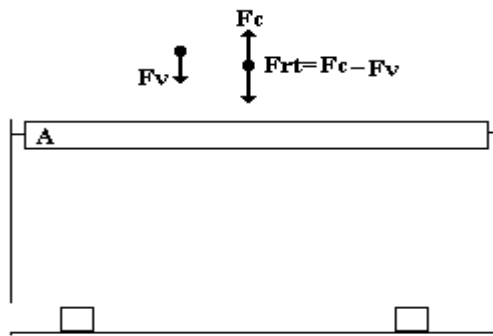


Figura 2.4d: Contrapeso conectado y F_v en sentido contrario a F_c .

Cuando el contrapeso está conectado y la fuerza del viento es nula (*Figura 2.4b*), el flotador se hunde hasta la mitad del peso del flotador con carga, o sea: $F_c = P / 2$.

2.2.2.3 Ganancia

La ganancia del motor hidráulico está dada por la relación entre las áreas del flotador y del líquido alrededor del flotador como se indica:

$$\alpha = \frac{A_1}{A_2} \quad (2.4)$$

$$\frac{\Delta E_2}{\Delta E_1} = 1 + \alpha$$

Donde ΔE_1 es el empuje del flotador en un recipiente de área infinita, y ΔE_2 es el empuje del flotador en el recipiente de área finita.

El hundimiento máximo del flotador h se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} A_1 \cdot h &= A_2 \cdot \alpha \\ h &= \frac{A_2 \cdot \alpha}{A_1} \end{aligned} \quad (2.5)$$

El sistema tiene una ganancia o variación de:

$$\text{Ganancia} = \frac{F}{h} \quad (2.6)$$

Donde $F = F_c \cdot 2$ es la fuerza del flotador, multiplicada por 2, porque cada flotador en el extremo del espejo ejerce una fuerza.

2.2.2.4 Funcionamiento del hidroseguidor normal.

Situación de un día de trabajo:

1. El Hidroseguidor 1 está lleno de agua y el flotador con carga está en posición más alta.
2. El Hidroseguidor 2 está vacío de agua y el flotador con carga está en posición más baja.
3. El espejo cilíndrico-parabólico se encuentra en posición de enfoque.
4. En estas condiciones, se deja salir el agua por la manguera del Hidroseguidor 1 de tal forma que el flotador descienda a velocidad constante: $V = W r = \text{Cte1}$; donde $W = 15^\circ/\text{h}$ velocidad media de rotación de la Tierra alrededor de su eje imaginario; r , radio de la polea fija al espejo cilíndrico-parabólico.

(O'Keto D, 2007)

2.3 VACIADO DE UN DEPÓSITO

2.3.1 TEOREMA DE TORRICELLI.

Si a una masa líquida la aplicamos la ecuación de Bernoulli entre su superficie libre, y la salida por un orificio libre, tomando como plano de referencia el que pasa por el centro de dicho orificio, se tiene, que es la velocidad de salida de un líquido por un orificio, está en función de la profundidad a la que se encuentre el orificio.

La velocidad de vaciado (o de llenado) de un estanque depende solamente de la diferencia de elevación entre la superficie libre del fluido y la salida donde se encuentra ubicado el orificio de descarga.

Un depósito cilíndrico, de sección S_1 tiene un orificio muy pequeño en el fondo de sección S_2 mucho más pequeña que S_1 . Como se ve en la (**figura 2.5**), Aplicamos el teorema de Bernoulli.

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.7)$$

Suponiendo que la velocidad del fluido en la sección mayor S_1 es despreciable $v_1 = 0$ comparada con la velocidad del fluido v_2 en la sección menor S_2 .

Por otra parte, el elemento de fluido delimitado por las secciones S_1 y S_2 está en contacto con el aire a la misma presión. Luego, $p_1 = p_2 = p_0$.

La diferencia de alturas es $y_1 - y_2 = h$. Siendo h la altura de la columna de fluido.

Con estos datos la ecuación de Bernoulli se escribe:

$$gh = \frac{1}{2}v_2^2 \quad v_2 = \sqrt{2gh} \quad (2.8)$$

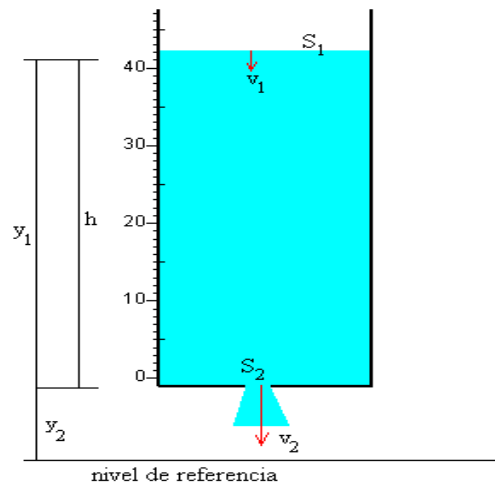


Figura 2.5: Evacuación de un fluido por un orificio

2.3.2 EL FRASCO DE MARIOTTE

De acuerdo con el teorema de Torricelli, la velocidad de salida de un líquido por un orificio practicado en su fondo es la misma que la que adquiere un cuerpo que cayese libremente en el vacío desde una altura h , siendo h la altura de la columna de fluido.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2.9)$$

En la (**Figura 2.6**) a medida que el fluido sale por el orificio, la altura h de fluido en el depósito va disminuyendo. Si S es la sección del orificio, el gasto Sv , o volumen de fluido que sale por el orificio en la unidad de tiempo no es constante. Si queremos producir un gasto constante podemos emplear el denominado frasco de Mariotte.

Consiste en un frasco lleno de fluido hasta una altura h_0 , que está cerrado por un tapón atravesado por un tubo cuyo extremo inferior está sumergido en el líquido. El fluido sale del frasco por un orificio practicado en el fondo del recipiente. En el extremo inferior B del tubo, la presión es la atmosférica ya que está entrando aire por el tubo, a medida que sale el

líquido por el orificio.

La velocidad de salida del fluido no corresponderá a la altura h_0 desde el orificio a la superficie libre de fluido en el frasco, sino a la altura h o distancia entre el extremo inferior B del tubo y el orificio.

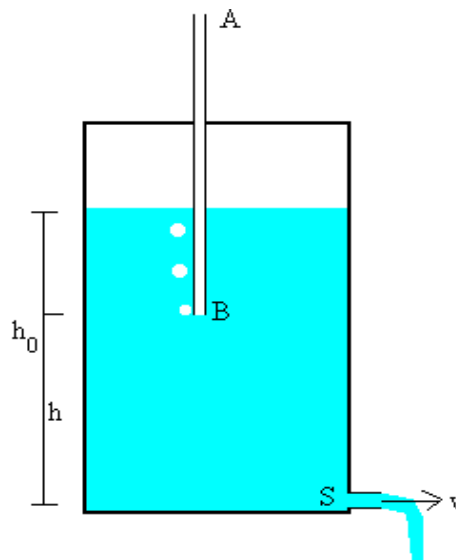


Figura 2.6: Frasco de Mariotte

Dado que h permanece constante en tanto que el nivel de líquido esté por encima de su extremo inferior del tubo, la velocidad del fluido y por tanto, el gasto se mantendrán constantes. Cuando la altura de fluido en el frasco h_0 es menor que h , la velocidad de salida v del fluido deja de ser constante

La velocidad de salida v puede modificarse subiendo o bajando el extremo inferior del tubo AB en el frasco.

2.3.3 ORIFICIOS

Orificio es toda abertura realizada o existente en un depósito, (*figura 2.7*) por debajo del nivel superior del líquido, ya sea en la pared lateral o en el fondo.

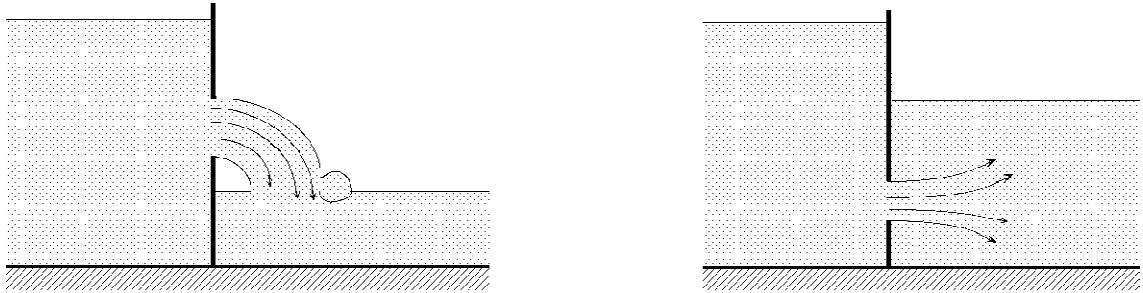


Figura 2.7: Orificios según el nivel del agua, aguas abajo

Para hacer una clasificación de los orificios se pueden tener en cuenta algunas características importantes de los mismos, como:

a. Según el espesor de la pared,

Orificios en pared delgada

Orificios en pared gruesa

El espesor de la pared, para los primeros, tiene que ser menor que la mitad de la mínima dimensión del orificio, no debiendo exceder su espesor de 4 a 5 cm.

También se considerarán orificios en pared delgada, aquellos que estén tallados a bisel.

b. Según el nivel de la superficie libre,

Orificios de nivel constante

Orificios de nivel variable

c. Según el nivel del agua, aguas abajo,

Orificios libres

Orificios sumergidos

2.3.4 COEFICIENTE DE GASTO

El caudal teórico Q_T que sale a través de un orificio, viene determinado por,

$$Q_T = S \cdot V_T = S \sqrt{2gh} \quad (2.10)$$

Donde:

S= Superficie del orificio

V_T = Velocidad teórica; g = gravedad; h =altura del líquido a la superficie

Comprobándose experimentalmente que el caudal real Q_R es menor que el calculado, por lo que la Expresión del caudal vendrá afectada por un coeficiente de gasto, $\mu < 1$, es decir,

$$Q_R = \mu \cdot Q_T = \mu S \sqrt{2gh} \quad (2.11)$$

Estando el valor de μ comprendido en el intervalo, $0,57 < \mu < 0,70$, tomándose como valor medio $\mu = 0,62$; en pared gruesa se toma, $\mu = 0,83$.

2.3.5 ORIFICIO EN PARED DELGADA

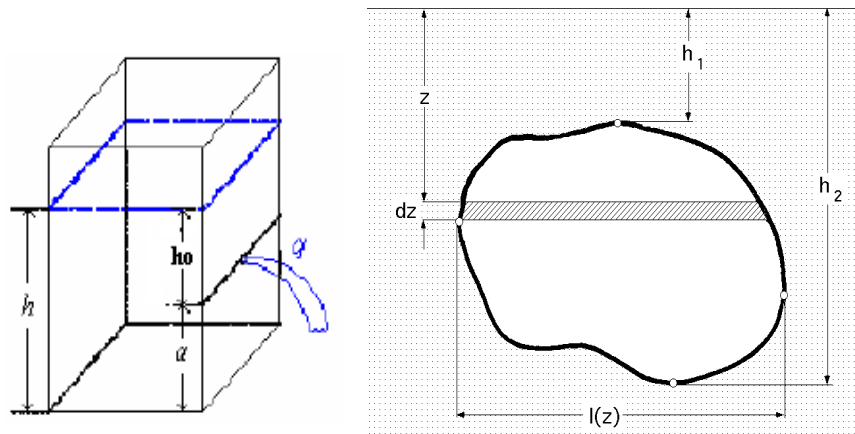


Figura 2.8: Estanque con descarga natural por un orificio; en pared delgada

Se puede suponer que la lámina líquida que sale, toca a la pared sólo en una arista. Debido a la viscosidad y al rozamiento existente en la proximidad de las paredes, la velocidad de salida es menor que la calculada teóricamente es decir,

$$V_R = \phi V_T \quad (2.12)$$

En la que ϕ es un coeficiente de reducción de velocidad, comprendido entre, $0,96 < \phi < 0,99$; esto supone que la velocidad de salida real puede ponerse en función de una altura h_1 , en la forma,

$$V_R = \phi \sqrt{2gh} = \sqrt{2gh_1}; \quad 2gh\phi^2 = 2gh_1; \quad h_1 = h\phi^2 \quad (2.13)$$

La diferencia entre h_1 y h determina la altura correspondiente a la pérdida de carga del orificio, es decir,

$$h_p = h - h_1 = \frac{h_1}{\varphi^2} - h_1 = h_1 \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) = \frac{V_R^2}{2g} \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) = \left| \xi_1 = \frac{1}{\varphi^2} - 1 \right| = \xi_1 \frac{V_R^2}{2g} \quad (2.14)$$

En la que, $\xi_1 = 0,065$, es el coeficiente de pérdida de carga.

2.3.5.1 Rendimiento de un orificio.

La altura que se aprovecha para transformar en energía cinética es h_1 y no la disponible, por lo que se define el rendimiento de un orificio, como la relación entre la altura realmente transformada y la totalmente disponible,

(Fernandez Diez, 2003)

2.4 EL CONTACTOR.

2.4.1 DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

Podemos definir un contactor como un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía, menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga.

Las energías utilizadas para accionar un contactor pueden ser muy diversas: mecánicas, magnéticas, neumáticas, fluídricas, etc. Los contactores corrientemente utilizados en la industria son accionados mediante la energía magnética proporcionada por una bobina, y a ellos nos referimos seguidamente.

Un contactor accionado por energía magnética, como se ve en la *(figura2.9)* consta de un núcleo magnético y de una bobina capaz de generar un campo magnético suficientemente grande como para vencer la fuerza de los muelles antagonistas que mantienen separada del núcleo una pieza, también magnética, solidaria al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos.

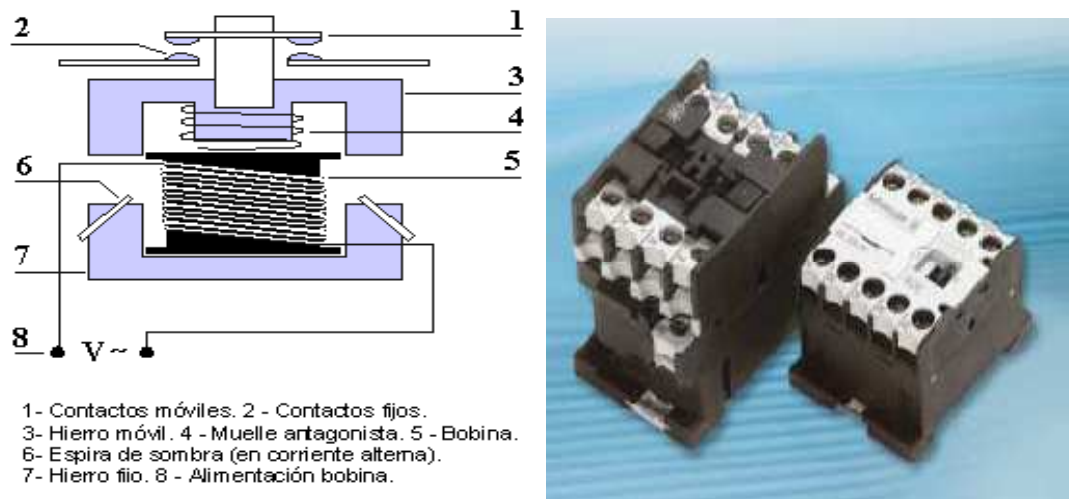


Figura 2.9: Contactor accionado por energía magnética

2.4.2 FUNCIONAMIENTO DEL CONTACTOR.

Cuando la bobina se energiza genera un campo magnético intenso, de manera que el núcleo atrae a la armadura, con un movimiento muy rápido. Con este movimiento todos los contactos del contactor, principales y auxiliares, cambian inmediatamente y de forma solidaria de estado.

Existen dos consideraciones que debemos tener en cuenta en cuanto a las características de los contactores:

- Poder de cierre: Valor de la corriente independientemente de la tensión, que un contactor puede establecer en forma satisfactoria y sin peligro que sus contactos se suelden.
- Poder de corte: Valor de la corriente que el contactor puede cortar, sin riesgo de daño de los contactos y de los aislantes de la cámara apagachispas. La corriente es más débil en cuanto más grande es la tensión.

Para que los contactos vuelvan a su posición anterior es necesario desenergizar la bobina. Durante esta desenergización o desconexión de la bobina (carga inductiva) se producen sobre-tensiones de alta frecuencia, que pueden producir interferencias en los aparatos electrónicos.

Desde el punto de vista del funcionamiento del contactor ver (*figura 2.10*) las bobinas tienen la mayor importancia y en cuanto a las aplicaciones los contactos tienen la mayor importancia.

