



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAESTRO EN DISEÑO

OMAR FERNANDO CARRILLO FERNÁNDEZ

**LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL
VALLE DE TOLUCA.**

DIRECTOR DE TESIS:

DR. RENÉ L. SÁNCHEZ-VÉRTIZ RUÍZ

REVISORES DE TESIS:

DR. RICARDO VICTORIA URIBE

DR. EDUARDO RINCÓN MEJÍA

MAESTRO ALFREDO MUÑOZ OSCOS

DEDICACIÓN

Sin tu brazo firme, sin tu consejo constante no habría sido posible alcanzar esta nueva cima, este logro lo dedico a ti mi querido Dios.

A mis padres, que un buen día dirigieron mi paso hacia el largo camino de la vida y que gracias a ellos me fue dada la tenacidad necesaria para alcanzar los más respetables logros.

A mí querida esposa Sandra por su comprensión y apoyo incondicional; por sus palabras de aliento cuando más se necesitaron y por su gran ayuda en la culminación de esta tesis. Gracias por todo tu cariño.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. René L. Sánchez- Vértiz Ruíz por su apoyo incondicional, por su tiempo, por su entusiasmo y orientación en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Dr. Ricardo Victoria Uribe por sus aportaciones valiosas a la tesis y por sus críticas constructivas al desarrollo del modelo propuesto.

Al Maestro Alfredo Muñoz Oscos por su comprensión y apoyo respecto a aborda parte de mi trabajo de investigación desde una perspectiva práctica y funcional.

Al Dr. Jesús Aguiluz León por su interés en mi tema de investigación y por sus grandes aportaciones sobre la estructuración de mi trabajo escrito.

Al Dr. Eduardo Rincón Mejía por compartir parte de su conocimiento y permitirme apreciar el gran potencial energético que poseemos en México y entender que depende del buen diseño su aprovechamiento extensivo.

A la Maestra Adriana Lugo Plata por el gran apoyo y atención brindados durante todo el periodo de estudio.

A todos mis compañeros de la maestría por criticar mi trabajo y apoyarme incondicionalmente a lo largo de mi estudio.

RESUMEN

El consumo energético a nivel mundial se acelera de manera proporcional al crecimiento de la población; a nivel global somos más de siete millones de seres humanos habitando el planeta (Population matters, 2013), particularmente en México somos más de 112 millones habitantes (INEGI, 2010), que requerimos recursos energéticos y materiales para nuestra vida diaria. Actualmente es cada vez más costoso obtener los recursos energéticos; mes con mes las tarifas de combustibles se elevan provocando un malestar económico en las familias mexicanas.

Es por esta razón que se requieren alternativas viables que den solución a esta problemática energética, actualmente no crítica pero si muy importante. Bajo este esquema se desarrolla el presente trabajo de investigación cuyo objetivo principal es diseñar y construir una cocina solar de bajo costo para familias de escasos recursos de la zona rural del Valle de Toluca, que satisfaga sus necesidades térmicas respecto a la cocción de alimentos. Para ello la investigación se basa en dos aspectos: El primero es el aspecto teórico y el segundo el aspecto experimental. Estas dos vertientes de la investigación se desarrollan a lo largo de cinco capítulos.

El primer capítulo recopila los conceptos y principios relacionados con la energía, el calor, los mecanismos de transferencia de calor, la energía solar y conceptos relacionados con el aprovechamiento de esta fuente energética.

El segundo capítulo reúne a la mayoría de modelos de cocinas solares creados a lo largo de la historia, esto con la finalidad de identificar las cualidades de cada uno y sus elementos principales. A través de este estudio se puede entender la intención de diseño de cada modelo y sus logros obtenidos. Podemos encontrar en este capítulo además la conceptualización de la cocina solar y su clasificación general.

En el tercer capítulo se delimita el lugar de estudio y aplicación de la cocina solar. Se identifican factores que influyen en el diseño de una cocina solar tales como la latitud del lugar, su altitud y la orografía general de la región. Así también se identifican las

características de los usuarios finales de la cocina, ya que constituyen la base para el diseño de dicha cocina solar.

El capítulo cuarto aborda los temas de diseño y construcción de una cocina solar a través del empleo de secciones cónicas como elementos de concentración solar. Se describen cada uno de los elementos de un sistema fototérmico y se detalla el diseño y construcción de prototipos. Finalmente se propone un modelo de cocina solar basado en la experimentación y resultados obtenidos de las evaluaciones de los prototipos desarrollados.

En el capítulo cinco podemos encontrar los resultados de la evaluación de la cocina solar, su temperatura de operación, ejemplos de platillos cocinados con energía solar, recomendaciones para la cocción de alimentos mediante el uso de una cocina solar, el modo de empleo y operación de la cocina y finalmente su costo.

Palabras clave

1. Cocina solar;
2. Energía solar;
3. Diseño;
4. Cocción de alimentos;
5. Temperatura;
6. Calor

ABSTRACT

Energy consumption worldwide is proportional to population growth; all over the world we are more than seven millions of humans. In Mexico we are more than 112 millions of Mexicans that consume energy and raw materials for our daily activities. Nowadays energy provision is more expensive than in the past; every month fuel rate increases, as result economic problems come out in Mexican families.

For that reason it is required using feasible alternatives that can provide solutions to the conventional energy issues. Under this perspective the current research work is developed having as main objective the design and construction of a low cost solar cooking which final users are low-income families from rural zone of Toluca Valley. In order to meet this objective the research is based in two aspects: the first one is a theoretical research and the second one is an experimental research. The two investigation aspects are developed along five chapters.

In chapter one, the concepts and principles related to energy, heat, heat transfer mechanisms, solar energy, etc. are gathered as reference for better understanding of solar energy use as thermal alternative source.

The second chapter gathers almost all the solar cooking models developed along the history. Purpose of this chapter is the identification of special characteristics of each model and their main elements. Through this research it is possible to understand the design intention for each solar cooking and its achievements. Within second chapter it is possible to find the solar cooking's conceptualization and its general classification.

In chapter third, the study location of solar cooking application is constrained. Influential design factors are identified for example latitude, altitude and general orography of the study location. The final user characteristics of a solar cooking are identified; these characteristics are the bases for solar cooking design.

The chapter fourth covers the design and construction phase of a solar cooking. Some design items are taken from conic sections as solar concentration items. In this chapter the photothermic system elements are described and the design and

construction of prototypes is described also. Solar cooking proposal is created and its design is based on results of experimental evaluation of the prototypes developed.

Chapter fifth shows the evaluation results of solar cooking proposal such as operating temperature, some dishes cooked and operating instructive. Also final cost estimation of solar cooking can be found in this chapter.

Key words

1. Solar cooking; 2. Solar energy; 3. Design; 4. Food cooking; 5. Temperature; 6. Heat

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	18
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	22
JUSTIFICACIÓN	22
HIPÓTESIS	23
OBJETIVOS	23
OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN	23
MÉTODO.....	24
CAPITULO I. CONCEPTOS BÁSICOS.....	26
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	27
1.1 FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES	27
1.2 FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍAS	28
1.2.1 ENERGÍA DEL VIENTO.....	29
1.2.2 ENERGÍA MAREOMOTRIZ	30
1.2.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA	31
1.2.4 BIOCOMBUSTIBLES	33
1.2.5 ENERGÍA SOLAR	37
1.3 EL SOL	39
1.4 RADIACIÓN SOLAR.....	41
1.4.2 RADIACIÓN DIFUSA	43
1.4.3 RADIACIÓN SOLAR GLOBAL.....	44
1.4.4 LA RADIACIÓN SOLAR DE ACUERDO A LA LOCALIZACIÓN TERRESTRE	44
1.5 LA RADIACIÓN SOLAR EN MÉXICO	44
1.6 CANTIDAD DE RADIACIÓN SOLAR APROVECHABLE Y SU EQUIVALENCIA	46
1.7 ENERGÍA ACUMULADA	46

1.8 LA CONSTANTE SOLAR	46
1.9 MASA DE AIRE	48
1.10 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR FUERA Y DENTRO DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE	50
1.11 TÉRMINOS ÚTILES Y SUS DEFINICIONES	52
1.11.1 ENERGÍA	52
1.11.2 CALOR.....	52
1.11.3 TEMPERATURA	53
1.11.4 ENERGÍA TÉRMICA.....	55
1.11.5 SISTEMA FOTOTÉRMICO	55
1.11.6 CUERPO NEGRO.....	55
1.11.7 EFECTO DE INVERNADERO.....	57
1.11.8 IRRADIANCIA (G).....	58
1.11.9 IRRADIACIÓN (H).....	58
1.11.10 ABSORTANCIA -FACTOR DE ABSORCIÓN (α).....	58
1.11.11 EMITANCIA (ϵ).....	58
1.11.12 POTENCIA EMISIVA	59
1.11.13 REFLEXIÓN.....	59
1.11.14 REFRACCIÓN.....	60
1.11.15 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	60
1.11.16 DEFINICIONES GEOMÉTRICAS TERRESTRES	65
1.11.17 ECUACIÓN DEL TIEMPO.....	67
1.11.18 TRAYECTORIA SOLAR.....	68
CAPÍTULO II. HISTORIA DE LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN GENERAL.....	73
2.1 HISTORIA DE LA COCINA SOLAR	74
2.1.1 HORACE DE SAUSSURE	74
2.1.2 JOHN HERSCHEL.....	75
2.1.3 W. ADAMS	76
2.1.4 CHARLES G. ABBOT	76
2.1.5 SAMUEL PIERPOINT LANGLEY.....	77

2.1.6 AUGUSTIN MOUCHOT	78
2.1.7 GOBIERNO FRANCÉS	78
2.1.8 SRI M. K. GHOSH	79
2.1.9 FARRINGTON DANIELS Y GEORGE LÖF	79
2.1.10 SOCIEDAD INTERNACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ISES)	79
2.1.11 BARBARA KERR	79
2.1.12 GOBIERNO DE INDIA Y CHINA	79
2.1.13 PAKISTÁN	80
2.1.14 MARÍA TELKES	80
2.1.15 NACIONES UNIDAS	82
2.1.16 CHILE	82
2.1.17 WOLFGANG SCHEFFLER	82
2.1.18 INDIA	84
2.1.19 SOLAR BOX COOKERS INTERNACIONAL	86
2.1.20 RED IBEROAMERICANA DE COCCIÓN SOLAR DE ALIMENTOS” (RICSA)	86
2.1.21 MÉXICO	87
2.1.22 HORNO SOLAR TOLOKATSIN	87
2.1.23 COMAL SOLAR TOLOKATSIN	88
2.2 LA COCINA Y LOS PROCESOS DE COCCIÓN DE ALIMENTOS	89
2.2.1 COCINA	89
2.2.2 PROCESOS DE COCCIÓN DE ALIMENTOS	89
2.3 TEMPERATURAS PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS	91
2.3.1 CONTROL DE LA TEMPERATURA EN LA PREPARACIÓN DE ALIMENTOS	92
2.4 COCINA SOLAR	96
2.4.1 BENEFICIOS DEL USO DE LA COCINA SOLAR	97
2.4.2 TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LA COCINA SOLAR.	98
2.5 CLASIFICACIÓN DE HORNOS Y COCINAS SOLARES	99
2.5.1 COCINA DE ENFOQUE O DIRECTA	99
2.5.2 HORNO SOLAR O COCINA TIPO CAJA	100

2.5.3 HORNO DE VAPOR O INDIRECTO	101
2.5.4 COCINA SOLAR MIXTA	103
2.6 CONCLUSION DE CAPÍTULO	107
CAPÍTULO III: LOCALIDAD DE APLICACIÓN DE LA COCINA SOLAR PARA EL ADULTO MAYOR DE LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA.....	109
3.1 LOCALIZACIÓN	110
3.2 OROGRAFÍA	111
3.3 CLIMA.....	111
3.4 TEMPERATURAS	111
3.5 UBICACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN.....	112
3.5.1 GENERALIDADES DE LA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO TLALCILALCALPAN	112
3.5.1 DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO EN ESTUDIO.....	114
3.5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS HABITANTES DE LA CASA HABITACIÓN	114
CAPÍTULO IV: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA SOLAR	116
4. PROCESO DE DISEÑO	117
4.1 DISEÑO	117
4.1.1 CONTEXTO DEL PROCESO DE DISEÑO.....	118
4.1.2 PROCESO DE DISEÑO DEL CASO DE ESTUDIO.....	118
4.2 SECCIONES CÓNICAS COMO ELEMENTOS DE DISEÑO PARA LA CONCENTRACIÓN SOLAR	121
4.2.1 PARÁBOLA.....	121
4.2.2 ELIPSE.....	123
4.2.3 CIRCUNFERENCIA	124
4.2.4 INVOLUTA DE UN CÍRCULO	124
4.2.5 INVOLUTA DE UNA LÍNEA	125
4.2.6 INVOLUTA DE UN PERFIL GENERAL.....	126
4.2.7 LOS CPC	126
4.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOTÉRMICO Y TÉRMINOS AFINES	129
4.3.1 RECEPTOR: (DEL COLECTOR SOLAR DE CONCENTRACIÓN).....	129

4.3.2 REFLECTORES SOLARES PLANOS	133
4.3.3.2 CONCENTRADORES SOLARES	134
4.3.4 CUBIERTA DEL CONCENTRADOR (DEL COLECTOR SOLAR)	134
4.3.5 APERTURA DEL COLECTOR SOLAR	138
4.3.8 MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS	139
4.3.9 DIAGRAMA GENERAL DE UN DE UN SISTEMA FOTOTÉRMICO	139
4.4 TEMPERATURA DE ESTANCAMIENTO	141
4.5 PROTOTIPOS DESARROLLADOS A LO LARGO DEL ESTUDIO	143
4.5.1 CONCENTRADOR SOLAR TIPO CANAL PARABÓLICO	143
4.5.2 CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO	148
4.5.3 CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO SIN AISLAMIENTO TÉRMICO.....	153
4.5.4 COCINA SOLAR CON CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPUESTO Y CAJA DE REFLECTORES PLANOS	157
4.5.5 PROCESO DE MANUFACTURA DE LA COCINA SOLAR.....	167
4.5.6 PROCESO DE DESARROLLO DE LA COCINA SOLAR.....	169
CAPITULO V. EVALUACIÓN DE LA COCINA SOLAR.....	173
5.1 EVALUACIÓN DE LA COCINA SOLAR	174
5.1.1 TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LA COCINA SOLAR	174
5.1.2 COCCIÓN DE ALIMENTOS EMPLEANDO LA COCINA SOLAR	176
5.1.3 RECOMENDACIONES PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS.....	178
5.1.4 INSTRUCTIVO DE USO DE LA COCINA SOLAR	179
5.1.5 RENDIMIENTO DE LA COCINA SOLAR.....	182
5.1.6 EL COSTO DE LA COCINA SOLAR.....	183
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	186
6.1 CONCLUSIONES	187
6.1.1 USO DE LA ENERGÍA SOLAR	187
6.1.2 DISEÑO Y DESARROLLO DE LA COCINA SOLAR	188
6.1.3 COSTO	188
6.1.4 BENEFICIOS DE LA COCINA SOLAR	189
6.1.5 ASPECTOS A CONSIDERAR	189

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

6.1.6 RECOMENDACIONES.....	190
BIBLIOGRAFÍA	192
ANEXOS	200
GLOSARIO	201
GRÁFICAS DE TEMPERATURA OBTENIDAS MEDIANTE EL USO DE LA COCINA SOLAR.....	204
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	208
HERRAMIENTA EMPLEADA PARA LA MANUFACTURA DE LA COCINA SOLAR	209

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PODER CALORÍFICO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES	47
TABLA 2. PRECESIÓN DE LAS ESTACIONES PARA EL AÑO 2012 TIEMPO DEL CENTRO DE MÉXICO	66
TABLA 3. TEMPERATURA DE COCCIÓN SEGURA PARA DISTINTOS TIPOS DE CARNE	95
TABLA 4. GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL HORNO SOLAR <i>TOLOKATSIN</i>	105
TABLA 5. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE <i>ALMOLOYA</i> DE JUÁREZ.....	110
TABLA 6. TEMPERATURAS PROMEDIO DEL MUNICIPIO DE <i>ALMOLOYA</i> DE JUÁREZ	112
TABLA 7. LOCALIZACIÓN DEL CENTRO DE LA COMUNIDAD DE <i>SAN FRANCISCO</i> <i>TLALCICALCALPAN</i>	112
TABLA 8. PROPIEDADES DE SUPERFICIES SELECTIVAS.....	132
TABLA 9. REFLECTANCIA ESPECULAR DE DIVERSOS MATERIALES	134
TABLA 10. MATERIALES TRANSPARENTES	138
TABLA 11. TEMPERATURAS IDEALES DE ESTANCAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN GEOMÉTRICA SOLAR C_G	143
TABLA 12. LISTA DE MATERIALES DEL CONCENTRADOR DE TIPO CANAL PARABÓLICO	147
TABLA 13. LISTA DE MATERIALES DEL SEGUNDO MODELO	151
TABLA 14. LISTA DE MATERIALES DEL TERCER CONCENTRADOR	154
TABLA 15. LISTA DE MATERIALES DE LA COCINA SOLAR	166
TABLA 16. PROCESO DE MANUFACTURA DE LA COCINA SOLAR	168
TABLA 17. REGISTRO DE TEMPERATURA EN EL ABSORBEDOR DE CALOR	174
TABLA 18. COMPARATIVO DE TEMPERATURA INTERNA REQUERIDA PARA LA COCCIÓN DE CARNES Y LA TEMPERATURA ALCANZADA POR LA COCINA SOLAR	176
TABLA 19. COMPARATIVO DE PLATILLOS COCINADOS CON ENERGÍA CONVENCIONAL Y PLATILLOS COCINADOS CON ENERGÍA SOLAR	178
TABLA 20. LISTA COSTOS DE MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA COCINA SOLAR	183
TABLA 21. PRECIO DE MODELOS DE COCINAS SOLARES DISPONIBLES EN EL MERCADO Y COSTO DE MODELO DESARROLLADO.	189

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. GRÁFICA DE CONCENTRACIÓN DE CO ₂ PRESENTE EN LA ATMÓSFERA	19
FIGURA 2. EMPLEO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	32
FIGURA 3. LA ESTRUCTURA DEL SOL	41
FIGURA 4. RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA TIERRA	42
FIGURA 5. INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE (POTENCIAL ENERGÉTICO).....	43
FIGURA 6. LA DENSIDAD DE ENERGÍA ES DETERMINADA POR EL ÁNGULO DE INCIDENCIA	44
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN MEDIA ANUAL DE LA INSOLACIÓN EN LA REPUBLICA MEXICANA	45
FIGURA 8. RELACIONES ENTRE EL SOL Y LA TIERRA.....	48
FIGURA 9. PASO DE LA RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE	49
FIGURA 10. PROCESO DE CONDUCCIÓN DE CALOR.....	53
FIGURA 11. CALIBRACIÓN DE LOS TERMÓMETROS CELSIUS Y FAHRENHEIT	54
FIGURA 12. DIFUSIÓN DE RADIACIÓN DE UN CUERPO NEGRO FIGURA 13. DIFUSIÓN DE RADIACIÓN DE CUERPO REAL.....	56
FIGURA 14. EFECTO INVERNADERO	57
FIGURA 15. REFLEXIÓN DE UN RAYO LUMINOSO POR UN MATERIAL REFLEXIVO IDEAL	59
FIGURA 16. REFLEXIÓN EN UNA SUPERFICIE LISA Y REFLEXIÓN EN UNA SUPERFICIE RUGOSA	60
FIGURA 17. CAMBIO DE DIRECCIÓN DEL RAYO LUMINOSO AL PASAR DEL MATERIAL A AL MATERIAL B.....	60
FIGURA 18. CONDUCCIÓN DE CALOR EN UN CUERPO SÓLIDO	61
FIGURA 19. PROCESO DE CONVECCIÓN NATURAL	63
FIGURA 20. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN.....	64
FIGURA 21. GEOMETRÍA TERRESTRE	66
FIGURA 22. LA ECUACIÓN DEL TIEMPO E EN MINUTOS, COMO FUNCIÓN DEL TIEMPO ANUAL .	68
FIGURA 23. EL ÁNGULO DE LA HORA SOLAR.....	70
FIGURA 24. RELACIONES ANGULARES.....	71
FIGURA 25. ITINERARIO DESCRITO POR EL SOL DURANTE EL SOLSTICIO DE INVIERNO Y VERANO RESPECTIVAMENTE.....	72
FIGURA 26. CAJA CALIENTE PERFECCIONADA DE DE SAUSSURE	75
FIGURA 27. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CAJA CALIENTE DE LANGLEY	77
FIGURA 28. HORNO CÓNICO TRUNCADO DE AUGUSTIN MOUCHOT	78
FIGURA 29. DISEÑO DE COCINA SOLAR DE MARÍA TELKES	81
FIGURA 30. REFLECTOR SCHEFFLER COMO SECCIÓN DE UN PARABOLOIDE	83
FIGURA 31. TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS EN EL PROCESO DE COCCIÓN DE ALIMENTOS	96
FIGURA 32. HORNO DE VAPOR O INDIRECTO	102
FIGURA 33. HORNO SOLAR <i>TOLOKATSIN</i> CON CONCENTRADOR MULTICOMPUESTO	104

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

FIGURA 34. HORNO SOLAR <i>TOLOKATSIN</i> CON CONCENTRADOR MULTICOMPUESTO	105
FIGURA 35. TRAZADO DE RAYOS QUE INCIDEN SOBRE EL ABSORBEDOR DE UN HORNO <i>TOLOKATSIN</i>	105
FIGURA 36. TRAZADO DE RAYOS QUE INCIDEN PERPENDICULARMENTE SOBRE EL COMAL SOLAR	107
FIGURA 37. SECCIONES CÓNICAS.....	121
FIGURA 38. ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA PARÁBOLA	122
FIGURA 39. PROPIEDAD ESPECULAR DE LA PARÁBOLA	122
FIGURA 40. ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA ELIPSE	123
FIGURA 41. PROPIEDAD ESPECULAR DE LA ELIPSE	123
FIGURA 42. ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA CIRCUNFERENCIA.....	124
FIGURA 43. INVOLUTA DE UN CÍRCULO	125
FIGURA 44. INVOLUTA DE UNA LÍNEA.....	125
FIGURA 45. CPC, CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPUESTO	127
FIGURA 46. CPC APERTURA MÁXIMA.....	127
FIGURA 47. TRAYECTORIA DE LOS RAYOS LÍMITE DENTRO DE UN CPC.....	128
FIGURA 48. A) ABSORBEDOR CIRCULAR, B) SECCIÓN DEL ABSORBEDOR CIRCULAR.....	129
FIGURA 49. COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN CUANDO INCIDE EN UN MATERIAL	130
FIGURA 50. DISTRIBUCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR QUE INCIDE SOBRE UN VIDRIO TRANSPARENTE	137
FIGURA 51. APERTURA DE UN COLECTOR SOLAR PLANO.....	138
FIGURA 52. ÁREA DE UN ABSORBEDOR PLANO.....	139
FIGURA 53. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN SISTEMA FOTOTÉRMICO.....	141
FIGURA 54. PROPIEDAD ESPECULAR DEL CONCENTRADOR SOLAR TIPO CANAL PARABÓLICO	144
FIGURA 55. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS PRINCIPALES DEL PERFIL DEL CONCENTRADOR TIPO CANAL PARABÓLICO	144
FIGURA 56. ÁREA DE CAPTACIÓN SOLAR [MM]	145
FIGURA 57. ORIENTACIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO CANAL PARABÓLICO.....	146
FIGURA 58. DIMENSIONES DEL CONCENTRADOR SOLAR TIPO CANAL PARABÓLICO [MM]	147
FIGURA 59. DIMENSIONES DEL CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO	149
FIGURA 60. DETALLE DE CONSTRUCCIÓN DE CONCENTRADOR	150
FIGURA 61. PATRÓN DE CONCENTRACIÓN SOLAR PRODUCIDO POR EL PROTOTIPO.....	150
FIGURA 62. ÁREA DE CAPTACIÓN SOLAR [MM]	151
FIGURA 63. ÁREA DE CAPTACIÓN SOLAR DEL TERCER PROTOTIPO [MM]	154
FIGURA 64. DIMENSIONES GENERALES DEL SOPORTE LATERAL DE LA ESTRUCTURA DE LA COCINA SOLAR.....	159
FIGURA 65. DIMENSIONES DE LOS TRAVESAÑOS	160
FIGURA 66. CONCENTRADOR SOLAR MULTICOMPUESTO	161
FIGURA 67. DIMENSIONES DE LA CAJA AISLANTE. TAPA FRONTAL	163

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

FIGURA 68. DIMENSIONES DE LA CAJA AISLANTE. TAPA LATERAL.....	163
FIGURA 69. DIMENSIONES DE LA CAJA AISLANTE. TAPA TRASERA	164
FIGURA 70. CAJA SUPERIOR AISLANTE.....	165
FIGURA 71. ABSORBEDOR DE LA COCINA SOLAR	167

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. AEROGENERADOR DISEÑADO PARA PRODUCIR ELECTRICIDAD	29
FOTOGRAFÍA 2. ENERGÍA MAREOMOTRIZ.....	30
FOTOGRAFÍA 3. CENTRAL MAREOMOTRIZ	31
FOTOGRAFÍA 4. PLANTA GEOTÉRMICA.....	33
FOTOGRAFÍA 5. PLANTA TERMOSOLAR EN SEVILLA ESPAÑA	37
FOTOGRAFÍA 6. CELDAS FOTOVOLTAICAS	38
FOTOGRAFÍA 7. EL SOL	40
FOTOGRAFÍA 8. CAJA CALIENTE DEL SIR JOHN HERSCHEL (ADAPTADA).....	76
FOTOGRAFÍA 9. INSTALACIÓN SOLAR EN LA UNIVERSIDAD ESPIRITUAL MUNDIAL BRAHMA KUMARIS.....	84
FOTOGRAFÍA 10. ESPEJOS PARABÓLICOS EN MUNI SEVA ASHRAM.....	85
FOTOGRAFÍA 11. TECHO DE LA COCINA DEL TEMPLO TIRUPATHI.....	86
FOTOGRAFÍA 12. HORNO SOLAR TOLOKATSIN.....	88
FOTOGRAFÍA 13. COMAL SOLAR TOLOKATSIN	89
FOTOGRAFÍA 14. COCINA SOLAR DESARROLLADA DURANTE EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	97
FOTOGRAFÍA 15. COCINA PARABÓLICA DE ENFOQUE	99
FOTOGRAFÍA 16. HORNO O COCINA SOLAR TIPO CAJA	100
FOTOGRAFÍA 17. COCINA DE CAJA ABIERTA CON CONCENTRACIÓN SOLAR	101
FOTOGRAFÍA 18. EL PRIMER COMAL SOLAR TOLOKATSIN, 1999	107
FOTOGRAFÍA 19. ESPACIO DE LA CASA HABITACIÓN ÚTIL PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR	113
FOTOGRAFÍA 20. LOCALIZACIÓN DE LA CASA HABITACIÓN DONDE SE IMPLEMENTA LA COCINA SOLAR	113
FOTOGRAFÍA 21. ABSORBEDOR DE UNA COCINA SOLAR (CHAROLA).....	130
FOTOGRAFÍA 22. UN POLIDUCTO COLOR NEGRO COMIENZA A DERRETIRSE DESPUÉS DE UNOS MINUTOS DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SOLAR DIRECTA	145
FOTOGRAFÍA 23. PRIMER CONCENTRADOR SOLAR DESARROLLADO. TIPO CANAL PARABÓLICO	146
FOTOGRAFÍA 24. SEGUNDO CONCENTRADOR SOLAR DESARROLLADO. TIPO PARABÓLICO COMPUESTO.....	151
FOTOGRAFÍA 25. SEGUNDO CONCENTRADOR SOLAR DESARROLLADO INCORPORANDO REFLECTORES PLANOS.....	152
FOTOGRAFÍA 26. COCCIÓN DE HUEVO MEDIANTE EL EMPLEO DEL TERCER CONCENTRADOR SOLAR	153
FOTOGRAFÍA 27. TERCER CONCENTRADOR SOLAR DESARROLLADO DEL TIPO PARABÓLICO COMPUESTO.....	153
FOTOGRAFÍA 28. PATRÓN DE CONCENTRACIÓN DEL TERCER CONCENTRADOR SOLAR	155

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

FOTOGRAFÍA 30. ADAPTACIÓN DE REFLECTORES TIPO PARABÓLICO AL TERCER CONCENTRADOR SOLAR.	156
FOTOGRAFÍA 31. BASE CON AISLAMIENTO TÉRMICO	156
FOTOGRAFÍA 32. COCCIÓN DE VERDURAS EMPLEANDO UN CONCENTRADOR SOLAR	157
FOTOGRAFÍA 33. ESTRUCTURA MÓVIL DE LA COCINA SOLAR	158
FOTOGRAFÍA 34. PATRÓN DE CONCENTRACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR OBTENIDO POR EL CONCENTRADOR MULTICOMPUESTO.....	161
FOTOGRAFÍA 35. TRAZADO DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES DE LA COCINA SOLAR ...	169
FOTOGRAFÍA 36. ESPAGUETI COCINADO EN COCINA SOLAR	176
FOTOGRAFÍA 37. GELATINA PREPARADA EN COCINA SOLAR	177
FOTOGRAFÍA 38. VERDURAS HERVIDAS EN COCINA SOLAR.....	177
FOTOGRAFÍA 39. POSICIÓN DE LA COCINA SOLAR	180
FOTOGRAFÍA 40. PUERTA DE ACCESO AL INTERIOR DE LA COCINA SOLAR	181
FOTOGRAFÍA 41. POSICIÓN CORRECTA DE LA COCINA SOLAR.....	181
FOTOGRAFÍA 42. HORNO Y COMAL TOLOKATSIN	183
FOTOGRAFÍA 43. SUN OVEN®.....	184
FOTOGRAFÍA 44. TERMÓMETRO INFRARROJO.....	208

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. REGISTRO DE RADIACIÓN SOLAR EN CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO	45
GRÁFICA 2. CURVA DE IRRADIANCIA ESPECTRAL ESTÁNDAR (WRC) A UNA DISTANCIA PROMEDIO TIERRA-SOL.....	50
GRÁFICA 3. DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE IRRADIANCIA DIRECTA PARA DIFERENTES MASAS DE AIRE	51
GRÁFICA 4. TEMPERATURA CARACTERÍSTICA EN EL PROCESO DE COCCIÓN DE ALIMENTOS EMPLEANDO LA COCINA SOLAR PROPUESTA.....	98
GRÁFICA 5. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA AL INTERIOR DE LA COCINA SOLAR..	175
GRÁFICA 6. TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR CON 2 LITROS DE AGUA EL DÍA 23 DE DICIEMBRE DE 2012.....	204
GRÁFICA 7. TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR CON 2 LITROS DE AGUA EL DÍA 26 DE DICIEMBRE DE 2012.....	204
GRÁFICA 8. TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR CON 2 LITROS DE AGUA EL DÍA 3 DE ENERO DE 2013.....	205
GRÁFICA 9. TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR CON 2 LITROS DE AGUA EL DÍA 5 DE ENERO DE 2013.....	205
GRÁFICA 10. TEMPERATURA DE CHAROLA SIN CONTENIDO 6 DE ENERO DE 2013.....	206
GRÁFICA 11. TEMPERATURA DE CHAROLA SIN CONTENIDO 13 DE ENERO DE 2013.....	206
GRÁFICA 12. TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR CON 2 LITROS DE AGUA EL DÍA 19 DE ENERO DE 2013	207
GRÁFICA 13. COMPARATIVO DE TEMPERATURAS OBTENIDAS EN EL ABSORBEDOR DE CALOR	207

INTRODUCCIÓN

La población mundial crece de manera acelerada, actualmente somos más de 7 mil millones de seres humanos poblando el planeta. Este crecimiento poblacional demanda recursos materiales y energéticos de manera exponencial.

Indicadores tales como la huella ecológica por ejemplo, permiten tener un parámetro de comparación acerca del impacto que nuestro ritmo actual de consumo de recursos representa para el planeta.

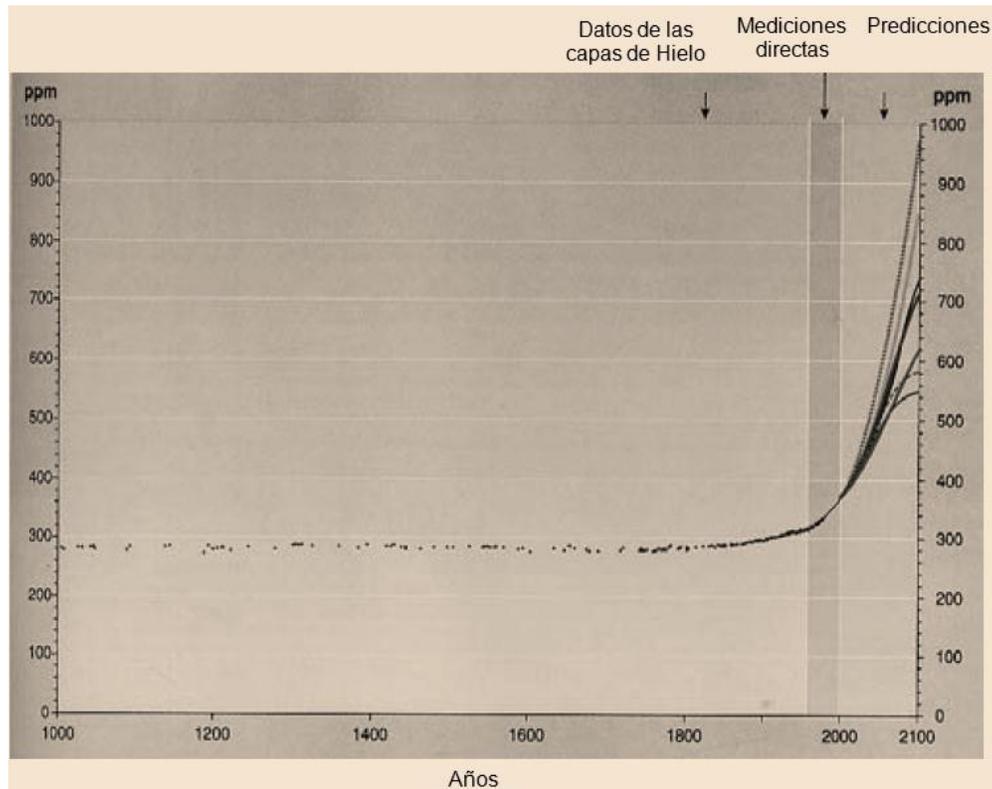
Por ejemplo, si las condiciones o ritmo de consumo se mantienen como hasta ahora, serán necesarios decenas de planetas tierra (desde un punto de vista conservador) para lograr cubrir la demanda humana. Es imposible o mejor dicho insostenible el patrón actual de consumo de recursos.

