

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UNA
COCINA SOLAR PARABÓLICA DE USO DOMESTICO**

PRESENTADO POR:

JOSÉ SAMUEL CASTRO PINEDA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO

:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR

:

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UNA
COCINA SOLAR PARABÓLICA DE USO DOMESTICO**

Presentado por :

JOSÉ SAMUEL CASTRO PINEDA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor

:

ING. FRANCISO ALFREDO DE LÉON TORRES

San Salvador, noviembre de 2014

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor

:

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

DEDICATORIA.

A mi madre María Elena Pineda de Castro a la cual admiro mucho por su gran sabiduría, que siempre ha estado en los momentos más difíciles para darme sus valiosos consejos

A mi padre José Rid Castro Aguirre por ser tan comprensivo siempre y darme su apoyo durante todos mis estudios

A mis queridas hermanas Andrea, Ericka, y Verónica Castro, las cuales han sido una de mis inspiraciones que me han permitido culminar mi carrera.

A mi novia Ingrid Roxana Álvarez Feusier por siempre estar a mi lado y ser mi apoyo incondicional en todo momento y lugar.

A mis compañeros y amigos con los que compartí muchas desveladas estudiando y a todos los que en su momento contribuyeron para que pudiera culminar mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por brindarme vida, salud y perseverancia para poder culminar mis estudios universitarios.

A la Universidad de El Salvador, la alma mater que me acogió en su seno brindándome la oportunidad de estudiar en la mejor universidad de El Salvador.

A todos los Ingenieros Docentes, que contribuyeron a mi formación académica, que me apoyaron y me brindaron su ayuda durante todos mis estudios.

A mi asesor, Ing. Francisco Alfredo De León Torres, por todo su apoyo y paciencia durante el trabajo de graduación. Por su interminable entusiasmo y esfuerzo por formarme dentro de la ética profesional, y sobre todo por su amistad.

A todos los amigos y compañeros que contribuyeron a que este trabajo de graduación culmina exitosamente, al igual que una etapa más en mi vida.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES HISTORICOS.....	2
1.0 MARCO TEORICO	5
1.1 EL SOL	5
1.1.1 Energía solar.....	6
1.1.2 Radiación solar.....	7
1.1.3 Radiación que llega a la tierra.....	8
1.1.4 Radiación solar que incide en El Salvador.....	10
1.1.5 Tipos de radiación solar.....	12
1.1.6 Radiación térmica	13
1.1.7 Horas de sol, estaciones y zonas horarias	15
1.1.8 Ley de reflexión y refracción	18
1.2 COCINAS SOLARES	20
1.2.1 Principio de funcionamiento de las cocinas solares	22
1.2.2 Cocina por acumulación	23
1.2.3 Cocina por concentración	24
1.2.4 Tipos de cocinas solares	25
1.2.5 Horno solar	28
1.2.6 Cocina mixta o de panel (Cookit).....	31
1.2.7 Cocina parabólica	32
1.2.8 Cocina Devos o Primrose	33
1.2.9 Secadores solares	34
1.3 COCINA SOLAR PARABOLICA	35
1.3.1 Tipos de cocina solar parabólica	36
1.3.2 Captación de calor mediante principio de la parábola	38
1.3.3 Ecuación característica de la parábola.....	41
1.3.4 Posicionamiento respecto al Sol.....	43
1.3.5 Riesgos térmicos derivados de su uso.....	45

1.4	NORMATIVA TERMICA DE LAS COCINAS SOLARES	46
1.4.1	Sociedad americana de ingenieros agrónomos (ASAE s580)	48
1.4.2	Oficina de normas de la india	50
1.4.3	Comité europeo de investigación sobre la cocina solar	52
1.5	IMPACTO SOCIOAMBIENTAL	55
2.0	DISEÑO DE LA COCINA SOLAR PARABOLICA	57
2.1	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	57
2.2	DISEÑO PROPUESTO	58
2.3.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE DE LA COCINA	60
2.4.	DISEÑO DEL COLECTOR	62
2.4.1.	Estructura del colector solar	65
2.4.2.	Cubierta de la estructura del colector	67
2.4.3.	Recubrimiento reflectivo del colector	69
2.2.4.	Balancines	73
2.6	FIJACIÓN Y ORIENTACIÓN AL SOL	74
2.6.1	Placa de fijación y orientación al sol	74
2.6.2	Platina de fijación.	76
2.6.3	Rodos para rotación	77
2.6	SISTEMA DE FIJACIÓN	78
2.7	ENSAMBLE DE LA COCINA	79
2.8	TIPO DE SOLDADURA Y ELECTRODO PARA EL ENSAMBLE	80
3.0	CONSTRUCCIÓN DE LA COCINA SOLAR	84
3.1	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LA COCINA	84
3.2	CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR.	89
3.3	RECUBRIMIENTO REFLECTIVO DEL COLECTOR	93
3.4	MATERIALES PARA LA CONTRUCCÓN Y COSTOS DE LA COCINA	96
4.0.	PRUEBAS DE LA COCINA SOLAR	97
4.1	PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO	97
4.2	OBTENCIÓN DE DATOS	99
4.3	REALIZACIÓN DEL ENSAYO	101

4.4. RADIACIÓN NORMAL DIRECTA -----	108
5.0 ANALISIS DE RESULTADOS-----	120
5.1. COEFICIENTE DE CONCENTRACIÓN -----	120
5.2 POTENCIA DE CALENTAMIENTO -----	122
6.0. CONCLUSIONES-----	146
7.0. RECOMENDACIONES-----	149
7.1. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA COCINA-----	150
7.1.1. Medidas de seguridad al usar cocinas solares parabólicas -----	151
8.0 TRABAJOS FUTUROS -----	153
9.0 REFERENCIAS -----	154
10.0 ANEXOS-----	155

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 Coordenadas de la parábola.-----	64
TABLA 2.2. Cantidad de espejos necesarios para el recubrimiento del paraboloides según sus medidas-----	72
TABLA 3.1 Construcción de la estructura base de la cocina.-----	85
TABLA 3.2 Construcción de la estructura del colector.-----	90
TABLA 3.3 Construcción del recubrimiento reflectivo del colector.-----	94
TABLA 3.4. Materiales y costos de la cocina solar.-----	96
TABLA 4.1 Tabla recolectora de datos de ensayo.-----	100
TABLA 4.2 Contenido de la tabla de registro de datos.-----	100
TABLA 4.3. Día 1. Olla sin tapa.-----	102
TABLA 4.4. Día 2. Olla con tapa.-----	103
TABLA 4.5. Día 3, Olla sin tapa.-----	104
TABLA 4.6 Día 4. Olla con tapa.-----	105
TABLA 4.7. Día 5. Prueba con aceite olla sin tapa.-----	106
TABLA 4.8. Día 6. Prueba con aceite olla con tapa.-----	107
TABLA.4.9. Día 1 con radiación normal (olla sin tapa).-----	111
TABLA 4.10. Día 2. Radiación normal (olla con tapa).-----	112
TABLA 4.11. Día 3. Radiación normal (sin tapa).-----	113
TABLA 4.12. Día 4. Radiación normal (olla con tapa).-----	114
TABLA 4.13. Día 5. Radiación normal (aceite).-----	115
TABLA 4.14. Día 6. Radiación normal (aceite).-----	116

TABLA 5.1. Área de colector de la cocina.....	121
TABLA 5.2. Potencia de la cocina, día 1.....	126
TABLA 5.3. Potencia de la cocina, día 2.....	127
TABLA 5.4. Potencia de la cocina, día 3.....	128
TABLA 5.5. Potencia de la cocina, día 4.....	129
TABLA 5.6. Potencia de la cocina, día 5.....	130
TABLA 5.7. Potencia de la cocina, día 6.....	131
TABLA.5.8. Potencia normalizada, día 1.....	136
TABLA.5.9. Potencia no normalizada, día 2.....	137
TABLA.5.10. Potencia no normalizada, día 3.....	138
TABLA.5.1.1 Potencia no normalizada, día 4.....	139
TABLA.5.12. Potencia no normalizada, día 5.....	140
TABLA.5.13. Potencia no normalizada, día 6.....	141
TABLA.5.14 Resumen de potencia, potencia normalizada y temperatura máxima alcanzada por la cocina en los diferentes días de ensayo.....	145

INDICE DE FIGURAS

FIG.1.1. Espectro de las longitudes de onda visibles por el ojo humano.-----	8
FIG.1.2. Radiación solar global horizontal anual en Centroamérica.-----	11
FIG.1.3. Tipos de radiación solar.-----	12
FIG.1.4. Espectro electromagnético.-----	14
FIG.1.5. Movimiento solar.-----	16
FIG.1.6. Ángulo solar.-----	16
FIG.1.7. Ángulo terrestre.-----	18
FIG.1.8. Reflexión de la luz.-----	19
FIG.1.9. Ley de refracción de la luz.-----	20
FIG.1.10. Fotografía de cocina solar implementada en Perú por ONG.-----	21
FIG. 1.11. Cocina solar por acumulación.-----	23
FIG.1.12. Fenómeno de concentración de una cocina solar parabólica.-----	25
FIG.1.13. Tipos de cocinas solares.-----	26
FIG.1.14. Temperatura de cocción de alimentos.-----	27
FIG.1.15 Partes principales de un horno solar.-----	29
FIG.1.16 Cocina de panel (cookit).-----	31
FIG.1.17. Cocina mixta DEVOS.-----	33
FIG.1.18. Secaderos solares.-----	35
FIG.1.19. Tipos de cocina solar parabólica.-----	37
FIG.1.20. Partes de una cocina solar parabólica.-----	37
FIG.1.21. Principio de la parábola.-----	39
FIG.1.22. Incidencia de una rayo de luz-----	40

FIG.1.23. Incidencia de un rayo de luz sobre superficie curva.-----	40
FIG.1.24. Incidencia de los rayos sobre el foco de la parábola.-----	41
FIG.1.25. Posicionamiento del sol en cada mes del año.-----	45
FIG.1.26. Ecuación de figura de mérito F1 de la norma india.-----	51
FIG.1.27. Ecuación de figura de mérito F2 de norma india.-----	52
FIG. 2.1 Partes de la cocina solar -----	60
FIG. 2.2. Estructura base de la cocina.-----	61
FIG. 2.3.Parabola de la cocina solar.-----	65
FIG. 2.4. Estructura del colector solar.-----	66
FIG. 2.5. Soporte de la estructura del colector.-----	66
FIG.2.6. Cobertura del colector solar.-----	68
FIG. 2.7. Cobertura del colector solar.-----	68
FIG. 2.8. Colector solar con cobertura.-----	69
FIG. 2.9. Distribución de espejos.-----	70
FIG. 2.10. Dimensiones de los espejos.-----	71
FIG. 2.11. Vista de colector con espejos.-----	72
FIG. 2.12. Balancines de la cocina.-----	73
FIG. 2.13. Placa de orientación solar.-----	75
FIG. 2.14. Platina de fijación.-----	76
FIG. 2.15.Rodos para la orientación al sol.-----	77
FIG. 2.16. Pasador para fijación de la cocina.-----	78
FIG. 2.17. Sistema de orientación de la cocina en vertical.-----	78
FIG. 2.18. Ensamble de la cocina solar parabólica.-----	80
FIG. 2.19. Diagrama para selección de soldadura.-----	81
FIG. 2.20. Esfuerzo a la flexión de la estructura.-----	83

FIG.3.1 (a) banco de cocina con medidas en mm. (b) banco de cocina con piezas numeradas.-----	86
FIG.3.2. Construcción de placa de orientación al sol.-----	87
FIG.3.3. Construcción de pletina de fijación.-----	88
FIG. 3.4. Parrilla de la cocina.-----	89
FIG. 3.5. Construcción de la estructura del colector solar de la cocina.-----	90
FIG.3.6. Soporte de la estructura del colector.-----	91
FIG.3.7. Construcción de balancines del colector.-----	91
FIG.3.8. Construcción de cobertura de la estructura del colector.-----	92
FIG.3.9. Colocación de cobertura del colector.-----	93
FIG. 3.10. Corte de espejos.-----	94
FIG.3.11. Colocación de cobertura reflectivo.-----	94
FIG.4.1. Ángulo de altura solar.-----	109
FIG. 4.2.Radiación directa normal.-----	110
FIG.4.3. Grafica de temperatura y radiación en función del tiempo, día 1.-----	117
FIG. 4.4. Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 2.-----	117
FIG.4.5. Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 3.-----	118
FIG. 4.6 Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 4.-----	118
FIG. 4.7. Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 5.-----	119
FIG. 4.8. Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 6.-----	119
FIG.5.1. Potencia y temperatura en función del tiempo, día 1.-----	132
FIG. 5.2. Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 2.-----	132
FIG.5.3. Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 3.-----	133
FIG.5.4. Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 4.-----	133
FIG.5.5 Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 5.-----	134

FIG.5.6. Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 6-----	134
FIG.5.7 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día -----	142
FIG.5.8 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 2.----	142
FIG.5.9 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 3.----	143
FIG.5.10 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 4.--	143
FIG.5.11 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 5.--	144
FIG.5.12 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 6.--	144

INTRODUCCIÓN

Según la organización mundial de la salud, en la actualidad la cocina tradicional provoca un alto nivel de contaminación en las viviendas y causa alrededor de 1.6 millones de muertes prematuras cada año, principalmente en mujeres y niños. También arrasa árboles, arbustos y otras plantas, causando erosión e inundaciones en regiones ya de por sí vulnerables.

Sin embargo, como opción alternativa, el uso de tecnologías que combinan la energía solar y la eficiencia energética, entre ellas la cocina solar, ayudan a un segmento creciente de la población mundial, en mayor medida en sitios rurales o con personas de bajos recursos económicos y ambientales.

La combinación de ollas solares, cestas aislantes y cocinas eficientes energéticamente puede reducir el uso de combustible en un 85 %, según establecen distintos especialistas en estas áreas de las energías renovables. Es por ello que este trabajo está dirigido a sustituir de forma parcial el uso de combustibles fósiles para la cocción de alimentos por medio de la utilización de la energía solar térmica en la cual se transforma la energía radiante del sol en energía térmica, y de este modo contribuir con el medio ambiente y con la salud de las personas que usan estos tipos de combustibles para la preparación de sus alimentos

Esta opción tecnológica aparece hoy día prácticamente como la única alternativa, en algunos países en vías de desarrollo, para resolver algunas de sus necesidades energéticas, pues las otras fuentes de energías presentan graves problemas de aprovisionamiento. En los países con mayores posibilidades energéticas también se ofrece como un sistema deseable de aplicar, por ofrecer una vía para avanzar en la solución de los problemas medio ambientales, nacidos a raíz de sus sistemas de hiper consumo energético centrado en los combustibles fósiles. Por estos motivos El Salvador está en un

lugar privilegiado hablando de ubicación solar y con la mayoría de personas viviendo en la pobreza, las cocinas solares serian un medio para mejorar su situación económica, social y ambiental de ellos y del país.

ANTECEDENTES HISTORICOS

En el año 1767 el franco suizo Horace de Saussure realizó los primeros experimentos con hornos solares de tipo caja para preparación de alimentos. La máxima temperatura lograda fue de 88° C y de acuerdo a sus anotaciones, cuando se le incorporó una superficie negra dentro de la caja, alcanzó los 160° C.

De Saussure predijo que "algún día este ingenio, que actualmente es pequeño, barato y fácil de fabricar, puede ser de gran utilidad". Este científico fue un visionario, a pesar de que sus experimentos quedaron en el olvido por un largo tiempo ya que hasta principios del siglo XX las técnicas para cocinar se basaron en asar, cocer y freír, y la leña continuaba con su reinado [1].

El invento de Papin volvió a florecer en el año 1810. En ese entonces, Napoleón estaba preocupado por alimentar a sus tropas con un sistema de alimentos en conserva. El cocinero Nicholas Appert hizo unas modificaciones a la olla de Papin y obtuvo un sistema para cocinar, esterilizar y embotellar alimentos [1].

Ya que invocamos a Napoleón no se puede olvidar de Auguste Mouchot quien diseñó cocinas solares portátiles para el ejército francés. Empleó cocinas de concentración del tipo parabólico cilíndrico y relata cómo hizo un cocido de legumbres con carne de buey. Pioneros como el astrónomo inglés John Herschel también aportaron a la causa de las cocinas solares pues utilizó una en su expedición a Sudáfrica en 1830. También se debe mencionar que existen referencias de un restaurante chino que por esa época servía comida cocinada con el Sol [1].

Desde mediados del siglo XX otras fuentes energéticas como el petróleo, el gas natural y la electricidad fueron adoptadas acelerada y masivamente por una sociedad cada vez más consumista y estimulada para disminuir el trabajo y el tiempo dedicado a las tareas de la cocina, contando con el apoyo del desarrollo de un sinnúmero de electrodomésticos [1].

Con esta lógica en 1967 salió a relucir el horno de microondas, invento del Ingeniero físico norteamericano Percy Spencer. Las ollas a presión (legado de Papin) se hacen más completas y rápidas. En 1990 la placa de inducción hace su aparición. Pero también a mediados de los años cincuenta y en especial a partir de los años setenta con la crisis energética, el desarrollo de la cocina solar se incrementa [1].

En Latinoamérica se registran los primeros experimentos con cocción solar en 1940. Pioneros como la Dra. María Telkes hicieron grandes aportes. Telkes diseñó innovadores modelos para hornos solares entre 1950 y 1970, que inspiraron a decenas de investigadores en todo el mundo [1].

En 1960 un estudio de las Naciones Unidas llega a la siguiente conclusión: "las cocinas solares son un instrumento idóneo y solamente es necesario un poco de voluntad y una cierta adaptación de las costumbres para poder iniciar su utilización a gran escala" (citado por "Cocinas solares. Manual de uso y construcción Censolar. España, 1994)

En 1980, en Chile se hacen las primeras incursiones sociales de cocinas solares con tecnologías apropiadas [1].

En 1987 se crea una de las ONGs pioneras: la Solar Box Cookers Internacional que en el año 1992 organiza la Primera Conferencia Mundial sobre la Cocina Solar, un acontecimiento que reunió a investigadores de 18 países.

En 1994 solar cookers reúne a la mayoría de los grupos y agentes de difusión social de la tecnología en Guatemala y allí el grupo latinoamericano

acuerda formar RECOSOL: la Red Latinoamericana de Cocinas y Hornos Solares, con más de 16 participantes de toda América[1].

En el 2000 la "Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos" (RICSA) sistematizó el trabajo científico académico realizado en cocinas solares. Esto permitió fijar estándares de evaluación y medición, acordar metodologías de trabajo y compartir ideas en torno al mejoramiento de las tecnologías disponibles.

En el año 2003 el Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas (CEUTA) comienza a dictar cursos en los que se enseña a construir cocinas solares. A fines de ese año y durante todo el 2004, se realizaron talleres en Montevideo y varias localidades del interior. Para dar a conocer el resultado de todo ese proceso de capacitación, en el año 2005 se realizó el Primer Encuentro de Energía Solar en Uruguay[1].

Como corolario de este fugaz y arriesgado vuelo de pájaro por la historia de la cocina, se llega a un complejo siglo XXI, en el cual la mayoría de las innovaciones modernas en esta área se ven cuestionadas en su sostenibilidad, puesto que son parte de un estilo de vida consumista y funcionan en base al agotamiento de los recursos energéticos [1].

1.0 MARCO TEORICO

En el primer capítulo de este trabajo se estudiara la energía solar y las cocinas solares, ya que es de mucha importancia tener un conocimiento básico de la energía solar y su comportamiento, para establecer de forma correcta un diseño de cocina solar parabólica que sea eficiente.

1.1 EL SOL

Es una masa de materia gaseosa caliente que irradia a una temperatura efectiva de unos 6000°C, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía, esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar. De acuerdo a la distribución espectral de la radiación de esta fuente de energía medida fuera de la atmósfera terrestre, aproximadamente la mitad está, en la región visible del espectro, cerca de la otra región infrarroja y un pequeño porcentaje de la región ultravioleta.

La radiación del Sol es de 63, 450,720 w/m². Si se supone que el Sol emite en todas direcciones y se construye una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, es decir que tenga un radio de 149.5 millones de km, se podrá determinar cuál es la radiación en ese punto.

El Sol está a una distancia de 149,490,000 kilómetros de la Tierra, y la constante solar, esto es, la intensidad media de radiación medida fuera de la atmósfera en un plano normal a la radiación es aproximadamente 1.94 cal/min.m³. O lo que es lo mismo 1,366 w/m²[2].

1.1.1 Energía solar

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

La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que pueden ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se clasifican en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios con ventilación natural[3].

La energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

Los colectores de energía solar térmica están clasificados como colectores de baja, media y alta temperatura. Los colectores de baja temperatura generalmente son placas planas usadas para calentar agua. Los colectores de temperatura media también usualmente son placas planas usadas para calentar agua o aire para usos residenciales o comerciales. Los colectores de alta temperatura concentran la luz solar usando espejos o lentes y generalmente son usados para la producción de energía eléctrica. La energía solar térmica es diferente y mucho más eficiente que la energía solar fotovoltaica, la que convierte la energía solar directamente en electricidad[3].

1.1.2 Radiación solar

La radiación solar, es el “flujo de energía que se recibe del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta)”; es en estos tres tipos en los que se divide no sólo la luz solar, sino cualquier tipo de luz.

La luz se va a caracterizar por las longitudes de onda (resultado del cociente entre la constante de velocidad de propagación de la luz en el vacío “ c ” y la frecuencia), donde su valor es inversamente proporcional al de la frecuencia de dicha onda, por lo que las longitudes de onda más grandes van a ser consecuencia de las frecuencias más bajas.

En la escala correspondiente a la relación de ondas anteriormente descritas, situamos a la luz ultravioleta como la onda de mayor frecuencia, y por tanto, de menor longitud de onda, y la luz infrarroja, en el extremo opuesto. Si se ve a escala de valores, el espectro de luz visible por el ojo humano va a quedar encerrado por los valores exactos de 380 a 780 nanómetros (lo que equivale a 10^{-7} metros), según se puede ver en la gráfica adjunta [3].



FIG.1.1. Espectro de las longitudes de onda visibles por el ojo humano.

Aunque las ondas ultravioletas (UV) sean invisibles, esto no quiere decir que no influyan en la Tierra, puesto que son indispensables para muchos organismos vivos, pero no así para el ser humano, ya que son altamente perjudiciales. Este efecto se ve contrarrestado gracias a la atmósfera.

Cuando la luz del Sol llega a nuestra atmósfera terrestre, ésta contiene cerca de un 10 por ciento de los rayos UV, un 50 por ciento de luz visible y un 40 de luz infrarroja. A parte de estos porcentajes, la distribución energética que se recibe de estas tres bandas va a ser diferente. De toda la energía que se recibe de los rayos solares, el 7 por ciento va a corresponder a los rayos ultravioletas, el 47 a la luz visible y el 46 a los rayos infrarrojos. [3]

Como se ve, la consecuencia directa de la atmósfera es la de absorber parte de la radiación solar que llega hasta la Tierra, sobre todo la más dañina, como la UV (de ahí en pequeño aporte energético en forma de calor que da a la Tierra), pero no es el único efecto que de ella se deriva.

La variación de la radiación solar sobre una superficie cualquiera va a ser consecuencia directa de varios factores como son: las condiciones atmosféricas y ambientales del lugar, su situación geográfica y el movimiento de la Tierra.

1.1.3 Radiación que llega a la tierra

La Tierra recibe 174 petavatios de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30% regresa al espacio, mientras que las nubes, los océanos y las masas terrestres absorben la restante. El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre

lo ocupa principalmente la luz visible y los rangos de infrarrojos con una pequeña parte de radiación ultravioleta.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. Esta potencia se denomina irradiación. Nótese que en términos globales prácticamente toda la radiación recibida es reemitida al espacio (de lo contrario se produciría un calentamiento abrupto). Sin embargo, existe una diferencia notable entre la radiación recibida y la emitida.[3]

La radiación es aprovechable en sus componentes directos y difusos, o en la suma de ambos. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La bóveda celeste diurna emite la radiación difusa debido a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La irradiación directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1366 W/m^2

La radiación absorbida por los océanos, las nubes, el aire y las masas de tierra incrementan la temperatura de éstas. El aire calentado es el que contiene agua evaporada que asciende de los océanos, y también en parte de los continentes, causando circulación atmosférica o convección. Cuando el aire asciende a las capas altas, donde la temperatura es baja, va disminuyendo su temperatura hasta que el vapor de agua se condensa formando nubes. El calor latente de la condensación del agua amplifica la convección, produciendo fenómenos como el viento, borrascas y anticiclones. Para la fotosíntesis de las plantas verdes la energía solar se convierte en energía química, que produce

alimento, madera y biomasa, de la cual derivan también los combustibles fósiles [3].

1.1.4 Radiación solar que incide en El Salvador

El Salvador está situado en la parte Norte del cinturón tropical de la Tierra, San Salvador, la capital de El Salvador ocupa la latitud y la longitud de 13° 42' N, 89° 11' W respectivamente, de tal modo que en Noviembre y Octubre se ve influenciado principalmente por vientos del Noreste y ocasionalmente, por vientos helados que traen aire fresco originado en regiones polares de Norteamérica, pero calentado en gran medida al atravesar el Golfo de México en su camino a Centroamérica.[4]

La latitud y longitud de El Salvador da al país un clima que comprende de 2 temporadas pronunciadas, la estación seca que dura de noviembre a abril y la estación húmeda que cubre los meses de mayo a octubre. Durante la estación lluviosa las precipitaciones son abundantes y muy pesadas. Es de esta lluvia que depende la industria principal de El Salvador, que es la agricultura.

El clima es generalmente cálido casi en todo el país, en varios lugares hay temperaturas templadas por la altitud, sin embargo, en su mayoría la temperatura se sitúa alrededor de los 32° C.

Según la altura en metros sobre el nivel medio del mar, se distinguen las siguientes tres zonas térmicas en El Salvador, de acuerdo al promedio de la temperatura ambiente a lo largo del año.[4]

1. De 0 a 800 metros: Promedio de temperatura disminuyendo con la altura de 27 a 22 °C en las planicies costeras y de 28 a 22 °C en las planicies internas.

2. De 800 a 1,200 metros: Promedio de temperatura disminuyendo con la altura de 22 a 20 °C en las planicies altas y de 21 a 19 °C en las faldas de montañas.
3. De 1,200 a 2,700 metros: De 20 a 16 °C en planicies altas y valles, de 21 a 19 °C en faldas de montañas y de 16 a 10 °C en valles y hondonadas sobre 1,800 metros.

El Salvador cuenta con un gran potencial energético en lo que ha radiación solar se refiere. La radiación solar en horas del mediodía solar en El Salvador tiene un valor que oscila en el intervalo de 700 KWh/m² y 900 KWh/m²(fig.1.2), lo que lo hace el país con las mayores posibilidades de desarrollo de esta energía renovable a nivel de Centroamérica. [4]

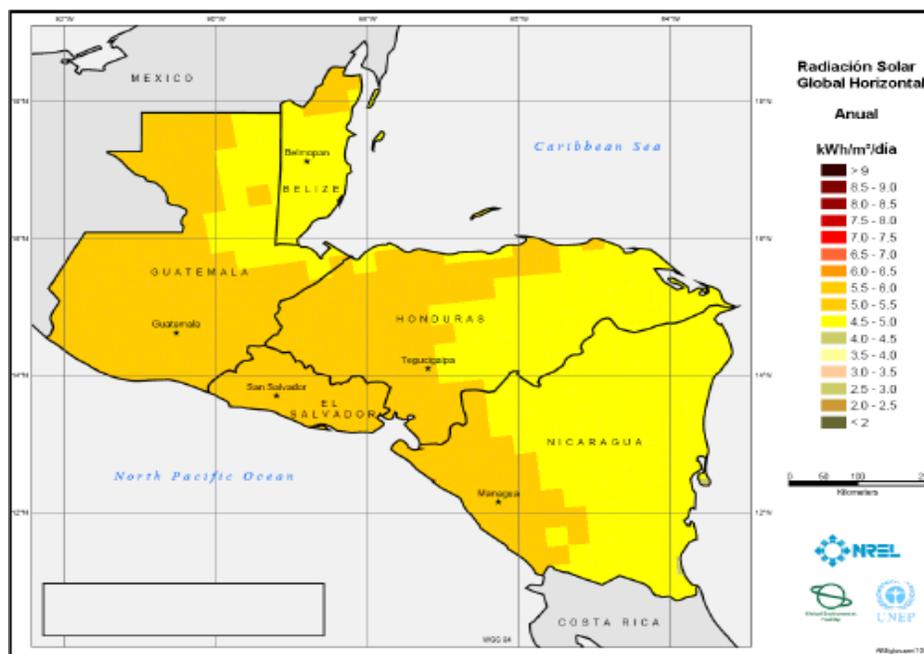


FIG.1.2. Radiación solar global horizontal anual en Centroamérica [4].

1.1.5 Tipos de radiación solar

Toda la radiación que llega a la superficie terrestre, ya sea en forma de radiación directa o indirecta, va a ser absorbida por el suelo, el agua o diferentes organismos. Toda esta energía que ha sido absorbida se va a repartir en la que luego es reflejada de nuevo hacia la atmósfera y en la que se reirradia en forma de calor.

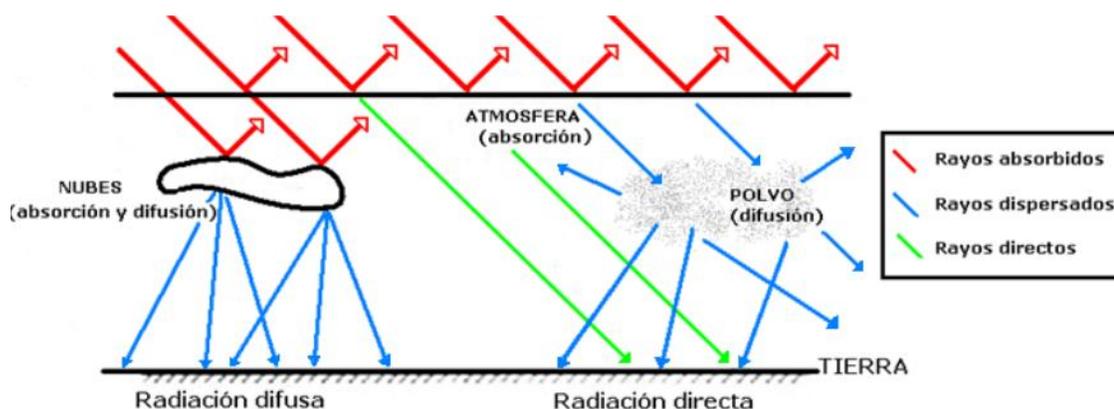


FIG.1.3 Tipos de radiación solar

Para conocer los tipos de rayos que inciden sobre la vida en la superficie terrestre se tiene que saber en qué categorías están clasificadas en función de sus propiedades.

- **Radiación Absorbida:**

Los primeros rayos que inciden sobre la Tierra, y los cuales no tienen ningún efecto sobre nosotros, son los rayos absorbidos. El fenómeno de la absorción se va a producir de forma directa sobre la radiación ultravioleta mediante el ozono, y sobre la infrarroja mediante el vapor de agua, el dióxido de carbono o el humo entre otros gases presentes en la atmósfera.

Una vez se sabe cuáles son los rayos no incidentes, se puede estudiar aquellos que sí afectan a la vida en la Tierra. La primera clasificación que tiene es la que diferencia a los rayos directos y a los indirectos. [3]

- **Radiación Directa:**

La radiación directa va a ser consecuencia de aquellos rayos del Sol que llegan hasta la Tierra de forma directa, sin verse afectados por fenómenos de reflexión o refracción desde el foco solar hasta la superficie terrestre. Aunque a simple vista el ojo humano no lo pueda diferenciar, no todos los rayos que pasan a través de la capa exterior de la atmósfera llegan a nosotros de forma directa.

- **Radiación Indirecta o Difusa:**

El recorrido que siguen hasta llegar a la superficie es largo, y en él se pueden encontrar con numerosos factores ambientales (nubes, humos, lluvia, etc.) que hacen que la dirección que llevaban hasta ese momento se vea modificada. Esto es lo que antes, en la definición de radiación directa, se ha nombrado como reflexión y refracción.

Estos dos fenómenos son los que forman la denominada radiación indirecta o difusa, que va a afectar principalmente a longitudes de onda cortas. Aunque esta radiación, como sea explicado antes, hace que los rayos directos tomen direcciones aleatorias diferentes de su dirección natural, la directa, no impide que la mayoría de estos rayos acaben tomando contacto con la superficie terrestre[3].

1.1.6 Radiación térmica

La radiación infrarroja o radiación térmica es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible. Los procesos de calentamiento con emisores de infrarrojos destacan por una alta rentabilidad, debido a que la energía del calor se transmite a través de emisiones electromagnéticas. El cuerpo irradiado absorbe la emisión infrarroja y la transforma en calor.

El nombre de infrarrojo significa por debajo del rojo pues su comienzo se encuentra adyacente al color rojo del espectro visible.

Los infrarrojos se pueden clasificar en: infrarrojo cercano (0,78-1,1 μm), infrarrojo medio (1,1-15 μm) e infrarrojo lejano (15-100 μm). La materia, por su caracterización energética emite radiación. En general, la longitud de onda donde un cuerpo emite el máximo de radiación es inversamente proporcional a la temperatura de éste según la Ley de Wien. De esta forma la mayoría de los objetos a temperaturas cotidianas tienen su máximo de emisión en el infrarrojo. Los seres vivos, en especial los mamíferos, emiten una gran proporción de radiación en la parte del espectro infrarrojo, debido a su calor corporal.

La radiación infrarroja es una parte del espectro de luz generado por el Sol. Sin embargo, este tipo de luz no es visible para el ojo humano, sino que sólo se manifiesta como radiación térmica. Los rayos infrarrojos, que son responsables de la sensación de calor que percibe el hombre, son una radiación positiva y no son comparables con la radiación ultravioleta, de microondas o los rayos X.[3]

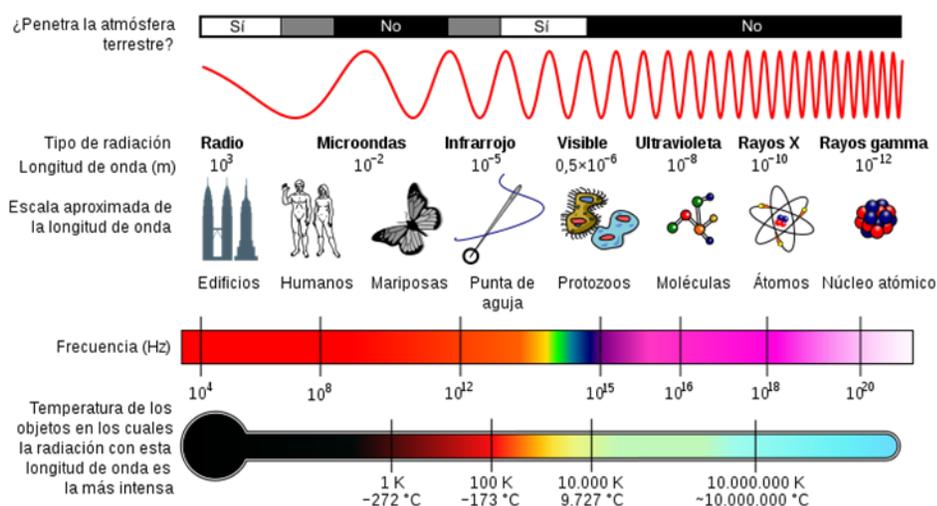


FIG.1.4 Espectro electromagnético.

Básicamente puede afirmarse lo siguiente: cuanto más corta es la longitud de onda, tanto mejor atraviesa la atmósfera. La radiación infrarroja de onda corta genera calor por calentamiento del cuerpo sobre el que incide, sin

calentar con ello el aire circundante. Un buen ejemplo de este modo de actuar es el efecto que se produce cuando se pasa de la sombra a la luz del Sol. Si bien la temperatura ambiente es la misma, se tiene la sensación de una temperatura mucho más elevada bajo la incidencia directa de los rayos solares. Este fenómeno permite, por ejemplo, tomar sol en una pista de esquí, aún con una temperatura ambiente muy baja. Por el contrario, la radiación infrarroja de onda larga no produce este efecto, sino que calienta el aire circundante, de modo que necesita mucho más tiempo para dar una sensación de calor [5].

1.1.7 Horas de sol, estaciones y zonas horarias

Las condiciones ambientales del lugar no van a ser las únicas variables que determinen la cantidad de radiación incidente sobre una determinada superficie; ya que, al igual que estas condiciones climatológicas, la intensidad de la radiación va a estar sujeta a la zona horaria y a la época del año en cuestión.

Al igual que cambian las horas de Sol, va a cambiar la intensidad de radiación que llega hasta la superficie terrestre. Esta radiación variará de forma directamente proporcional a como varía la sensación de calor en la superficie, todo ello sujeto a cada estación del año en la que se encuentre.

Mediante la figura queda representada la altura que alcanza el Sol en cada una de las estaciones. Como es normal, a mayor altura, mayor recorrido debe hacer el Sol desde que sale hasta que se pone, por lo que más horas de radiación se encuentra expuesta la superficie terrestre.[6]

Por eso es que cuando estamos en épocas de diciembre oscurece más temprano y en épocas de mayo junio anochece más tarde. En algunos países es necesario adelantar o atrasar la hora para poder adaptarse al cambio.

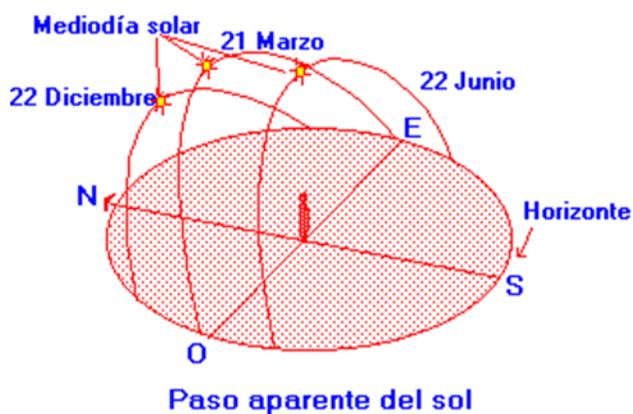


FIG.1.5. Movimiento solar.

Esto justifica el número de horas de exposición solar, pero también se debe conocer por qué la radiación y el calor aumentan de igual forma en verano y se ven reducidos en los meses de invierno. Esto va a quedar mucho más claro si se observa la siguiente ilustración.

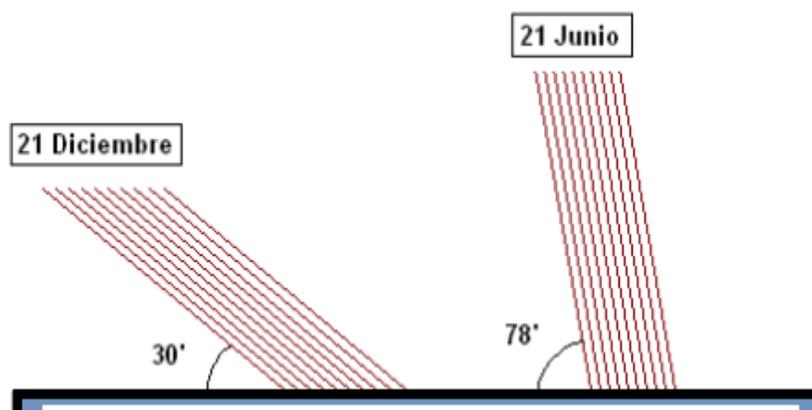


FIG.1.6. Ángulo solar

La altura del Sol influye en la incidencia de los rayos solares sobre la superficie de la tierra, cuando el Sol se encuentra a mayor altura, como en el mes de junio, como se ve en la figura 1.6, la irradiación solar es mayor.

En el punto más alto del Sol, por cada metro cuadrado de área de rayos solares, se tiene 1,022 metros cuadrados de superficie irradiada. Cuando el Sol se encuentra en su punto más bajo, son 2 metros cuadrados de superficie irradiada[5].

El concepto de calor viene dado también por esta misma razón, ya que al repartirse los rayos sobre una superficie mayor en el caso de los meses de invierno, la energía calorífica se reparte también sobre una superficie mayor y por tanto, concentra menos calor. Inversamente se comportará en los meses de verano.

Si se observa en el recorrido que lleva el Sol, se puede apreciar que en ningún momento forma una perpendicular al plano horizontal que simula la superficie terrestre. Este hecho tiene su explicación en el movimiento de traslación.

En su movimiento de traslación, el eje de rotación terrestre va a formar un ángulo de $23,45^\circ$ con respecto a la normal del plano de la órbita elíptica, el ángulo de declinación.

Influencia de los movimientos de traslación y rotación sobre el ángulo de declinación [5].