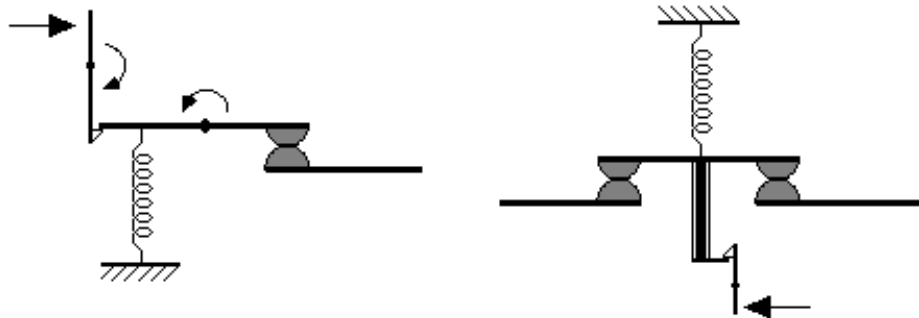


Figura 2.10: Funcionamiento del contactor

2.4.3 CONTACTOS SECUNDARIOS.

Estos contactos secundarios se encuentran dimensionados para corrientes muy pequeñas porque estos actúan sobre la corriente que alimenta la bobina del contactor o sobre elementos de señalización.

Dado que en ocasiones deben trabajar con los PLC estos contactos deben tener una confiabilidad muy alta. Gran parte de la versatilidad de los contactores depende del correcto uso y funcionamiento de los contactos auxiliares. Normalmente los contactos auxiliares son:

- ☞ Instantáneos: Actúan tan pronto se energiza la bobina del contactor.
- ☞ De apertura lenta: La velocidad y el desplazamiento del contacto móvil es igual al de la armadura.
- ☞ De apertura positiva: Los contactos abiertos y cerrados no pueden coincidir cerrados en ningún momento.
- ☞ Sin embargo se encuentran contactores auxiliares con adelanto al cierre o a la apertura y con retraso al cierre o a la apertura. Estos contactos actúan algunos milisegundos antes o después que los contactos instantáneos. Existen dos clases de contactos auxiliares:
 - ☞ Contacto normalmente abierto: (NA o NO), llamado también contacto instantáneo

de cierre: contacto cuya función es cerrar un circuito, tan pronto se energice la bobina del contactor. En estado de reposo se encuentra abierto.

- ☞ Contacto normalmente cerrado: (NC), llamado también contacto instantáneo de apertura, contacto cuya función es abrir un circuito, tan pronto se energice la bobina del contactor. En estado de reposo se encuentra cerrado.

(Shneider, 1999)

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 DETERMINACIÓN DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA Y SU ALINEAMIENTO.

4.1.1 DEMANDA DE DISEÑO (Q_d)

Se ha tomado en cuenta la demanda para una familia de 4 personas la cual como referencia necesita al menos un volumen de 2 litros (2Kg) de agua.

Para la demanda de diseño partimos de la (ecuación 1.1) donde:

$$Q_d = m \cdot C_p \cdot (t_s - t_e)$$

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$C_p = 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Consideramos las temperaturas de entrada y salida (t_e) y (t_s) las siguientes:

$$t_e = 15^\circ\text{C} = (\text{Valor de tabla, temperatura ambiente en Loja})$$

$$t_s = 95^\circ\text{C}$$

$$Q_d = 6.699 * 10^5 \text{ J};$$

En watio por hora será **$Q_d = 186.08 \text{ Wh}$**

4.1.2 ENERGIA SOLAR PROMEDIO (H_t)

El funcionamiento de la cocina parabólica será de 7 horas de trabajo, considerando que la cocina operará en días soleado, el periodo de cocción de los productos se prevee que estará en un tiempo de 2 horas.

La energía solar promedio está dada por la (ecuación 1.2) donde: $H_t = G_t \cdot t$

$$G_t = 15.6 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{dia} \cdot \text{m}^2} \text{ (Ver anexo 5.3)}$$

$$G_t = 180.56 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$t = 7 \text{ h}$$

$$H_t = 4.55 * 10^6 \frac{\text{Joule}}{\text{m}^2}$$

$$H_t = 1.26 \text{ kW} \frac{\text{h}}{\text{m}^2}$$

Como la radiación difusa en Loja es de (2 kW*h/m²), (tabla 1.5) estamos dentro de los parámetros de esta radiación.

4.1.3 EFICIENCIA Y ÁREA DEL COLECTOR (A_c)

Uno de los factores más importantes es la determinación del área del colector, y el punto de partida para la evaluación de esta, es la demanda energética de diseño y el rendimiento del sistema η_{sis} (ecuación 1.3).

$$A_c = \frac{Q_d}{H_t \cdot \eta_{sis}}$$

De lo que hemos visto en el punto (1.2.2.6.2) (pérdidas energéticas debido a la geometría de la parábola) sabemos que todo colector parabólico no paraboloidal no puede aprovechar más de un 25% de la irradiación local por horas de trabajo (H_t). Y de lo estudiado en el punto (1.2.2) (cocina parabólica o de concentración) también que de este (H_t) lo que han podido aprovechar estos colectores es hasta un 60% (optimizado su rendimiento)..

$$\eta_{sis} = 0.25 * 0.60$$

$$\eta_{sis} = 0.15$$

Entonces el área de nuestro colector será de:

$$A_c = 0.982 \text{m}^2 \quad \text{Equivalente } A_c = 1 \text{m}^2$$

4.1.4 GEOMETRÍA DE LA PARÁBOLA (CÁLCULO DEL ESPEJO PARABÓLICO)

4.1.4.1 Diámetro De Apertura De La Parábola (D_{ap}) es:

$$D_{ap} = \sqrt{4 \frac{A_{ap}}{\pi}} \quad \text{Despejando la (ecuación 1.8)}$$

$A_c = A_{ap}$; el Área del colector (A_c) es para la parábola el área de apertura

$$A_{ap} = 1 \text{m}^2$$

$$d_{ap} = 1.13 \text{m}$$

4.1.4.2 Cálculo De La Distancia Focal De La Parábola

Para una superficie parabólica ($(d_{ap}/4f)=1$)

$$f = \frac{D_{ap}}{4}$$

$$f = 0.28 \text{m}$$

4.1.4.3 Cálculo Del Ángulo (ϕ)

$$\phi = 2 \arctg \left(\frac{D_{ap}}{4f} \right)$$

$$\frac{D_{ap}}{4f} = 1$$

Como $(D_{ap}/4f)$ es 1 el ángulo ϕ será entonces

$$\phi = 90^\circ$$

El punto (p) más alto de la parábola es:

$$p = \frac{f}{\left(\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\right)^2}$$

$$p = 0.56m$$

4.1.4.4 Superficie Parabólica En El Plano

El cálculo de la superficie parabólica del espejo (ecuación 1.4) se realiza por:

$$y^2 = 2 \cdot p \cdot x$$

Las coordenadas del foco en el plano x,y,z; F (P/2;0;0)

$$\text{Como } p=0.56m \Rightarrow \frac{p}{2} = 0.28m$$

4.1.4.5 Ecuación Del Espejo Parabólico De Revolución

La ecuación del espejo de acuerdo a los datos calculados será:

$$y^2 = (1.13m) x \quad f(y) = \frac{y^2}{113cm}$$

$$y = -56; 56$$

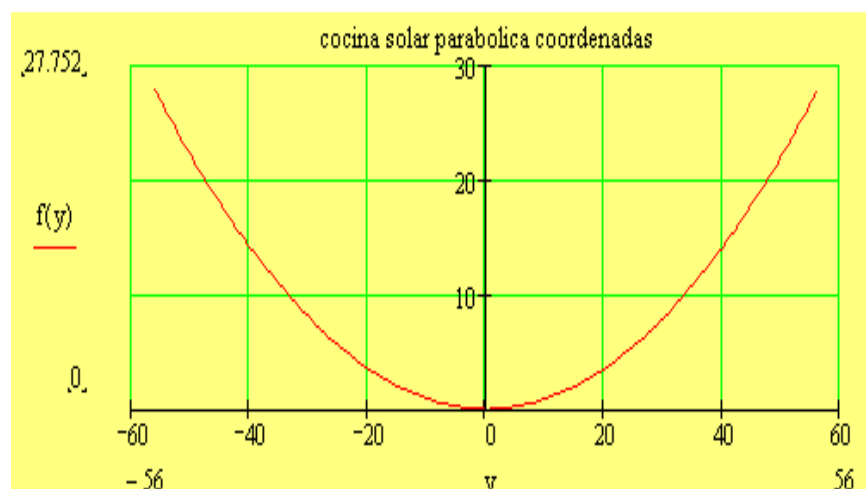


Figura 4.1: Coordenadas de la cocina solar parabólica

La cocina parabólica en el espacio

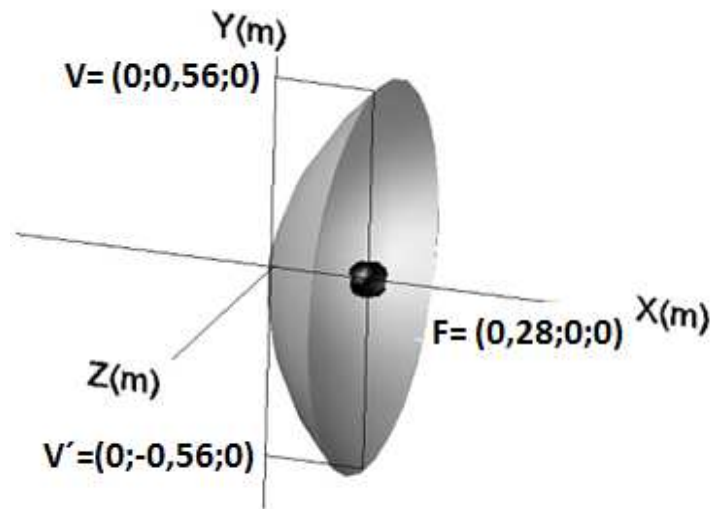


Figura 4.2: Cocina parabólica en el espacio, coordenadas (x,y,z)

4.1.4.6 Área Total De La Superficie Parabólica De Revolución

De la (ecuación 1.8) el área de la parábola será entonces:

$$A_{\phi} = \frac{8\pi \cdot f^2}{3} \left(\frac{1}{\cos^3(\phi/2)} - 1 \right)$$

$$A_{\phi} = 1.22m^2$$

4.1.5 ALINEAMIENTO SOLAR PARA HIDROSEGUIMIENTO

4.1.5.1 Alineamiento de la cocina Solar Parabólica

En la ciudad de Loja, se muestran solo dos estaciones climáticas durante todo el año, por lo tanto, de acuerdo a los requerimientos de la cocina, para el diseño de su alineamiento norte-sur, por motivos de que nuestro proyecto de tesis se ejecuta en los meses de invierno se tendrá que en el diseño del mecanismo de seguimiento poder alinearlo del lado contrario. Al conocer el mecanismo del hidroseguidor podemos prever que si se lo puede hacer.

Entonces, basándonos en la (tabla 1.3) (períodos de tiempo para sitios con solo invierno y verano); *el periodo de invierno de Loja es del 21 de marzo al 23 de septiembre de cada año.*

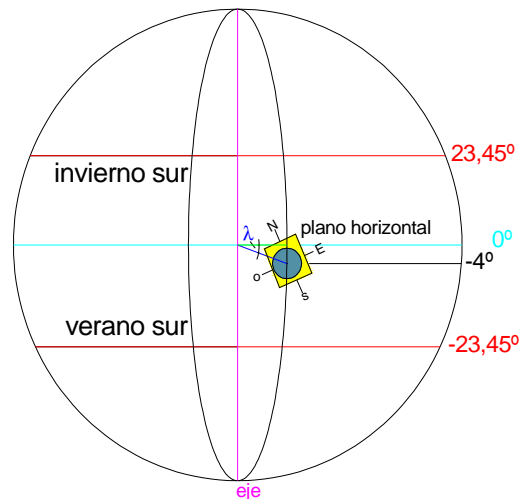


Figura 4.3: Inclinación efectiva para un ángulo de -4° de latitud sur (basada en la figura 1.10).

Inclinación óptima (β) se preferirá en invierno por las condiciones antes señaladas.

La inclinación debe oscilar entre 0 y 15° promediando las dos tenemos: 7.5° ; si tomamos en cuenta que aunque Loja está a -4° de latitud sur su mejor aplicación será en sectores como zapotillo donde tendremos una latitud de 4.5° ; entonces tenemos un ángulo efectivo en invierno de:

$|\beta| = \text{latitud} \pm 7.5^\circ$ Cogemos $+7.5^\circ$ para el invierno Ver (ecuación 1.17)

$\lambda = -4 \dots 4.5^\circ$

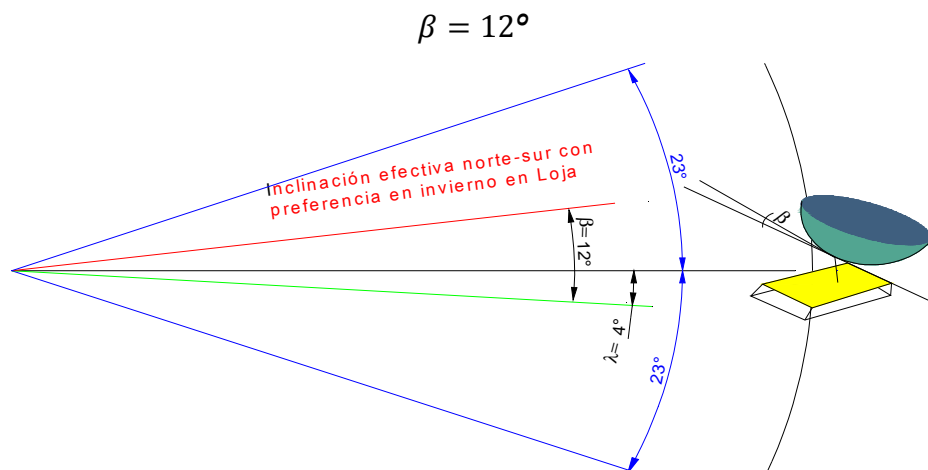


Figura 4.4: Representación del ángulo de inclinación $\beta=12^\circ$ Norte

Tomando en cuenta que si ubicamos el hidroseguidor de modo que capte de mejor manera en verano el ángulo será de 16° ; es decir latitud $-4^\circ-12^\circ$ que tiene de inclinación nuestro colector.

4.1.6 EFICIENCIA DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA POR ALINEAMIENTO ($\cos \theta$).

4.1.6.1 Ángulo en declinación máxima (δ)

$$\delta_{max} = \sin \left(360 \cdot \frac{284+N}{365} \right) \text{ (Ecuación 1.20)}$$

N= es el número de día a partir del 1 de enero=(escogemos el día 361 porque es un día en que la declinación es mayor).

$$\delta_{max} = 23,45^\circ$$

Donde: el *ángulo en declinación máxima* $\delta = |\delta_{max} - \psi|$

Y; $\psi = \beta - \lambda = 8^\circ$

Entonces: $\delta = 15,45^\circ$

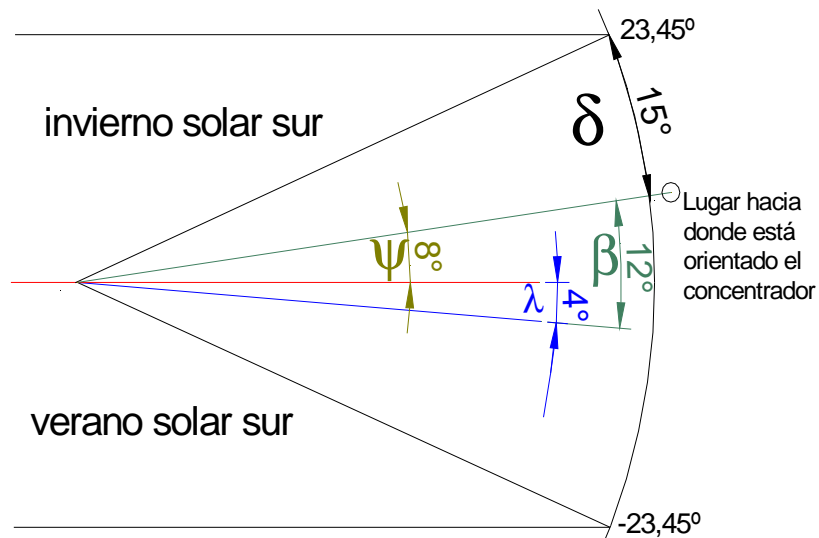


Figura 4.5: Ángulo en declinación máxima (δ)

4.1.6.2 Desviación máxima de las horas de salida del Sol (T)

$$T = ((12 - N_h)) / 2 * 15^\circ$$

$N_h = 7$ Nro. de horas de recorrido

$$T = 37.5$$

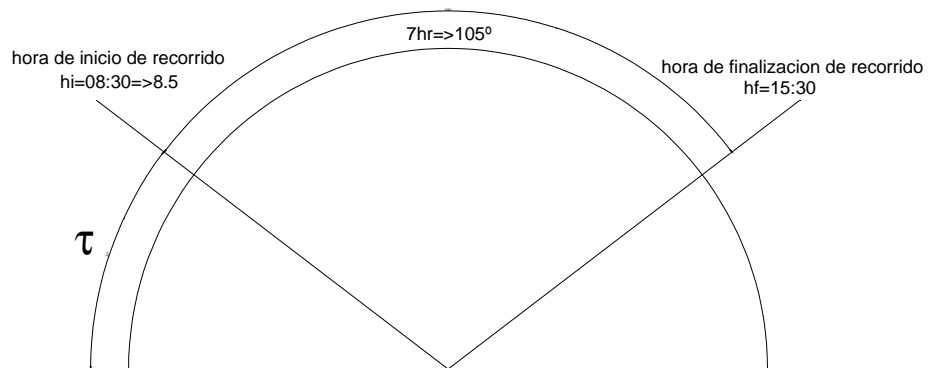


Figura 4.6: Ángulo en horario máximo (T)

4.1.6.3 Eficiencia por alineamiento ($\cos\theta$), Giro sobre un eje horizontal (Norte-Sur) con ajuste continuo de la orientación

$$\cos\theta = \sqrt{(\sin\lambda \sin\delta + \cos\lambda \cos\delta \cos T)^2 + \cos^2\delta \sin^2 T} \quad (\text{Ecuación 1.18})$$

$$\cos\theta = 0.84$$

Entonces la eficiencia en el alineamiento será de 84%

4.1.7 CONCENTRACIÓN DE ENERGÍA EN LA COCINA PARABÓLICA

4.1.7.1 Nitidez de la imagen de gauss en la cocina parabólica (ε)

Si $(\varepsilon) = D_{ap}/f < 0,01$... Se obtiene una imagen nítida del sol sí.

$$\frac{D_{ap}}{f} = 4 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\varepsilon = 0.07 \text{ (rad)}$$

0.07 no es menor que 0.01; entonces la imagen que se obtiene geoméricamente es difusa.