Desde hace años que comenzamos a percibir el efecto causado a nuestro planeta por este consumo desmedido, de manera inmediata podemos referirnos al tópico de actualidad, el “calentamiento global”. Mucho se habla y se especula al respecto, lo cierto es que de manera mesurable podemos determinar el cambio en el patrón global de temperatura. James Hansen Físico norteamericano en 1988 alertó a la opinión pública de que el calentamiento global a largo plazo estaba en marcha y que las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera eran muy probablemente las responsables. Menciona el Dr. Hansen que “... el calentamiento global ha aumentado en ambos extremos del ciclo del agua, sequías más grandes e incendios forestales, por un lado, pero también lluvias más fuertes e inundaciones por el otro” (Hansen, 1988).

“Si la humanidad desea que nuestro planeta siga siendo el mismo en que se desarrollaron las civilizaciones y al cual está adaptado la vida en la Tierra, las pruebas paleoclimáticas y el cambio climático actual sugieren que el CO₂ tendrá que ser reducido desde las 389ppm actuales hasta no más de 350ppm” (Hansen, 1988). La figura 1 muestra las predicciones de concentración de CO₂ en la atmósfera si continuamos con el patrón actual de emisiones.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Figura 1. Gráfica de concentración de CO₂ presente en la atmósfera



Fuente: Rincón, (2009), Curso: Tecnología solar doméstica para calentamiento de agua

La mayoría de los países en conjunto establecen objetivos a corto y largo plazo y se comprometen a su consecución para reducir el evidente aumento de la temperatura global.

El acuerdo de Copenhague por ejemplo establece un objetivo no vinculante de limitar el aumento de la temperatura global a dos grados Celsius sobre los niveles preindustriales. También, establece una meta para que los países industrializados proporcionen financiamiento, para la mitigación del cambio climático y la adaptación en los países desarrollados, de 100 mil millones de dólares estadounidenses por año hasta 2020, y exige a los países industrializados fijar objetivos de emisiones para ese mismo año.

Otros acuerdos como los de la COP 16 (16^a edición de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y la 6^a

Conferencia de las Partes actuando como Reunión de las Partes del Protocolo de Kyoto) incluyen un primer paquete de 30 mil millones de dólares que podrá usarse a partir de 2012 para tomar acciones inmediatas contra los efectos del cambio climático.

En conjunto estos objetivos se alinean hacia la meta final que es el frenado del incremento de temperatura global y con ello evitar catástrofes mundiales como sequías cada vez más severas, inundaciones, y como consecuencia, hambrunas y problemas de salud a nivel planeta.

Por tal razón, las acciones que podamos encaminar hacia la reducción en nuestro consumo material y energético contribuirán directamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y por ende a la disminución de la temperatura global. Actualmente esta temperatura global supera en 2 °C la temperatura de referencia del año 2000.

Una acción positiva que puede tener impacto en el cuidado ambiental, social y económico es emplear fuentes energéticas alternativas, tales como la energía eólica o solar para satisfacer parte de las necesidades o demandas de una determinada población.

Cada zona en el planeta se caracteriza por poseer diferentes recursos que otras. En México por ejemplo poseemos un recurso solar abundante. “Nuestro país recibe una radiación media sobre una superficie horizontal de 19,8 MJ/m² día, y sobre un plano inclinado con un ángulo respecto de la horizontal igual a la latitud, de 21,7 MJ/m² día, que corresponde a un potencial bruto de poco más de 14 mil EJ anuales. El consumo energético mundial en 2005 fue de 500 EJ. (Rincón, 2010: 9). Sin embargo este sector energético ha sido y sigue siendo poco explotado. Este recurso energético representa un potencial muy grande, libre de contaminantes y sin costo. Por lo tanto, todos los esfuerzos que se puedan hacer en el campo del aprovechamiento de la energía solar, producirán buenos frutos para todos los seres humanos. Esto no significa que la energía solar pueda reemplazar por completo a las actuales fuentes

energéticas (Derivados del petróleo, gas natural, carbón, madera, energía eléctrica), pero sí ser una alternativa viable.

Como toda tecnología, la específica para el aprovechamiento de la energía solar ha sido muy estudiada, sus bases están bien cimentadas y las aplicaciones son vastas (Plantas termosolares¹, cocinas solares, calentadores solares, bombas solares, etc.).

El uso de fuentes de energía alternativas es sumamente necesario para dar un respiro a nuestro planeta respecto al consumo extensivo de fuentes de energía de origen fósil y otras tales como la leña. Los graves problemas de contaminación de nuestro planeta se ven reflejados en el incremento de la temperatura global y en los problemas de la salud del hombre. Razón por la cual es necesario emplear el conocimiento que hasta el momento ha sido construido respecto al uso y aprovechamiento de la energía solar pasiva para la satisfacción de las necesidades del hombre.

Específicamente la necesidad de cocción de alimentos es de gran relevancia y debe ser considerada en primera instancia cuando se trata de diseñar para un desarrollo sostenible. Buena parte de la población particularmente en el Estado de México vive en zonas rurales y carecen de recursos para cubrir sus necesidades, por ello incorporar a la energía solar pasiva en la generación de productos dirigidos a este sector de la población representa un reto y un beneficio potencial directo a través del diseño sostenible.

¹ Son Plantas empleadas para generar electricidad a partir de ciclos termodinámicos de potencia, en donde el suministro de energía se lograba mediante concentradores solares de canal parabólico con los que se calentaba un aceite térmico a temperaturas que alcanzaban los 250°C. La energía solar capturada en el aceite se transfería mediante un intercambiador de calor, al agua que se evaporaba y se introducía a una turbina de vapor para posteriormente condensarse y volverse a evaporar, completando un ciclo termodinámico, conocido como "ciclo de Rankine".

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

JUSTIFICACIÓN

El consumo energético humano se acelera de manera exponencial. La necesidad de recursos energéticos y materiales es cada vez mayor, consecuentemente el impacto ambiental y económico-social se percibe por todo el planeta. Por un lado observamos el desequilibrio ecológico mundial; sequias cada vez más prolongadas e inundaciones cada vez más severas. Hambrunas permanentes y desigualdad social.

La importancia de contar con fuentes energéticas accesibles para todos y a bajo o nulo costo es fundamental. Los recursos energéticos actuales son costosos y su impacto ambiental durante su generación y consumo reporta un balance negativo para el planeta.

El costo elevado y su impacto ambiental negativo hacen de los actuales recursos energéticos un reto que superar. Es por ello que se deben buscar alternativas viables que permitan aprovechar fuentes de energía tales como el sol.

Es por ello que surge la necesidad de contar con tecnología que por un lado sea amigable con el ambiente y por el otro permita obtener resultados adecuados y rentables para el ser humano. Por lo que este trabajo propone en una primera instancia el desarrollo de nueva tecnología, es decir, implementar el uso de una cocina solar de bajo costo para su construcción. Lo cual presentará ventajas como reducción en el consumo de combustibles, reducción en emisiones y mejora en la economía familiar.

Sin embargo, para que el desarrollo de tecnología tenga un impacto real en la sociedad es necesario conocer a fondo todos los procesos involucrados en esta nueva tecnología. Con esta información es posible poder establecer las bases de diseño y estar en medida de transferir el desarrollo a los diferentes sectores de la sociedad.

Una forma de conocer dichos procesos es la modelación y experimentación con prototipos. Algunos prototipos se han desarrollado durante este trabajo de investigación y otros ya se han desarrollado por todo el mundo.

HIPÓTESIS

La energía solar puede satisfacer las necesidades térmicas de la población rural del Valle de Toluca con recursos limitados, al ser empleada como combustible en una cocina solar a costos asequibles.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

Diseñar y construir una cocina solar de bajo costo para familias de escasos recursos de la zona rural del Valle de Toluca, que satisfaga sus necesidades térmicas respecto a la cocción de alimentos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos específicos se enlistan de acuerdo con el desarrollo logístico del proyecto de investigación, para dar respuesta al objetivo general y a la hipótesis planteada.

- A. Compilar los principios relativos al aprovechamiento de la energía solar mediante una investigación documental.
- B. Llevar a cabo el Estado del Arte de las cocinas solares, conceptualización y clasificación.
- C. Delimitar el lugar de implementación del sistema fototérmico.
- D. Diseñar, construir y evaluar modelos fototérmicos en laboratorio, tomando en cuenta:
 - a. Aspecto social
 - b. Aspecto ambiental
 - c. Aspecto económico
 - d. Aspecto tecnológico

MÉTODO

El trabajo se realizó con prototipos diseñados, desarrollados y construidos en el taller de Maderas ubicado en la Facultad de Arquitectura y Diseño de la UAEM. Los prototipos son un concentrador tipo canal parabólico, el segundo es un concentrador parabólico compuesto con aislamiento térmico, el tercero es un concentrador parabólico compuesto sin aislamiento térmico y finalmente el cuarto es una cocina solar que incorpora un concentrador parabólico compuesto y una caja de reflectores planos. Todos los prototipos son construidos con madera y como elemento reflejante se emplea mylar.

A través de estos prototipos se pudo experimentar con el aprovechamiento de la radiación solar, se identificaron factores que determinan el buen desempeño de los sistemas y se determinaron las temperaturas alcanzadas en el elemento absorbedor de cada uno de los prototipos mediante un termómetro digital.

El tiempo de desarrollo y estudio de los prototipos fue de 1 año 4 meses. A lo largo de este periodo se diseñaron, construyeron y evaluaron los diferentes prototipos. Especialmente el cuarto prototipo tuvo mayor periodo de diseño, desarrollo y evaluación. A finales de 2012 se completó al 100% su construcción y paralelamente se realizó su evaluación, obteniendo muy buenos resultados tanto en la cocción de alimentos como en el calentamiento de agua.

Para poder complementar el trabajo experimental es necesario formular los siguientes cuestionamientos que nos permitirán conducir el trabajo de investigación hacia la comprobación o refutación del planteamiento de este estudio.

- I. ¿Es factible diseñar dispositivos de bajo costo que permitan cocinar alimentos empleando energía solar en el Valle de Toluca?
- II. ¿Qué principios permiten el aprovechamiento de la energía solar térmica y cómo pueden ser aplicados?
- III. ¿Qué dispositivos se han desarrollado a lo largo de la historia que empleen a la energía solar para la cocción de alimentos?

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

- IV. ¿El Valle de Toluca presenta características propicias para el aprovechamiento de la energía solar?
- V. ¿Cuál es el desempeño promedio de los dispositivos solares empleados para la cocción de alimentos, en cuanto a su factibilidad social, ambiental, económica y tecnológica?

CAPITULO I. CONCEPTOS BÁSICOS

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES

Durante el desarrollo reciente de las civilizaciones y las sociedades e industrias humanas, al mundo le ha tomado alrededor de 60 años transitar desde una dependencia primaria de un recurso energético, a uno nuevo, o a un nuevo conjunto de recursos energéticos. Tomó unos 60 años transitar, desde nuestro estado de dependencia de la madera como leña, hacia el carbón. Entonces ya se iniciaba el siglo XX, y tomó quizás otros 60 años (desde 1910 a 1970) el tránsito completo de la dependencia del carbón a una dependencia marcada sobre el petróleo y el gas natural. Gran parte de la humanidad parece haber adoptado los combustibles fósiles como si fuesen a estar disponibles para siempre, o como si cualquier otra transición energética fuese una tarea de las futuras generaciones, pero no de la presente. Actualmente parecen estar surgiendo las limitaciones ambientales derivadas del uso ilimitado de los combustibles fósiles, con implicaciones negativas y potencialmente gigantescas para todas las naciones. Hemos frenado el arranque de la transición durante al menos 30 años. Los combustibles fósiles han continuado dominando un mercado energético sumamente artificial y distorsionado. Los precios actuales, relativamente bajos, de los combustibles fósiles, son consecuencia en parte de los continuos beneficios de muy grandes subsidios, y en parte a no tener un valor asignado al gran potencial económico petroquímico que tienen estos ricos hidrocarburos, en comparación con simplemente quemarlos como combustibles.

La energía nuclear nunca será rentable por sí misma en un mercado libre de energía, esto es, sin subsidios públicos masivos para asumir los riesgos de errores de los operadores o de accidentes con consecuencias posiblemente de varios órdenes de magnitud más costosos respecto a los que las compañías aseguradoras están dispuestas a cubrir, o que los países en vías de desarrollo puedan darse el lujo de pagar. El ciclo de vida de la energía nuclear, desde la construcción de la planta a su retiro del servicio y desmantelamiento, incluyendo las consecuencias ambientales del ciclo completo del combustible, implica una muy significativa emisión de gases de

invernadero, que el uso de la energía nuclear pregona evitar. El combustible para las plantas nucleares es así mismo un elemento cuya abundancia en la corteza terrestre es limitada. Por otra parte, ya existen medios para producir hidrógeno con fuentes renovables de energía que son sustantivamente más baratos que los que utilizan energía nuclear, eliminándose así una presunta justificación económica para la construcción de nuevas plantas nucleares. (Cfr. ISES, 2003: 16-18)

1.2 FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍAS

La energía renovable es una fuente energética inagotable que se regenera por sí misma. Las energías renovables no producen contaminación ni liberan sustancias tóxicas a la atmósfera. Esta energía proviene de una fuente energética que está siendo regenerada por procesos naturales a una tasa que es igual o más rápida que la tasa a la cual la fuente está siendo consumida. La energía renovable es un subconjunto de la energía sustentable.

La mayoría de las formas de energía renovable fuera de la geotérmica o la energía de las mareas, provienen del sol. Por ejemplo, la energía de la biomasa es derivada de material vegetal y es producido por fotosíntesis usando la energía del sol. La energía eólica se deriva de los vientos, los cuales son generados por el calentamiento desigual de la atmósfera. La energía hidráulica depende de la lluvia, la cual nuevamente depende del poder del sol para evaporar agua. Incluso los combustibles fósiles son derivados de la energía solar ya que los combustibles fósiles se originaron a partir de material vegetal.

Las fuentes renovables de energía pueden ser usadas directamente o ser usadas para crear otras formas más útiles de energía. Ejemplos de usos directos son los hornos solares, el calentamiento geotérmico, molinos de viento entre otros. (Cfr. Breeze, et al., 2009: 66-67)

1.2.1 ENERGÍA DEL VIENTO

La energía eólica es una de las energías abundantes y renovables de la naturaleza. Proviene de la conversión de la energía cinética que traen las masas de aire en movimiento hacia energía mecánica y luego a energía eléctrica. Para conseguir esta conversión se utilizan máquinas llamadas aerogeneradores. Estos dispositivos, a través de una superficie aerodinámica expuesta al viento, producen trabajo mecánico en un eje. La fotografía 1 muestra un aerogenerador de eje transversal empleado para la generación de electricidad. Existen diseños aerodinámicos para adaptar distintos tipos de aerogeneradores a las condiciones climáticas de cada zona.

Fotografía 1. Aerogenerador diseñado para producir electricidad



Fuente: Energías como bienes comunes, 2012

La capacidad instalada de esta fuente energética estaba por encima de los 32 mil megawatts (MW^2) a finales del año 2002, y ha estado creciendo a una tasa de 32% anual. Cuarenta y cinco países poseen turbinas de viento de capacidad comercial. A la fecha, el precio de la electricidad generada a partir del viento es competitivo con el correspondiente a las nuevas plantas que utilizan carbón, y deberá continuar

² M: Mega, es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades que indica un factor de 10^6 .

W: Watt, es la unidad de medida del Sistema Internacional para la potencia. El trabajo realizado a razón de 1 Joule/segundo es un watt (o vatio) de potencia. En consecuencia, la energía producida por 1 watt de potencia en una hora es un watt-hora. La energía consumida es medida normalmente en las unidades de mayor aplicación como kilowatt-hora (kWh, que es la energía producida por mil watts de potencia durante una hora).

reduciéndose al punto de que la electricidad proveniente del viento sea la menos cara de generar con las nuevas fuentes productoras. Las metas para generar a partir del viento el 12% de la demanda mundial de electricidad en el año 2020, así como el 20% de la demanda de electricidad en Europa para ese mismo año, parecen alcanzables. Este ritmo de desarrollo es consistente con los correspondientes ritmos históricos de la energía hidroeléctrica y la nuclear. La meta de penetración del 20% para los recursos energéticos renovables intermitentes es factible si se consideran las condiciones actuales de operación de las plantas de generación comerciales, y sin necesidad de recurrir al almacenamiento de la energía.

1.2.2 ENERGÍA MAREOMOTRIZ

Las mareas, es decir, el movimiento de las aguas del mar, producen una energía que se transforma en electricidad en las centrales mareomotrices. Se aprovecha la energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas (flujo y reflujo). Ésta es una de las nuevas formas de producir energía eléctrica. La energía de las mareas o mareomotriz se aprovecha embalsando agua del mar en ensenadas naturales y haciéndola pasar a través de turbinas hidráulicas. La fotografía 2 ilustra una ola, la cual posee un potencial energético importante cada vez que desarrolle la tecnología necesaria para su aprovechamiento.

Fotografía 2. Energía mareomotriz



Fuente: Ecología. Noticias de Ecología, Reciclaje y Medio Ambiente, 2012

En Francia, en el estuario del río Rance, se instaló una central eléctrica con energía mareomotriz. Funcionó durante varias décadas, produciendo electricidad para cubrir las necesidades de una ciudad como Rennes (el 3% de las necesidades de Bretaña). El costo del kwh resultó similar o más barato que el de una central eléctrica convencional, sin el costo de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera ni consumo de combustibles fósiles ni los riesgos de las centrales nucleares. La fotografía 3 muestra un ejemplo de una central mareomotriz piloto.

Fotografía 3. Central Mareomotriz



Fuente: Las Energías Renovables, 2012

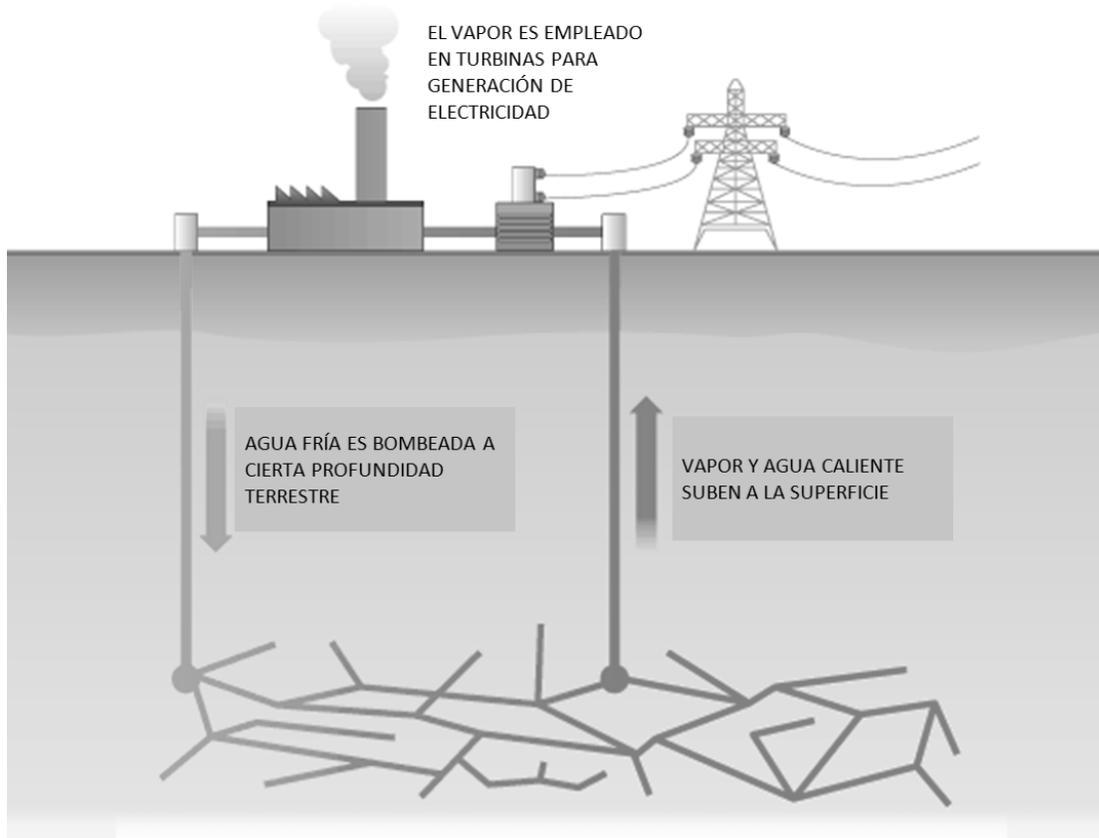
1.2.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA

Esta fuente energética ha sido utilizada para proporcionar calor para el confort humano durante milenios y para producir electricidad durante los pasados 90 años. Aunque la energía geotérmica está limitada a las áreas con acceso a esta fuente, el tamaño del recurso es enorme. La energía geotérmica puede ser una fuente básica para por lo menos 58 países: 39 de ellos podrían ser energizados con energía geotérmica en un 100%, cuatro en más del 50%, cinco en más del 20%, y ocho en más del 10%. La energía geotérmica, junto con la bioenergía, puede servir como recurso estabilizador de la demanda eléctrica al cubrir la carga base en las redes de distribución, y equilibrar la producción de energía eléctrica a partir de los recursos

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

renovables intermitentes. La figura 2 muestra un esquema básico de cómo es aprovechado el calor proveniente del interior de la tierra para generar vapor de agua y este emplearlo en turbinas para la generación de energía eléctrica.

Figura 2. Empleo de la energía geotérmica para generación de electricidad



Fuente: Inspira. Energías renovables, 2010

Plantas geotérmicas se instalan en países como Estados Unidos, el Reino Unido, Francia, Suiza, Alemania, Japón, etc. La fotografía 4 muestra las instalaciones de una planta geotérmica.

El recurso geotérmico se encuentra en el subsuelo, entre 2 km y 4 km de profundidad, con la temperatura necesaria para la generación de electricidad (150°C - 200°C), además se considera como uno de los más abundantes del mundo y es prácticamente inagotable.

Fotografía 4. Planta geotérmica



Fuente: Energía geotérmica, 2009

1.2.4 BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas recientemente por seres vivos, a las cuales se les denomina “biomasa”. Pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. Existen varios tipos de biocombustibles, a los cuales se les clasifica de acuerdo al insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos.

1.2.4.1 BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN

Algunos de los insumos son de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de la remolacha o betabel, aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuate, entre otros. También se emplean como insumos a las grasas animales, grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos, y desperdicios sólidos orgánicos.

Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), transesterificación³ (para los aceites y grasas), y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos). De estos procesos se obtiene etanol, metanol y n-butanol (a partir de azúcares), biodiesel (a partir de los aceites), y biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, también conocidos como gas natural y dióxido de carbono respectivamente, obtenida a partir de los desperdicios orgánicos).

Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero (excepto en el caso del maíz, donde el balance de estas emisiones es casi nulo) y un balance positivo en dichas emisiones, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos. (Cfr. Álvarez, C. 2009)

1.2.4.2 BIOCMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN

Los insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Ejemplos de ellos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallos, hojas y olote), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, etcétera.

Los procesos de producción tienen un nivel de complejidad más alto que los de primera generación, y como ejemplos destacan la sacarificación-fermentación y el proceso Fischer-Tropsch⁴. Este último proceso también recibe los nombres de proceso GTL y proceso BTL, cuyas siglas en inglés provienen de “Gas-To-Liquids” y “Biomass-To-Liquids” respectivamente, los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol.

Mediante los procesos de segunda generación se fabrica etanol, metanol, gas de síntesis (mezcla de anhídrido carbonoso, mejor conocido como monóxido de

³ Transesterificación: Proceso a través del cual, a partir de aceites vegetales se convierten los triglicéridos en ésteres de metilo o etilo.

⁴ Proceso Fischer-Tropsch: Es un proceso químico para la producción de hidrocarburos líquidos (gasolina, keroseno, gasoil y lubricantes) a partir de gases de síntesis (CO y H₂). Fue inventado por los alemanes Franz Fischer y Hans Tropsch en los años 1920.

carbono, e hidrógeno), biodiesel, 2.5-dimetilfurano (DMF), entre otros. La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación. (Cfr. Álvarez, C. 2009)

1.2.4.3 BIOCMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN

Los insumos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina “cultivos energéticos”. Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes y verdeazules.

Los procesos de obtención de biocombustibles se encuentran en fase de desarrollo, sin embargo, se ha logrado producir biodiesel y etanol a nivel planta piloto.

Las ventajas de estos biocombustibles son el secuestro de anhídrido carbónico (CO₂) para la producción de los insumos y un balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero, pero su desventaja es la utilización de tierras de cultivo de alimentos para sembrar los insumos, con excepción de las algas verdes. (Cfr. Álvarez, C. 2009)

1.2.4.4 BIOCMBUSTIBLES DE CUARTA GENERACIÓN

Los biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO₂) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles.

A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles.

Actualmente esta generación de biocombustibles se encuentra en fase teórica, sólo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir de anhídrido carbónico, sin embargo, depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes. (Cfr. Álvarez, C. 2009)

Como es sabido, la humanidad ha hecho uso de la biomasa por varios miles de años. El uso directo de la misma sin procesamiento alguno podría constituir una Generación Cero de los biocombustibles, entre los cuales se pueden mencionar a la leña, la paja de trigo, el rastrojo de otras plantas de cultivo, el estiércol del ganado, y el carbón vegetal. No es sino hasta fines del siglo XIX que se comenzó a procesar la biomasa para producir combustibles derivados de la misma. A finales del siglo XX aparecieron los primeros mercados de estos recursos energéticos y se vislumbra un mayor crecimiento, desarrollo y expansión de los mismos tendiente a su globalización. (Cfr. Álvarez, C. 2009)

Bioenergía: alrededor del 11% de la energía primaria que se consume actualmente en el mundo se deriva de la bioenergía y constituye el único recurso con carbono combustible que puede considerarse como “emisor neutro de carbono” (*sin emisiones netas de óxidos de carbono*), pero este 11% es a su vez tan sólo el 18% del potencial actual estimado en este rubro. Las estimaciones del potencial bioenergético mundial para el año 2050 promedian unos 450 exajoules (EJ⁵), cifra superior a la actual demanda mundial de energía primaria. La contribución a los costos de los combustibles, imputables a los recursos convencionales, se convierten en beneficios económicos rurales con la bioenergía, al producir cientos de miles de nuevos trabajos y nuevas industrias. (Cfr. ISES, 2003: 4-5)

5 Para reportes de energía de carácter informativo general pueden usarse unidades más grandes. Para la producción de instalaciones generadoras y las estadísticas de energía, la más común normalmente es el megawatt-hora (MWh o un millón de watts-hora), o los gigawatts-hora (GWh la cual es mil millones ó 10^9 watts-hora). Para consumos nacionales o anuales de energía, la unidad Terawatt-hora es la más convencional (TWh, un billón ó 10^{12} watts-hora, o mil millones de kWh).

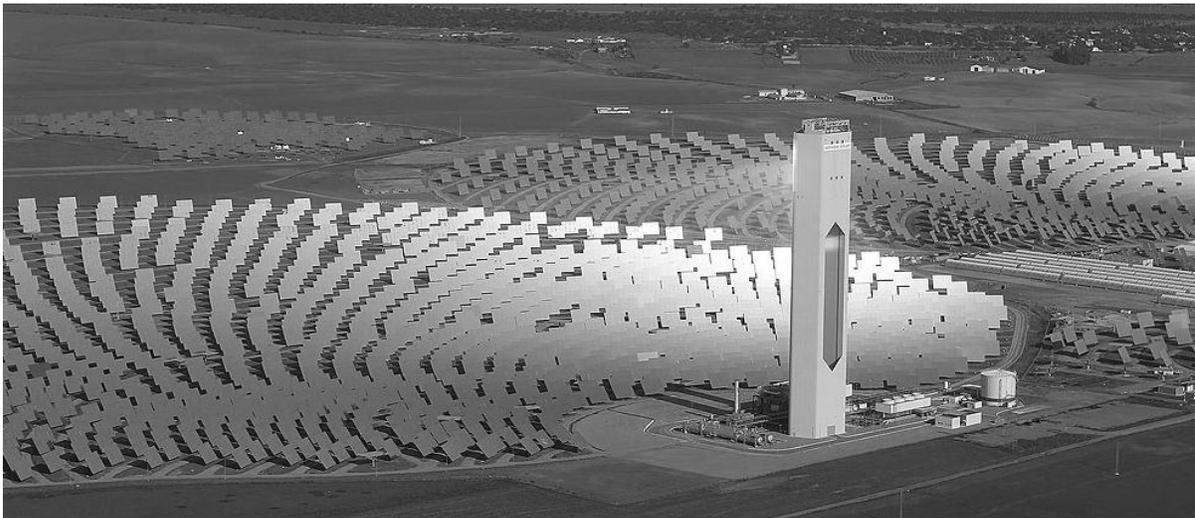
EJ, Exajoules: E: Exa es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades que indica un factor de 10^{18} .
J: Joule, unidad de medida del Sistema Internacional para la energía y trabajo. El EJ es la unidad más útil para describir la energía usada por los distintos países y a escala mundial.

1.2.5 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es la energía que proporciona el sol a través de sus radiaciones y que se difunde, directamente o de modo difuso, en la atmósfera. La energía solar que llega a la superficie terrestre tiene longitudes de onda que van de $0,280\mu\text{ m}$ a $4,000\mu\text{ m}$.

La energía del Sol puede ser usada directamente para la calefacción y la iluminación de edificios, así como para calentar el agua, tanto en los países desarrollados como en los países en vías de desarrollo. La energía radiante del Sol también puede proporcionar agua muy caliente o vapor para procesos industriales; puede calentar fluidos a altas temperaturas, por medio de la concentración solar para producir electricidad con plantas termoeléctricas solares como muestra la fotografía 5, o directamente con máquinas térmicas, y también resulta posible producir electricidad a través del efecto fotovoltaico⁶ al utilizar celdas fotovoltaicas como se muestran en la fotografía 6.

Fotografía 5. Planta Termosolar en Sevilla España



Fuente: La energía solar “en el punto de miras” de las eléctricas, 2012.

⁶ El efecto fotovoltaico consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

También puede utilizarse directamente en dispositivos para la seguridad pública, aportando luz y refrigeración para comidas y medicinas en el mundo a mil ochocientos millones de personas que no tienen acceso a las redes de energía eléctrica, y ofrecer comunicación para todas las regiones del planeta. Esta fuente energética además se puede utilizar para producir agua dulce a partir del agua marina, para sistemas de irrigación y bombeo de agua o para descontaminarla, y resolver así las necesidades más críticas a escala mundial para la obtención de agua limpia. También puede utilizarse para cocinar alimentos mediante estufas solares, y así evitar la depredación constante de leña que destruye los ecosistemas y contamina el aire en los asentamientos humanos de los más pobres.

Fotografía 6. Celdas Fotovoltaicas



Fuente: CNN EXPANSIÓN. Energía. Energía solar, negocio para México, 2012.

Respecto a la producción de paneles fotovoltaicos, CNN EXPANSIÓN publica un artículo mostrando el potencial de crecimiento que México tiene en este sector.

“México tiene oportunidad de mercado en Estados Unidos (EU), Alemania, Japón, China y Brasil si desarrolla tecnología para energía solar como las celdas fotovoltaicas, ya que la demanda de estos productos ha registrado crecimientos de 30% en estos países y se espera que en los próximos cinco años la certificación de empresas, fabricantes de componentes fotovoltaicos, aumente 15% a nivel global.

Francisco Damian, vocero de Underwriters Laboratories (UL) de EU, calculó que para 2016 el valor del mercado de productos fotovoltaicos será de 220,000 mdd a nivel mundial; hoy en día, dijo, estamos en 58,000 mdd y gran parte de este mercado se concentra en EU. (Cfr. CNN EXPANSION, 2012)

Generalmente se le atribuye el significado de energía solar a cualquier energía que proviene del Sol y que sea aprovechable transformándola ó convirtiéndola en otro tipo de energía. (Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, 2006: 7).

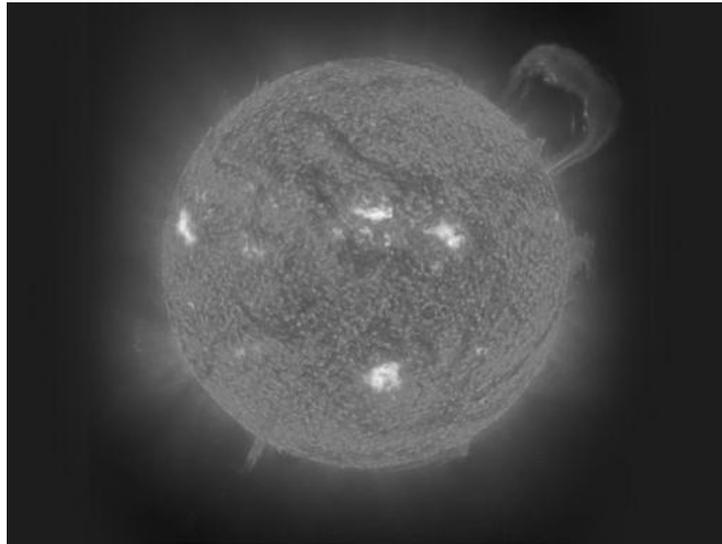
La mayor parte de la energía utilizada por los seres vivos procede del Sol, las plantas la absorben directamente y realizan la fotosíntesis, los herbívoros absorben indirectamente una pequeña cantidad de esta energía comiendo las plantas, y los carnívoros absorben indirectamente una cantidad más pequeña comiendo a los herbívoros. Así, la energía metabólica que nos mantiene vivos es de origen solar.

La mayoría de las fuentes de energía usadas por la humanidad derivan indirectamente del Sol. Los combustibles fósiles preservan energía solar capturada hace millones de años mediante fotosíntesis, las reservas de carbón mineral son los restos de los bosques de helechos gigantes del periodo carbonífero, hace más de trescientos millones de años; la energía hidroeléctrica usa la energía potencial de agua que se condensó en las alturas después de haberse evaporado por el calor del Sol, el viento es ocasionado por el calentamiento disperejo de la superficie terrestre, aunado con su rotación, etcétera. (Rincón, 2010: 6)

1.3 EL SOL

El Sol es una esfera intensamente caliente de materia en estado gaseoso ionizado llamado plasma, posee un diámetro de 1.39×10^9 m y está a una distancia promedio de la tierra de 1.5×10^{11} m. Visto desde la tierra el sol gira sobre su eje aproximadamente una vez cada 4 semanas. La fotografía 7 tomada por el equipo de la NASA muestra al sol como una esfera radiante y permite observar explosiones sobre su superficie.