En la siguiente figura se puede apreciar esquemáticamente los movimientos de la tierra según la época del año con la inclinación que ella presenta en los diferentes meses del año: 21 de junio, el solsticio de verano, 23 de septiembre, equinoccio de otoño, 22 de diciembre solsticio de invierno y 21 de marzo, equinoccio de primavera.

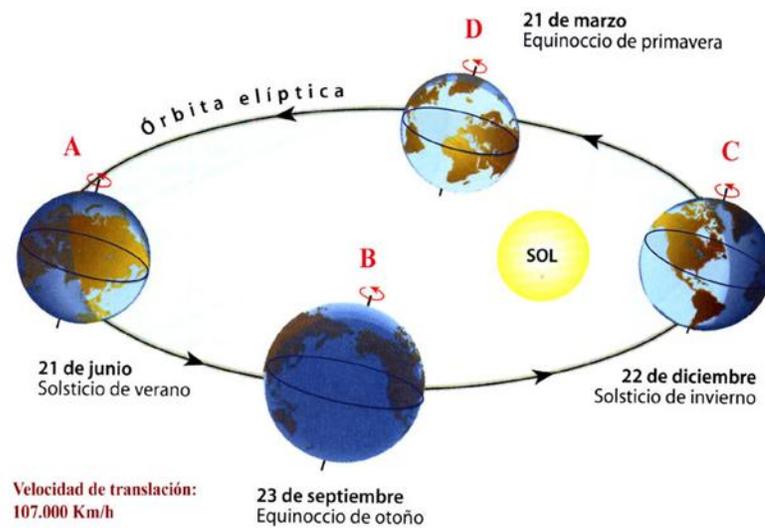


FIG.1.7. Ángulo terrestre

Como se ve en la figura 1.7, el ángulo de declinación va a variar entre $+23,45^\circ$ el día de Solsticio de Verano (21 de junio) y $-23,45^\circ$ el día de Solsticio de Invierno (21 de diciembre). Estos dos días hacen referencia al día de más horas de radiación solar y al de menos respectivamente.[5]

1.1.8 Ley de reflexión y refracción

El fenómeno de la reflexión tiene lugar cuando las ondas que viajan por un medio inicial inciden sobre una superficie dada, viéndose impulsadas de nuevo hacia el exterior al entrar en contacto con el segundo medio. Estas ondas no van a transmitirse a través de la segunda superficie, sino que van a continuar viajando por el primer medio.

La dirección de propagación de las ondas va a depender de las características de la superficie incidente. La característica que va a definir la reflexión de una onda va a ser el ángulo con el que se ve reflejada, el cual dependerá no sólo de la naturaleza de dicha onda, sino de las propiedades de reflexión de dicha superficie (color, forma, acabado o factor de reflexión).

Por regla general, la dirección que va a seguir una onda está dada por el esquema de la figura 1.8 [7].



FIG.1.8. Reflexión de la luz.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda señalada.

Un ejemplo de este fenómeno se ve cuando se sumerge un lápiz en un vaso con agua: el lápiz parece quebrado. También se produce refracción cuando la luz atraviesa capas de aire a distinta temperatura, de la que depende el índice de refracción. Los espejismos son producidos por un caso extremo de refracción, denominado reflexión total. Aunque el fenómeno de la refracción se observa frecuentemente en ondas electromagnéticas como la luz, el concepto es aplicable a cualquier tipo de onda [7].

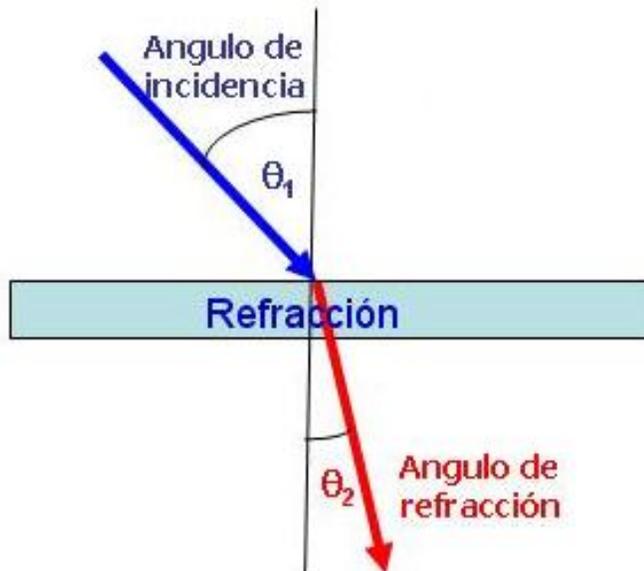


FIG.1.9 Ley de refracción de la luz.

1.2 COCINAS SOLARES

Buena parte de nuestros alimentos necesitan una preparación previa culinaria, no sólo por razones gastronómicas, sino también para facilitar su digestibilidad y seguridad alimentaria. Así, la mayoría de los hidratos de carbono y de las proteínas sólo tras un tratamiento térmico llegan a adecuarse a las posibilidades de asimilación del organismo humano.

Desde los albores del género humano, las artes culinarias han facilitado esta labor de elaboración previa de los alimentos a su ingesta. La energía térmica suministrada por la combustión de la leña ha sido hasta muy recientemente, la forma mayoritaria de aportar esta energía y aún lo es para unos 2500 millones de seres humanos en la actualidad. Esto corresponde a una media de consumo de 360 Kg. de leña per cápita 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 [10].



FIG.1.10. fotografía de cocina solar implementada en Perú por ONG [10].

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

Las cocinas solares ofrecen un sistema simplificado de cocinar con un total ahorro de dinero, al no necesitar ningún aporte de combustible u otra fuente de energía que no sea la solar directa libre y gratuita, todo ello va acompañado de otras múltiples ventajas como son: mayor seguridad en la operación de cocinar y calidad nutricional de los alimentos cocinados, Pues al no utilizar fuego, no se generan humos ni dióxido de carbono y así se mejoran

las condiciones medio ambientales tanto locales como generales. A su vez, en las cocinas de acumulación (hornos solares o cajas solares) permiten una cocción de los alimentos con un mayor mantenimiento de sus contenidos nutricionales. También en estas últimas cocinas se permite una mayor disponibilidad de tiempo, pues es posible ausentarse del lugar durante el proceso de cocción de los alimentos. Por otro lado las cocinas parabólicas son muy eficientes y no requieren de mucho mantenimiento [10].

1.2.1 Principio de funcionamiento de las cocinas solares

Todas las cocinas solares, como su propio nombre indica, tienen un denominador común, y que es el uso de la radiación solar para ayudar a los alimentos a alcanzar altas temperaturas de cocción.

Dentro de la familia de las cocinas solares, la clasificación que se utiliza divide a estos dispositivos en tres grandes grupos y que son los tres principales modelos de cocina que están actualmente más desarrollados y en mayor uso. Estos modelos, son la cocina CookIt, el horno solar y la cocina parabólica.

A su vez, estos tres grupos se ven diferenciados por otros factores que no son ni su diseño ni los materiales utilizados en su construcción, y que es la forma que tienen de captar y transformar la radiación procedente del Sol en energía suficiente para el calentamiento y la cocción de alimentos.

La forma de captación de calor de los hornos solares y las cocinas parabólicas son diferentes, el horno solar capta calor medio de la acumulación de radiación infrarroja y las cocinas parabólicas captan el calor por medio de la concentración de la luz directa en un punto[10].

1.2.2 Cocina por acumulación

La acumulación dentro de un horno solar también va a ser conocida como “efecto invernadero”, y es que al igual que ocurre con la superficie terrestre, la entrada de los rayos solares en la cavidad del horno a través del cristal y la acumulación (de ahí su nombre) de los mismos va a provocar que la temperatura en su interior vaya en aumento.[8]

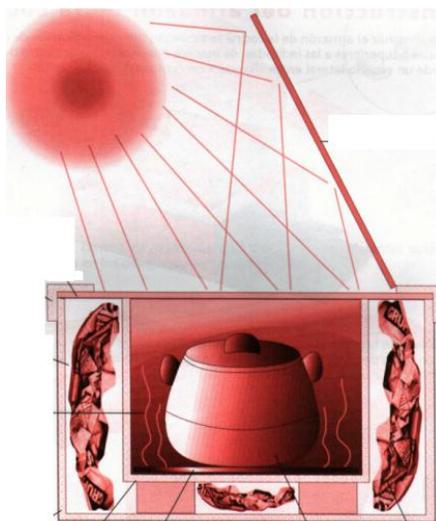


FIG. 1.11 Cocina solar por acumulación.

La luz pasa fácilmente a través del cristal (como se ve en la figura 1.11) e incide sobre los materiales que se encuentran en su interior, la olla y las paredes. Por este motivo, por la incidencia directa de los rayos solares sobre estas superficies, que es recomendable que sean siempre de color negro, ya que como generalmente se sabe y está demostrado, el color negro es un absorbente, y este tono va a ayudar a captar y mantener mayor radiación.

El aumento de temperatura hace que toda esta energía absorbida por los metales del interior pase a ser energía calorífica, la cual va a presentar mayor longitud de onda. Esta transformación de sus características hace que la onda que entra sea distinta a la onda que es emitida al exterior, y al tener distinta longitud de onda, ésta ya no puede atravesar directamente el cristal por el que

entró, por lo que se acumula en el interior del horno (de igual forma que pasa en el planeta con la emisión de gases de efecto invernadero y el impedimento de la Capa de Ozono a dejarles pasar)[8].

1.2.3 Cocina por concentración

Las cocinas solares de concentración son diferentes a las de acumulación, su principio de funcionamiento va a ser lo que se conoce como concentración de ondas.

El principio se basa en la concentración de los rayos solares en un punto determinado, mediante una superficie curva, la reunión de los rayos producirá una temperatura alta ya que el calor de muchos rayos reunidos se sumará y concentraran en ese punto.

Todas la ondas procedentes del Sol llevan, de forma natural (si no se ven alteradas por factores externos) una misma dirección de propagación. Es al incidir sobre objetos o superficies cuando la dirección de estos rayos se ve alterada y reflejada en diferentes direcciones a la natural [8].

Si se utiliza una superficie curvada como la que se puede ver en la figura 1.12, que a continuación se muestra, conocida como parabólica, y se forra su interior de material reflectante (papel aluminio, láminas de aluminio pulidas, espejos de vidrio o algún papel de acabado de espejo), se puede predecir cuál va a ser la dirección de propagación de las ondas que incidan sobre la superficie anteriormente descrita.

El ángulo que describen las ondas reflejadas va a variar en función de la zona de incidencia sobre la superficie cóncava, existiendo un punto común, llamado foco de la parábola, como se muestra en la figura 1.12, donde coincidan todas ellas[8].

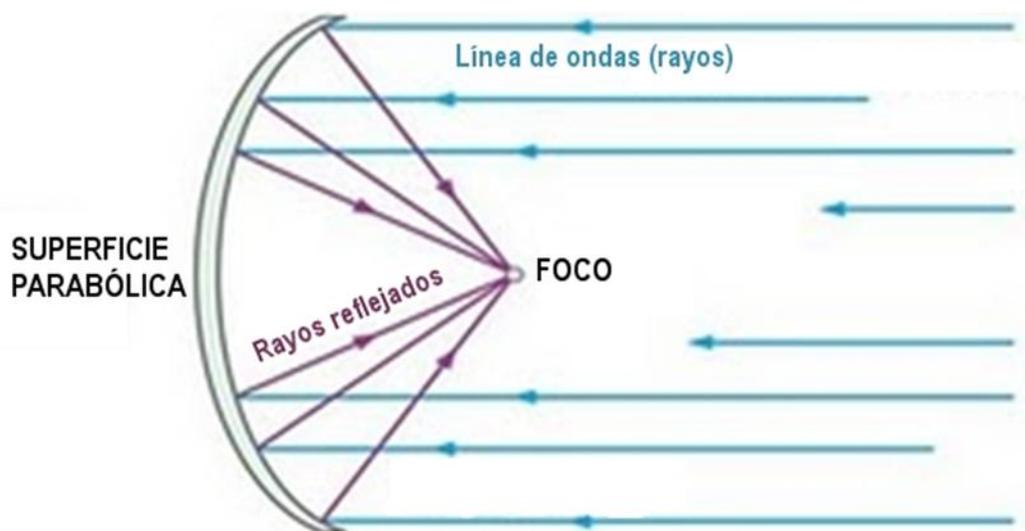


FIG.1.12 Fenómeno de concentración de una cocina solar parabólica.

La alta concentración de todas las ondas en un mismo punto en común hace que las temperaturas que se llegan a alcanzar en el mismo sean muy altas. Este tipo de dispositivos dependen directamente de las direcciones que tengan las ondas solares, es por ello que necesita una alta vigilancia para tener en todo momento la superficie curva orientada de forma correcta al Sol [8].

1.2.4 Tipos de cocinas solares

Dentro del término de cocinas solares se va a considerar a aquellos artefactos que sean capaces de cocinar únicamente con la ayuda del Sol como fuente de energía. Ni cocinas alimentadas con energía procedente de un colector solar ni otras alternativas parecidas son válidas dentro de esta familia.

Los tipos de cocinas solares que se puede encontrar en la actualidad van a presentar un amplio abanico de posibilidades donde poder elegir. Presentan formas muy diversas en función de los fabricantes y precios muy variables, siempre en función de la complejidad de la cocina y de los materiales que se quiera elegir.

En el mercado de las cocinas solares se encuentra una gran variedad de modelos y formas, todos tienen un denominador común y siempre van a estar comprendidos en tres grupos. Estos grupos van a estar clasificados por su funcionalidad, o mejor dicho, por su principio de funcionamiento.

Estos principios se han podido observar de forma clara en el apartado anterior, donde se hablaba de cómo funcionaban las cocinas solares.

Los tres grupos van a ser los encargados de clasificar los diferentes aparatos de cocción en cocinas de acumulación u hornos de caja, cocinas de concentración o parabólicas y las cocinas de panel, más conocidas como cocinas “Cookit” [10].



FIG.1.13. Tipos de cocinas solares.

Los tres grupos anteriormente nombrados se ven diferenciados, no sólo por el nombre o por el principio de utilización de la energía que obtienen del Sol, sino por sus formas características que, en cada caso, ayudan al propio usuario a la construcción de su aparato de cocina.

Gracias a esta característica de facilidad de construcción (que suele llevar de la mano la facilidad de uso y adquisición de sus propios materiales)

hacen de algunos de estos aparatos cocinas más desarrolladas y populares a nivel mundial. La facilidad de uso, almacenamiento, transporte o incluso peligrosidad (aunque en todas ellas es baja, hay diferencias entre las mismas) va a ser otros factores desencadenantes de su uso en determinados medios, poblaciones o zonas geográficas.

Otro de los parámetros más característicos de estas cocinas va a ser los tiempos de cocción.

Los alimentos van a necesitar tiempo y temperatura para estar preparados. La temperatura que se alcanza tiene que ser la necesaria, según se muestra en la figura 1.14, para que dichos alimentos estén libres de microbios y su consumo sea seguro.

Por este motivo, todas las cocinas solares, por muy rudimentarias que sean, tienen que llegar siempre al intervalo de temperatura óptimo y seguro.

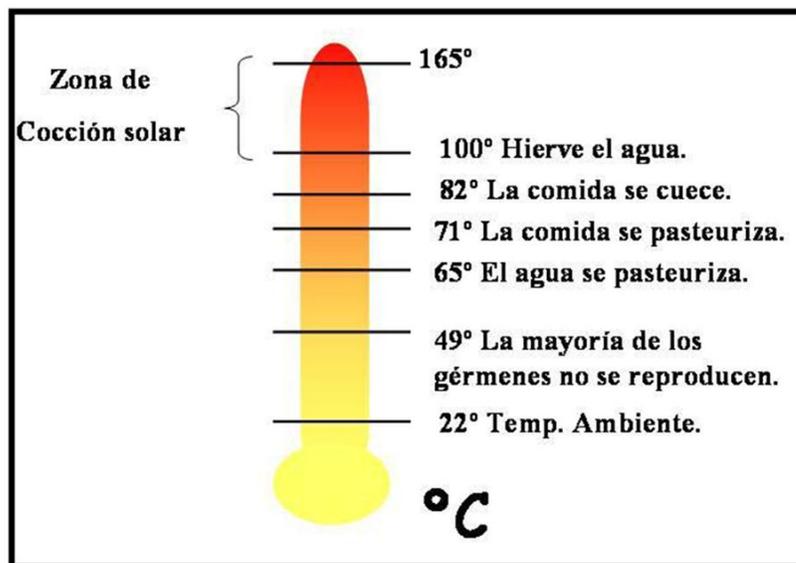


FIG.1.14. Temperatura de cocción de alimentos [9].

1.2.5 Horno solar

Como se ha comentado anteriormente, los hornos solares van a utilizar el principio de acumulación de los rayos solares que llegan hasta él mismo para convertirlos, en la cavidad interior, en energía calorífica, también son llamados cocina solar de caja por su forma.

Este tipo de cocina depende del conocido "efecto invernadero", en donde el vidrio transparente permite el paso de la radiación solar de onda más corta al interior del horno, pero es opaco a la mayoría de la radiación de longitud de onda más larga procedentes de los objetos que se calientan en el interior.

Partes principales de un horno solar:

En la siguiente figura se puede ver las partes principales de un horno solar las cuales son:

- Tapadera o ventana de vidrio o plástico transparente
- Caja de madera que es parte de la estructura
- Fondo del horno que tiene que ser de metal y de color negro
- Aislamiento térmico que recubre los lados del horno en su interior.

Los reflectores de espejo u otro material reflejante no son indispensables en un horno solar, pero ayudan a aumentar la temperatura del horno ya que los reflectores captan rayos solares dirigiéndolos al interior del horno solar, pasando por el vidrio y por tal motivo aumenta la temperatura en el interior.

Los reflectores en un horno solar son alternativos, pero al utilizarlos aumentan la eficiencia del horno solar.

Se pueden utilizar reflectores como accesorios que pueden quitarse y ponerse para aumentar la temperatura en el interior del horno solo cuando se desee aumentarla.

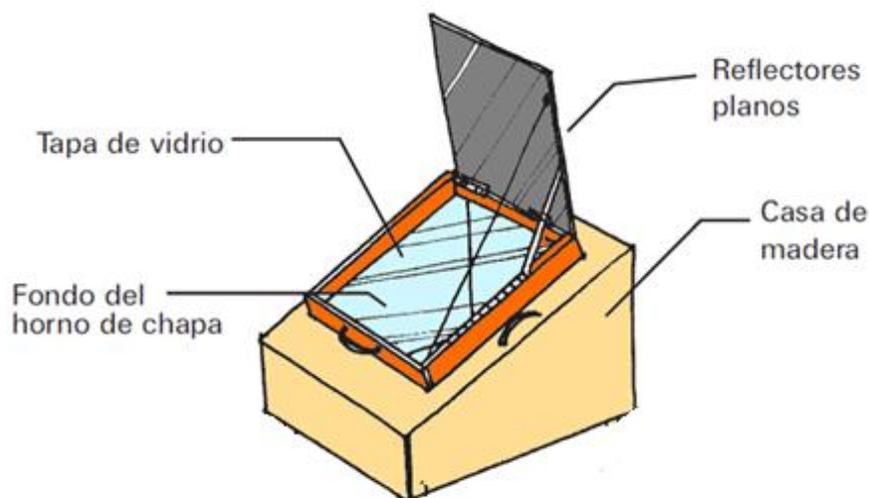


FIG.1.15 Partes principales de un horno solar].

Para la correcta construcción de un horno solar se tiene que tener en cuenta la necesidad de minimizar al máximo las pérdidas. Por esta razón, las paredes de los hornos solares se ven recubiertas por material aislante.

Aquellos materiales que se prefieran utilizar como aislantes tienen que tener unas propiedades mínimas para poder aguantar las temperaturas que se alcanzan en el interior de la cocina, unos 80 °C aproximadamente. Al igual pasa con el material que recubrirá la parte por la que pasa la radiación directa y reflejada al interior. La única condición que debe cumplir, como es normal, es que sea transparente para dejar pasar las ondas solares, pero se puede utilizar tanto vidrio como plástico.[9]

Teniendo en cuenta que la estructura base de un horno no puede variar mucho, van a ser estos materiales los que fijan el nivel de dificultad de construcción de la cocina o el precio final al que puede llegar su construcción.

Se puede pasar desde lo más básico como pueden ser paredes de cartón, aislante como la lana y una superficie de plástico que tape la cocina, hasta toda clase de mejoras que se puedan imaginar; aislantes de mayor rendimiento

como algunos polímeros o espumas, tapa de vidrio herméticas o más paneles reflectantes alrededor de cada una de las aristas del cubo [9].

El propósito básico de una cocina solar es calentar, cocinar comida, purificar el agua y esterilizar instrumentos, por mencionar unos pocos.

Una cocina solar cuece porque el interior de la caja se ha calentado por la energía del Sol. La luz solar, tanto directa como reflejada, entra en la caja solar a través de la parte superior de cristal o de plástico. Calienta el interior siendo la energía absorbida por la plancha negra y cocina lo que hay dentro de las ollas. Este calor en el interior causa que la temperatura dentro de la cocina solar aumente hasta que el calor que se pierda de la cocina sea igual al aumento del calor solar. Se alcanzan fácilmente temperaturas suficientes para cocinar comida y pasteurizar agua.

La transmisión del calor asociada a la energía del Sol se da a través del aire en diversas longitudes de onda, una de las cuales es la infrarroja y que, por absorción, es captada de forma diferente según el material.

Los cuerpos pueden absorber, reflejar o transmitir la radiación a través de ellos. Los vidrios y los plásticos transparentes permiten en gran medida que la radiación solar los atraviese. En cambio, el resto de los cuerpos, en general, absorben una parte de la radiación y la otra la reflejan.

Se puede decir que el color que caracteriza a los diferentes cuerpos es una magnitud determinante de su correspondiente capacidad para reflejar la radiación solar. Los objetos negros absorben toda la luz solar, mientras que los blancos la reflejan casi toda. Esta capacidad de reflexión de la radiación solar es lo que genéricamente se conoce como albedo. En términos generales, el albedo del planeta Tierra, por ejemplo, es de 0,37, es decir, que refleja en el espacio un 37% de la luz que recibe del Sol.

1.2.6 Cocina mixta o de panel (Cookit)

Este tipo de cocinas van a constituir la forma más simple de cocinar con la ayuda del Sol. Más simple desde el punto de vista de su construcción y uso, pues en ella sí que no es necesario invertir apenas tiempo ni dinero. Cartón y papel reflectante (normalmente papel de aluminio), en eso se resume la estructura de estas cocinas.

Su poco peso y facilidad de plegado hacen de ella un objeto que es muy fácil de guardar y transportar.

Su principio de funcionamiento, lejos de estar encasillado únicamente en acumulación o concentración de la radiación solar incidente, va a utilizar ambos principios para poder trabajar [10].



FIG.1.16 Cocina de panel (cookit).

La concentración de los rayos es fácil ver a simple vista, puesto que las paredes inclinadas desarrollan dicho fin, pero la acumulación del calor no se da únicamente con la estructura que presenta la cocina.

A la hora de cocinar se van a necesitar dispositivos de retención de calor, tales como bolsas de plástico (lo más básico y fácil de encontrar) o, como se ve

en la imagen anterior, dos recipientes de vidrio resistente al calor colocados de forma opuesta entre ellos.

En el interior de estos dispositivos se introducirán los recipientes con los alimentos que se necesitan cocinar, y así, al funcionar como acumuladores de calor, las pérdidas serán mucho menores y los tiempos de cocción se reducirán.

Ya se conocen las ventajas de estas cocinas, su facilidad de uso y construcción y su más que reducido precio. Pero no todo juega a su favor, ya que de ser así, su uso se habría estandarizado mucho más. Estos dispositivos presentan desventajas teniendo en cuenta las necesidades de la gente y el poco tiempo que tiene la sociedad para invertirlo en cocinar.

Las Cookit, comparadas con los hornos solares, presentan tiempos de cocción aún más lentos; y aunque es cierto que alcanzan temperaturas de hasta los 100 °C (más que suficientes para obtener alimentos bien cocinados), estas tardan mucho en ser alcanzadas[10].

Otro factor que juega en su contra es la fragilidad. Si su bajo peso hacen de este tipo de cocinas sean perfectas para ser transportadas, el mismo factor se muestra como desventaja ante vientos relativamente fuertes o cualquier tipo de imprevisto meteorológico.

1.2.7 Cocina parabólica

Puesto que este trabajo de graduación gira entorno a este tipo de cocinas y su funcionamiento, su estudio va a llevar mayor tiempo que el resto de cocinas, por lo que las mismas van a ser desarrolladas en profundidad más adelante.

1.2.8 Cocina Devos o Primrose

Este modelo de cocina, sólo con verlo a simple vista, se sabe que va a utilizar el mismo principio de funcionamiento que las cocinas solares parabólicas, la concentración de rayos. Estos rayos incidentes van a incidir sobre una superficie cóncava que va a reflejar todos ellos a un mismo punto común denominado foco.

Pero, aunque este funcionamiento sea tan parecido, no se puede asociar ambas cocinas en un mismo grupo, puesto que la estructura de la cocina Divos o Prim rose (ambos términos hacen referencia a la misma cocina) poco tiene que ver.

Como se podrá observar en la figura la principal variación respecto a lo que se había visto hasta ahora es la introducción de una mesa a modo de mueble de cocina. En la parte superior de la misma hay un agujero, en donde se introduce el recipiente de cocción y sobre donde se van a concentrar la reflexión de los rayos solares incidentes sobre la placa, ese es el foco [11].

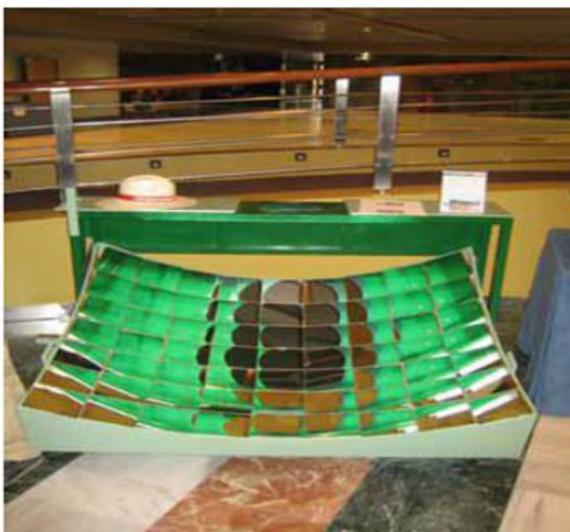


FIG.1.17. cocina mixta DEVOS.

Al incidir el mismo sobre la parte inferior de la cocina, hay que tener cuidado a la hora de retirar el recipiente, puesto que el foco de la radiación puede pasar a incidir sobre la propia persona.

Al utilizar únicamente el principio de concentración, el hecho de orientar continuamente el panel de la cocina se hace indispensable para que ésta funcione de manera eficiente.

Al igual que las cocinas parabólicas, estos dispositivos permiten alcanzar temperaturas muy altas, suficientes para cocinar cualquier tipo de alimento, en un corto periodo de tiempo.

Si se sigue comparando, este tipo de cocinas son bastante más seguras que la mayoría de las parabólicas a la hora de cocinar, puesto que, como se puede observar, su estabilidad es muy alta debido a la estructura de la mesa. Pero su construcción y, sobre todo, su almacenamiento se hacen un poco más difíciles al resto de las cocinas vistas hasta ahora [6].

1.2.9 Secadores solares

Los secadores solares, a diferencia de las cocinas solares, no van a proporcionar ningún tipo de alimento cocinado, sin embargo, sí que va a resultar muy importante en la alimentación de la gente que utiliza estos dispositivos. El hecho de secar los alimentos permite que éstos se conserven de forma correcta con el fin de poder ser consumidos en meses venideros, evitando que se pudran y se tengan que desechar.

Los secadores solares se desarrollan para que la tarea del secado de alimentos sea rápida y segura, ayudándose de la radiación solar incidente sobre su cristal y al incremento de calor que tiene lugar en su interior [6].

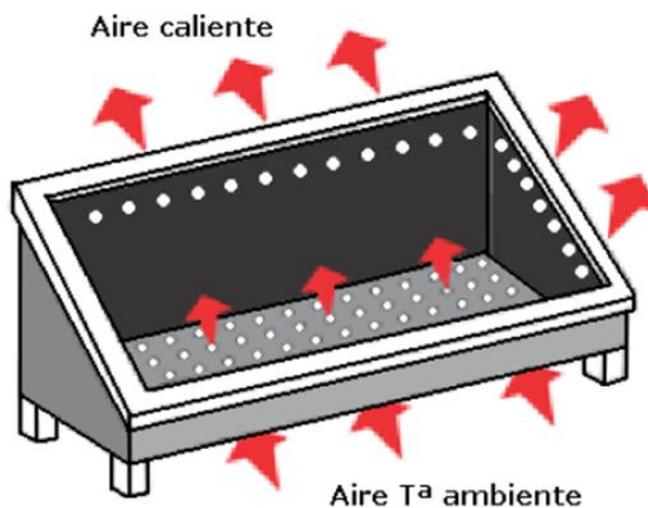


FIG.1.18 Secaderos solares.

Como se ve en la figura 1.18 su estructura se asemeja mucho a un horno solar como los vistos hasta ahora, pero a diferencia de estos dispositivos, lo que interesa de los secadores es que el aire circule en el interior de la cavidad.

El aire a temperatura ambiente entra por la parte inferior del secador, y una vez en su interior, al incidir la radiación solar, este aire se calienta y asciende hasta la parte superior de la cavidad, donde están las zonas de salida de este aire caliente.

Todo este ciclo de aire cálido y seco va a proporcionar que la humedad que presente cualquier alimento colocado en su interior se evapore de los mismos y pase al aire que se dirige al exterior de los secadores.

1.3 COCINA SOLAR PARABOLICA

Este tipo de cocinas es fácilmente reconocibles por su diseño característico, totalmente diferente del que se ha visto hasta este momento. La

denominación que recibe esta cocina hace honor a la forma que presenta, una parábola.

Lo primero que se le puede venir a cualquier persona a la mente ante dicho dispositivo es su gran semejanza a las más que conocidas antenas parabólicas que se encargan de captar la señal de televisión (entre otras). Esta forma que toma la cocina solar no es coincidencia, ya que, al igual que estas antenas, la forma parabólica permite captar la mayor parte de ondas incidentes y que estas sean concentradas en un mismo punto común, lo que es denominado como foco.

La cocina solar parabólica se aleja de la visión que hasta ahora habían mostrado los otros dos grupos principales, la Cookit y el horno. Este modelo, de mayor tamaño y menos manejable, compensa cualquiera de sus defectos con su alto rendimiento térmico frente a cualquier cocina a iguales condiciones térmicas.

Este alto rendimiento se lo van a dar varios factores, como es la amplia área de superficie de captación que presenta, el alto factor de reflexión de los materiales que la recubren y, por encima de todo, la concentración de los rayos incidentes. La ley de la parábola se va a encargar de explicar el porqué de este principio de funcionamiento[8].

1.3.1 Tipos de cocina solar parabólica

Existen gran variedad de modelos, por un lado se tienen las cocinas solarescomerciales y de otro, versiones caseras construidas a partir de diseños y materiales diversos.

Una clasificación útil, para elegir un modelo para comprar o construir, es en función de la geometría de la superficie parabólica de su reflector. De esta manera se encuentran dos grandes grupos:

1. Cocinas con superficie parabólica de foco expuesto.
2. Cocinas con superficie parabólica de foco profundo

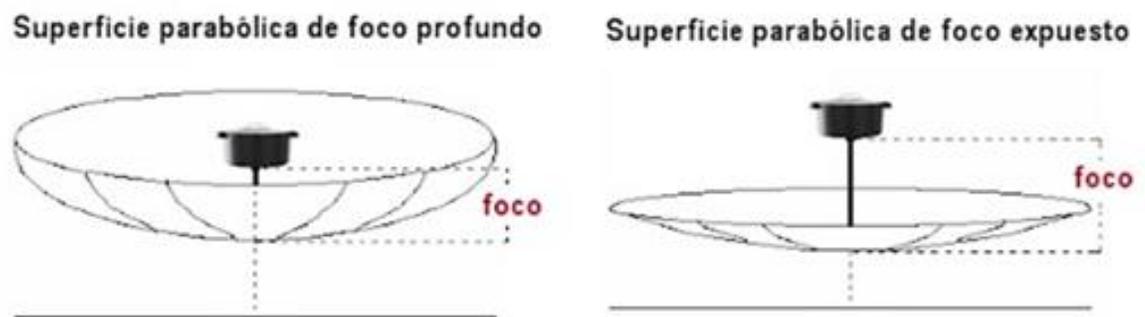


FIG.1.19. Tipos de cocina solar parabólica [9].

A continuación se muestran las partes principales de una cocina solar parabólica:

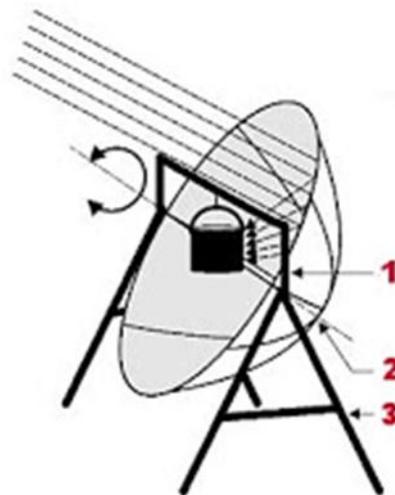


FIG.1.20. Partes de una cocina solar parabólica [9].

1. Soporte o parrilla para el recipiente de cocción: De diversas formas y tamaños, según el modelo de cocina, su función es ubicar de forma segura y estable el recipiente de cocción (olla, cazuela, sartén, plancha, etc.) en el foco de la superficie parabólica.
2. Concentrador parabólico: En cuyo eje queda dispuesto el soporte del recipiente para cocinar. Debe estar fabricado con material óptimo, fácil de limpiar y de alto poder reflexivo. Varias piezas de este material, según el modelo de cocina, se unen uno a otro con la adecuada curvatura, para configurar la superficie parabólica.
3. Estructura soporte del sistema: Fabricado de madera o metal según el modelo, tiene como función soportar los elementos de la cocina, aportando estabilidad al conjunto y facilitando la utilización. Está articulado al concentrador, permitiendo su giro, de este modo se puede reorientar o aplicar la función de encendido / apagado [9].

1.3.2 Captación de calor mediante principio de la parábola

La definición de parábola habla del “lugar geométrico de los puntos que equidistan de una recta (directriz) y un punto fijo (foco)”. Lo que esto quiere decir es que la forma que va a presentar la parábola hace que la distancia de cualquier punto de la misma, en línea recta al foco, va a ser de igual valor a la distancia de ese mismo punto a la directriz, trazando una perpendicular a la figura 1.21.

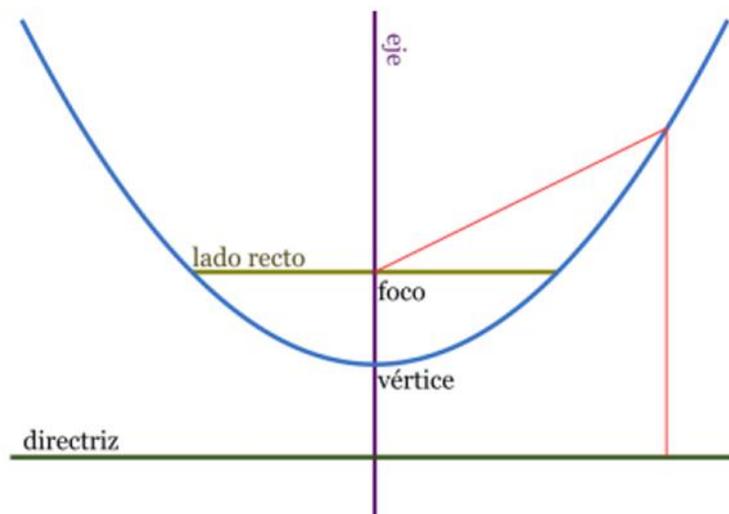


FIG.1.21. Principio de la parábola.

1. Directriz: La Directriz es la recta perpendicular al eje de la parábola sobre la cual si mide su distancia hasta un punto cualquiera de la parábola, esta debe ser igual a la distancia de este mismo punto al Foco.
2. Eje Focal: El eje focal es la recta perpendicular a la directriz que pasa por el foco.
3. Vértice: Es el punto en el cual la parábola corta el eje focal.
4. Lado Recto: Es un segmento paralelo a la directriz, que pasa por el foco y es perpendicular al eje focal y sus extremos son puntos de la parábola (A, B).
5. Parámetro: La distancia entre el vértice y la directriz que es la misma distancia entre el vértice y el foco de una parábola recibe el nombre de parámetro de la parábola (suele denotarse por p) [12].

Según la óptica geométrica, los rayos de luz viajan en línea recta. Cuando un rayo de luz incide sobre una superficie plana muy pulimentada (un espejo, por ejemplo) este experimenta un cambio brusco de dirección; un fenómeno llamado reflexión. En este fenómeno, los ángulos que forman el rayo

que llega a la superficie y el rayo que sale de ella (rayo reflejado) con respecto a la normal de la superficie (flecha negra en la Figura 1.22) son iguales [12].

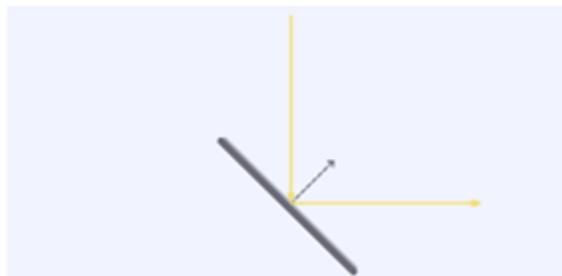


FIG.1.22. incidencia de un rayo de luz .

En una superficie lisa con forma curvada, un punto cualquiera de la superficie se comporta para un rayo de luz incidente en un punto, como un espejo plano que es tangente a la superficie en el punto. La tangente, en el caso de la Figura 1.23, es una línea recta que toca a la curva solo en el punto de interés. La tangente puede obtenerse a partir de una secuencia de líneas que pasan por el punto de interés y otro punto cualquiera sobre la curva que progresivamente se va acercando al punto de interés



FIG.1.23. incidencia de un rayo de luz sobre superficie curva.

La parábola es una curva plana de útiles propiedades. Todos los rayos de luz paralelos al eje de la parábola (línea negra vertical en la Figura 1.24) que inciden en el interior de esta son reflejados hacia un mismo punto, llamado foco. Un objeto geométrico tridimensional con las mismas propiedades de la parábola se conoce con el nombre de paraboloides.



FIG.1.24. Incidencia de los rayos sobre el foco de la parábola.

En la práctica se puede asumir que todos los rayos de luz solar que inciden sobre la Tierra son paralelos entre sí. En realidad, el Sol irradia luz en todas las direcciones. La Tierra, sin embargo, solo recibe una fracción muy pequeña de estos rayos, que viajan en direcciones muy similares (Figura 1.24) debido a la lejanía del Sol respecto de nuestro planeta.

Las propiedades geométricas de los rayos de luz solar incidentes sobre la Tierra y la capacidad colectora del paraboloide son aprovechadas por la cocina solar.

La cocina solar es una reproducción aproximada de un paraboloide; y como tal, es capaz de concentrar la energía portada por los rayos de luz solar en una zona muy pequeña.

1.3.3 Ecuación característica de la parábola.

El concentrador solar parabólico es un dispositivo que al concentrar en un solo punto o foco, todos los rayos solares incidentes en su superficie, orientado adecuadamente en la dirección del sol conseguirán alcanzar altas temperaturas en el foco que permiten cocinar alimentos.

Las parábolas siempre van a presentar la misma forma característica tales como la vista en la figura anterior. El hecho que puedan verse diferentes

tamaños de gráficas no significa que no sean iguales, ya que todas van a ser semejantes y lo único que va a cambiar entre ellas va a ser su escala.

Esta escala, va a depender de los valores que se tomen en las ecuaciones características de la parábola. Estos valores son los que van a acompañar a las variables “x” o “y”, dependiendo si la parábola es vertical u horizontal. La ecuación general va a presentar la siguiente forma:

Parábola vertical:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (\text{EC. 1.1})$$

Parábola horizontal:

$$x = ay^2 + bx + c \quad (\text{EC. 1.2})$$

El valor de las constantes “a”, “b” y “c” dará la forma de la parábola, y el signo que les acompañe, dará la orientación.