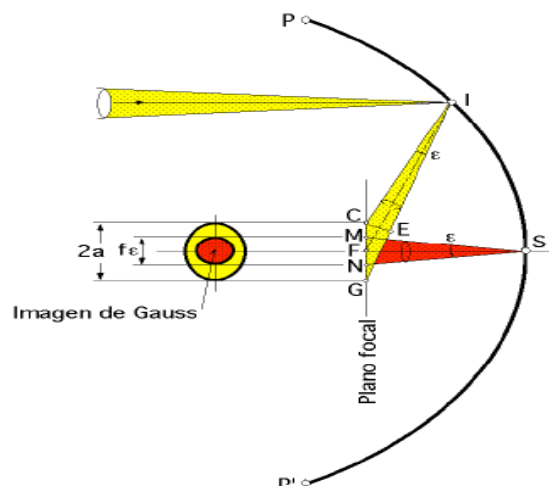


Imagen de gauss: lugar donde se concentra los rayos solares que caen en el colector (de la *figura 1.7* plano focal de un paraboloide)

4.1.7.2 Energía por unidad de superficie (Ifocal)

$$I_{focal} = \pi \cdot I_s \cdot f^2 \cdot \sin^2 \phi$$

Donde $I_s \Rightarrow$ es la intensidad de energía solar incidente: sin **considerar pérdidas**

$$I_s = 1.26 \text{ kW} \frac{\text{h}}{\text{m}^2}$$

$$I_{focal} = 310.34 \text{ Wh}$$

4.1.7.3 Área del disco imagen de gauss (A1)

$$A1 = \frac{\pi \cdot f^2 \cdot \varepsilon^2}{4}$$

$$A1 = 3.001 \text{ cm}^2$$

4.1.7.4 Energía concentrada en el disco (Idisco) es:

$$I_{disco} = \frac{I_{focal}}{A1}$$

$$I_{disco} = 103.408 \frac{\text{Wh}}{\text{cm}^2}$$

4.1.7.5 El factor de concentración (C) será igual:

$$C = \frac{I_{disco}}{I_s}$$

$$C = 820.702$$

4.1.8 PÉRDIDAS ENERGÉTICAS DEBIDO A LA GEOMETRÍA DE LA PARÁBOLA (η_g):

Definimos las pérdidas de energía de la (ecuación 1.15):

$$\eta_g = c \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^4$$

$$\eta_g = 0.25$$

El rendimiento geométrico será 25%.

4.1.9 INTENSIDAD MÁXIMA QUE PUEDE INCIDIR EN LA OLLA CONSIDERANDO ÚN COLECTOR PERFECTO SIN PÉRDIDAS (I_{mo}) SERÁ:

$$I_{mo} = \eta g \cdot I_s \text{ (Ecuación 1.16)}$$

$$I_{mo} = 315 \text{ W.h/m}^2$$

Entonces comprobamos que la intensidad máxima que llega a la olla (I_{mo}) es casi la misma que la intensidad de disco (I_{disco}); ($I_{mo} = I_{disco}$), si se considera que el área de apertura es de 1 m^2 .

4.1.10 ÁREA DEL ABSORBEDOR (A_r)

$$V_{Ar} = 2lt$$

$$V_{Ar} = 2 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

$$L_{Ar} = 10 \text{ cm (Longitud del absorbedor)}$$

$$A_{base} = \frac{V_{Ar}}{L_{Ar}}$$

$$A_{base} = 200 \text{ cm}^2$$

$$d_{Ar} = \sqrt{4 \frac{A_{base}}{\pi}}$$

$$d_{Ar} = 15.96 \text{ cm}$$

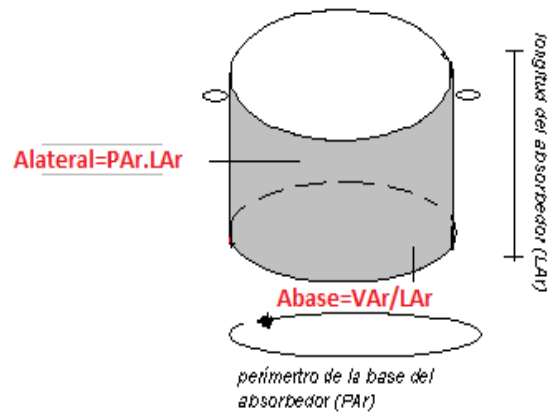


Figura 4.7: Área del absorbedor

En el mercado encontramos absorbedores (ollas) de:

$$P_{Ar} = \pi \cdot d_{Ar}$$

$$P_{Ar} = 50.133 \text{ cm}$$

$$A_{lateral} = P_{Ar} \cdot L_{Ar}$$

$$A_{lateral} = 0.05 \text{ m}^2$$

Entonces el área del absorbedor será:

$$Ar = A_{lateral} + A_{base}$$

$$Ar = 0.07m^2$$

4.2 EVALUACIÓN DE LA COCINA PARABÓLICA

4.2.1 EVALUACIÓN DEACUERDO A LA INTENSIDAD MÁXIMA DE UN COLECTOR SOLAR PARABÓLICO DE REVOLUCIÓN SIN PÉRDIDAS.

La radiación global local promedio en el día (Gl) de acuerdo al Anexo (C) es:

$$Gl = 15.6 * \frac{10^6 J}{\text{dia} * m^2} \text{ Transformándola a } (W/m^2)$$

$$Gl = 180.6 \frac{W}{m^2}$$

Recordemos que nuestro tiempo de trabajo será de 7h.

Entonces la radiación que aprovecharía de acuerdo a las horas de trabajo es:

$$Gt = 180.6 \frac{W}{m^2} * 7h = 1.26kW * hr$$

Como sabemos un colector perfecto solo puede aprovechar el 25% de esta Energía, tenemos entonces que:

4.2.1.1 Colector perfecto sin pérdidas.- Como vimos en el punto (4.1.9) la energía máxima que puede aprovechar un colector:

$$Gt_{maxaprovecha} = Gt * 0.25 = 315.972W * hr/m^2$$

Entonces:

$$Energíamax = Gt_{maxaprovecha} * Ac$$

$$Energíamax = 315.972W * hr$$

En otras palabras el 100% de eficiencia de un colector en 7h de trabajo con un Área de $1m^2$, en la ciudad de Loja corresponde a $315.972W*hr$.

Ahora bien, si decimos que la temperatura de entrada del líquido es de $15^{\circ}C$ ¿cuál será la temperatura de salida de una masa de 2kg con la energía de un colector sin pérdidas?

$$ts = \frac{Energíamax}{m * Cp} + te$$

$$ts = 150.83^{\circ}$$

4.2.1.2 Colector calculado o de diseño.-

La energía requerida para elevar de 15 a 95°C 2 litros de agua es:

$$Energíareq = m * Cp * (ts - te) \text{ de acuerdo a lo realizado en el punto (4.1.1)}$$

$$Energíareq = 186.089W * hr$$

Calculamos ahora su eficiencia con respecto del colector sin pérdidas, al dividir la energía requerida para la energía máxima, entonces:

$$\eta_{sis} = \frac{Energíareq}{Energíamax}$$

$$\eta_{sis} = 0.589$$

Entonces; la eficiencia que requiere nuestro colector será de 58,9%

4.2.1.3 Eficiencia del colector parabólico de revolución construido en la UNL 2010 con absorbedor sin cobertor de vidrio.-

$t_e = 15^\circ\text{C}$ = (temperatura ambiente en Loja)

$t_s = 75^\circ\text{C}$ (temperatura a la que llega el agua en el monitoreo sin cobertor de vidrio (véase tabla 5.4)

$m=2\text{kg}$... masa de 2litros de agua

La Energía en el absorbedor sin vidrio será:

$$Energíaabssinvidrio = m * Cp * (ts - te)$$

$$Energíaabssinvidrio = 139.567 W * hr$$

$$\eta_{csv} = \frac{Energíaabssinvidrio}{Energíamax}$$

$$\eta_{csv} = 0.442$$

Entonces la eficiencia de nuestro equipo sin cobertor de vidrio será: de 44.2%

4.2.1.4 Eficiencia del colector parabólico de revolución construido en la UNL 2010 con absorbedor con cobertor de vidrio.-

$t_e = 15^\circ\text{C}$

$t_s = 95^\circ\text{C}$ (temperatura a la que llega el agua en el monitoreo con cobertor de vidrio (véase tabla 5.6)

$m=2\text{kg}$... masa de 2litros de agua

La Energía en el absorbedor con vidrio será:

$$Energíaabscovidrio = m * Cp * (ts - te)$$

$$Energía_{absconvidrio} = 186.089 \text{ W} * \text{hr}$$

$$\eta_{csv} = \frac{Energía_{absconvidrio}}{Energía_{max}}$$

$$\eta_{csv} = 0.589$$

Entonces la eficiencia de nuestro equipo sin cobertor de vidrio será: de 58,9%

La eficiencia de 58,9% se logra en nuestro colector optimizando la eficiencia al utilizar un cobertor de vidrio para el absorbedor.

En resultados, obsérvese gráfico de “eficiencias de acuerdo a la intensidad máxima de un colector parabólico de revolución sin considerar pérdidas”.

4.2.2 EVALUACIÓN UTILIZANDO EL MÉTODO ESTACIONARIO

A continuación procedemos a realizar la “EVALUACIÓN DE NUESTRO COLECTOR SOLAR PARABÓLICO/COCINA SOLAR PARABÓLICA” esto se hace porque para este tipo de colectores solares existen muchas pérdidas y es mejor determinar su eficiencia óptica, así como sus pérdidas “in situ” con las condiciones explicadas en el punto (1.6: Evaluación de un concentrador parabólico).

La primera prueba será sin cobertor de vidrio, así se determinarán primero el producto entre absorptancia y transmitancia, para luego proceder al cálculo de la eficiencia óptica; así mismo el coeficiente global de pérdidas que nos permitirá determinar el calor útil y en consecuencia su comparación con el calor de diseño. Luego se relazará el mismo procedimiento pero ahora con olla/absorbedor con cobertor de vidrio.

Recordemos que nuestro colector debe incrementar de 15 a 95°C y la eficiencia de diseño es de 15%, además el calor de diseño es de 186,08 W*hr, estos son los valores que comprobaremos en esta evaluación.

Las tablas de ambas pruebas se exponen en los Resultados.

4.2.3 BALANCE DE ENERGÍA EN LA COCINA PARABÓLICA (CALOR ÚTIL), (SIN COBERTOR DE VIDRIO)..

4.2.3.1 Resultado (η_{01a}); entre absorptancia (α) y transmitancia (τ) sin cobertor de vidrio.

$$\dot{m} = 2 \frac{kg}{4.5 h}$$

$\dot{m} = 1.235 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$ Flujo másico en un régimen de 4.5 horas, de acuerdo a la tabla evaluación de un concentrador parabólico (sin cobertor de vidrio)

$$t_e = 15$$

$t_s = 64.44$ (véase tabla 5.4 de temperatura, evaluación de un concentrador parabólico)

$$G_d = 180.56 \frac{W}{m^2} (4.5) = 812.52 \frac{W}{m^2} \text{ Radiación de acuerdo a las horas de régimen}$$

$$A_r = 0.07 m^2$$

$$C_p = \frac{4.19 \times 10^3 J}{kg}$$

$$\eta_{01a} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (t_s - t_e)}{G_d \cdot A_r}$$

$$\eta_{01a} = 0.45$$

4.2.3.2 Determinación del coeficiente global de pérdidas (U_{La}) sin cobertor de vidrio

$$m = 2 kg$$

$$t_e = 15$$

$$t_s = 64.44$$

$t_{amb} = 23.13$ (Temperatura ambiente)

$$A_r = 0.07 m^2$$

$t_m = \frac{t_e + t_s}{2}$ (Temperatura media, entre la temperatura de entrada y salida)

$$t_m = 39.72$$

$$U_{La} = \frac{m \cdot C_p \cdot (t_s - t_e)}{A_r \cdot (t_m - t_{amb})}$$

$$U_{La} = 99.1 \frac{Wh}{m^2}$$

4.2.3.3 Eficiencia óptica (η_{0a} (sin cobertor de vidrio)).

$\rho = 0.57$ (Valor de tabla 1.2)

$$\eta_{01a} = \tau \cdot \alpha$$

$$\eta_{01a} = 0.45$$

$\gamma = 0.85$ (Valor anexo I.)