Fotografía 7. El sol

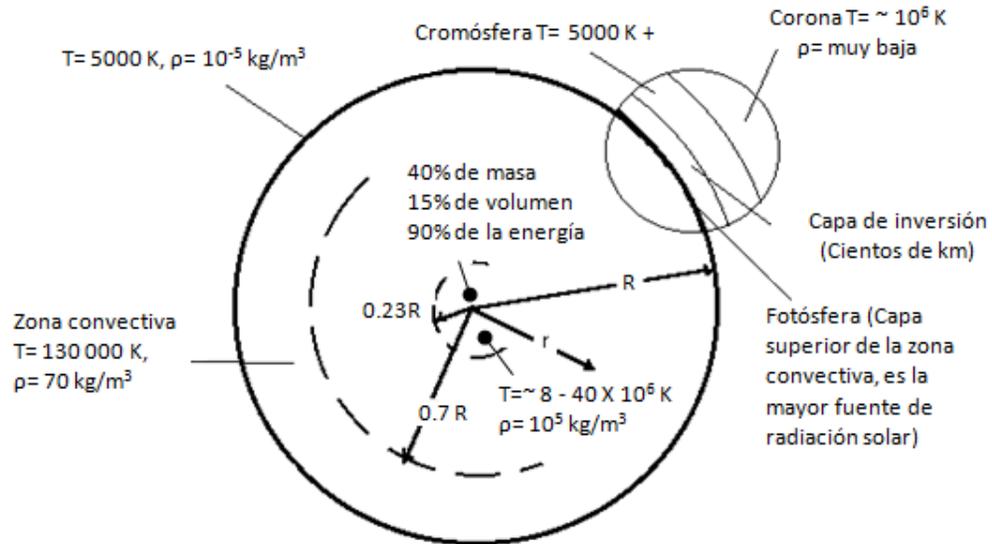


Fuente: Nasa, 2008

El sol posee una temperatura efectiva de cuerpo negro de 5777 K. La temperatura en la región central es variable y se estima en un rango de entre 8×10^6 K y 40×10^6 K y la densidad es estimada en 100 veces la densidad del agua. El sol es en efecto un reactor de fusión con sus gases constitutivos retenidos por fuerzas gravitacionales. Muchas reacciones de fusión han sido sugeridas para proveer la energía irradiada por el sol. La reacción considerada más importante es un proceso en el cual hidrógeno (cuatro protones) se combinan para formar helio (un núcleo de helio); la masa del núcleo de helio es menor que aquella de los cuatro protones de hidrógeno, habiéndose perdido en la reacción y convertida en energía.

La energía producida en el interior de la esfera solar a una temperatura de millones de grados debe ser transferida a la superficie y entonces ser irradiada hacia el espacio. Una sucesión de procesos convectivos y radiativos ocurren con sucesivas emisión, absorción y re-radiación (nuevas radiaciones); la radiación en el núcleo del sol está dada por rayos X y rayos gamma del espectro. (Cfr. Duffie y Beckman, 1991: 3). La figura 3 corresponde a un esquema de la estructura del sol, en el pueden identificarse las diferentes temperaturas al interior y exterior el sol.

Figura 3. La estructura del sol



Fuente: Duffie y Beckman, (1991: 4), Solar Engineering of Thermal Processes

Se ha estimado que el 90% de la energía es generada en la región de 0 a $0.23R$ (donde R es el radio del sol), la cual contiene 40% de la masa del sol. A una distancia de $0.7R$ desde el centro, la temperatura ha descendido aproximadamente a $130,000 \text{ K}$ y la densidad ha descendido a 70 kg/m^3 , aquí el proceso convectivo comienza a ser importante, y la zona de 0.7 a $1.0R$ es conocida como la zona convectiva. Dentro de esta zona la temperatura desciende aproximadamente a 5000 K y la densidad a 10^{-5} kg/m^3 . (Cfr. Duffie y Beckman, 1991: 4)

La superficie del sol parece estar compuesta de gránulos (células irregulares de convección) con dimensiones desde 1000 a 3000 km y con un tiempo de vida de las células de pocos minutos.

1.4 RADIACIÓN SOLAR

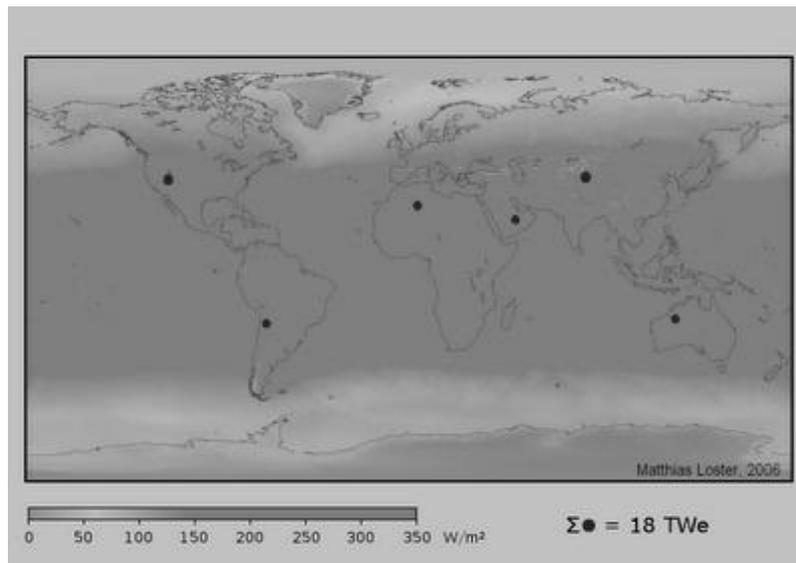
El Sol proporciona energía térmica natural en forma de radiación. Las radiaciones solares, en todas las longitudes de onda son la base de la vida o actividad biológica sobre la superficie terrestre. Por su acción física y biológica, las radiaciones solares se clasifican en: Radiaciones de onda corta (ultravioletas, de acción germicida), de

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

onda mediana (radiaciones visibles), de onda larga (infrarrojas, de acción térmica). La atmósfera absorbe y difunde gran parte de las radiaciones. (Cfr. Puppo, *et al.*, 1999: 8-9)

La radiación global es la cantidad total de energía solar que alcanza una fracción de superficie terrestre en un plano horizontal. La radiación global se forma por dos componentes, uno es la radiación directa y la otra la radiación difusa. La cantidad de radiación solar sobre una fracción de superficie, depende de la constante solar, de la latitud de la localidad, del periodo estacional, de las partículas en suspensión en la atmósfera, del albedo⁷ de la superficie terrestre y del clima. La radiación solar se mide con un aparato llamado piranómetro⁸, y es expresada en kwh/m^2 (Rodríguez, 2001: 21). La figura 4 muestra la incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre. Podemos ver que nuestro país posee un potencial energético importante.

Figura 4. Radiación solar sobre la tierra



Fuente: Energías limpias y renovables, 2012

⁷ El albedo es la potencia reflectora de un cuerpo iluminado. Se refiere a la relación de la radiación solar (energía radiante o luminosa) reflejada por una superficie respecto de aquella que incide sobre ella.

⁸ El piranómetro es un Radiómetro diseñado para medir la irradiancia de la radiación solar global y/o la irradiancia de la radiación solar difusa (esparcida). Un instrumento de éstos también puede medir radiación solar que incide en planos arbitrariamente orientados e inclinados.

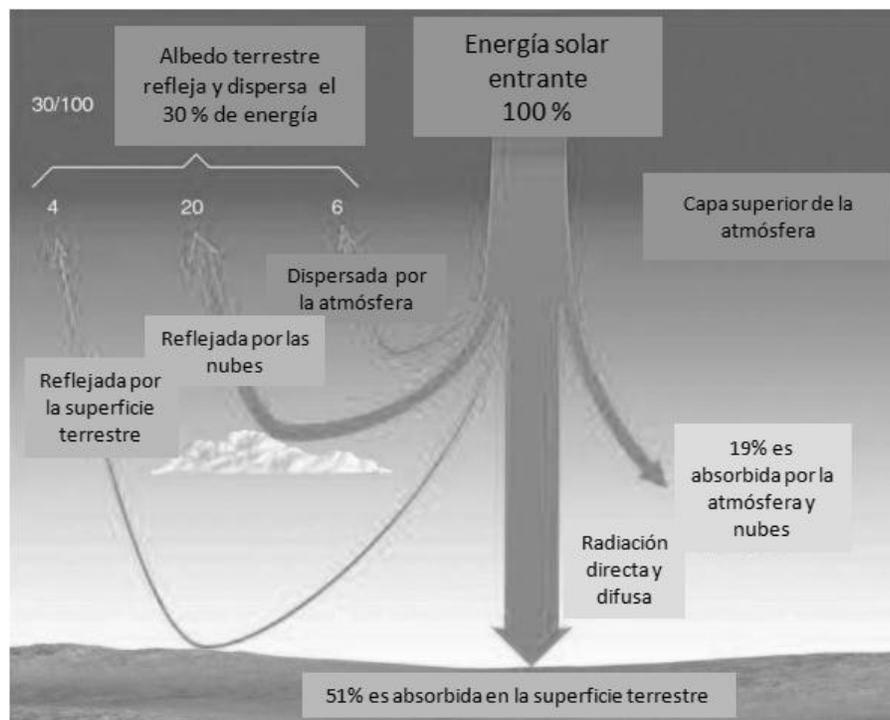
1.4.1 RADIACIÓN SOLAR DIRECTA

Es la radiación recibida del sol en un punto dado sobre la superficie terrestre sin que esta haya sido dispersada o esparcida por la atmósfera. La radiación directa usualmente se mide a una incidencia normal. Aproximadamente el 99% de la radiación solar directa recibida en el suelo está contenida dentro del rango de longitud de onda de $0,280 \mu m$ a $4,000 \mu m$.

1.4.2 RADIACIÓN DIFUSA

Es la radiación que se dispersa o esparce por la atmósfera así como la radiación que es reflejada por el suelo y que dependiendo de la inclinación de la superficie receptora esta radiación incide en ella. La figura 5 representa el potencial energético proveniente del sol. Este esquema muestra la incidencia de la radiación sobre la superficie terrestre así como los porcentajes de radiación que son reflejados por diversos factores como las nubes, la misma superficie terrestre, la atmósfera, etc.

Figura 5. Incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre (Potencial energético)



Fuente: Tomado y adaptado de: The Azimuth Project, 2011

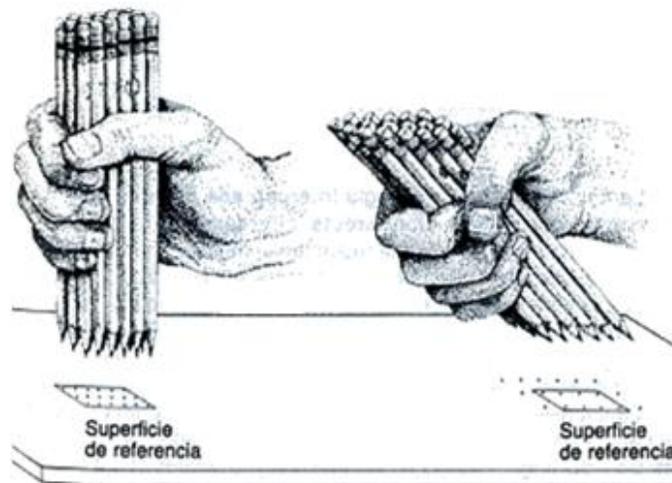
1.4.3 RADIACIÓN SOLAR GLOBAL

Es la suma de la radiación solar directa y la radiación difusa sobre una superficie dada.

1.4.4 LA RADIACIÓN SOLAR DE ACUERDO A LA LOCALIZACIÓN TERRESTRE

El ángulo con que inciden los rayos de sol sobre una superficie, determinará la cantidad de energía que recibe esta superficie. Como la radiación solar incide sobre la tierra en rayos prácticamente paralelos, una superficie perpendicular a los mismos será la que interceptará la mayor proporción de energía. Si los rayos se desvían de la perpendicular, decrecerá la energía interceptada por la superficie. (Cfr. Mazria, 1985: 25). Esta condición de densidad energética interceptada se ilustra en la figura 6.

Figura 6. La densidad de energía es determinada por el ángulo de incidencia



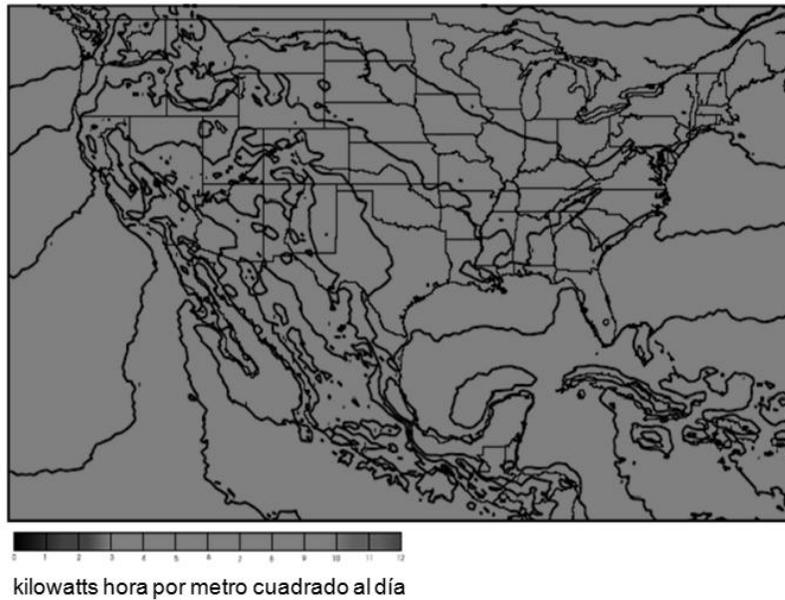
Fuente: Mazria, (1983: 25), La guía de la energía solar pasiva

1.5 LA RADIACIÓN SOLAR EN MÉXICO

México, en sus 1.967.183 km² de extensión territorial, recibe una radiación media de sobre una superficie horizontal de 19,8 MJ/m² día, y sobre un plano inclinado con un ángulo respecto de la horizontal igual a la latitud, de 21,7 MJ/m² día, que corresponde a un potencial bruto de poco más de 14 mil EJ anuales. (Cfr. Rincón 2010: 9). La figura 7 muestra la distribución media anual de insolación sobre la superficie de nuestro país, esto es la insolación promedio anual.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

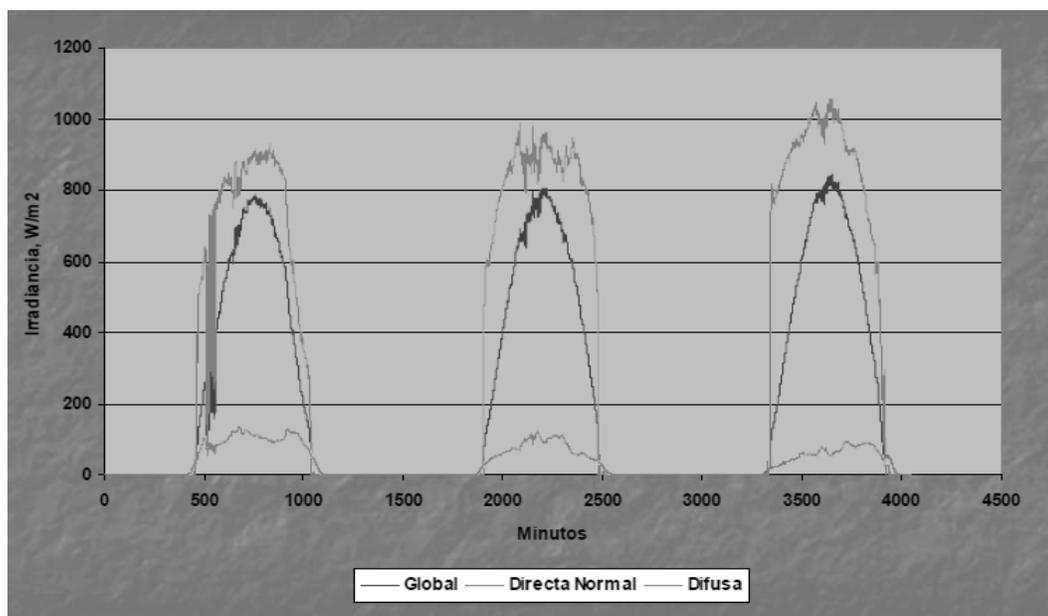
Figura 7. Distribución media anual de la insolación en la Republica Mexicana



Fuente: Bahm, (1999)

La gráfica 1 muestra los registros de radiación solar en Ciudad Universitaria (UNAM), en la Ciudad de México los días 4, 5 y 6 de enero de 2001.

Gráfica 1. Registro de radiación solar en Ciudad Universitaria, Ciudad de México



Fuente: Rincón, (2009), Curso: Tecnología solar doméstica para calentamiento de agua

1.6 CANTIDAD DE RADIACIÓN SOLAR APROVECHABLE Y SU EQUIVALENCIA

El brillo del Sol puede entregar energía a una superficie de un metro cuadrado en la Tierra orientada directamente a él a razón de unos 1 000 watts (1 Kw)⁹. Si la superficie del captador solar pudiese absorber el 100% de la radiación que recibe del Sol, y pudiese convertir esa energía con un 100% de rendimiento, entonces produciría 1 kWh¹⁰ de energía en cada hora pico. Por supuesto, si no es perfectamente eficiente, la energía entregada por un sistema solar es menor, usualmente en un intervalo de 5 a 15%.

1.7 ENERGÍA ACUMULADA

La energía solar puede ser acumulada; para una superficie plana con una inclinación igual a la latitud del lugar de ubicación, se pueden obtener 25MJ/m²día. La tabla 1 muestra valores de referencia útiles para comparar la cantidad de energía solar acumulada contra diferentes combustibles convencionales.

1.8 LA CONSTANTE SOLAR

La radiación solar incide sobre la superficie terrestre después de atravesar nuestra atmósfera, en la que se debilita como consecuencia de los reflejos y la absorción de energía en las nubes, las cuales presentan diferentes estados que determinan la magnitud recibida.

La necesidad de cuantificar tal energía para poder dimensionar las instalaciones receptoras terrenas conforme a los requerimientos de sus usuarios, ha dado lugar a determinar lo que se denomina constante solar. (Cfr. Perales, 2006: 26)

⁹ 1Kw es el estándar usado para evaluar la eficiencia de los sistemas de energía solar, bajo una irradiancia de 1kW/m²

¹⁰ La radiación solar aprovechable en el Valle de Toluca para este caso de estudio será de 800 W/m² (Valor de irradiancia)

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

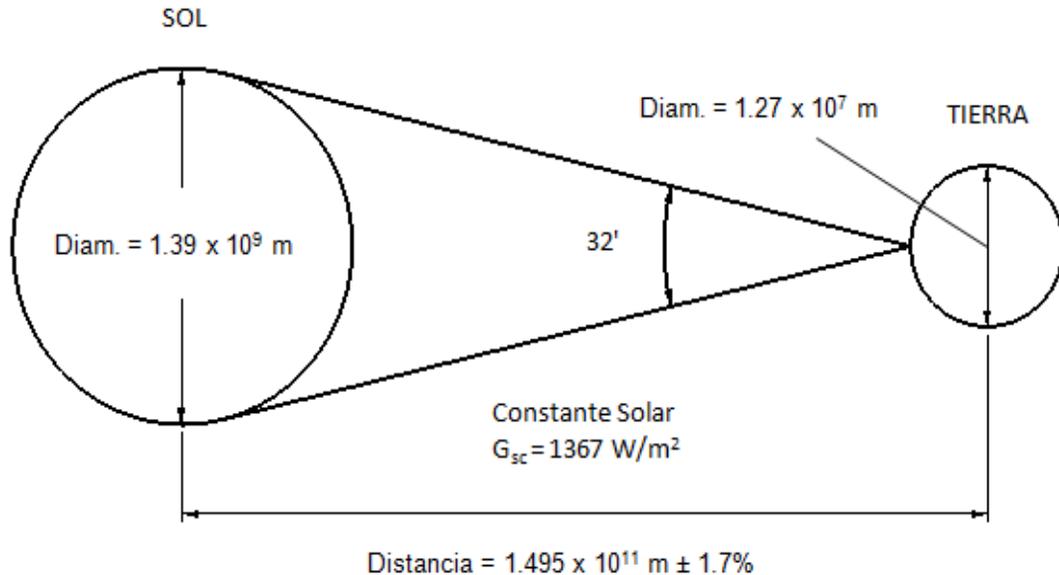
Tabla 1. Poder calorífico de diferentes combustibles

COMBUSTIBLE	MJ/kg DE COMBUSTIBLE
Gas natural	52
Gas L.P.	48
Butano	49
Isobutano	45
Propano	50
Butileno	49
Propileno	49
Metano	55
Petróleo diáfano	46
Gasolina	47
Diesel	48
Gasóleo	42
Combustóleo pesado	42
Combustóleo ligero	43
Carbón mineral	Variable
Coque de petróleo	31

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, NORMA Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994,
Contaminación atmosférica - Fuentes fijas. Anexo 4, PODER CALORÍFICO

La distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y su temperatura es lo que determina el flujo de energía casi constante que incide en la superficie terrestre y aunque existen varios modelos para calcularlo, el valor comúnmente aceptado es de $1,367 \text{ W/m}^2 \pm 7 \text{ W/m}^2$. Este valor se define cómo el flujo de energía proveniente del Sol que incide sobre una superficie de un metro cuadrado, ubicada fuera de la atmósfera terrestre, perpendicular a los rayos solares y a una distancia media de la Tierra al Sol. (Duffie y Beckman, 1991: 6) y (Cfr. Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, 2006: 8). La figura 8 muestra las relaciones geométricas entre el sol y la tierra. Estas relaciones son útiles para comprender como la radiación solar incide sobre la superficie terrestre.

Figura 8. Relaciones entre el sol y la tierra



Fuente: Duffie y Beckman, (1991:5), Solar Engineering of Thermal Processes

1.9 MASA DE AIRE

La constante solar y su valor de $1367 \text{ W/m}^2 \pm 7 \text{ (W)/m}^2$ se da fuera de la atmósfera, situación que es denominada masa de aire cero (AM0), pero con masa de aire uno, al nivel del mar y en condiciones atmosféricas óptimas (AM1), con cielo totalmente despejado, el valor de referencia que se toma es de 1000 W/m^2 .

La masa de aire óptica relativa de aire (AM) se define como la razón (cociente) de la longitud de la trayectoria a través de la atmósfera y hasta el nivel del mar recorrida por los rayos solares en dirección oblicua, respecto de la longitud de la trayectoria que recorre la radiación solar en dirección vertical hasta el nivel del mar.

La masa de aire óptica relativa de aire varía con el ángulo de altitud angular solar aparente y la presión barométrica local, la cual cambia con la altitud geográfica.

Para un ángulo cenital solar, θ_z , de 62° o menor, la masa óptica relativa de aire puede expresarse como:

$$m_r = \frac{1}{\cos \theta_z}$$

Para tomar en cuenta la altitud geográfica local, se usa la siguiente expresión:

$$m_r = \frac{p}{p_0 \cos \theta_z}$$

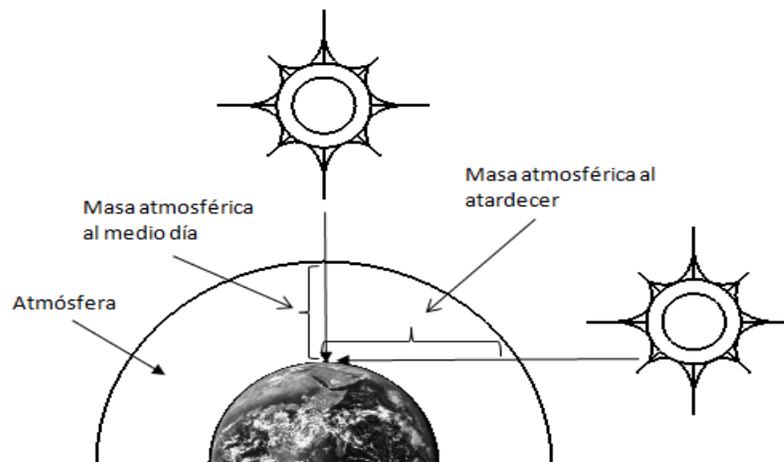
En donde:

p es la presión barométrica local,

p_0 es la presión atmosférica estándar a nivel del mar.

Se debe distinguir entre el término de "masa óptica relativa de aire" y el término "masa de aire", utilizado en meteorología para designar a un cuerpo extensivo (parcela de aire) de la atmósfera cuyas propiedades físicas, particularmente de temperatura y humedad, exhiben pequeñas y continuas diferencias sobre un plano horizontal. La figura 9 permite entender que los rayos solares al amanecer o atardecer atraviesan mayor masa atmosférica que al medio día solar. Entender esto significa que cuando se usan dispositivos para el aprovechamiento de la radiación solar, estos deben usarse tres o cuatro horas después de que amanece y tres o cuatro horas antes del atardecer; ya que el paso de los rayos solares a través de mayor masa de aire, provocará pérdidas en la potencia de la radiación.

Figura 9. Paso de la radiación solar a través de la atmósfera terrestre

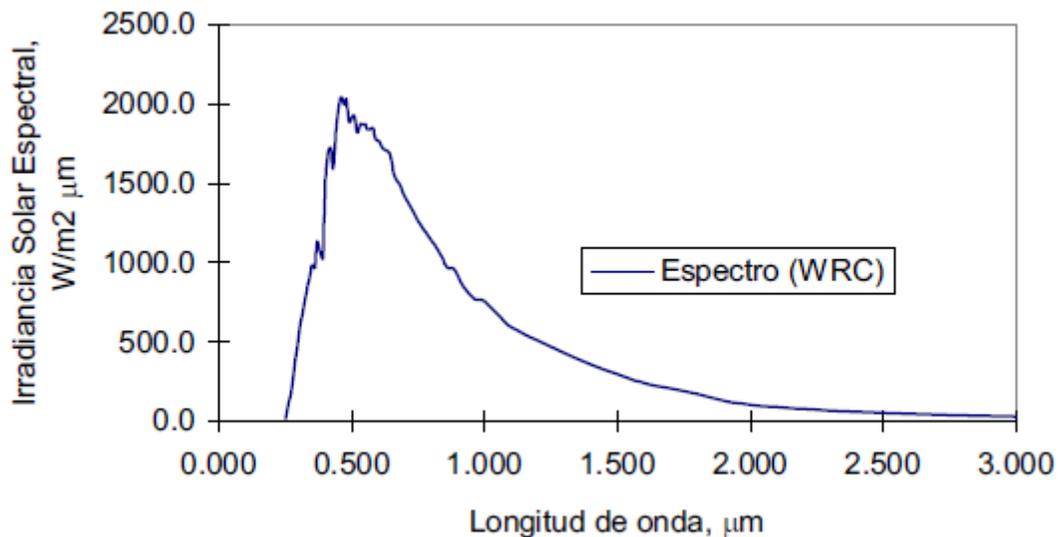


Fuente: Elaboración propia, Toluca (2012)

1.10 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR FUERA Y DENTRO DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE

Además de conocer la energía total presente en el espectro solar, es de vital importancia para éste estudio conocer la distribución espectral de la radiación solar. Una curva de irradiancia espectral estándar ha sido construida con base en mediciones a grandes altitudes y en el espacio exterior. La Gráfica 2 muestra la distribución espectral aceptada por la WRC¹¹. (Cfr. Jaramillo, 1998: 24)

Gráfica 2. Curva de Irradiancia espectral estándar (WRC) a una distancia promedio Tierra-Sol



Fuente: Jaramillo, (1998:10), Transporte de energía solar concentrada a través de fibras ópticas: acoplamiento fibra-concentrador y estudio térmico.

La radiación solar es reflejada, dispersada y absorbida por los diferentes componentes que constituyen la atmósfera. Dichos componentes básicamente son O₂, CO₂, O₃, N₂, H₂O y partículas de polvo. La radiación solar que sufre dispersión y absorción es la que tiene una longitud de onda entre 0.29 y 2.5 μm.

La radiación de onda corta (ultravioleta) se absorbe fundamentalmente por O₃, este fenómeno ocurre principalmente en la capa superior de la atmósfera.

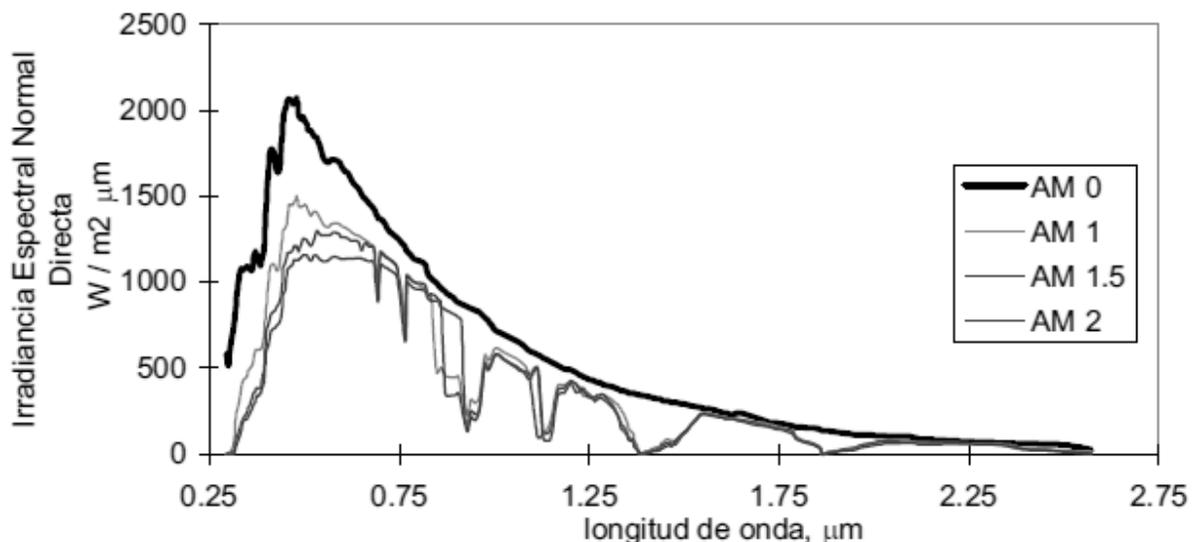
¹¹ WRC, es el Centro Mundial de Radiación estándar, por sus siglas en inglés.

Por otra parte, la radiación de onda larga se absorbe por vapor de agua, con bandas fuertes de absorción a 1.0, 1.4 y 1.8 μ m.

La dispersión de la radiación a través de la atmósfera es causada por la interacción de la radiación con las moléculas de aire, agua (vapor y gotas) y polvo. El grado de dispersión es función del número de partículas suspendidas a través de la cual la radiación solar debe pasar y el tamaño relativo de las partículas con respecto a la longitud de onda de la radiación solar.

En la Gráfica 3 se ilustran los efectos de la masa de aire para la distribución espectral solar en una atmósfera con baja turbiedad o limpia de polvos y aerosoles. La irradiancia normal directa presenta atenuación en sus componentes espectrales debido a la absorción por O_3 , H_2O y CO_2 únicamente. Se delinea la curva de radiación solar fuera de la atmósfera terrestre (AM=0) y para diferentes masas de aire (AM=1, AM=1.5 y AM=2). (Cfr. Jaramillo, 1998: 10-11)

Gráfica 3. Distribución espectral de irradiancia directa para diferentes masas de aire



Fuente: Jaramillo, (1998: 11), Jaramillo, (1998:10), Transporte de energía solar concentrada a través de fibras ópticas: acoplamiento fibra-concentrador y estudio térmico.

1.11 TÉRMINOS ÚTILES Y SUS DEFINICIONES

1.11.1 ENERGÍA

En general, energía es definida como “la habilidad de llevar a cabo un trabajo”. Cuando decimos que un cuerpo posee energía, eso significa que es capaz de ejercer una fuerza sobre otro objeto para realizar un trabajo sobre él. (Tippens, 2001: 176)

La energía puede existir en numerosas formas, como térmica, mecánica, cinética, potencial, eléctrica, magnética, química y nuclear, y su suma constituye la energía total E.

La unidad internacional de energía es el joule [J] o el kilojoule [kJ=1000 J]. En el sistema inglés, la unidad de energía es la unidad térmica Británica [Btu, British thermal unit].

La primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, expresa que en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede cambiar las formas.

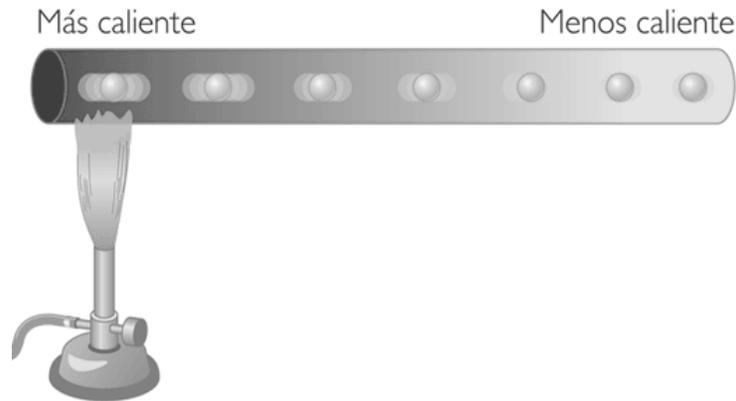
El cambio neto (aumento o disminución) en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de ese proceso. (Çengel, 2007: 11)

$$\left(\begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que entra en el sistema} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que sale del sistema} \end{array} \right) = \left[\begin{array}{c} \text{Cambio en la energía} \\ \text{total del sistema} \end{array} \right]$$

1.11.2 CALOR

“Es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. La figura 10 ilustra el proceso de conducción de calor en un cuerpo sólido. La transferencia de calor, es la ciencia que trata de la determinación de las razones de esa transferencia” (Çengel, 2007: 2)

Figura 10. Proceso de conducción de calor



Fuente: Kalipedia, Transmisión de calor, 2012

1.11.3 TEMPERATURA

Es la propiedad fundamental de los objetos que determina si estos objetos estarán en equilibrio térmico con otros objetos.

“Se dice que dos objetos se encuentran en equilibrio térmico si y sólo si tienen la misma temperatura” (Tippens, 2001: 361)

1.11.3.1 ESCALA CELSIUS

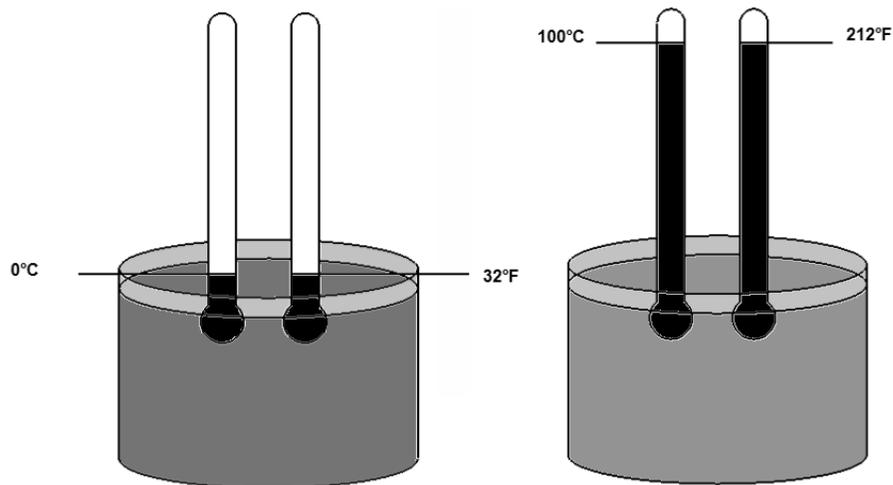
Una forma de medir las temperaturas, que se usan muy a menudo en el trabajo científico, se originó a partir de una escala desarrollada por el astrónomo sueco Anders Celsius (1701-1744). En la escala Celsius se asignó en forma arbitraria el número 0 al punto de congelación y 100 al punto de ebullición del agua. Así pues, a la presión atmosférica, hay 100 divisiones entre el punto de congelación y el punto de ebullición del agua. Cada división o unidad de la escala recibe el nombre de grado ($^{\circ}$). La unidad de medida de esta escala de temperatura es el [$^{\circ}\text{C}$].