Aparte de la ecuación característica que encierra a todas las parábolas, también esta puede ser diseñada a partir de una distancia focal dada. El valor de esta distancia, que va desde el vértice al foco, va a estar representado por la variable “p” y la ecuación en función del foco con la que se va a trabajar va a tener la siguiente forma en función de “x” e “y”. [12]

Parábola vertical:

$$(x - h)^2 = 4p(y - k)^2 \quad (\text{EC. 1.3})$$

Parábola horizontal:

$$(y - h)^2 = 4p(x - k)^2 \quad (\text{EC. 1.4})$$

Donde el vértice ocupa las coordenadas (h,k).

Todas las cocinas parabólicas deben estar directamente sujetas a este principio de la parábola, puesto que directamente de ello depende no sólo su eficiencia, sino directamente su funcionamiento [12].

1.3.4 Posicionamiento respecto al Sol

El diseño de las cocinas parabólicas no está estandarizado, y aunque todas cumplen con el mismo principio, como se explicaba en el apartado anterior, cada una de ellas lo va a hacer con diferentes geometrías.

La geometría característica de la cocina, junto con el tamaño y los materiales reflectantes (y sin olvidar la intensidad de radiación) es la que va a dar lo que se conoce como “potencia de salida” de cada cocina. La correcta combinación de los factores dará rendimientos más altos.

El diseño de la cocina por sí solo sigue dando pistas de cómo se comportan estos dispositivos. Su uso va a estar limitado ante condiciones inestables de viento. Este viento, en función de su potencia, va a hacer que la cocina se mueva y se vuelva bastante inestable. Los movimientos continuos, aparte de ser altamente peligrosos cuando se está trabajando con líquidos que llegan a alcanzar temperaturas extremadamente altas (como para poner en peligro la integridad de la persona que lo está manejando ante un contacto

directo), hacen que la cocina no mantenga una correcta orientación al Sol y, por lo tanto, el porcentaje de los rayos reflejados que inciden sobre el foco disminuye de forma considerable.

Su uso también requiere de unas condiciones de radiación constantes, donde el más mínimo cambio, por ejemplo en forma de nubes en el cielo, altera su rendimiento, y es por esto que sólo va a funcionar con los rayos que incidan directamente sobre su superficie de reflexión (no los difusos). Esta premisa va a hacer que su estudio pueda realizarse únicamente en días soleados y despejados y teniendo en cuenta únicamente la radiación directa, no la global, sobre el plano de la superficie de la cocina.

Al tener en cuenta únicamente esta radiación directa sobre el plano de la cocina, se debe estimar cual va a ser la altura del Sol para los días en los que se utilizara la cocina. Como ya se ha explicado en el apartado 1.1.7, el ángulo de incidencia va a permitirnos hacer la conversión entre la radiación sobre el plano horizontal y la radiación sobre el plano normal a los rayos solares, permite ver cuáles van a ser estos ángulos para los meses de todo el año [5].

En la siguiente figura se muestra una gráfica de una carta cilíndrica de los movimientos del Sol dependiendo de los meses del año y las horas del día.

La utilización de esta grafica es de mucha importancia para los cálculos de potencia de la cocina, ya que es necesario saber la altura en la que se encuentra el Sol para conocer la radiación normal a la superficie parabólica en estudio.

La carta cilíndrica a utilizar debe de ser para la latitud de cada país o región en la que se está haciendo el estudio de la cocina solar, esto contribuirá a obtener valores más reales, ya que los ángulos solares cambian según la región en la que se haga el estudio

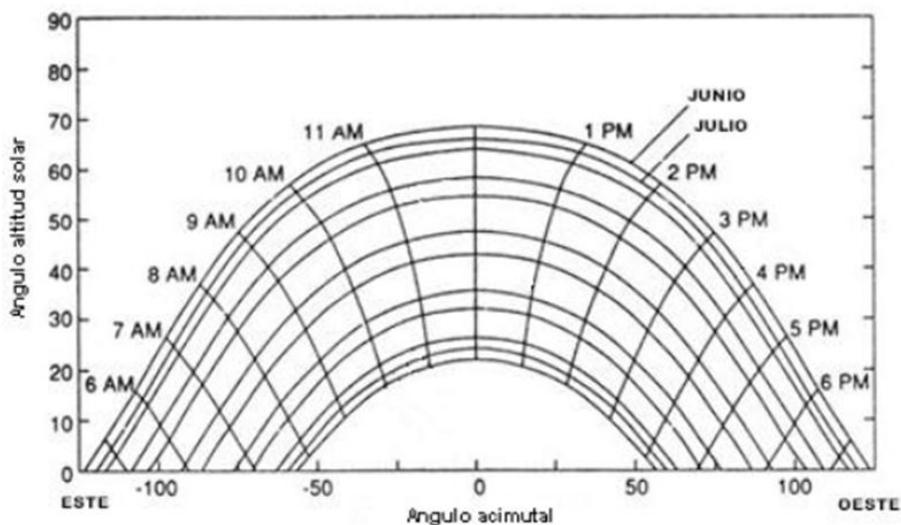


FIG.1.25. Posicionamiento del Sol en cada mes del año.

Como se puede observar en la gráfica, desde que el Sol sale hasta que se pone describe una misma curva durante todo el año, donde únicamente cambia la altura que alcanza a lo largo del día.

Por el motivo anteriormente descrito, el movimiento del Sol, y junto con la necesidad de que la cocina este orientada a los rayos solares incidentes, se hace necesario que el dispositivo de cocción presente ciertos grados de libertad en sus movimientos que permita mover de forma sencilla todo el dispositivo para que esté continuamente orientado y el foco no se desplace del punto deseado.

1.3.5 Riesgos térmicos derivados de su uso

Como se ha hecho referencia hasta ahora, el mayor riesgo que se presenta en la cocina es su inestabilidad frente a su gran poder de calentamiento, ya que se manejan materiales a unas temperaturas que

resultarían peligrosos para la integridad física de la persona que las maneja. Su contacto directo con la persona provocaría quemaduras.

Pero, aparte de la inestabilidad, hay que hacer referencia al alto riesgo de incendio frente a una desorientación del foco de la cocina. Como se ha especificado hasta ahora, el poder de calentamiento se centra todo en el foco procedente de la forma característica que presenta la cocina parabólica, es así que, al igual que puede calentar una gran cantidad de líquido hasta hacerlo llegar a sus temperaturas de ebullición, puede inflamar cualquier material orgánico que se encuentre en su camino.

Pero no solo está presente el riesgo de incendio, ya que para manejar esta cocina, la persona encargada de ello tiene que estar cerca de la olla. En este caso, para acceder a dicho recipiente, se tiene que pasar justo por delante de la base sobre la que se encuentra colocado, incidiendo en el nuevo trayecto que ha descrito el foco de la cocina. Sólo por el hecho de estar expuesto un par de segundos a dicho rayo, la ropa o la piel sobre la que incida mostrará una pequeña quemadura.

En resumen, ya se han expuesto los principales riesgos de su utilización, como son el riesgo de incendio y las quemaduras. Dicho esto, para su correcto uso se aconseja que siempre se utilicen guantes para el manejo del recipiente de cocción, así como gafas de Sol para protegerse de los rayos reflejados sobre la superficie de la cocina. También se aconseja que después de la utilización de la cocina solar parabólica, esta sea desmontada o movida hacia una zona de sombra [6].

1.4 NORMATIVA TERMICA DE LAS COCINAS SOLARES

Hasta hace poco tiempo el uso de cocinas solares no era muy común por las sociedades, ni contaba con ninguna estatización que proporcionara información sobre su uso y funcionamiento.

Las cocinas solares se han visto como medios de estudio de cómo los rayos solares pueden aplicar calor de forma concentrada sobre una región (o ser acumulado en un espacio cerrado), y mediante este principio, utilizar dicho calor para cocinar alimentos. Lo que antes era sólo un estudio solar va pasando a formar parte de una forma distinta de cocinar, más limpia y sobre todo más ecológica.

Aun hoy en día, un alto porcentaje de la sociedad desconoce estos aparatos de cocina, pero gracias a la publicidad y a la conciencia del uso de energías limpias que se está intentando instaurar en la sociedad, se va conociendo la amplia variedad de dispositivos diseñados para capturar la energía del Sol y aprovecharla para cocinar los alimentos.

Por esta misma razón, por la amplia variedad de dispositivos que ya existen (y los que estén por venir), se hace indispensable una herramienta comparativa entre ellos que los clasifique, no sólo por su diseño o el principio que utilicen, como hasta ahora se ha visto, sino por su eficiencia y rendimiento energético, y su capacidad de trabajo.

Actualmente hay tres normas de ensayo que se utilizan a nivel mundial: la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos (ASAE S580), la Oficina de Normas de la India y el Comité Europeo de Investigación sobre la Cocina Solar. Estas normas difieren ampliamente en su alcance, complejidad y en los resultados obtenidos, pero son una herramienta comparativa muy útil entre los diferentes dispositivos.

Estas normas han sido y siguen siendo examinadas y comparadas continuamente, ya que en el campo del que se habla sigue habiendo un claro margen de innovación y mejora.

1.4.1 Sociedad americana de ingenieros agrónomos (ASAE s580)

Este estándar, desarrollado por el Dr. Paul Funk, fue aprobado en 1997 como norma internacional de ensayo para las cocinas solares. El objetivo de esta norma, como se puede observar en los cálculos que en ella se realizan, es meramente comparativo, basándose en los datos de rendimiento que se desprenden de los valores de potencia desarrollados por cada dispositivo.

La norma ASAE S580 se caracteriza por ser un estándar sencillo en los cálculos pero muy significativos en la práctica comparativa.

A la hora de llevar a cabo el ensayo, se debe cumplir con el procedimiento que la norma específica. Este ensayo quedará invalidado siempre que sea realizado frente a fuertes vientos, baja insolación o baja temperatura ambiente.

Para llevar a cabo el ensayo se debe dejar registrados ciertos valores que van a ser indispensables para el cálculo del factor de mérito, la potencia "P". Estos valores son la masa de agua y el recipiente en kilogramos con que se inicie el ensayo y sus capacidades caloríficas respectivas. Partiendo de esta base y con la cocina totalmente preparada y orientada hacia el Sol (precalentada), se realizan tomas de temperatura en intervalos de 10 minutos, donde queda registrada la temperatura inicial y final de cada intervalo, así se puede hacer con los intervalos necesarios hasta llegar a la temperatura de estancamiento o temperatura de ebullición [13].

$$P = \frac{T_2 - T_1}{600} C \quad (\text{EC. 1.5})$$

Dónde:

P = potencia de cocción (W)

T_2 = temperatura final del agua

T_1 = temperatura inicial del agua

C = sumatoria de calor específico del agua y la olla multiplicado por sus masas

El resultado de la ecuación se divide entre 600 ya que se debe tener en cuenta el número de segundos en cada intervalo de 10 minutos.

Se verá que a medida que se acerca a la temperatura de ebullición el incremento de temperatura es menor y por lo tanto la potencia de cocción es también más baja. La potencia más alta y, por lo tanto, característica de cada cocina dará el valor del primer intervalo, donde se experimenta la mayor subida de temperatura.

A parte del valor que se obtiene llevando a cabo el primer procedimiento, hay un segundo paso que dará el valor de la potencia normalizada de la cocina. Para normalizar la potencia obtenida en el paso uno, se debe tener en cuenta otros parámetros diferentes de los anteriormente descritos

$$P_s = P \left(\frac{700}{I} \right) \quad (\text{EC. 1.6})$$

Dónde:

P_s = Potencia normalizada de cocción (W)

P = Potencia de cocción (W)

I = Radiación sobre la superficie de la cocina (W/m^2)

700 = Valor normalizado de radiación (W/m^2)

Gráficamente se puede obtener una regresión lineal trazando los valores de P_{as} frente a ΔT .

Debido a los valores que se obtienen del ensayo, su uso queda limitado únicamente al campo comparativo, puesto que en él no se hace referencia ninguna a las pérdidas de calor producidas durante el calentamiento [13].

1.4.2 Oficina de normas de la india

La norma India surge como una importante necesidad ante el auge que se registra de las cocinas solares, especialmente, el modelo de caja. Estas cocinas son las más sencillas de construir y utilizar, y su rendimiento, con temperaturas cercanas a 100 °C, es más que suficiente para llevar a cabo la cocción de cualquier tipo de alimento. Estos dispositivos llevan a la sociedad india, una sociedad con recursos limitados en gran parte de su población, a disponer de una alternativa viable tanto económica como funcional al hecho de cocinar.

Aunque inicialmente, y a causa del desarrollo de la cocina de caja en la sociedad india, la norma esté dirigida a dicho modelo, su principio de cálculo de rendimiento permite utilizar esta norma para obtener rendimientos de cualquier dispositivo de cocción y poder realizar una comparación real de los rendimientos de las cocinas.

El método de ensayo de la Norma India no se basa en valores directos de potencia, como se podía ver en el caso anterior de la Norma ASAE S580, sino que, ante los valores de determinados parámetros que se obtienen de su funcionamiento, así se puede calcular el valor de dos figuras de mérito que ayudan a clasificar la eficiencia de cada cocina.

Estas dos figuras de mérito, F1 y F2, quedan representadas mediante las siguientes ecuaciones [14].

Figura de mérito 1:

Donde el valor de F1 queda definido de la siguiente forma:

$$F_1 = \frac{\eta_0}{(UF')_{st}} = \frac{A}{A_a} \cdot \frac{(T_{st} - T_a)}{I}$$

Donde: η_0 = Rendimiento óptico de la cocina
 $(UF')_{st}$ = coef. global de transferencia de calor (estancamiento)
 A = Área exterior del recipiente [m²]
 A_a = Área de apertura de la cocina [m²]
 T_{st} = Temperatura de la placa de absorción (estancamiento) [°C]
 T_a = Temperatura ambiente del aire [°C]
 I = Radiación sobre la superficie de la cocina [W/m²]

FIG.1.26. Ecuación de figura de mérito F1 de la norma india [14].

NOTA 1: Se puede observar que el cálculo del primer factor de mérito se realiza sin ningún tipo de carga sobre la cocina y hasta llegar a la temperatura de estancamiento de la misma. Por este mismo motivo y al ser la temperatura de estancamiento un valor característico de la cocina, el valor de F1 va a ser invariable (ante condiciones semejantes de radiación).

NOTA 2: Del mismo modo, despejando en el balance de energía, se puede calcular el F1 como el rendimiento óptico de la cocina dividido por el coeficiente global de transferencia de calor para la temperatura de estancamiento.

Figura de mérito 2:

La segunda figura de mérito, F2, va a dar una aproximación del valor del rendimiento óptico del dispositivo de cocción solar sobre el que se está realizando el ensayo, sustituyendo en la siguiente ecuación η_0/UF' por el valor de F1.

La cual se obtiene como resultado de la integración del balance de energías entre dos instantes de tiempo.

$$F_2 = -\frac{F_1 \cdot C}{A(t_2 - t_1)} \cdot \text{Ln} \left[\frac{1 - \frac{A}{A_a \cdot I \cdot F_1} \cdot (T_2 - T_a)}{1 - \frac{A}{A_a \cdot I \cdot F_1} \cdot (T_1 - T_a)} \right] \approx \eta_0$$

Donde: F_1 = Primera figura de mérito
 m = masa de agua [kg]
 C = masa por capacidad calorífica [kJ/K]
 A_a = Área de apertura de la cocina [m²]
 $(t_2 - t_1)$ = tiempo de exposición [seg.]
 T_1 = Temperatura inicial del alimento
 T_2 = Temperatura final del alimento
 T_a = Temperatura ambiente del aire
 I = Radiación media sobre la superficie de la cocina [W/ m²]

FIG.1.27 Ecuación de figura de mérito F2 de norma india.

NOTA 1: Al establecer una temperatura de referencia, la solución de la ecuación anterior puede describir, frente a la variable “t” (tiempo), una curva característica ante las condiciones que se determinen para cada ensayo tipo.

NOTA 2: El factor F2 es una aproximación del rendimiento η_0 , resultado de sustituir F1 tal como se explica en la nota 2 de dicho factor. [14]

1.4.3 Comité europeo de investigación sobre la cocina solar

Conocidos los puntos de vista tanto de la norma americana como de la india, también es conveniente exponer el método de ensayo desarrollado en Europa.

El estándar propuesto por el Comité Europeo de Investigación sobre la cocina solar (ECSCR) da un paso más adelante a la hora de conocer el alcance

de estudio de estos dispositivos. Esta norma tiene un alcance más amplio que los ensayos expuestos hasta ahora, gran parte de su estudio se centra en la observación de ciertos factores que hasta este momento no habían sido tenidos en cuenta a la hora de calcular eficiencia energética de cada cocina.

Los nuevos factores que se deben estudiar van desde la seguridad del propio dispositivo hasta su facilidad de uso, pasando por su durabilidad o la relación coste / amortización. Muchos de estos factores pueden ser considerados como subjetivos, pero son de gran ayuda a la hora de realizar una comparación eficaz entre cocinas solares clasificadas en diferentes grupos de funcionamiento (concentración / acumulación) [15].

Procedimiento:

El proceso de evaluación de los dispositivos solares que sigue la norma gira en torno a las hojas de datos obtenidas, de forma detallada, por el responsable del estudio. La toma de datos forma parte, junto a los datos adicionales proporcionados por el fabricante de la cocina (en el caso que así sea), de la denominada “Prueba base” de este ensayo.

Esta “Prueba base”, según el Comité Europeo de Investigación, debe realizarse en torno a las horas del mediodía solar, obteniendo así valores de radiación máximos, en condiciones meteorológicas óptimas. Todo el ensayo va a constar de los siguientes cinco apartados, ante diferentes condiciones y líquidos de estudio.

1. Calentar agua en la cocina desde una temperatura inicial de 40 °C hasta su temperatura de ebullición, o de estancamiento en su defecto. La cocina debe haber sido orientada hacia el Sol antes del ensayo para su precalentamiento. Recipiente tapado.
Una vez alcanzado uno de los dos estados anteriores, desorientar la cocina de la incidencia directa de los rayos solares (girándola) y dejar enfriar hasta 80 °C.

2. Calentar aceite en la cocina desde una temperatura inicial de 40 °C hasta su temperatura de estancamiento. La cocina debe haber sido orientada hacia el Sol antes del ensayo para su precalentamiento. Recipiente destapado.
Con el mismo aceite, desorientar la cocina de la incidencia directa de los rayos solares (girándola) y dejar enfriar hasta 100 °C.
3. Repetir el apartado 1 sin precalentar la cocina.
4. Repetir el apartado 1 con el recipiente de agua destapado.
5. Repetir el apartado 1 colocando la cocina en un ángulo de incidencia menor respecto al de máxima radiación solar. Esta prueba caracteriza el rendimiento de la cocina en condiciones de mañana o tarde.

Los cinco apartados anteriormente numerados son los principales ensayos que pueden ser recogidos dentro de la norma, pero no por ello son los únicos. Se pueden realizar otras combinaciones que den otros datos distintos, siempre y cuando se vea que los datos obtenidos pueden ayudar a caracterizar el rendimiento de la cocina sujeta a estudio.

Para la realización de cualquiera de las pruebas anteriores se debe tener en cuenta que las condiciones atmosféricas sean las propicias para obtener así datos válidos y que no estén afectados por agentes externos al ensayo. Estas condiciones deben estar adecuadas a las siguientes condiciones:

- Temperatura ambiente entre 25 y 35 °C
- Velocidad del viento menor de 4 m/s.
- Radiación solar global (superficie horizontal) mayor de 800 W/m².

Esta norma se presenta como una herramienta muy útil en el campo de las comparaciones entre la totalidad de las cocinas solares (todas ellas en las mismas condiciones climatológicas), puesto que es de fácil realización y entendimiento gracias a la toma y estudio de los diferentes intervalos de tiempo.

En definitiva, se obtienen resultados muy tangibles de cómo se comportan unas cocinas frente a otras.

Paralelamente al campo de la comparativa, esta norma presenta ciertos vacíos que hacen de ella una herramienta no válida a la hora de cruzar resultados de diferentes días (ante diferentes condiciones climatológicas), puesto que no se tienen en cuenta factores como la radiación o la temperatura ambiente que rodea a la cocina durante su funcionamiento.

Estos factores son de vital interés para conocer la eficiencia que presenta la cocina en un día determinado, y así poder comparar, en función de cómo varían dichos valores, cualquier cocina que haya sido estudiada en cualquier otro momento dado.[15]

1.5 IMPACTO SOCIOAMBIENTAL

El alarmante ritmo que sigue la explotación masiva de recursos naturales hace que, al día de hoy, el mayor problema al que se enfrentan los países en desarrollo sea avanzado deterioro y escasez de medios energéticos y la falta de alternativas renovables.

Ante toda esta situación límite, la opinión generalizada de utilizar energías alternativas renovables lleva a mirar al Sol, unos de los focos energéticos más potentes y menos aprovechado. En muchos países en desarrollo existen programas energéticos, los cuales van impulsando al propio país,

Estos proyectos que se van desarrollando son una herramienta para ayudar en la introducción de dispositivos de energía solar a las pequeñas zonas rurales, Estos dispositivos son los que se pueden hacer con materiales locales a costa de poco o ningún gasto y que la gente pueda entender de forma fácil, y que beneficie enormemente a la población local en estas regiones.

La energía procedente del Sol predomina en todo el mundo, es inagotable y especialmente en El Salvador se tiene el privilegio de contar con días soleados la mayor parte del año, y no hace falta almacenarla ni transportarla, es por ello que es la mejor alternativa.

Tanto los hornos solares como los destiladores solares son formas de bajo costo capaces de proporcionar agua limpia y sana, libre de parásitos, ya que la pasteurización del agua se puede lograr a partir de 65 °C y la de los alimentos en general en torno a los 80 – 85 °C. Todo esto mejora la salud de todos aquellos que utilizan estos dispositivos, pero no sólo la salud se ve mejorada, sino la calidad de vida.

Los beneficios que se han mencionado anteriormente, tanto para la salud como los beneficios ambientales, han hecho de las cocinas solares unas alternativas atractivas y reales en áreas desfavorecidas del mundo. Los proyectos humanitarios han introducido las cocinas solares en Darfur, Malí, Kenia y Tanzania en África y la India, Vietnam y Nepal en Asia. Y ahora se piensa porque no introducirlas en El Salvador donde el índice de pobreza y deforestación es muy elevado. Por tal motivo las cocinas solares son un instrumento que ayudara a los salvadoreños a cuidar del medio ambiente y también de la economía familiar. Un hogar salvadoreño se ahorraría dinero mensual si utilizara una cocina solar para preparar un tiempo de comida o dos. Y se podrían evitar enfermedades si se utilizara para la pasteurización de agua [6].

2.0 DISEÑO DE LA COCINA SOLAR PARABOLICA

Para el diseño de la cocina solar se tomara en cuenta factores no solo técnicos, sino también sociales, ya que se trata de un dispositivo que beneficie a las personas más necesitadas, contribuyendo a mejorar su nivel de vida, tanto económicamente como saludablemente.

Uno de los aspectos más importantes del diseño de la cocina es que no es una cocina para un día de campo, como se les encuentra a la venta en internet o en algunos lugares, sino que será una cocina para uso diario, construida con materiales resistentes y con una forma sencilla pero que el cocinar en ella sea semejante al cocinar normalmente en una cocina de casa.

Otro aspecto que cabe señalar, es que el diseño de la cocina se basara en la utilización de materiales lo más económicos posibles y que se puedan encontrar en cualquier ferretería del país; pero sin afectar la eficiencia de la misma.

2.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Para establecer el diseño se tienen que estudiar dos tipos de requerimientos: los requerimientos sociales y los requerimientos técnicos. Esto ayudara a establecer el diseño más conveniente:

1. Sociales

- La cocina debe tener una altura adecuada, como una cocina normal.
- La estructura debe tener un peso adecuado para su traslado pero que no se la lleve el viento,
- La cocina tiene que ser suficientemente para cocinar alimentos para toda la familia

- Los materiales para su construcción deben de tener un costo accesible.
- El uso y la manipulación de la cocina debe ser de una forma sencilla.

2. Técnicos

- La parábola de la cocina debe tener un área adecuada que permita concentrar el calor necesario para la cocción de los alimentos.
- El material reflejante debe tener un buen factor de reflexión para aumentar la eficiencia de la cocina.
- La geometría de la parábola debe ser lo más exacta posible, para no tener pérdidas en la concentración de calor.
- Los materiales deben ser resistentes a las inclemencias del tiempo y fáciles de reemplazar.

2.2 DISEÑO PROPUESTO

Al estudiar los requerimientos sociales y técnicos de la cocina, se ha establecido un diseño que se cree cumplirá con todos los requerimientos

Tomando como base algunas cocinas ya existentes, vistas en diferentes sitios web de organizaciones no gubernamentales y comerciales, se estableció un diseño, utilizando las mejores características de las cocinas antes vistas. Que según el estudio cumple con todos los requerimientos antes mencionados.

- La estructura de la cocina será de un tipo de acero que sea resistente a la corrosión. ya que en la mayoría de los casos la cocina quedara a la intemperie.
- El colector tendrá una estructura de tubo de acero cuadrado y será cubierta con un material liviano y maleable para que se acople a la geometría del colector

- El colector se acoplara a una estructura base por medio de placas rectangulares, haciendo el papel de balancines que a la vez permitan la un movimiento en un ángulo vertical del paraboloide.
- La cocina tendrá rodos para poder desplazarla y para orientarla frente al Sol.
- El colector parabólico será de foco expuesto, de este modo el punto donde incidirán los rayos solares reflejados quedara afuera del colector a una distancia determinada, permitiendo cocinar de una manera más cómoda.
- El material reflectivo será espejo de vidrio para tener la mejor eficiencia en reflexión de la luz y a la vez por qué es un material duradero, fácil de encontrar y de poco mantenimiento.

La cocina tendrá 6partes principales que son:

1. Estructura base de la cocina: es el lugar donde se pondrá la olla para cocinar y es la parte que sostiene el paraboloide
2. Estructura del colector parabólico: que es la estructura parabólica donde se pondrá la cobertura y el material reflejante.
3. Balancines: que con los soportes que detendrán el paraboloide unido a la estructura base y a la vez servirán para poder rotar el paraboloide sobre la vertical.
4. Mecanismo de orientación solar y fijación.
5. Cobertura y material reflectivo del colector.
6. Rodos para orientar la cocina de este a oeste

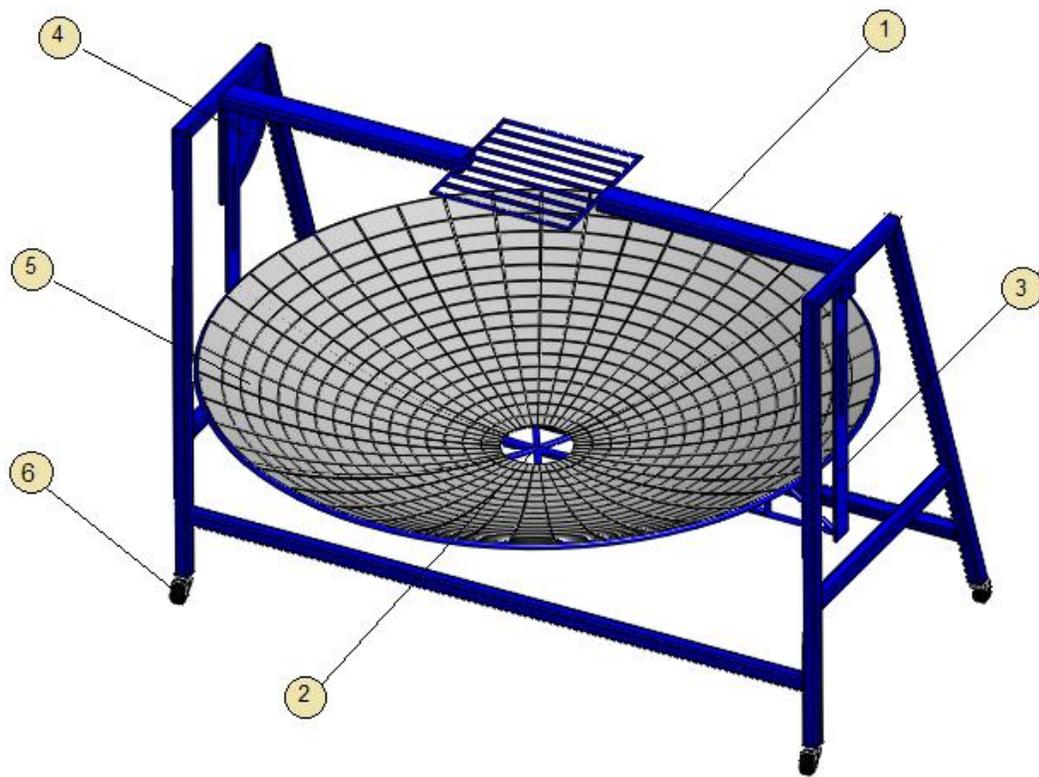


FIG 2.1 Partes de la cocina solar

2.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE DE LA COCINA

Las dimensiones de la estructura fueron determinadas mediante el estudio de los requerimientos. Se tomó en cuenta que la altura de la mesa fuera similar a la altura de las cocinas convencionales y el ancho de la misma tiene que ser adecuado al diámetro del paraboloide ya que este último se ubicara por debajo de la mesa. Es de suma importancia que el banco no haga mucha sombra para evitar pérdidas de calor.

El banco de la cocina tendrá las patas traseras más largas que las delanteras y estarán inclinadas a 20° para hacer soporte al paraboloide cuando este se incline para la orientación al Sol. (fig.2.2).

Dimensiones:

- ✓ 850 mm de altura
- ✓ 1180 mm de ancho
- ✓ 300 mm de profundidad superior y 600 mm de profundidad inferior.
- ✓ La parrilla para la colocación de la olla será de 250 x 250 mm.

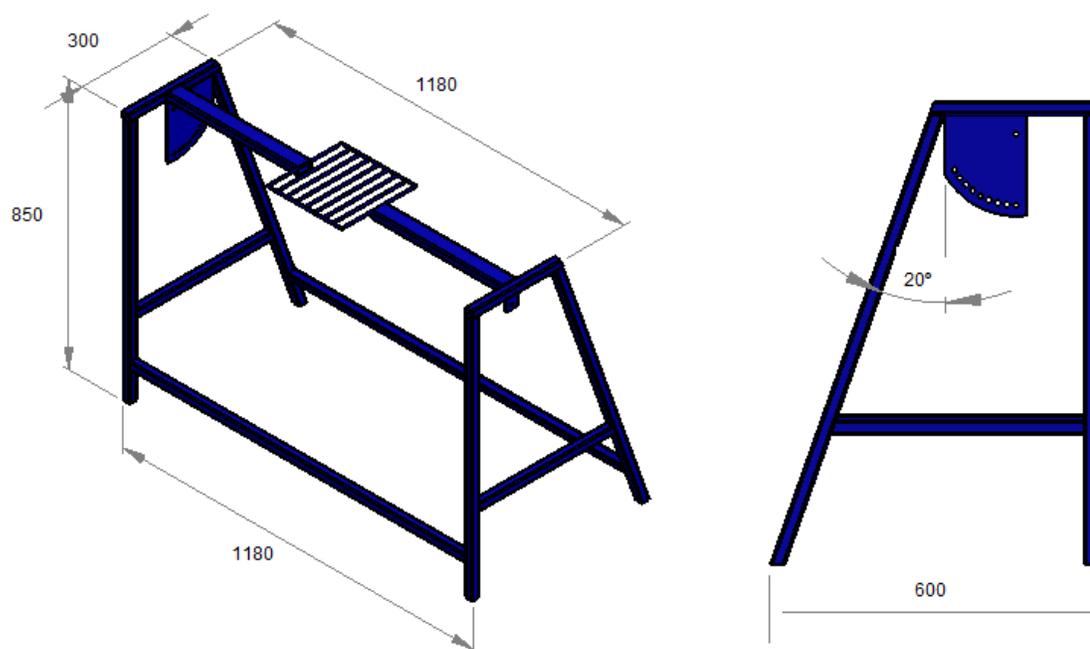


FIG. 2.2 Estructura base de la cocina.

Debido a que se necesita una estructura resistente, a las inclemencias del tiempo, con un peso moderado para un fácil movimiento; la estructura se construirá con tubo estructural cuadrado galvanizado chapa #16 de 1 pulg.

El tratamiento superficial más usual que se aplica a este producto es el galvanizado en caliente, que da como resultado un material más resistente a la corrosión.

Tubos cuadrados de 1 pulg (25.4 mm)

- ✓ 2 piezas de 1130 mm
- ✓ 2 piezas de 300 mm
- ✓ 2 piezas de 850 mm
- ✓ 2 piezas de 460 mm

- ✓ 2 piezas de 900 mm

Varilla redonda lisa de 3/8 pulg (9.5 mm)

- ✓ 4 piezas de 250 cm

Varilla redonda lisa de ¼ pulg (6.4 mm)

- ✓ 7 piezas de 230 mm

Tubo rectangular de 2x1 pulg (50.8 x 25.4 mm)

- ✓ piezas de 440 mm
- ✓ Pletina de 1/4 pulg (6.5 mm)
- ✓ 1 pieza de 50x40 mm

2.4. DISEÑO DEL COLECTOR

El colector parabólico es quizá la parte más importante de la cocina ya que de ello depende en gran medida la eficiencia que poseerá.

La cocina se diseñara, como antes se mencionó, de foco expuesto, con diámetro de 110 cm ya que según investigaciones previas, en sitios especializados y comercios en el área de energías renovables, los diámetros encontrados son desde 100 cm hasta 140cm y tienen capacidades para cocinar alimentos de 4 a 6 personas. Por este motivo y al considerar que 140 cm es

demasiado grande por los espacios con los que cuentan las viviendas en nuestro país, se determinó 110 cm para el paraboloide y un punto focal de 50 cm, considerando la altura de la cocina, se pensó en que esta altura de foco sería la más indicada.

Utilizando la ecuación de la parábola con un punto focal de 50 cm, se determinaron los puntos de la parábola. Estos puntos serán de mucha importancia a la hora de construir el paraboloide ya que servirán de guía para poder dar la curvatura correcta.

Para la obtención de los datos se utilizó el software Microsoft Excel

$$y = \frac{x^2}{4p} \quad (\text{EC. 2.1})$$

Dondep es 50 cm

La ecuación también puede desarrollarse con lápiz y papel pero se tendrán que hacer muchas intenciones con cada valor numérico, desde el 1 hasta el 55, este proceso puede ser muy tedioso, por eso se recomienda como es el caso de este trabajo, que se resuelva la ecuación para un foco determinado con el software Microsoft Excel u otro software similar donde sea posible resolver la ecuación.

En la siguiente tabla se muestran todos los valores correspondientes a cada punto de la gráfica, coordenadas para x y para y, que describe la parábola de foco expuesto que utilizaremos posteriormente para construir el paraboloide que será el colector solar para la cocina.

TABLA 2.1 Coordenadas de la parábola

COORDENADAS DE LA PARABOLA			
x	y	x	y
1	0,005	28	3,92
2	0,02	29	4,205
3	0,045	30	4,5
4	0,08	31	4,805
5	0,125	32	5,12
6	0,18	33	5,445
7	0,245	34	5,78
8	0,32	35	6,125
9	0,405	36	6,48
10	0,5	37	6,845
11	0,605	38	7,22
12	0,72	39	7,605
13	0,845	40	8
14	0,98	41	8,405
15	1,125	42	8,82
16	1,28	43	9,245
17	1,445	44	9,68
18	1,62	45	10,125
19	1,805	46	10,58
20	2	47	11,045
21	2,205	48	11,52
22	2,42	49	12,005
23	2,645	50	12,5
24	2,88	51	13,005
25	3,125	52	13,52
26	3,38	53	14,045
27	3,645	54	14,58

Datos obtenidos con Microsoft Excel



FIG. 2.3 Parábola de la cocina solar.

Utilizando la ecuación 2.1 se obtiene la altura de la parábola que en este caso sería de 150 mm para un foco de 500 mm

2.4.1. Estructura del colector solar

Para construir la estructura se utilizara tubo cuadrado chapa #14 de $\frac{1}{2}$ pulg, se harán tres circunferencias de diferente diámetro y 6 parábolas moldeadas según la curvatura de parábola obtenida con la ecuación 2.1, con una longitud de 580 mm. (fig. 2.4) Tendrá una estructura que hará función de soporte, donde irán soldados los balancines que servirán para acoplar y orientar el colector hacia el Sol. (fig.2.5).

Dimensiones:

- ✓ Diámetro mayor: 1120 mm (medida exterior)
- ✓ Diámetro medio: 740 mm (diámetro exterior)

- ✓ Diámetro menor: 180 mm (diámetro exterior)
- ✓ Altura : 170 mm

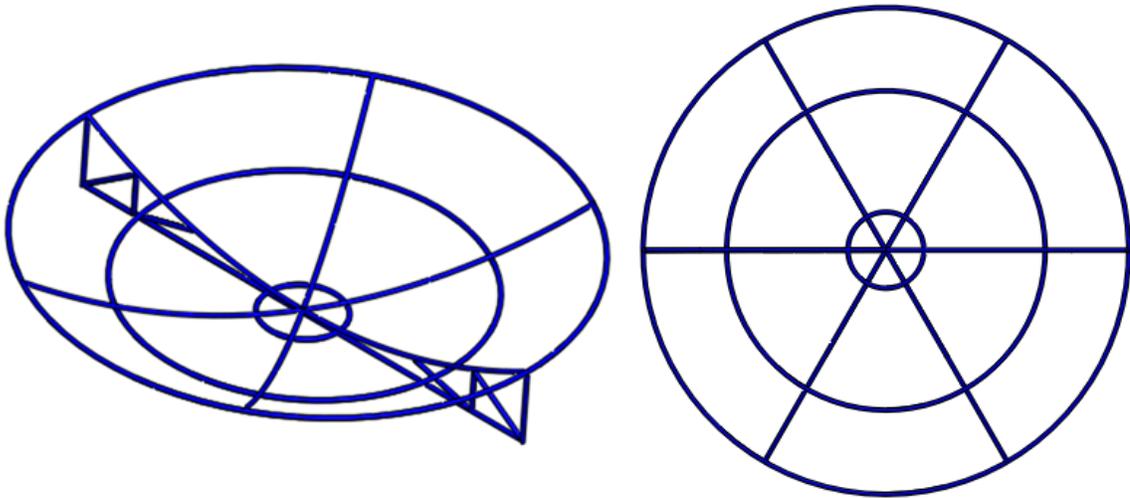


FIG. 2.4. Estructura del colector solar

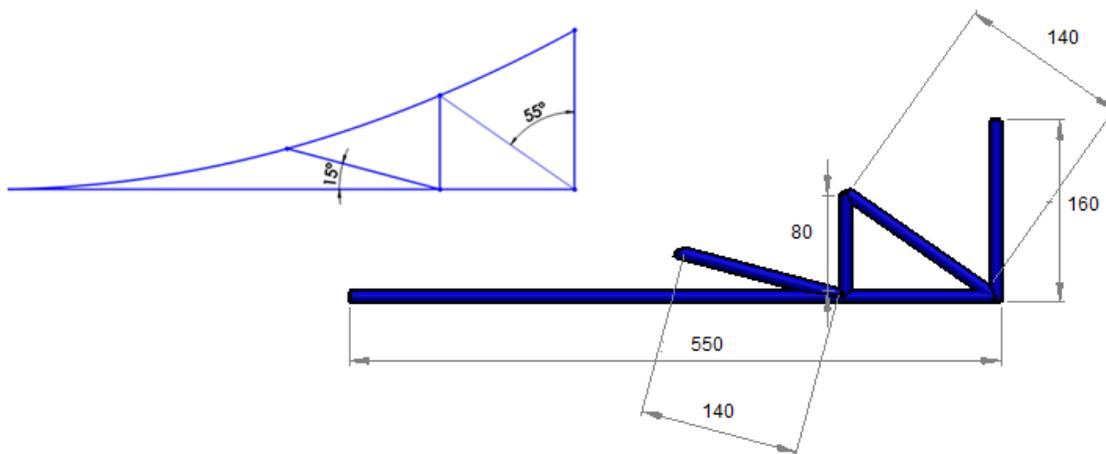


FIG. 2.5 Soporte de la estructura del colector

En la figura 2.5 se muestran la ubicación de los tubos para el soporte de la estructura del paraboloide, a ángulos de 55° y 15° , también se muestran sus dimensiones.

Para la estructura del colector se utilizara:

- ✓ 1 circunferencia de 1120 mm de diámetro exterior
- ✓ 1 circunferencia de 740 mm de diámetro exterior.
- ✓ 1 circunferencia de 180 mm de diámetro exterior.
- ✓ 6 parábolas de 567 mm de largo (las parábolas hechas para un foco de 500 mm)

Soporte de la estructura del colector (FIG. 2.5)

- ✓ 2 piezas de 160 mm de largo
- ✓ 2 piezas de 80 mm de largo
- ✓ 2 piezas de 550 mm de largo
- ✓ 4 piezas de 140 mm de largo

2.4.2. Cubierta de la estructura del colector

La cubierta de la estructura del paraboloide serán 12 secciones de lámina galvanizada chapa # 32; 6 secciones de circunferencia y 6 secciones de circunferencia truncadas, formando una matriz, con un ángulo de separación entre ellas de 60° . A continuación se muestra su distribución.