$\cos \phi = 0.84$ (Valor calculado en el punto 4.1.6)

Para continuar la (Ft) fracción de apertura no sombreada.

$$A \phi = 1.22 \text{ m}^2$$

$$A_{sop} = 0.01 \text{ m}^2$$

$$A_r = 0.07 \text{ m}^2$$

$$A_{effect} = A\phi - A_{sop} - A_r$$

$$A_{effect} = 1.14 \text{ m}^2$$

$$Ft = \frac{A_{effect}}{A\phi}$$

Entonces (Ft) la fracción de apertura no sombreada será:

$$Ft = 0.934 \text{ m}^2$$

$$\eta_{oa} = \rho \cdot \eta_{01} \cdot \gamma \cdot \cos \phi \cdot Ft$$

$$\eta_{oa} = 0.171$$

Entonces tenemos una eficiencia óptica de 17.1%

4.2.3.4 ENERGÍA RECIBIDA POR EL ABSORBEDOR (q_{abs})

$$Gd = 180.56 \frac{W}{m^2} (4.5h) = 812.52 \frac{W \cdot h}{m^2}$$

$$A_a = 1 \text{ m}^2$$

$$A_r = 0.07 \text{ m}^2$$

$$q_{abs} = \eta_0 \cdot A_a \cdot Gd$$

$$q_{abs} = 138.99 \text{ Wh}$$

4.2.3.5 RAZÓN DE CONCENTRACIÓN (X)

$$X = \frac{A_a}{A_r}$$

$$X = 14.29$$

4.2.3.6 COEFICIENTE GLOBAL DE PÉRDIDAS (U_{La})

$$U_{La} = 99.1 \frac{W \cdot h}{m^2} (U_{La}, T_a \text{ y } T_c); \text{ valores de (evaluación del concentrador parabólico)}$$

$$T_a = 23.13$$

$T_c = 28$ (temperatura del concentrador)

4.2.3.7 CALOR DE PÉRDIDAS ($q_{perdida}$), ABS. SIN COBERTOR DE VIDRIO

$$q_{perdida} = U L_a (T_c - T_a) \cdot A_r$$

$$q_{perdida} = 1.216 \times 10^5 J$$

$$q_{perdida} = 33.783 Wh$$

4.2.3.8 CALOR ÚTIL (q_u)

$$q_u = q_{abs} - q_{perdida}$$

$$q_u = 3.846 \times 10^5 J$$

$$q_u = 105.201 Wh$$

4.2.3.9 EFICIENCIA INSTANTÁNEA (η_c)

$$G_t = 1.26 \frac{kW \cdot h}{m^2} = \text{Energía solar promedio} = (H_t)$$

$$\eta_c = \frac{q_u}{G_t \cdot A_a}$$

$$\eta_c = 0.083$$

La eficiencia instantánea es de 8,3% (con relación a la radiación local de trabajo)

4.2.4 BALANCE DE ENERGÍA EN LA COCINA PARABÓLICA (CALOR ÚTIL), (CON COBERTOR DE VIDRIO)

4.2.4.1 Resultado (η_{01}); entre absorptancia (α) y transmitancia (τ) con cobertor de vidrio.

$$\dot{m} = 2 \frac{kg}{4.75h}$$

$$\dot{m} = 1.248 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

$$t_e = 15$$

$t_s = 90.78$ (Véase tabla de temperatura, evaluación de un concentrador parabólico)

$$G_d = 180.56 \frac{W}{m^2} (4.75) = 857.66 \frac{W}{m^2}$$

$$A_r = 0.07 m^2$$

$$t_e = 15$$

$$C_p = \frac{4.19 \times 10^3 J}{kg}$$

$$\eta_{01} = \frac{\dot{m} \cdot Cp \cdot (ts - te)}{Gd \cdot Ar}$$

$$\eta_{01} = 0.66$$

4.2.4.2 Determinación del coeficiente global de pérdidas (U_L) con cobertor de vidrio

$$m = 2kg$$

$$te = 15$$

$$ts = 90.78$$

$$tamb = 22.38 \text{ (Temperatura ambiente)}$$

$$Ar = 0.07m^2$$

$$tm = \frac{te+ts}{2} \text{ (Temperatura media, entre la temperatura de entrada y salida)}$$

$$tm = 52.89$$

$$UL = \frac{m \cdot Cp \cdot (ts - te)}{Ar \cdot (tm - tamb)}$$

$$UL = 82.595 \frac{W \cdot h}{m^2}$$

4.2.4.3 EFICIENCIA ÓPTICA (η_o).

$$\rho = 0.57 \text{ Valor de la (tabla 1.2)}$$

$$\eta_{01} = \tau \cdot \alpha$$

$$\eta_{01} = 0.66 \text{ (Compruébese valor en el anexo I)}$$

$$\gamma = 0.85 \text{ (Valor anexo I)}$$

$$c \cdot \phi = 0.84 \text{ (Valor calculado en el punto 4.1.6)}$$

Para continuar la (Ft) fracción de temperatura no sombreada.

$$A \phi = 1.22 m^2$$

$$A_{sop} = 0.01 m^2$$

$$Ar1 = 0.07 m^2$$

$$A_{efect} = A \phi - A_{sop} - Ar1$$

$$A_{efect} = 1.14 m^2$$

$$Ft = \frac{A_{efect}}{A \phi}$$

Entonces (Ft) la fracción de apertura no sombreada será:

$$Ft = 0.934 \text{ m}^2$$

$$\eta_0 = \rho \cdot \eta_{01} \cdot \gamma \cdot \cos\phi \cdot Ft$$

$$\eta_0 = 0.251$$

Entonces tenemos una eficiencia óptica de 25.1%

4.2.4.4 ENERGÍA RECIBIDA POR EL ABSORBEDOR (q_{abs})

$$Gd = 857.66 \frac{Wh}{m^2}$$

$$Aa = 1m^2$$

$$Ar = 0.07m^2$$

$$q_{abs} = \eta_0 \cdot Aa \cdot Gd$$

$$q_{abs} = 215.27 \text{ Wh}$$

4.2.4.5 RAZÓN DE CONCENTRACIÓN (X)

$$X = \frac{Aa}{Ar}$$

$$X = 14.9$$

4.2.4.6 COEFICIENTE GLOBAL DE PÉRDIDAS (U_c)

$UL = 82.595 \frac{W.h}{m^2}$ (U_L , T_a y T_c); valores tabla 5.2 (evaluación del concentrador parabólico)

$$T_a = 22.38$$

$T_c = 28$ (temperatura del concentrador)

4.2.4.7 CALOR DE PÉRDIDAS ($q_{perdida}$)

$$q_{perdida} = UL \cdot (T_c - T_a) \cdot Ar$$

$$q_{perdida} = 1.17 \times 10^5 \text{ J}$$

$$q_{perdida} = 32.493 \text{ Wh}$$

4.2.4.8 CALOR ÚTIL (q_u)

$$q_u = q_{abs} - q_{perdida}$$

$$q_u = 6.764 \times 10^5 \text{ J}$$

$$q_u = 182.77 \text{ Wh}$$

4.2.4.9 EFICIENCIA INSTANTÁNEA

$$Gt = 1.26 \frac{kW.h}{m^2}$$

$$\eta c = \frac{qu}{Gt.Aa}$$

$$\eta c = 0.15$$

La eficiencia instantánea es de 15%. (con relación a la radiación por horas de trabajo)

4.3 CÁLCULO DEL HIDROSEGUIDOR.

4.3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE

El hidroseguidor que trabaja por carga de agua regulada recibe por gravedad el agua que viene del hidroseguidor que trabaja por descarga libre y acciona sincrónicamente a la cocina parabólica, ver (*figura 4.8*):

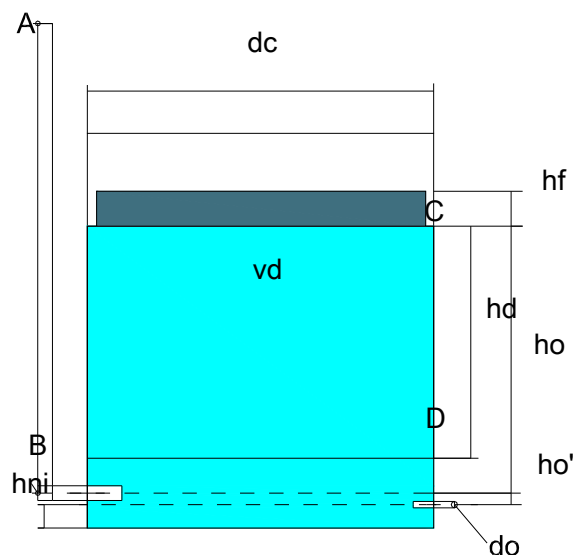


Figura 4.8: Hidroseguidor que trabaja por descarga libre de agua

Radio del cilindro	$rc=0.15m$
Altura de descarga	$hd=0.20m$
Altura de tacos	$hta=0.02m$
Altura del flotador	$hf=0.03m$

4.3.2 CÁLCULO DE CAUDAL REQUERIDO POR EL HIDROSEGUIDOR

Nuestro hidroseguidor va a trabajar por 7 horas diarias por lo tanto el caudal de descarga debe estar en función de este tiempo.

La altura de descarga (h_d) comprendida entre los puntos C y D es la altura de trabajo (h):

$$h = h_d$$

$$h = 0.2 \text{ m}$$

El recipiente utilizado es de forma cilíndrica entonces el volumen de descarga (vd) es:

$$vd = \pi \cdot r \cdot c^2 \cdot h$$

$$vd = 14.137 \text{ L}$$

El hidroseguidor tiene que trabajar 7h al día (t) entonces:

$$t = 7h$$

$$Q = \frac{vd}{t}$$

$$Q = 2.02 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow Q = 0.034 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Por lo tanto en litros por hora el caudal será:

$$Q = 2.02 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

El tanque se lo va a adquirir de Plástico hermético, y se implementará tal y como se ve en la (**figura 4.9**). Para la aplicación del tubo mariotte.

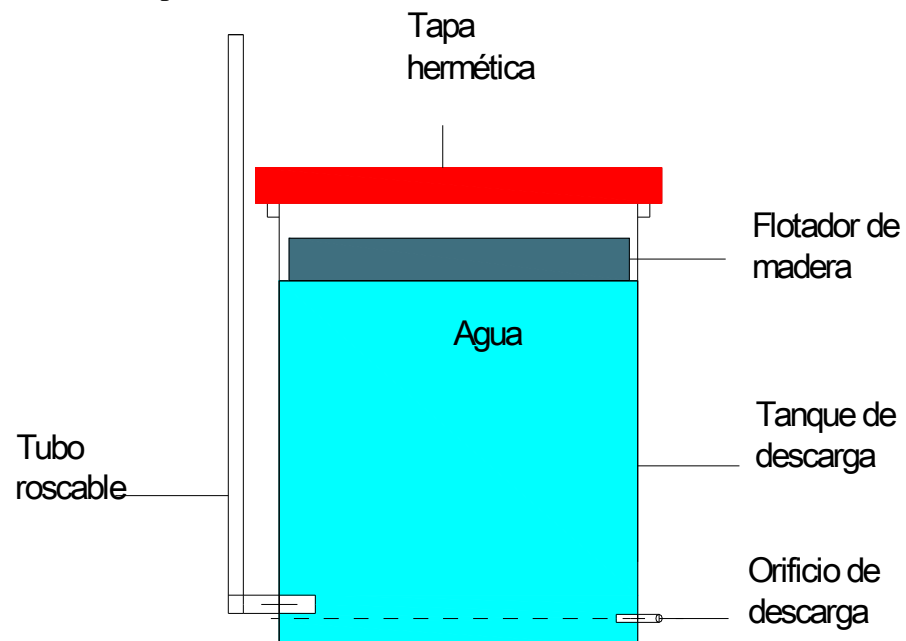


Figura 4.9: Partes del tanque de descarga

4.3.3 FLOTADORES

4.3.3.1 Funcionamiento de flotador con carga.

El flotador con carga del hidroseguidor actúan las siguientes fuerzas:

Fuerza del contrapeso = f_c

Fuerza resultante del flotador con carga = f_{rf}

Fuerza del viento sobre la correa = f_v

Cuando contrapesos y paneles se encuentran desconectados (*figura 4.10*) la suma de las fuerzas exteriores sobre el flotador es cero por lo tanto, sólo ésta el peso del flotador con carga. El volumen del agua desplazado por el mismo es:

Volumen del agua desplazada (v_a)

Juego del flotador = (jf) = 0.020m

Radio del flotador (r_f)

$$r_f = r_c - \frac{jf}{2}$$

$$r_f = 14cm$$

$$v_a = \pi \cdot r_f^2 \cdot (hf - 2cm)$$

$$v_a = 6.158 \times 10^{-4} m^3$$

$$v_a = 0.616L$$

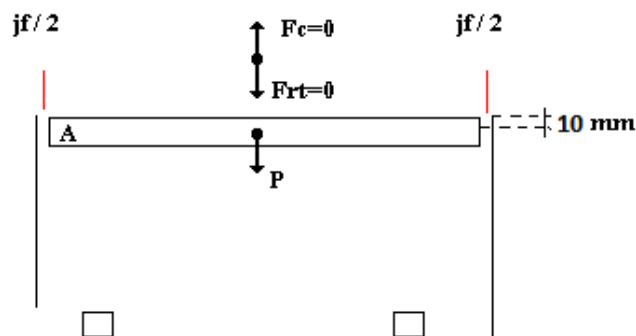


Figura 4.10: Flotador sin carga

Cómo el peso específico del agua es:

$$\gamma = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Entonces el peso del flotador (Pf) será:

$$Pf = va \cdot \gamma$$

$$Pf = 0.616 \text{ kg}$$

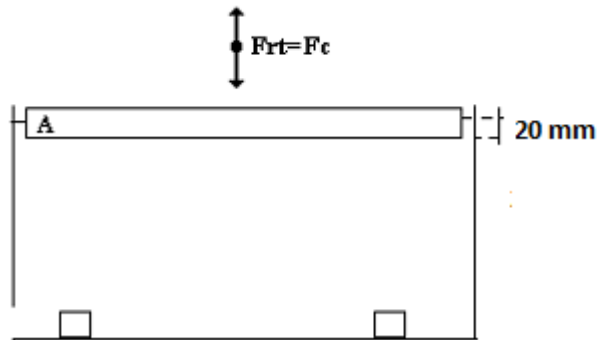


Figura 4.11: Flotador cuando los contrapesos y espejo están desconectados

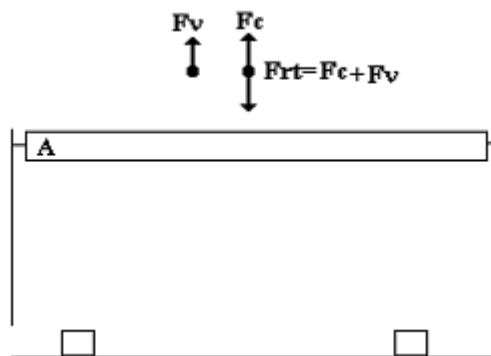


Figura 4.12: Contrapeso conectado

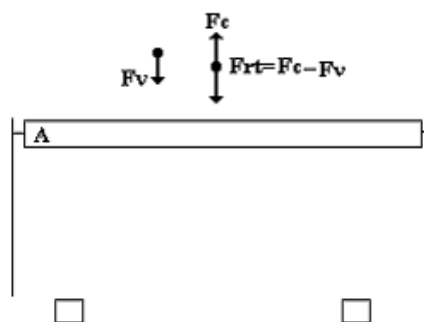


Figura 4.13: Contrapeso conectado y Fv de igual sentido que Fc

Cuando el contrapeso está conectado y la fuerza del viento es nula (*figura 4.12*), el flotador se hunde hasta la mitad del peso del flotador con carga, o sea:

$$F_c = \frac{P_f}{2}$$

$$F_c = 0.308kg$$

4.3.3.2 Ganancia

La ganancia del motor hidráulico del flotador (α) está dada por la relación entre el área del flotador y del agua que lo rodea entonces:

$$A_1 = \pi \cdot r_f^2 \qquad A_2 = \pi \cdot (r_c - r_f)^2$$

$$A_1 = 0.062m^2 \qquad A_2 = 3.142 \times 10^{-4}m^2$$

$$\alpha = \frac{A_1}{A_2}$$

$$\alpha = 196$$

$$\frac{\Delta E_1}{\Delta E_2} = 1 + \alpha = 197$$

ΔE_1 es el empuje del flotador en un recipiente de área infinita y ΔE_2 el empuje en un recipiente de área finita.

Ahora, el hundimiento máximo (H) del flotador se calcula por:

$$H = \frac{A_2 \cdot 197}{A_1}$$

$$H = 1.005cm$$

El sistema tiene una ganancia o variación de:

$$F = 2 \cdot F_c$$

$$\frac{F}{H} = 0.613kg \cdot cm$$

Los flotadores se los construirá de madera con recubrimiento de masilla plástica y pintura, de acuerdo a los pesos y medidas indicadas:

4.3.4 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL ORIFICIO EN LA DESCARGA DEL TANQUE (do).

Servirá para la selección de la válvula o en su defecto de la reguladora de caudal. Recordemos que el caudal requerido para nuestro hidroseguidor es de 14 litros / un régimen de 7horas; ver (*figura 4.14*) entonces el caudal será:

$$Q = 2 \frac{L}{h}$$

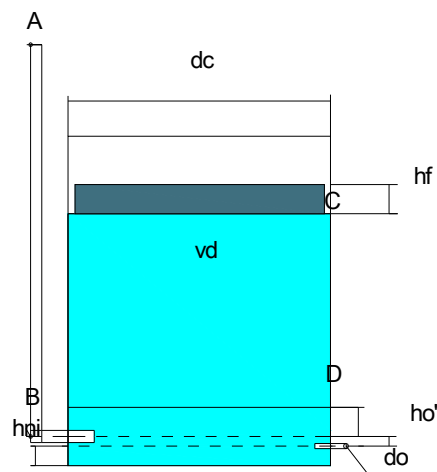


Figura 4.14: Altura de descarga (h_o) con el diámetro del orificio a calcular según frasco de Mariotte.

De acuerdo a lo estudiado del Frasco de Mariotte (h_o) cambia por (h_o'); es decir en un recipiente abierto la altura de descarga a presión atmosférica con la cual se calculan a través de las leyes de Bernullí y Torricelli (véase capítulo 2), son las mismas a aplicarse con el Experimento de Mariotte únicamente cambiando la altura de descarga.

h_o' = es la altura de descarga aplicando el tubo de mariotte del punto B.