1.11.3.2 ESCALA FAHRENHEIT

Otra escala para medir la temperatura fue desarrollada en 1714 por Gabriel Daniel Fahrenheit. El desarrollo de esta escala se basó en la elección de ciertos puntos fijos. Fahrenheit escogió la temperatura de congelación de una solución de agua

salada como su punto fijo inferior y le asignó el número y unidad de 0°F. Para el punto fijo superior eligió la temperatura del cuerpo humano 96°F. Si relacionamos la escala Fahrenheit con los puntos fijos que fueron aceptados universalmente para la escala Celsius, observamos que 0 y 100°C corresponden a 32 y 212°F respectivamente como se muestra en la figura 11. La unidad de medida de esta escala de temperatura es el [°F]. (Cfr. Tippens, 2001: 364)

Figura 11. Calibración de los termómetros Celsius y Fahrenheit



Fuente: Tippens, (2001: 364)

Las ecuaciones siguientes corresponden a las relaciones entre las escalas de temperatura Celsius y Fahrenheit.

Ecuación 1 corresponde a la relación para calcular la temperatura en °C a partir de una temperatura dada en °F.

$$T_c = \frac{5}{9}(T_f - 32)$$

La ecuación 2 corresponde a la relación para calcular la temperatura en °F a partir de una temperatura dada en °C.

$$T_f = \frac{9}{5}T_c + 32$$

1.11.3.3 TEMPERATURA ABSOLUTA

La Temperatura absoluta es el valor de la temperatura medida con respecto a una escala que comienza en el cero absoluto (0 K ó $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Se trata de uno de los principales parámetros empleados en termodinámica y mecánica estadística. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en kelvin, cuyo símbolo es [K]. Esta escala fue propuesta por Lord Kelvin (1824-1907). El intervalo sobre la escala Kelvin representa el mismo cambio de temperatura que el grado Celsius. Por lo tanto, un intervalo de 5K (se lee cinco kelvins) es exactamente igual a 5°C .

1.11.4 ENERGÍA TÉRMICA

“La energía térmica representa la energía interna total de un objeto: la suma de sus energías moleculares potencial y cinética” (Tippens, 2001: 361)

1.11.5 SISTEMA FOTOTÉRMICO

Los sistemas fototérmicos tienen la capacidad de transformar la energía del sol en calor útil para las actividades humanas. Las aplicaciones que pueden tener son diversas; entre estas están la producción de energía eléctrica mediante ciclos termodinámicos, el uso de colectores planos para el calentamiento de agua para uso sanitario, destiladores solares, deshidratadores de frutas, hornos y comales solares, que transforman la energía solar en energía calorífica para la cocción de alimentos, etc. (Cfr. Rincón, 2010: 9)

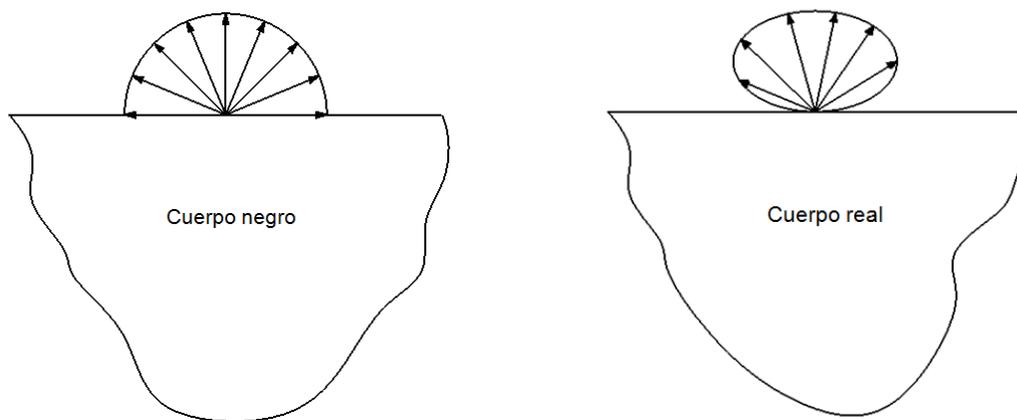
1.11.6 CUERPO NEGRO

A una temperatura termodinámica (o absoluta) por encima de cero, un cuerpo emite radiación en todas direcciones en un amplio rango de longitudes de onda. La cantidad de energía de radiación emitida desde una superficie, a una longitud de onda dada, depende del material del cuerpo y de la condición de su superficie, así como de la temperatura de esta última. Por lo tanto cuerpos diferentes pueden emitir

cantidades diferentes de radiación por unidad de área de superficie, incluso cuando se encuentran a la misma temperatura.

Un *cuerpo negro* se define como un emisor y absorbedor perfecto de la radiación. A una temperatura y una longitud de onda específica, ninguna superficie puede emitir más energía que un cuerpo negro. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente, sin importar la longitud de onda ni la radiación. Así mismo, emite energía de radiación de manera uniforme en todas direcciones, por unidad de área normal a la dirección de emisión como se ilustra en la figura 12. Un cuerpo real emite energía de radiación de manera no uniforme como se ilustra en la figura 13.

Figura 12. Difusión de radiación A) de un cuerpo negro y B) de cuerpo real



Se dice que un cuerpo negro es un emisor difuso ya que difunde energía de radiación de manera uniforme en todas direcciones. (Çengel, 2007: 667)

La energía de radiación emitida por un cuerpo negro por unidad de tiempo y por unidad de área superficial fue determinada de manera experimental por Joseph Stefan, en 1879, y la expresó como: (Çengel, 2007: 667)

$$E_b(T) = \sigma T^4$$

Donde:

$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ es la constante de Stefan Boltzmann.

T: Temperatura absoluta de la superficie en K.

E_b : es la llamada poder de emisión de cuerpo negro.

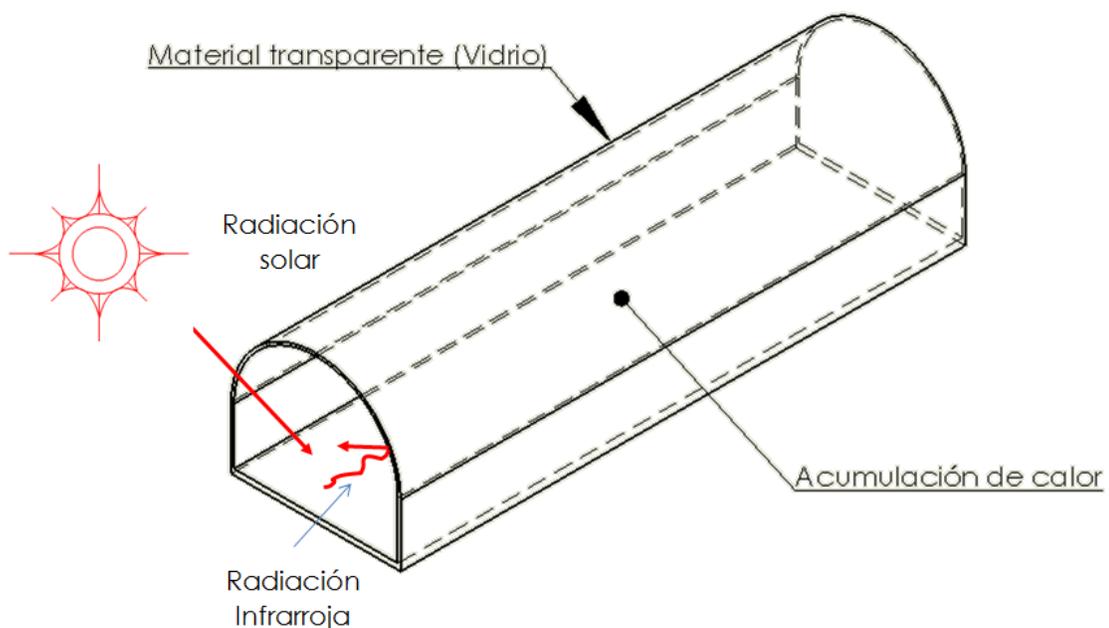
Las superficies recubiertas con pintura de negro de humo tienden al comportamiento del cuerpo negro idealizado.

1.11.7 EFECTO DE INVERNADERO

El vidrio transmite más de 90% de la radiación en el rango visible y es prácticamente opaco (no transparente) a la radiación en las regiones infrarrojas de longitudes de onda más largas del espectro electromagnético (muy aproximadamente $\lambda > 3 \mu\text{m}$). Por lo tanto, el vidrio tiene una ventana transparente en el intervalo de longitudes de onda de $0.3 \mu\text{m} < \lambda < 3.0 \mu\text{m}$, en el cual se emite más de 90% de la radiación solar. Por otra parte toda la radiación emitida por las superficies a la temperatura ambiente cae en la región infrarroja. Como consecuencia, el vidrio permite que entre la radiación solar pero no deja que escape la radiación infrarroja proveniente de las superficies interiores. Esto causa una elevación en la temperatura interior como resultado de la energía que se acumula. Esto se conoce como el efecto invernadero.

Un invernadero atrapa la energía permitiendo que entre la radiación solar pero no dejando salir a la radiación infrarroja este fenómeno se ilustra en la figura 14.

Figura 13. Efecto invernadero



Fuente: Çengel, (2007: 687), Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico

1.11.8 IRRADIANCIA (G)

Es la densidad de flujo de energía de radiación, o bien es la razón (o tasa) a la cual cierta cantidad de energía de radiación es emitida o recibida por un objeto por unidad de tiempo y por unidad de superficie.

La irradiancia se expresa generalmente en Watts por metro cuadrado (W/m^2) (Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, 2006: 8)

1.11.9 IRRADIACIÓN (H)

Es la cantidad de energía de irradiación que incide sobre una cierta superficie durante cierto tiempo y por unidad de área, representada por la integral de la irradiancia o densidad de flujo de energía de radiación que recibe la superficie en un intervalo de tiempo dado, intervalo que en general puede ser por una hora o un día.

La irradiación se expresa generalmente en Mega Joules por metro cuadrado (MJ/m^2) para el intervalo de tiempo dado. (Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, 2006: 6)

1.11.10 ABSORTANCIA -FACTOR DE ABSORCIÓN (α)

La absortancia es relación del flujo de radiación absorbida por una superficie respecto a la radiación incidente. La absortancia puede aplicarse tanto a radiación de una sola longitud de onda como para radiación integrada respecto de las longitudes de onda de todo el espectro solar. (Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, 2006: 10)

1.11.11 EMITANCIA (ϵ)

Relación de la emisión de radiación de un cuerpo con respecto a la de aquél que emite radiación como la de un cuerpo negro a la misma temperatura. A este concepto frecuentemente se le denomina como emisividad.

La emitancia puede aplicarse tanto a radiación de una sola longitud de onda como para radiación integrada respecto de las longitudes de onda de todo el espectro solar. (Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, 2006: 10)

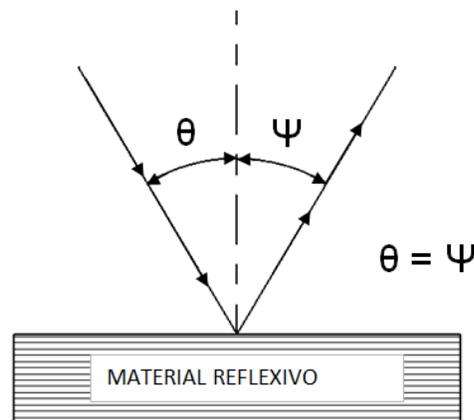
1.11.12 POTENCIA EMISIVA

Es la cantidad de energía radiante por unidad de tiempo y por unidad de área que abandona una superficie sólo por emisión.

1.11.13 REFLEXIÓN

Cuando la radiación llega a la superficie de un material ideal reflexivo, es rechazada y emitida de regreso. El ángulo con que incide respecto a la normal es el mismo con el que es reflejado como se muestra en la figura 15.

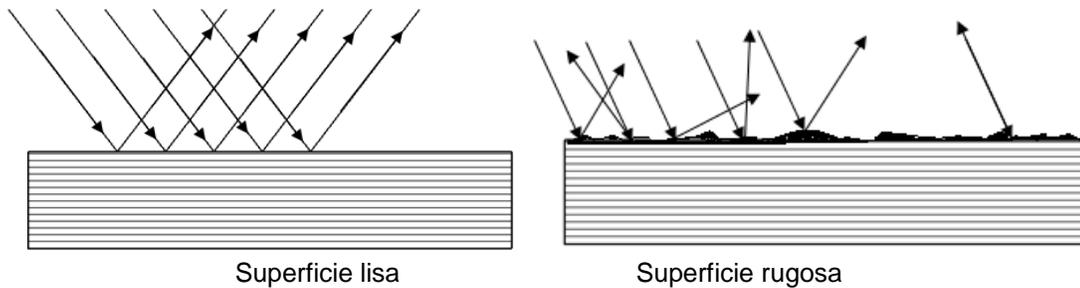
Figura 14. Reflexión de un rayo luminoso por un material reflexivo ideal



Fuente: Elaboración propia, Toluca (2012)

Cuando la superficie donde se refleja la luz es muy lisa, los rayos reflejados apenas sufrirán cambios y todos se reflejarán con el mismo ángulo; lo que sucede en un buen espejo. Mientras más rugosa es la superficie los rayos que inciden encuentran diferentes ángulos (a escala microscópica) por lo que el ángulo de reflexión será muy variado y la radiación saldrá en todas direcciones. Esta condición de reflexión de superficie lisa y rugosa se ilustra en la figura 16. En consecuencia, si el interés es reflejar la luz solar en una dirección concreta, se debe considerar la calidad de la superficie y no sólo las propiedades reflexivas del material.

Figura 15. Reflexión en una superficie lisa y reflexión en una superficie rugosa

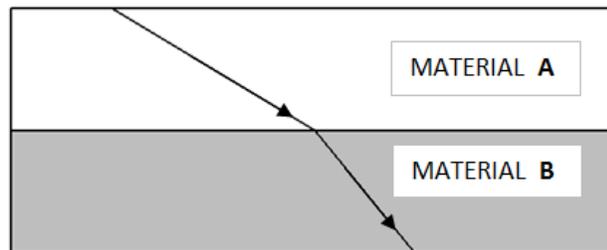


Fuente: Elaboración propia, Toluca (2012)

1.11.14 REFRACCIÓN

La refracción sucede cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro con características distintas, lo que produce un cambio en la dirección del rayo. Este cambio se debe a que la dirección y rapidez de la luz varía al pasar de un medio a otro. La figura 17 ilustra el cambio de dirección de un rayo de luz que pasa de un material A a un material B.

Figura 16. Cambio de dirección del rayo luminoso al pasar del material A al material B



Fuente: Fuente: Elaboración propia, (2012)

1.11.15 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la ciencia que trata de la determinación de las razones de transferencia de energía (manifestada en forma de calor) conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La energía transferida siempre se produce de un medio que tiene la temperatura más elevada, hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de temperatura se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura, es decir alcanzan un equilibrio térmico.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor, requieren la existencia de una diferencia de temperatura.

1.11.15.1 CONDUCCIÓN

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos y gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres como se ilustra en la figura 18.

Figura 17. Conducción de calor en un cuerpo sólido



Fuente: Kalipedia, Transmisión de calor, 2012

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

La razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de esta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Donde:

\dot{Q}_{cond} : Razón de conducción de calor en [W]

k: Conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor

A: Área de transferencia de calor, siempre es normal (perpendicular) a la dirección de esa transferencia.

Δx : Espesor del material

ΔT : Diferencia de temperatura (*Cfr. Çengel, 2007: 17-18*)

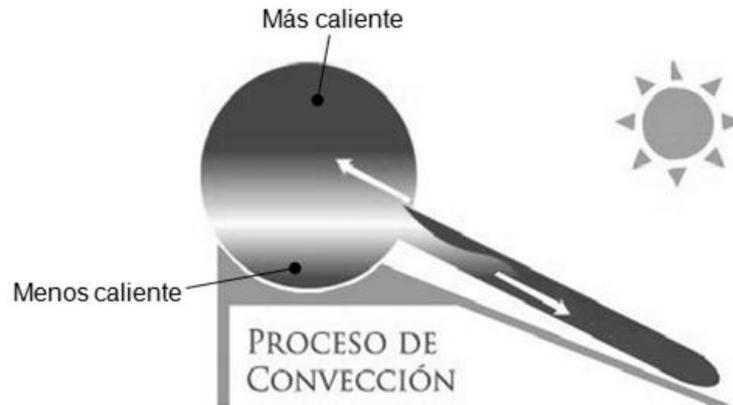
1.11.15.2 CONVECCIÓN

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprenden los efectos combinados de la conducción y el movimiento de los fluidos. Entre más rápido es el movimiento del fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La figura 19 describe el proceso de convección natural de un líquido.

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos, como un ventilador, una bomba o el viento.

Se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento de fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura de ese fluido.

Figura 18. Proceso de convección natural



Fuente: En línea, Transferencia de calor

Los procesos de transferencia de calor que comprenden cambio de fase de un fluido también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de las gotitas de líquido durante la condensación.

Se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton de enfriamiento como:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_S(T_S - T_{\infty})$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} : Razón de convección de calor en [W]

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección en $[\frac{W}{m^2 \cdot C}]$

A_S : Área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección.

T_S : Temperatura de la superficie y

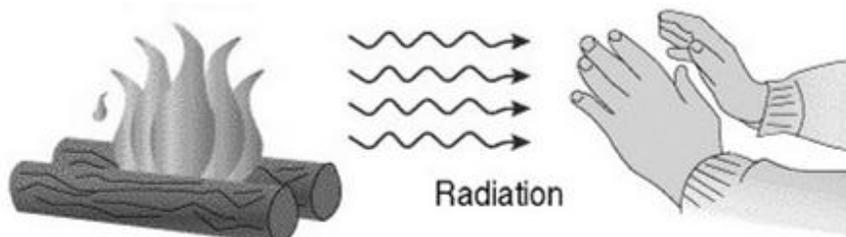
T_{∞} : Temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie (Cfr. Çengel, 2007: 25-26)

1.11.15.3 RADIACIÓN

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios de las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, el mecanismo de transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. La transferencia de calor por radiación es la más rápida (8ª la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en el vacío. Esta es la manera en la que la energía del sol llega a la tierra.

La radiación térmica es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica un ejemplo de radiación térmica se ilustra en la figura 20.

Figura 19. Transferencia de calor por radiación



Fuente: En línea, Transferencia de calor

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos.

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzman como:

$$\dot{Q}_{emitida} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4)$$

Donde:

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ es la constante de Stefan Boltzmann

ϵ : Emisividad de la superficie, cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$, es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual $\epsilon=1$. (Cfr. Çengel, 2007: 27-28)

1.11.16 DEFINICIONES GEOMÉTRICAS TERRESTRES

La tierra se divide en paralelos de latitud como se observa en la Figura siguiente. En el hemisferio norte se considera a la latitud positiva y varía entre 0° y 90° , en el hemisferio sur se considera negativa y varía entre 0° y -90° . Al paralelo de 0° se le llama ecuador terrestre. El símbolo que se utiliza para la latitud es Φ . La tierra también se divide en meridianos de longitud como se observa en la figura. Se usa como meridiano 0° el que pasa por Greenwich, Inglaterra. Hacia el este y el oeste los meridianos aumentan de 0° a 180° .

1.11.16.1 LONGITUD

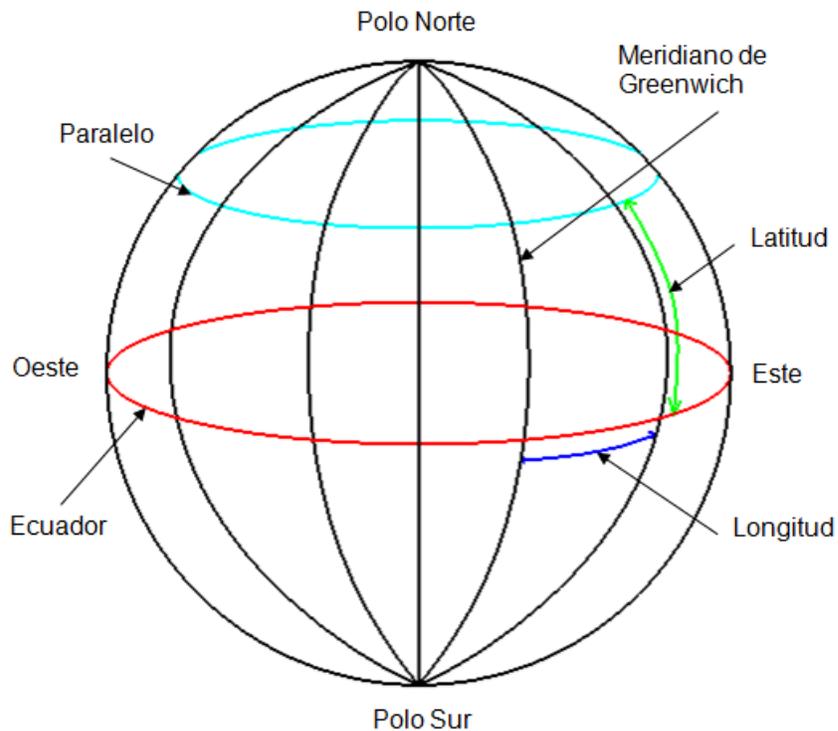
Es una de las dos coordenadas que permiten localizar un lugar sobre la superficie del globo terráqueo. Se mide en grados, minutos y segundos. Este factor está relacionado con la determinación de la hora solar.

1.11.16.2 ALTITUD

La altitud es la distancia vertical de un plano horizontal hasta el nivel del mar; se mide en metros sobre el nivel medio del mar (msnm) (Rodríguez, 2001: 14). Este factor determina la cantidad de radiación que podemos aprovechar debido a la distancia atmosférica que deben atravesar los rayos solares para llegar a la

superficie terrestre. Este factor está relacionado directamente con la Masa de Aire. La figura 21 muestra los distintos elementos geométricos de la tierra.

Figura 20. Geometría terrestre



Fuente: Quinteros, (2008: 5), Estudio teórico y experimental de colector solar parabólico para generación de energía eléctrica

La tabla 2 muestra la precesión de las estaciones para el año 2012, tiempo del centro de México. Las fechas pueden variar con respecto a otros años debido a que este año es bisiesto.

Tabla 2. Precesión de las estaciones para el año 2012 tiempo del centro de México

Estación	Día de comienzo	Hora
Primavera	19 de marzo	23 hrs 14 min
Verano	20 de junio	18 hrs 19 min
Otoño	22 de septiembre	09 hrs 49 min
Invierno	21 de diciembre	05 hrs 12 min

Fuente: Calendario de Galván 2012.

1.11.16.3 AZIMUT

Es el desplazamiento angular con respecto al sur de la proyección de radiación directa en el plano horizontal.

1.11.16.4 HORA SOLAR

Es el tiempo basado en el aparente movimiento angular del Sol a través del cielo, con el mediodía solar en el instante en que el Sol cruza el meridiano del observador.

La hora solar es el tiempo usado en todas las relaciones angulares del sol, esta no coincide con la hora local. Es necesario convertir el tiempo estándar en tiempo solar aplicando dos correcciones. Primeramente hay una corrección constante debida a la diferencia en longitud entre el meridiano del observador (longitud) y el meridiano en el cual es basado el tiempo estándar. Al sol le toma 4 minutos recorrer 1° de longitud. La segunda corrección proviene de la ecuación del tiempo, la cual toma en consideración las perturbaciones en la tasa de rotación terrestre las cuales afectan el tiempo que le toma al sol cruzar el meridiano del observador. La diferencia en minutos entre el tiempo solar y el tiempo estándar es:

$$\text{Tiempo estándar} - \text{Tiempo solar} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E$$

donde L_{st} es el meridiano estándar para el tiempo local de la zona, L_{loc} es la longitud de la localización en cuestión, y las longitudes están dadas en grados $0^\circ < L < 360^\circ$.

1.11.17 ECUACIÓN DEL TIEMPO

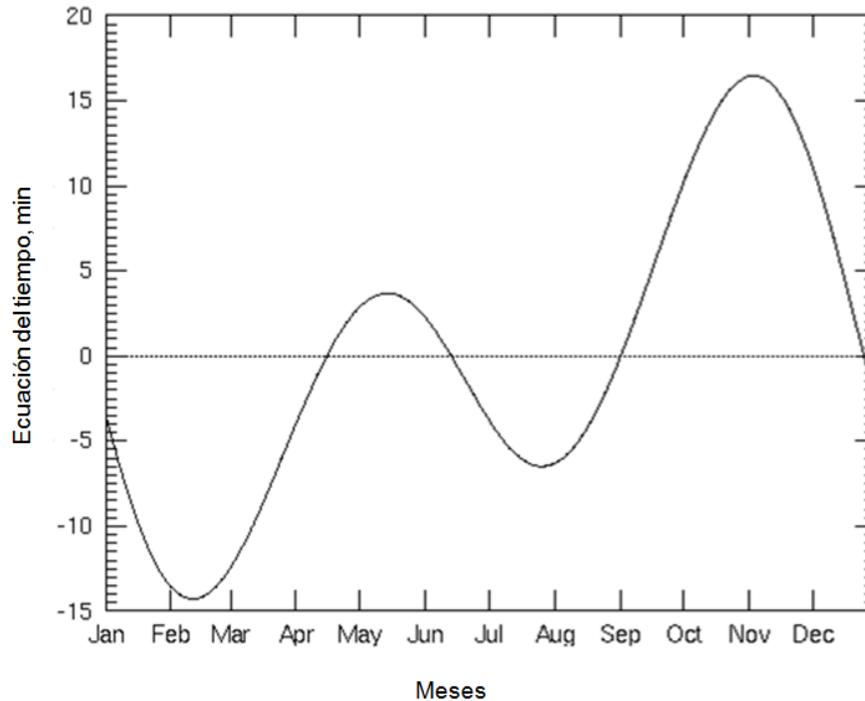
La ecuación del tiempo E^{12} (en minutos) es determinada de la figura 22 o de la ecuación siguiente:

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B \\ - 0.04089 \sin 2B)$$

¹² El 18 de abril la ecuación del tiempo E vale cero. Es decir, la hora solar = hora civil. Todas las ecuaciones usan grados, no radianes.

donde $B = (n - 1) \frac{360}{365}$ y n es igual al día del año. De esta manera $1 \leq n \leq 365$.

Figura 21. La ecuación del tiempo E en minutos, como función del tiempo anual



Fuente: Tomado y adaptado de Duffie y Beckman, (1991:12), Solar Engineering of Thermal Processes

Las correcciones para la ecuación del tiempo y el desplazamiento desde el meridiano estándar están dadas en minutos. Además se debe considerar que hay 60 minutos de diferencia entre el horario de verano y el tiempo estándar. (Cfr. Duffie y Beckman, 1991: 11-12)

1.11.18 TRAYECTORIA SOLAR

1.11.18.1 DIRECCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR DIRECTA

Las relaciones geométricas entre un plano con orientación particular cualquiera relativa a la tierra en cualquier momento y la radiación solar directa incidente, que es la posición relativa del sol con respecto al plano, se describen en términos de varios ángulos. (Cfr. Duffie y Beckman, 1991: 13)

1.11.18.2 LATITUD (φ)

“La latitud es la distancia angular de un punto sobre la superficie terrestre al ecuador; se mide en grados, minutos y segundos. La importancia de este factor geográfico es que determina la incidencia de los rayos solares sobre la tierra en un punto determinado” (Rodríguez, 2001: 14). La latitud oscila entre los ángulos $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$.

1.11.18.3 DECLINACIÓN (δ)

Es la posición angular del Sol al mediodía solar (por ejemplo cuando el Sol está en el meridiano local) con respecto al plano del ecuador, norte es positiva; Se comprende en $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$.

La declinación δ [°] puede ser descrita por la ecuación de Cooper:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360(284 + n)}{365}\right)$$

Donde n es el número de día del año. Este ángulo se mide para un sistema de referencia en el centro de la tierra y con el eje z en el eje Norte Sur de la tierra.

1.11.18.4 INCLINACIÓN (β): El ángulo entre la superficie de interés y el plano horizontal. $0 \leq \beta \leq 180^\circ$.

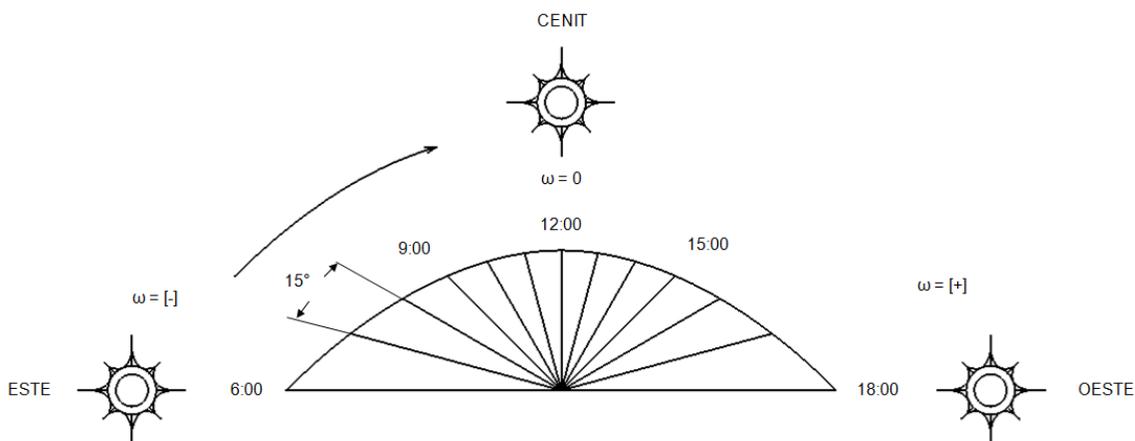
1.11.18.5 ÁNGULO DE AZIMUT DE LA SUPERFICIE (γ)

Es el ángulo de desviación de la proyección en el plano horizontal de la normal a la superficie con respecto al meridiano local. Este ángulo tiene valor cero cuando la proyección apunta al norte, valor positivo cuando apunta hacia el oeste y valor negativo cuando apunta al este. $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

1.11.18.6 ÁNGULO DE HORA SOLAR (ω)

Es el desplazamiento angular Este - Oeste del sol con respecto al meridiano local debido a la rotación de la tierra en su eje a 15° por hora. Se toma como referencia ($\omega = 0$) al medio día. En la mañana este ángulo es negativo y en la tarde es positivo. La figura 23 describe el ángulo de la hora solar, cada hora el sol se desplaza relativamente 15° sobre la bóveda celeste con dirección este-oeste.

Figura 22. El ángulo de la hora solar



Fuente: Elaboración propia. Toluca, 2012

1.11.18.7 ÁNGULO DE INCIDENCIA (θ): Es el ángulo entre el haz de radiación directa en una superficie y la normal a esa superficie. Los ángulos de zenit, inclinación, azimut solar y azimut de la superficie se pueden observar en la figura siguiente:

Ángulos adicionales son descritos para describir la posición del sol en el cielo.

1.11.18.8 ÁNGULO ZENIT (θ_z)

Es el ángulo subtendido entre la línea zenit y la línea de vista del sol.

1.11.18.9 ÁNGULO DE LA ALTITUD SOLAR (α_s)

Es el ángulo entre la horizontal y la línea que apunta hacia el Sol, (complemento del ángulo zenit).

1.11.18.10 ÁNGULO DE AZIMUT DEL SOL (γ_s)

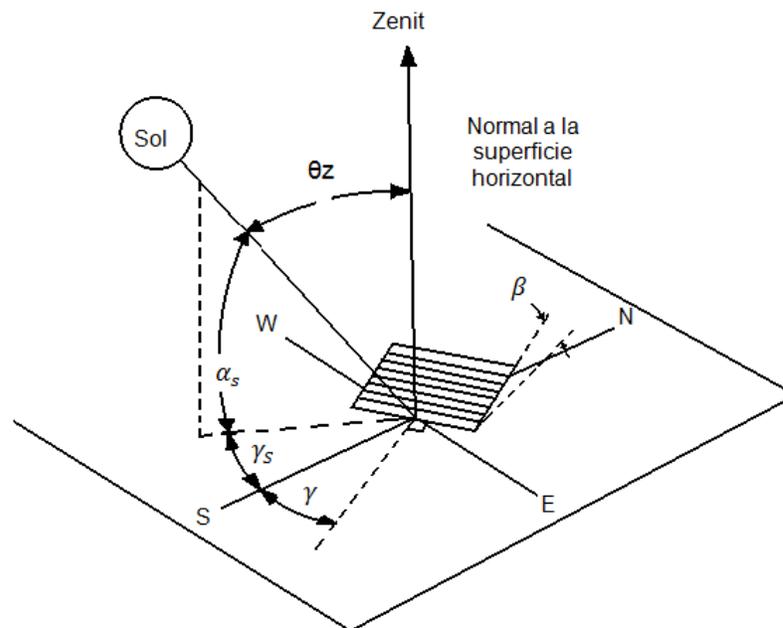
Es el ángulo formado por la proyección en el plano horizontal del rayo solar. Este ángulo tiene valor cero cuando la proyección apunta al norte, valor positivo cuando apunta hacia el oeste y valor negativo cuando apunta al este. $-180^\circ \leq \gamma_s \leq 180^\circ$.

1.11.18.11 ZENIT

Es la línea perpendicular al plano horizontal en el punto del observador.

Las relaciones geométricas entre un plano de orientación arbitraria y la radiación directa incidente (o sea, la posición relativa entre el sol y el plano) pueden ser descritas en términos de ángulos como se ilustra en la figura 24. Estos ángulos son los siguientes los descritos en los párrafos anteriores.

Figura 23. Relaciones angulares

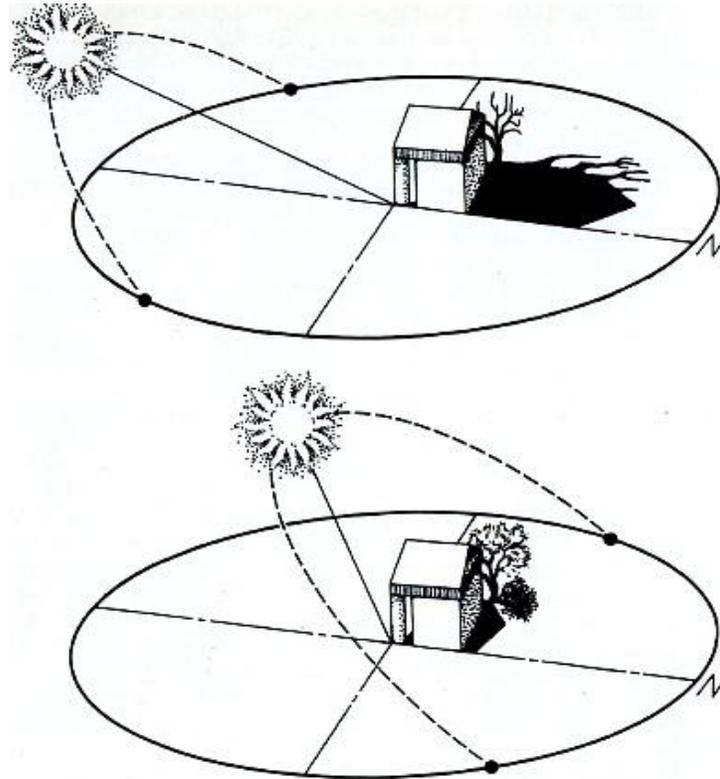


Fuente: Duffie y Beckman, (1991: 14), Solar Engineering of Thermal Processes

La figura 25 muestra el itinerario descrito por el sol el 21 de diciembre (arriba) y el 21 de junio (abajo). Solsticio de invierno y verano respectivamente. Para ambas fechas la posición dada del sol es la correspondiente al medio día solar.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Figura 24. Itinerario descrito por el sol durante el solsticio de invierno y verano respectivamente



Fuente: Butti y Perlin, (1985: 4) Un hilo dorado, 2500 años de arquitectura y tecnología solares

CAPÍTULO II. HISTORIA DE LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN GENERAL

2.1 HISTORIA DE LA COCINA SOLAR

A lo largo de la historia, se ha empleado a la radiación solar como fuente de energía para la cocción de alimentos, calentamiento de agua, la deshidratación de frutas, etc. (Butti y Perlin, 1985) presenta un recorrido histórico de los distintos dispositivos solares diseñados y una descripción de los mismos que se presenta a continuación.