- 6 secciones de circunferencia de 320 mm de radio y un ángulo de 60° (figura 2.6)
- 6 secciones de circunferencia truncada 260 mm de altura con un ángulo de 60° medido desde el mismo vértice que las secciones de parábola (figura 2.7).

Se utilizara esta modalidad de secciones para obtener la mejor curvatura parabólica posible con las secciones, ya que si se utiliza secciones demasiado grandes no se obtendrá la curvatura parabólica deseada en la lámina (fig. 2.9)

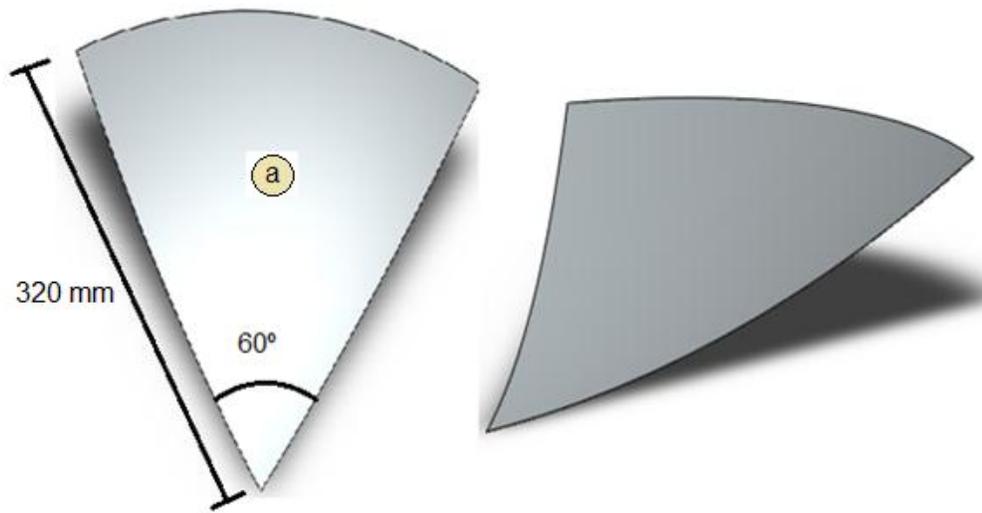


FIG. 2.6 Cobertura del colector solar (a).

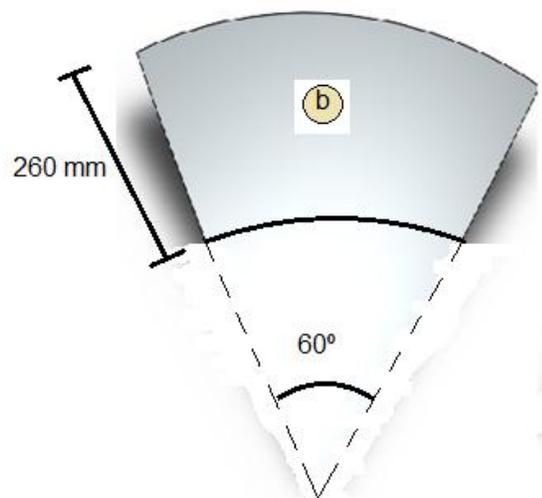


FIG.2.7 Cobertura del colector solar (b).

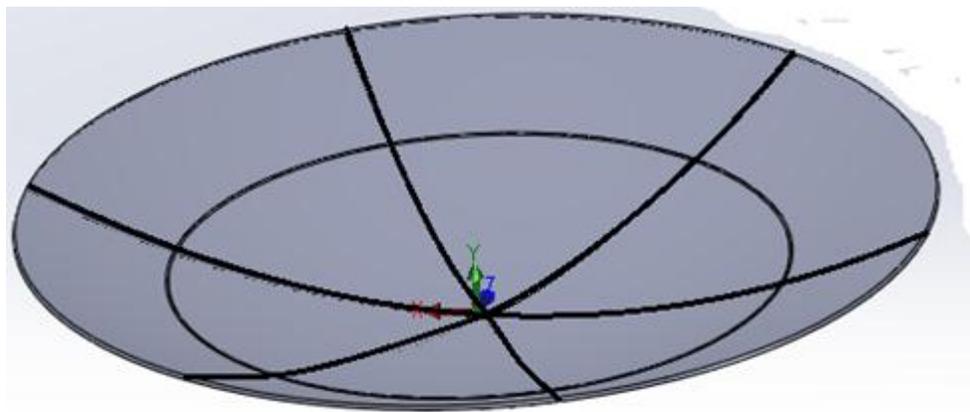


FIG. 2.8 Colector solar con cobertura

En la figura 2.8 se muestra la distribución de las secciones circulares y secciones circulares troncadas colocadas en la estructura del paraboloide (la imagen es solo muestra de cómo se deberá color las secciones).

2.4.3. Recubrimiento reflectivo del colector

El recubrimiento de la cocina solar será de espejo de vidrio. El espejo esta entre los materiales que presentan una reflectividad mayores al 95%, aparte de esto se decidió usar espejo porque es un material fácil de encontrar, de precio accesible, de poco mantenimiento y fácil de sustituir en caso de dañarse.

Cada una de las 6 secciones del paraboloide contendrá 70 espejos con una altura de 50 mm cada uno y su distribución se muestra en la figura 2.9.

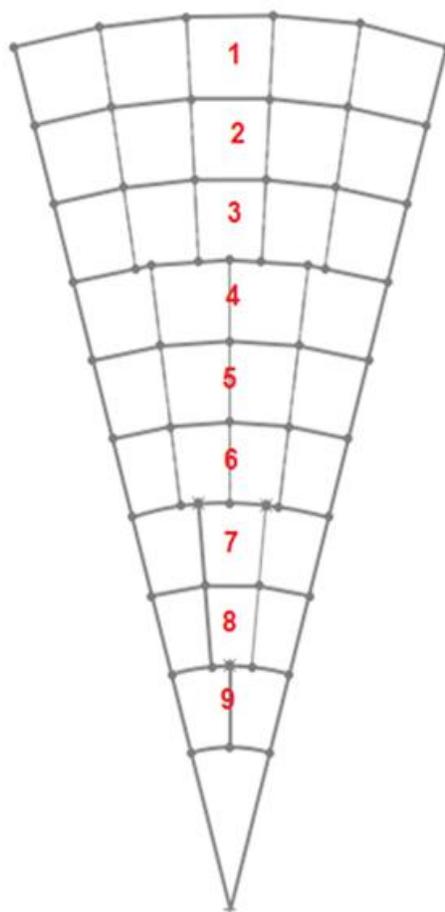


FIG.2.9. Distribución de espejos

En la figura 2.9 se muestra la distribución de los espejos en una sección de 30° , por comodidad, pero la distribución se hará sobre secciones de 60° como antes se mencionó, solo se duplicarán la cantidad de espejos. Cada número corresponde a un nivel de espejos con medidas diferentes. La colocación de los espejos no necesariamente se debe de hacer como se muestra en la figura anterior, ya que aunque se utilice otra manera de poner los espejos en las secciones siempre quedarán correctamente.

Dimensiones de los espejos:

Las dimensiones y forma de los espejos se diseñaron mediante experimentación (en base a la figura 2.9) se llegó a la conclusión que los espejos deberán ser de forma trapezoidal ya que esa figura geométrica fue la

que más se acoplo a la sección de circunferencia de prueba. Las dimensiones de los espejos también son producto de experimentación en papel y lápiz; estas dimensiones fueron las que mejor se adaptaron al paraboloide sin presentar muchas pérdidas de curvatura por los espejos.

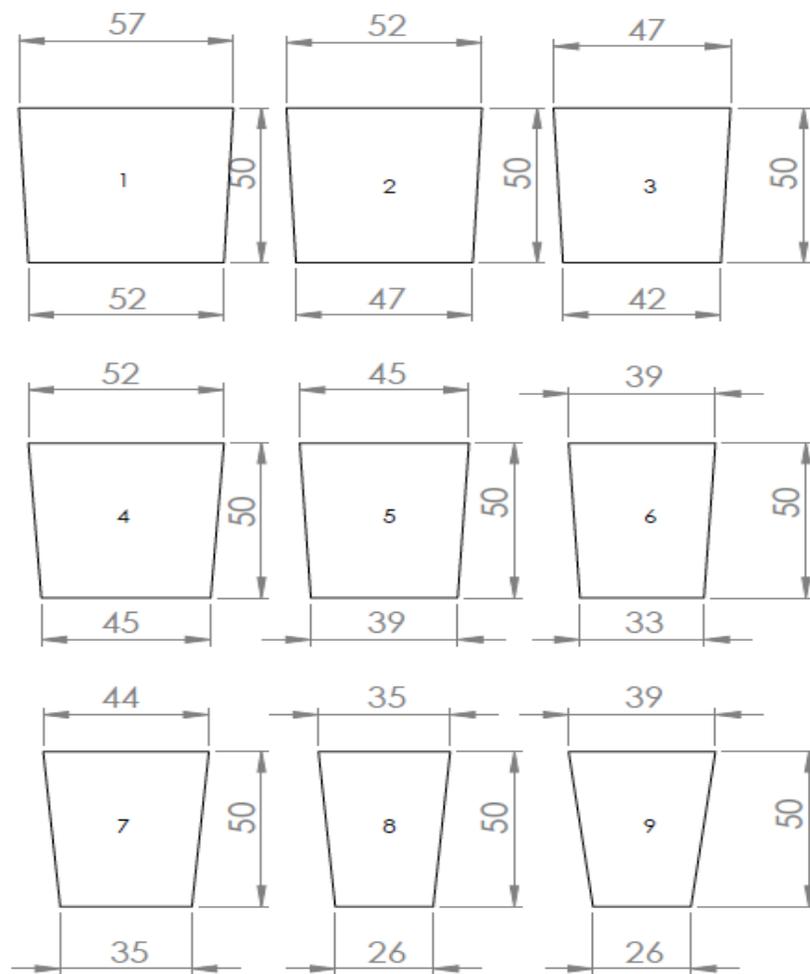


FIG.2.10. Dimensiones de los espejos (medidas en mm)

Los trapecios mostrados en la fig.2.10 no tienen las magnitudes reales acotadas, solo son de referencia para mostrar las medidas de cada uno de ellos. En la siguiente tabla se muestra la cantidad de espejos según su medida y posicionamiento en el paraboloide, así como se vio en las figuras 2.9 y 2.10 respectivamente.

TABLA 2.2. Cantidad de espejos necesarios para el recubrimiento del paraboloide según sus medidas.

CANTIDAD DE ESPEJOS POR NIVEL	
Nº DE NIVEL	CANTIDAD
Nivel 1	60
Nivel 2	60
Nivel 3	60
Nivel 4	48
Nivel 5	48
Nivel 6	48
Nivel 7	36
Nivel 8	36
Nivel 9	24
Total de espejos	420

Datos obtenidos experimentalmente.

Los espejos se colocaran en el orden antes mencionado y se pegaran con silicón especial para vidrio. En la figura 2.11 se muestra esquemáticamente cómo quedaría el paraboloide con los espejos colocados.

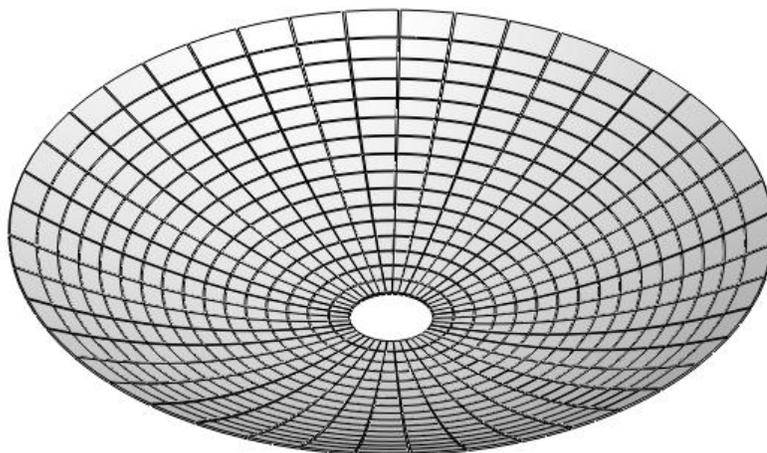


FIG.2.11. Vista de colector con espejos

2.2.4. Balancines

Los balancines servirán para sostener el paraboloide y a la misma vez para poder orientar la cocina al Sol, estos estarán sostenidos por pernos a la estructura base de la cocina, pero permitirán la libre rotación en un ángulo vertical del paraboloide por medio de los balancines. Estos serán de pletina de $\frac{1}{4}$ pulg (6.5 mm) de espesor y tendrán un agujero de $\frac{3}{8}$ de pulg (9.5 mm), para unirlo a la estructura base de la cocina, además 1 de ellos tendrá una ranura de 150 mm de largo x 9.5 mm de ancho, que servirá como corredera para detener el paraboloide en un ángulo determinado para la captación de calor. En la figura 2.12 se muestran los balancines y como se acoplaran en la estructura del paraboloide.

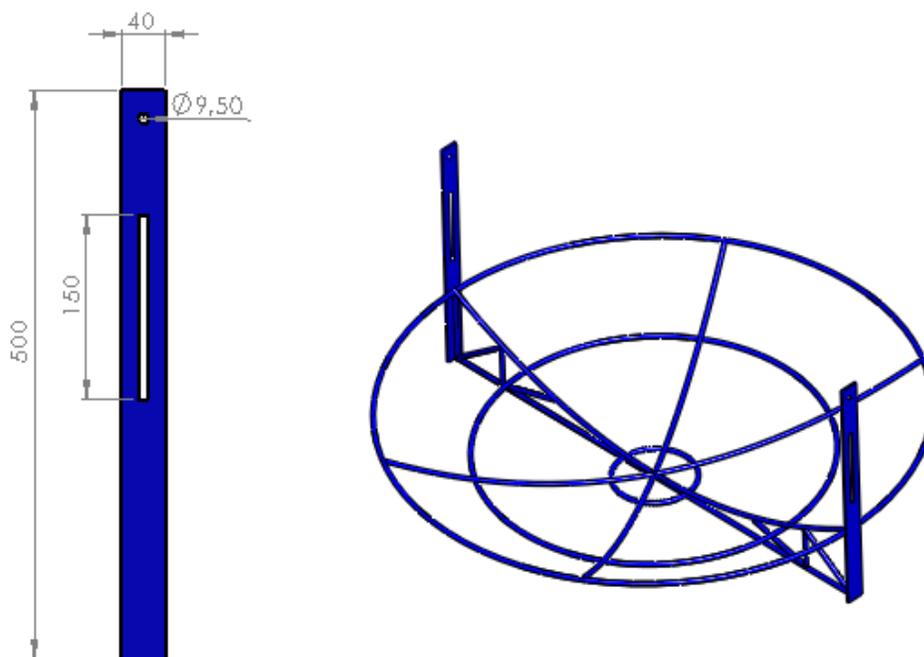


FIG. 2.12. Balancines de la cocina (medidas en mm)

Dimensiones:

- ✓ Altura: 500 mm
- ✓ Ancho: 40 mm
- ✓ Orificio: 3/8 pulg (9.5 mm).
- ✓ Ranura en uno de los balancines: 150 mm de largo y 9.5 mm de ancho.

Materiales:

- ✓ 2 pletinas de acero de 1/4 de pulg (6.4 mm), de espesor.

2.6 FIJACIÓN Y ORIENTACIÓN AL SOL

El mecanismo de orientación de la cocina es muy sencillo pero funcional. La orientación de la cocina de cara al sol sobre la vertical se hará manualmente halando el paraboloide hasta lograr una inclinación deseada respecto al sol y luego se pondrá un pasador que atravessara el balancín y el mecanismo de fijación, quedando la cocina fija en la posición deseada.

La orientación al Sol de este a oeste se hará por medio de rodos soldados al banco de la cocina, esta orientación se hará manualmente, rotando la cocina cada vez que sea necesario.

2.6.1 Placa de fijación y orientación al sol

La placa de orientación tendrá 9 agujeros para la orientación al sol con un diámetro de 3/8 de pulg (9.5 mm), los agujeros estarán ubicados a 15 mm de la arista inferior y una separación de 15° de centro a centro describiendo una circunferencia del centro en el agujero superior, de este modo se tendrá la posibilidad de orientar la cocina cada media hora, ya que como se vio en

apartados anteriores el sol se mueve 30° cada hora aproximadamente; la cocina se podrá orientar completamente 75° respecto a la vertical, con esto se cubrirá la orientación de la cocina hacia el sol de las 9 de la mañana a las 4 de la tarde aproximadamente. También tendrá un agujero para la fijación del colector solar mediante pernos pasados por los balancines con el mismo diámetro que los demás agujeros, pero este se ubicara en la parte superior derecha (ver figura 2.13) de la placa a una distancia de 35 mm de arriba abajo y 20 mm de la arista lateral, (ver planos en anexo para más detalle).

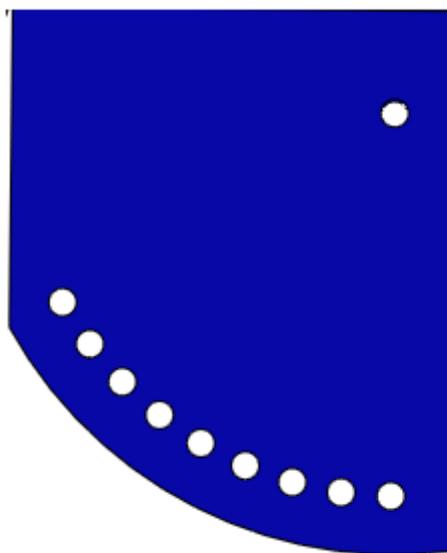


FIG. 2.13. Placa de orientación solar.

Dimensiones:

- ✓ Altura: 110 mm y 180 mm
- ✓ Radio de circunferencia: 150 mm
- ✓ Diámetro de agujeros: $3/8$ (9.5 mm) de pulg. con separación de 15° entre centros o 173 mm entre centros
- ✓ Espesor de la placa: $1/4$ de pulg (6.5 mm).
- ✓ Altura agujeros: 20 mm de la arista inferior al centro del agujero.

Materiales:

- ✓ Platina de acero de $\frac{1}{4}$ de pulg (6.5 mm). de espesor.

2.6.2 Platina de fijación.

El colector se sostendrá al banco por medio de los balancines. Los balancines irán acoplados por un lado a la placa de fijación (fig.2.13) y al otro lado por una platina de acero soldada (fig. 2.14), esta llevara un agujero a 35 mm medidos de arriba abajo y a 20 mm de la arista lateral de la pletina, para poder ponerle un perno y así sostener el colector y además conseguir el efecto balancín en el mecanismo.

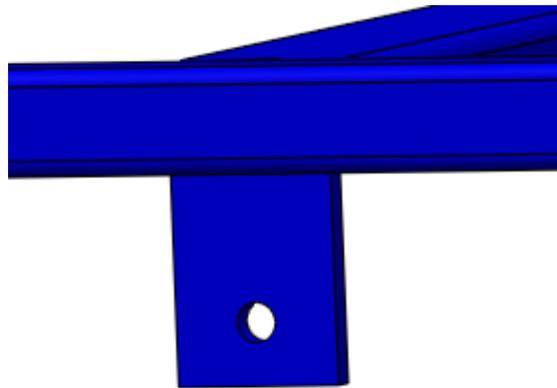


FIG. 2.14 Platina de fijación.

Dimensiones:

- ✓ 50 mm de altura
- ✓ 40 mm de ancho
- ✓ Agujero de $\frac{1}{4}$ de pulg (6.4 mm) de diámetro

Materiales:

- ✓ Platina de acero de $\frac{1}{4}$ (6.4 mm) de espesor.

2.6.3 Rodos para rotación

El mecanismo mostrado en la figura 2.13 permitirá la orientación al sol de la cocina en sentido vertical, pero también es necesario orientar la cocina en el eje horizontal o de este a oeste. Este movimiento se efectuara a través de rodos soldados a las patas de la cocina y se muestran en la figura 2.15.

Los rodos pueden ser de diferentes diseños, según el terreno en donde se utilizara la cocina, puede seleccionarse rodos más grandes con llantas para terrenos rústicos, llantas de goma, llantas con freno, entre otras.

Los rodos fueron seleccionados no diseñados y pueden adquirirse en cualquier ferretería del país.

Medidas:

- ✓ Alto: 70 mm
- ✓ Base. 20 x 20 mm



FIG. 2.15 Rodos para la orientación al sol

2.6 SISTEMA DE FIJACIÓN

El sistema de fijación de la cocina será muy sencillo, bastara con poner un pasador liso (fig. 2.16) entre la placa de orientación (fig. 2.13) y el balancín (fig.2.12) del paraboloide para poder fijar la cocina en un punto determinado, como se muestra en la figura 2.17.



FIG.2.16. Pasador para fijación de la cocina

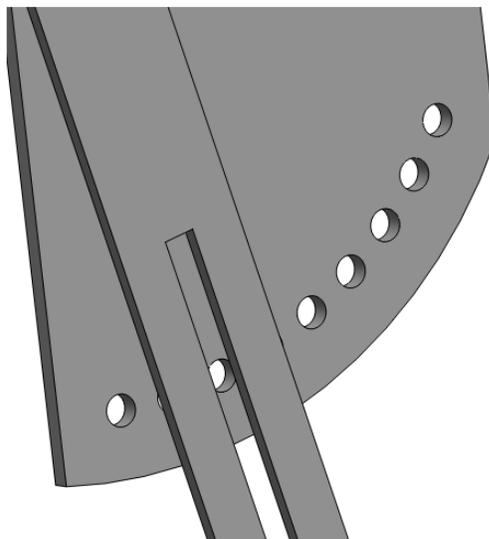


FIG. 2.17 Sistema de orientación de la cocina en vertical.

2.7 ENSAMBLE DE LA COCINA

El ensamble de la cocina tiene 5 pasos a realizar.

- ✓ Soldar los balancines y el soporte a la estructura del paraboloide
- ✓ Pegar las 12 partes de lámina al paraboloide.
- ✓ Pegar los espejos al paraboloide
- ✓ Soldar los rodos en las patas de la estructura de la cocina.
- ✓ Colocar el paraboloide en la estructura de la cocina y colocar los pernos de sujeción.

Tener el cuidado a la hora de ensamblar el colector a la estructura base, que el balancín con la ranura de orientación coincida con el lado de la estructura base que tiene la placa de orientación.

La unión del paraboloide con la estructura base de la cocina solar se hará mediante pernos arandelas y tuercas hexagonales de acero galvanizadas para mayor resistencia a la corrosión.

Los pernos a utilizar tendrán las siguientes medidas:

- ✓ Largo: 2 pulg (50.8 mm)
- ✓ Diámetro: 3/8 pulg (9.5 mm)
- ✓ 1 pulg (25.4 mm) de rosca y 1 pulg (25.4 mm) lisa

Materiales:

- ✓ 2 pernos de acero galvanizado.
- ✓ 4 arandelas de acero galvanizado.
- ✓ 2 tuercas hexagonales de acero galvanizado.



FIG. 2.18 Ensamble de la cocina solar parabólica (rende rizada y dibujada mediante el software solidworks.)

2.8 TIPO DE SOLDADURA Y ELECTRODO PARA EL ENSAMBLE

Como el material a utilizar para nuestra cocina es tubo cuadrado estructural ASTM A 36 chapa 14, todas las estructuras se unirán mediante soldadura eléctrica (saw), ya que la norma para este material indica que es recomendable. Aparte de esto la soldadura eléctrica, como se conoce en la sociedad, es de bajo costo y es fácil tener acceso a ella.

Para seleccionar el electrodo necesario para la soldadura, primero se hará un cálculo de esfuerzos a la estructura en las zonas más vulnerables a fallar; estas zonas son el tubo rectangular y la parrilla donde se colocara la hoya.

El esfuerzo al que estará sometida la estructura es un esfuerzo de flexión generado por el peso que se colocara en la parrilla.

Se supondrá que el peso que soportara la estructura 300 libras o 1,334.46 N, como solo se analizara un lado de la estructura se usara solo la mitad del peso.

Utilizando las ecuaciones y tablas para diseño de soldadura de “diseño en ingeniería mecánica” de Shigley tenemos:

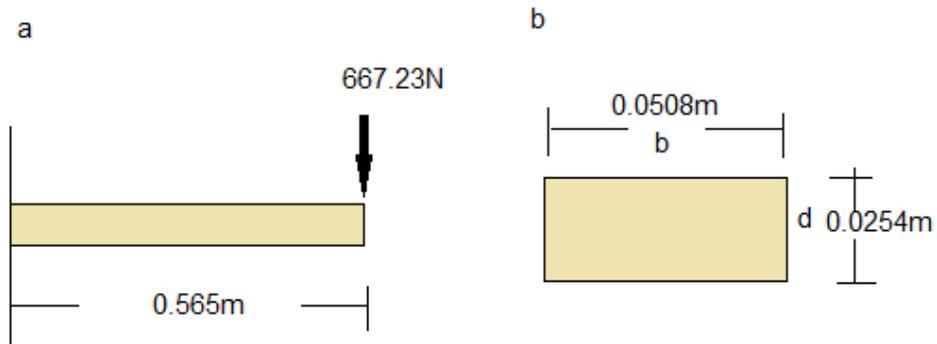


FIG. 2.19. a). Diagrama de cuerpo libre de estructura b). Área transversal

Datos:

$$F = 667.23N$$

$$N = 1(\text{factor de seguridad})$$

$$C = d/2$$

(EC. 2.2)

$$M = F * L = 376.98 \text{ N.m} \quad (\text{EC. 2.3})$$

$$A = 1.414h(b + d) = 0.1077h \text{ m}^2 \quad (\text{EC. 2.4})$$

$$Iu = \frac{d^2}{6}(3b + d) = 0.1779 \text{ m}^4 \quad (\text{EC. 2.5})$$

$$I = Iuh\cos 45^\circ = 0.12579h \quad (\text{EC. 2.6})$$

Evaluando los esfuerzos:

$$\tau = \frac{F}{A} = 6196.26/h \quad (\text{EC. 2.7})$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = 3806.06/h \quad (\text{EC. 2.8})$$

Del círculo de Mohr tenemos:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (\text{EC.2.9})$$

$$\sigma_1 = 8383.98/h$$

$$\sigma_2 = -4577.92/h$$

Haciendo un análisis de falla por el método de cortante máximo:

$$\frac{S_y}{2n} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (\text{EC. 2.10})$$

Sustituyendo valores y despejando h se obtiene el espesor del cordón de soldadura

$$h = 5.18 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Sustituyendo h en las ecuaciones de esfuerzos tenemos

$$\sigma = 73.4 \text{ Mpa}$$

$$\tau = 119.6 \text{ Mpa}$$

De este modo podemos determinar el tipo de electrodo a utilizar para la soldadura que será E6013 de 3/32 de pulg de diámetro que soporta 430Mpa, que nos dejara un factor de seguridad de 7 respecto al cordón necesario para la soldadura[17].

En la imagen 2.19 se muestra la simulación de la distribución de los esfuerzos por flexión a los que estará sometida la estructura. Esfuerzos de flexión por la teoría de Von Mises del tubo central de la estructura de la cocina, tomándolo en su punto más crítico como viga en voladizo.

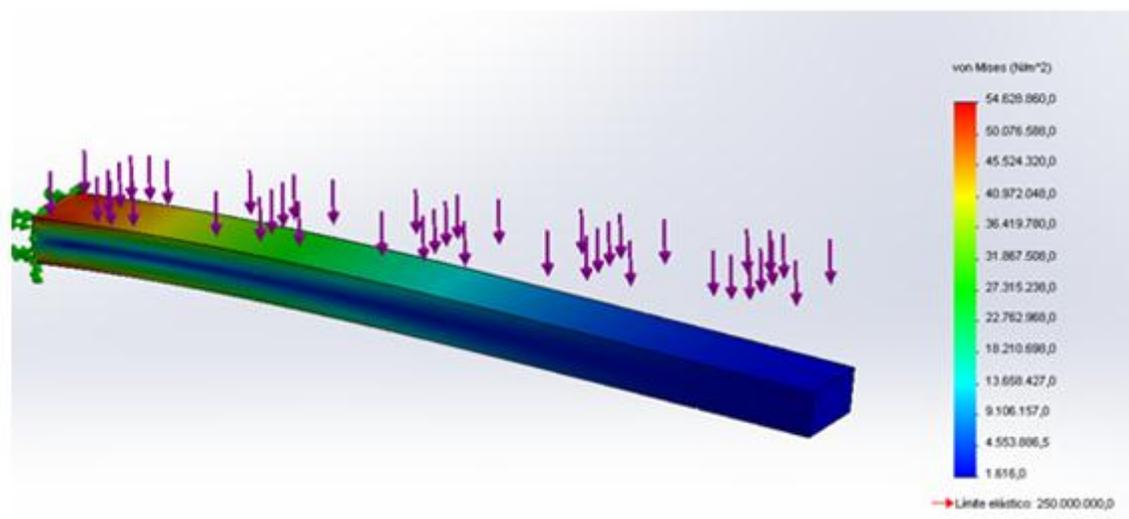


FIG. 2.20 Esfuerzo a la flexión de la estructura (simulación en el software solidworks).

De las imágenes anteriores se puede ver que los esfuerzos que podría sentir la estructura de la cocina por el peso de la hoja, suponiendo que pesara 300 libras, es significativa para el esfuerzo de fluencia que puede soportar el material. En el caso más crítico los datos de esfuerzo no se acercan ni a la mitad de lo que soporta el material que son 250 Mpa.

3.0 CONSTRUCCIÓN DE LA COCINA SOLAR

La construcción de la cocina solar parabólica se realizara según el diseño propuesto en la etapa anterior.

En esta etapa se muestra el método constructivo de la cocina solar, construcción del banco, construcción del paraboloide y armado de la cocina.

Un punto importante que hay que destacar, es que el método de construcción de la cocina es de forma manual y casi casera, ya que como antes se mencionó la cocina tiene que ser de bajo costo y teniendo en cuenta que este proyecto se realiza con la finalidad de ayudar a comunidades de bajos recursos económicos y en muchos de los casos gente que ignora el estudio de las energías renovables, se pensó en un método en el cual la comunidad puede contribuir con la construcción de las cocinas y a la ves aprender mucho de la energía solar térmica.

3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LA COCINA

En la tabla 3.1 se presenta los pasos principales a seguir para la construcción del banco de la cocina, todas la soldadura se harán con soldadura eléctrica y electrodo E6013.

En la figura 3.1 se muestra el banco de la cocina con sus dimensiones con sus partes numeradas para un mejor entendimiento en el armado.

Dimensiones:

- ✓ 900 mm de altura
- ✓ 1180 mm de ancho
- ✓ 300 mm de profundidad superior y 600 mm de profundidad inferior.
- ✓ La parrilla para la colocación de la olla será de 250 x 250 mm.

TABLA 3.1 Construcción de la estructura base de la cocina

ESTRUCTURA BASE DE LA COCINA		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
1	<p>Corte de piezas de tubo cuadrado de 1 pulg chapa 16</p> <p>(1) 2 piezas de 1130 mm (2) 2 piezas de 850 mm (3) 2 piezas de 900 mm (4) 2 piezas de 460 mm (5) 2 piezas de 300 mm</p>	<p>Cortar las piezas con sierra para metal.</p> <p>Armar los 2 marcos laterales con piezas (2), (5), (3) y (4), hacer chaflán a un extremo de las piezas (2) y (5) a 45° y a un extremo de la pieza (3) y al otro extremo de la pieza (5) a 60° para soldarlas.</p> <p>Soldar a uno de los marcos primero las piezas (1) y luego soldarlas al otro marco.</p> <p>Soldar las dos piezas (6) a los marcos, de último soldar la parrilla (7) ya unidos por las piezas (1).</p>
2	<p>Soporte de parrilla:</p> <p>Corte de tubo rectangular de 2x1 pulg (50.8 x 25.4 mm) chapa 16:</p> <p>(6) 2 piezas de 440 mm</p>	<p>Cortar pletina (8) y soldar en la posición correcta.</p> <p>Ver planos en anexos para más detalles.</p>
3	<p>placa de orientación:</p> <p>Corte de placa de acero de 180x110 mm de ¼ de pulg (6.35mm) de espesor</p>	<p>Cortar y limar la placa con una altura (a) de 110 mm, una altura (b) de 185. mm (fig.3.2) y ancho de 150 mm.</p> <p>Cortar desde el lado (a) al lado (b) describiendo una circunferencia con centro en el agujero superior (c)</p> <p>Hacer los agujeros con una broca de 3/8 de pulg (9.5mm). con una</p>

ESTRUCTURA BASE DE LA COCINA		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
		separación de 15° de centro a centro, describiendo también una circunferencia desde el centro (c). Soldar la placa en la posición (9) como se muestra en la fig.3.2. Ver planos en anexos para mayor detalle.

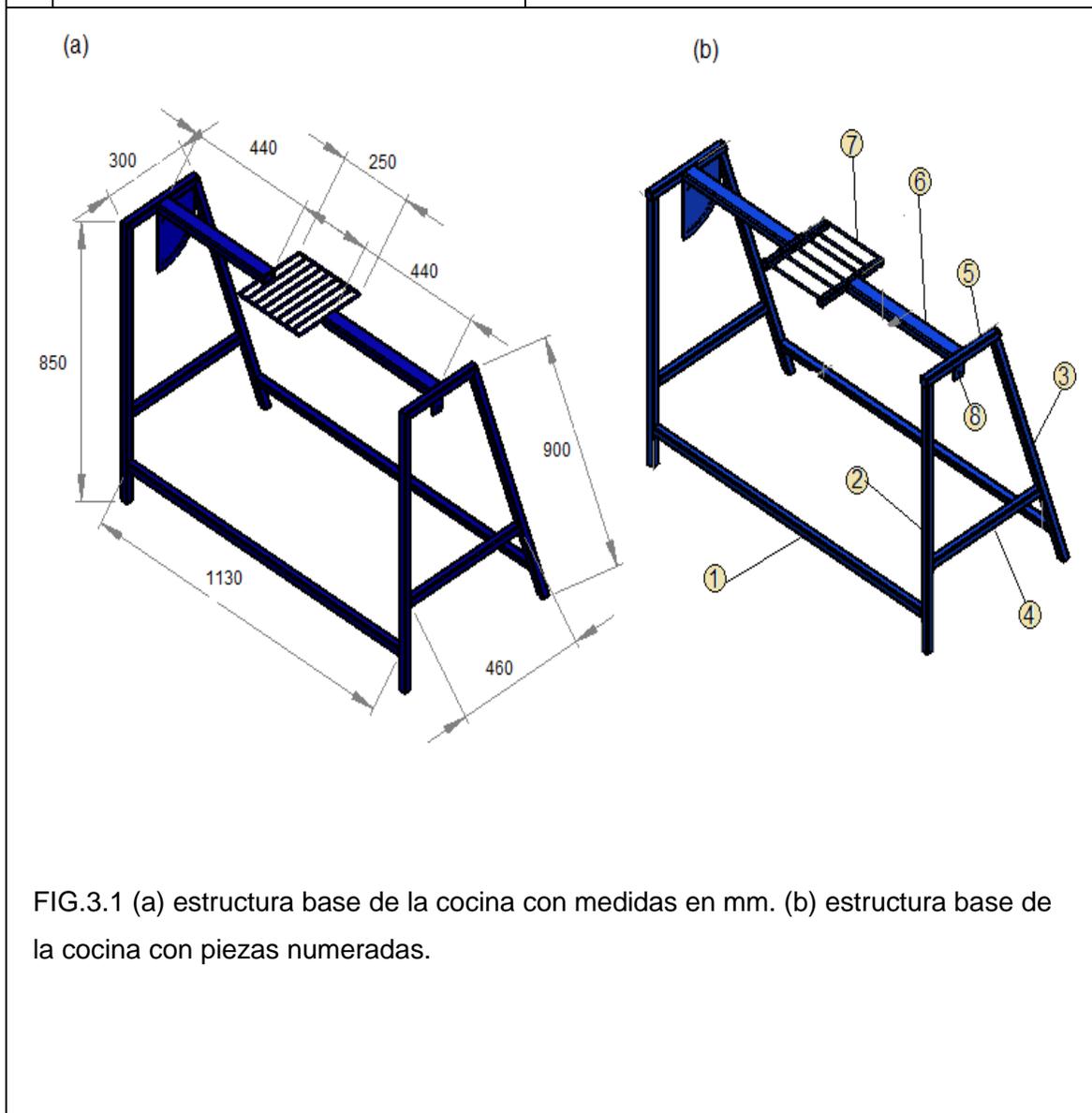


FIG.3.1 (a) estructura base de la cocina con medidas en mm. (b) estructura base de la cocina con piezas numeradas.

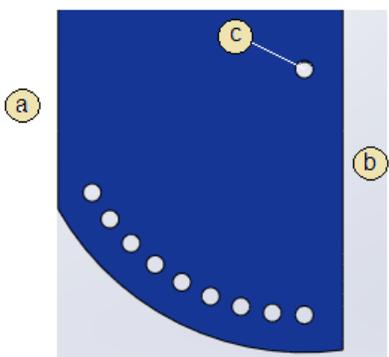
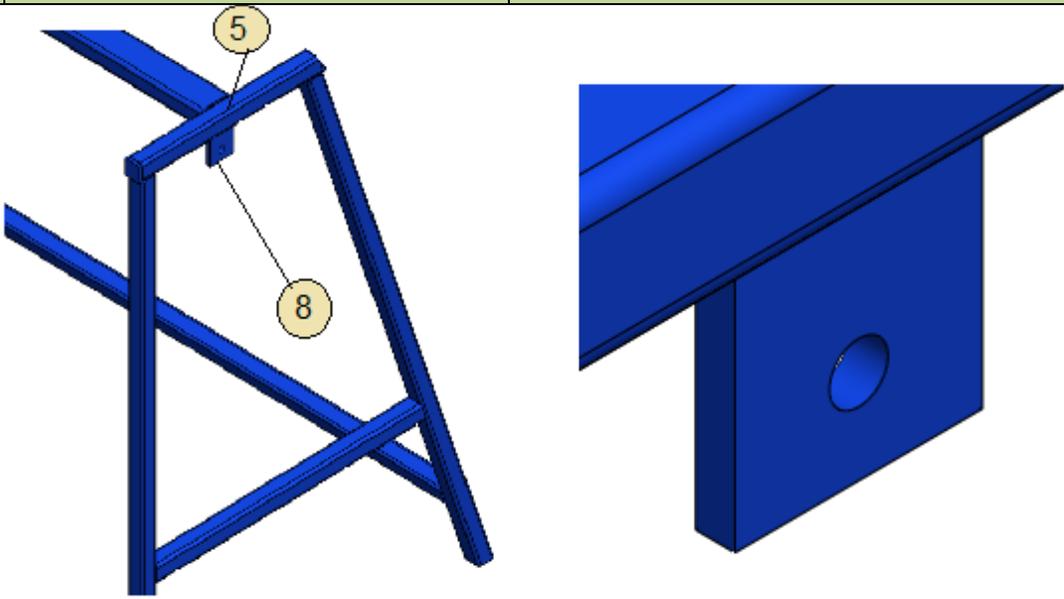
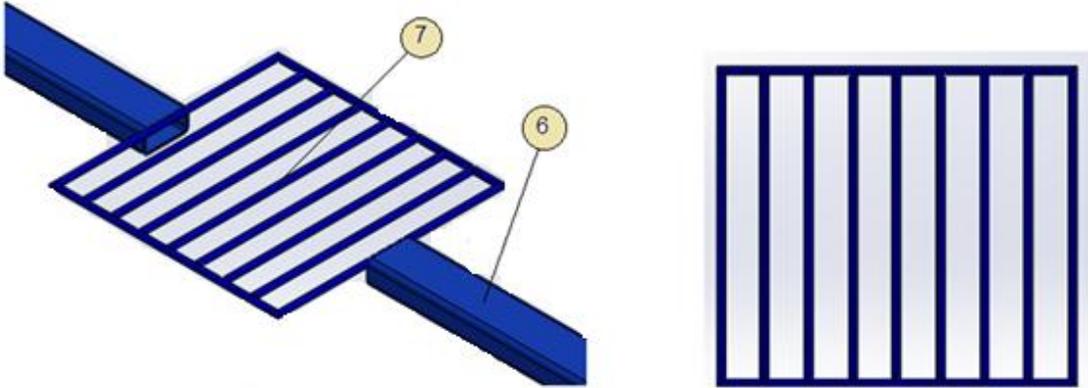
ESTRUCTURA BASE DE LA COCINA		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
		
4	<p>Platina de fijación:</p> <p>Corte de Platina de $\frac{1}{4}$ de pulg (6.35 mm).</p> <p>(8)1 pieza de 50x40 mm</p>	<p>Cortar la platina con las medidas especificadas y hacer un agujero con broca de $\frac{3}{8}$ de pulg (9.5 mm) a 15 mm de abajo hacia arriba y en el centro de la anchura.</p> <p>Soldar la platina, pieza (8) al centro de la pieza (5) como se ve en la fig.3.3, con el cuidado que el agujero sea concéntrico con el agujero (c) del mecanismo de fijación (9) de la fig.3.2.</p> <p>Ver plano en anexos.</p> <p>Tener el cuidado de que el agujero de la platina de fijación (8) sea concéntrico con el agujero superior de la placa de orientación (9) para que el colector quede de forma correcta.</p>

FIG.3.2 Construcción de placa de orientación al sol.