La fórmula originaria de QR, quedará entonces:

$$QR = \eta \cdot S \sqrt{2gh_o'} = \eta \cdot \pi \cdot r^2 \sqrt{2gh_o'}$$

Coefficiente de fricción del líquido, $\phi = 0.97$

El coeficiente de reducción de velocidad, comprendido entre: 0,96 y 0,99, para pared delgada $\phi = 0.97$:

Coeficiente de contracción para bordes agudos, $\mu = 0.62$

Recordemos que el valor de μ está comprendido en 0,57 y 0,70 tomándose para paredes delgadas $\mu = 0.62$.

Entonces el factor de descarga (η) será:

$$\eta = \phi \cdot \mu$$

$$\eta = 0.601$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$QR = 2 \frac{L}{h}$$

$$QR = \eta \cdot S \cdot \sqrt{2gh} = \eta \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{2gh}$$

$$h_o = 1cm$$

$$r_o = \sqrt{\frac{QR}{\eta \cdot \pi \cdot \sqrt{2gh_o}}}$$

$$r_o = 8.148 \times 10^{-4} m$$

$$d_o = 2 \cdot r_o$$

$$d_o = 1.63 \times 10^{-3} m$$

$$d_o = 1.63 mm$$

Entonces el orificio requerido para una descarga de 2L/h, es de 1,63mm ver (**figura 4.15**):

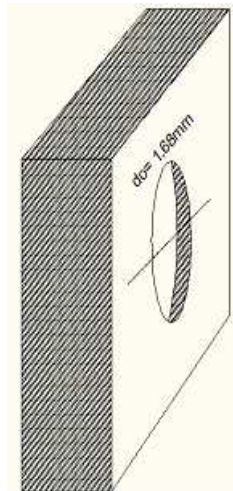


Figura 4.15: Orificio calculado para descarga 2L/h.

4.3.4.1 Rendimiento del orificio

Calcularemos el rendimiento del orificio de salida de agua.

$\xi_1 = 0.065$ Coeficiente de pérdida de carga.

$$\eta_{or} = \frac{1}{1+\xi_1}$$

$$\eta_{or} = 0.939$$

4.4 CÁLCULO DE LA POLEA

El recorrido (rec) de la polea será de 32cm en 12 horas.

Perímetro interior de la polea (Pip).

$$Pip = rec. 2$$

$$Pip = 64cm$$

$$Pip = 25.197 \text{ pulg}$$

El recorrido es la mitad del perímetro interno de la polea

Diámetro interior de la polea (dip).

$$P = 2\pi.r = \pi.d$$

$$dip = \frac{Pip}{\pi}$$

$$dip = 20.372cm$$

$$dip = 8.02pulg \cong 8pulg$$

La máquina está diseñada para trabajar un periodo de 7 horas el recorrido será:

$$32 \frac{cm}{12h} = 2.667 \frac{cm}{h}$$

$$2.659 \frac{cm}{h} \times 7h = 18.669cm$$

4.5 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO:

4.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN:

Los materiales que se utilizan en el presente proyecto deben ser fácil de obtenerlos, priorizando materiales de la localidad, esto nos apegará de mejor manera a la realidad de lo que se puede aplicar a nuestra zona.

Para el diseño del colector se utiliza plancha de acero inoxidable, esto evitará que el reflector parabólico se oxide o dañe expuesto a la intemperie. El absorbedor/olla es de aluminio para la mejor conducción del calor; recubierto de pintura negro mate para evitar reflejar los rayos de sol. Así mismo se utiliza un cobertor de vidrio de 4 líneas para evitar pérdidas de calor altas, la parrilla será de hierro y pintado de negro mate; y su soporte es de acero.

Las poleas son de aluminio para evitar su corrosión expuesta a la intemperie; el cable que lleva los flotadores es de acero inoxidable; los flotadores son de madera de cedro recubiertas de 2 capas de 2 mm cada una de masilla plástica y varias capas de pintura.

Los tanques de carga y descarga son del tipo herméticos; permaneciendo así el de descarga por lo que sus accesorios (bolsa de caucho, es fijada con silicón negro en la tapa del tanque y, con polimex y 3 abrazaderas en el cable de acero; el respiradero es una válvula check, la válvula de descarga también es fijada con polimex al tanque; la adaptación del Frasco de Mariotte se la hace con tubo para agua de ½”.

El retorno del agua al tanque se la hace con una bomba de ½ HP, con tubo pvc roscable de media pulgada y accesorios como: 4codos, 2 universales y 1 reducción de 1” a ½”;

además tiene una válvula check para evitar que regrese el agua; este funciona con un sistema automático que tiene un Contactor, una botonera y un fin de carrera, este último cuando el hidroseguidor está nuevamente en inicio desactiva el retorno automático.

Posee un grifo para la entrada de agua al sistema.

Además la estructura de soporte de la cocina será construida de tubo cuadrado reforzado de 2x2cm.

Y la estructura del reflector de la cocina será de platina de ½” por 1/8” y, la que sirve de

soporte con el eje será de 1" por 1/8"; además de tubo de hierro de 1/2" para los aros del soporte.

4.5.2 COSTOS

Presentamos a continuación un resumen de materiales y costos que se emplean en la construcción:

<i>Estructura del Reflector de la cocina parabólica y reflector</i>			
	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Plancha de acero inoxidable	45.00	1	45.00
Tubo de hierro redondo	06.00	1	06.00
Platina de hierro de 1/2" x 1/8"	08.00	1	08.00
Platina de hierro de 1" x 1/8"	10.00	1	10.00
Remache de 1/8"	00.02	100	02.00
Arandelas para el contrapeso	00.50	60	30.00

<i>Parrilla de la cocina parabólica y absorbedor</i>			
	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Acero de máquina	10.00	1.5m	10.00
Platina de 1/2"x1/8"	05.00	1	05.00
Olla de aluminio para 2Litros de agua	05.00	1	05.00
Varilla de 1/4" diámetro	02.00	1m	02.00
Caja de Vidrio de 4 líneas	20.00	1	20.00
Pintura negro mate	04.50	1	04.50
Pernos de 1/2 x 1/8 ϕ	00.25	10	02.50

<i>Sistema del hidroseguidor</i>			
	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Polea de aluminio de 30cm diámetro	08.00	2	16.00
Polea de aluminio de 9cm diámetro	05.09	2	10.18
Polea de aluminio de 6cm diámetro	03.72	4	14.88
Rodamientos para 2.2 cm	01.20	8	09.60
Alambre de acero 0.5cm diámetro 1/8	00.60	5m	03.00
Baldes plásticos herméticos para 20Litros	15.00	2	30.00
Válvula check	08.00	1	08.00
Flotadores de madera	15.00	2	30.00
Cuero de guante	01.50	1	01.50
Masilla plástica	08.50	3	25.50

Pintura aluminio 1/8	02.00	1	02.00
Pintura verde ¼	04.00	1	04.00
Codos ½	00.40	2	00.80
Tubo pvc de ½ roscable	07.00	½ tubo	07.00
Silicón negro	03.00	1	03.00
Polimex	03.00	2	06.00
Pernos plásticos para sujeción de baldes	01.50	2	03.00
Válvula de descarga ¼"	02.50	1	02.50
Manguera de ¼"	00.30	1m	00.30
Prisioneros para el cable de acero	00.50	4	02.00
Diluyente	02.00	4lt	08.00
Guante de caucho	02.00	1	02.00
Abrazaderas	00.50	5	02.50

Estructura del hidroseguidor

	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Tubo cuadrado reforzado de 2x2cm	08.00	4	32.00
Plancha de MDF	10.00	1	10.00
Pernos de 1"	00.10	10	01.00
Pernos ½"	00.08	20	01.60
Ruedas	02.00	4	08.00
lijas	00.50	5	02.50
Suelda 6011	02.00	5lb	10.00
Pedazo de plywood	03.00	1	03.00

Sistema de retorno del agua

	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Cortadora ½ bola	06.00	1	06.00
Cortadora ½ mariposa	08.00	1	08.00
Tubo plástico pvc roscable	05.00	1	05.00
Codos ½"	00.50	5	02.50
Universal de ½"	01.50	2	03.00
Reducción 1" a ½"	01.00	2	02.00
Válvula check	08.00	1	08.00
Empaques para ½"	00.05	10	00.50
Bomba de ½ HP	30.00	1	30.00
Pernos de sujeción 1.5 plg	01.50	2	03.00
Contactador magnético	15.00	1	15.00
Fin de carrera	12.50	1	12.50
Pulsador on/off	12.00	1	12.00
Foco de señales	02.50	1	02.50
Enchufe	02.00	1	02.00
Alambre gemelo	00.80	10m	08.00

<i>Sustancias</i>			
	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Agua	00.01	24lt	00.24

<i>Personal</i>			
	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Mano de obra	200 c/u	2	400.00

<i>Instrumentos</i>			
	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Multimetro Digital con termocupla	20.00	2	40.00
Termómetro Ambiente	6.00	1	6.00
<i>SUMA TOTAL</i>			<i>970.60</i>

4.5.3 MONTAJE DE EQUIPO.

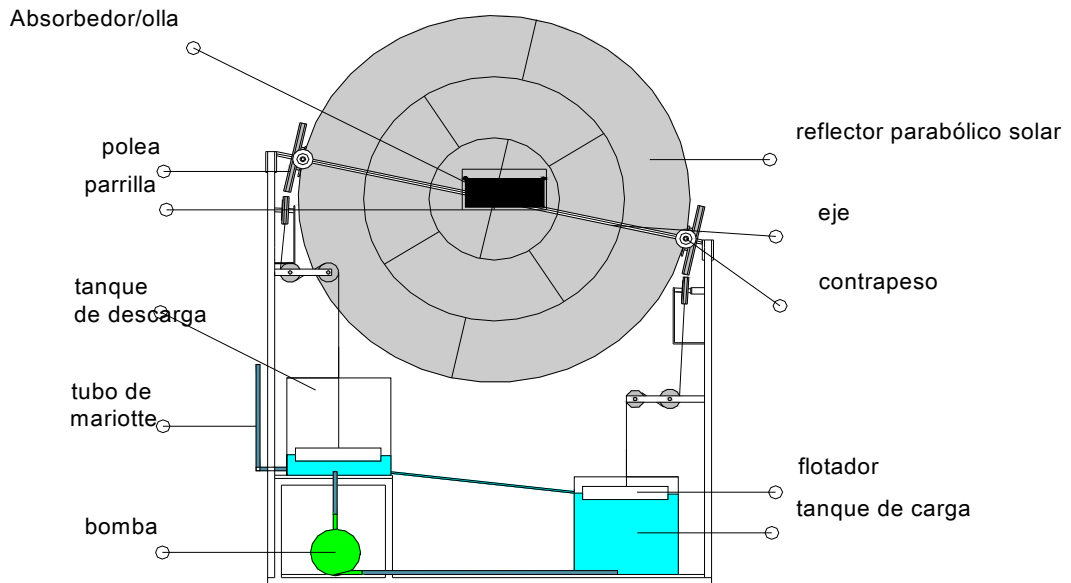


Figura 4.16: Montaje de la cocina solar parabólica e hidroseguidor

Una vez adquiridos los materiales se procedió al ensamblaje de los mismos. La estructura del reflector parabólico: hecha de platinas y tubo de hierro (aros del reflector) (*figura 4.17*) se curvaron y soldaron de acuerdo a la parábola obtenida, para luego con remaches proceder a ubicar los recortes de la plancha de acero inoxidable.



Figura 4.17: Espejo parabólico y su estructura

La estructura se hizo de acuerdo a los requerimientos de nuestra máquina; de tubo cuadrado reforzado y se la armo con suelda y pernos, lo cual la hace desmontable, tiene también unas ruedas para facilitar su movilidad. A demás se ubico las plachas de MDF recortado que permitirá sentar el equipo (*figura 4.18*).



Figura 4.18: Estructura del hidroseguidor

Se trabajaron las poleas en el torno hasta dejarlas de los diámetros necesitados de 30cm, 9 cm y 6 cm y se procedió a sujetarlas con pernos al reflector parabólico, se ubico el soporte o eje de la parrilla, con rodamientos se ajustaron poleas y eje (*figura 4.19*).



Figura 4.19: Construcción y montaje de poleas

Los contrapesos se ubican una vez puestas las poleas, los contrapesos ayudan a mantener el equilibrio del hidroseguidor (*figura 4.20*).



Figura 4.20: Montaje de contrapesos

Con los prisioneros se proceden a sujetar el cable de acero (*figura 4.21*) en cada una de las poleas, así mismo los flotadores (*figura 4.22*) se masillaron y pintaron para sujetarlos a través de otros prisioneros en una cruz hecha de platinas, para luego proceder a ubicar las tapas de los flotadores (cruz y tapas se aseguran con tornillos).



Figura 4.21: Colocación de poleas y cable de acero



Figura 4.22: Construcción y montaje de flotadores

El tanque de descarga debe ser hermético, (*figura 4.23*) para que funcione el “experimento de Mariotte” para ello se hizo una adaptación de dicho experimento colocando el tubo fuera del tanque, dándonos los mismos resultados que ubicándolo por dentro. El tanque de descarga, solo sirve para acumular el agua y equilibrar los flotadores.



Figura 4.23: Tanque de descarga y carga de agua

La descarga se la realiza a través de una manguera transparente de $\frac{1}{4}$ ” que lleva una válvula con el diámetro del orificio calculado.

El tanque de descarga tiene una bolsa de caucho que va pegado al alambre de acero, esto permite que al subir y bajar el flotador con el alambre de acero no se pierda la hermeticidad del tanque, a demás tiene un macho para la bolsa de cuero; este es hecho de madera con recubrimiento de masilla plástica y pintura con la finalidad de evitar las pérdidas por acumulación de aire en la bolsa. También se ubico una válvula check (respiradero) en la tapa de este tanque para que cuando nuevamente retorne el agua el aire que se encuentra dentro pueda salir por ahí y no dañe la hermeticidad (*figura 4.24*).



Figura 4.24: Montaje del tanque de descarga (bolsa de caucho, válvula check)

El retorno del agua después de la descarga se la realiza a través de una bomba de 1/2HP y se utiliza un dispositivo mecánico automático para el parado de la bomba en el momento en que llega el volumen de agua requerido (*figura 4.25*).



Figura 4.25: Sistema del retorno de agua

Para el encendido de la bomba se lo hace a través del pulsador (*figura 4.26*) de mando el cual se lo debe realizar a las 08:30, ya que es la hora de inicio de funcionamiento de la máquina,



Figura 4.26: Pulsador de encendido y apagado

El pulsador va conectado a un contactor con dispositivo mecánico de conexión controlado por un electroimán con una operación tipo on/off (*figura 4.27*).

Cuando la bobina del electroimán se encuentra energizada, el contactor se cierra y completa el circuito entre la fuente y la carga a través de sus contactos de potencia.

Cuando la bobina es desenergizada, el contactor abre debido a la acción de un resorte de presión o de la fuerza de la gravedad de los propios contactos.



Figura 4.27: Contactor para ½ HP

Para el apagado de la bomba se lo puede realizar de dos maneras, la primera se lo puede apagar manualmente con el botón de apagado de emergencia, y la otra forma consta de un elemento auxiliar de mando como es el interruptor de posición final o de carrera, (*figura 4.28*) es empleado en la etapa de detención de la bomba, siendo accionado mediante el contacto físico con la polea de la cocina parabólica.

El sistema de retorno del agua al tanque de descarga tiene una duración de 00:00:40 segundos.



Figura 4.28: Interruptor de posición final o de carrera

La parrilla donde irá el absorbedor (*figura 4.29*), se construyó de varilla de hierro y se la procedió a pintar de negro mate, se hizo el sujetador con platina de hierro y se la pinto de

aluminio. La parrilla se sujeto al eje con pernos; los agujeros del eje para la parrilla se taladraron y luego con el machuelo se dio la forma de rosca.



Figura 4.29: Construcción y montaje de la parrilla en la cocina parabólica

El cobertor, se lo hizo de vidrio normal de 4mm de espesor, pegado con silicona. Este sirve para mantener el calor disminuyendo las pérdidas por el viento (*figura 4.30*).



Figura 4.30: Montaje del cobertor de vidrio

5. RESULTADOS

5.1 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Para el monitoreo de la potencialidad solar a lo largo del período de ejecución del proyecto hemos descargado los datos de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en el sector “La Argelia”.

Para el monitoreo puntual hemos adquirido un termómetro para medir la temperatura ambiente y un multímetro digital con opción para medir temperatura.