2.1.1 HORACE DE SAUSSURE

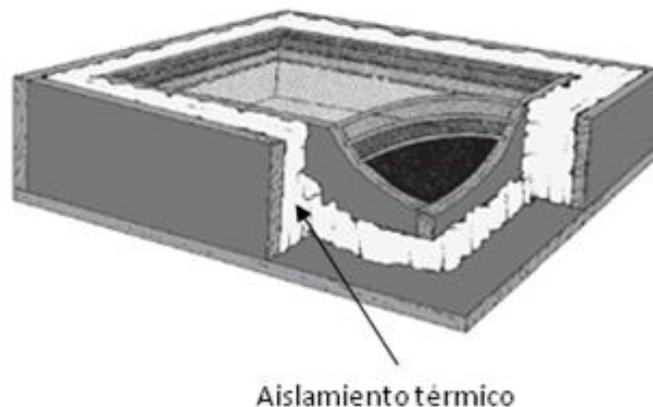
En 1767 Horace de Saussure científico suizo, se dispuso a determinar la efectividad de los captadores calóricos de vidrio para acumular la energía del sol. De Saussure construyó un invernadero en miniatura de cinco paredes, realizado con otras tantas cajas de vidrio, de planta cuadrada y dimensiones decrecientes de 30 cm en la base por 15 cm de alto a 10 cm en la base por 5 cm de alto. Las cinco cajas estaban abiertas por su base, de tal modo que podían apilarse, una dentro de otra, todas sobre una mesa de madera negra. Tras exponer el artefacto al sol durante varias horas, girándolo de manera que los rayos solares incidieran siempre perpendicularmente sobre las superficies de vidrio de las cajas. De Saussure midió la temperatura en el interior. La caja exterior era más fría, aumentando la temperatura en cada caja menor sucesiva. La temperatura más elevada de 87°C se registraba en la base de la caja más interior. De Saussure escribía que “Las frutas... expuestas a este calor quedaron cocidas y jugosas”. (Cfr. Butti y Perlin, 1985: 55)

Butti y Perlin hacen una descripción del experimento realizado por De Saussure escribiendo: “La luz solar penetró las superficies de cristal de las cajas y fue absorbida por la superficie negra de la mesa sobre la que aquellas descansaban. En el curso del proceso, la energía lumínica se convirtió en calor. Gran parte de este calor se liberó en el interior de las cajas de cristal como aire caliente y radiación térmica. El vidrio transparente tiene una propiedad que le es peculiar: permite fácilmente el paso de la luz solar a través de él, pero impide a la radiación térmica hacer lo propio. Por consiguiente, esta energía retenida calienta el aire dentro de la caja. Las paredes de cristal impiden también la salida de aire caliente, si bien parte del calor se pierde por conducción a través del vidrio” (Butti y Perlin, 1985, 55)

Con el propósito de impedir más eficazmente la pérdida de calor, De Saussure construyó una pequeña caja rectangular de madera de un centímetro y medio de espesor, revestida por dentro de corcho negro. La parte superior de la caja quedaba cerrada por tres láminas separadas de vidrio. Expuesta la caja al sol, el interior de su base alcanzaba una temperatura de 118°C. A este ingenio se le denomina “caja caliente”, por la gran cantidad de calor que podía retener.

La “caja caliente” cedía todavía al exterior una parte de su calor. De Saussure decidió entonces colocarla dentro de un contenedor abierto por arriba y rellenar de lana la separación entre ambos esquema ilustrado en la figura 26. Este reforzamiento de su capacidad aislante se tradujo en una menor pérdida de calor, con lo que la temperatura en el interior de la caja caliente ascendió a 120°C, incluso aún cuando el tiempo no fue tan favorable como en la ocasión del experimento anterior. (Cfr. Butti y Perlin, 1985: 56)

Figura 25. Caja caliente perfeccionada de De Saussure



Fuente: Butti y Perlin, (1985:55), Un hilo dorado, 2500 años de arquitectura y tecnología solares

2.1.2 JOHN HERSCHEL

En 1830 el eminente astrónomo Inglés Sir John Herschel, durante una expedición al Cabo de Buena Esperanza Sudáfrica, construyó una caja caliente hecha de caoba y pintada de color negro por su interior y cubierto de vidrio, colocado en un bastidor de madera protegido por otra lámina de vidrio y arena apilada sobre sus costados la

fotografía 8 muestra una adaptación de la caja caliente de Herschel. El resultado de los experimentos de Herschel es descrito en sus notas: “Cuando estas temperaturas (de hasta 125°C) sobrepasan la de ebullición del agua, se realizaron varios experimentos exponiendo huevos, carne, etc. (al calor interior de la caja), todos los cuales, tras un moderado intervalo de exposición, se hallaron perfectamente cocinados...”

Fotografía 8. Caja caliente del Sir John Herschel (Adaptada)



Fuente: En línea, Solar Cooking, 2010

2.1.3 W. ADAMS

En 1876 en India, W. Adams desarrolló un horno octagonal de ocho espejos con el cual cocinaba en dos horas las raciones para siete soldados.

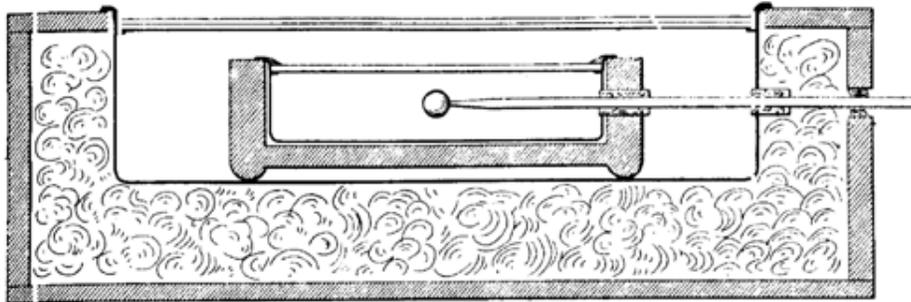
2.1.4 CHARLES G. ABBOT

En el mismo año, el Dr. Charles G. Abbot, entonces secretario del Instituto Smithsonian de los EE UU fue el primer inventor de una cocina solar indirecta, en la que el captador estaba fuera de la cocina, y el cocinero dentro de ella, utilizando aceite circulante que se calentaba con el captador, y podía almacenarse para poder cocinar por la noche. (Rincón, 2010: 11)

2.1.5 SAMUEL PIERPOINT LANGLEY

En 1881, el astrofísico americano Samuel Pierpoint Langley, director de la Smithsonian Institution, realizó experimentos con una caja caliente en lo alto del Monte Whitney, California, relatando sus experiencias en el número de 1882 de Nature: “Mientras ascendíamos lentamente... y la temperatura superficial del suelo bajaba hasta el punto de congelación, la temperatura en el interior de un recipiente de cobre tapado con dos láminas de vidrio para ventanas superaba el punto de ebullición del agua, y era cierto que los rayos del sol podrían hervir el agua contenida en aquel recipiente entre campos nevados”. La figura 27 muestra una sección transversal de la caja caliente de Langley. El termómetro que atravesaba las paredes por la derecha se empleaba para medir la temperatura del aire dentro de la caja interior.

Figura 26. Sección transversal de la caja caliente de Langley



Fuente: Butti y Perlin, (1985: 59), Un hilo dorado, 2500 años de arquitectura y tecnología solares

Butti y Perlin agregan que De Saussure., Herschel y Langley demostraron que en interior de una caja cubierta de vidrio podían producirse temperaturas superiores a la de ebullición del agua. Su inventor era consciente de que la caja caliente podría tener importantes aplicaciones prácticas, ciertamente la caja caliente se convirtió en prototipo de colectores solares de finales del siglo diecinueve y veinte; colectores capaces de suministrar agua caliente y calefacción a las casas y energía a las máquinas. (Butti y Perlin, 1985, 59)

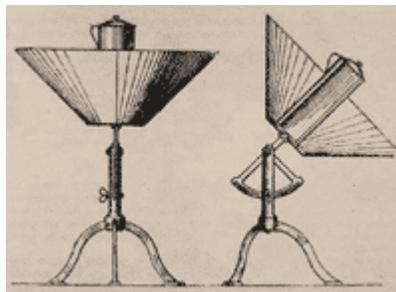
2.1.6 AUGUSTIN MOUCHOT

En 1877 el matemático Francés Augustin Mouchot, desarrolló un reducido horno solar portátil para las tropas francesas en África, que no requería combustible para la preparación de los alimentos.

El horno diseñado por Mouchot poseía un reflector cónico truncado, sobre cuyo foco se asentaba una marmita (olla con tapa ajustada) cilíndrica de metal dentro de una funda de vidrio, esquema ilustrado en la figura 28. El aparato entero solamente pesaba entre 13 y 18 kilogramos, pudiendo desmontarse y guardarse en una caja de 50 por 50 cm. Mouchot coció medio kilo de pan en 45 minutos, un kilo de patatas en una hora, un estofado (Guisado de carne cocida con especias y vinagre) de vaca en tres horas y un perfecto asado en menos de media hora.

Sustituyendo la marmita por botellas de vino recientemente procesado, el horno se convertía en pasteurizador. El sol calentaba las botellas, matando todo resto de bacterias susceptibles de multiplicarse luego cuando el vino era embarcado para largos viajes. (Butti y Perlin, 1985: 71-72)

Figura 27. Horno cónico truncado de Augustin Mouchot



Fuente: Butti y Perlin, (1985: 72), Un hilo dorado, 2500 años de arquitectura y tecnología solares

2.1.7 GOBIERNO FRANCÉS

En 1930, Francia envió muchas cocinas solares a sus colonias africanas, en tanto que en India comenzó a investigarse la energía solar para sustituir la leña, los residuos de cultivos y el estiércol como combustibles. (Rincón, 2010: 11)

2.1.8 SRI M. K. GHOSH

En 1945 el pionero indú Sri M. K. Ghosh diseñó la primera cocina solar de caja que fue comercializada. En la década de los años 50 científicos indúes en laboratorios gubernamentales diseñaron y construyeron varias cocinas solares comerciales, pero no fueron rápidamente aceptadas porque salía más barato cocinar con excremento seco de vacas.

2.1.9 FARRINGTON DANIELS Y GEORGE LÖF

También en 1945 Farrington Daniels y el recientemente fallecido George Löf de la Universidad de Winsconsin, introdujeron cocinas con concentración solar para el norte de México, con relativa aceptación, en tanto que Tom Lawand y colaboradores, de la Universidad McGill de Canadá, probaron cocinas solares de vapor en varios países tercermundistas, pero sin mucho éxito porque siempre hubo opciones más baratas para cocinar.

2.1.10 SOCIEDAD INTERNACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ISES)

En 1955 se crea la Asociación Para la Energía Solar Aplicada, que con los años devino en la Sociedad Internacional de Energía Solar (ISES). En su primer congreso, celebrado en Phoenix, Arizona, se presentaron varias cocinas solares, entres las que se incluían unas con concentrador parabólico, como la de J.L Ghai de la India, otra de George Löf, de EE UU; una más de Adnan Tarcici de Líbano y la de S. Goto de Japón. Además estaban las de caja de María Telkes y la de Freddy Ba Hli.

2.1.11 BARBARA KERR

En la década de los 70, Barbara Kerr, de EE UU, construyó varios tipos de cocinas solares de caja y con concentradores. Ella empleó los materiales más simples y baratos, incluyendo reciclados y papel de aluminio. Trabajó con Bob Larson a través de la organización People United for Self-Help para compartir estos simples pero efectivos diseños en vecindades de bajos ingresos y gente sin hogar.

2.1.12 GOBIERNO DE INDIA Y CHINA

En los años 80 los gobiernos de India y China expandieron la promoción nacional de cocinas solares de caja (India) y con concentración (China), el Instituto de Investigación Brace de la Universidad McGill, de Canadá, investigó y probó en campo varios modelos de cocinas solares, en tanto que en Costa Rica, el Prof. Shyam S. Nandwani desarrolla sus cocinas solares avanzadas de caja, y en Zimbabwe Tudor Roberts enseña a sus estudiantes la variedad de cocinas solares que él mismo construyó y utilizó.

En 1970 la creciente deforestación llevó a India y a China a considerar la cocina solar como política de estado para contenerla.

2.1.13 PAKISTÁN

En Pakistán fueron distribuidas cocinas solares a 20 mil refugiados afganos a través de SERVE (Serving Emergency Relief and Vocational Enterprises). Algunas eran del tipo de agujero en la tierra.

2.1.14 MARÍA TELKES

La Dra. Húngaro-Americana María Telkes investigadora en metalurgia asociada al M. I. T. desde 1945 trabajó en el campo de la energía solar, intentando aprovechar la capacidad de ciertos materiales para absorber grandes cantidades de calor en su proceso de fusión y liberarlo al enfriarse y solidificarse. Durante años buscó ese material barato y fácilmente disponible con bajo punto y alto punto de fusión. En 1946, la Dra. Telkes encontraría la que prometía ser la sustancia perfecta: las sales de Glauber o sulfato de sodio decahidratado, de uso común en la manufactura de vidrio, papel y detergentes. Para una gama concreta de temperatura, las sales de Glauber podían almacenar siete veces más calor que igual volumen de agua; su punto de fusión estaba en torno a los 33°C. El principal inconveniente era simplemente que cuando se funde por vez primera las sales, éstas se separan en dos cuerpos, el sulfato de sodio, más pesado, se deposita en el fondo y la solución de agua saturada permanece arriba. Surge el problema de volver a mezclar ambas partes en el curso de cualquiera de los ciclos subsecuentes. Para una mayor

eficacia, deberían mezclarse nuevamente durante el ciclo de congelación. A menos de conseguir volver a mezclar ambas soluciones, la solidificación sería únicamente parcial, e incompleta la recuperación del calor. Aunque se esforzaron en el laboratorio por controlar la estratificación, no obtuvieron los resultados esperados. (Butti y Perlin, 1985: 212-214)

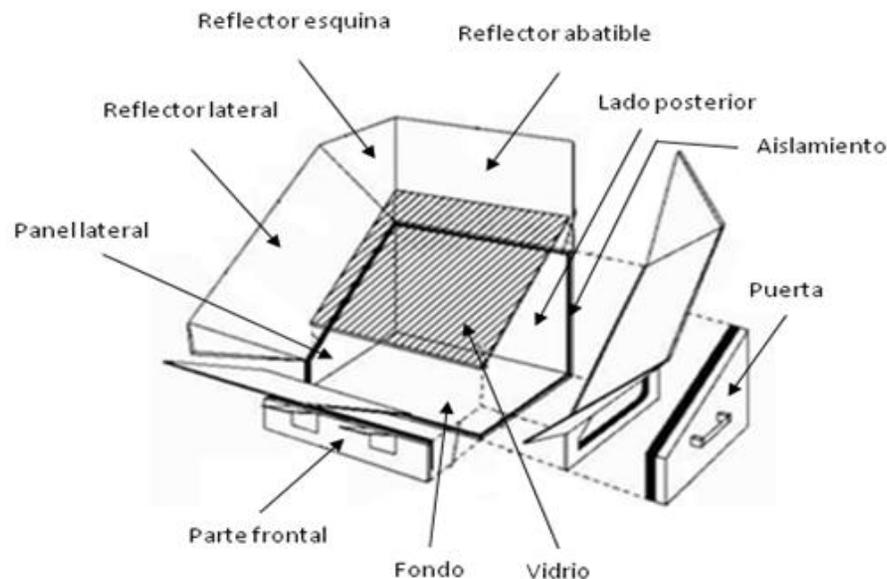
A pesar del esfuerzo hecho por la Dra. Telkes y su propuesta de diseño de una casa con calefacción solar, empleando las sales de Glauber como medio de almacenamiento de calor, el funcionamiento de las sales no fue el esperado. Por lo que Telkes reconoció la necesidad de implementar un sistema auxiliar de calefacción.

En 1959 la Dra. Telkes trabajó en el diseño de cocinas solares convirtiéndola probablemente en la primera persona en crear un horno solar práctico de uso diario.

El diseño desarrollado de reflectores hecho por Telkes fue uno de los mejores, el cual podía desarrollar temperaturas de hasta 225°C. (Lemelson-MIT, 2006)

En 1968 la Dra. Telkes publicó su libro intitulado “Hornos solares” (Rincón, 2010:12)

Figura 28. Diseño de cocina solar de María Telkes



Fuente: LEMELSON-MIT, (2010)

Un esquema del horno desarrollado por la Doctora Telkes se ilustra en la figura 29. La caja era rectangular de doble pared aislada con una puerta en cada lado. Tenía doble cristal fijo en la parte superior en la que había cuatro reflectores principales en un ángulo de 60 ° respecto a la horizontal. En los espacios de las esquinas entre estos reflectores fueron colocados espejos triangulares.

Las principales aportaciones de la Dra. Telkes en el aprovechamiento de la energía solar consisten en el estudio del almacenamiento de la energía solar mediante sales de paja punto de fusión, para su posible uso en diferentes horas del día en las cocinas solares, lo que le permite a este tipo diseño cierta independencia y flexibilidad. El trabajo realizado por la Dra. Telkes inspiró a decenas de investigadores en todo el mundo.

2.1.15 NACIONES UNIDAS

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”. (Cocinas solares. Manual de uso y construcción Censolar. España, 1994)

2.1.16 CHILE

En 1980, en Chile se hacen las primeras incursiones sociales de cocinas solares con tecnologías apropiadas. (Cassina, 2012)

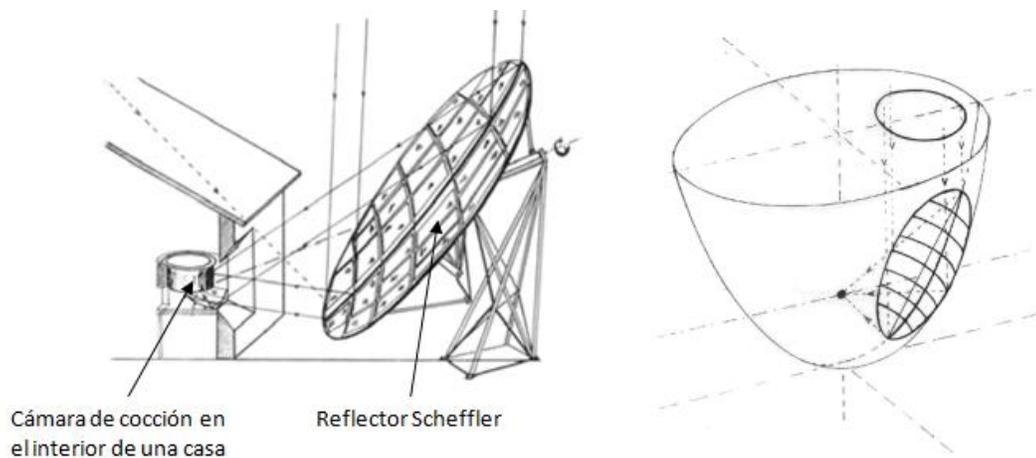
2.1.17 WOLFGANG SCHEFFLER

En 1986 el austriaco, físico Wolfgang Scheffler construyó la primera cocina solar parabólica comunitaria fuera de eje en una misión católica en el norte de Kenia y aún está en uso. Desde entonces, la tecnología ha sido sometida a continuos desarrollos y múltiples aplicaciones, de manera que el número de reflectores construidos e instalados aumenta de año en año. Hasta 2003 se calcula que se han

instalado aproximadamente 720 reflectores Scheffler en 21 países y existen unas 90 cocinas comunitarias utilizando esta tecnología, entre ellas ocho grandes instalaciones con funcionamiento por vapor de agua de hasta 106 reflectores en una sola instalación. (Martínez, 2004:155)

Los concentradores parabólicos fuera de eje están diseñados para reflejar y enfocar la luz solar a 90° , o a otro ángulo si es necesario. Esto evita que cuando se está trabajando con un receptor muy grande se proyecte sombra sobre la superficie del concentrador, como sucede con los concentradores axiales. Existe un diseño de concentradores parabólicos fuera de eje denominados reflectores Scheffler; y se emplean en cocinas solares que permiten que la cámara de cocción permanezca inmóvil y en el interior de una casa. La figura 30 muestra un Reflector Scheffler calentando una olla en el interior de una construcción. Este concentrador es una sección lateral de un paraboloides más grande cortado de manera inclinada.

Figura 29. Reflector Scheffler como sección de un paraboloides



Fuente: Villeda *et al.* 1998. La Energía solar

El concentrador parabólico fuera de eje recibe los rayos del Sol en una menor área y los envía a la cámara de cocción, está hecho con placas de material reflejante. El concentrador es una sección lateral de un paraboloides circular cortado de manera inclinada, que le da una forma elíptica.

2.1.18 INDIA

La Cocina Solar Más Grande del Mundo Sirve 38,500 Comidas en la India. La india en la actualidad posee la cocina solar más grande del mundo. Éste sistema ha sido instalado como una colaboración entre la Academia para un Mundo Mejor y la Universidad Espiritual Mundial Brahma Kumaris, con tecnología de Solare-Brückede Alemania. La cocina solar se ha creado en Taleti, cerca de Monte Abu, situada a una altitud de 1219 m sobre el nivel del mar en Rajasthan. Dispone de un sistema de cocción solar por vapor de seis módulos y un total de 84 concentradores de plato parabólico con receptores tipo concha. Cada óvalo concentrador parabólico tiene una superficie reflectante de 9,2 m², y reflejan la luz solar sobre los receptores de piezas especiales de vidrio de color blanco. El vapor se recoge en la cabecera de las tuberías, que luego se dirige a través de tubos a los buques en la cocina. La fotografía 9 muestra Instalación solar en la Universidad Espiritual Mundial Brahma Kumaris. El sistema genera temperaturas de hasta unos 650 °C, y de 3500-4000 kg de vapor por día. La comida se cocina en ollas de 200 a 400 litros de capacidad, que producen una media de 20.000 comidas al día, y hasta 38.500 durante los períodos de máximo volumen de la radiación. (Brahama Kumaris, 2012)

Fotografía 9. Instalación solar en la Universidad Espiritual Mundial Brahma Kumaris



Fuente: Deutsche Welle, 2010

El primer "pueblo libre de humo" de la India. También las empresas han sabido ver el potencial de las cocinas solares. La compañía Gadhia Solar se ha convertido en el mayor fabricante mundial de cocinas solares, con las cuales transforma las aldeas de

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

la India: en Bysanapali, en el Estado de Utta Pradesh, el humo ha desaparecido. Ahora sólo se utilizan hornillos solares. Otras veinte aldeas han mostrado su interés. Gadhia Solar también construye grandes instalaciones, por ejemplo para templos y hospitales. Los hasta ahora dieciocho grandes proyectos en marcha ahorrarán hasta 2012 4.000 toneladas de CO₂, aproximadamente las emisiones que generan anualmente 3.600 personas en la India.

En Muni Seva Ashram, en el Estado de Gujarat, India, Los escolares se alimentan con la comida cocinada en hornillos solares. (Schäfer, 2010)

La fotografía 10 ilustra la instalación solar en Muni Seva Ashram en la India.

Fotografía 10. Espejos parabólicos en Muni Seva Ashram



Fuente: Deutsche Welle, 2010

El comedor del templo de Tirupathi, en Andhra Pradesh, dispone de 106 reflectores solares tipo Scheffler como se muestra en la fotografía 11 y cocina la comida de un comedor al que acuden unas 18.000 personas diariamente. (Soliclíma, 2006)

Fotografía 11. Techo de la cocina del templo Tirupathi



Fuente: Soliclíma, 2006

2.1.19 SOLAR BOX COOKERS INTERNACIONAL

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.

2.1.20 RED IBEROAMERICANA DE COCCIÓN SOLAR DE ALIMENTOS” (RICSA)

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.

2.1.21 MÉXICO

En México el Dr. Hugo Solís Correa, de la UAM-A, promueve comidas solares empleando varios tipos de cocinas, incluyendo las de caja así como de concentración con espejos planos de bajo costo.

En la 1995 se diseña en Toluca la primera cocina solar Tolokatsin (toluqueñita), que emplea un concentrador solar multicompuesto optimizado, basado en la óptica anidólica, para hornear cualquier alimento dentro de un recipiente presurizado a temperaturas entre 100 y 140 °C. En 1999 se desarrolla el comal Tolokatsin 1, con el que es posible freír alimentos a temperaturas cercanas a 200°C. Otros desarrollos interesantes se realizan en la última década en la U. Iberoamericana por el físico Adolfo Finck Pastrana, el Cinvestav por José Antonio Urbano, en el CIE de la UNAM por Guadalupe Huelz y sus estudiantes, y otras instituciones públicas y privadas.

2.1.22 HORNO SOLAR *TOLOKATSIN*

La empresa Tellis, desde el 2010 ofrece dentro de su catálogo de productos al horno solar Tolokatsin, que fue diseñado para cocinar alimentos con una mejor captación de radiación solar y bajo estrictos estándares de diseño que aprueban la calidad en la cocción de alimentos. Inicialmente fue pensado para poder ofrecer este servicio a comunidades desprotegidas en las que es difícil el acceso a cualquier otro combustible. Por su fácil uso y diseño auto regulable es posible cocinar sin quemar los alimentos y en cualquier lugar bajo el sol directo.

Entre otras, el horno solar Tolokatsin posee las siguientes características:

1. Basa su principio de captación en un Concentrador Multicompuesto que concentra la energía del Sol en un cilindro interno.
2. Cuenta con una cubierta de vidrio templado que permite el paso de la radiación solar.
3. Su base y estructura externa resistente a la humedad y el calor
4. El concentrador es cilíndrico y hermético

5. El recipiente en donde se cocinan los alimentos es de acero inoxidable grado alimenticio, el cual cumple con los más altos estándares internacionales de calidad para la cocción de alimentos.
6. Su temperatura de diseño máxima en el concentrador cilíndrico es de 140° C. Esto permite que los alimentos no se carbonicen.
7. El horno alcanza rápidamente la temperatura de diseño, evitando así la producción de bacterias. El rango de temperaturas propicio para la generación de bacterias está entre los 40°C y los 60°C.
8. Sus dimensiones son: 49 cm de ancho; 79 cm de largo y 34 cm de alto.
9. Es un horno de fácil uso, de fácil transporte y resistente.

El horno solar Tolokatsin tiene una capacidad de ocho litros y permite cocinar raciones para 15 personas. El modelo de horno solar se muestra en la figura 12. Su costo es de \$8000.00 pesos más IVA. Con un tiempo de entrega entre dos y cuatro semanas. (Tellis, 2012)

Fotografía 12. Horno Solar Tolokatsin



Fuente: Tellis, (2012)

2.1.23 COMAL SOLAR *TOLOKATSIN*

Otro diseño que ofrece la empresa Tellis es el Comal solar Tolokatsin, ideal para asar y freír alimentos. El modelo de comal solar puede verse en la fotografía 13.

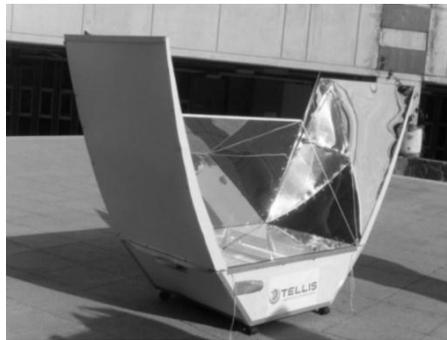
LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Basa su principio de captación en un Concentrador Multicompuesto. Y posee las siguientes características:

1. Su área de cocción de alimentos es una plancha horizontal hecha de acero inoxidable, la cual es calentada desde su cara inferior con radiación solar concentrada, que le permite asar y freír los alimentos.
2. La radiación solar concentrada se obtiene mediante el uso de un concentrador Multicompuesto matemáticamente optimizado.
3. Puede alcanzar temperaturas de hasta 250°C con cielo despejado.

Su costo es de \$8000.00 pesos más IVA. Con un tiempo de entrega entre dos y cuatro semanas. (Tellis, 2012)

Fotografía 13. Comal Solar Tolokatsin



Fuente: Tellis, 2012

2.2 LA COCINA Y LOS PROCESOS DE COCCIÓN DE ALIMENTOS

2.2.1 COCINA

Una cocina es el sitio de la casa en el cual se guisa la comida. También es el aparato o dispositivo que hace las veces de fogón u horno. Este aparato puede ser calentado por leña, carbón, gas LP o natural, electricidad, etc.

2.2.2 PROCESOS DE COCCIÓN DE ALIMENTOS

Los alimentos de acuerdo a su tipo, se pueden guisar de distinta manera, entre otras se presentan las siguientes técnicas:

2.2.2.1 ASAR LOS ALIMENTOS

Es el método más antiguo de cocción. Este método consiste en poner los alimentos sobre una parrilla o varilla en contacto directo con la llama o con el calor radiado por ella. Esto permite la rápida cocción del alimento. “El intenso calor mantiene dentro los jugos de la carne mientras se dora la parte exterior”. (Aguirre, 1998-88)

2.2.2.2 HERVIR LOS ALIMENTOS

Consiste en sumergir los alimentos en agua dentro de una olla y poner ésta en contacto directo con una fuente de calor. Los alimentos se guisan a una temperatura de entre los 60 °C a 100 °C. En una olla “a presión” la temperatura de la comida alcanza temperaturas superiores a los 100 °C.

1. Hervir debajo de la temperatura de ebullición (60-85 °C)
2. Antes del inicio del hervor (88-96 °C)
3. Propiamente a la temperatura de ebullición (100 °C)

2.2.2.3 FREÍR LOS ALIMENTOS

Consiste en agregar aceite a los alimentos y elevar la temperatura de cocción en un rango de 170 °C a 185 °C. La cocción de los alimentos por este medio es más rápida y profunda, con la incorporación del sabor del aceite a los alimentos.

2.2.2.4 HORNEAR LOS ALIMENTOS

Este proceso consiste en cocinar los alimentos en un espacio cerrado en presencia de aire caliente sin líquidos a alta temperatura.

2.2.2.5 SALTEDO

Técnica de freído en poca cantidad de aceite. Cocimiento efectuado en recipiente abierto, con mínima cantidad de grasa. Los alimentos cocinados por esta técnica se preparan justo antes de servirlos, esta técnica carece de líquido/humedad y sólo emplea grasa. (Aguirre, 1998-88)

2.2.2.6 REBOZADO

Técnica de freído a calor moderado, con suficiente cantidad de grasa para que en general cubra las dos terceras partes de la porción; la cantidad de grasa varía con el tipo de comida a freír. El tiempo de cocción es más prolongado que el freído en poca grasa. (Aguirre, 1998-88)

2.2.2.7 BREASEADO

Técnica aplicada en horno mediante el uso de poco líquido y en recipiente cerrado. Cocimiento en poco líquido, la carne previamente dorada y en recipiente cerrado se aplica a cortes de carne menos tiernos y de la parte más musculosa del animal. (Aguirre, 1998-88)

2.2.2.8 COCCIÓN A BAÑO MARIA

Cuando el agua hierve en un recipiente grande y se transmite el calor al alimento contenido en otro recipiente sumergido en el agua que contiene el primero. Este método se emplea para mantener calientes algunas salsas, para entibiar las mezclas lácteas en los biberones y para calentar alimentos que se transforman desfavorablemente cuando el recipiente que los contiene se calienta directamente al fuego. (Quintín, 1983-19)

2.3 TEMPERATURAS PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS

La seguridad de los alimentos cocinados por cualquier método requiere el conocimiento de ciertas normas alimenticias por ejemplo las del Codex Alimentarius¹³.

¹³ El Codex Alimentarius es una colección de normas alimentarias y otras disposiciones de carácter consultivo aceptadas internacionalmente y presentadas de modo uniforme para proteger la salud de los consumidores y asegurar la aplicación de prácticas equitativas en el comercio alimentario. El objeto del Codex Alimentarius es servir de guía y promover la elaboración y el establecimiento de definiciones y prescripciones sobre alimentos, con el fin de promover la armonización y facilitar con ello el comercio internacional. Entre la esfera de acción del Codex Alimentarius está la higiene de los alimentos.

La mayoría de las enfermedades gastrointestinales no son cuestión de buena o mala suerte. Son cuestión de higiene. Si se manejan alimentos y se hace con las manos sucias, cualquier persona que los ingiera corre el riesgo de enfermarse.

Por eso nunca se debe olvidar la práctica de una buena higiene personal empezando por:

1. Lavarse siempre las manos con agua y jabón.
2. Evitar, en lo posible, cualquier contacto manual con los alimentos y el hielo. Para manejarlos utilice siempre los utensilios adecuados.
3. No tocar con las manos las superficies que pueden tener contacto con los alimentos o la boca de los comensales.
4. Utilizar cofia, red o gorro para cubrir su cabello por completo evitando tocarlo y que caiga en los alimentos.
5. No permitir que ninguna persona enferma esté en contacto con los alimentos.

2.3.1 CONTROL DE LA TEMPERATURA EN LA PREPARACIÓN DE ALIMENTOS

El control de la temperatura en la preparación de los alimentos se basa en el conocimiento de que las bacterias mueren rápidamente a 60 °C o más y que no se desarrollan a 7 °C o menos. Este intervalo de temperaturas es conocido como la "zona peligrosa". Para protegerse contra las intoxicaciones, los expertos recomiendan que la comida se mantenga por encima o por debajo de estas temperaturas. (Cfr. Aguirre, 1998-220)

- Se recomienda que se cocinen bien todos los alimentos, de preferencia que alcancen el punto de ebullición (100 °C).
 - Agua, leche, sopas y salsas deben tener una ebullición mínima de 10 minutos.
 - Las aves y las carnes rellenas deben alcanzar una temperatura interna mínima de 74 °C.
 - El cerdo debe alcanzar 66 °C internamente y el roast beef, 56 °C.