ESTRUCTURA BASE DE LA COCINA		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
		
<p>FIG.3.3 Construcción de platina de fijación.</p>		
5	<p>Parrilla:</p> <p>Corte de Varilla redonda lisa de 3/8 y de ¼ de pulg (6.5 mm).</p> <p>Parte (7)</p> <p>4 piezas de 250 mm cada una de varilla de 3/8 de pulg (9.5 mm).</p> <p>7 piezas de 230 cm cada una de varilla de ¼ de pulg (6.5 mm).</p>	<p>Cortar las varillas de las medidas que se muestran y luego soldarlas de la siguiente manera:</p> <p>Hacer el marco de la parrilla con varilla de 3/8 de pulg (9.5 mm).</p> <p>Hacer el interior de la parrilla con varilla de ¼ de pulg (6.5 mm). Soldar las varillas a una distancia de 25 mm cada una. Si no son medidas exactas tener el cuidado de que la separación sea proporcional.</p> <p>Soldar la parrilla (7) a las piezas (6) que ya deben de estar soldadas a los marcos laterales. Tener el cuidado que la parrilla quede centrada.</p> <p>Limar las esquinas de la parrilla para que no queden partes que puedan causar heridas</p>

ESTRUCTURA BASE DE LA COCINA		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
		
	FIG. 3.4. Parrilla de la cocina.	

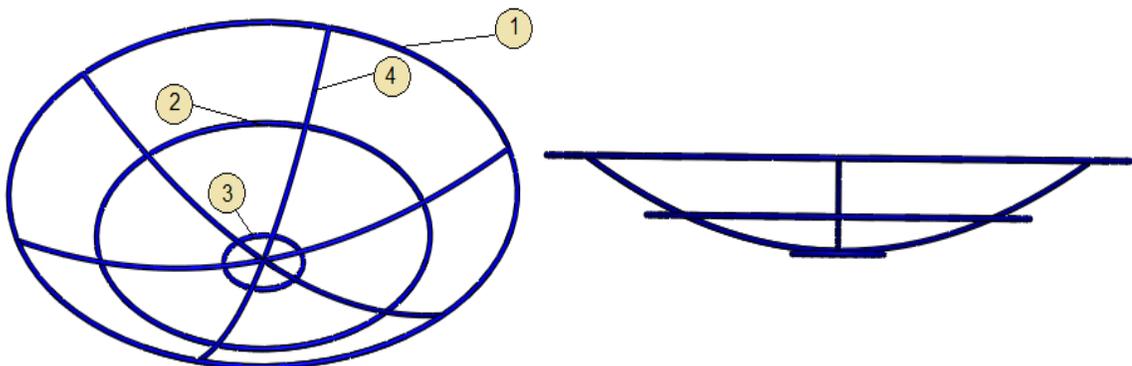
3.2 CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR.

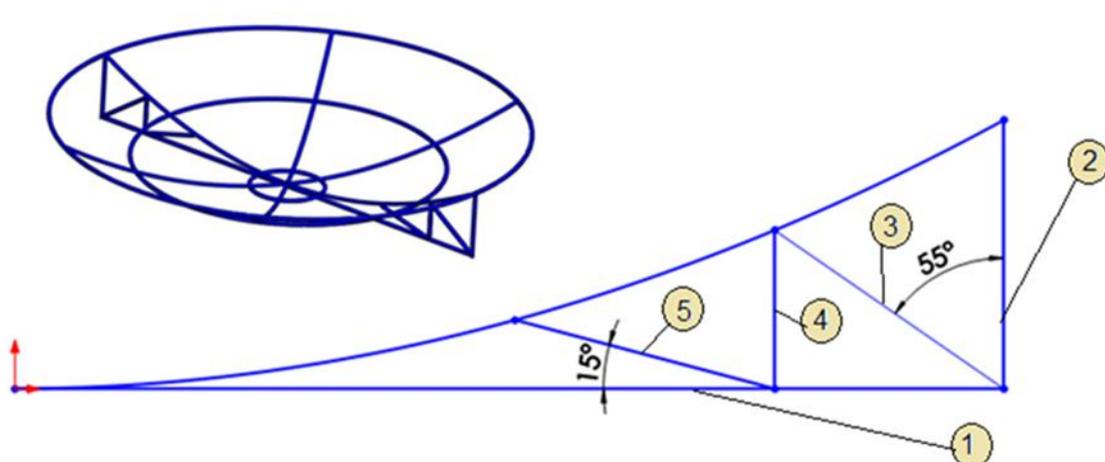
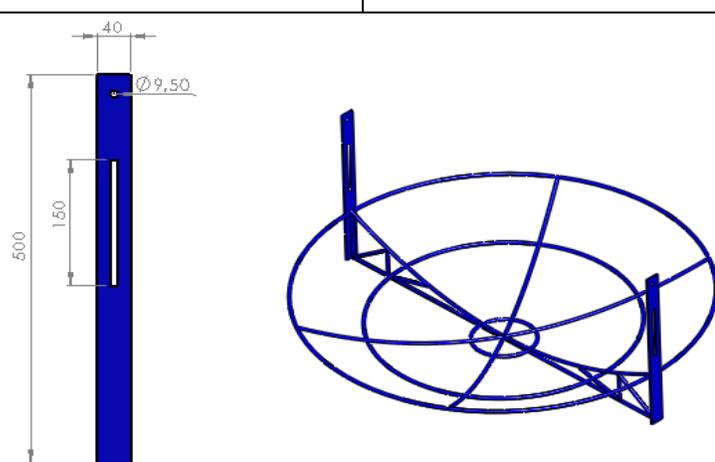
El colector solar de la cocina está compuesto por varias partes pero hay 3 que son las principales, la estructura, la cobertura y el material reflejante, a continuación se muestra la construcción de todas las partes.

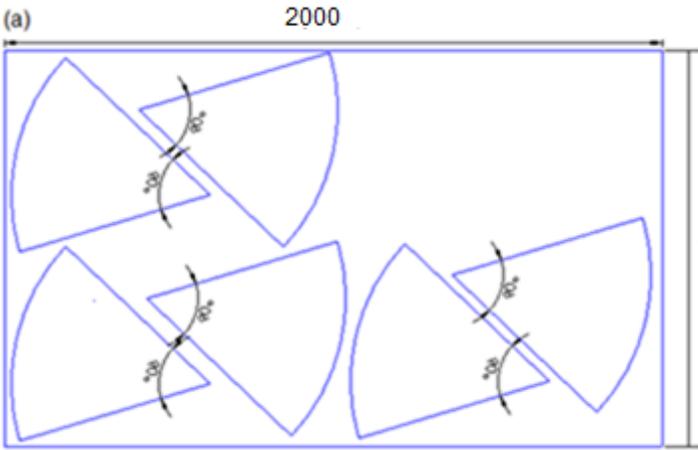
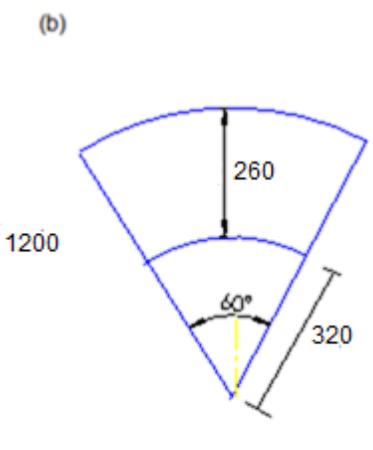
Dimensiones:

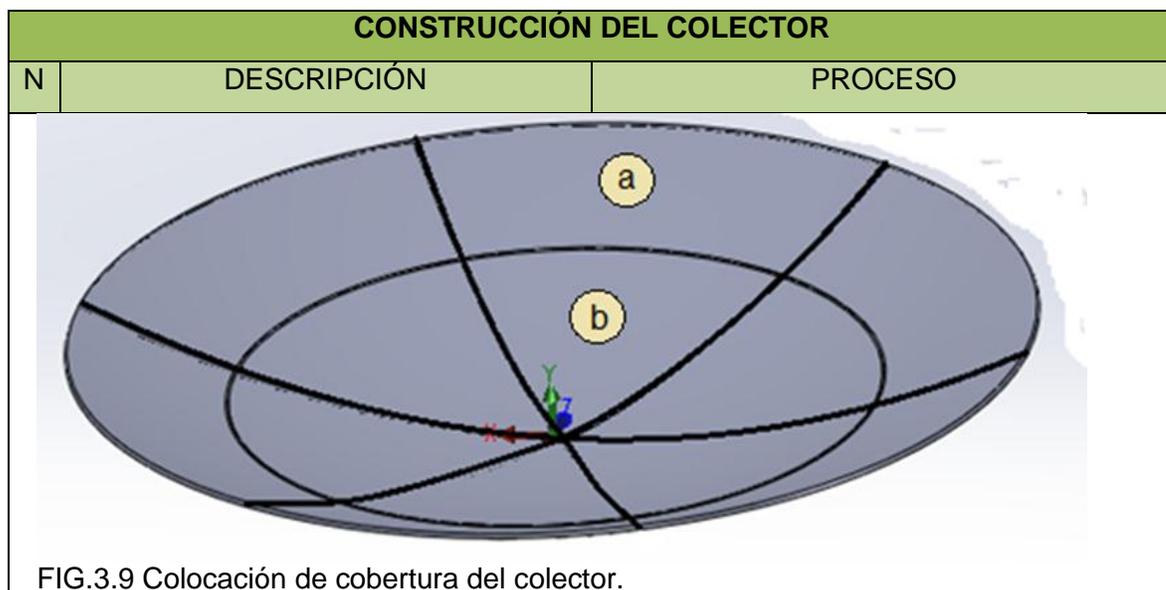
- ✓ Diámetro mayor: 1120 mm (medida exterior)
- ✓ Diámetro medio: 740 mm (diámetro exterior)
- ✓ Diámetro menor: 180 mm (diámetro exterior)
- ✓ Altura : 170 mm

TABLA 3.2 Construcción de la estructura del colector

CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
1	<p>Estructura del colector:</p> <p>Corte de tubo cuadrado de ½ pulg (12.7 mm) chapa 14</p> <p>(1) 1 pieza de 3520 mm de largo (2) 1 pieza de 2325 mm de largo (3) 1 pieza de 565 mm de largo (4) 6 piezas de 567 mm de largo</p>	<p>Después de cortar el tubo hacer 3 circunferencias en una dobladora de tubo con las piezas (1), (2) y (3) y soldarlas. Doblar las piezas (4) en forma de parábolas con ayuda del molde. (Ver anexo 3.1) y soldar cada pieza (4) a una separación de 60° una entre otra a las circunferencias (1), (2) y (3). Ver planos en anexos.</p>
 <p>FIG. 3.5. Construcción de la estructura del colector solar de la cocina.</p>		
2	<p>Soporte de la estructura del colector:</p> <p>Corte de tubo cuadrado de ½ pulg.</p> <ul style="list-style-type: none"> - (1) 2 varillas de 550 mm de largo - (2) 2 varillas de 160 mm de largo - (3) 2 varillas de 140 mm de largo - (4) 2 varillas de 80 mm de largo - (5) 2 varillas de 140 mm de largo 	<p>Cortar las piezas de tubo, soldar las piezas (1), (2), (3), (4), y (5) como se muestra en la figura 3.3, respetando la inclinación que se muestra.</p> <p>Soldar el soporte a la estructura del colector a la pieza (4) de la figura 3.5.</p> <p>Ver planos en anexo para un mejor detalle.</p>

CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
		
	<p>FIG.3.6. Soporte de la estructura del colector.</p>	
3	<p>Balancines del colector:</p> <p>2 pletinas de acero de ¼ de pulg (6.5 mm), de espesor.</p> <p>Altura: 500 cm</p> <p>Ancho: 40 cm</p> <p>Orificio: 3/8 pulg (9.5 mm).</p> <p>Ranura en un balancín: 150 cm de largo y 9.5 mm de ancho.</p>	<p>Cortar las pletinas con las medidas detalladas y hacer la ranura en un balancín con pulidora, hacer los orificios con taladro en ambos balancines, que servirán para ensamblar el colector a la estructura base mediante pernos.</p> <p>Ver detalles en planos constructivos en anexos.</p>
		
	<p>FIG.3.7 Construcción de balancines del colector.</p>	

CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
4	<p>Cobertura del colector: Corte de lámina galvanizada N° 32</p> <p>6 secciones de circunferencia 320 mm de radio y un ángulo de 60°.</p> <p>6 secciones de circunferencia truncada de 260 mm de largo</p>	<p>Dibujar 6 secciones de circunferencia de 580 mm de radio y 60° cada una en la lámina galvanizada en la distribución que se muestra en la imagen a escala (fig.3.8 (a)), luego cortarlas con tijera para lamina,</p> <p>Medir y cortar a un radio de 320 mm, como se muestra en la fig.3.5 (b). siempre con la misma curvatura que el corte de 580 mm.</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>(a)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>(b)</p>  </div> </div> <p>FIG.3.8. Construcción de cobertura de la estructura del colector.(medidas de los dibujos en mm).</p>		
5	<p>Pegado de cobertura:</p> <p>Pegar las 12 secciones en la estructura del colector solar.</p>	<p>Pegar las secciones en la estructura con silicón gris. Primero pegar las secciones del nivel (a) y luego las secciones (b) como se muestra en la fig. 3.6, teniendo el cuidado de que no queden montadas para evitar relieves.</p> <p>Entre mejor queden pegadas las secciones, menor será la dispersión que tendrá el foco de captación de calor.</p>



3.3 RECUBRIMIENTO REFLECTIVO DEL COLECTOR

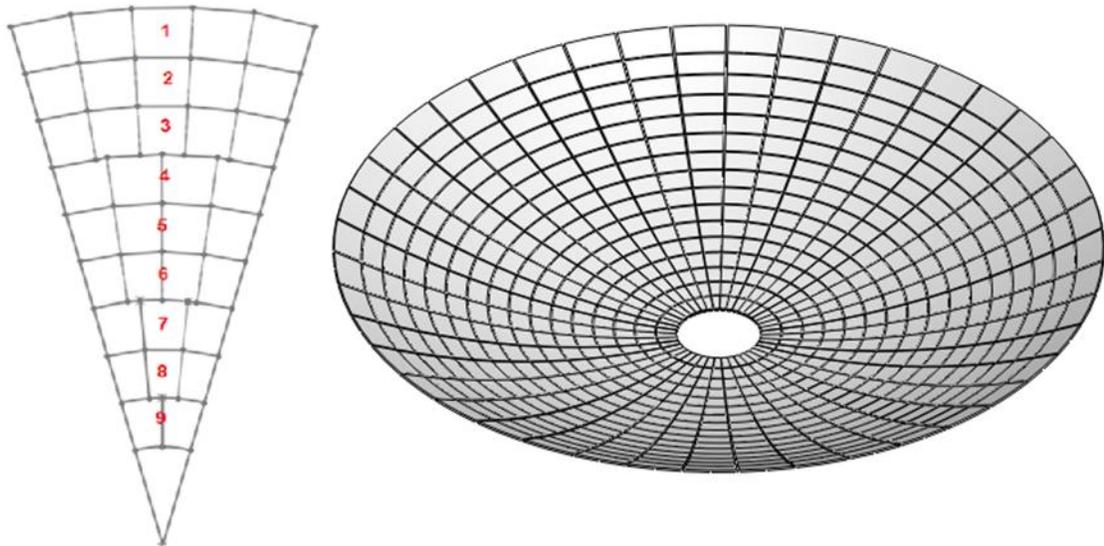
La cobertura reflejante de la cocina es de mucha importancia para la captación de calor en el colector, se pueden varios tipos de materiales reflectantes para la reflexión de los rayos solares, papel aluminio, láminas de aluminio pulido, entre otros.

En el caso de este trabajo se utilizará como material reflectivo, espejo de vidrio, para obtener una mejor reflexión.

Los espejos en forma de trapecio se colocaran sobre la cobertura de la lámina galvanizada del colector. En la sección 2.4.2 se detalla la talla, la medida, la forma y la cantidad de espejos que se utilizaran para la cobertura.

TABLA 3.3 Construcción del recubrimiento reflectivo del colector

RECUBRIMIENTO REFLECTIVO		
N	DESCRIPCION	POCEDIMIENTO
1	<p>Corte de espejos:</p> <p>Espejos en forma de trapecio con una altura de 50 cm y un espesor de 2 mm.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ (1) 60 espejos de 57x52 mm ✓ (2) 60 espejos de 52x47mm ✓ (3) 60 espejos de 47x42 mm ✓ (4) 48 espejos de 52x45 mm ✓ (5) 48 espejos de 45x39 mm ✓ (6) 48 espejos de 39x33 mm ✓ (7) 36 espejos de 44x35 mm ✓ (8) 36 espejos de 35x26 mm ✓ (9) 24 espejos de 39x27 mm 	<p>Cortar los espejos con las medidas que se especifican con un diamante para vidrio.</p> <p>Los espejos tienen que tener las medidas especificadas y una altura de 50 mm, para formar los 9 niveles de diferentes medidas y cubrir el colector.</p> <p>Al cortar los espejos tener las precauciones debidas, utilizar guantes y lentes de seguridad ya que se pueden causar heridas o daños en los ojos.</p>
<p>FIG. 3.10 Corte de espejos</p>		

RECUBRIMIENTO REFLECTIVO		
N	DESCRIPCIÓN	PROCESO
2	Colocación de los espejos: Pegar los espejos con silicón transparente	<p>Pegar los espejos con silicón transparente con cuidado para no llenarlos.</p> <p>Los espejos se pegaran desde el nivel 1 hasta el nivel nueve, colocándolos como se muestra en la fig. 3.8. También se puede colocarlos de forma circular sin sepáralos por secciones.</p> <p>Se recomienda colocar los espejos en el colector por nivel, antes de pegarlos para verificar que queden de forma correcta.</p> <p>Para más información vea la sección 2.4.2.</p>
		
<p>FIG.3.11 Colocación de espejos.</p>		

3.4 MATERIALES PARA LA CONTRUCCIÓN Y COSTOS DE LA COCINA

A continuación se listan los materiales utilizados para la construcción de la cocina con sus precios y costo total de la misma.

TABLA 3.4. Materiales y costos de la cocina solar

MATERIALES Y COSTO DE LA COCINA		
Cantidad	Descripción	Costo (\$)
1 ½ (9.0 m)	Tubo cuadrado de 1 pulg (25.4 mm), chapa 16	12.00
2 (12.0 m)	Tubo cuadrado de ½ pulg (12.7 mm), chapa 14	11.00
1.5 m	Pieza de tubo rectangular 2 x 1 pulg(25.4 mm) chapa 16	2.00
3.0 m	Varilla de ¼ pulg (6.5 mm) y 1/8 de pulg(3.3 mm)	3.00
4	Placas de acero de un ¼ pulg (6.5 mm) de espesor	11.00
3.5 libras	De electrodo E6013	3.00
1 pliego	Lámina galvanizada # 32	12.00
420	Espejos de vidrio 2 mm de espesor	42.00
3	Tubos de silicón gris y transparente	7.50
1/8 de galón	Pintura de aceite roja	3.50
1/8 de galón	Pintura aceite azul	3.50
½ botella	Solvente mineral	1.25
	Mano de obra	50
		Total=160.50

4.0. PRUEBAS DE LA COCINA SOLAR

Las pruebas a realizar en la cocina solar están basadas en la norma americana ASAE S580 vista en el apartado 1.4.1 donde se describe el proceso a seguir para la obtención de datos para poder definir la potencia de la misma.

El objetivo de esta norma, como se puede observar en los cálculos que en ella se realizan, es meramente comparativo, basándose en los datos de rendimiento que se desprenden de los valores de potencia desarrollados por cada dispositivo.

La norma ASAE S580 se caracteriza por ser un estándar sencillo en los cálculos pero muy significativos en la práctica comparativa.

A la hora de llevar a cabo el ensayo, se tiene que cumplir con el procedimiento que la norma especifica. Este ensayo quedará invalidado siempre que sea realizado frente a fuertes vientos, baja insolación o baja temperatura ambiente.

4.1 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Para la realización del ensayo, se registra la temperatura promedio dentro de una olla con agua, mientras que la cocina es operada bajo un conjunto de directrices que figuran en el procedimiento estándar en cuanto al seguimiento, carga térmica, etc. las mediciones de temperatura promedio del agua se toman en intervalos de 10 minutos cada uno, también se toman los valores de la temperatura ambiente, velocidad del viento e irradiación directa (flujo de energía solar por unidad área) [13]

Para llevar a cabo el ensayo se tiene que dejar registrados ciertos valores que van a ser indispensables para el cálculo del factor de mérito, la potencia “P”. Estos valores son:

1. La masa de agua a ensayar + la masa del recipiente en kilogramos
2. La sumatoria de sus capacidades caloríficas respectivas.

Para llevar a cabo el ensayo hay que seguir los siguientes pasos:

1. Colocar la olla en la cocina y orientarla al sol.
2. Colocar la masa de agua a ensayar en la olla, precalentar a 35°.
3. Medir la temperatura inicial del agua, velocidad del viento radiación solar y temperatura ambiente.
4. Registrar los valores obtenidos en intervalos de 10 minutos hasta la temperatura de estancamiento o una hora específica deseada.

El ensayo se invalidará si se presentan las siguientes condiciones:

1. Si el viento es mayor de 2 m/s por más de 10 minutos.
2. Si la irradiación solar es menor o igual a 100 w/m^2 .
3. Si la temperatura ambiente es menor de 20 °C

Debido a las condiciones anteriores las mediciones realizadas en el ensayo pueden variar de un tiempo a otro debido a que son magnitudes físicas que no se puede controlar, como por ejemplo la baja radiación, que es consecuencia entre otras cosas de la nubosidad y ese fenómeno provocará que la temperatura de la olla disminuya. El viento por su parte dará variaciones también en la temperatura, ya que la cocina estará al aire libre, y esto ocasionará pérdidas de calor por convección. La baja temperatura ambiente no afectará en las mediciones ya que en El Salvador casi todo el tiempo la temperatura ambiente ronda los 28 grados centígrados.

4.2 OBTENCIÓN DE DATOS

En la obtención de datos se mostraran todos los valores obtenidos de los diferentes parámetros necesarios para la caracterización de la cocina. La recopilación de datos se ha basado en los parámetros necesarios según la norma americana para cocinas solares.

Todos los ensayos realizados se han efectuado en diferentes días de los meses de julio y agosto, debido a que estos meses son de invierno en El Salvador, se tendrá una radiación solar menor y por lo tanto se logran menores temperaturas que si estos fueran realizados en los meses de verano.

Los ensayos se realizaron en Ciudad Versailles, San Juan Opico, departamento de La Libertad. Las horas de realización de los ensayos son a medio día solar, que es cuando mayor radiación solar se tiene. La realización de los ensayos se desarrollara en horarios de 11:00 horas hasta las 14:00 horas en intervalos de 10 minutos cada uno como especifica la norma.

Otra modalidad que se tomó, aparte de lo indicado por la norma, fue la realización del ensayo con una masa de aceite vegetal en vez de agua. Este ensayo se realizó con el fin de conocer la potencia de la cocina con un fluido que alcance mayor temperatura sin cambiar de fase.

A continuación se muestra un ejemplo de la tabla a utilizarse para la recolección de datos, con el fin de tener conocimiento de que unidades de medidas y magnitudes físicas se utilizaran para la realización del ensayo de la cocina.

La tabla de obtención de datos tendrá que llenarse en el momento del ensayo los días de las pruebas, posteriormente los datos obtenidos servirá para conocer el comportamiento térmico de la cocina.

TABLA 4.1 Tabla recolectora de datos de ensayo

RECOLECCIÓN DE DATOS					
Hora de ensayo	Velocidad del viento	Radiación global	Temperatura inicial (T1)	Temperatura final (T2)	Temperatura ambiente (T)
(horas, min)	(m/s)	W/m^2	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$

TABLA 4.2 Contenido de la tabla de registro de datos

DESCRIPCION DEL CONTENIDO DE LA TABLA 4.1	
REGISTRO	DESCRIPCION
Hora de ensayo	De 11:00 a 14:00 horas en intervalos de 10 minutos cada medición
Velocidad del viento	La velocidad del viento no debe de sobrepasar de 2 m/s por más de 10 min
Radiación horizontal global	Radiación obtenida por la unidad meteorológica,
Temperatura ambiente	Temperatura ambiente durante el intervalo de tiempo
Temperatura inicial	Registro de temperatura al inicio de cada medición en intervalos de 10 minutos
Temperatura final	Registro de temperatura al finalizar el intervalo de 10 minutos

La radiación facilitada por la estación meteorológica de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad de El Salvador, aporta la radiación global horizontal y como la cocina solar solo trabaja con la radiación solar directa normal, se debe obtener esa radiación. Esa temática se tratara en el apartado siguiente [16].

4.3 REALIZACIÓN DEL ENSAYO

Los ensayos se realizaron teniendo en cuenta las respectivas medidas de seguridad

- Uso de lentes oscuros de seguridad industrial contra rayos uv
- Uso de guantes de cuero para la manipulación de la cocina
- Las pruebas se realizaron en un área segura, sin tránsito de personas y fuera del alcance de los niños

Los dispositivos de mediación utilizados fueron:

- Termómetro analógico DMEC de 250°C
- Termómetro laser SUPCO LIT 11TC
- Anemómetro digital KESTREL

El ensayo se realizó con una olla de aluminio con una masa de 0.57 kg y una tapadera con una masa de 0.11kg pintadas de negro mate. Estas fueron realizadas en diferentes modalidades que son:

1. 2.5 litros de agua que equivalen a una masa de 2.35 kg con la olla destapada.
2. 2.5 litros de agua que equivalen a una masa de 2.35 kg con la olla tapada.
3. 750 ml de aceite vegetal de girasol que equivale a 0.68 kg con la olla tapada.

A continuación se muestran los datos obtenidos de las mediciones de los días que se realizó el ensayo en tablas.

TABLA 4.3. Día 1. Olla sin tapa

ENSAYO DÍA 1					
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Temperatura inicial $^{\circ}C$	Temperatura final $^{\circ}C$	Temperatura ambiente $^{\circ}C$
11:00	1.2	776	35	50	29.1
11:10	2.2	793	50	55	28.9
11:20	2.0	850	55	69	29.0
11:30	2.0	886	69	80	28.9
11:40	1.4	900	80	82	28.8
11:50	1.7	894	82	86	29.3
12:00	0.9	905	86	86	29.3
12:10	1.9	776	86	84	28.7
12:20	1.8	749	84	80	28.5
12:30	0.6	920	80	87	28.7
12:40	0.8	898	87	86	29.2
12:50	1.5	872	86	83	29.0
1:00	2.0	895	83	80	29.2
1:10	2.2	879	80	82	28.9
1:20	2.0	897	82	85	29.1
1:30	2.1	865	85	85	28.9
1:40	1.8	879	85	85	29.3
1:50	1.4	795	85	82	28.7
2:00	1.6	855	82	82	29.1

Datos obtenidos el 06-07-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.4. Día 2. Olla con tapa

ENSAYO DÍA 2					
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Temperatura inicial °C	Temperatura final °C	Temperatura ambiente °C
11:00	0.4	840	35	65	29.7
11:10	1.5	854	65	80	27.9
11:20	1.5	865	78	85	28.8
11:30	1.3	837	85	87	29.3
11:40	2.7	870	87	90	29.3
11:50	2.8	861	90	90	29.1
12:00	1.3	863	90	93	29.7
12:10	3.2	865	93	93	29.1
12:20	4.0	863	93	90	28.6
12:30	1.3	861	90	94	29.4
12:40	1.6	885	94	97	28.5
12:50	3.1	906	97	95	29.6
1:00	2.8	895	95	97	29.4
1:10	2.2	830	97	95	28.4
1:20	1.3	791	95	93	28.4
1:30	2.0	789	93	95	28.9
1:40	2.2	896	95	98	29.9
1:50	1.8	900	98	98	28.3
2:00	0.8	891	98	96	29.3

Datos obtenidos el 13-07-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.5. Día 3, Olla sin tapa

ENSAYO DÍA 3					
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Temperatura inicial $^{\circ}C$	Temperatura final $^{\circ}C$	Temperatura ambiente $^{\circ}C$
11:00	1.8	856	35	60	28.4
11:10	2.0	865	60	70	28.4
11:20	2.2	900	70	82	28.3
11:30	2.7	886	82	85	28.4
11:40	2.2	933	85	87	28.4
11:50	1.8	845	87	87	28.4
12:00	1.7	886	87	89	28.6
12:10	2.0	845	89	87	28.6
12:20	1.3	953	87	89	28.6
12:30	1.3	936	89	89	28.8
12:40	2.2	875	89	85	28.4
12:50	2.2	771	85	84	28.0
1:00	2.5	779	84	85	28.5
1:10	1.3	786	85	83	28.6
1:20	3.2	824	83	85	28.7
1:30	1.8	830	85	83	28.4
1:40	2.2	872	83	81	28.4
1:50	2.3	893	81	80	28.4
2:00	1.8	146	80	80	28.4

Datos obtenidos el 15-08-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.6 Día 4. Olla con tapa

ENSAYO DÍA 4					
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Temperatura inicial $^{\circ}C$	Temperatura final $^{\circ}C$	Temperatura ambiente $^{\circ}C$
11:00	2.2	720	35	63	30.0
11:10	2.7	780	63	76	29.8
11:20	2.3	800	76	85	29.5
11:30	2.2	870	85	90	28.9
11:40	2.7	872	92	90	29.2
11:50	5.4	870	90	93	29.1
12:00	2.3	870	93	97	29.0
12:10	1.3	860	97	97	28.7
12:20	1.2	863	97	97	29.0
12:30	1.8	856	97	98	29.3
12:40	3.2	846	98	95	28.8
12:50	2.6	831	95	90	28.2
1:00	2.1	819	90	96	28.7
1:10	1.3	821	96	94	28.8
1:20	0.9	505	94	96	29.1
1:30	0.2	773	96	90	28.9
1:40	2.2	756	90	94	28.9
1:50	0.8	756	94	92	29.3
2:00	1.8	735	92	92	29.5

Datos obtenidos el 19-08-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.7. Día 5. Prueba con aceite olla sin tapa

ENSAYO DÍA 5					
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Temperatura inicial $^{\circ}C$	Temperatura final $^{\circ}C$	Temperatura ambiente $^{\circ}C$
11:00	1.8	821	35	105	28.1
11:10	2.2	833	105	150	27.9
11:20	2.5	846	150	155	27.6
11:30	2.8	854	155	165	27.8
11:40	2.8	895	165	170	28.1
11:50	3.2	878	170	170	28.8
12:00	2.8	583	170	155	28.5
12:10	3.3	360	155	140	28.5
12:20	2.2	367	140	132	28.8
12:30	2.5	457	132	121	28.5
12:40	2.2	367	121	120	28.7
12:50	1.8	339	120	125	29.1
1:00	1.1	436	145	148	29.3
1:10	2.1	807	148	155	28.1
1:20	1.8	801	155	165	28.2
1:30	2.1	888	165	153	29.0
1:40	1.8	883	153	160	29.0
1:50	0.7	828	160	153	29.1
2:00	0.9	880	165	135	28.9

Datos obtenidos el 21-08-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.8. Día 6. Prueba con aceite olla con tapa

ENSAYO DÍA 6					
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Temperatura inicial $^{\circ}C$	Temperatura final $^{\circ}C$	Temperatura ambiente $^{\circ}C$
11:00	1.8	905	35	140	27.6
11:10	1.2	886	140	150	28.0
11:20	1.6	770	150	160	28.3
11:30	0.8	889	160	170	28.6
11:40	2.7	891	170	170	29.1
11:50	0.8	853	170	160	29.129.1
12:00	3.6	246	160	160	28.8
12:10	2.8	918	160	150	28.9
12:20	3.2	867	150	152	28.1
12:30	2.4	900	152	170	29.1
12:40	3.3	944	170	175	29.7
12:50	3.2	779	175	175	29.6
1:00	2.8	798	175	173	29.3
1:10	2.2	885	173	165	29.7
1:20	1.3	893	165	162	29.5
1:30	1.5	886	162	168	29.1
1:40	0.9	877	168	165	29.1
1:50	0.8	899	165	160	29.0
2:00	1.2	885	160	160	29.0

Datos obtenidos el 26-08-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

4.4. RADIACIÓN NORMAL DIRECTA

Como se ha especificado a lo largo de las normativas anteriormente expuestas, la radiación que va a participar en todos los cálculos que se realizan en adelante va a ser su componente normal (a la superficie de la cocina). Esta componente no es facilitada directamente por la estación meteorológica, ya que esta proporciona el valor de la radiación horizontal global existente en el intervalo especificado.

Como se ha mencionado en el apartado anterior, se debe tener en cuenta el tipo de radiación incidente sobre la cocina, ya que para este caso específico y a diferencia de los hornos solares, las cocinas parabólicas funcionan únicamente con la parte de radiación directa, por lo que se debe despreciar el aporte difuso de la misma. De no ser despreciado, se estaría cometiendo un error que haría de los cálculos unos valores inválidos para la caracterización de la cocina.

Lo primero que se debe tomar en cuenta para encontrar la radiación normal es restar la radiación difusa del valor de radiación global obtenida en la unidad de meteorología de la facultad. Este valor de radiación difusa, que casi siempre se usa en porcentaje. Este valor se puede utilizar de forma aproximada, según libros especializados puede variar de 15% en los días de verano y hasta 30% en los días de invierno. Para este trabajo se utilizó 20% ya que en El Salvador los días de invierno no son tan nublados como en otros países[5].

Con la convención de utilizar 20% de radiación difusa se tiene que usar solo el 80% de la radiación global que proporciona la unidad meteorológica.

$$I_{horizontal\ directa} = 0.80I_{global} \quad (EC.4.1)$$

Una vez conocida la forma de obtener la componente directa de la radiación horizontal, se necesita pasar está a la equivalente al plano de la cocina. En la imagen siguiente (fig.4.1) se puede ver cómo evoluciona la altura del sol según iba transcurriendo el día para cada uno de los meses del año. Esta altura la traduce en grados, y esos grados marcan el ángulo que formaba el sol [5].

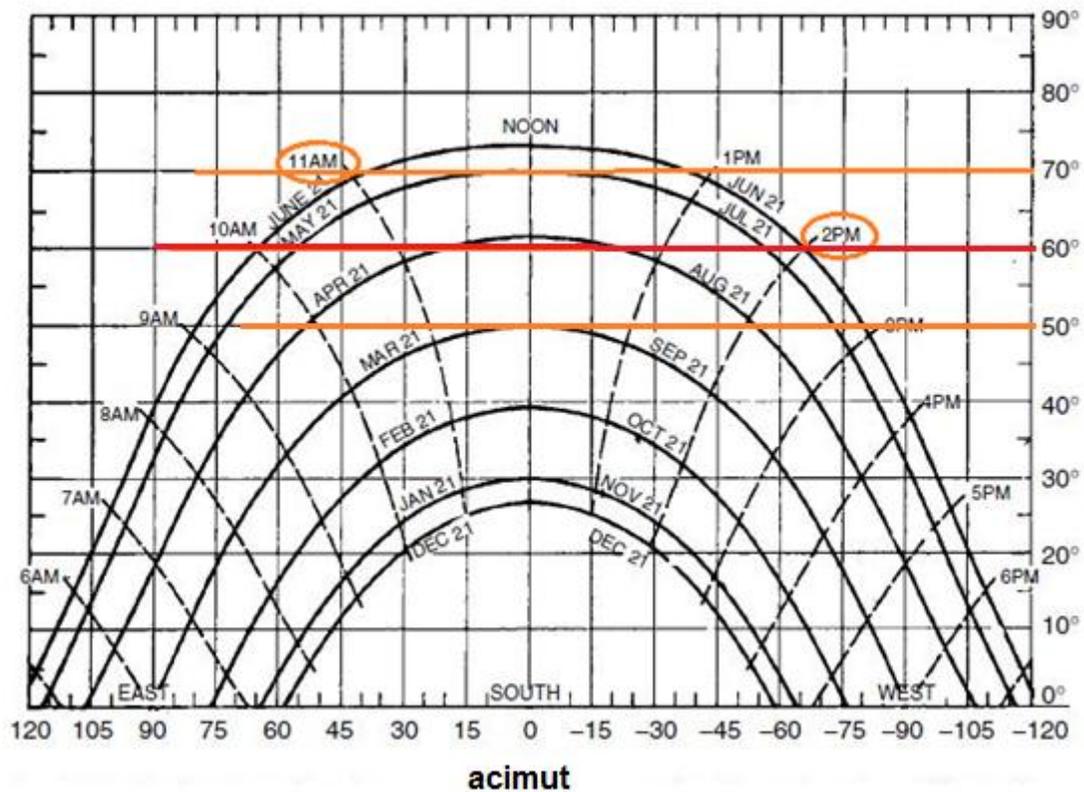


FIG.4.1 Angulo de altura solar.

Como las pruebas fueron realizadas entre los meses de julio y agosto en horas 11:00 a 14:00, se tienen ángulos de altura solares que varían de 50° a 70°, por lo tanto, para la obtención de la radiación directa normal se utilizó un ángulo de 60° debido a que este ángulo es el valor intermedio de altura del sol en los intervalos de tiempo de los ensayos.

En la figura 4.2 se muestra como la inclinación de la radiación transforma la radiación global en radiación normal al plano de la cocina

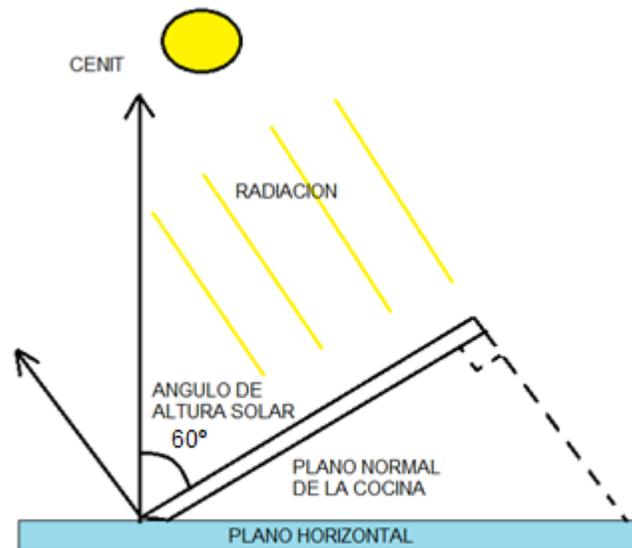


FIG. 4.2 Radiación directa normal

La traducción de la gráfica a valores numéricos que permitan obtener la relación de áreas para así obtener la radiación en el plano normal a la radiación solar va a ser muy sencilla:

$$A_{normal} = A_{horizontal} * \sin 60 \quad (EC 4.2)$$

Conocido esto, se puede obtener de igual forma la relación que existirá entre las intensidades de radiación, puesto que siempre va a cumplir que “I.directa * A” es un valor constante, así se obtiene:

$$I_{normal\ directa} = \frac{1}{0.866} I_{horizontal\ directa} \quad (EC 4.3)$$

Realizando los cálculos para cada valor de radiación en los ensayos, se obtienen los valores para la radiación directa normal que se necesita para la obtención de la potencia de la cocina solar.