5.2 EVALUACIÓN DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA POR EL MÉTODO ESTACIONARIO.

El monitoreo de la cocina solar Parabólica se lo realizó en el sector “Carigán”, ubicado al norte de la ciudad de Loja, una vez terminado el equipo, se procedió a evaluar la cocina con la medición de temperatura en el absorbedor (olla) con o sin cobertor de vidrio como se muestra en la (*figuras 5.1 y 5.2*) para calcular la eficiencia óptica:

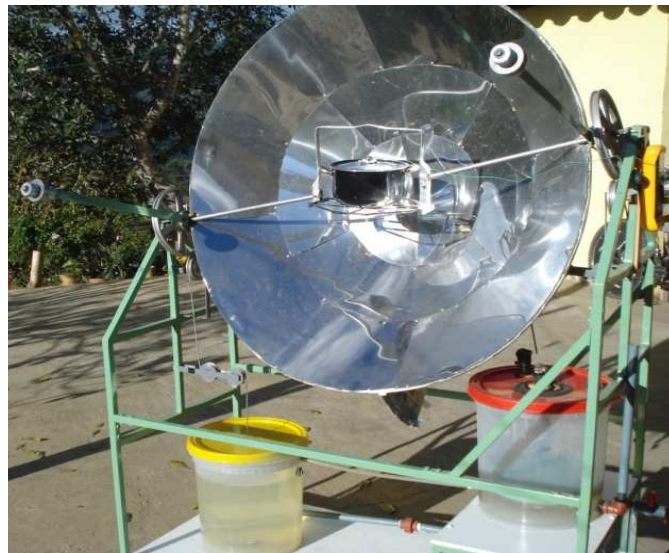


Figura 5.1: Equipo armado para monitoreo, con olla/absorbente sin el cobertor de vidrio.



Figura 5.2: Equipo armado para la medición de temperatura, olla absorbente con el cobertor de vidrio

5.2.1 Cálculo del producto entre absorptancia (α) y transmitancia (τ) para el cálculo de la eficiencia óptica (olla/absorbedor sin/con el cobertor de vidrio).

Tabla 5.1: Diferencias de la eficiencia óptica

DETERMINACION DEL PRODUCTO ENTRE ABSORTANCIA (α) Y TRANSMITANCIA (τ) PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA OPTICA (olla/absorbedor sin el cobertor de vidrio.)		DETERMINACION DEL PRODUCTO ENTRE ABSORTANCIA (α) Y TRANSMITANCIA (τ) PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA OPTICA (olla/absorbedor con el cobertor de vidrio.)	
Temperatura de entrada T_e (°C)	15	Temperatura de entrada T_e (°C)	15
Temperatura de salida T_s (°C)	64,44	Temperatura de salida T_s (°C)	90,78
Temperatura ambiente T_{amb} (°C)	23,13	Temperatura ambiente T_{amb} (°C)	22,38
Radiación Solar G_d (W/m^2)	812 (4.5hrs)	Radiación Solar G_d (W/m^2)	857.66 (4.75hrs)
Calor específico del agua C_p (kJ/kg °C)	4,19	Calor específico del agua C_p (kJ/kg °C)	4,19
Área del absorbedor (m^2)	0,07	Área del absorbedor (m^2)	0,07
Masa de agua m (kg)	2	Masa de agua m (kg)	2
Producto de $\alpha\tau$ (η_{o1})	0,45	Producto $\alpha\tau$ (η_{o1})	0,66
η_{oa}	11,8%	η_o	25,7%

5.2.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE PÉRDIDAS.

Así mismo se procedió a determinar el coeficiente global de pérdidas en la cocina parabólica de revolución.

Tabla 5.2: Coeficiente global de pérdidas

COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS PARA OLLA/ABSORVEDOR SIN EL COBERTOR DE VIDRIO		COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS PARA OLLA/ABSORBEDOR CON EL COBERTOR DE VIDRIO	
Temperatura de entrada T_{ea} (°C)	15	Temperatura de entrada T_e (°C)	15
Temperatura de salida T_{sa} (°C)	64,44	Temperatura de salida T_s (°C)	90,78
Temperatura media T_{ma} (°C)	37,87	Temperatura media T_m (°C)	52,89
Temperatura ambiente T_{amba} (°C)	23,13	Temperatura ambiente T_{amb} (°C)	22,38
Calor específico del agua c (KJ/kg °C)	4.19	Calor específico del agua c (KJ/kg °C)	4.19
Masa del agua m (kg)	2	Masa de agua m (kg)	2
Área del Absorbedor A_r (m ²)	0,07	Área del Absorbedor A_r (m ²)	0,07
U_{La} (W*hr/m ² °C)	99,1	U_L (W*hr/m ² °C)	82,595

5.2.3 EFICIENCIA INSTANTÁNEA O TÉRMICA

Como se ve en la (*figura 5.3*) la eficiencia instantánea o térmica para un régimen de 7 horas

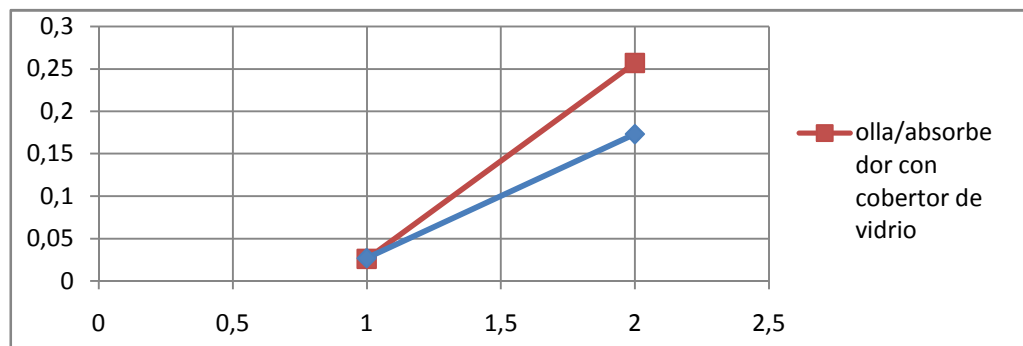


Figura 5.3: Eficiencia instantánea o térmica para régimen de 7 horas (en absorbedor con cobertor de vidrio y absorbedor sin cobertor de vidrio)

Y su tabla es la siguiente:

Tabla 5.3: Eficiencia instantánea o Térmica (η_c) (en absorbedor con cobertor de vidrio y absorbedor sin cobertor de vidrio)

Olla/absorbedor	$((t_c - t_{amb})/Gt)*1/X$	η_o	η_c
sin cobertor de vidrio	0,027	0,17	0,13
con cobertor de vidrio	0,026	0,26	0,21

5.3 RESULTADOS MONITOREOS

5.3.1 MONITOREO SIN COBERTOR DE VIDRIO (Día: 12 de Julio del 2010)

Tabla 5.4: Temperaturas conseguidas en el monitoreo sin cobertor de vidrio

hora	T del agua en absorbedor sin cobertor de vidrio	T ambiente	T máxima estabilizada en régimen de 2hrs (sin cobertor de vidrio)
9:30	15	17	15
9:45	16	18	16
10:00	17	19	17
10:15	19	20	19
10:30	25	24	25
10:45	35	25	35
11:00	37	25	37
11:15	39	24	39
11:30	42	23	42
11:45	48	25	48
12:00	50	23	64,44
12:15	59	26	64,44
12:30	67	28	64,44
12:45	70	26	64,44
13:00	75	24	64,44
13:15	70	26	64,44
13:30	69	25	64,44
13:45	62	24	64,44
14:00	58	25	64,44
14:15	53	25	53
14:30	48	21	48
	T máxima estabilizada 64,44	T (amb) promedio 23,48	

Tabla 5.5: Ficha técnica de monitoreo sin cobertor de vidrio

Concentrador parabólico de revolución/cocina parabólica, con olla/abs. sin cobertor de vidrio	
Hora	T(°C)del agua en la olla
9:30	15
14:30	60,44 (estabilizada en 2hrs)
tiempo de régimen	Incremento de temperatura
4:30 (4.5)	45,44
Día	12 de Julio 2010
Radiación	812 W/m ²

5.3.1.1 Curvas de temperatura alcanzadas sin el cobertor de vidrio.

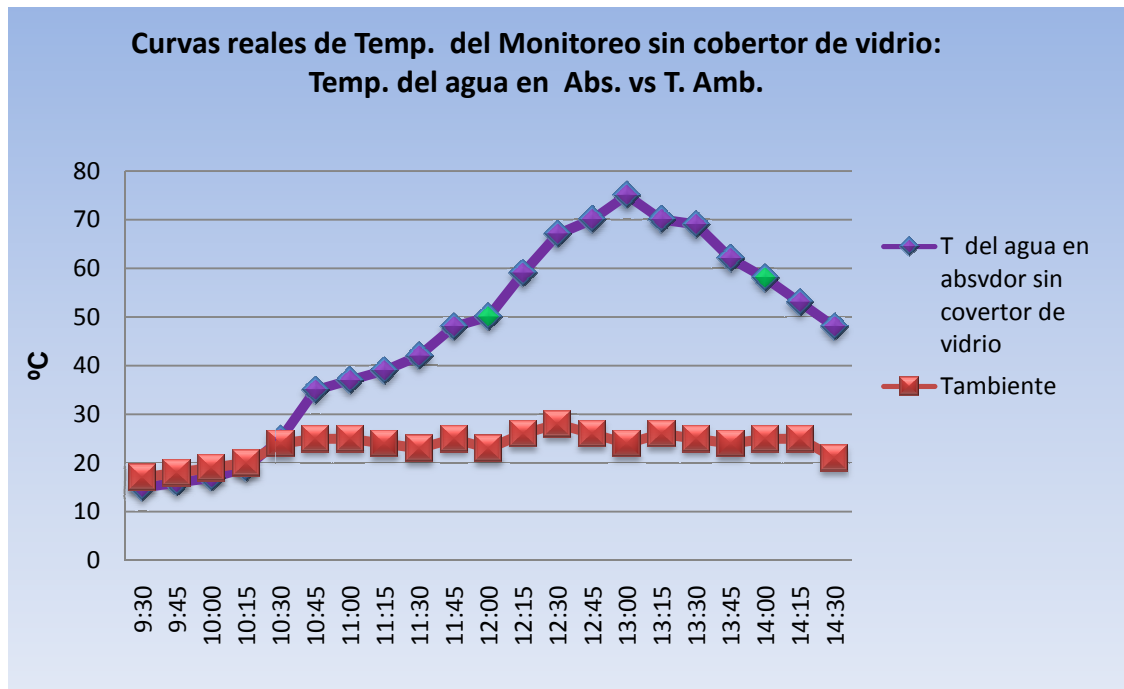


Figura 5.4: Curvas reales del monitoreo sin cobertor de vidrio: Temperatura del agua en Absorbedor Vs. Temperatura ambiente

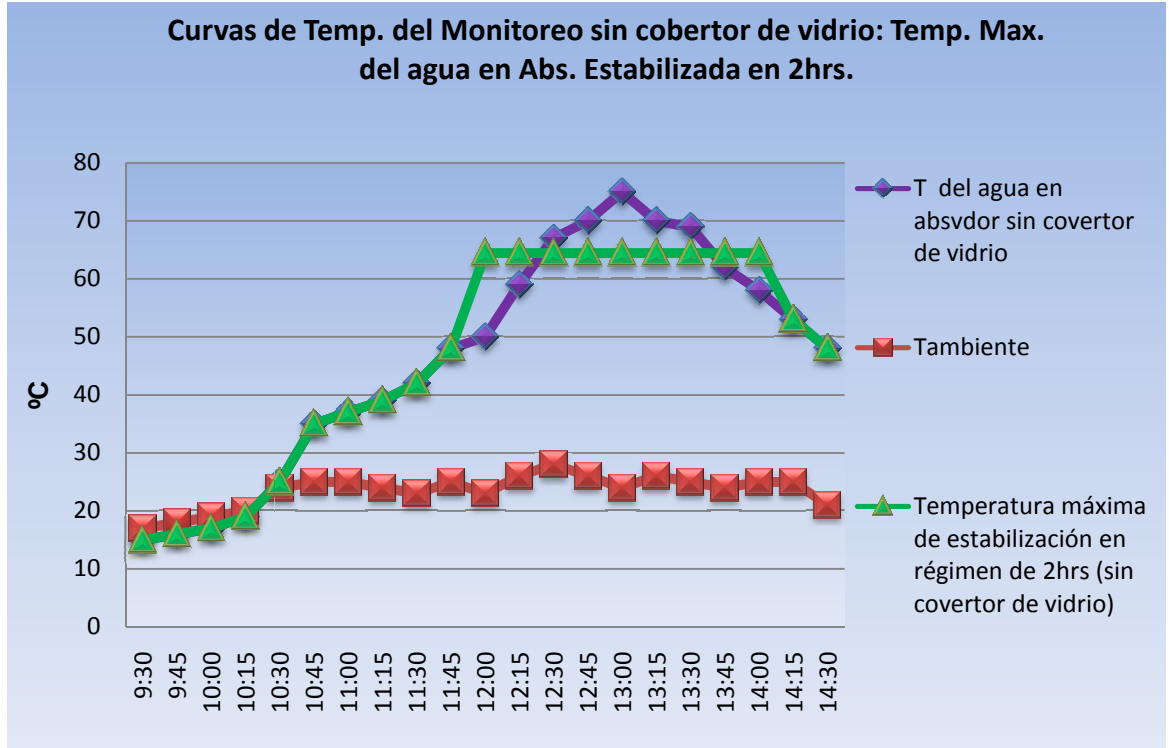


Figura 5.5: Curvas de temperatura del monitoreo sin cobertor de vidrio: Temperatura máxima del agua en Absorbedor estabilizada en 2 horas.

5.3.2 MONITOREO CON COBERTOR DE VIDRIO (Día: 15 de Julio del 2010)

Tabla 5.6: Temperaturas conseguidas en el monitoreo con cobertor de vidrio

hora	T del agua en absvdor con cobertor de vidrio	T ambiente	T máxima estabilizada en régimen de 2hrs (con cobertor de vidrio)
9:30	15	16	15
9:45	16	18	16
10:00	18	22	18
10:15	22	22	22
10:30	25	24	25
10:45	30	25	30
11:00	41	25	41
11:15	45	23	45
11:30	54	25	54
11:45	61	23	61
12:00	73	25	73
12:15	86	28	90,78
12:30	92	24	90,78
12:45	94	23	90,78
13:00	95	22	90,78
13:15	94	22	90,78
13:30	93	20	90,78
13:45	90	21	90,78
14:00	87	19	90,78
14:15	86	17	90,78
	T estabilizada (12:30 a 14:30) 90,78	T (amb) promedio 22,38	

Tabla 5.7: Ficha técnica de monitoreo con cobertor de vidrio

Concentrador parabólico de revolución/cocina parabólica, con olla/absorbedor con cobertor de vidrio	
Hora	T(°C)del agua en la olla
9:30	15
14:15	90,78 (estabilizada en 2hrs)
tiempo de régimen	Incremento de temperatura
4:45 (4.75)	75,78
Día	15 de Julio 2008
Radiación	857,66 W/m ²

5.3.2.1 Curvas de temperatura alcanzadas con el cobertor de vidrio

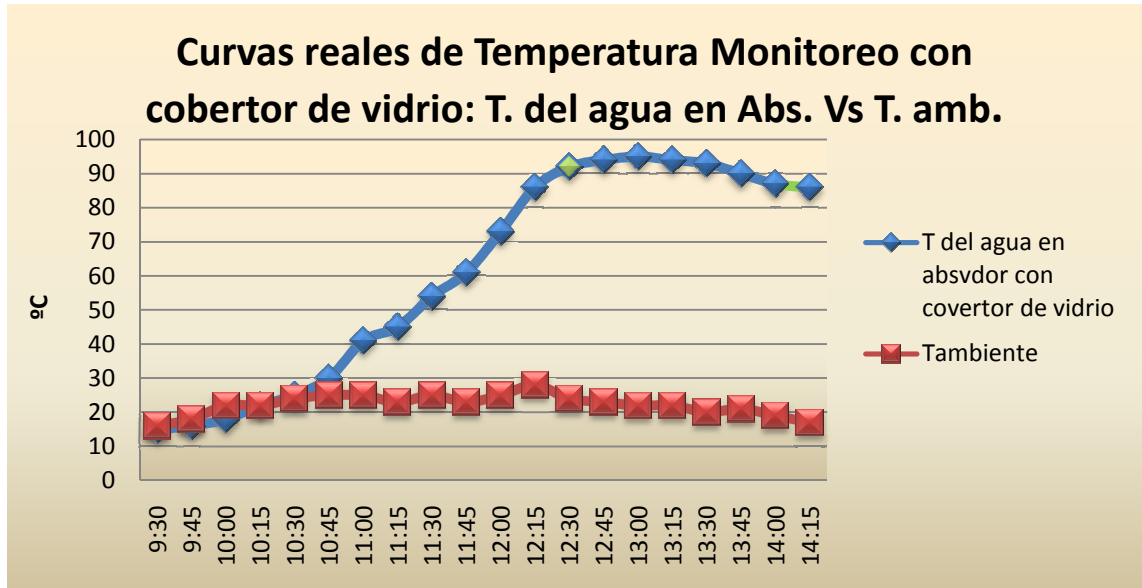


Figura 5.6: Curvas reales de temperatura, monitoreo con cobertor de vidrio: Temperatura del agua en Absorbedor Vs. Temperatura ambiente