- Al recalentar los alimentos, debe ser a 74 °C o más y nunca servir alimentos a temperatura ambiente; deben servirse bien calientes ya que hay una probabilidad de intoxicación por botulismo¹⁴ o salmonelosis. Aunque se recaliente la comida, si ésta ha estado en la zona peligrosa durante tres o cuatro horas, queda un riesgo latente de intoxicación, tanto en la comida cocinada por el Sol como en la cocinada por cualquier otro método.
- No se debe permitir que los alimentos permanezcan en la zona de peligro de la temperatura (entre 7 y 60 °C) por más tiempo de absolutamente necesario durante en proceso de preparación, conservación y servicio.
 - Mantener los alimentos bien calientes: 60 °C o más.
 - Mantener los alimentos bien fríos: 7 °C o menos. De modo especial los que se guardan para consumo posterior.
 - Nunca descongelar los alimentos a temperatura ambiente sino en el refrigerador.

La mayoría de las enfermedades intestinales son causadas por bacterias, virus y otros microbios que son frecuentes en el agua que la gente usa para beber o lavar. Cuando la gente bebe estos microbios vivos, éstos se multiplican y causan una enfermedad.

El problema del agua contaminada es de los más grandes de la humanidad. Se estima que hay más de mil millones de personas en el mundo que no tienen acceso a agua limpia. Se estima también que las enfermedades diarreicas que provienen del agua contaminada provocan la muerte de unos 2 millones de niños y causan cientos de miles de episodios de enfermedad cada año.

La única recomendación que suele hacerse es la de hervir el agua durante 10 minutos, lo cual es un método muy efectivo para matar los microbios del agua y de la leche, generalmente quemando un combustible.

¹⁴ EL botulismo es una enfermedad producida por la toxina de un bacilo específico contenido en los alimentos envasados en malas condiciones.

Hay algunas bacterias infecciosas que se pueden encontrar en el agua, pero no suelen ser resistentes a las altas temperaturas. Las causas más comunes de diarrea aguda en los niños son las bacterias *Escherichia coli* y la *Shigelia SD*, y el grupo de virus rotavirus. Estos pueden matarse a temperaturas de 60 °C ó más.

Conforme el agua se va calentando en una cocina solar, las temperaturas sobre los 56 °C empiezan a matar los microbios que pueden causar enfermedades. David Ciochetti descubrió en 1983 que calentar agua en una cocina solar a 66 °C es suficiente para pasteurizarla y matar todos microbios causantes de enfermedades. El hecho de que el agua puede sanearse a esta baja temperatura –tan sólo 66 °C - en vez de 100 °C (ebullición a nivel del mar), presenta una oportunidad real para resolver el problema del agua contaminada (Rincón, 2010).

Por otro lado el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) por sus siglas en inglés, a través del Departamento de Inspección e Inocuidad de Alimentos (FSIS) también por sus siglas en inglés, recomienda temperaturas de cocción para cortes de carne (carne de cerdo, filetes, chuletas) de 62.78 °C (145 °F) temperatura medida en la parte más gruesa del corte y dejando la carne en reposo¹⁵ durante tres minutos antes de cortarla o consumirla. La temperatura de cocción de carne molida de puerco, carne molida de res, ternera, cordero es de 71.11 °C (160 °F) y no requieren de un tiempo de reposo. La temperatura de cocción segura para todos los productos avícolas, incluyendo carne picada de pollo y pavo se mantienen en 73.89 °C (165 °F). La tabla 3 indica las temperaturas de cocción seguras para distintos tipos de carne.

¹⁵ El tiempo de reposo es la cantidad de tiempo que el producto permanece a la temperatura final, después de que ha sido retirado de una parrilla, horno o la fuente de calor. Durante tres minutos después de que la carne se retira de la fuente de calor, su temperatura se mantiene constante o sigue en aumento, destruyendo a los agentes patógenos.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Tabla 3. Temperatura de cocción segura para distintos tipos de carne

TIPO DE CARNE	TEMPERATURA DE COCCIÓN SEGURA
CORTES DE CARNE	62.78 °C
CARNE MOLIDA (CERDO Y RES)	71.11 °C
CARNE DE AVES DE CORRAL	73.89 °C

Fuente: (USDA), Recommended cooking temperatures

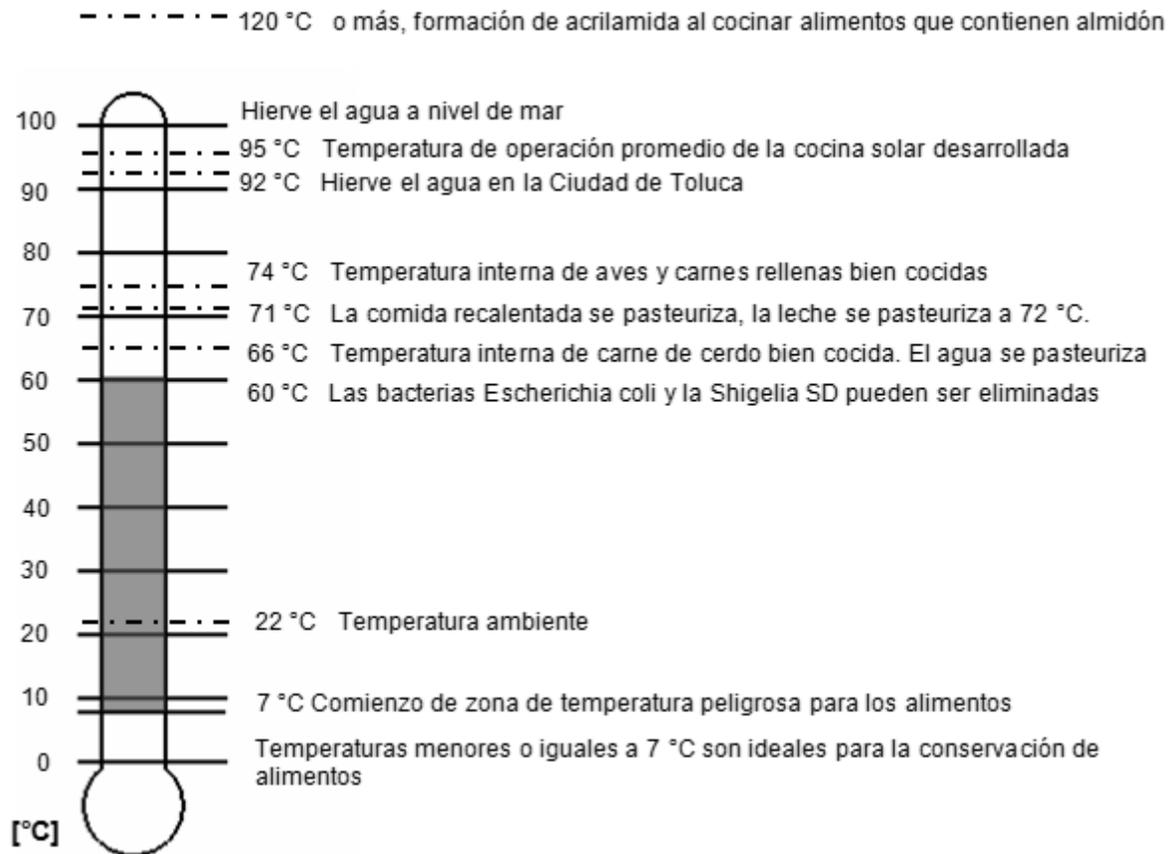
El proceso de pasteurización es un proceso que es suficiente para matar los microbios más resistentes a las altas temperaturas, como las bacterias de la tuberculosis y de la salmonelosis. La leche se pasteuriza a los 71 °C durante sólo 15 segundos. Alternativamente, 30 minutos a 62,8 °C sirven igual. Algunas bacterias son resistentes y pueden sobrevivir tras el pasteurizado de la leche, pero estas bacterias no causan enfermedades a las personas.

Por otro lado cocinar a altas temperaturas es perjudicial para nuestra salud, ya que los alimentos pierden sus propiedades nutritivas porque se pueden destruir proteínas, vitaminas y generar productos nocivos.

La zona sombreada de la figura 31 representa la temperatura a la cual los alimentos se encuentran en riesgo de descomposición o presencia de bacterias que ponen en riesgo la salud del ser humano.

Todos los métodos de cocción de alimentos, tienen una característica en común, que es la necesidad de una fuente de calor para cocerlos. Convencionalmente se emplea al carbón, la leña, el gas LP y natural, electricidad, entre otros como fuente energética. Sin embargo es posible utilizar otras fuentes de energía como el sol y la biomasa, por ejemplo.

Figura 30. Temperaturas características en el proceso de cocción de alimentos



Fuente: Elaboración propia, Toluca 2012

2.4 COCINA SOLAR

Al emplear al sol como fuente energética para la cocción de alimentos, surge lo que se denomina la cocina solar. Este tipo de cocina es único, ya que para su funcionamiento incorpora varias características y principios fundamentales que le permiten un buen desempeño es decir una buena cocción de alimentos. Tales características son entre otras: el efecto invernadero empleado para la acumulación de calor, el color negro empleado en el elemento absorbedor, el uso de materiales reflejantes y diferentes tipos de concentradores de la radiación solar, el uso de materiales aislantes térmicos, el uso de materiales transparentes, la orientación del dispositivo, entre otras. La fotografía 14 muestra el diseño de cocina solar desarrollado a lo largo de esta investigación.

Fotografía 14. Cocina solar desarrollada durante el trabajo de investigación



2.4.1 BENEFICIOS DEL USO DE LA COCINA SOLAR

El uso de cocinas solares representa grandes beneficios ambientales. “Se ha calculado que la contaminación del aire en la Ciudad de México se reduciría en un 40% si en vez de gas doméstico, LP o natural, se utilizara tecnología solar” (Rincón, 2010: 13)

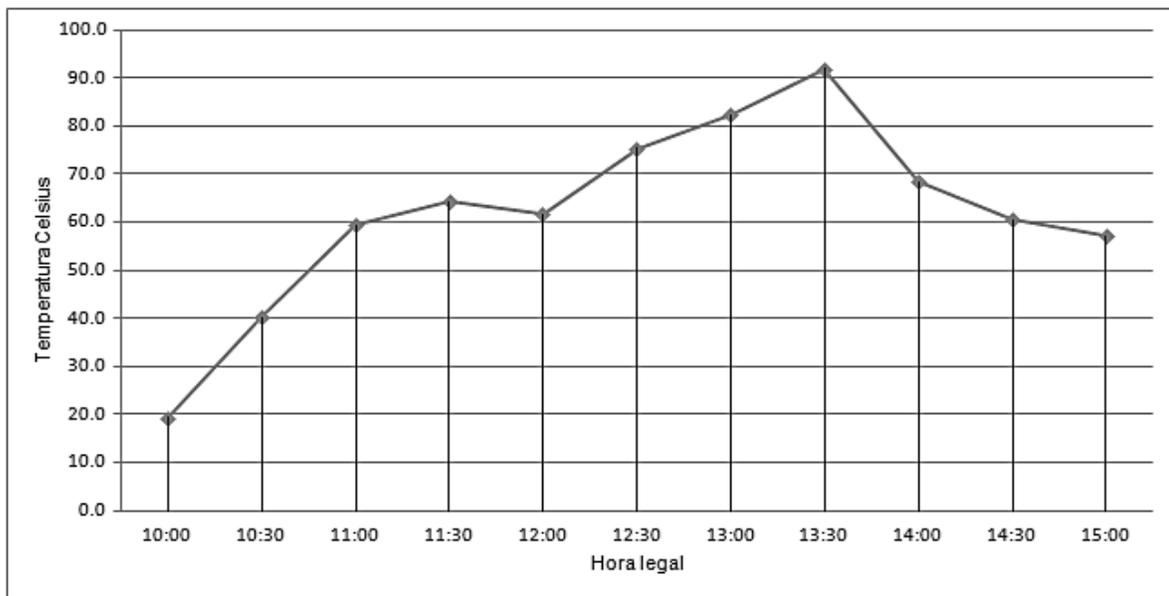
Es más sano, porque los alimentos conservan su valor nutritivo, no necesita agregarse aceite porque los alimentos no se pegan, ni necesitan ser removidos mientras se cocinan, y el resultado es un mejor sabor.

Se libera al cocinero de exponerse al influjo pernicioso del humo y las cenizas, cuando se cocina con leña, o de respirar el gas que no se quema, que produce enfermedades y contamina el ambiente.

2.4.2 TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LA COCINA SOLAR.

Las cocinas solares dependiendo de su tipo pueden alcanzar temperaturas desde los 80 °C hasta 300 °C. La gráfica 4 muestra los rangos de temperatura característicos en los procesos de cocción de alimentos empleando el diseño de cocina solar propuesto en este estudio.

Gráfica 4. Temperatura característica en el proceso de cocción de alimentos empleando la cocina solar propuesta



Observamos de la gráfica que se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 92°C que permiten la cocción de alimentos. Así mismo observamos que en presencia de nubosidad, la temperatura al interior de la cocina solar no disminuye drásticamente, si no que disminuye gradualmente a lo largo del tiempo. Sin embargo es recomendable retirar los alimentos del interior de la cocina solar si se presenta nubosidad por tiempos prolongados, esto con la finalidad de evitar riesgos de contaminación de los alimentos.

2.5 CLASIFICACIÓN DE HORNOS Y COCINAS SOLARES

Una de las primeras clasificaciones de cocinas solares es hecha por Shyam S. Nandwani (*) Ph.D. investigador Costarricense sobre el uso de la energía solar como fuente básica de energía para la cocción de alimentos. Actualmente es miembro de la International Solar Energy Society (ISES), Alemania, de la International Society on Renewable Energy Education (ISREE), EUA, entre otras.

Nandwani clasifica a los dispositivos para la cocción de alimentos en tres categorías:

2.5.1 COCINA DE ENFOQUE O DIRECTA

En este tipo de cocina el recipiente que contiene los alimentos se coloca en el punto focal del reflector parabólico. El Dr. Eduardo Rincón coincide con la clasificación de Nandwani y añade que funcionan con radiación solar directa y necesitan rotarse continuamente para seguir el movimiento del Sol. La fotografía 15 ilustra este tipo de cocina solar. La ventaja relativa que tienen es que consiguen temperaturas elevadas de hasta 300° C, según el tamaño del espejo y la influencia del viento, lo que permite la rápida cocción de los alimentos. Las desventajas son que hay que cuidar que los alimentos no se quemen y el riesgo de reflejos intensos a los ojos que pueden dañar la vista (*Cfr.* Rincón, 2010: 15)

Fotografía 15. Cocina parabólica de enfoque

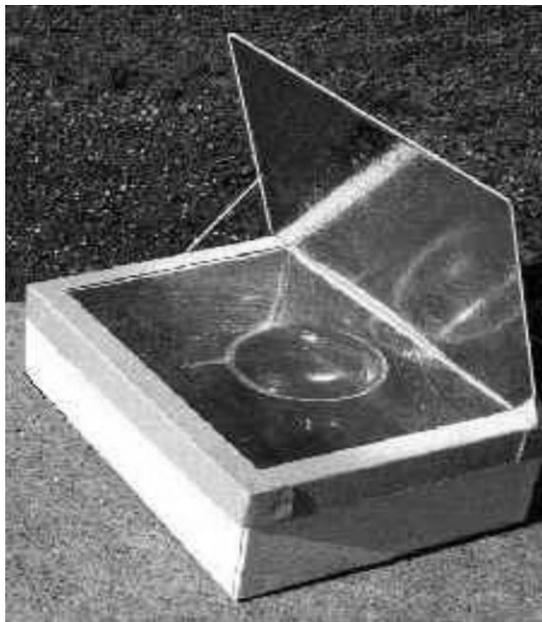


Fuente: Rincón, (2010: 15), Notas del curso “cocina solar”

2.5.2 HORNO SOLAR O COCINA TIPO CAJA

Este tipo de cocina es una cámara aislada con o sin reflectores, con una ventanilla en la parte superior, a través de la cual penetra la radiación solar. De esta radiación, aproximadamente un 90% atraviesa el vidrio y alcanza una lámina negra que la absorbe y emite radiación infrarroja, que no se pierde gracias a que el vidrio es opaco a este tipo de radiación, de este modo la caja se convierte en una trampa de radiación solar que eleva su temperatura interior. La fotografía 16 muestra un ejemplo de horno o cocina solar tipo caja. Sus ventajas son su facilidad de construcción y su bajo coste, su desventaja es que en general requieren de buena insolación para trabajar bien.

Fotografía 16. Horno o cocina solar tipo caja



Fuente: En línea. Solar Cooking, 2010

Una variación a las cocinas de caja son las cocinas de “caja abierta” mostrada en la fotografía 17, que llevan reflectores que simulan un plato parabólico pero con secciones planas mucho más sencillas de elaborar. El receptor puede ser muy sencillo hecho de una olla pintada de color negro o uno más complejo compuesto de

2 recipientes, uno de vidrio transparente en el exterior y otro metálico y negro en el interior, donde se cuecen los alimentos (Cfr. Rincón, 2010: 15)

Fotografía 17. Cocina de caja abierta con concentración solar



Fuente: Rincón, (2010: 15), Notas del curso “cocina solar”

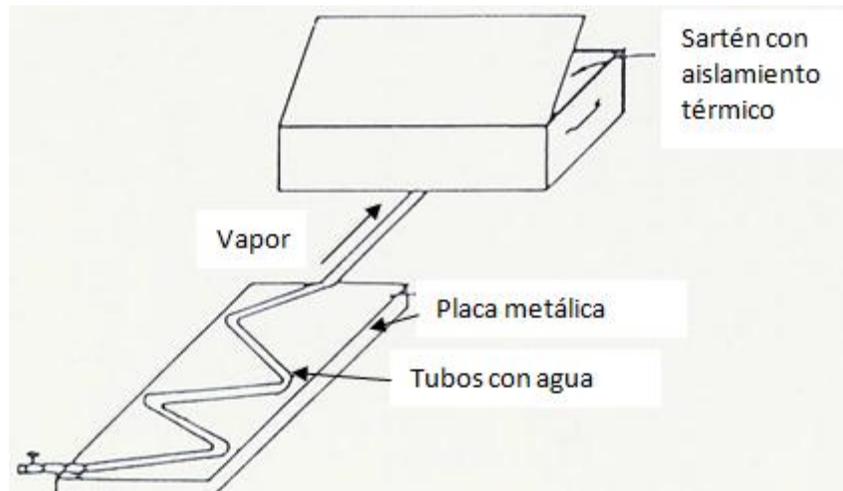
2.5.3 HORNO DE VAPOR O INDIRECTO

En este tipo de cocina un colector plano calienta una cantidad pequeña de agua produciendo vapor. Debido a su baja densidad, el vapor sube hacia el recipiente con alimentos. El vapor transfiere el calor, se condensa y vuelve al colector, evaporándose otra vez para provocar un ciclo continuo de transferencia de calor hasta que se cocinan los alimentos. La figura 32 muestra un esquema básico de horno de vapor u horno indirecto. Una de las ventajas de estos sistemas es que se cocina dentro de la casa, pero son más complicados y caros.

Nandwani hace una diferencia entre horno y cocina solar, y esta consiste en que en el horno el recipiente recibe calor de todos lados uniformemente y en la cocina el recipiente recibe calor de un solo lado principalmente del fondo.

Añade además que un horno sirve principalmente para hornear los alimentos y la cocina solar sirve principalmente para freír los alimentos pero no fácilmente para hornear.

Figura 31. Horno de Vapor o indirecto



Fuente: Nandwani, (2006), Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente

Por su parte el Dr. Eduardo Rincón Mejía, investigador de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México y de la Universidad Autónoma del Estado de México, ha dedicado parte de sus estudios a la aplicación de la energía solar pasiva a sistemas fototérmicos dedicados a la cocción de alimentos, calentadores solares de agua, deshidratadores solares, hornos para la fundición de metales y sistemas para procesos industriales, entre otras.

Este autor menciona que el uso generalizado de cocinas solares representaría grandes beneficios ambientales en primer plano, pues se estima que la contaminación del aire se reduciría en un 40% si en vez de gas LP o gas natural se utilizara tecnología solar.

Traería además importantes beneficios económicos, ya que la energía solar no cuesta nada y ahorra horas de trabajo al sustituir la leña.

Es más sano, porque los alimentos conservan su valor nutritivo, no necesita agregarse aceite porque los alimentos no se pegan, ni necesitan ser removidos mientras se cocinan, y el resultado es un mejor sabor.

Se libera al cocinero de exponerse al influjo pernicioso del humo y las cenizas, cuando se cocina con leña, o de respirar el gas que no se quema, que produce enfermedades y contamina el ambiente.

Le da tiempo libre: en vez de estar frente a la estufa tradicional puede dar un paseo u ocuparse en otras actividades recreativas o de trabajo.

Las posibilidades de uso de las cocinas solares son tan diversas como su imaginación y creatividad se lo permitan; no hay límites, todo depende de que el modelo sea el adecuado. Modelos sencillos pueden esterilizar materiales de curación, deshidratar frutas y verduras para conservas.

Las estufas solares poco optimizadas, como las de cartón, tienen ciertas limitaciones: no pueden ser utilizadas por la noche, en días lluviosos o en interiores. No obstante, en el naciente mundo de la industria solar existen diseños cada vez más eficientes, como los hornos solares *Tolokatsin*, con los que se pueden preparar simultáneamente varios guisos por la mañana y encontrarlos calientes a cualquier hora de la tarde o en las primeras de la noche. (Cfr. Rincón, 2010: 13-14)

El Dr. Eduardo Rincón en su clasificación de hornos y cocinas solares añade los diseños desarrollados por él basados en los concentradores solares del tipo parabólico compuesto, también llamados CPC. Estos concentradores fueron desarrollados independientemente en Estados Unidos por H. Hinterberger y Roland Winston, y en la entonces Unión Soviética por V.K. Boronov y G. Melnikov. (Rincón, 2010: 17)

Estos concentradores han sido utilizados para el calentamiento de agua y forman parte de algunos concentradores multicompuestos desarrollados por el Dr. Rincón para hornos que son muy útiles para grandes cantidades de alimentos.

2.5.4 COCINA SOLAR MIXTA

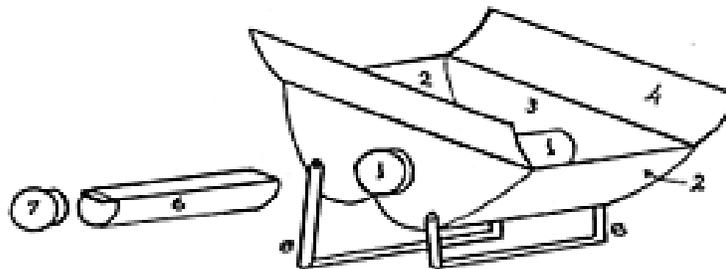
La cocina solar mixta es un tipo de dispositivo diseñado para el uso de energía solar como fuente calórica para la cocción de alimentos, que incorporan en su diseño los

denominados Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) y elementos de otros tipos de cocinas tales como cámaras aisladas, reflectores planos etc. característicos de las cocinas tipo horno o caja.

2.5.4.1 LOS HORNOS SOLARES *TOLOKATSIN*

Los hornos constan de un Concentrador Multicompuesto CMC de 8 espejos, distribuidos en cuatro pares, como se muestra en la figura 33. Tienen un recipiente hermético cilíndrico que se calienta por la luz solar concentrada. Dentro del horno se coloca otro recipiente, de acero inoxidable, en donde se ponen los alimentos. Nada se puede quemar, ya que la temperatura no sobrepasa los 140°C.

Figura 32. Horno solar *Tolokatsin* con concentrador multicompuesto

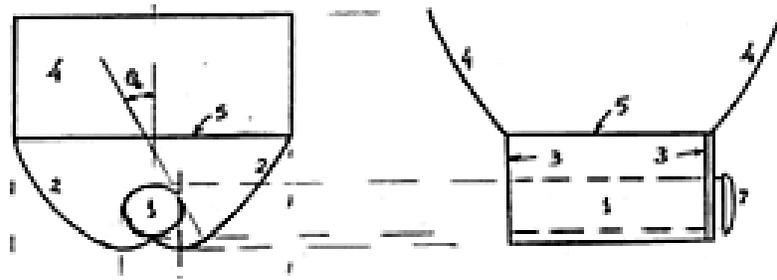


Fuente: Rincón, (2010: 18), Notas del curso “cocina solar”

- 1 Horno hermético
- 2 Espejos planos principales
- 3 Espejos planos laterales
- 4 Espejos curvos secundarios
- 5 Cubierta transparente
- 6 Recipiente para alimentos
- 7 Tapa del Horno
- 8 Patas ajustables

La figura 34 muestra las vistas frontal y lateral del horno solar *Tolokatsin* con concentrador multicompuesto.

Figura 33. Horno solar *Tolokatsin* con concentrador multicompuesto



Fuente: Rincón, (2010: 18), Notas del curso “cocina solar”

La tabla 4 enlista los elementos geométricos incorporados en la sección transversal del horno solar *Tolokatsin*.

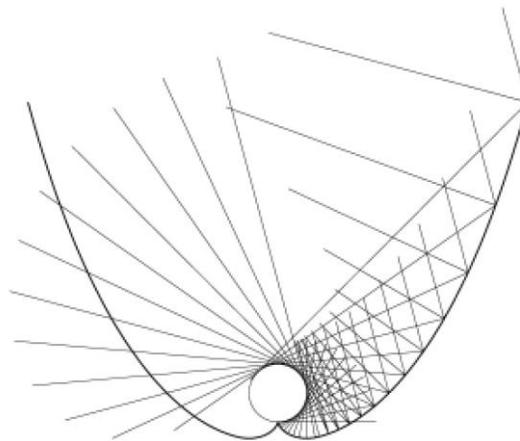
Tabla 4. Geometría de la sección transversal del Horno solar *Tolokatsin*

Número de par	Geometría de sección transversal
1	Involuta de circunferencia
2	CPC para absorbedor circular
3	Recta (espejos planos)
4	CPC para absorbedor plano

Fuente: Rincón, (2010: 18), Notas del curso “cocina solar”

La figura 35 muestra el trazado de rayos con un ángulo de incidencia de 0° a 30° que inciden sobre el absorbedor de un Horno *Tolokatsin*.

Figura 34. Trazado de rayos que inciden sobre el absorbedor de un Horno *Tolokatsin*



Fuente: Rincón, 2010. La cocina solar

Los hornos son herméticos y esterilizadores, de modo que mientras no sean abiertos, una vez cocidos los alimentos podrían conservarse durante días sin necesidad de refrigeración, aunque esto no se recomienda hacer.

Los alimentos se pueden colocar dentro del horno antes de que amanezca, y sacarse a la hora que uno desee comer (mediodía, por la tarde, en la noche, etcétera). Los alimentos estarán bien cocidos, y quedan más sabrosos y nutritivos. (Rincón, 2010: 18)

2.5.4.2 LOS COMALES SOLARES *TOLOKATSIN*

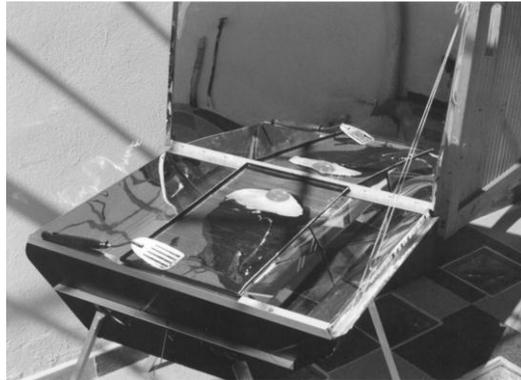
Un comal solar es un dispositivo que consiste en una plancha horizontal metálica o cerámica que se calienta con radiación solar concentrada para tostar o freír alimentos. En México los comales convencionales son indispensables para la preparación de muchos alimentos de origen prehispánico.

Los comales solares *Tolokatsin* consisten en una plancha horizontal de acero inoxidable o de barro cocido que se calienta principalmente desde abajo con radiación solar concentrada proveniente de un concentrador multicompuesto que generalmente tiene 11 ó 15 espejos. (Rincón, 2010: 20)

Este diseño permite concentrar la luz solar durante casi una hora sin necesidad de seguir al Sol, se pueden alcanzar temperaturas cercanas a 200° C, suficientemente altas para freír y tostar.

Los diseños *Tolokatsin* 1 y 2 emplean espejos planos y solamente dos curvos, para facilitar su construcción en poblaciones con poca infraestructura industrial, tal como se ilustra en la fotografía 18.

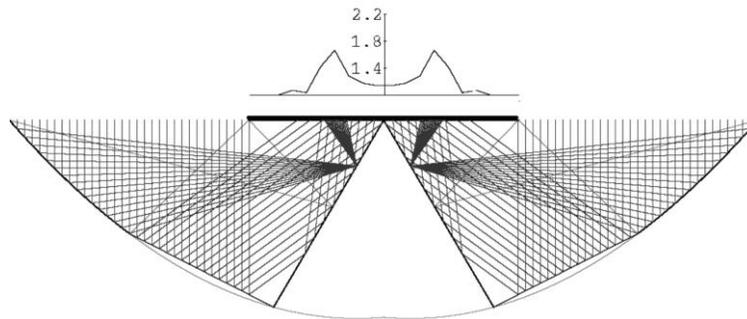
Fotografía 18. El primer comal solar Tolokatsin, 1999



Fuente: Rincón, (2010: 21), Notas del curso “cocina solar”

La figura 36 muestra un trazado de rayos solares cayendo a plomo sobre un comal Tolokatsin 1, mostrando las zonas de alta concentración, y en consecuencia, de altas temperaturas.

Figura 35. Trazado de rayos que inciden perpendicularmente sobre el comal solar



Fuente: Rincón, (2010: 22), Notas del curso “cocina solar”

2.6 CONCLUSION DE CAPÍTULO

Los modelos de cocinas solares desarrollados a lo largo del tiempo desde 1767 hasta nuestros días, han permitido experimentar a través de diferentes diseños el uso de la energía solar como fuente calórica para cocinar alimentos. Tener un antecedente histórico respecto a este tema representa un gran apoyo para entender cómo se ha abordado el diseño de cocinas solares e identificar las características que han hecho exitosos a cada uno de los modelos creados y de este modo enfocar

el estudio en proponer mejoras a esas características y nuevos diseños de acuerdo a nuestro nivel de entendimiento y conocimiento del uso de la energía solar.

Al proponer un diseño de cocina solar es necesario entender los distintos procesos de cocción de alimentos a fin de identificar temperaturas de cocción y características esenciales que permiten cocer alimentos de manera segura.

Al hablar de una cocina solar es fundamental entender que al emplear al sol como fuente energética para la cocción de alimentos, surge lo que se denomina la cocina solar. Este tipo de cocina es único, ya que para su funcionamiento incorpora varias características y principios que le permiten un buen desempeño, es decir, una buena cocción de alimentos

Como fue mencionado en párrafos anteriores, existen diversos modelos de cocinas solares, sin embargo todos estos pueden ser clasificados en cuatro grande grupos: La cocina de enfoque o directa donde el recipiente que contiene los alimentos se coloca en el punto focal de un reflector parabólico; la cocina solar tipo caja que es una cámara aislada con o sin reflectores, con una ventanilla en la parte superior, a través de la cual penetra la radiación solar y el recipiente que contiene los alimentos es colocado en su interior; los hornos de vapor o indirectos los cuales generan vapor de agua de distintas maneras empleado la radiación solar, este vapor es conducido hacia los contenedores de alimentos y de este modo son cocidos; cocina solar mixta, la cual incorpora en su diseño los denominados Concentradores Parabólicos Compuestos y además emplea la característica de la cocina tipo horno o caja.

**CAPÍTULO III: LOCALIDAD DE
APLICACIÓN DE LA COCINA SOLAR
PARA EL ADULTO MAYOR DE LA
ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA**

El estudio se desarrolló en una casa habitación de la comunidad de San Francisco *Tlalcilcalpan* municipio de *Almoloya* de Juárez, Estado de México.

Generalidades del municipio de *Almoloya* de Juárez

El nombre que lleva el municipio de *Almoloya* de Juárez proviene del náhuatl, que es propiamente *Almoloyan*, compuesto de: *atl*, “agua”; *molo* “voz impersonal de *moloni*, manar la fuente” y *yan*, “lugar”; que significa “lugar donde mana la fuente de agua”.

3.1 LOCALIZACIÓN

El municipio se localiza en la región I Toluca, pertenece al XIV distrito judicial y rentístico con sede en la capital del estado, al que corresponden los municipios de Toluca, *Metepiec*, *Temoaya*, Villa Victoria y *Zinacantepec*.

Se localiza entre las coordenadas 90° 14' 20" y 19° 33' 01" de latitud norte y 99° 42' 07" y 99° 56' 13" de longitud oeste.

Almoloya de Juárez colinda con seis municipios: al norte con San Felipe del Progreso e *Ixtlahuaca*, al sur con *Zinacantepec*, al este con Toluca y *Temoaya* y al oeste con Villa Victoria y *Amanalco* de Becerra.

La tabla 5 indica coordenadas geográficas del municipio de *Almoloya* de Juárez:

Tabla 5. Localización del municipio de *Almoloya* de Juárez

Geometría terrestre	Mínima	Máxima
Longitud oeste	99° 42' 07"	99° 56' 13"
Latitud norte	19° 14' 20"	19° 33' 01"

La altitud promedio del territorio municipal es de 2,600 metros sobre el nivel del mar.

3.2 OROGRAFÍA

El relieve del municipio es bastante irregular. En la parte suroeste se observa pendientes pronunciadas, el noroeste que forma parte del valle de *Ixtlahuaca*, cuenta con superficies planas, óptimas para el desarrollo de actividades agropecuarias.

3.3 CLIMA

El clima es un elemento condicionante del desarrollo agrícola, en el sentido de que limita o permite el cultivo de especies agrícolas, prevalece el clima templado subhúmedo, propicio para la producción de cereales, frutales y algunas hortalizas.

Aunado a este factor, se encuentran precipitaciones pluviales, fenómeno que se presenta entre tres y cuatro meses del año; la temperatura promedio oscila entre los 13.5°C y 30.1°C, clasificándose de acuerdo a Köppen¹⁶ como: Cb(w2) (w) (i') (g); cuyo significado es el siguiente:

- C = Grupos de climas templados subhúmedos con lluvias en verano.
- b = Verano fresco, largo con temperatura media del mes más cálido de 6.5°C y 22°C.
- (w2) = Los más húmedos de los climas templados subhúmedos.
- (w) = Porcentaje de lluvia invernal menor del 5%.
- (i') = Isoterma, oscilación menor de 5°C.
- (g) = El mes más caliente ocurre antes de junio.

3.4 TEMPERATURAS

De acuerdo con la información proporcionada por la Comisión Nacional del agua, las temperaturas predominantes en el municipio son mostradas en la tabla 6.

¹⁶ La clasificación climática de Köppen, también llamada de Köppen-Geiger fue creada en 1900 por el científico ruso de origen alemán Wladimir Peter Köppen y posteriormente modificada en 1918 y 1936. Consiste en una clasificación climática mundial que identifica cada tipo de clima con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan dicho tipo de clima.

Tabla 6. Temperaturas promedio del municipio de Almoloya de Juárez

Temperatura promedio	12.5°C
Temperatura máxima extrema	27.1°C
Temperatura mínima extrema	3.8°C

3.5 UBICACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN

3.5.1 GENERALIDADES DE LA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO TLALCILALCALPAN

La comunidad de San Francisco Tlalcilalcalpan se encuentra a una altitud de 2700 metros sobre el nivel del mar. El centro de la población se encuentra en las coordenadas indicadas en la tabla 7. Cuenta con una población de 17 mil habitantes.