TABLA.4.9. Día 1 con radiación normal (olla sin tapa)

ENSAYO DÍA 1							
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Radiación directa (w/m^2)	Radiación normal (w/m^2)	T1 °C	T2 °C	Temperatura ambiente °C
11:00	1.2	776	620,80	716,86	35	50	29.1
11:10	2.2	793	634,40	732,56	50	55	28.9
11:20	2.0	850	680,00	785,22	55	69	29.0
11:30	2.0	886	708,80	818,48	69	80	28.9
11:40	1.4	900	720,00	831,41	80	82	28.8
11:50	1.7	894	715,20	825,87	82	86	29.3
12:00	0.9	905	724,00	836,03	86	86	29.3
12:10	1.9	776	620,80	716,86	86	84	28.7
12:20	1.8	749	599,20	691,92	84	80	28.5
12:30	0.6	920	736,00	849,88	80	87	28.7
12:40	0.8	898	718,40	829,56	87	86	29.2
12:50	1.5	872	697,60	805,54	86	83	29.0
1:00	2.0	895	716,00	826,79	83	80	29.2
1:10	2.2	879	703,20	812,01	80	82	28.9
1:20	2.0	897	717,60	828,64	82	85	29.1
1:30	2.1	865	692,00	799,08	85	85	28.9
1:40	1.8	879	703,20	812,01	85	85	29.3
1:50	1.4	795	636,00	734,41	85	82	28.7
2:00	1.6	855	684,00	789,84	82	82	29.1

Datos obtenidos el 06-07-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.10. Día 2. Radiación normal (olla con tapa)

ENSAYO DÍA 2							
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Radiación directa (w/m^2)	Radiación normal (w/m^2)	T1 °C	T2 °C	Temperatura ambiente °C
11:00	0.4	840	672,00	775,98	35	65	29.7
11:10	1.5	854	683,20	788,91	60	80	27.9
11:20	1.5	865	692,00	799,08	78	85	28.8
11:30	1.3	837	669,60	773,21	85	87	29.3
11:40	2.7	870	696,00	803,70	87	90	29.3
11:50	2.8	861	688,80	795,38	90	90	29.1
12:00	1.3	863	690,40	797,23	90	93	29.7
12:10	3.2	865	692,00	799,08	93	93	29.1
12:20	4.0	863	690,40	797,23	93	90	28.6
12:30	1.3	861	688,80	795,38	90	94	29.4
12:40	1.6	885	708,00	817,55	94	97	28.5
12:50	3.1	906	724,80	836,95	97	95	29.6
1:00	2.8	895	716,00	826,79	95	97	29.4
1:10	2.2	830	664,00	766,74	97	95	28.4
1:20	1.3	791	632,80	730,72	95	93	28.4
1:30	2.0	789	631,20	728,87	93	95	28.9
1:40	2.2	896	716,80	827,71	95	98	29.9
1:50	1.8	900	720,00	831,41	98	98	28.3
2:00	0.8	891	712,80	823,09	98	96	29.3

Datos obtenidos el 13-07-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.11. Día 3. Radiación normal (sin tapa)

ENSAYO DÍA 3							
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Radiación directa (w/m^2)	Radiación normal (w/m^2)	T1 °C	T2 °C	Temperatura ambiente °C
11:00	1.8	856	684,80	790,76	35	60	28.4
11:10	2.0	865	692,00	799,08	60	70	28.4
11:20	2.2	900	720,00	831,41	70	82	28.3
11:30	2.7	886	708,80	818,48	82	85	28.4
11:40	2.2	933	746,40	861,89	85	87	28.4
11:50	1.8	845	676,00	780,60	87	87	28.4
12:00	1.7	886	708,80	818,48	87	89	28.6
12:10	2.0	845	676,00	780,60	89	87	28.6
12:20	1.3	953	762,40	880,37	87	89	28.6
12:30	1.3	936	748,80	864,67	89	89	28.8
12:40	2.2	875	700,00	808,31	89	85	28.4
12:50	2.2	771	616,80	712,24	85	84	28.0
1:00	2.5	779	623,20	719,63	84	85	28.5
1:10	1.3	786	628,80	726,10	85	83	28.6
1:20	3.2	824	659,20	761,20	83	85	28.7
1:30	1.8	830	664,00	766,74	85	83	28.4
1:40	2.2	872	697,60	805,54	83	81	28.4
1:50	2.3	893	714,40	824,94	81	80	28.4
2:00	1.8	746	716,80	734,87	80	80	28.4

Datos obtenidos el 15-08-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.12. Día 4. Radiación normal (olla con tapa).

ENSAYO DÍA 4							
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Radiación directa (w/m^2)	Radiación normal (w/m^2)	T1 °C	T2 °C	Temperatura ambiente °C
11:00	2.2	720	576,00	665,13	35	63	30.0
11:10	2.7	780	624,00	720,55	63	76	29.8
11:20	2.3	800	640,00	739,03	76	85	29.5
11:30	2.2	870	696,00	803,70	85	90	28.9
11:40	2.7	872	697,60	805,54	92	90	29.2
11:50	5.4	870	696,00	803,70	90	93	29.1
12:00	2.3	870	696,00	803,70	93	97	29.0
12:10	1.3	860	688,00	794,46	97	97	28.7
12:20	1.2	863	690,40	797,23	97	97	29.0
12:30	1.8	856	684,80	790,76	97	98	29.3
12:40	3.2	846	676,80	781,52	98	95	28.8
12:50	2.6	831	664,80	767,67	95	90	28.2
1:00	2.1	819	655,20	756,58	90	96	28.7
1:10	1.3	821	656,80	758,43	96	94	28.8
1:20	0.9	505	404,00	466,51	94	96	29.1
1:30	0.2	773	618,40	714,09	96	90	28.9
1:40	2.2	756	604,80	698,38	90	94	28.9
1:50	0.8	756	604,80	698,38	94	92	29.3
2:00	1.8	735	588,00	678,98	92	92	29.5

Datos obtenidos el 19-08-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.13. Día 5. Radiación normal (aceite).

ENSAYO DÍA 5							
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Radiación directa (w/m^2)	Radiación normal (w/m^2)	T1 °C	T2 °C	Temp. ambiente °C
11:00	2.2	833	666,40	769,52	105	150	27.9
11:10	2.5	846	676,80	781,52	150	155	27.6
11:20	2.8	854	683,20	788,91	155	165	27.8
11:30	2.8	895	716,00	826,79	165	170	28.1
11:40	3.2	878	702,40	811,09	170	170	28.8
11:50	2.8	583	466,40	538,57	170	155	28.5
12:00	3.3	360	288,00	332,56	155	140	28.5
12:10	2.2	367	293,60	339,03	140	132	28.8
12:20	2.5	457	365,60	422,17	132	121	28.5
12:30	2.2	367	293,60	339,03	121	120	28.7
12:40	1.8	339	271,20	313,16	120	125	29.1
12:50	1.1	436	348,80	402,77	145	148	29.3
1:00	2.1	807	645,60	745,50	148	155	28.1
1:10	1.8	801	640,80	739,95	155	165	28.2
1:20	2.1	888	710,40	820,32	165	153	29.0
1:30	1.8	883	706,40	815,70	153	160	29.0
1:40	0.7	828	662,40	764,90	160	153	29.1
1:50	0.9	880	704,00	402,77	145	148	29.3
2:00							

Datos obtenidos el 21-08-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

TABLA 4.14. Día 6. Radiación normal (aceite).

ENSAYO DÍA 6							
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Radiación global (w/m^2)	Radiación directa (w/m^2)	Radiación normal (w/m^2)	T1 °C	T2 °C	Temp. ambiente °C
11:00	1.8	905	724,00	836,03	35	140	27.6
11:10	1.2	886	708,80	818,48	140	150	28.0
11:20	1.6	770	616,00	711,32	150	160	28.3
11:30	0.8	889	711,20	821,25	160	170	28.6
11:40	2.7	891	712,80	823,09	170	170	29.1
11:50	0.8	853	682,40	787,99	170	160	29.129.1
12:00	3.6	246	196,80	227,25	160	160	28.8
12:10	2.8	918	734,40	848,04	160	150	28.9
12:20	3.2	867	693,60	800,92	150	152	28.1
12:30	2.4	900	720,00	831,41	152	170	29.1
12:40	3.3	944	755,20	872,06	170	175	29.7
12:50	3.2	779	623,20	719,63	175	175	29.6
1:00	2.8	798	638,40	737,18	175	173	29.3
1:10	2.2	885	708,00	817,55	173	165	29.7
1:20	1.3	893	714,40	824,94	165	162	29.5
1:30	1.5	886	708,80	818,48	162	168	29.1
1:40	0.9	877	701,60	810,16	168	165	29.1
1:50	0.8	899	719,20	830,48	165	160	29.0
2:00	1.2	885	708,00	817,55	160	160	29.0

Datos obtenidos el 26-08-2014

Radiación global proporcionada por [http:// ima.fia.ues.edu.sv](http://ima.fia.ues.edu.sv)

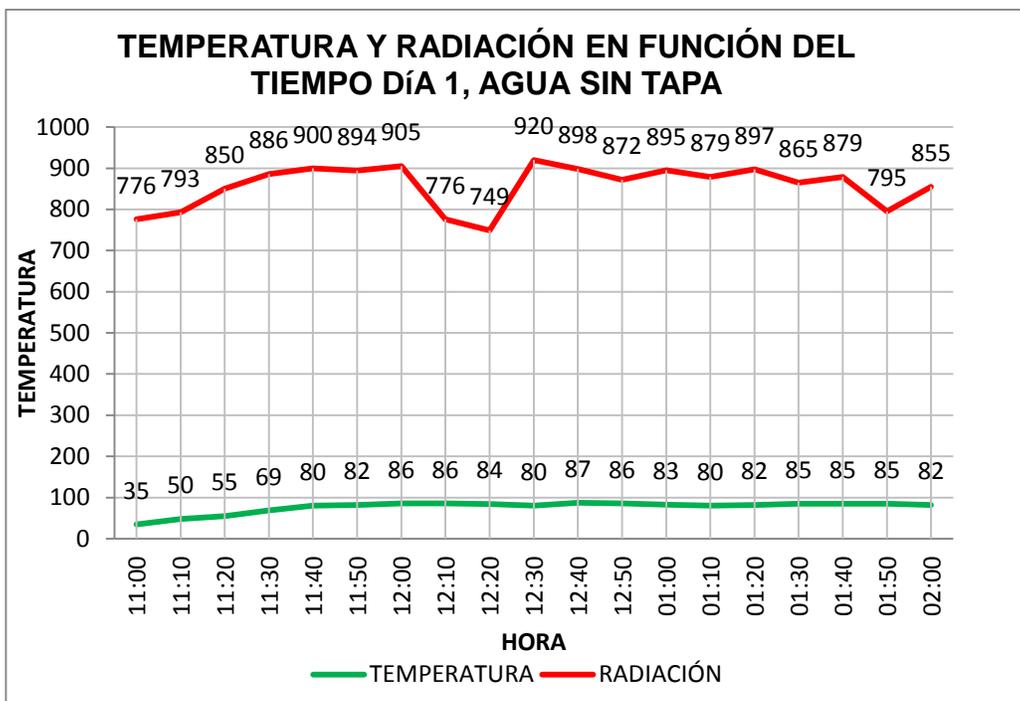


FIG.4.3. Grafica de temperatura y radiación en función del tiempo, día 1.

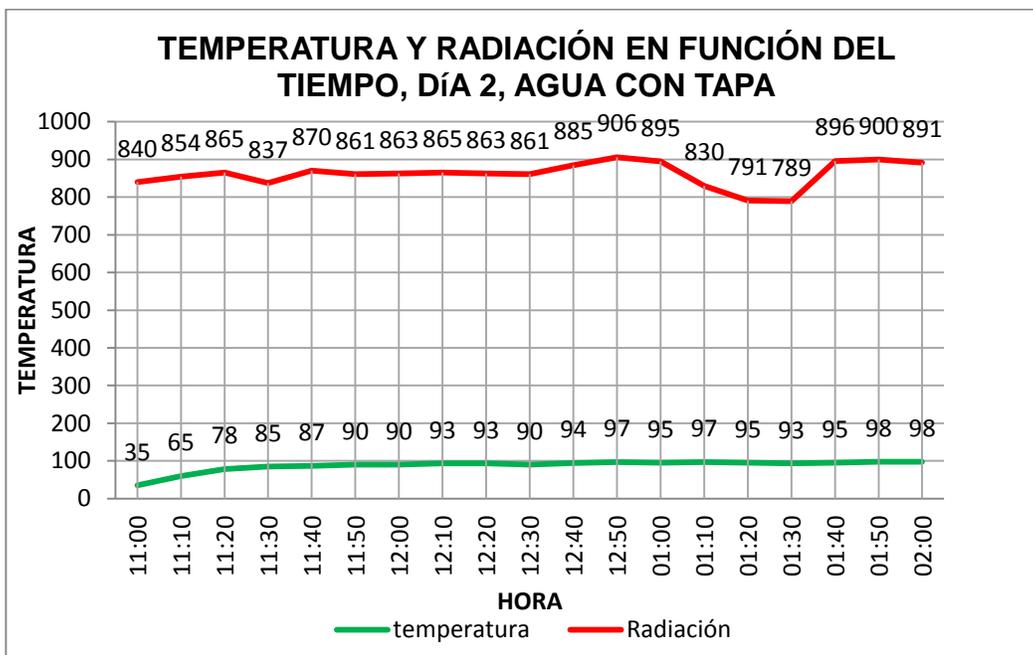


FIG. 4.4 Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 2.

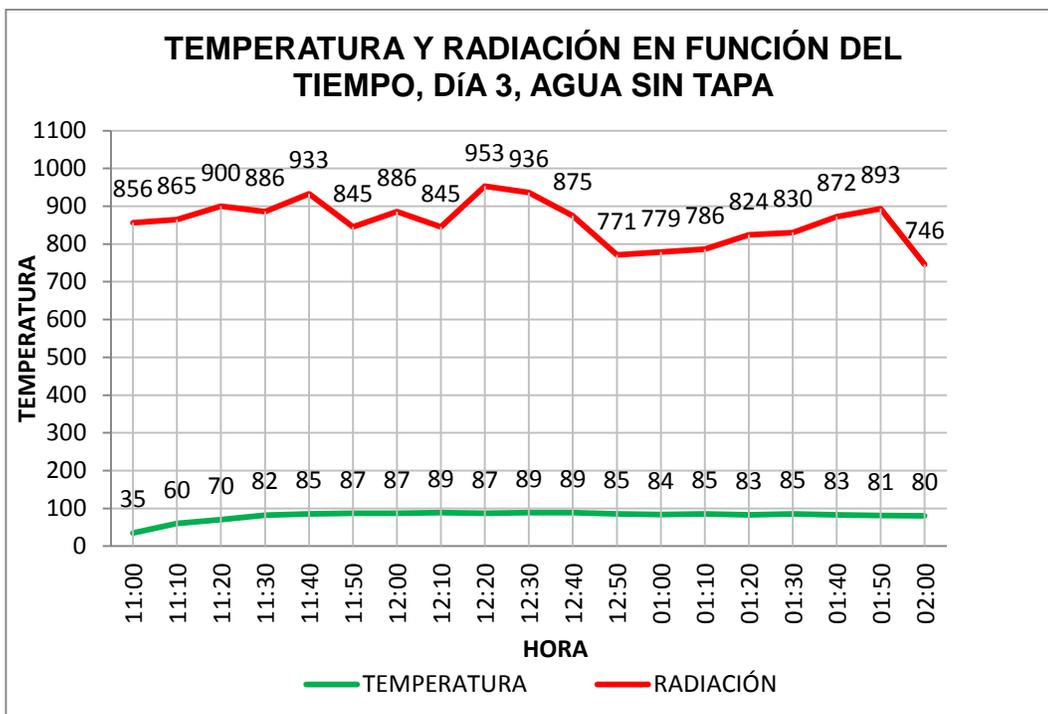


FIG.4.5 Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 3.

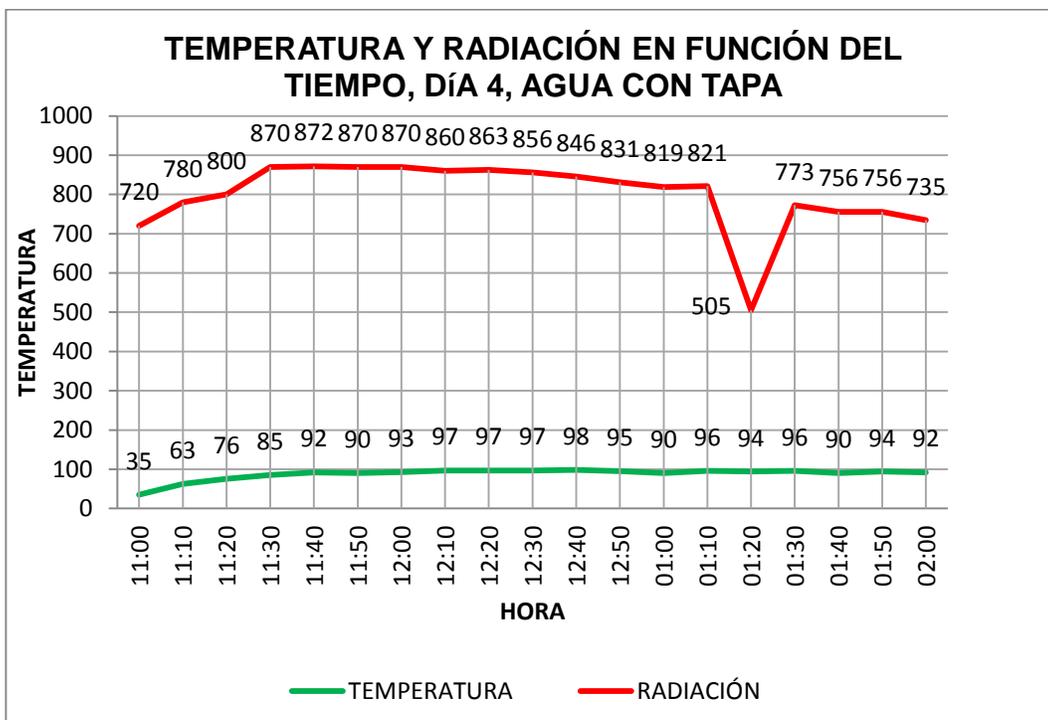


FIG. 4.6 Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 4.

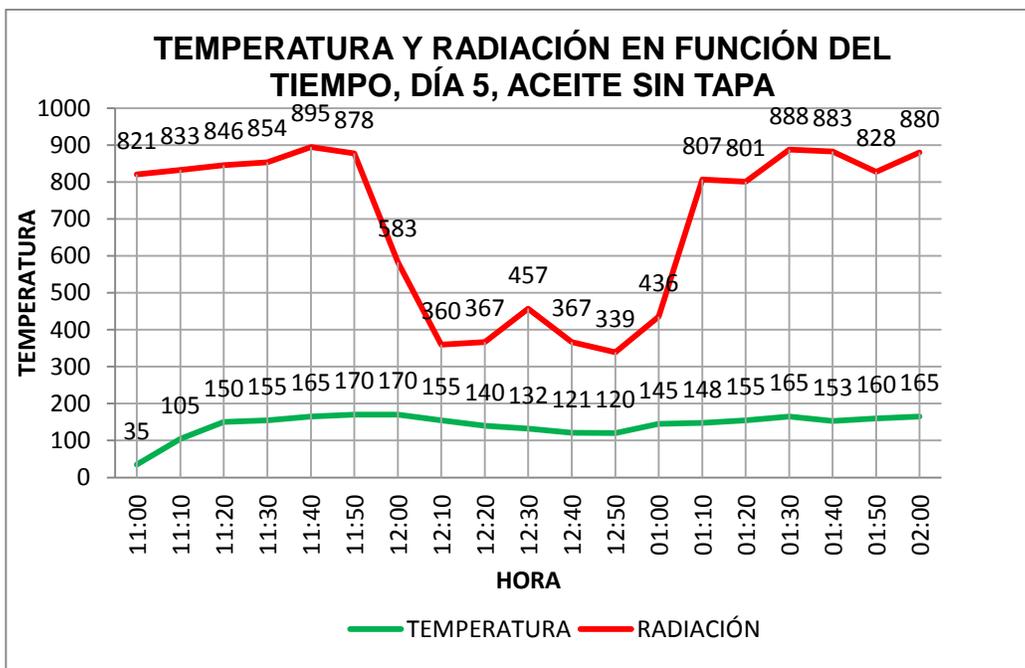


FIG. 4.7 Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 5.

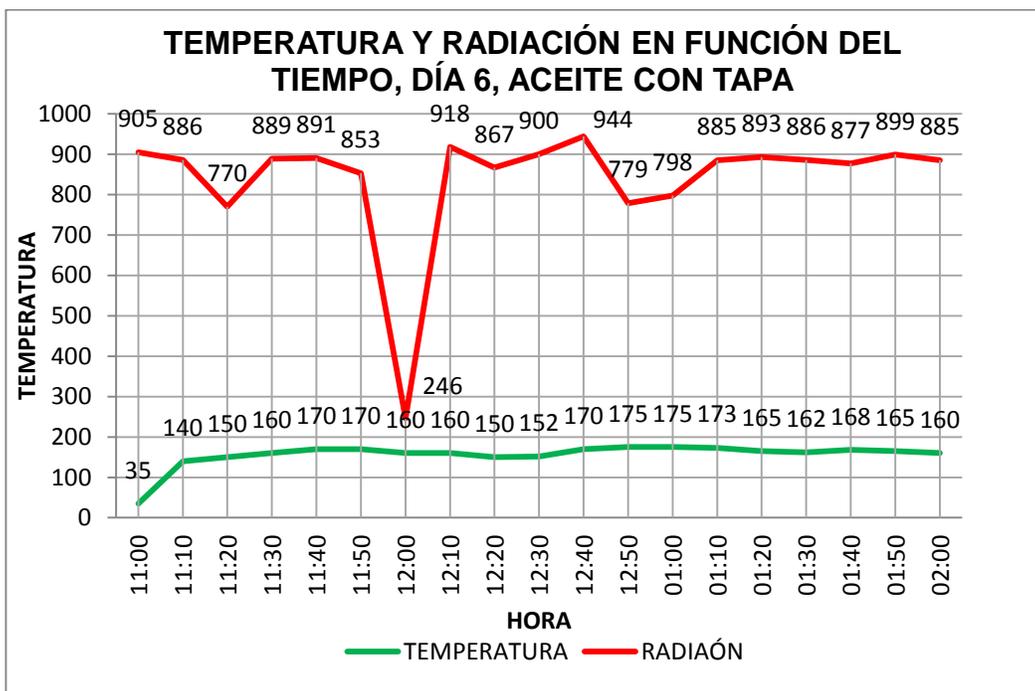


FIG. 4.8 Grafica temperatura y radiación en función del tiempo, día 6.

5.0 ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados a obtener de todos los ensayos realizados en el proyecto y mostrados en las tablas del apartado anterior se han mostrado en función de las normas detalladas en el apartado 4, obteniendo los valores de potencia que detalla la norma americana y algunos otros parámetros que contribuyan al estudio y determinación de la capacidad de la cocina.

Los datos y resultados que se van a mostrar en este apartado son experimentales para las hojas de datos mostradas en el apartado anterior, cuyos valores no son extrapolables a otros dispositivos de cocción solar ni, partiendo del mismo dispositivo, a otros días u horas diferentes de las especificadas en cada apartado. Cabe esperar que los resultados para cualquier prueba realizada en las condiciones climatológicas óptimas (que permitan el estudio de caracterización) y mismo lugar y época del año respecto a dispositivos semejantes sean más que parecidos, y que con la experiencia en este campo, se puedan obtener intervalos de valores constantes en el tiempo.

5.1. COEFICIENTE DE CONCENTRACIÓN

La capacidad que tiene la cocina solar de concentrar la luz del Sol, viene directamente relacionada con la proyección del área del captador, perpendicularmente a la radiación incidente.

La función básica del concentrador es recoger la radiación en esa área y concentrarla en otra área más pequeña, en este caso en la olla, para elevar su temperatura y poder cocinar. Respecto a esto se define el coeficiente de concentración geométrico como la relación entre la superficie total de captación y la superficie de recepción de la radiación.

Este coeficiente C será igual a 1 mientras dichas áreas sean la misma.

En el caso de la cocina solar parabólica que sea diseñado, las áreas no coinciden, este coeficiente será el cociente entre dichas áreas:[8]

$$C = \frac{A_c}{A_T} = \frac{A_{captación}}{A_{olla}} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

A_c: Área total de captación de la energía solar, que es el área del espejo.

A_t: Área de recepción del calor, considerándose esta área como la superficie inferior de la olla, que recibe el calor directamente a través de la radiación normal incidente.

- **Área de captación solar de la cocina**

Como área de captación solar se utilizara la proyección generada por el colector parabólico que es una circunferencia. El diámetro del colector es de 1.1 m, de la ecuación de área de circunferencia se tiene:

- **Área de transmisión de la cocina**

Como área de transmisión se utilizara la base de la olla porque es la superficie donde incidirá los rayos solares. La base de la olla es de geometría circular con un diámetro de 20 cm y utilizando la fórmula de área para una circunferencia (anexo 5.2) se tiene:

TABLA 5.1. Área de captación solar

Área de captación solar	
ÁREA DE CAPTACIÓN	= 0.9503 m ²
ÁREA DE TRANSMISIÓN	= 0.1256 m ²

$$C = \frac{A_c}{A_T} = 7.5663$$

5.2 POTENCIA DE CALENTAMIENTO

La ASAE S580 desarrolla su propia norma desde el punto de vista de la potencia que desarrolla la cocina durante el proceso de calentamiento. La potencia de calentamiento no va a ser constante, puesto que tenderá a disminuir según se acerque a su temperatura de estancamiento o de ebullición del líquido que se encuentre en el recipiente (la primera en llegar), siendo su valor cero cuando se alcanza dicho punto debido al efecto de las pérdidas de calor. Por esta misma razón, se tomara como potencia base la potencia que se registra en el primer intervalo de tiempo desde que se empieza a registrar la temperatura y que será el valor de potencia mayor de la cocina.

Los valores de potencia que se van a mostrar a continuación son intervalos de potencia representativos de dispositivo de cocción que permite hacerse una idea de su funcionamiento y de su capacidad de cocinar cualquier alimento.[24]

Partiendo de la expresión de balance de energía

$$Q_s - Q_p = m \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (\text{EC. 5.2})$$

Siendo.

C_p : El calor específico del agua a presión constante

ΔT : Incremento de temperatura del agua

Δt : El tiempo empleado en la toma de medidas

m : La masa de agua

La potencia obtenida del Sol (Q_s), menos las pérdidas (Q_p), aportara la potencia neta.

$$Q_{neta} = Q_s - Q_p = m \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (\text{EC. 5.3})$$

Esta potencia será máxima, cuando las pérdidas sean nulas, es decir, al comienzo del experimento.

$$Q_{neta} = Q_s \quad (\text{EC:5.4})$$

Por lo tanto la norma establece la ecuación como:

$$P = \frac{T_2 - T_1}{600} C \quad (\text{EC. 1.5})$$

Dónde:

P = potencia de cocción (W)

T_2 = temperatura final del agua

T_1 = temperatura inicial del agua

C = sumatoria de calor específico del agua y la olla multiplicado por sus masas

A parte del valor que se tiene llevando a cabo el primer procedimiento, hay un segundo paso que va a dar el valor de la potencia normalizada de la cocina. Para normalizar la potencia obtenida en el paso uno, se debe tener en cuenta otros parámetros diferentes de los anteriormente descritos.[24]

$$P_s = P \left(\frac{700}{I} \right) \quad (\text{EC. 1.6})$$

Dónde:

P_s = Potencia normalizada de cocción (W)

P = Potencia de cocción (W)

I = Radiación sobre la superficie de la cocina (W/m^2)

700 = Valor normalizado de radiación (W/m^2)

Datos para la obtención del valor de la variable C :

- Masa de agua 2.35 kg.
- Masa de aceite 0.68 kg.
- Masa de la olla sin tapa 0.57 kg
- Masa de la olla con tapa 0.68 kg
- Calor específico del agua 4186 J/kg.K.
- Calor específico del aceite 2000 J/kg.K.
- Calor específico del aluminio 897 J/kg.K.

A continuación muestran los valores de la variable c para las diferentes pruebas:

$$C = mC_{p_{del\ fluido}} + m_{olla}C_{p_{olla}} \quad (\text{EC.5.5})$$

1. Olla con agua sin tapa.

$$C = m_{agua}C_{p_{agua}} + m_{olla}C_{p_{olla}}$$

$$C = 10,348.39 \text{ J/K}$$

2. Olla con agua con tapa

$$C = m_{\text{agua}}Cp_{\text{agua}} + m_{\text{olla con tapa}}Cp_{\text{olla}}$$

$$C = 10,447.06 \text{ J/K}$$

3. Olla con aceite con tapa.

$$C = m_{\text{aceite}}Cp_{\text{aceite}} + m_{\text{olla con tapa}}Cp_{\text{olla}}$$

$$C = 1,969.96 \text{ J/K}$$

4. Olla con aceite sin tapa

$$C = m_{\text{aceite}}Cp_{\text{aceite}} + m_{\text{olla}}Cp_{\text{olla}}$$

$$C = 1,96 \text{ J/K}$$

En las siguientes tablas se muestran los valores de potencia obtenidos según la norma, cabe mencionar que esta potencia no es la potencia que se requiere para la evaluación de la cocina, la potencia que se requiere es la potencia normalizada que se estará obteniendo posteriormente en este trabajo.

En las tablas se muestran los valores de potencia en los diferentes intervalos de tiempo evaluados y las temperaturas correspondientes.

Los valores de potencia negativos que se observan en las tablas representan la caída de potencia, de una potencia más elevada en un intervalo de medición anterior y una potencia menor registrada en el siguiente intervalo, no quiere decir que la potencia sea negativa. Estos valores se dan por caídas en la temperatura del fluido estudiado por diferentes motivos, principalmente por factores climáticos, mala orientación de la cocina, entre otros.

TABLA 5.2. Potencia de la cocina, día 1

POTENCIA DE LA COCINA DÍA 1			
hora	t1(°C)	t2(°C)	potencia (w)
11:00	35	50	258,71
11:10	50	55	86,24
11:20	55	69	241,46
11:30	69	80	189,72
11:40	80	82	34,49
11:50	82	86	68,99
12:00	86	86	0,00
12:10	86	84	-34,49
12:20	84	80	-68,99
12:30	80	87	120,73
12:40	87	86	-17,25
12:50	86	83	-51,74
1:00	83	80	-51,74
1:10	80	82	34,49
1:20	82	85	51,74
1:30	85	85	0,00
1:40	85	85	0,00
1:50	85	82	-51,74
2:00	82	82	0,00

Datos obtenidos el 06-07-2014

TABLA 5.3. Potencia de la cocina, día 2

POTENCIA DE LA COCINA DÍA 2			
hora	t1(°c)	t2(°c)	potencia (w)
11:00	35	50	261,18
11:10	50	55	87,06
11:20	55	69	243,76
11:30	69	80	191,53
11:40	80	82	34,82
11:50	82	86	69,65
12:00	86	86	0,00
12:10	86	84	-34,82
12:20	84	80	-69,65
12:30	80	87	121,88
12:40	87	86	-17,41
12:50	86	83	-52,24
1:00	83	80	-52,24
1:10	80	82	34,82
1:20	82	85	52,24
1:30	85	85	0,00
1:40	85	85	0,00
1:50	85	82	-52,24
2:00	82	82	0,00

Datos obtenidos el 13-07-2014

TABLA 5.4. Potencia de la cocina, día 3.

POTENCIA DE LA COCINA DÍA 3			
hora	t1(°c)	t2(°c)	potencia (w)
11:00	35	60	431,18
11:10	60	70	172,47
11:20	70	82	206,97
11:30	82	85	51,74
11:40	85	87	34,49
11:50	87	87	0,00
12:00	87	89	34,49
12:10	89	87	-34,49
12:20	87	89	34,49
12:30	89	89	0,00
12:40	89	85	-68,99
12:50	85	84	-17,25
1:00	84	85	17,25
1:10	85	83	-34,49
1:20	83	85	34,49
1:30	85	83	-34,49
1:40	83	81	-34,49
1:50	81	80	-17,25
2:00	80	80	0,00

Datos obtenidos el 15-08-2014

TABLA 5.5. Potencia de la cocina, día 4

POTENCIA DE LA COCINA DÍA 4			
hora	t1(°c)	t2(°c)	potencia (w)
11:00	35	63	487,53
11:10	63	76	226,35
11:20	76	85	156,71
11:30	85	90	87,06
11:40	92	90	-34,82
11:50	90	93	52,24
12:00	93	97	69,65
12:10	97	97	0,00
12:20	97	97	0,00
12:30	97	98	17,41
12:40	98	95	-52,24
12:50	95	90	-87,06
1:00	90	96	104,47
1:10	96	94	-34,82
1:20	94	96	34,82
1:30	96	90	-104,47
1:40	90	94	69,65
1:50	94	92	-34,82
2:00	92	92	0,00

Datos obtenidos el 19-08-2014

TABLA 5.6. Potencia de la cocina, día 5

POTENCIA DE LA COCINA DIA 5			
hora	t1(°c)	t2(°c)	potencia (w)
11:00	35	105	229,83
11:10	105	150	147,75
11:20	150	155	16,42
11:30	155	165	32,83
11:40	165	170	16,42
11:50	170	170	0,00
12:00	170	155	-49,25
12:10	155	140	-49,25
12:20	140	132	-26,27
12:30	132	121	-36,12
12:40	121	120	-3,28
12:50	120	125	16,42
1:00	145	148	9,85
1:10	148	155	22,98
1:20	155	165	32,83
1:30	165	153	-39,40
1:40	153	160	22,98
1:50	160	153	-22,98
2:00	145	148	9,85

Datos obtenidos el 21-08-2014

TABLA 5.7. Potencia de la cocina, día 6.

POTENCIA DE LA COCINA DIA 6			
hora	t1(°c)	t2(°c)	potencia (w)
11:00	35	140	344,74
11:10	140	150	32,83
11:20	150	160	32,83
11:30	160	170	32,83
11:40	170	170	0,00
11:50	170	160	-32,83
12:00	160	160	0,00
12:10	160	150	-32,83
12:20	150	152	6,57
12:30	152	170	59,10
12:40	170	175	16,42
12:50	175	175	0,00
1:00	175	173	-6,57
1:10	173	165	-26,27
1:20	165	162	-9,85
1:30	162	168	19,70
1:40	168	165	-9,85
1:50	165	160	-16,42
2:00	160	160	0,00

Datos obtenidos el 26-08-2014

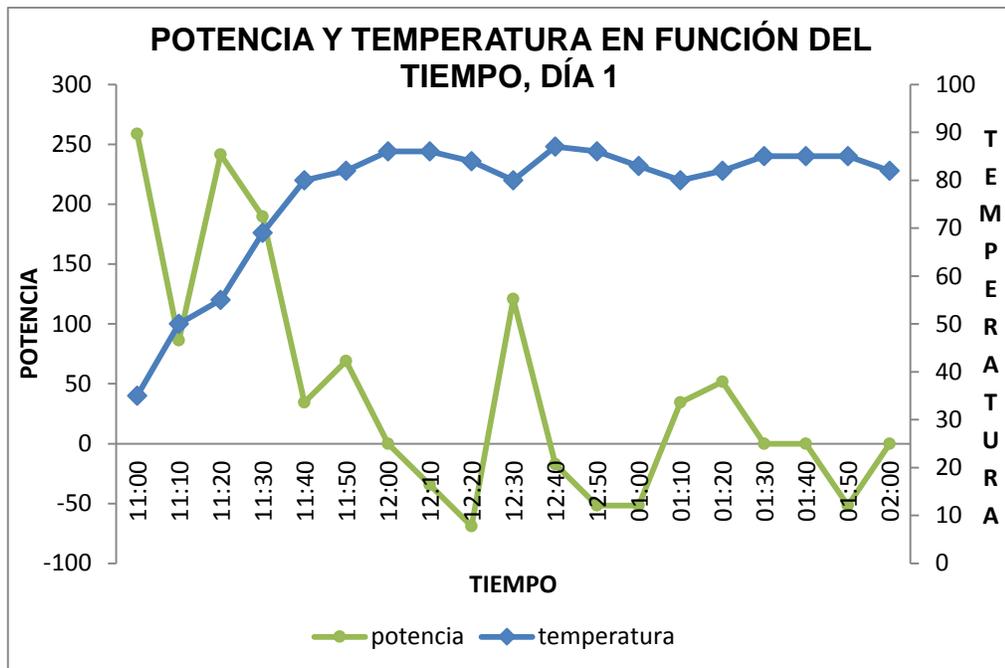


FIG.5.1 Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 1.

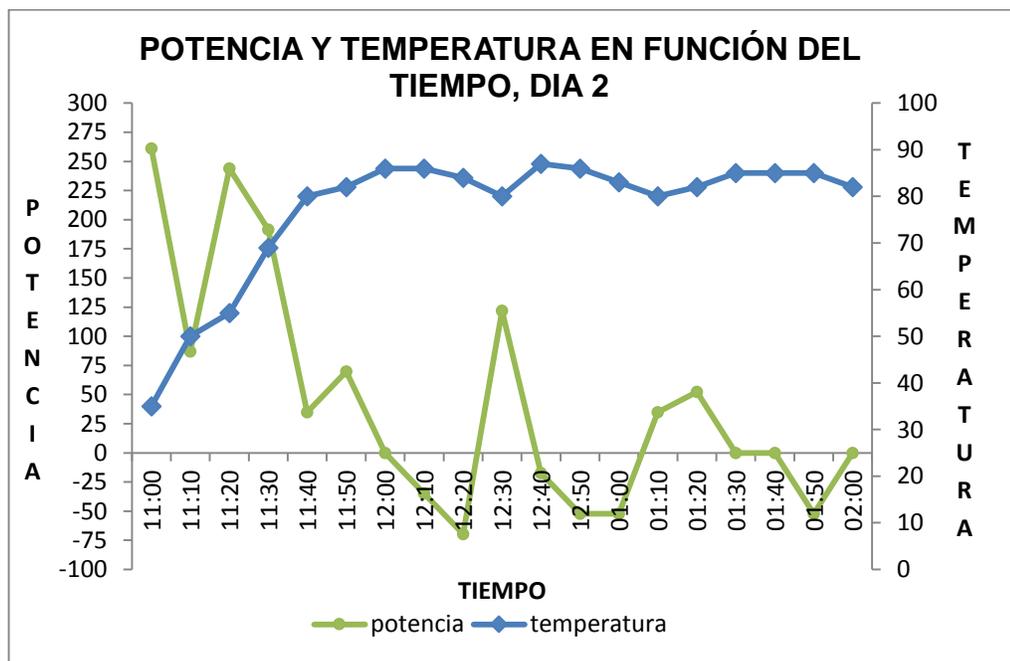


FIG. 5.2 Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 2.

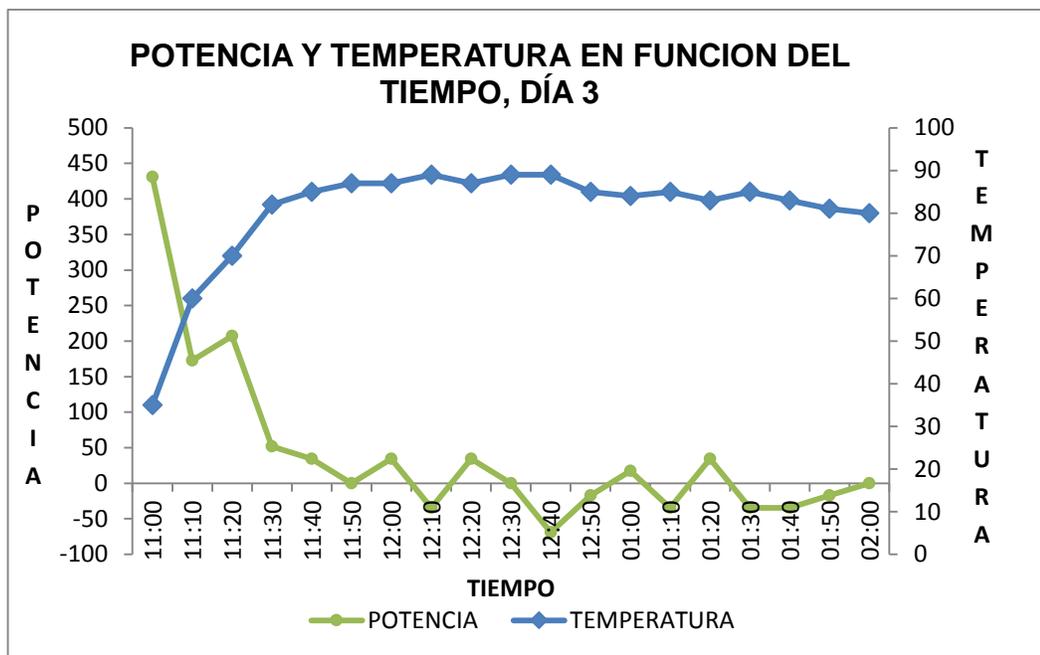


FIG.5.3 Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 3.