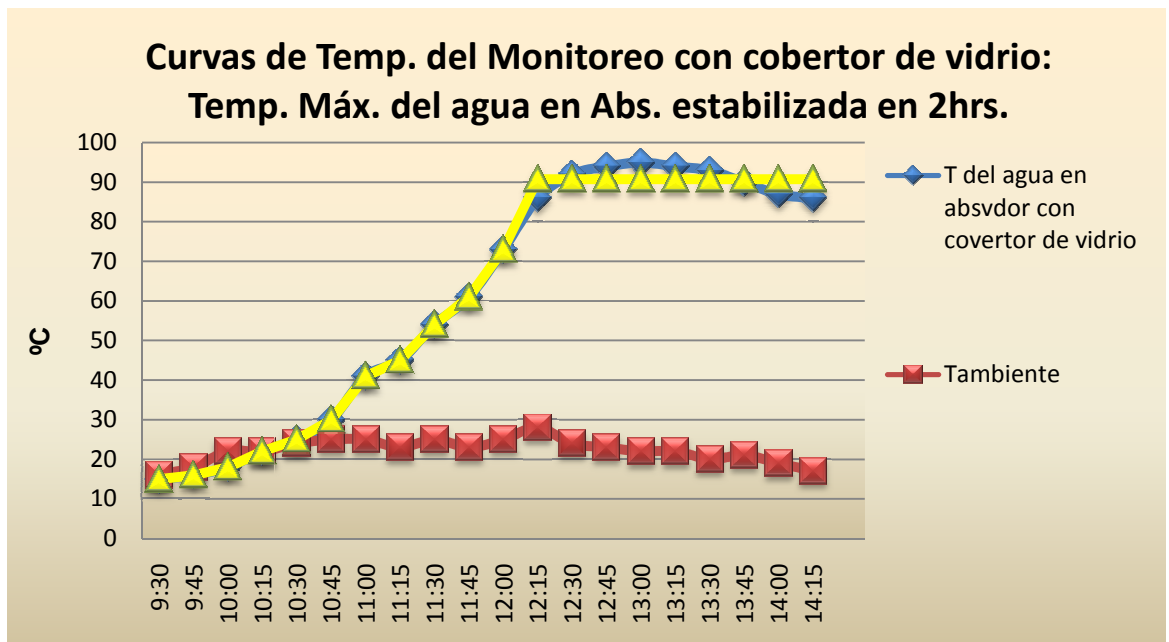


Figura 5.7: Curvas de temperatura del monitoreo con cobertor de vidrio: Temperatura máxima del agua en Absorbedor estabilizada en 2 horas.

5.3.3 CURVAS COMPARATIVAS DE TEMPERATURAS REALES DEL AGUA EN ABSORBEDOR SIN/CON COBERTOR DE VIDRIO

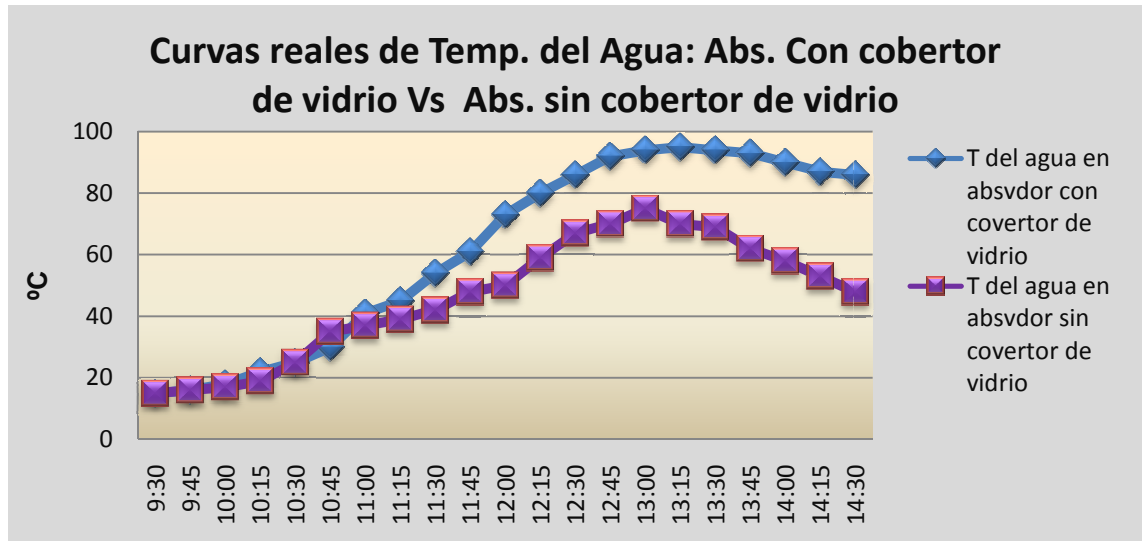


Figura 5.8: Curvas reales de temperatura del agua: con cobertor de vidrio Vs. Absorbedor sin cobertor de vidrio

5.3.4 CURVAS COMPARATIVAS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS ESTABILIZADAS EN 2HRS DEL AGUA EN EL ABSORBEDOR SIN/CON COBERTOR DE VIDRIO

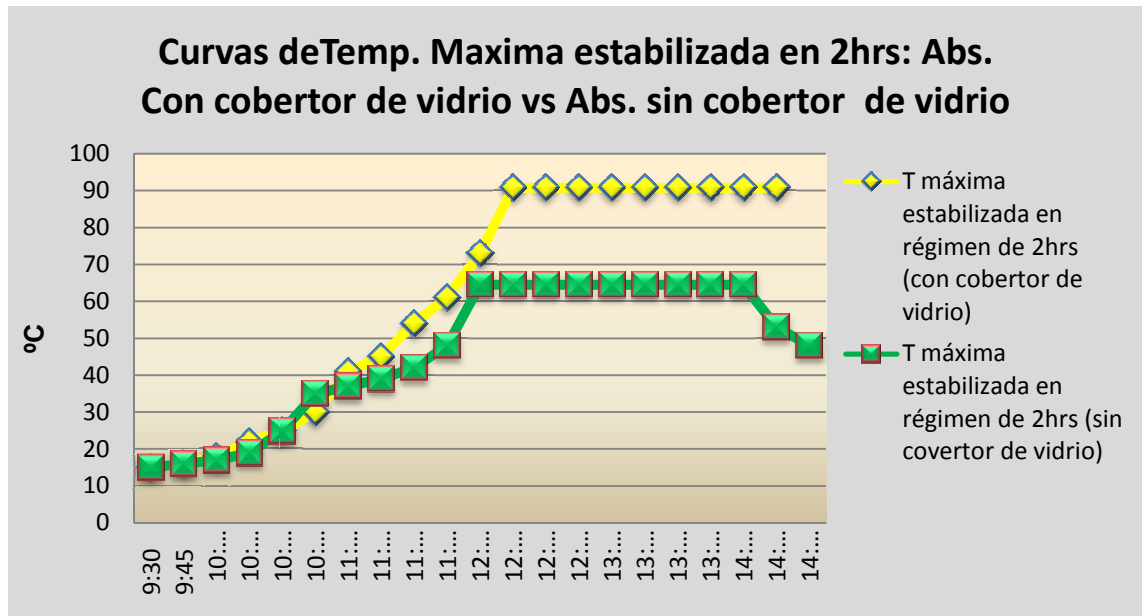


Figura 5.9: Curvas de temperatura máxima estabilizada en 2 horas: Absorbedor con cobertor de vidrio Vs. Absorbedor sin cobertor de vidrio

5.4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA

Para el monitoreo de la cocina solar parabólica se ha realizado con el cobertor de vidrio en días soleados, obteniendo un buen resultado con la cocción de algunos alimentos que lo detallamos en la tabla 5.8:

Tabla 5.8: Cocción de alimentos por la cocina solar parabólica

<i>Alimentos</i>	<i>Cantidad lb</i>	<i>Fecha</i>	<i>Volumen de agua lt.</i>	<i>Hora inicial</i>	<i>Hora final</i>	<i>Δ hora</i>	<i>T. inicial</i>	<i>T. final</i>	<i>T. Amb inicial</i>
<i>Arroz</i>	<i>1.5</i>	19-07-010	0.25	12:30	14:00	1:30	30°C	97°C	24°C
<i>Papa</i>	<i>3</i>	20-07-010	2	09:45	11.30	1:45	24°C	96°C	20°C
<i>Arroz</i>	<i>2</i>	20-07-010	0.5	13:15	15:15	2:00	28°C	99°C	24°C
<i>Pollo</i>	<i>2.5</i>	21-07-010	0.5	12:20	14:00	1:40	28°C	98°C	23°C
<i>Cuero</i>	<i>2</i>	19-07-010	2	09:45	12:15	2:00	24°C	100°C	20°C



Figura 5.10: Cocción de arroz



Figura 5.11: Cocción de papa

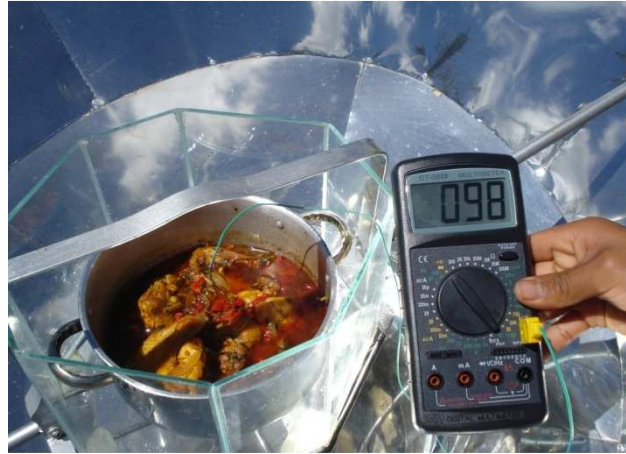


Figura 5.12: Cocción de pollo



Figura 5.13: Cocción de cuero



Figura 5.14: Huevo Frito

5.4.1 TABLA Y GRAFICO DE EFICIENCIAS DEACUERDO A UN COLECTOR SOLAR PARABÓLICO DE REVOLUCIÓN SIN PÉRDIDAS.

Tabla 5.9: Eficiencias de colectores parabólicos de revolución, incluidos los datos del construido en la UNL 2010.

<i>Tipo de colector parabólico de revolución</i>	<i>Δ temperatura °C</i>	<i>energía (W*hr)</i>	<i>Rendimiento de colectores parabólicos de revolución para la ciudad de Loja</i>
Perfecto	135	316	100%
De diseño	80	186	59%
cotruido en la UNL 2010; con hidroseguimiento y abs. sin cobertor de vidrio	60	141	44%
Construido en la UNL 2010, con hidroseguimiento y abs. con cobertor de vidrio	80	187	59%
colector de referencia (optimizado su rendimiento) (lease punto 1.2.2)			60%

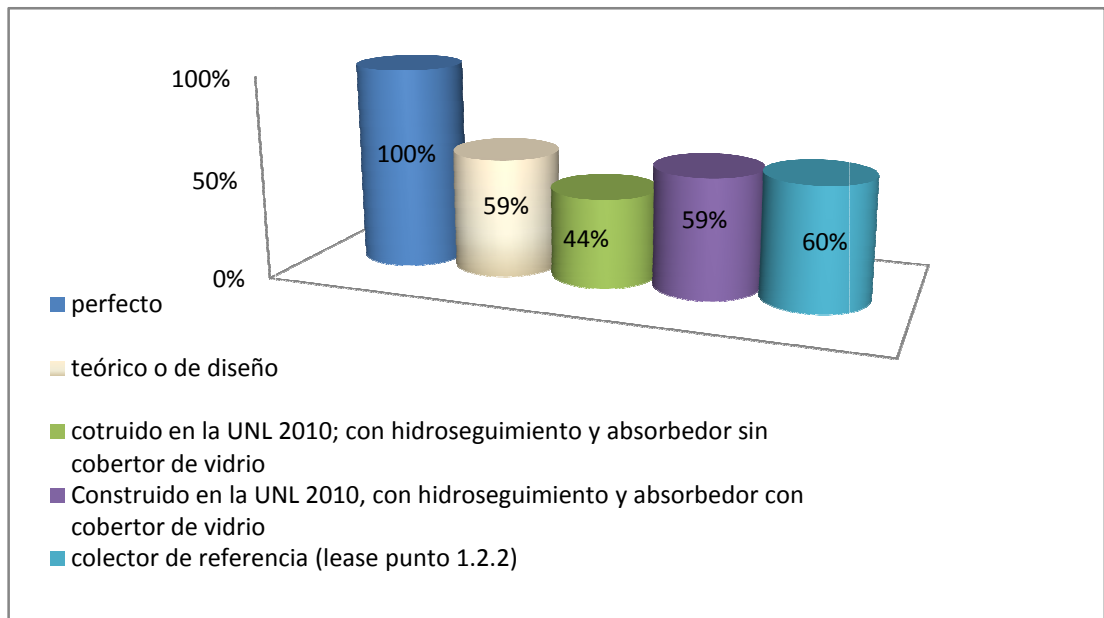


Figura 5.15: Eficiencias de colectores solares parabólicos de revolución, incluidos los datos del construido en la UNL 2010.

6. DISCUSIÓN

Nuestra cocina solar parabólica de revolución es aplicable en la ciudad de Loja en tiempo continuo gracias a que todo rayo solar emitido en la cocina parabólica es reflejado a su foco, teniendo su mejor eficiencia en los meses de verano y se la diseñó así porque aunque en el invierno hay mayores radiaciones por cada m^2 , en el verano hay más horas de sol.

El hidroseguidor nos permite seguir de mejor manera el sol, aumentando así la eficiencia de la cocina en comparación a otras sin este sistema, el promedio de horas de sol en nuestra ciudad es de 7 horas por lo tanto el hidroseguidor fue diseñado y construido bajo este parámetro.

Así mismo se realizó el monitoreo en dos condiciones la una con olla/absorbedor con cubierta de vidrio y la otra sin esta, habiendo una ventaja de $20^{\circ}C$ para la primera. El monitoreo sirvió como base para la evaluación del concentrador parabólico/cocina parabólica. La evaluación de nuestra cocina se la hizo por medio del método de régimen estacionario.

Esto nos permitió determinar la eficiencia óptica y el coeficiente global de pérdidas, ya que aunque antes se da un rendimiento geométrico de 25% para toda cocina parabólica, el resto de pérdidas es muy difícil de determinar por lo tanto se las determina “in situ” y el método del régimen estacionario nos ayuda a ello.

El calor requerido de diseño de $186,08W/hr$ para una masa de agua de 2kg, se lo logró obtener utilizando el cobertor de vidrio para la olla/absorbedor, una temperatura de $90,73^{\circ}C$ estabilizada para un régimen de 2 hrs, las suficientes para cocinar alimentos. Por lo tanto el rendimiento del sistema de 15%.

Cabe mencionar que se logró temperaturas de alrededor de $91^{\circ}C$, $97^{\circ}C$ y $98^{\circ}C$ en la cocción de algunos alimentos como la papa, arroz y pollo respectivamente.

En cuanto al rendimiento, del hidroseguimiento viene determinado por el experimento de Mariotte o “Frasco de Mariotte” que nos da un caudal continuo, al cual se lo regula por medio de un orificio en la salida del tanque de descarga.

El cálculo y diseño se dio en los plazos programados, pero el mayor inconveniente radica en que hay muy poca información sobre colectores de concentración de revolución, la mayoría se inclina más por los colectores cilíndricos parabólicos o “CCP” utilizados como calentadores de agua y; del comportamiento del “Frasco de Mariotte” en pequeños orificios.

La construcción de la cocina solar y su adaptación al hidroseguidor ha durado alrededor de 5 meses, se priorizó la adquisición de materiales que existan en la localidad y en el país en ese orden, como el acero inoxidable para la captación y reflexión de los rayos solares, los baldes herméticos y el equipo del sistema automático de retorno. Aun así se ah desarrollado el proyecto de acuerdo a los parámetros de diseño determinados.