Tabla 7. Localización del centro de la comunidad de San Francisco *Tlalcilalcalpan*

Longitud oeste	99° 45' 51"
Latitud norte	19° 17' 37"
Altitud	2700 msnm

Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

La casa habitación donde se desarrolló el estudio se ubica en la calle Independencia oriente. A un costado del Panteón municipal. La fotografía 19 muestra la ubicación del espacio en estudio. La casa cuenta con un patio de 4 X 10 m y un solar útil para el aprovechamiento de la radiación solar de 5 X 20 m como se muestra en fotografía 20.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Fotografía 19. Espacio de la casa habitación útil para el aprovechamiento de la energía solar



Fotografía 20. Localización de la casa habitación donde se implementa la cocina solar



Fuente: Google maps, 2011

3.5.1 DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO EN ESTUDIO

El espacio destinado para la implementación de la cocina solar tiene las siguientes dimensiones: es un espacio rectangular de 5 m de ancho por 10 m de largo. El lado sur colinda con una construcción de adobe; esta construcción tiene una altura máxima de 3 metros, la sombra proyectada no afecta el funcionamiento de la cocina.

El terreno al lado norte y oriente colinda con una cerca de un metro de altura, la cual no tiene ninguna afectación para la concentración solar. Al lado poniente el espacio está limitado por una barda de adobe de 2 m de altura la cual no presenta afectación por sombra a la cocina.

3.5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS HABITANTES DE LA CASA HABITACIÓN

Los habitantes de la casa donde se implementó la cocina solar, son tres integrantes; una pareja de adultos mayores y un adulto. Cotidianamente se integran a esta casa cuatro personas para comer.

De manera cotidiana la señora de la casa cocina empleando como fuente energética gas LP, leña y carbón. Cocina al interior de la casa o en el exterior; dependiendo el platillo a cocinar, el tiempo para hacerlo y las condiciones del tiempo.

Esta persona tuvo gran interés en cocinar con el sol ya que gusta de hacerlo al exterior y representa un ahorro económico significativo ya que puede cocinar y precalentar los alimentos usando la cocina solar.

Una característica importante observada es que la cocina solar tuvo que ser muy práctica y funcional. Para la señora de la casa representa una oportunidad el hecho de cocinar al exterior, puesto que muchas de sus actividades cotidianas se desarrollan en el solar. Y cocinar en ese mismo lugar, es muy bueno y le da gran flexibilidad y ahorro de tiempo ya que no tiene que ir hasta la cocina convencional a revisar el proceso de cocción, ni tiene la preocupación de que los alimentos se quemem.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

CAPÍTULO IV: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA SOLAR

4. PROCESO DE DISEÑO

4.1 DISEÑO

Cuando se habla de diseño (que significa, en francés, dibujar *dessein*; designio o tensión hacia el futuro, o simplemente diseñar en su sentido actual) se indica analógicamente "lo diseñado", o lo que se producirá como término del trabajo de fabricación del objeto, y "el diseñar" como el acto mismo que cumple quien diseña.

El diseñar o el acto del diseño no es práctico (lo es la política, por ejemplo), ni es puramente tecnológico (lo es la ingeniería mecánica o de la construcción), ni tampoco puramente artístico (lo es el pintor). No es tampoco la suma yuxtapuesta de tecnología y arte con un componente científico. El acto de diseñar es un acto, como el verde es un color. Sus partes integrales y funcionales son la ciencia, la tecnología y el arte, a la manera como el azul y el amarillo componen el verde. La ciencia, la tecnología y el arte como momentos del acto diseñante son intrínsecamente diferentes de la ciencia, la tecnología y el arte como actos independientes. La ciencia del diseñador se encuentra definida en función productiva tecnológica como en el caso del tecnólogo. Pero la tecnología del diseñador se encuentra por su parte definida en función estética, lo que hace que esa acción estética sea también tecnológico-científica. La ciencia, la tecnología y el arte integrados unitaria, orgánica y sinérgicamente en el acto productor del diseño permiten denominar a éste con un neologismo (al menos nuevo por su significado): el diseñar o acto poético. Querer hacer del diseño una actividad tecnológica o artística exclusivamente es no comprender su sentido.

Hay escuelas de diseño que se inclinan en definirlo como ingenierías; hay otras que, lo definen como bellas artes. Ni una ni otra, ni suma ni yuxtaposición. El diseño es un acto distinto, propio, integrado, científico-tecnológico estético: una tecnología-estética-operacional o una operación estético-tecnológica *sui generis*. No aceptarla en su rica ambigüedad, en su orgánica complejidad, es como querer que todo el cuerpo humano sea corazón, manos o cerebro: los órganos no se excluyen, no se yuxtaponen, se integran en unitaria operatividad. (Cfr. Dussel, 1984: 189-192)

4.1.1 CONTEXTO DEL PROCESO DE DISEÑO

El diseño, como el texto, tiene un contexto. Diseñar no es un acto absoluto sino relativo a una totalidad dentro de la cual se encuentra. La totalidad es cultural, es decir, económica, política, sociopsicológica, etc. Frecuentemente el diseño pareciera moverse en un plano abstracto que prescinde de su contexto. En ese momento adquiere, sin advertirlo, una función ideológica, ya que encubre su sentido profundo, sus criterios iniciales, sus resultados reales. Recordar esto es describir la función condicionante que ejercen sobre el diseño la economía, el sociopsicoanálisis, la sociología y todas las ciencias humanas en general, así como, en particular, las que se cultivan en nuestro mundo cultural dependiente. (Cfr. Dussel, 1984: 191-192)

El diseño es un acto creativo, es un proceso de creación para la generación de productos, particularmente hablando, cuyo proceso comienza al momento de identificar las necesidades o alguna problemática de la población, o concretamente las de un sector de la población. Tras identificar las necesidades o problemática el diseñador comienza a imaginar - proceso creativo - la mejor solución a esa necesidad; una vez tenida la idea o concepto, ésta es trasladada a un boceto, acto seguido este es convertido a un modelo físico pudiendo ser un modelo de tamaño real o a escala. Una vez obtenido el modelo físico, éste es evaluado de acuerdo a los resultados esperados.

4.1.2 PROCESO DE DISEÑO DEL CASO DE ESTUDIO

El proceso de diseño para este particular caso de estudio tiene su fundamento en la necesidad de cocinar alimentos empleando una fuente energética alternativa que represente para el usuario un ahorro económico y que impacte de manera positiva al ambiente y que proporciones de un bienestar social general.

De esta forma se determinó con base en diseños previos que la energía radiante del sol puede ser empleada como fuente energética para la cocción de alimentos. Esto representa un impacto directo a la economía del usuario ya que la energía solar es

gratuita y limpia. Sin embargo los modelos actuales de cocinas solares tienen dos grandes desventajas:

La primera es que algunos modelos creados bajo el concepto de diseños de bajo costo, no tienen un buen desempeño al momento de cocinar; por un lado no alcanzan las temperaturas necesarias para la cocción de los alimentos y por el otro, el tiempo de cocción es muy prolongado comparado con el tiempo de cocción convencional.

La segunda desventaja es que los modelos de cocina solar de alto desempeño son muy costosos lo que hace difícil su adquisición a pesar de los beneficios tan positivos que ofrecen.

Por esta razón se propone la creación de una cocina solar que responda a las siguientes características:

- A. En primer lugar la cocina solar es creada bajo el concepto de bajo costo.
- B. Su desempeño es similar al de las cocinas tradicionales, es decir la manipulación y preparación de los alimentos y los recipientes para la cocción de alimentos son comunes.
- C. El rango de temperatura de operación es establecido y se obtiene bajo condiciones de funcionamiento normales¹⁷ con la finalidad de garantizar:
 - a. La buena cocción de los alimentos y evitar la generación de bacterias al exponer los alimentos a tiempos prolongados de temperatura inferior a la de pasteurización (60°C).
- D. Que no se generen sustancias tóxicas como las acrilamidas¹⁸ debidas a temperaturas de cocción superiores a los 140°C.

¹⁷ Las condiciones de funcionamiento normales son: Cielo despejado, la cocina solar orientada directamente a la posición del sol, el uso de la cocina dentro del intervalo de tiempo estándar de operación (de 9:00 am a 15:00 pm)

¹⁸ En el mes de abril de 2002, la Swedish National Food Administration (NFA) e investigadores de la Universidad de Estocolmo, anunciaron que habían encontrado acrilamida, compuesto químico tóxico y potencialmente cancerígeno, en los alimentos que contenían almidón y eran procesados a temperaturas superiores a los 120°C, como papas fritas o papas asadas, galletitas, cereales y pan. (FAO, 2008)

- E. La puesta en funcionamiento de la cocina solar y su traslado es sencilla, esto quiere decir que un niño o un adulto mayor pueden usar el dispositivo y manipularlo sin ninguna complicación debida al peso o a la dificultad de su operación.
- F. La seguridad de la cocina es garantizada.

Las condiciones anteriores son la directriz que permite el diseño de una buena cocina solar.

Cuando se habla de cocinas solares eficientes o de buen desempeño, se debe identificar que estas cocinas no solamente emplean el principio de efecto invernadero y aislamiento térmico – acumulación de calor - para su funcionamiento, sino que además incorporan elementos para la concentración de la radiación solar, que permite mayor eficiencia de la cocina.

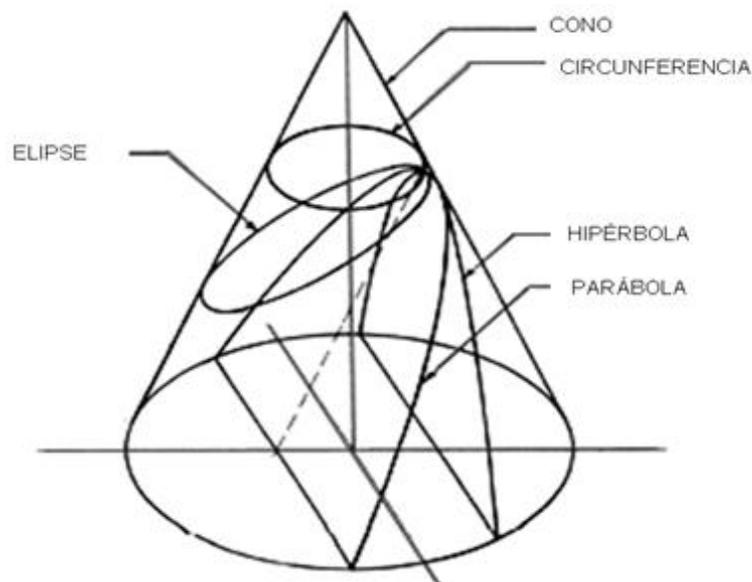
Estos elementos de concentración de la radiación solar se construyen mediante el empleo de geometría básica, particularmente del uso de secciones cónicas y de la reflexión óptica. En seguida se describen las principales secciones cónicas empleadas en la construcción de concentradores solares.

4.2 SECCIONES CÓNICAS COMO ELEMENTOS DE DISEÑO PARA LA CONCENTRACIÓN SOLAR

Las curvas cónicas son secciones producidas por un plano secante sobre una superficie cónica de revolución como se muestra en la figura 37.

Estas curvas o secciones fueron descubiertas por Menaechmo en el siglo IV a. de C., y estudiadas posteriormente por Apolonio, poco después de la aparición de los ahora famosos Elementos de Euclides. Fue hasta el siglo VIII d. de C. cuando se utilizaron estas curvas. Mucho después, en 1632, Descartes descubrió muchas de sus variadas e importantes propiedades (Cfr. Lucas y James, 1974: 91)

Figura 36. Secciones cónicas



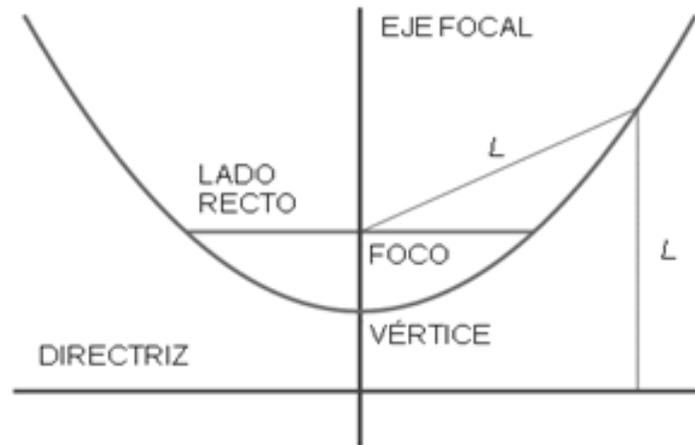
Fuente: Lucas y James, (1974: 91), Matemáticas II

4.2.1 PARÁBOLA

Una parábola es el lugar geométrico de un punto que se mueve en un plano de tal manera que su distancia de una recta fija, situada en el plano, es siempre igual a su distancia de un punto fijo del plano y que no pertenece a la recta. El punto fijo se llama foco y la recta fija directriz de la parábola. La figura 38 identifica los elementos

principales de la parábola. La definición excluye el caso en que el foco está sobre la directriz. (Cfr. Lehmann, 2010: 149)

Figura 37. Elementos principales de la parábola

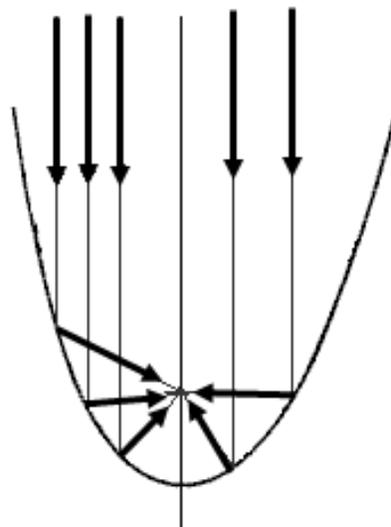


Fuente: Wikipedia, 2012

4.2.1.1 PROPIEDAD ESPECULAR DE LA PARÁBOLA

En la parábola, la tangente refleja los rayos paralelos al eje focal en dirección al foco. La figura 39 ilustra la propiedad especular de la parábola.

Figura 38. Propiedad especular de la parábola

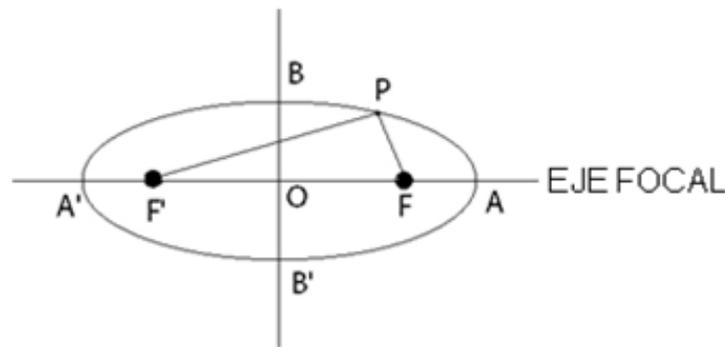


Fuente: Rincón, (2009), Curso: Tecnología solar doméstica para calentamiento de agua

4.2.2 ELIPSE

Una elipse es el lugar geométrico de un punto que se mueve en un plano de tal manera que la suma de sus distancias a dos puntos fijos de ese plano es siempre igual a una constante, mayor que la distancia entre los dos puntos. Los dos puntos fijos se llaman focos de la elipse. La figura 39 identifica los elementos principales de la elipse. La definición de una elipse excluye el caso en que el punto móvil esté sobre el segmento que une los focos. (Cfr. Lehmann, 2010: 173)

Figura 39. Elementos principales de la Elipse

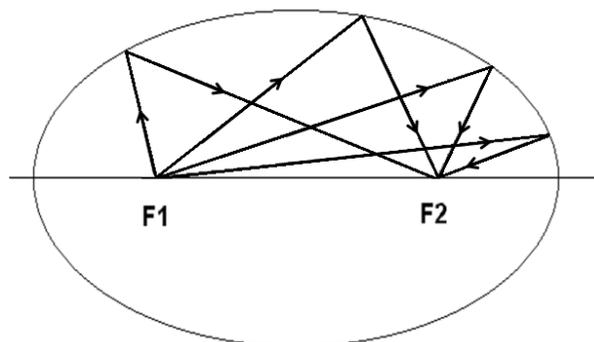


Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

4.2.2.1 PROPIEDAD ESPECULAR DE LA ELIPSE

En la elipse, la tangente refleja los rayos emitidos desde uno de sus focos hacia el otro foco. La figura 41 ilustra su propiedad especular.

Figura 40. Propiedad especular de la elipse

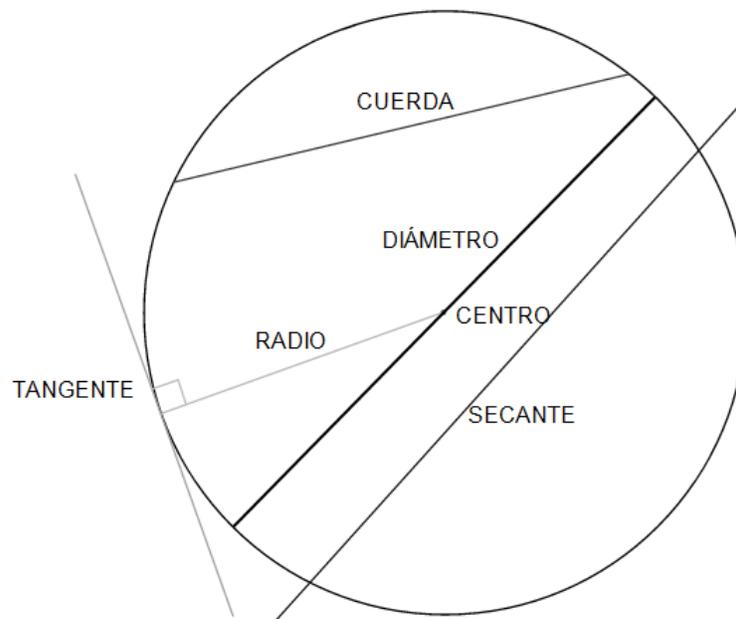


Fuente: Rincón, (2009), Curso: Tecnología solar doméstica para calentamiento de agua

4.2.3 CIRCUNFERENCIA

Es el lugar geométrico de un punto que se mueve en un plano de tal manera que se conserva siempre a una distancia constante de un punto fijo de ese plano. El punto fijo se llama centro de la circunferencia, y la distancia constante se llama radio. La figura 42 describe los elementos principales de la circunferencia. (Cfr. Lehmann, 2010: 99)

Figura 41. Elementos principales de la Circunferencia

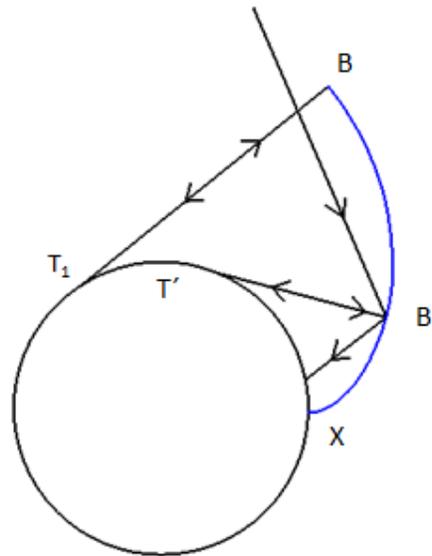


Fuente: Wikipedia, 2012 (Adaptado)

4.2.4 INVOLUTA DE UN CÍRCULO

La involuta de un círculo es una curva perpendicular en cada punto a la tangente del círculo. En términos ópticos esto significa que un rayo de luz $T'B'$ alejándose del punto T' tangencialmente será reflejado de vuelta en la involuta B' regresando hacia T' . Como se muestra en la figura 43. Por lo tanto cualquier rayo de luz r pasando a través del espacio entre la involuta y el círculo será reflejado en B' hacia el círculo (Cfr. Chaves, 2008: 28)

Figura 42. Involuta de un círculo

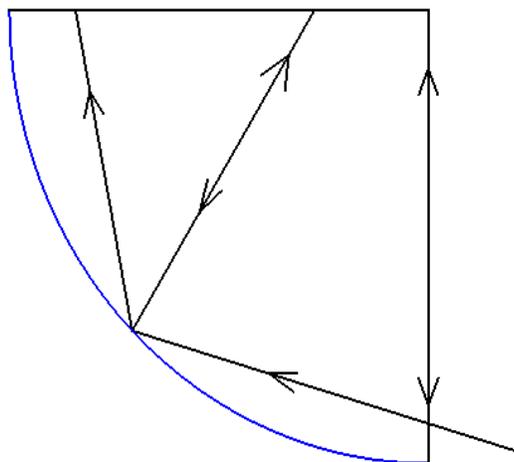


Fuente: Chaves, (2008: 28)

4.2.5 INVOLUTA DE UNA LÍNEA

La figura 44 muestra la propiedad especular de la involuta de una línea. La tangente permite reflejar los rayos luminosos incidentes sobre la línea generadora de la involuta.

Figura 43. Involuta de una línea



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

4.2.6 INVOLUTA DE UN PERFIL GENERAL

La involuta de un perfil general es una curva perpendicular en cada punto a la tangente del perfil.

4.2.7 LOS CPC

El sistema óptico de imagen posee tres componentes principales: a) El objeto, b) la óptica y c) la imagen que esta forma. El objeto es considerado como un conjunto de puntos que emiten luz en todas direcciones. La luz (o parte de esta) de cada punto sobre el objeto es capturado por el sistema óptico y concentrado hacia un punto en la imagen.

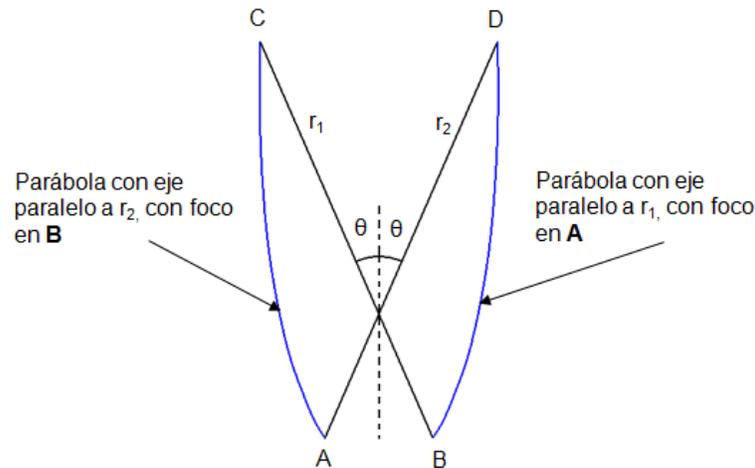
El sistema óptico de no imagen, en lugar de un objeto, posee una fuente de luz y en lugar de una imagen tiene un receptor. En lugar de una imagen de la fuente, la óptica produce una iluminación (o irradiación) patrón en el receptor.

La primera aplicación de la óptica de no imagen fue en el diseño de concentradores que se podían desempeñar en el límite teórico (termodinámico) máximo (Chaves, 2008: 3)

El concentrador parabólico compuesto (CPC) fue el primer concentrador bidimensional (2D) jamás diseñado, y el éxito del dispositivo dio vida a la óptica de no imagen. Un CPC es ideal en dos dimensiones.

El perfil de este dispositivo consiste en dos arcos parabólicos (AC y BD). El arco BD es parte de una parábola que tiene su eje paralelo a la dirección BC y su foco en el punto A. el arco AC es simétrico a BD. Este es llamado CPC por los dos arcos parabólicos que lo componen. La figura 45 representa a un CPC, a un Concentrador Parabólico Compuesto.

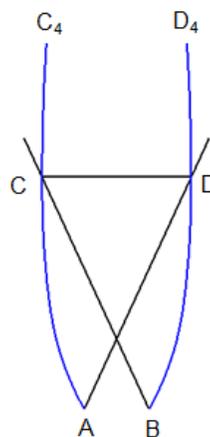
Figura 44. CPC, Concentrador parabólico compuesto



Fuente: Chaves, (2008: 12)

La meta inicial fue diseñar un concentrador que tuviera la apertura de entrada más grande posible. El diseño obtenido es una combinación de dos curvas reflejando los rayos provenientes de los bordes de la fuente de radiación hacia los bordes del receptor. Este es el principio básico en el diseño de concentradores de no imagen y es llamado Principio de rayo-borde. Los rayos de luz provenientes de los bordes de la fuente deben ser reflejados hacia los bordes del receptor como se muestra en la figura 46.

Figura 45. CPC apertura máxima

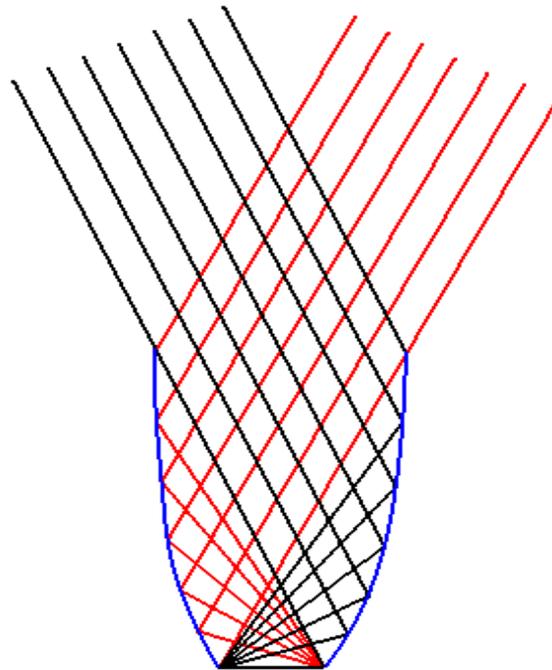


Fuente: Chaves, (2008: 11)

Como las parábolas son extendidas hacia arriba, la distancia entre los espejos se incrementa hasta un máximo CD y después comienza a decrecer. También las porciones DD_4 y CC_4 de los espejos sombream la otra porción de los espejos AC y BD respectivamente. Lo que debe evitarse. La figura 47 ilustra la trayectoria de los rayos límite dentro de un CPC.

Un CPC es un concentrador con apertura de entrada CD que acepta radiación formando un ángulo máximo $\pm\theta$ con la vertical y concentrando esta hacia AB.

Figura 46. Trayectoria de los rayos límite dentro de un CPC



Fuente: Cháves, 2008: 11. Nonimaging optics.

4.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOTÉRMICO Y TÉRMINOS AFINES

4.3.1 RECEPTOR: (DEL COLECTOR SOLAR DE CONCENTRACIÓN)

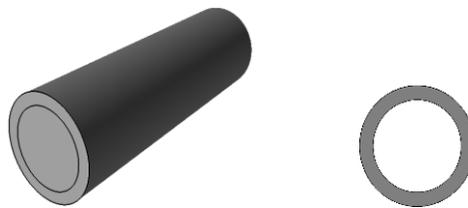
Es la parte donde la radiación solar es finalmente dirigida o redirigida, comprendiendo el absorbedor y cualquier otro vidrio a través del cual la radiación deba pasar.

4.3.1.1 ABSORBEDOR

Es el componente de un colector solar destinado para absorber energía radiante y transferirla como energía calorífica a un fluido de trabajo.

La geometría del absorbedor de un sistema fototérmico está determinada por el uso final del sistema. En general un absorbedor puede tener una sección transversal circular como se muestra en la figura 48. Esta geometría es fácil de generar desde el punto de vista del proceso de manufactura y además reduce al máximo las pérdidas térmicas ya que una superficie cilíndrica en relación con su volumen posee un área menor a cualquier otra geometría, para el mismo volumen.

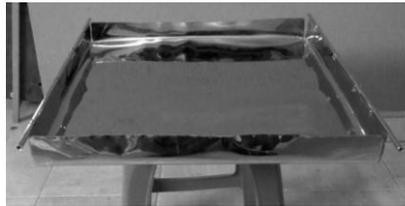
Figura 47. A) Absorbedor circular, B) Sección del absorbedor circular



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

Los materiales empleados en el absorbedor son principalmente metales tales como el acero inoxidable, aluminio, tubos de cobre, lámina galvanizada, recipientes de cocina convencionales y artículos de barro entre otros. La transferencia de calor entre el absorbedor y el fluido de trabajo, está determinada por la conductividad térmica de cada material. La siguiente tabla presenta factores de conductividad térmica para diferentes materiales. La fotografía 27 muestra el absorbedor diseñado para la cocina solar desarrollada.

Fotografía 21. Absorbedor de una cocina solar (charola)



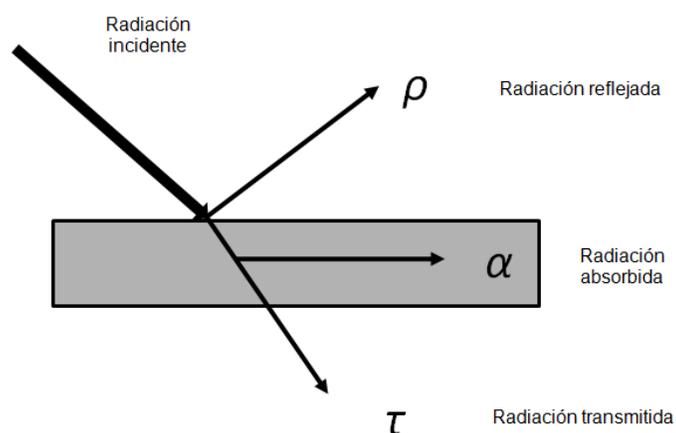
El espesor del absorbedor es otro factor importante ya que éste determina la rapidez de transferencia de calor al fluido de trabajo¹⁹. Entre más espesor tiene el absorbedor, mayor distancia y tiempo le tomará al calor llegar hasta el fluido de trabajo. El color del absorbedor influye directamente en la absorción de la radiación incidente.

4.3.1.1 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MATERIALES

En el diseño de sistemas que aprovechan la energía solar, es muy importante conocer las propiedades de los materiales, en particular las propiedades ópticas.

Cuando la radiación incide sobre un cuerpo, la radiación es parcialmente absorbida, parcialmente reflejada y parcialmente transmitida, como se muestra en la figura 34.

Figura 48. Comportamiento de la radiación cuando incide en un material



¹⁹ El mecanismo de transferencia de calor por conducción es un elemento clave para el buen desempeño de una cocina solar.

Fuente: Moreno (1998), Desarrollo de un horno solar para uso doméstico utilizando un concentrador del tipo parabólico compuesto.

Sumatoria de la radiación incidente en un cuerpo: $\alpha + \rho + \tau = 1$

Donde:

α : Absortancia, es la fracción de la radiación incidente que es absorbida.

ρ : Reflectancia, esto es, la fracción de la radiación incidente reflejada por la superficie del cuerpo.

τ : Transmitancia, es la fracción de la radiación incidente transmitida a través del cuerpo.

Las magnitudes relativas de α , ρ y τ dependen no únicamente del material, su espesor y el acabado de la superficie, sino también de la longitud de onda de la radiación (λ). La mayoría de los materiales sólidos que se encuentran en la práctica, absorbe toda la radiación en una capa superficial muy delgada, menor de 1.0 mm de profundidad.

4.3.1.2 SUPERFICIES SELECTIVAS

Las superficies selectivas son materiales que absorben casi toda la radiación solar incidente en todo el espectro, y emiten muy poco de la energía captada en forma de radiación de onda larga. Las superficies selectivas más comunes son las películas de óxidos metálicos sobre sustratos metálicos. Además del níquel negro, cromo negro, óxido de cobre, óxido de cobalto, óxido de hierro, zinc negro, óxido de tungsteno, el latón y el aluminio anodizado, se cuenta con pinturas selectivas comerciales. La tabla 8 lista diversas superficies selectivas y su propiedad de absortancia y emitancia.

La primera superficie selectiva fue el níquel negro y la desarrolló Harry Tabor en 1959. Usando materiales con superficies selectivas, las pérdidas por radiación pueden reducirse hasta en un 79%. (Cfr. Moreno, 1998: 8).

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Para producir materiales con estas propiedades existen varios mecanismos, de entre los cuales se mencionan dos:

4.3.1.2.1 PELÍCULA SELECTIVA: Se aplica a la base una película delgada de alta absorción a la radiación solar por medio de reacciones químicas y se usa un sustrato que tenga una emisión baja de radiación de onda larga (infrarroja), este sustrato de baja emitancia en el infrarrojo, se puede obtener con una superficie metálica pulida.

4.3.1.2.2 TOPOLOGÍA DE LA SUPERFICIE: Cuando la superficie tenga una geometría tal que, logre las propiedades ópticas deseadas. Por ejemplo, las superficies con corrugaciones en forma de V y materiales con superficies dentríticas. (Cfr. Manrique, 1984).

Tabla 8. Propiedades de superficies selectivas

SUPERFICIE	SUSTRATO	α	ϵ
Níquel negro	Fe, Cu, Zn-Al	0.85 – 0.96	0.05 – 0.15
Cromo negro	Ni-Al	0.82 – 0.96	0.04 – 0.15
Cobre negro	Cu	0.85 – 0.95	0.10 – 0.15
Óxido de cobre	Cu, Al	0.87 – 0.95	0.10 – 0.15
Óxido de cobalto	Ni	0.91	0.09
Óxido de Hierro	Fe	0.9	0.1
Zinc negro	Zn	0.95	0.1
Óxido de tungsteno	Ni	0.85	0.1
Aluminio anodizado	Al	0.90 – 0.96	0.10 – 0.23
Carburo de metal	Cu, Vidrio	0.82 – 0.93	0.02 – 0.05
Pintura PbS	Todas	0.9	0.3
Pintura selectiva (Coralur)	En la mayoría	0.93	0.3
Pintura negra	Todas	0.95 – 0.97	0.95 – 0.97

Fuente: Lenel y Mudd, (1984), A review of materials for solar heating systems for domestic hot water.

Solar energy.

4.3.2 REFLECTORES SOLARES PLANOS

Los reflectores solares planos son elementos de un sistema fototérmico cuya característica principal es que permiten reflejar la radiación solar hacia el receptor de calor o redirigir la radiación de acuerdo al requerimiento de diseño.

4.3.2.1 MATERIALES REFLECTANTES

El empleo de espejos permite concentrar la luz solar y alcanzar mayores temperaturas. Una propiedad importante en los espejos es su “reflectancia espectral”, que indica la capacidad y eficiencia de una superficie para poder reflejar la radiación incidente en cada longitud de onda. Existen materiales como el cobre y el oro que son buenos reflectores en el infrarrojo, pero son ineficientes para reflejar en el visible. Para aplicaciones de energía solar se utilizan principalmente la plata y el aluminio. Toda cocina solar eficiente emplea algún tipo de superficie reflectante²⁰.

La reflectancia es la relación del flujo de radiación reflejado por una superficie respecto de la radiación incidente. Esta puede aplicarse tanto a radiación de una sola longitud de onda como para todo rango de longitud de onda. La tabla 9 muestra el coeficiente de reflectancia especular de diversos materiales. Algunos materiales listados en esta tabla pueden ser usados como espejos reflectores debido a su alta reflectancia, por ejemplo el aluminio electrodepositado, el cobre pulido, el aluminio comercial, vidrio aluminizado entre otros.

La especularidad es la cantidad de radiación que se refleja directamente de la superficie reflectora con el mismo ángulo que el haz incidente contenido dentro de un ángulo sólido. La reflectancia especular depende de la longitud de onda y en principio la reflectancia monocromática se deberá integrar para la distribución espectral particular de la energía incidente.