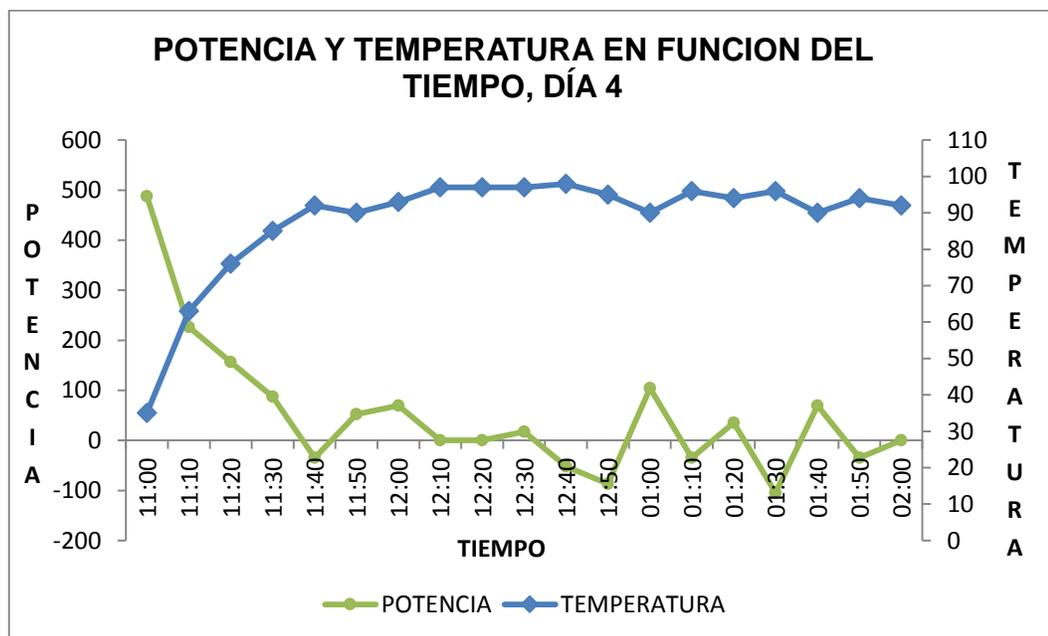


FIG.5.4 Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 4.

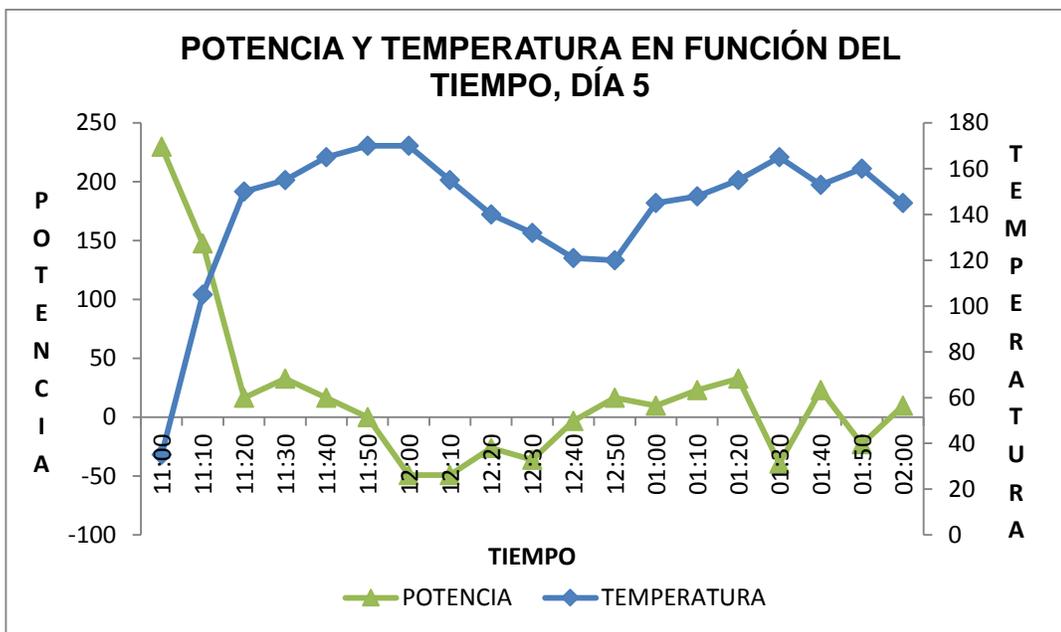


FIG.5.5 Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 5.

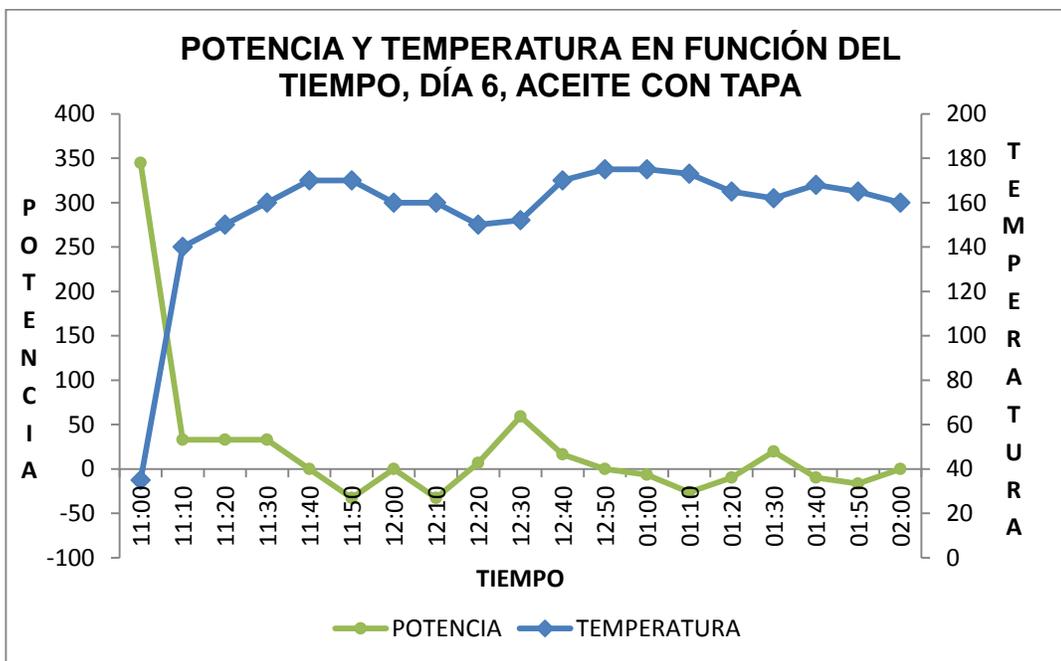


FIG.5.6. Grafica de potencia y temperatura en función del tiempo, día 6.

Los valores obtenidos de potencia que son negativos se debe a que en esos momentos la temperatura T2 de la cocina bajo por diferentes motivos a valores menores que la temperatura al inicio del intervalo de medición T1, a consecuencia de esto la potencia en vez de subir se redujo.

Se comprueba observando la evolución de las gráficas como en el proceso de calentamiento la temperatura se ve incrementada de manera diferente según el día y las condiciones meteorológicas presentes en el mismo.

Como se ha mencionado antes la potencia mayor y característica de la cocina se da cuando se inicia el ensayo ya que en ese intervalo de tiempo no hay pérdidas o son las menores posibles. En la tabla 5.8 se muestran las potencias características de la cocina [13].

La figura de mérito utilizada por ASAE S580 es la potencia de cocción. En concreto la potencia normalizada, para dar un único valor intermedio y a si informar al usuario de las capacidades de la cocina.

La norma expresa el interés por representar la potencia normalizada frente al incremento de temperatura recogido en cada intervalo de medidas. Este incremento supone por tanto, los grados que cambia la temperatura entre una medida y la siguiente, incremento también a partir del cual se realiza el cálculo de potencia en cada punto. Y a partir de estos valores de potencia, se normaliza [13].

A continuación se muestran los resultados de potencia normalizada de la cocina de los diferentes días de ensayos y sus respectivas graficas por el método de regresión lineal.

TABLA.5.8 Potencia normalizada, día 1.

POTENCIA NORMALIZADA DÍA 1			
hora	Δt (°c)	radiación normal (w/m^2)	potencia normalizada (w)
11:00	21	258,71	233,37
11:10	26	86,24	76,12
11:20	40	241,46	198,85
11:30	51	189,72	149,89
11:40	53	34,49	26,83
11:50	57	68,99	54,02
12:00	57	0,00	0,00
12:10	55	-34,49	-31,12
12:20	51	-68,99	-64,48
12:30	58	120,73	91,86
12:40	57	-17,25	-13,44
12:50	54	-51,74	-41,54
1:00	51	-51,74	-40,47
1:10	53	34,49	27,47
1:20	56	51,74	40,38
1:30	56	0,00	0,00
1:40	56	0,00	0,00
1:50	53	-51,74	-45,56
2:00	53	-65,36	-53,51

Datos obtenidos el 06-07-2014

TABLA.5.9 Potencia no normalizada, día 2

POTENCIA NORMALIZADA DÍA 2			
hora	Δt (°c)	radiación normal (w/m^2)	potencia normalizada (w)
11:00	31	775,98	471,21
11:10	49	788,91	308,99
11:20	56	799,08	106,77
11:30	58	773,21	31,53
11:40	61	803,7	45,50
11:50	61	795,38	0,00
12:00	64	797,23	45,86
12:10	64	799,08	0,00
12:20	61	797,23	-45,86
12:30	65	795,38	61,30
12:40	68	817,55	44,72
12:50	66	836,95	-29,13
1:00	68	826,79	29,48
1:10	66	766,74	-31,79
1:20	64	730,72	-33,36
1:30	66	728,87	33,44
1:40	69	827,71	44,18
1:50	69	831,41	0,00
2:00			

Datos obtenidos el 13-07-2014

TABLA.5.10 Potencia no normalizada, día 3

POTENCIA NORMALIZADA DÍA 3			
hora	Δt (°c)	radiación normal (w/m^2)	potencia normalizada (w)
11:00	6	716,86	421,04
11:10	31	732,56	164,81
11:20	41	785,22	184,51
11:30	53	818,48	44,25
11:40	56	831,41	29,04
11:50	58	825,87	0,00
12:00	58	836,03	28,88
12:10	60	716,86	-33,68
12:20	58	691,92	34,90
12:30	60	849,88	0,00
12:40	60	829,56	-58,21
12:50	56	805,54	-14,99
1:00	55	826,79	14,60
1:10	56	812,01	-29,74
1:20	54	828,64	29,14
1:30	56	799,08	-30,22
1:40	54	812,01	-29,74
1:50	51	734,41	-16,44
2:00	51	789,84	0,00

Datos obtenidos el 15-08-2014

TABLA.5.11 Potencia no normalizada, día 4

POTENCIA NORMALIZADA DÍA 4			
hora	Δt (°c)	radiación normal (w/m^2)	potencia normalizada (w)
11:00	34	665,13	513,09
11:10	47	720,55	219,90
11:20	56	739,03	148,43
11:30	61	803,7	75,83
11:40	61	805,54	-30,26
11:50	64	803,7	45,50
12:00	68	803,7	60,66
12:10	68	794,46	0,00
12:20	68	797,23	0,00
12:30	69	790,76	15,41
12:40	66	781,52	-46,79
12:50	61	767,67	-79,38
1:00	67	756,58	96,66
1:10	65	758,43	-32,14
1:20	67	466,51	52,25
1:30	61	714,09	-102,41
1:40	65	698,38	69,81
1:50	63	698,38	-34,90
2:00	63	678,98	0,00

Datos obtenidos el 19-08-2014

TABLA.5.12 Potencia no normalizada, día 5

POTENCIA NORMALIZADA DÍA 5			
hora	Δt (°c)	radiación normal (w/m^2)	potencia normalizada (w)
11:00	76	758,43	212,12
11:10	121	769,52	134,40
11:20	126	781,52	14,70
11:30	136	788,91	29,13
11:40	141	826,79	13,90
11:50	141	811,09	0,00
12:00	126	538,57	-64,01
12:10	111	332,56	-103,66
12:20	103	339,03	-54,23
12:30	92	422,17	-59,88
12:40	91	339,03	-6,78
12:50	96	313,16	36,70
1:00	119	402,77	17,12
1:10	126	745,5	21,58
1:20	136	739,95	31,06
1:30	124	820,32	-33,62
1:40	131	815,7	19,72
1:50	124	764,9	-21,03
2:00	119	402,77	17,12

Datos obtenidos el 21-08-2014

TABLA.5.13 Potencia no normalizada, día 6

POTENCIA NORMALIZADA DÍA 6			
hora	Δt (°C)	radiación normal (w/m^2)	potencia normalizada (w)
11:00	111	836,03	288,65
11:10	121	818,48	28,08
11:20	131	711,32	32,31
11:30	141	821,25	27,99
11:40	141	823,09	0,00
11:50	131	787,99	-29,17
12:00	131	227,25	0,00
12:10	121	848,04	-27,10
12:20	123	800,92	5,74
12:30	141	831,41	49,76
12:40	146	872,06	13,18
12:50	146	719,63	0,00
1:00	144	737,18	-6,24
1:10	136	817,55	-22,49
1:20	133	824,94	-8,36
1:30	139	818,48	16,85
1:40	136	810,16	-8,51
1:50	131	830,48	-13,84
2:00	131	817,55	0,00

Datos obtenidos el 26-08-2014

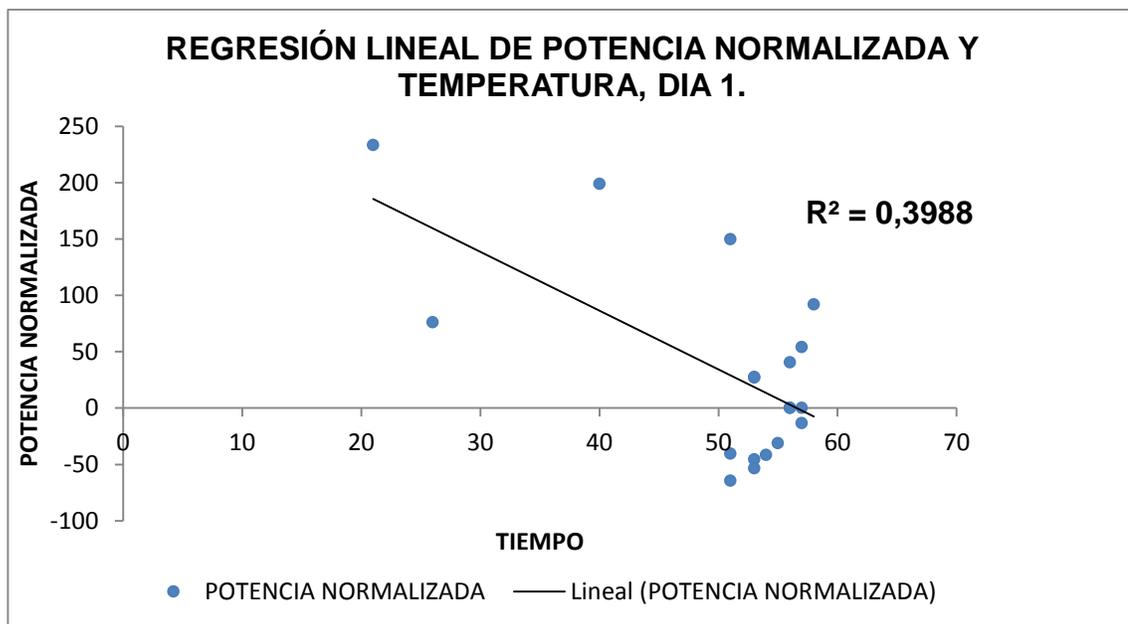


FIG.5.7 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día

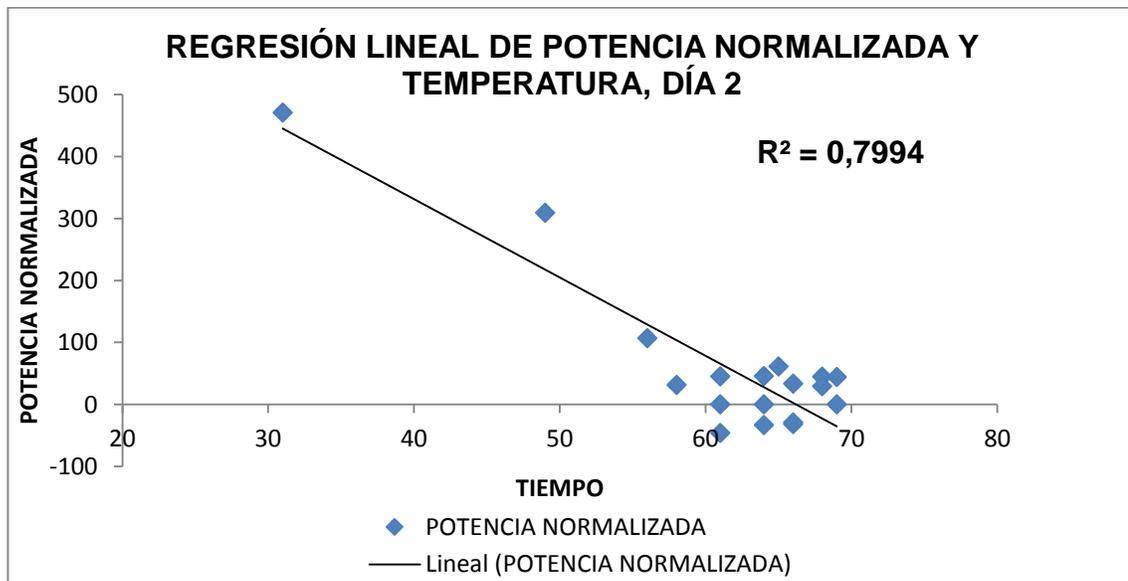


FIG.5.8 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 2

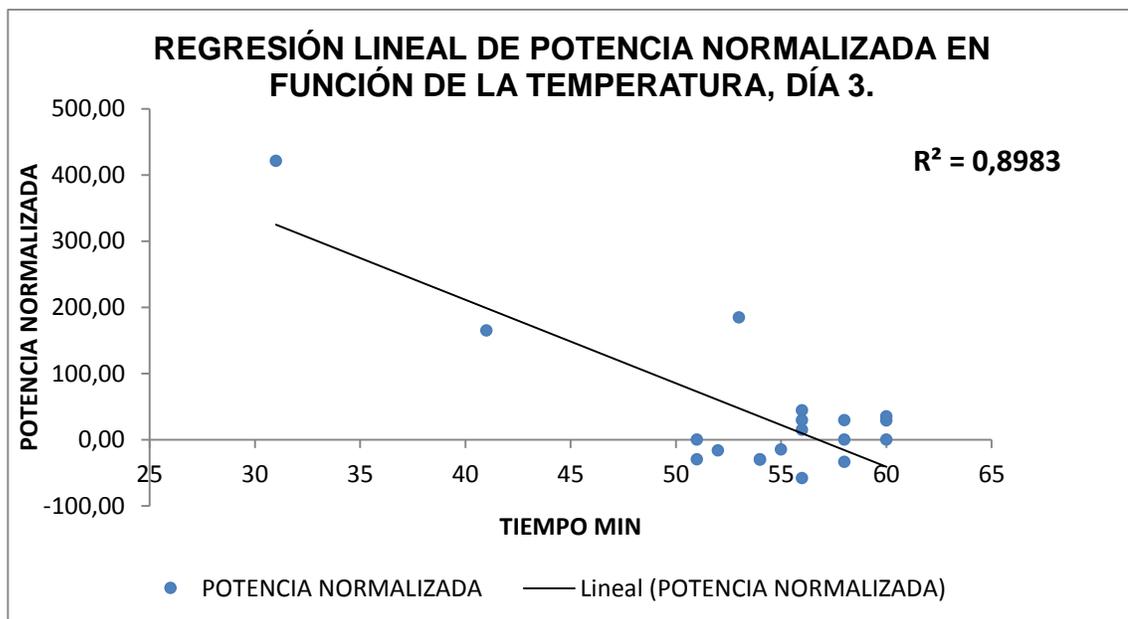


FIG.5.9 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 3

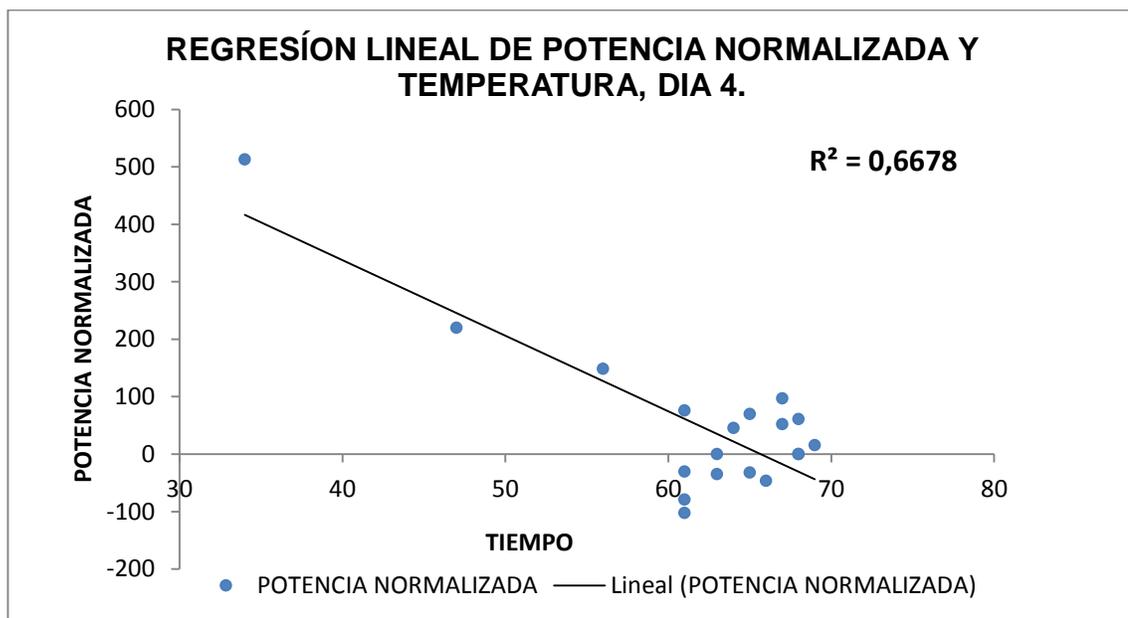


FIG.5.10 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 4

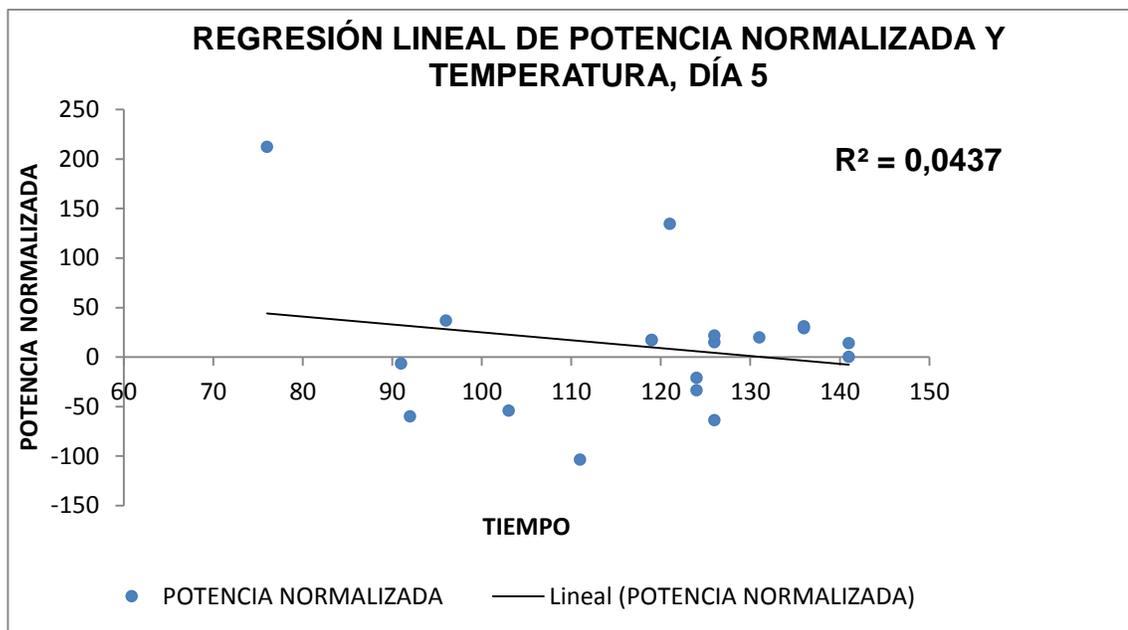


FIG.5.11 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 5

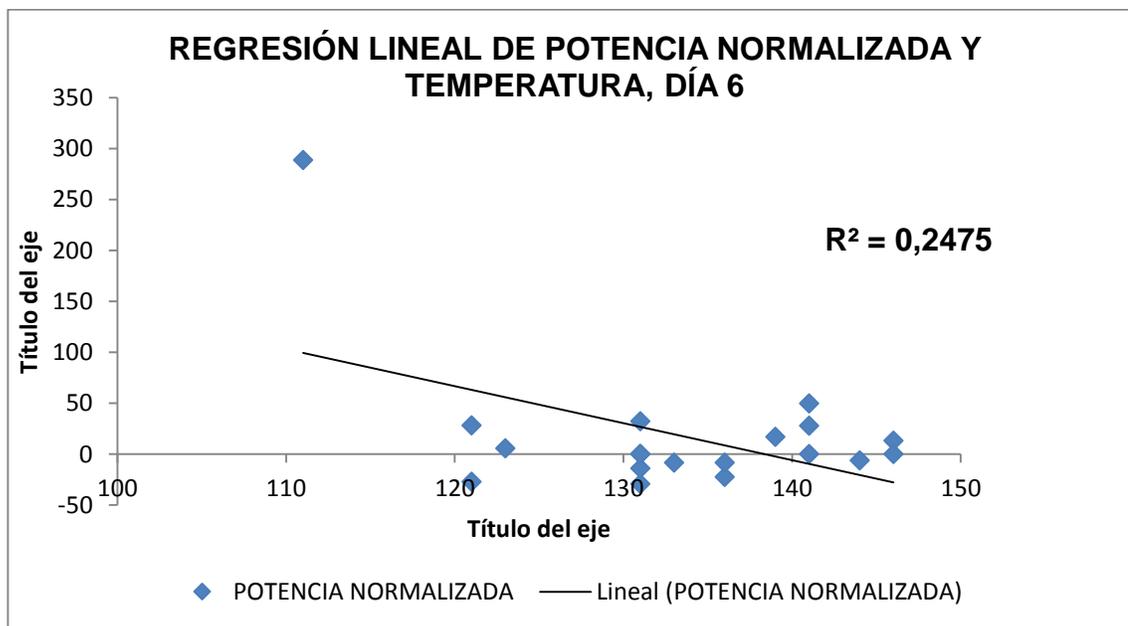


FIG.5.12 Regresión lineal de la potencia normalizada y temperatura, día 6

El autor recomienda un ajuste por regresión lineal, que tenga un valor de R^2 superior a 0,75. Esta regresión será lineal, pues representa la relación entre la potencia de calentamiento y el calentamiento en términos de incremento de temperatura. Dado que la potencia, en intervalos de tiempo constantes, dependerá únicamente de dicho incremento y de forma lineal, por ello, en términos generales la aproximación lineal se ajustara adecuadamente.[24]. En la mayoría de los casos del estudio, no sucede así, no obstante depende de las condiciones de estabilidad del ambiente y de la radiación incidente. Por esto, en algunos casos la aproximación lineal no resulta del todo adecuada, por la irregularidad de la tendencia de la potencia normalizada.

TABLA.5.14 Resumen de potencia, potencia normalizada y temperatura máxima alcanzada por la cocina en los diferentes días de ensayo.

POTENCIA Y TEMPERATURA MAXIMA DE LA COCINA			
Ensayo	Potencia(w)	Potencia normalizada (w)	Temperatura máxima (°C)
DIA 1, 06-07-2014 (agua sin tapa)	258.71	233.37	87
DIA 2, 13-07-2014 (agua con tapa)	261.18	471.21	97
DIA 3, 15-08-2014 (agua sin tapa)	431.18	421.04	89
DIA 4, 19-08-2014 (agua con tapa)	487.53	513.09	98
DIA 5, 21-08-2014 (aceite sin tapa)	229.83	212.12	170
DIA 6, 26-08-2014 (aceite con tapa)	344.74	288.65	175

Datos obtenidos con ecuaciones de la norma ASAE S580

6.0. CONCLUSIONES

Se concluye que:

1. En la mayoría de los casos del estudio no se obtuvieron valores de $R^2 \geq 0.75$ como lo indica la norma ASAE S580, no obstante este valor depende de las condiciones de estabilidad del ambiente y de la radiación incidente, es por ello que en algunos casos la aproximación lineal no resulta del todo adecuada, por la irregularidad de la tendencia de la potencia normalizada.
2. Todos los días de ensayo se tuvieron vientos con velocidades mayores de 2 m/s, que según la norma no son recomendables para los ensayos, pero aun de esta manera se obtuvieron buenos valores de potencia y temperatura.
3. La meteorología de la zona en la que se está usando la cocina solar es seguramente uno de los factores más importantes en el rendimiento de la cocina, ya que dependiendo del clima que se presente en el momento de uso, así será el potencial de la misma.
4. Al diseñar y construir una cocina solar parabólica hay que tomar en cuenta factores sociales que ayuden a determinar el mejor diseño. Para lograr la aceptación de la misma entre la sociedad.
5. La construcción del paraboloide debe efectuarse de la manera más exacta posible para no tener dispersiones de los rayos solares.

6. La cocina solar parabólica es efectiva para la cocción de alimentos cuando se cuenta con un clima sin nubes y valores de radiación solar elevados. Entre 700 y 1000 W/m².
7. El factor de concentración obtenido es de 7.5663, para un colector de generación eléctrica sería un valor bajo ya que entre más se acerca a 1 más grande es el área de transmisión y se traduciría en pérdidas, para nuestro caso el área de transmisión es idónea ya que es la holla para cocinar.
8. El comportamiento de las temperaturas alcanzadas por la cocina durante las horas de ensayos fueron bastante constantes, estos valores son importantes ya que permiten cocinar alimentos de una mejor manera sin variaciones en la temperatura.
9. Las temperaturas alcanzadas por la cocina solar son suficientes para preparar casi cualquier tipo de alimentos, oscilando entre 85 y 175 °C según las pruebas de los ensayos.
10. La potencia máxima alcanzada por la cocina fue del día 19-08-2014, obteniéndose un valor de 487.53 w de potencia.
11. La temperatura máxima alcanzada por la cocina fue del día 26-08-2014, obteniéndose una temperatura con prueba de aceite de 175 °C.
12. El tiempo de ebullición de agua dependerá de la cantidad de la misma, para los ensayos se utilizó 2.5 litros de agua, logrando ebullición en un tiempo de 23 minutos.

13. Cortar los espejos lo más exacto posible evita complicaciones a la hora de pegarlos en el colector ya que las medidas proporcionadas son exactas para que quepan los 420 espejos.

7.0. RECOMENDACIONES

Se recomienda que:

1. La construcción del paraboloide de la cocina solar debe de hacerse lo más exacta posible en un taller especializado, para no tener problemas de mala geometría que causara perdidas de calor en la cocina por la dispersión del punto focal.
2. Que los ensayos se realicen en días que se cuente con un buen clima, con poca nubosidad, velocidades de vientos bajos y niveles altos de radiación, para poder tener mayores valores de potencia y temperatura en la cocina.
3. Que se cuente con todos los dispositivos necesarios para la realización de los ensayos para tener valores más exactos y caracterizar de la mejor manera la cocina.
4. A la hora de pegar los espejos en el colector, primero se presenten para distribuirlos adecuadamente y no tener problemas de espacios entre los espejos y ya se encuentren pegados. Aunque se ha calculado el número de espejos necesarios para el colector se pueden tener variaciones en la medida de ellos causadas a la hora del corte, que compliquen su colocación.
5. A la hora de pegar la lámina galvanizada en la estructura del colector, asegurarse que no queden partes con relieve o residuos de pegamento, esto podría causar dispersión en el punto focal.

7.1. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA COCINA

- **Utensilios de cocina**

Se deben utilizar preferentemente recipientes oscuros, totalmente metálicos, mejor si son negros esmaltados u ollas de hierro fundido. Los recipientes metálicos oscuros absorben mejor la radiación solar, convirtiéndola en energía térmica. Debe evitarse ollas o cazuelas con asas de plástico, o proteger éstos con papel aluminio, el calor que genera la cocina solar parabólica es capaz de dañarlos seriamente.

Los recipientes de aluminio brillante reflejan la luz por lo cual no son recomendables y los cazuelas de barro cocido o cerámica conducen mal el calor

- **Orientar la cocina parabólica correctamente**

La necesidad de reorientar depende en gran medida de lo que está cocinando, la hora del día, y la temperatura que se desea mantener. Una buena regla es reorientar o alinear la cocina solar parabólica cada 15 o 20 minutos hacia el sol para mantener la temperatura máxima, mientras por una parte se gira la base de la cocina siguiendo al sol, por la otra se inclina el colector hasta que la sombra de la olla se encuentre en el centro del colector o que el foco este directamente incidiendo en la base de la olla. Al mediodía el sol está alto en el cielo y se mueve rápidamente respecto del punto de enfoque, creando la necesidad de reorientar con mayor frecuencia. A medida que avanza el día no será necesario variar la orientación con tanta frecuencia.

- **Qué peligros de la cocina solar parabólica**

Como cualquier aparato de generación de calor es necesario respetar ciertas normas de seguridad, hay que recordar que se trata de una cocina capaz de

generar altas temperaturas en presencia de la radiación solar, por tanto deberá ser manipulada conscientemente y por personas adultas. Deberá tenerse especial cuidado en el foco de calor, la ausencia de fuego u otra señal visual, puede hacer que no se dé cuenta de la temperatura que realmente existe ahí.

Otro punto a considerar es el deslumbramiento, colocarse directamente frente al reflector puede dañar los ojos o generar quemaduras en el cuerpo, por eso las labores de manipulación deben hacerse ubicándose de lado o en la parte posterior del reflector.

- **Uso de la cocina solar parabólica en invierno**

La cocina solar se puede utilizar en cualquier día y estación del año. El factor más importante en el uso de las cocinas solares no es la temperatura ambiente, sino el brillo solar. Incluso, un día frío de invierno pero seco y con cielo claro, permitirá cocinar más rápido que un día húmedo de verano. Sin embargo, en el verano hay más horas útiles disponibles para cocinar que en los días de invierno.

- **Mantenimiento de la cocina**

El mantenimiento de la cocina solar es muy sencillo, basta con tapar la cocina cuando no se utiliza, limpiar los espejos cuando se vaya a utilizar y también si se derrama agua o cualquier líquido para evitar que se dañe colector, mantener en buen estado la pintura para que no se corra el metal y dure mucho más tiempo.

7.1.1. Medidas de seguridad al usar cocinas solares parabólicas

La cocina solar parabólica cuenta con un reflector de rendimiento considerable, capaz de generar temperaturas bastante altas que hacen posible hasta freír. Si se coloca un pedazo de papel en su punto focal, se quemará de inmediato. Por ello debes tener en cuenta algunas normas de seguridad:

1. No deben haber niños solos cerca de la cocina solar.
2. No permanecer frente al reflector para evitar el deslumbramiento. Para acercarse de forma segura a la cocina, se tiene que hacer de lado.
3. La olla, su tapadera y el soporte se calientan mucho debido a la radiación solar concentrada, utiliza siempre guantes para manipular la olla o levantar la tapa.
4. No dejar los guantes, ni los trapos de cocina sobre la olla, pueden quemarse.
5. Si no estás utilizando la cocina, debes colocar el reflector en la posición que no pueda reflejar los rayos solares
6. Es recomendable la utilización de gafas oscuras de seguridad.

8.0 TRABAJOS FUTUROS

Se piensa en la implementación de un horno solar en el punto focal de la cocina solar parabólica, esto incrementaría la temperatura en el interior del horno, ya que se tendría la aportación de rayos solares directos y rayos infrarrojos, esto permitiría obtener mayor temperaturas en el interior del horno solar y también se mantendrían temperaturas más estables dentro del recinto.

Se podría trabajar en un diseño donde el colector solar tuviera no solo un movimiento en un solo sentido para la orientación al sol y así podría evitarse girar la cocina completa para orientarla al sol y sería más fácil de utilizar y más seguro ya que no se tendría que mover la cocina para ningún lugar.

Implementar un material reflectivo alternativo a espejos que sea más barato y fácil de colocar, que posea las mismas prestaciones que los espejos de vidrio utilizados en este trabajo.

9.0 REFERENCIAS

[1] <http://www.terra.org/categorias/comunidad-cocina-solar/historia-de-la-cocina-solar>

[2] <http://feinstein.com.ar/EISol.html>

[3] Solar engineering of thermal processes” J.A. Duffie, W.A. Beckman.

[4] <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/>

[5] Solar Energy Engineering Processes and Systems. Soteris A. Kalogirou.

[6]<http://www.cocinasolar.org>

[7] “Física para la ciencia y tecnología”, Tipler Mosca, 5ª edición

[8]<http://www.terra.org/categorias/articulos/cocinar-con-el-sol>

[9] <http://www.gastronomiasolar.es/p/cocina-solar.html>

[10] solarcooking.org

[11] introducción de la cocina solar en la isla de la española. Dr. M. Félix MendiaUrkiola. Universidad del País Vasco.

[21] <http://frodriguezdiaz.blogspot.com/>

[12] <http://cienciasencilla.dct.com.ve>

[13] ASAE S580 JAN03.

[14] Bureau of Indian Standards

[15] European Committee on Solar Cooking

[16] ima.fia.ues.edu.sv

[17] “Diseño en Ingeniería Mecánica,” shigley

10.0 ANEXOS

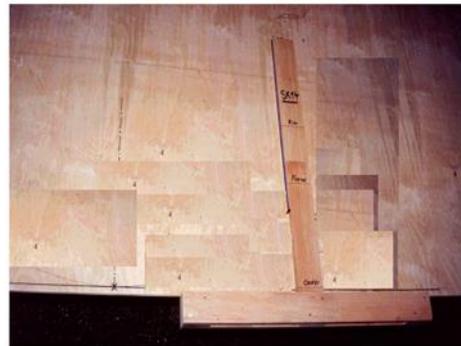
ANEXO 3.1. Construcción del molde para el colector solar

Es un modelo simple como una herramienta para garantizar la forma exacta parabólica de nuestra cocina

Para diseñar una parábola se recomienda una herramienta de dibujo muy simple que es capaz de construir cualquier curva parabólica con facilidad.

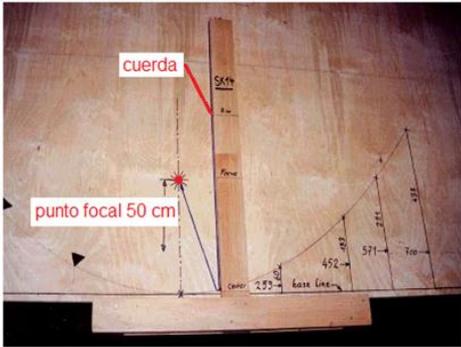
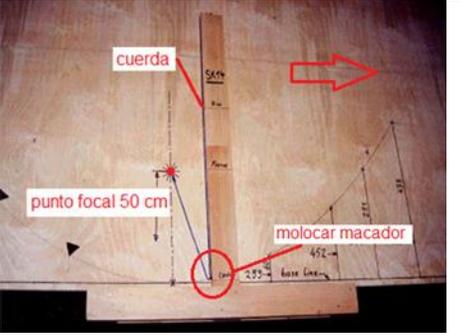
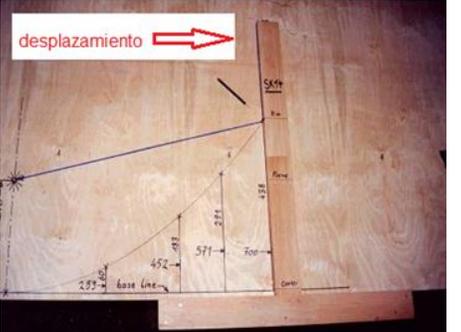
El uso de la Herramienta es una regla de ángulo recto de madera, puede ser hechiza o se puede utilizar una regla T de dibujo.

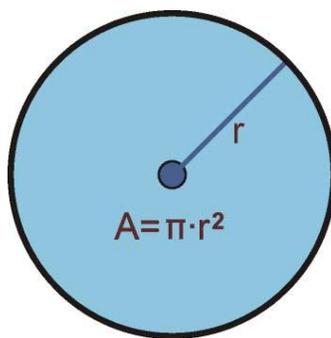
1. Sobre la superficie que se desea hacer la parábola se coloca la regla T de forma invertida como se muestra en la figura.