7. CONCLUSIONES

- ✚ A través de una amplia revisión de información y un minucioso análisis del sistema propuesto en principio, nos ha permitido la caracterización de los componentes de las cocinas solares parabólicas (concentrador solar parabólico de revolución) e hidroseguidores solares.
- ✚ Los datos de la radiación solar obtenidos en la estación meteorológica de la “Universidad nacional de Loja” sector “la Argelia”, la demanda para una familia de cuatro personas, las horas de trabajo del equipo y por supuesto la experimentación; fueron esenciales para lograr el diseño de nuestra cocina solar parabólica accionada por hidroseguidor.
- ✚ El rendimiento máximo de toda cocina parabólica (no paraboloide) de revolución; es del 25% de la radiación local de acuerdo a las horas de trabajo; y de este resultado se ha logrado captar con colectores de este tipo hasta un 60% (con seguimiento y cobertores de vidrio) dándonos como resultado una eficiencia a alcanzar de 15% (por supuesto con relación a la radiación incidente); misma que se logro en nuestro presente trabajo.
- ✚ La construcción y la posterior utilización de un sistema como del hidroseguimiento en una cocina parabólica, para lugares con solo dos estaciones climáticas (invierno y verano) como el nuestro, es importante y suficiente; por ser gratuito, y; por poder adaptarlo cambiando el giro de las poleas.
- ✚ La cocina parabólica de concentración alcanza altas temperaturas pero así mismo tiene muchas pérdidas; por lo que se hace necesario la utilización de cobertores de vidrio para el absorbedor, que en nuestro caso permitieron una diferencia de temperatura de salida de 20°C más, con relación al mismo equipo sin este cobertor.
- ✚ Para un buen funcionamiento del hidroseguidor la descarga tiene que ser constante y esto se pudo lograr a través del Experimento de Mariotte.
- ✚ Además de permitirnos seguir al sol, el hidroseguidor con experimento de Mariotte funciona gratuitamente, aunque para el retorno del agua en nuestro equipo utilizamos una bomba. Pero este trabajo se lo puede hacer manualmente lo que significa un gasto económico, nulo.

8. RECOMENDACIONES

- ✚ Para mejorar la captación de energía en procesos que necesiten un seguimiento total del sol se debe utilizar otro tipo de seguidores como el de tipo electrónico de doble eje, por lo que se podría emprender en su estudio para un siguiente trabajo investigativo.

- ✚ La repentina lluvia y el viento de la ciudad de Loja hace que las pérdidas de calor se hagan altas (sobre todo cuando no se utiliza un cobertor para el absorbedor), por lo que se podría considerar la valoración en algunos lugares de la provincia.

- ✚ Aunque la cocina solar parabólica tiene su captador hecho de acero inoxidable, la estructura y algunos elementos del equipo se deben mantener cubiertos en días de lluvia.

- ✚ Es recomendable la utilización de gafas para evitar deslumbramientos de la cocina parabólica; así también de guantes para la manipulación de la olla por sus elevadas temperaturas.

- ✚ Se aconseja cambiar el agua por lo menos una vez cada mes y mantener los recipientes tapados.

9. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- Alfonso C, A., & Rodríguez V, L. (1985). *Alternativas Energéticas*. México: FCE-CONACYT.
- Almanza, R., & Muños, F. (2003). *Ingeniería de la energía solar*. Mexico: Cromocolor S.A. De C.V. 2003.
- Argüelles, K., Parrondo, J., & Fernandez, J. (2005). *Prácticas de Mecánica de Fluidos*. Oviedo: Departamento de Energía, Universidad de Oviedo.
- Bravo, C., & Sacari, E. (2 al 6 de Noviembre de 2009). Evaluación de un Concentrador Cilíndrico Parabólico (CCP). *XVI Simposio Peruano De Energía Solar; Universidad Nacional Jorge Basadre Grohamann* . Tanca, Perú: APES Asociación Peruana de Energía Solar; Centro de energías renovables de Tanca (CERT).
- CIE. (Corporación para la investigación energética). (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. Quito.
- Díez, P. F. (2005). *Procesos Termosolares en baja, media y alta Temperatura*. Cantabria: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria.
- Fernandez Díez, P. (2003). *Mecánica de Fluidos*. Cantabria: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética; Universidad de Cantabria.
- Gonzaga, M., Orozco, L., & Orellana, E. (2005). *"Informe de la construcción y monitoreo de una cocina solar"*. Loja: Trabajo de investigación formativa, Ingeniería Electromecánica, Universidad Nacional de Loja.
- Lalanguí, E., & Gonzáles, C. (2005). *"Construcción de un prototipo de cocina solar parabólica utilizando materiales de construcción accesibles en cualquier lugar"*. Loja: Trabajo de investigación formativa. Ingeniería en Electromecánica. Universidad Nacional de Loja.
- O'Keto D, M. P. (2007). *Pre_diseño de una Estación Fotovoltaica accionada con hidroseguidor en Régimen Autónomo*. Moa Cuba: Instituto Superior Minero-Metalúrgico.
- Ré, A. (2003). *Cocinar con el sol*. Espinar Yauri: Centro de formación campesina

CFC.

- Sarmiento, J. (1980). *Energía Solar, aplicaciones e ingeniería*. Valparaiso: Ediciones Universitaria de Valparaiso.
- Shneider, M. G. (1999). *Tecnología de control Industrial*. España: Shneider. Electric. S.A.

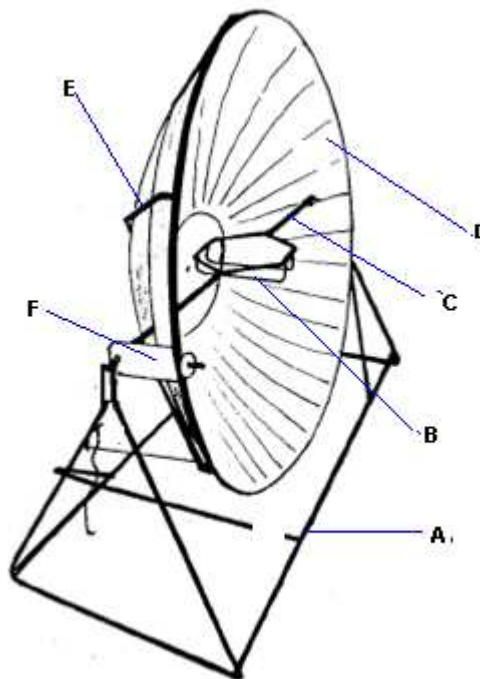
INTERNET:

- www.seguidorsolar.org/cas/index.html.

10. ANEXOS

ANEXO A

Diagrama de una Cocina solar parabólica



A: Estructura de soporte de la cocina

B: Parrilla

C: Eje

D: Espejo Reflector

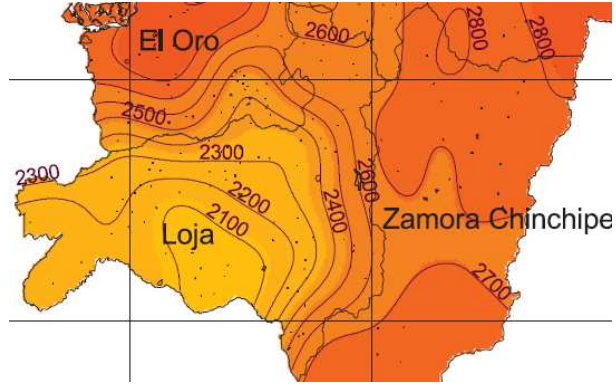
E: Estructura parabólica de la cocina

F: Mecanismo de rotación de la cocina

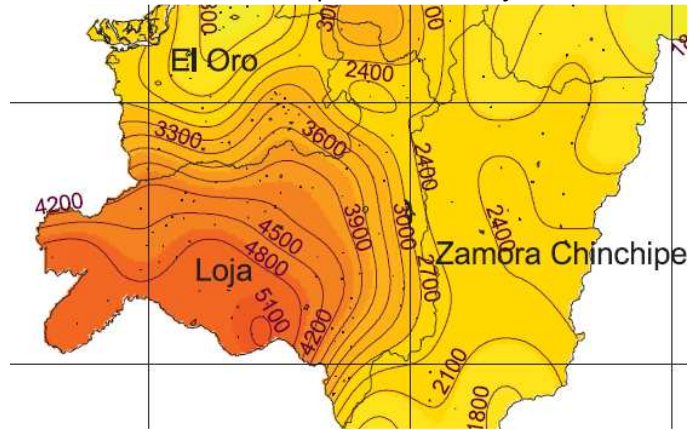
ANEXO B

Diagramas de Insolación difusa, directa y global promedios para La provincia de Loja (CIE. (Corporación para la investigación energética), 2008)

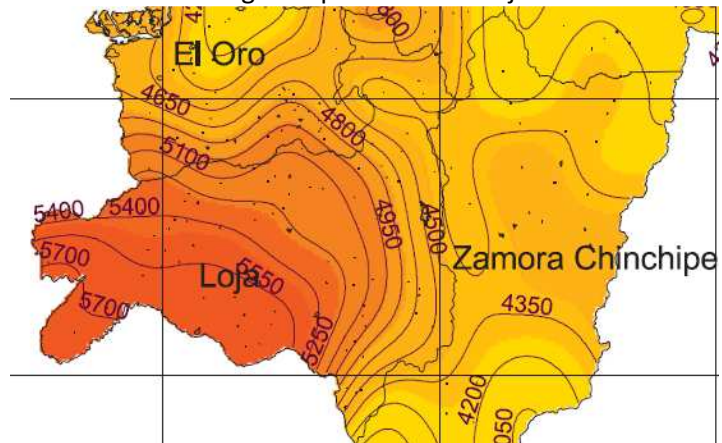
Insolación difusa promedio en Loja -2008



Insolación directa promedio en Loja-2008



Insolación global promedio en Loja - 2008



ANEXO C

Datos meteorológicos en la ciudad de Loja año 2009

2009				
Temperatura °C	Precipitación (mm)	Irradiación MJ/d-m ²	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	EVT mm/día
16,1	132,9	13,3	1,1	2,75
16,1	90,2	13,3	1,8	2,85
16,5	134,4	16,3	1,3	3,24
16,6	92,1	13,7	2,0	3,02
16,4	43,3	15,9	1,6	3,15
15,9	29,8	13,7	3,1	3,08
15,5	55,7	14,4	3,8	3,06
15,8	61,9	15,8	3,0	3,19
16,3	55,2	16,6	4,0	3,47
16,9	69,7	18,2	1,5	3,58
16,8	26	18	1,7	3,61
17,3	118,4	17,6	1,5	3,52
PROMEDIO 16,35		PROMEDIO 15,6		

Datos: Estación meteorológica de la Universidad Nacional de Loja**ANEXO D**

Temperaturas por experimentación; del agua en la ciudad de Loja

T°C- Loja	
Temperatura del agua a temperatura ambiente	15°C
Temperatura a la que hierve el agua	95°C

ANEXO E
Calores específicos de algunos materiales a 25°C

CALOR ESPECÍFICO (Cp) A 25 °C		
SUSTANCIA	cal/g °C	J/kg K
Aire	0,24	1.010
Aluminio	0,22	900
Alcohol etílico	0,59	2.450
Oro	0,03	130
Granito	0,19	800
Hierro	0,11	450
Aceite de oliva	0,47	2.000
Plata	0,06	240
Acero inoxidable	0,12	510
Agua (líquida)	1,00	4.180
Madera	0,42	1.760

ANEXO F
Propiedades físicas de materiales sólidos acumuladores

Material	Densidad	Capacidad calorífica (por unidad de masa)	Capacidad calorífica (por unidad de volumen)	Conductividad Térmica
	kg / m ³	kJ / kg C	kJ / m ³ C	W / m C
Alúmina	3570	0.837	2988	35,5
Aluminio	2710	0.902	2444	236
Concreto	2880	0,653	1881	1,09
Granito	2700	0.798	2155	3,2
Hierro Fundido	7210	0,46	3317	83
Piedra Caliza	2180	0,75	1635	1,5
Plomo	11210	0,13	1457	35

ANEXO G

Densidad y conductividad térmica de materiales aislantes

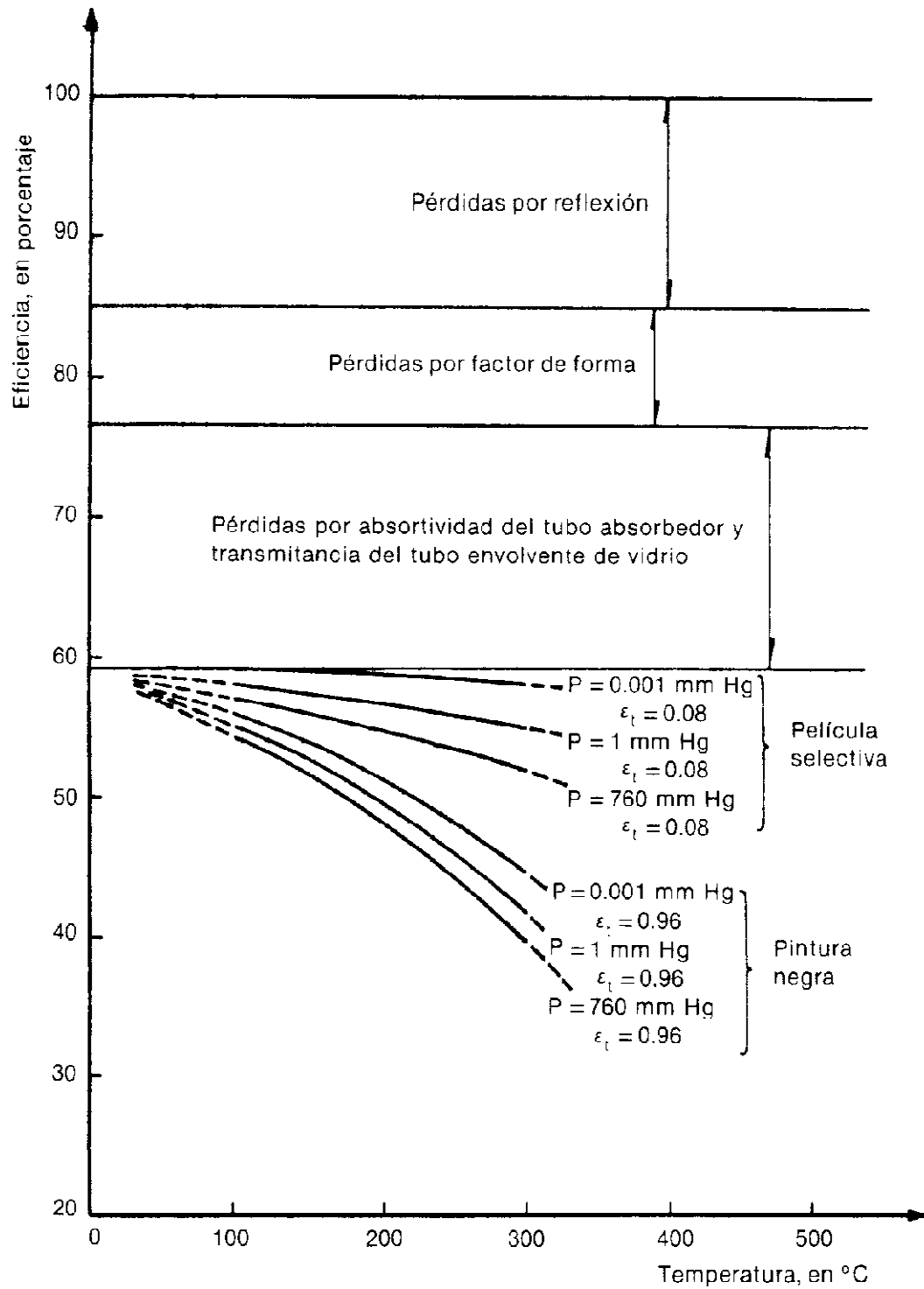
Material	Densidad (kg / m³)	Conductividad Térmica (W / m C)
Poliestireno expandido	14,5	0,036
Poliestireno expandido	19,7	0,033
Poliestireno expandido	24,7	0,032
Lana de vidrio	25	0,036
Lana de vidrio	50	0,036
Lana de vidrio	100	0,041
Espuma de poliuretano	30	0,026
Vermiculita suelta	80-130	0,07
Perlita suelta	70	0,042
Granulado volcánico	300	0,1
Granulado volcánico	600	0,16
Granulado volcánico	800	0,21
Arena seca	1300	0,6

ANEXO H

Transmitancias globales y coeficientes de extinción

Material	τ	L / 1000	K
	adimen.	mm	1 / m
Acrílico	0,88	3,00	42,61
Fibra de vidrio	0,80	2,60	85,82
Policarbonato	0,76	8,00	34,30
Policarbonato	0,83	4,00	46,58
Vidrio ordinario	0,84	3,20	54,49
Vidrio ordinario	0,81	4,00	52,68
Vidrio Pyrex	0,86	6,00	25,14

ANEXO I
Eficiencia vs. Temperatura de un colector cilíndrico parabólico



ANEXO K



Figura 10.1: Equipo terminado (hidroseguidor solar con cocina parabólica)

ANEXO L
PLANOS