2. En la parte superior de la regla T se pega una cuerda delgada.



<p>3. Sobre la superficie marcar el punto focal de la parábola en este caso 50 cm y poner un clavo y amarra la cuerda o pegar la cuerda en el foco como se muestra.</p>	
<p>4. Se coloca un marcador en la base de la regla t y se desliza la regla hacia la derecha para describir la parábola, sosteniendo el marcador para que pinte pero dejando que la cuerda nos dirija como se muestra en la imagen.</p>	
<p>5. Se puede graficar algunos puntos de la parábola en la superficie si se desea para asegurarse que la parábola es exacta, pero no es necesario.</p>	
<p>6. Después de dibujar la parábola se corta con un serrucho o sierra caladora y este se usa de molde para hacer la curvatura de los tubos del colector.</p>	

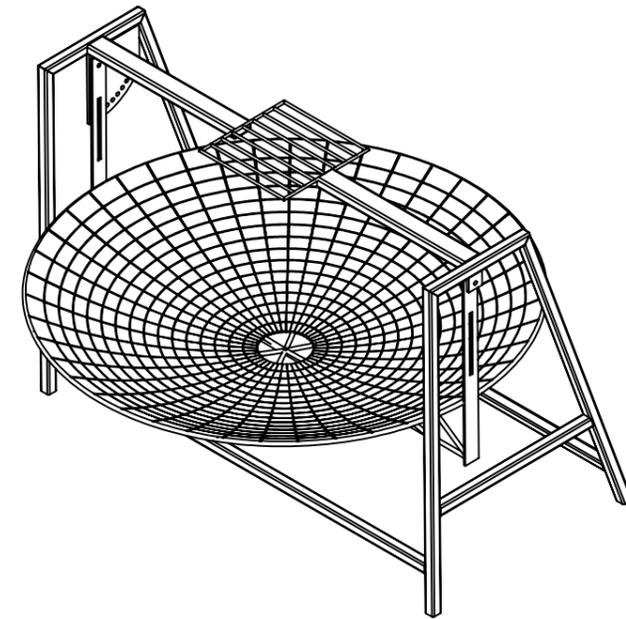
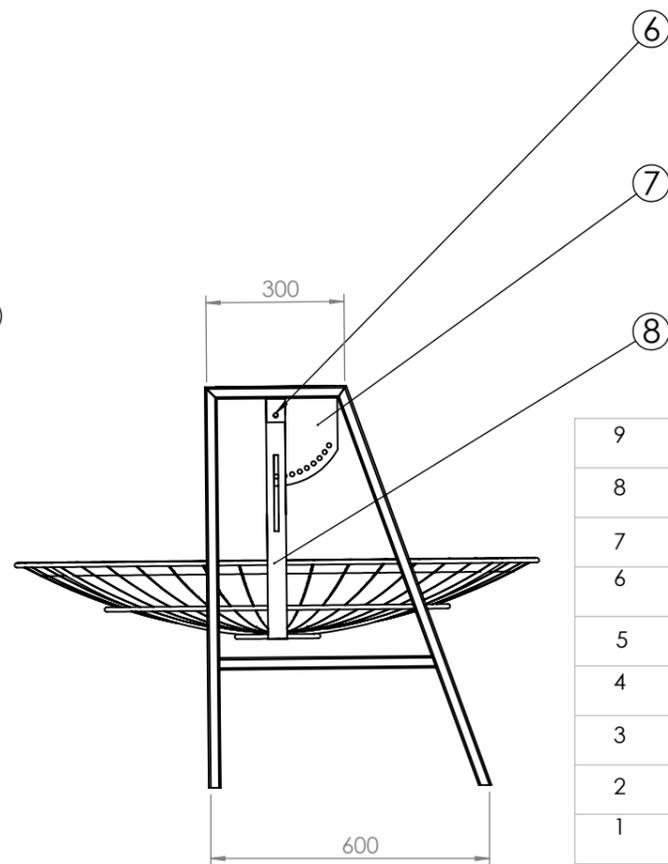
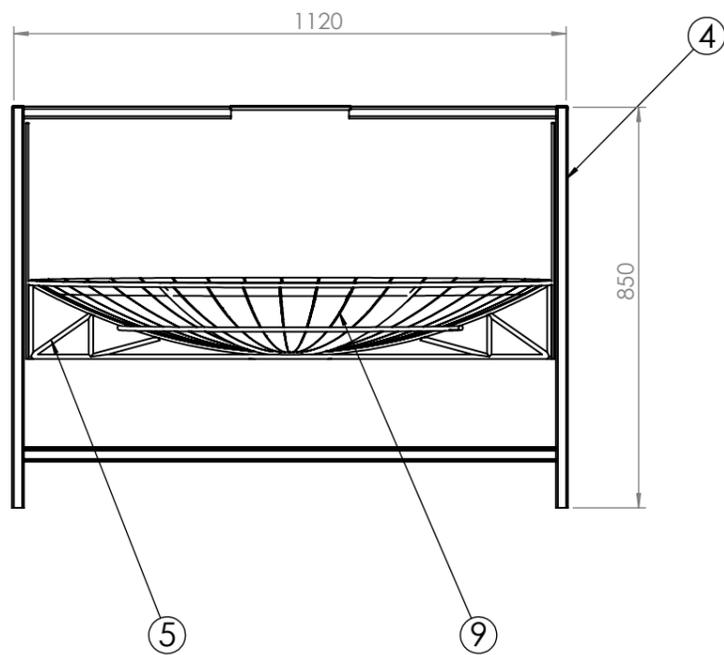
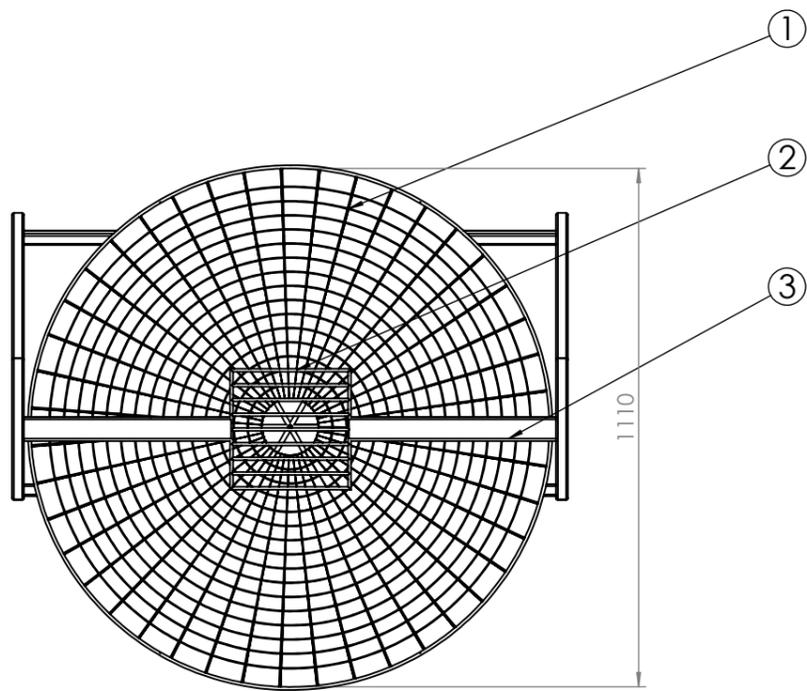
ANEXO 5.2**Área de la circunferencia**

ÁREA DE LA
CIRCUNFERENCIA

GALERÍA FOTOGRÁFICA Y PLANOS CONSTRUCTIVOS







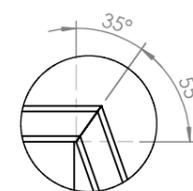
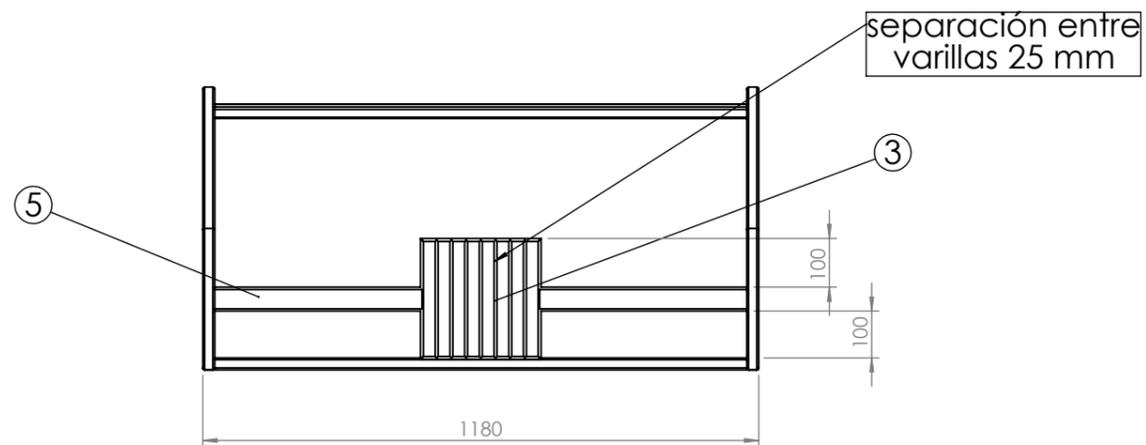
9	cobertura del colector	12	lamina	lamina galvanizada #32
8	balancines	2	acero	placas de acero de 1/4 in
7	placa de orientación	1	acero	placa de 1/4 de in de espesor
6	platina de fijación	1	acero	platina de 1/4 de in
5	estructura de colector	1	acero ASTM A36	tubo cuadrado de 1/2 in # 14
4	estructura base	1	acero ASTM A36	tubo cuadrado de 1 in #14
3	cañuela rectangular	2	acero ASTM A36	tubo rectangular de 2x1 in # 14
2	parrilla	1	hierro duce	varilla de 3/8 y 1/4 de in
1	espejos	240	vidrio	espesor de 2 mm

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACION
------	-------------	------	----------	----------------

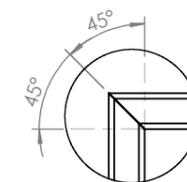
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQ ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño, construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso domestico.	ESCALA:
--	--	---------

DOCENTE ASESOR: Ing. Francisco Alfredo De León	ALUMNO: José Samuel Castro Pineda	UNIDADES: mm
---	-----------------------------------	-----------------

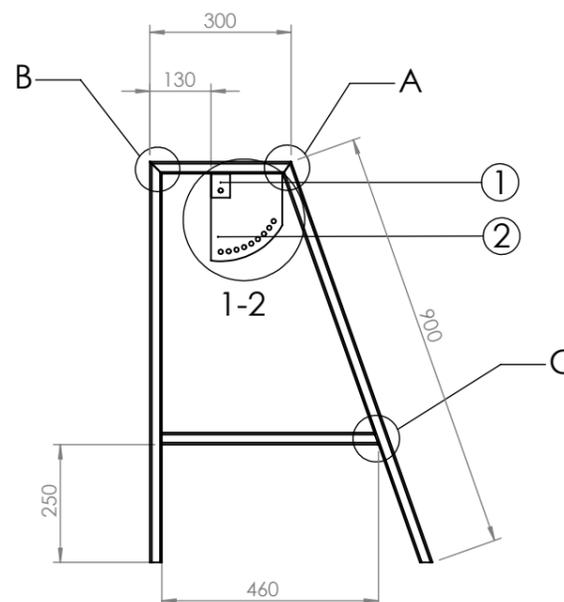
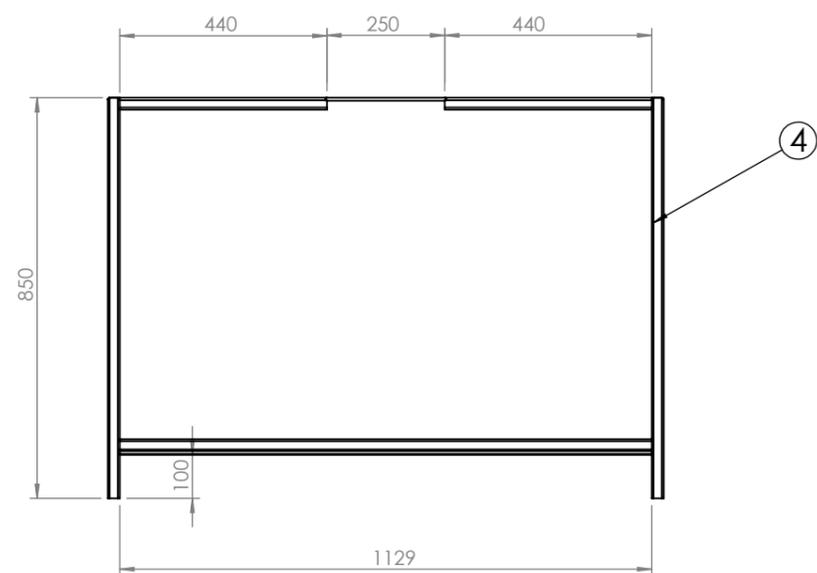
Nº DE PLANO A1	FECHA: 10-11-2014	CONJUNTO 1: Cocina solar parabólica	
-------------------	----------------------	-------------------------------------	--



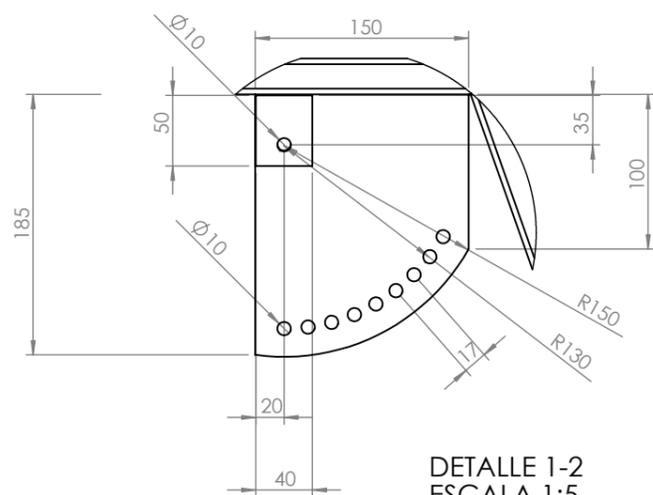
DETALLE A
ESCALA 1:5



DETALLE B
ESCALA 1:5



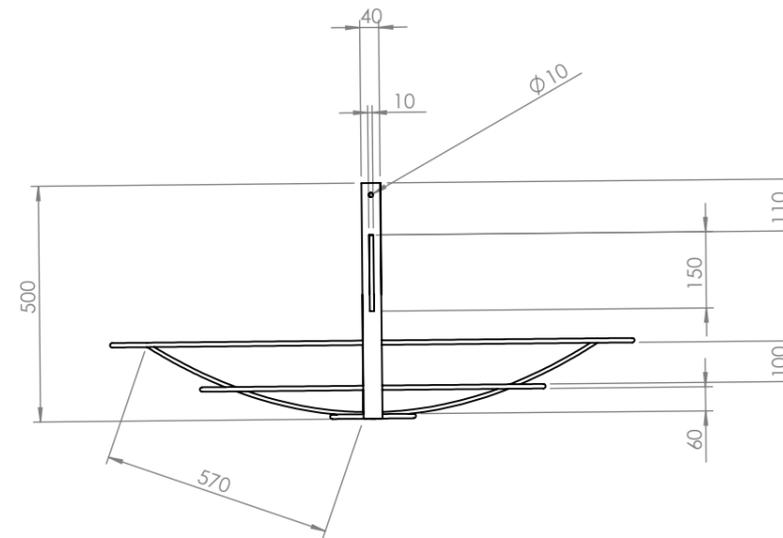
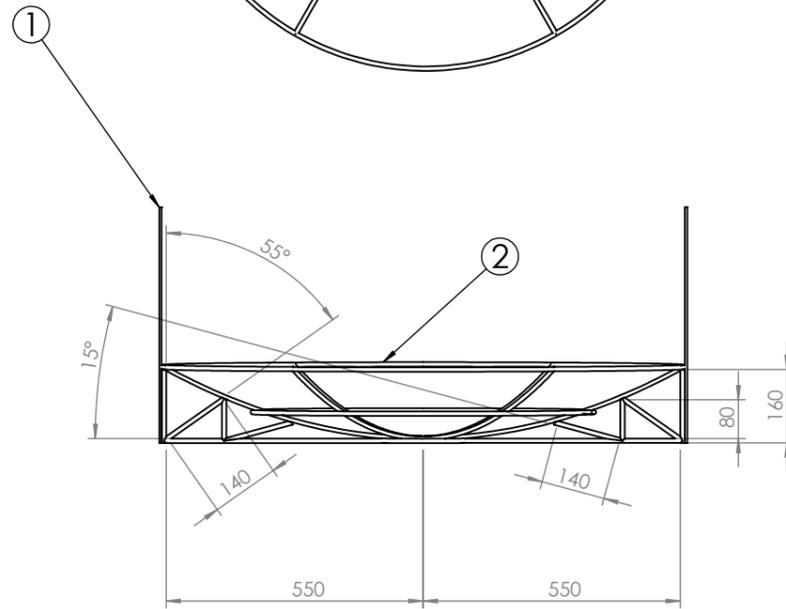
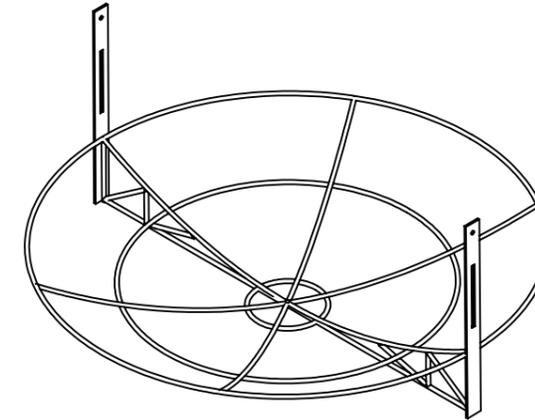
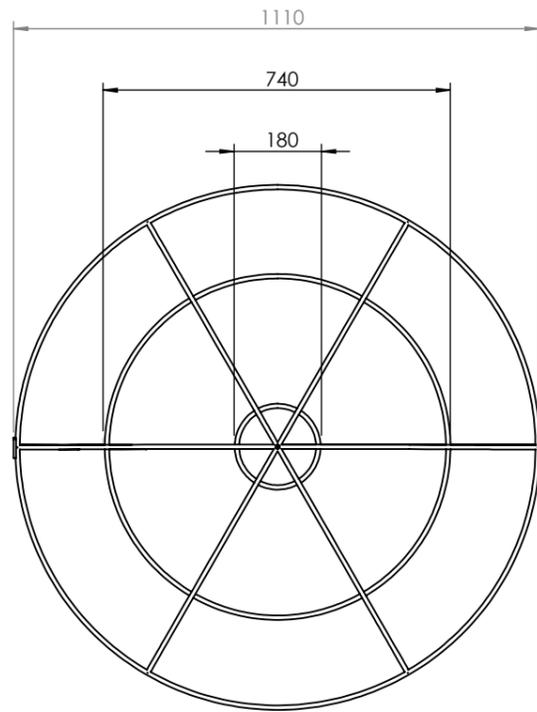
DETALLE C
ESCALA 1:5



DETALLE 1-2
ESCALA 1:5

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACION
5	cañuela rectangular	2	acero ASTM A36	tubo rectangular de 2x1 in
4	estructura base	1	acero ASTM A36	tubo cuadrado de 1 in
3	parrilla	1	hierro dulce	varilla de 3/8 y 1/4 de in
2	placa de orientación	1	acero	placa de 1/4 in de espesor
1	Platina de fijación	1	acero	placa de 1/4 in de espesor

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQ ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño, construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso domestico.		ESCALA: 1:15
DOCENTE ASESOR: Ing. Francisco Alfredo De León		ALUMNO: José Samuel Castro Pineda		UNIDADES: mm
Nº DE PLANO B1	FECHA: 10-11-2014	SUB CONJUNTO 1: Estructura base		



2	estructura del colector	1	acero ASTM A36	tubo cuadrado de 1/2 pulg #14
---	-------------------------	---	----------------	-------------------------------

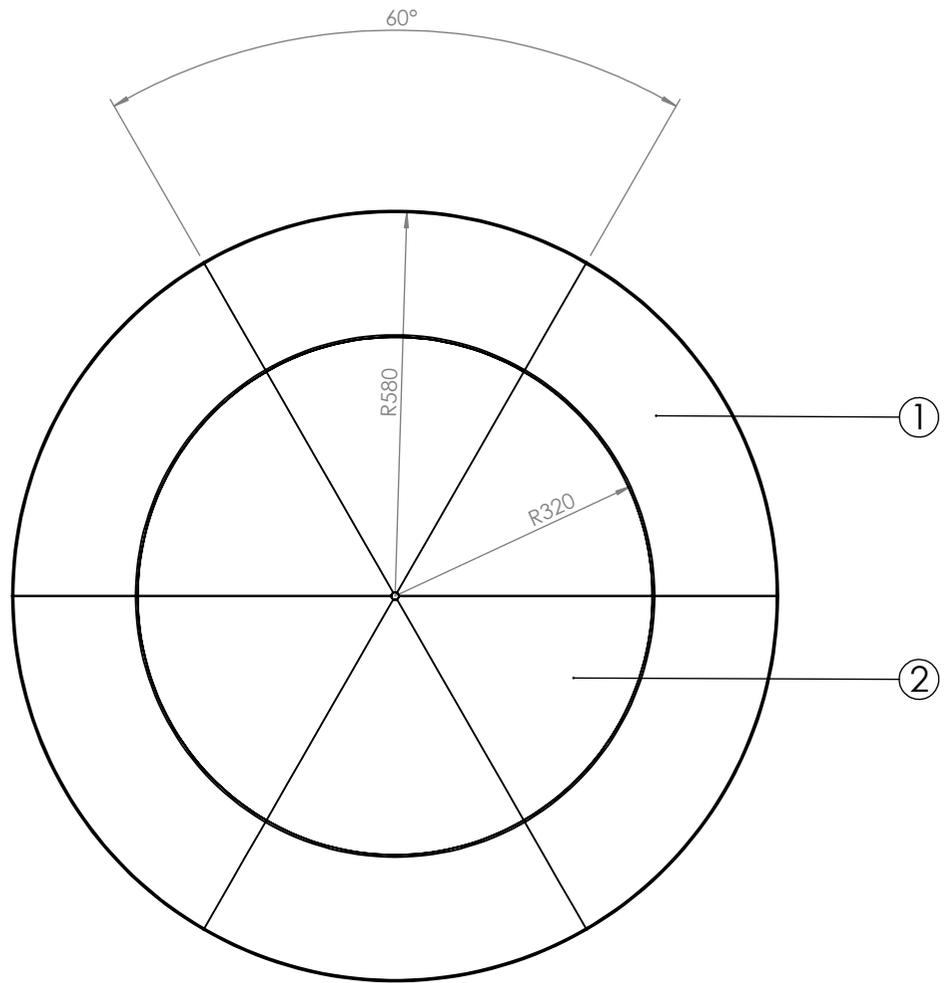
1	balancin	2	acero	platina de 1/4 pulg
---	----------	---	-------	---------------------

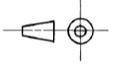
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACION
------	-------------	------	----------	----------------

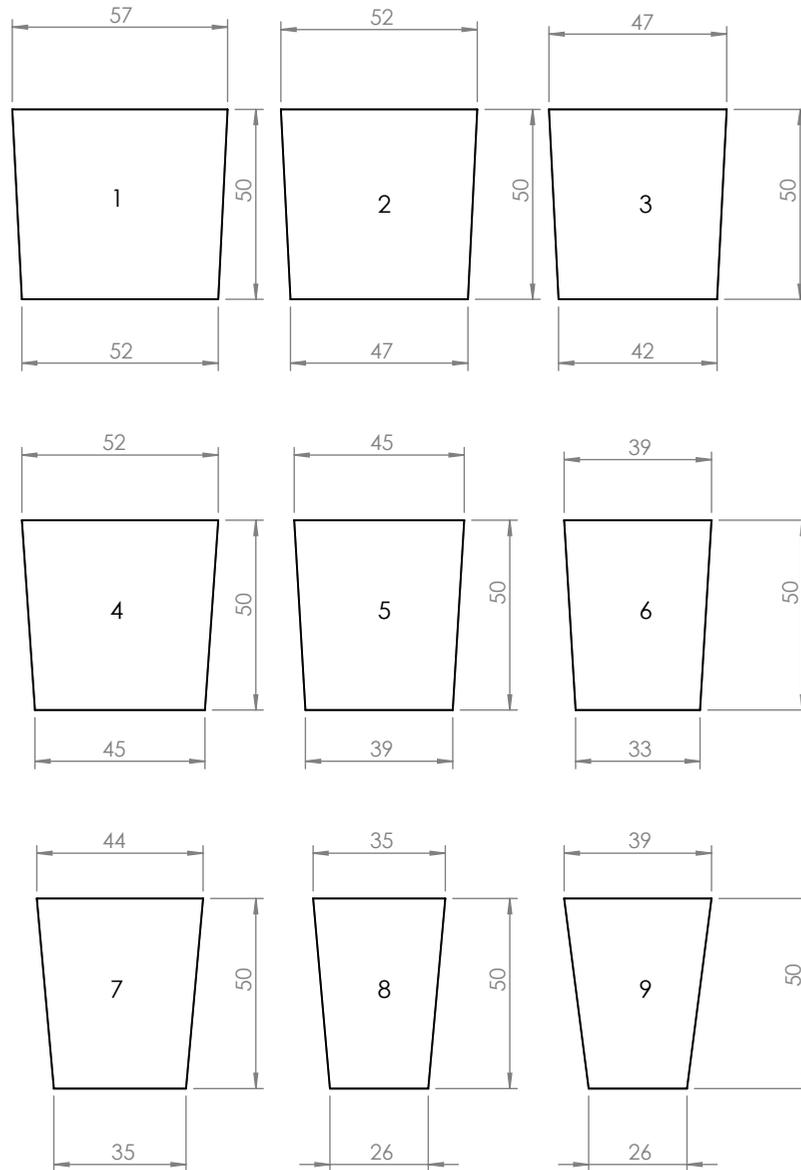
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQ ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño, construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso domestico.		ESCALA: 1:15
--	--	--	--	--	-----------------

DOCENTE ASESOR: Ing. Francisco Alfredo De León			ALUMNO: José Samuel Castro Pineda		UNIDADES: mm
---	--	--	-----------------------------------	--	-----------------

Nº DE PLANO C1	FECHA: 10-11-2014	SUBCONJUNTO 2: Colector solar			
-------------------	----------------------	-------------------------------	--	--	--



2	cobertura de lamina inf.	6	lamina	lamina galvanizada #32
1	cobertura de lamina sup.	6	lamina	lamina galvanizada #32
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQ. ESCUELA DE ING. MECANICA			TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño, costruccion y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico	
DOCENTE DIRECTOR: Ing. Francisco Alfredo De León.			ALUMNO: José Samuel Castro Pineda	
Nº PLANO: D1		FECHA: 24-09-2014	subconjunto 3: vista superior de cobertura del colector	
				ESCALA: 1:10 UNIDADES: mm 



9	trapecio 9	24	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
8	trapecio 8	36	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
7	trapecio 7	36	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
6	trapecio 6	48	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
5	trapecio 5	48	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
4	trapecio 4	48	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
3	trapecio 3	60	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
2	trapecio 2	60	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
1	trapecio 1	60	vidrio	espejo de 2 mm de espesor
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQ. ESCUELA DE ING. MECANICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño, costruccion y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico		ESCALA: 1:2
DOCENTE DIRECTOR: Ing. Francisco Alfredo De León.		ALUMNO: José Samuel Castro Pineda		UNIDADES: mm
Nº PLANO: D2	FECHA: 24-09-2014	subconjunto 4: espejos del colector solar		

CALOR ESPECÍFICO DE VARIOS MATERIALES

Calor específico (capacidad calorífica específica) (25 °C, 1 atm=101 325 Pa)

Material	J/(kg·K)
Aceite vegetal	2000
Agua (0 °C a 100 °C)	4186
Aire	1012
Alcohol etílico	2460
Alcohol metílico	2549
Aluminio	897
Amoniaco (líquido)	4700
Arena	290
Asfalto	920
Azufre	730
Benceno	1750
Calcio	650
Cinc	390
Cobre	387
Diamante	509
Dióxido de carbono (gas)	839
Estaño	210
Etilen glicol	2200
Gasolina	2220
Grafito	710
Granito	790
Helio (gas)	5300
Hidrógeno (gas)	14267

Material	J/(kg·K)
Hielo (-10 °C a 0 °C)	2093
Hierro/Acero	452
Hormigón	880
Latón	380
Litio	3560
Madera	420
Magnesio	1023
Mármol	858
Mercurio	138
Metano (275 K)	2191
Níquel	440
Nitrógeno	1040
Oro	129
Oxígeno	918
Plata	236
Plomo	128
Potasio	750
Sodio	1230
Tejido humano	3500
Tierra (típica)	1046
Vapor de agua (100 °C)	2009
Vidrio (típico)	837

NORMATIVA DE COCINAS SOLARES

ASAE S580 JAN03

Testing and Reporting Solar Cooker Performance



American Society of Agricultural Engineers

**S
T
A
N
D
A
R
D**

ASAE is a professional and technical organization, of members worldwide, who are dedicated to advancement of engineering applicable to agricultural, food, and biological systems. ASAE Standards are consensus documents developed and adopted by the American Society of Agricultural Engineers to meet standardization needs within the scope of the Society; principally agricultural field equipment, farmstead equipment, structures, soil and water resource management, turf and landscape equipment, forest engineering, food and process engineering, electric power applications, plant and animal environment, and waste management.

NOTE: ASAE Standards, Engineering Practices, and Data are informational and advisory only. Their use by anyone engaged in industry or trade is entirely voluntary. The ASAE assumes no responsibility for results attributable to the application of these ASAE Standards, Engineering Practices, and Data. Conformity does not ensure compliance with applicable ordinances, laws and regulations. Prospective users are responsible for protecting themselves against liability for infringement of patents.

This standard may be designated ANSI/ASAE. If so, this standard is an American National Standard. Approval of an American National Standard requires verification by ANSI that the requirements for due process, consensus, and other criteria for approval have been met by the standards developer.

Consensus is established when, in the judgment of the ANSI Board of Standards Review, substantial agreement has been reached by directly and materially affected interests. Substantial agreement means much more than a simple majority, but not necessarily unanimity. Consensus requires that all views and objections be considered, and that a concerted effort be made toward their resolution.

CAUTION NOTICE: In the case that this standard is an ANSI/ASAE standard, this American National Standard may be revised or withdrawn at any time. The procedures of the American National Standards Institute require that action be taken periodically to reaffirm, revise, or withdraw this standard. Purchasers of American National Standards may receive current information on all standards by calling or writing the American National Standards Institute.

Copyright American Society of Agricultural Engineers. All rights reserved.

ASAE-The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems
2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659, USA ph. 269-429-0300, fax 269-429-3852,
hq@asae.org

Testing and Reporting Solar Cooker Performance

Initiated by the Test Standards Committee at the Third World Conference on Solar Cooking (Coimbatore, Tamil Nadu, India, 9 January 1997); further input from the Third Latin American Congress on Solar Cookers (La Ceiba, Atlántico, Honduras, March 2001); final development by the ASAE Solar Energy Committee SE-414 March 2002; approved by the ASAE Structures and Environment Division Standards Committee January 2003.

1 Purpose and scope

1.1 This Standard is intended to:

1.1.1 Promote uniformity and consistency in the terms and units used to describe, test, rate, and evaluate solar cookers, solar cooker components, and solar cooker operation.

1.1.2 Provide a common format for presentation and interpretation of test results to facilitate communication.

1.1.3 Provide a single measure of performance so consumers may compare different designs when selecting a solar cooker.

1.2 The scope of this Standard includes:

1.2.1 All solar powered batch-process food and water heating devices (solar cookers). Devices designed to desiccate (dryers) are not covered.

1.2.2 Within the scope of this Standard a solar cooker shall be understood to include the cooking vessel(s) together with associated supporting, heat transfer and heat retention surfaces, heat storage and transfer media and associated pumps and controls, light transmitting and reflecting surfaces, and all associated adjustments, supports, and solar locating and tracking mechanisms as may be integral parts of a particular solar cooker.

2 Normative References

Indian Standard IS 13429, 1992, Solar Cooker- (3 Parts).

3 Terminology

3.1 **Absorber plate:** Darkened surface converting light energy into thermal energy.

3.2 **Angle, Azimuth:** The angular displacement from south of the projection of beam radiation on the horizontal plane.

3.3 **Angle, Zenith:** The angle subtended by a vertical line to the zenith (point directly overhead) and a line directly to the sun.

3.4 **Beam Radiation:** Solar radiation received directly from the sun without atmospheric scattering.

3.5 **Box-type cooker:** A solar cooker with a well-insulated volume for the cooking vessel(s), typical designs having from zero to four plane mirrors.

3.6 **Concentrating-type cooker:** Any of various designs characterized by multiple planes or curved reflective surfaces. Many designs lack insulated walls but have large intercept areas to compensate for their comparatively greater heat loss.

3.7 **Intercept area:** The sum of the reflector and aperture areas projected onto the plane perpendicular to direct beam radiation (Figure 1). For convenience, use the average beam radiation zenith angle as calculated for the entire test period.

3.8 **Load:** The mass of water being heated by the solar cooker.

3.9 **Test:** All events and data comprising the measured solar heating of water in a device intended to cook food.

3.10 **Tracking:** Rotating the cooker in the horizontal plane to

compensate for azimuth angle changes (box-type) or following the sun in two dimensions (concentrating-type).

4 General

4.1 This Standard specifies that test results be presented as cooking power, in Watts, normalized for ambient conditions, relative to the temperature difference between cooker contents and ambient air, both as a plot and as a regression equation for no fewer than 30 total observations over three different days.

4.2 This Standard specifies that cooking power be presented as a single number found from the equation described in section 4.1 for a temperature difference of 50 °C.

5 Uncontrolled (weather) variables

5.1 **Wind.** Tests shall be conducted when wind is less than 1.0 m/s, measured at the elevation of the cooker being tested and within ten meters of it. Should wind exceed 2.5 m/s for more than ten minutes, discard that test data. If a wind shelter is required, 1) it shall be designed so as to not interfere with incoming total radiation and 2) the wind instrumentation shall be co-located with the cooker in the same wind shadow.

5.2 **Ambient temperature.** Tests should be conducted when ambient temperatures are between 20 and 35 °C.

5.3 **Water temperature.** Test data shall be recorded while cooking vessel contents (water) are at temperatures between 5 °C above ambient and 5 °C below local boiling temperature.

5.4 **Insolation.** Available solar energy shall be measured in the plane perpendicular to direct beam radiation (the maximum reading) using a radiation pyranometer. Variation in measured insolation greater than 100 W/m^2 during a ten-minute interval, or readings below 450 W/m^2 or above 1100 W/m^2 during the test shall render the test invalid. For convenience, the pyranometer may be fixed on the cooker at the average beam radiation zenith angle as calculated for the entire test period.

5.5 **Solar zenith and azimuth angle.** Tests should be conducted between 10:00 and 14:00 solar time. Exceptions necessitated by solar variability or ambient temperature shall be specially noted.

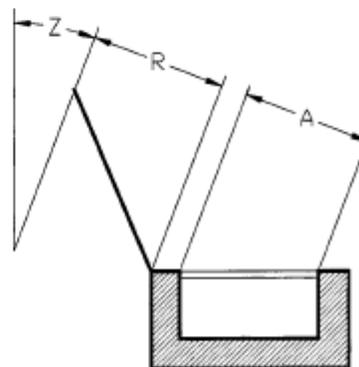


Figure 1 – Determining the intercept area. Reflector area is reflector width times its apparent height, R, and aperture area is aperture width times its apparent height, A. Apparent height is the shadow or projected height in the plane perpendicular to beam radiation of zenith angle Z.

6 Controlled (cooker) variables

6.1 Loading. Cookers shall have 7,000 grams potable water per square meter intercept area distributed evenly between the cooking vessels supplied with the cooker. If no cooking vessels are provided, inexpensive aluminum cooking vessels painted black shall be used.

6.2 Water mass. The mass of water should be determined with an electronic balance to the nearest gram using a pre-wetted container.

6.3 Tracking. Azimuth angle tracking frequency should be appropriate to the cooker's acceptance angle. Box-type cookers typically require adjustment every 15 to 30 minutes or when shadows appear on the absorber plate. Concentrating-type units may require more frequent adjustment to keep the solar image focused on the cooking vessel or absorber. With box-type cookers, zenith angle tracking may be unnecessary during a two hour test conducted at mid-day. Testing should be representative of local conditions, i.e. how the typical consumer is expected to use the cooker.

6.4 Temperature sensing. Water and air temperature should be sensed with thermocouples. Each thermocouple junction shall be immersed in the water in the cooking vessel(s) and secured 10 mm above the bottom, at center. Thermocouple leads should pass through the cooking vessel lid inside a thermally nonconductive sleeve to protect the thermocouple wire from bending and temperature extremes. The sleeve should be secured with 100% silicone caulk to reduce water vapor loss.

7 Test protocol

7.1 Recording. The average water temperature (C) of all cooking vessels in one cooker shall be recorded at intervals not to exceed ten minutes, and should be in units of Celsius to the nearest one tenth of a degree. Solar insolation (W/m^2), ambient temperature (C), and wind speed (m/s) shall be recorded at least as frequently. Record and report the frequency of attended (manual) tracking, if any. Report azimuth angle(s) during the test. Report the test site latitude and the date(s) of testing.

7.2 Calculating cooking power. The change in water temperature for each ten-minute interval shall be multiplied by the mass and specific heat capacity of the water contained in the cooking vessel(s). This product shall be divided by the 600 seconds contained in a ten-minute interval, as:

$$P_i = (T_2 - T_1)MC_i / 600$$

where:

P_i = cooking power (W)
 T_2 = final water temperature
 T_1 = initial water temperature
 M = water mass (kg)
 C_i = heat capacity (4188 J/[kg K])

7.3 Calculating interval averages. The average insolation, average ambient temperature, and average cooking vessel contents temperature shall be found for each interval.

7.4 Standardizing cooking power. Cooking power for each interval shall be corrected to a standard insolation of $700 W/m^2$ by multiplying the interval observed cooking power by $700 W/m^2$ and dividing by the interval average insolation recorded during the corresponding interval.

$$P_s = P_i / (700/I_i)$$

where:

P_s = standardized cooking power (W)
 P_i = interval cooking power (W), as calculated in section 7.2
 I_i = interval average solar insolation (W/m^2)

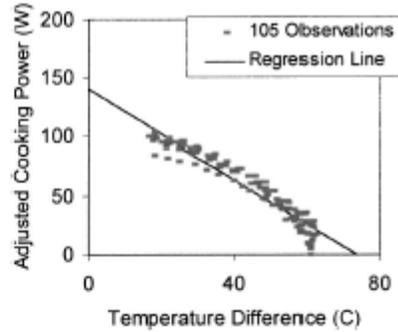


Figure 2 – Example of adjusted cooking power plotted over temperature difference and the resulting regression line. In this example the equation is: $P_s = 140 - 1.5 T_d$, with $r^2 = 0.90$. In this example the standard cooking power for a $50^\circ C$ temperature difference is: $P_{std} = 45 W$.

7.5 Temperature difference. Ambient temperature for each interval is to be subtracted from the average cooking vessel contents temperature for each corresponding interval.

$$T_d = T_w - T_a \quad (3)$$

where:

T_d = temperature difference (C)
 T_w = water temperature (C)
 T_a = ambient air temperature (C)

7.6 Plotting. The standardized cooking power, P_s (W) is to be plotted against the temperature difference, T_d (C) for each time interval.

7.7 Regression. A linear regression of the plotted points shall be used to find the relationship between cooking power and temperature difference in terms of intercept a (W) and slope b (W/C) or $P_s = a + b T_d$. No fewer than 30 total observations from three different days shall be employed. The coefficient of determination (r^2) or proportion of variation in cooking power that can be attributed to the relationship found by regression should be higher than 0.75 or specially noted.

7.8 Single measure of performance. The value for standardized cooking power, P_s (W) shall be computed for a temperature difference, T_d , of $50^\circ C$ using the regression relationship found according to section 7.7.

NOTE: for product labeling and sales literature an independent laboratory using a statistically adequate number of trials shall determine this number. While this value, like the fuel economy rating of an automobile, is not a guarantee of performance, it provides consumers with a useful tool for comparison and product selection.

7.9 Reporting. A plot of the relationship between standardized cooking power and temperature difference shall be presented with the equation, following the example in Figure 2. The report shall also state the standardized cooking power at a temperature difference of $50^\circ C$.

References

Funk, P.A. 2000. Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance. *Solar Energy* 68(1):1-7.
 Mullick S.C., Kandpal T.C., and Saxena A.K. 1987. Thermal test procedure for box-type solar cookers. *Solar Energy* 39(4):353-380.