Existen dos tipos de espejos, dependiendo de la superficie en el que el material reflejante se deposite: espejos de primera y de segunda superficie.

²⁰ Reflectancia: es la propiedad de un cuerpo de reflejar la luz.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Tabla 9. Reflectancia especular de diversos materiales

Material	ρ_{sl}	Material	ρ_{sl}
Acero dulce	0.58	Magnalio (69%Al, 31%Mg)	0.74
Acero dulce cromado	0.54	Mercurio (fondo de azogue)	0.72
Acero dulce estañado	0.49	Níquel, pulido	0.6
Acero dulce galvanizado	0.64	Plata	0.93 – 0.95
Aluminio comercial	0.74 – 0.85	Plata electrodepositada	0.96
Aluminio electrodepositado	0.89	Plateado en vidrio	0.88
Aluminio puro	0.89	Speculum (68%Cu, 32%Sn)	0.66
Cobre pulido	0.82	Teflón aluminizado	0.77
Constantán (60%Cu, 40%Ni)	0.64	Teflón plateado	0.86
Cromo	0.51	Vidrio aluminizado	0.76 – 0.80
Duraluminio	0.55	Zinc, pulido	0.54
Fibra de vidrio aluminizada	0.92		

Fuente: Rau, (1984), Energía solar: aplicaciones prácticas

Los espejos de primera superficie, son aquellos en los que el material reflejante (metal), se deposita sobre la superficie de la base reflectora, o sea, en la cara frontal del material reflector, por ejemplo en las superficies cromadas.

Si el metal reflejante se deposita en la parte trasera de un material transparente, estable e impermeable, entonces se dice que es un espejo de segunda superficie.

4.3.3.2 CONCENTRADORES SOLARES

Los concentradores solares son elementos de un sistema fototérmico cuya característica es que permiten concentrar la radiación solar hacia el absorbedor de calor, permitiendo elevar la temperatura de manera significativa. La diferencia con el reflector plano es este elemento sólo dirige la radiación hacia el receptor.

4.3.4 CUBIERTA DEL CONCENTRADOR (DEL COLECTOR SOLAR)

Material o materiales transparentes (o translúcidos) que cubren el absorbedor con la finalidad de reducir pérdidas de calor y brindar protección del medio ambiente.

4.3.4.1 MATERIALES TRANSPARENTES

Los materiales transparentes permiten que la mayor parte de la radiación incidente los traspase, como el vidrio ordinario, el vidrio con bajo contenido de hierro, el acrílico y otros plásticos. Se tiene un material transparente cuando la mayor parte de la radiación incidente traspasa el cuerpo, es decir;

$$\tau \gg \alpha + \rho.$$

Donde:

α : Absortancia, es la fracción de la radiación incidente que es absorbida.

ρ : Reflectancia, esto es, la fracción de la radiación incidente reflejada por la superficie del cuerpo.

τ : Transmitancia, es la fracción de la radiación incidente transmitida a través del cuerpo.

Se recomienda un vidrio templado de bajo contenido de hierro, que aunque más caro, es más durable y transparente. El empleo de cubiertas transparentes dobles, o incluso triples, disminuye las pérdidas de calor por convección, pero hace más pesada y caro al dispositivo solar. La tabla 10 lista materiales y su propiedad física de transmitancia (τ).

4.3.4.2 VIDRIO

El vidrio es un producto de fusión inorgánico, definido como líquido solidificado debido a que se emplea una técnica de refrigeración controlada, lo que significa que el material pasa del estado líquido al estado sólido sin cristalización. La carencia de una estructura cristalina implica que la luz penetra el vidrio sin difusión y tiene una apariencia transparente. El vidrio se puede producir a partir de varios elementos químicos; por ejemplo los óxidos de sílice (Si), boro (B), germanio (Ge), fósforo (P) y arsénico (As). El vidrio más común en la edificación, llamado vidrio de silicato de calcio alcalino, contiene arena de cuarzo (SiO_2 , 69-74%), sodio (Na_2O , 12-16%),

calcio (CaO, 5-12%) y cierto porcentaje de otros materiales que afectan a sus propiedades o su color. Los vidrios de borosilicato se producen añadiendo boro (B₂O₃, 7-15%) en lugar de calcio. Se utiliza como vidrio de seguridad contra incendios porque su baja dilatación térmica le aporta gran resistencia a los cambios de temperatura.

El vidrio flotado es el tipo de vidrio plano usado más comúnmente. Las dimensiones máximas de la hoja son de 321 x 600 cm, con un grosor de entre 2 y 19 mm. El vidrio mencionado es transparente y no ocasiona distorsiones ópticas.

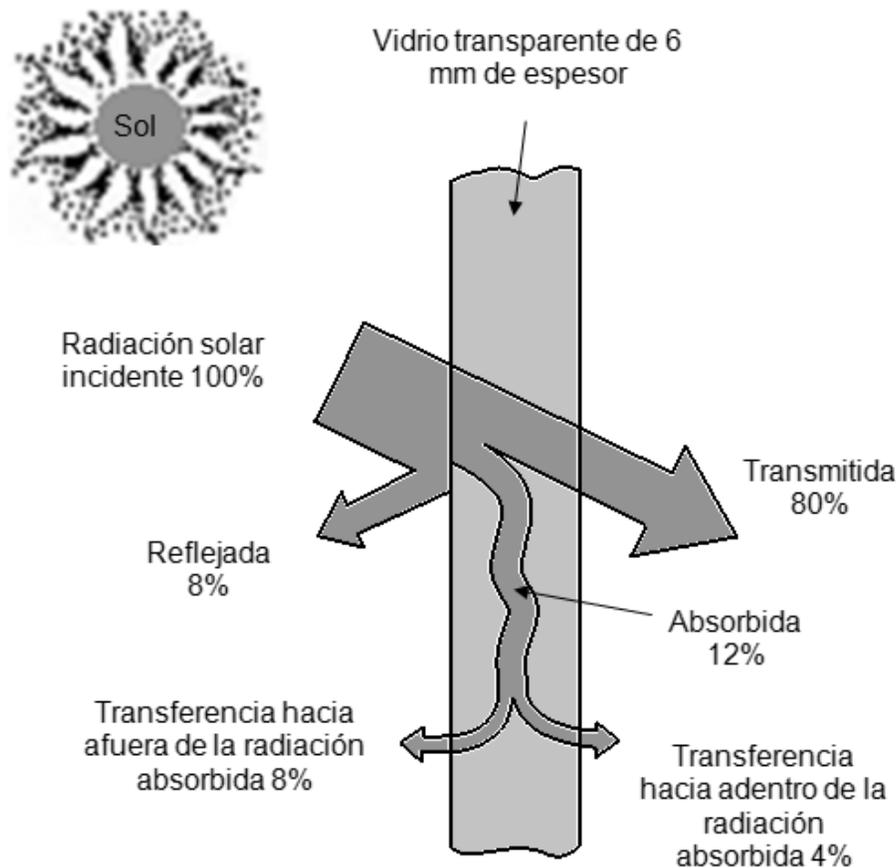
4.3.4.2.1 PROPIEDADES DEL VIDRIO

La estructura y la composición del vidrio afectan considerablemente a sus propiedades constructivas.

4.3.4.2.2 PROPIEDADES ÓPTICAS

El vidrio es transparente porque las moléculas se solidifican sin formar cristales, por ello, la luz lo atraviesa sin que se produzca difusión. El vidrio permite la transmisión de la radiación solar entre las longitudes de onda de 315 y 2500 nm, es decir, desde el rango ultravioleta, 315-389 nm, pasando por el visible, 380-780 nm, hasta casi todo el infrarrojo, 780-2500 nm. El ultravioleta por debajo de 315 nm y el infrarrojo de onda larga por encima de 2500 nm se absorben por completo. Esta impermeabilidad a las radiaciones de onda larga explica el efecto invernadero del acristalamiento: la radiación solar se transforma en calor en el interior, pero luego no puede emitirlo al exterior en forma de radiación calorífica de onda larga. (Cfr. Kaltenbach, 2007: 10-11)

Figura 49. Distribución de la radiación solar que incide sobre un vidrio transparente



Fuente: Çengel, (2007), Transferencia de Calor y Masa. Un enfoque práctico

4.3.4.2.3 PROPIEDADES TÉRMICAS

La conductividad térmica es el factor decisivo en términos de pérdidas térmicas a través del vidrio. El grosor de la hoja de vidrio sólo tiene un efecto secundario al respecto; el grado de radiación se puede controlar con recubrimientos y por convección a través de su estructura, por ejemplo vidrio aislante. (Cfr. Kaltenbach, 2007: 12)

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

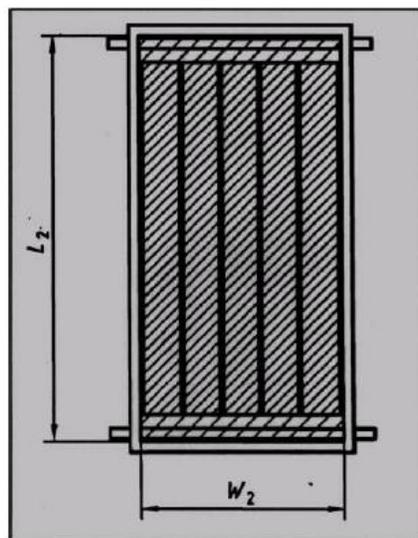
Tabla 10. Materiales transparentes

Material	Índice de refracción	τ $0.4 < \lambda < 2.5$	τ $2.5 < \lambda < 40$	Temperatura máxima de operación [Celsius]
Polycarbonato	1.586	0.84	0.020	120-130
"Teflón"	1.343	0.96	0.256	116
Vidrio ordinario (0.10-0.13% Fe)	1.500	0.85	0.020	204
Vidrio claro (0.01% Fe)	1.500	0.91	0.020	204
Polietileno ("Marlex")	1.500	0.92	0.810	----
Poliéster ("Mylar")	1.640	0.87	0.178	-----
Acrílico ("Plexiglas")	1.490	0.90	0.020	82-87.7

4.3.5 APERTURA DEL COLECTOR SOLAR

Entrada por la cual la radiación solar no concentrada es admitida. El área está dada por: $A_a = L_2 \times W_2$

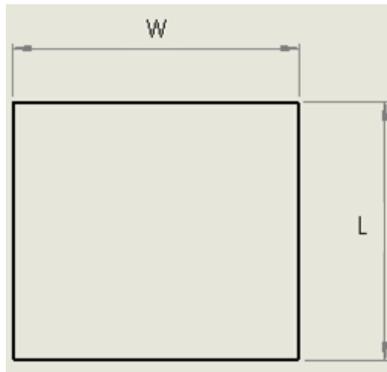
Figura 50. Apertura de un colector solar plano



4.3.6 ÁREA DEL ABSORBEDOR

Área máxima proyectada de un absorbedor. El área de un absorbedor plano está dada por: $A_{ab} = W \times L$

Figura 51. Área de un absorbedor plano



4.3.8 MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS

Materiales aislantes térmicos, son aquellos que disminuyen la transferencia de calor desde la cavidad en que se colocan los recipientes de trabajo hacia el ambiente. La madera, el papel y el cartón son buenos aislantes térmicos que pueden emplearse en dispositivos solares de bajo costo. Otros materiales aislantes son la fibra de vidrio, los plásticos expandidos y otros productos comerciales, que además de caros tienen impactos ambientales negativos en su producción y disposición final al término de su vida útil, por lo que no se recomiendan mucho para dispositivos solares.

4.3.9 DIAGRAMA GENERAL DE UN DE UN SISTEMA FOTOTÉRMICO

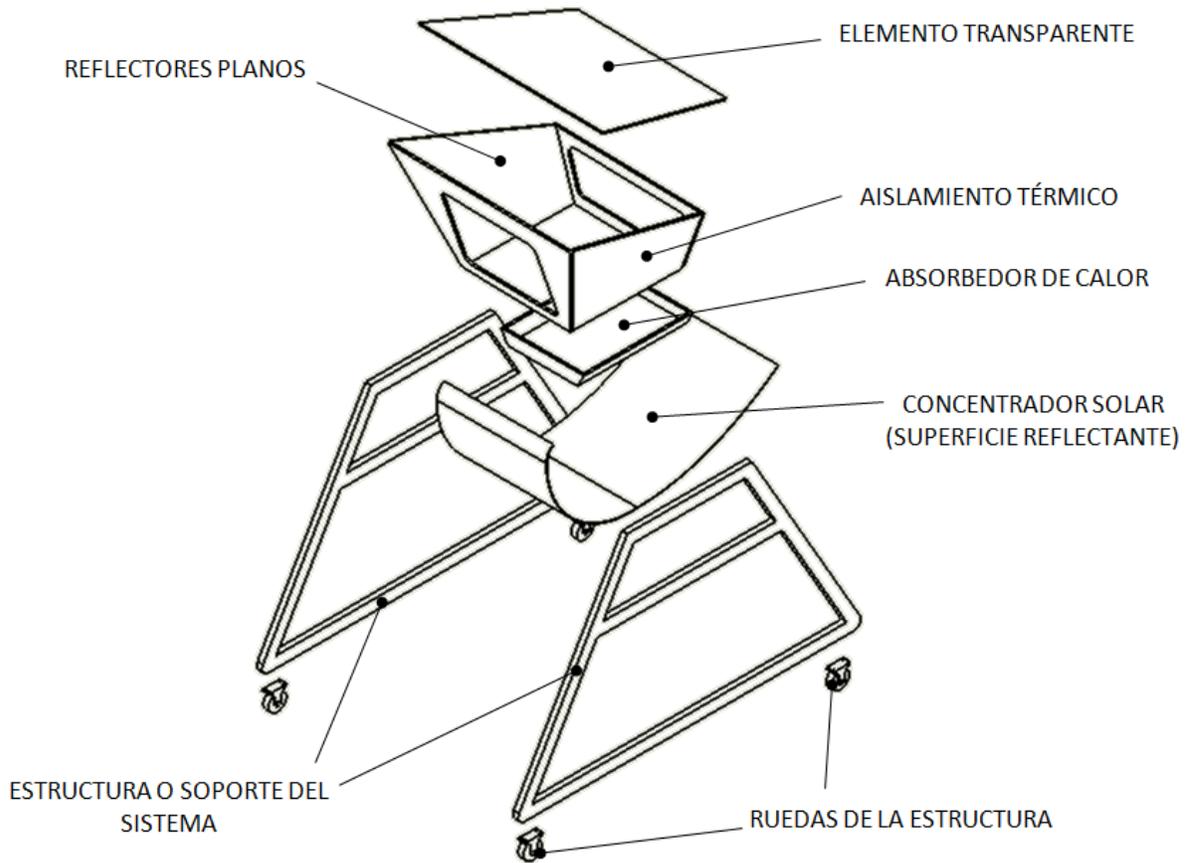
La figura 53 muestra un esquema general de un sistema fototérmico y sus elementos principales son los siguientes:

- A. ABSORBEDOR DE CALOR: El absorbedor de calor de un sistema fototérmico es un elemento generalmente metálico, su superficie exterior es color negro, que puede ser debido una película selectiva o a ahumar dicho elemento. Su función es transmitir el calor absorbido hacia el fluido de trabajo contenido.
- B. REFLECTORES SOLARES PLANOS: Los reflectores solares planos son elementos de un sistema fototérmico cuya característica principal es que

permiten reflejar la radiación solar hacia el receptor de calor o redirigir la radiación de acuerdo al requerimiento de diseño.

- C. **CONCENTRADOR SOLAR:** Los concentradores solares son elementos de un sistema fototérmico cuya característica es que permiten concentrar la radiación solar hacia el absorbedor de calor, permitiendo elevar la temperatura de manera significativa.
- D. **ELEMENTO TRANSPARENTE:** El elemento transparente permiten que la mayor parte de la radiación incidente los traspase, estos elementos pueden ser transparentes o translúcidos. Su función principal es permitir el paso de la radiación solar, cubrir el absorbedor con la finalidad de reducir pérdidas de calor y brindar protección del medio ambiente.
- E. **AISLAMIENTO TÉRMICO:** Materiales aislantes térmicos, son aquellos elementos que disminuyen la transferencia de calor desde la cavidad en que se colocan los recipientes de trabajo hacia el ambiente.
- F. **ESTRUCTURA DEL SISTEMA:** Este elemento es el soporte del sistema.
- G. **RUEDAS:** Elementos del sistema que permiten su fácil traslado y dar seguimiento continuo al recorrido aparente del sol.
- H. **FLUIDO DE TRABAJO:** El fluido de trabajo recibe el calor concentrado en el absorbedor del sistema. Y dependerá de la aplicación dada al sistema.

Figura 52. Elementos principales de un sistema fototérmico



Fuente: Elaboración propia, Toluca 2012

4.4 TEMPERATURA DE ESTANCAMIENTO

El aprovechamiento de la energía solar en aplicaciones específicas requiere de temperaturas de operación limitadas en rangos estrechos, cuando se persigue un alto rendimiento térmico. Para alcanzar estas temperaturas se requiere concentrar la energía solar mediante espejos y/o lentes. Sin embargo, una concentración excesiva conduciría a temperaturas excesivamente altas que implicarían mayores pérdidas térmicas, y en consecuencia, un bajo rendimiento del sistema. Por el contrario, si la temperatura no alcanza el nivel requerido, fallará en lograr su cometido.

Los captadores solares que tienen una razón de concentración solar geométrica C_g de 1 - que en realidad no concentran la luz solar- por lo general son los colectores

planos o de tubos evacuados. Estos dispositivos apenas permiten superar los 100 °C.

Cuando se necesita una mayor temperatura, es necesario recurrir a la concentración solar. Los concentradores solares tienen una razón de concentración geométrica C_g mayor que uno. Con estos dispositivos se pueden alcanzar temperaturas mayores a 100 °C, pero menores - de acuerdo con la Segunda Ley de la Termodinámica²¹ - a la de la cromosfera del Sol, alrededor de 5800 K. (Cfr. Rincón y Lentz, 2011: 2). La razón de concentración geométrica se define como:

$$C_g = \frac{A_P}{A_B}$$

Donde:

C_g es la concentración geométrica,

A_P es el área de apertura del captador,

A_B es el área del receptor o absorbedor,

Muy idealmente, la temperatura de estancamiento que es posible alcanzar con un concentrador solar está dada por:

$$T = T_s \left[\frac{C_g}{C_{max}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

$T_s = 5800$ K que es la temperatura efectiva del sol,

C_g es la concentración geométrica,

$C_{max} \sim 46000$ que es la concentración ideal máxima

En la tabla 11 se listan algunos valores de las temperaturas de estancamiento correspondientes a valores crecientes de la concentración geométrica C_g . (Rincón y Lentz, 2011: 1-2)

²¹ La segunda Ley de La termodinámica establece que el calor es transferido en la dirección de la temperatura decreciente, es decir, de lo más caliente a lo más frío, nunca en sentido opuesto.

Tabla 11. Temperaturas ideales de estancamiento en función de la concentración geométrica solar C_g

Concentración geométrica C_g	Temperatura ideal de estancamiento
1	123 °C
2	199 °C
4	288 °C
10	431 °C
100	979 °C
1 000	1 954 °C
10 000	3 687 °C
46 000	5 528 °C

Fuente: Rincón y Lentz, 2011: 2. La óptica anidólica

4.5 PROTOTIPOS DESARROLLADOS A LO LARGO DEL ESTUDIO

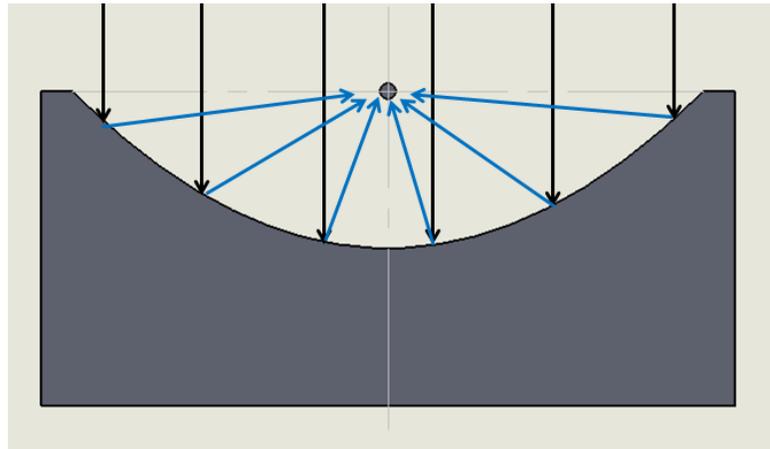
A lo largo del presente trabajo de investigación se desarrollaron 4 prototipos, cuyo propósito principal fue el entender los principios relacionados con el aprovechamiento de la radiación solar, que es una fuente de calor sustentable para diversas aplicaciones.

Durante el desarrollo de los prototipos se estudiaron y analizaron diferentes geometrías y formas que permiten la concentración de la radiación solar. Cada uno de los modelos representa cierta configuración de geometría y formas, estas tanto básicas como elaboradas, que finalmente ofrecen resultados diferentes cada uno pero que demuestran el potencial energético de nuestro sol y que está al alcance de todos.

4.5.1 CONCENTRADOR SOLAR TIPO CANAL PARABÓLICO

El primer prototipo de concentrador solar desarrollado es uno de tipo canal parabólico. Este dispositivo permite concentrar la radiación solar sobre una línea llamada línea focal. La radiación que incide paralelamente al eje focal del canal parabólico es reflejada hacia el foco de dicho canal.

Figura 53. Propiedad especular del concentrador solar tipo canal parabólico

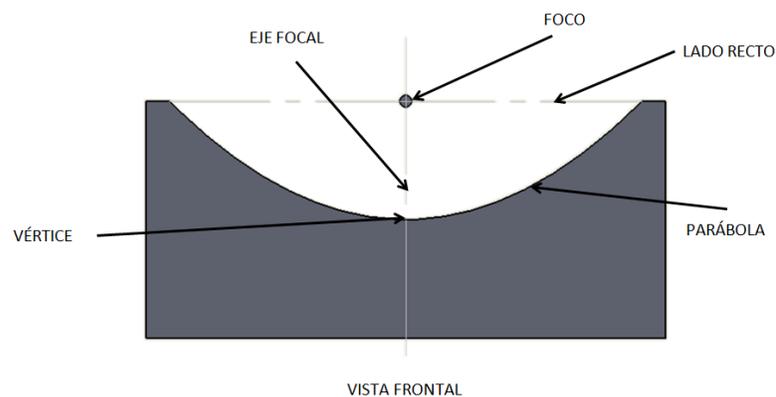


Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

El propósito de este prototipo fue confirmar físicamente la propiedad especular de un canal parabólico, aprender a trazar parábolas empleando geometría básica, identificar sus elementos y determinar el potencial de temperatura que podemos aprovechar con este tipo de concentradores.

La figura 55 describe los elementos geométricos principales del perfil del primer concentrador solar desarrollado en este estudio

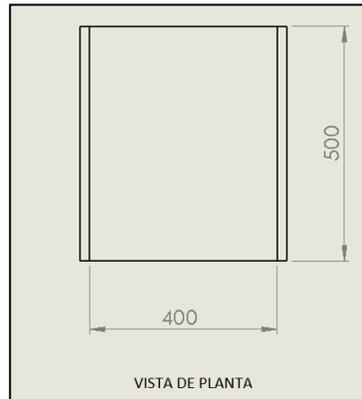
Figura 54. Elementos geométricos principales del perfil del concentrador tipo canal parabólico



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

El área de concentración de este dispositivo es toda la superficie vista desde planta. Su valor es de 0.2 m^2 , calculado como sigue: $A = 0.40\text{m} \times 0.50\text{m}$, $A = 0.2 \text{ m}^2$

Figura 55. Área de captación solar [mm]



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

La cantidad de energía concentrada mediante el empleo de un canal parabólico es suficiente para derretir plástico por ejemplo. Si se colocara un tubo metálico en el eje focal de este dispositivo, podríamos hervir agua en pocos minutos. Se confirmó que al colocar plástico (poliducto color negro) en el eje focal del concentrador, que este comienza a derretirse después de unos minutos de exposición a la radiación solar directa.

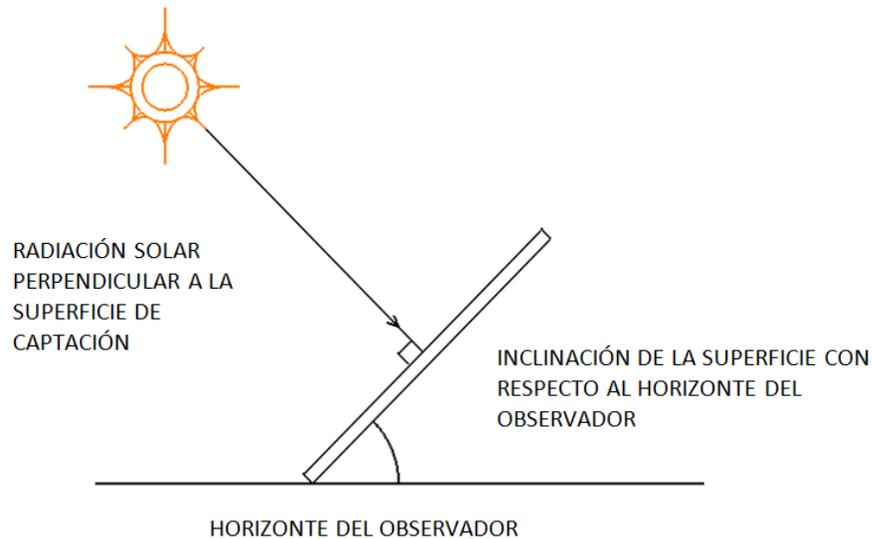
Fotografía 22. Un poliducto color negro comienza a derretirse después de unos minutos de exposición a la radiación solar directa



Cabe mencionar que este tipo de concentrador requiere para su óptimo desempeño una orientación de su superficie de captación siempre perpendicular a los rayos solares como se muestra en la figura siguiente.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Figura 56. Orientación de un concentrador solar tipo canal parabólico



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

Para lograr una orientación perpendicular a la radiación solar basta agregar un eje perpendicular a la superficie de captación y usarlo como elemento de orientación, ya que cuando este elemento no proyecta sombra alguna, significa que el concentrador está orientado correctamente (Normal a la dirección de los rayos solares).

Fotografía 23. Primer concentrador solar desarrollado. Tipo canal parabólico



Los materiales empleados en la manufactura de este modelo son listados en la tabla 12. Estos materiales son comunes y fácilmente asequibles.

**LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA**

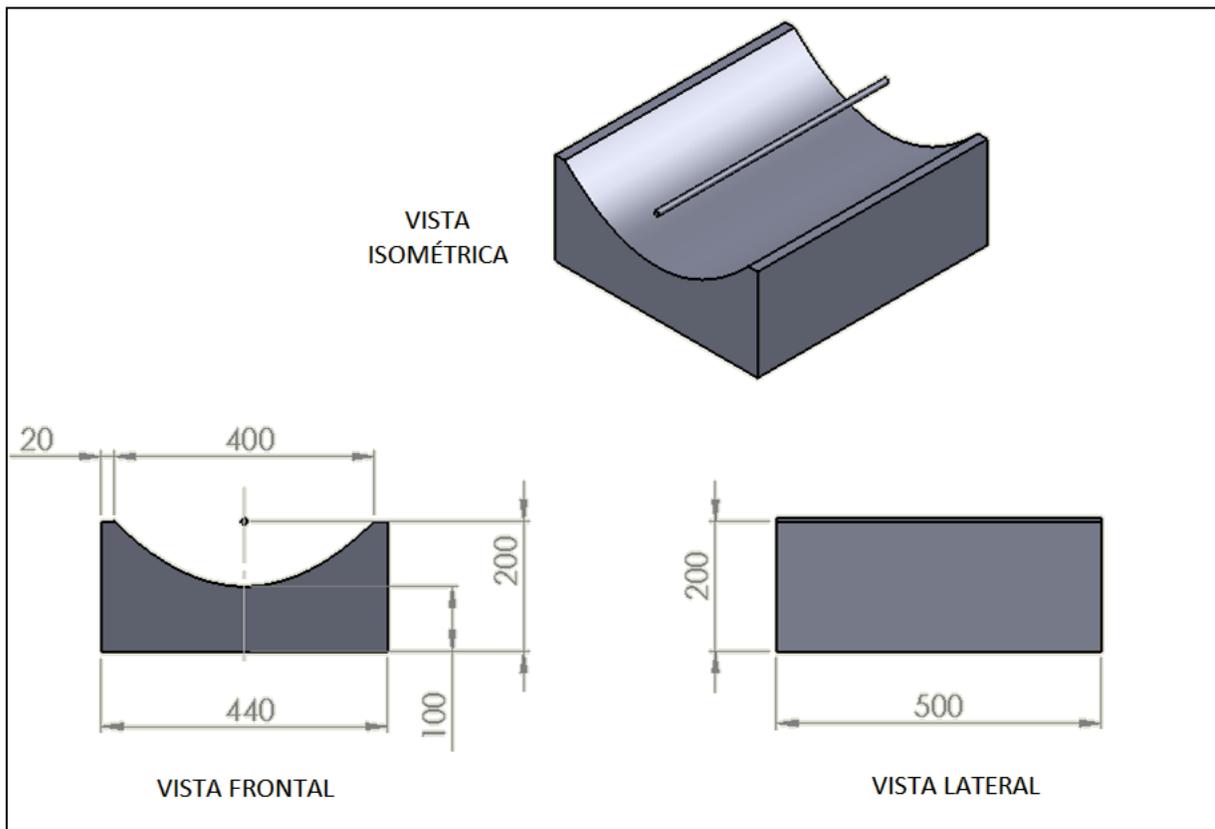
Tabla 12. Lista de materiales del concentrador de tipo canal parabólico

Elemento del concentrador	Material
Estructura	Triplay de 9 mm
Mecanismo de orientación	Madera 2.0 X 2.0 cm
Eje focal	Alambrón
Superficie de concentración	Triplay de 3 mm
Superficie de concentración	Mylar
Elementos de fijación	Tornillos y tuercas tipo mariposa

Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

Las dimensiones del primer concentrador prototipo, se indican en la figura No. 59. el área de captación o aprovechamiento solar es mostrada en la figura 57, así mismo el patrón de concentración de la radiación solar se ilustra en la figura 55.

Figura 57. Dimensiones del concentrador solar tipo canal parabólico [mm]



Fuente: Elaboración propia, Toluca (2012)

4.5.2 CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO

El segundo concentrador solar desarrollado en este estudio fue uno de tipo parabólico compuesto. Se basa en la geometría de los concentradores parabólicos compuestos (CPC) descritos en este mismo capítulo. En este dispositivo se incorporan elementos básicos para el aprovechamiento fototérmico tales como materiales transparentes, materiales aislantes térmicos, el cuerpo negro como elemento básico empleado en la absorción de calor, etc.

El propósito de este modelo fue la confirmación de la capacidad de diseño de concentradores parabólicos compuestos, con aplicación en el calentamiento de agua.

Como resultado de esta experimentación se obtuvo un modelo lo suficientemente eficiente como para alcanzar temperaturas de 69°C. Esta temperatura al interior de dispositivo se pudo obtener gracias a la concentración de la radiación solar por los reflectores del dispositivo y a la acumulación de calor (efecto invernadero) por la incorporación de un vidrio transparente en su cubierta.

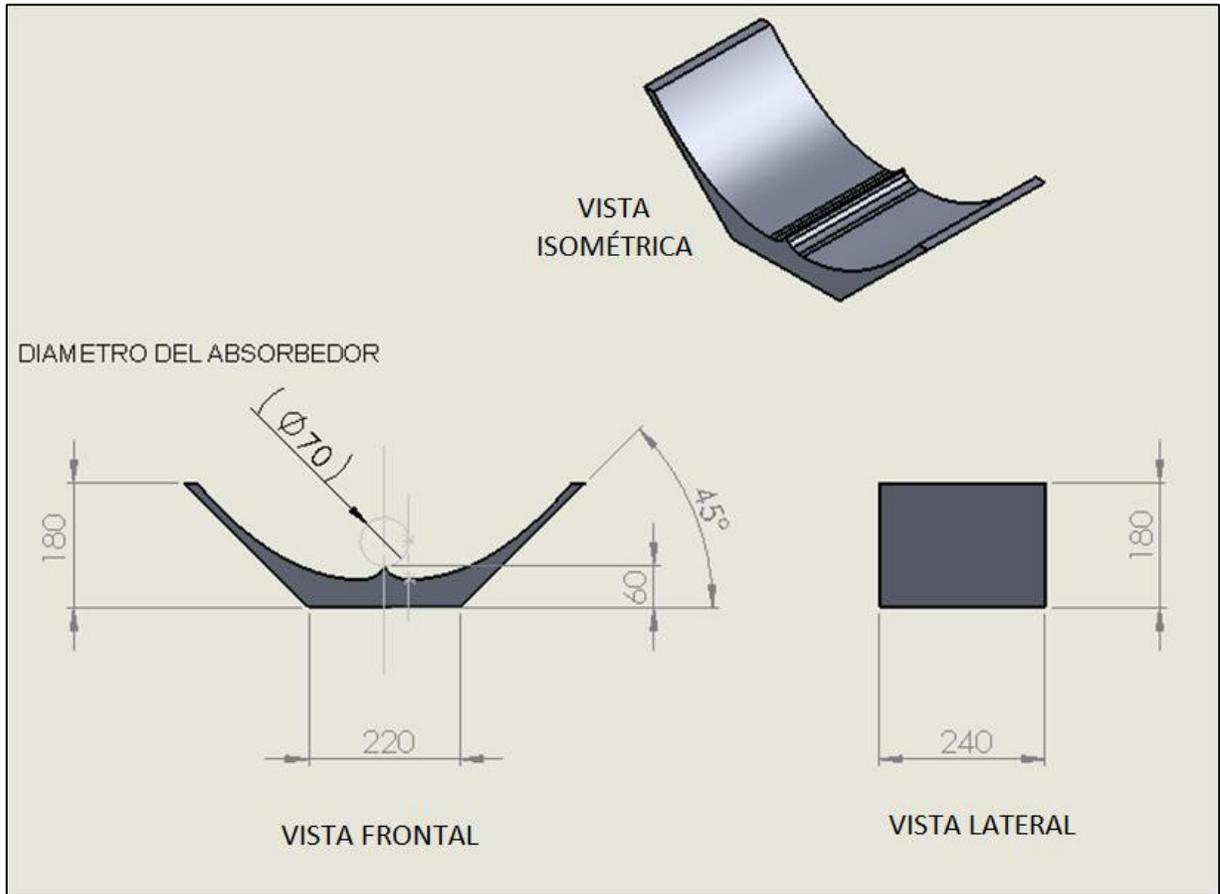
La configuración final de este modelo obedece a la geometría de sus concentradores y a la maximización del área de apertura, a través de la cual la radiación solar penetra.

Las dimensiones del concentrador tipo parabólico compuesto se indican en la figura No. 60, el área de captación o aprovechamiento solar es mostrada en la figura 63, así mismo el patrón de concentración de la radiación solar se ilustra en la figura 62.

Para la construcción de los reflectores de este modelo se incorpora un segmento de involuta de circunferencia, seguido de una geometría de concentrador parabólico compuesto. La figura 61 ilustra el detalle de construcción de los concentradores.

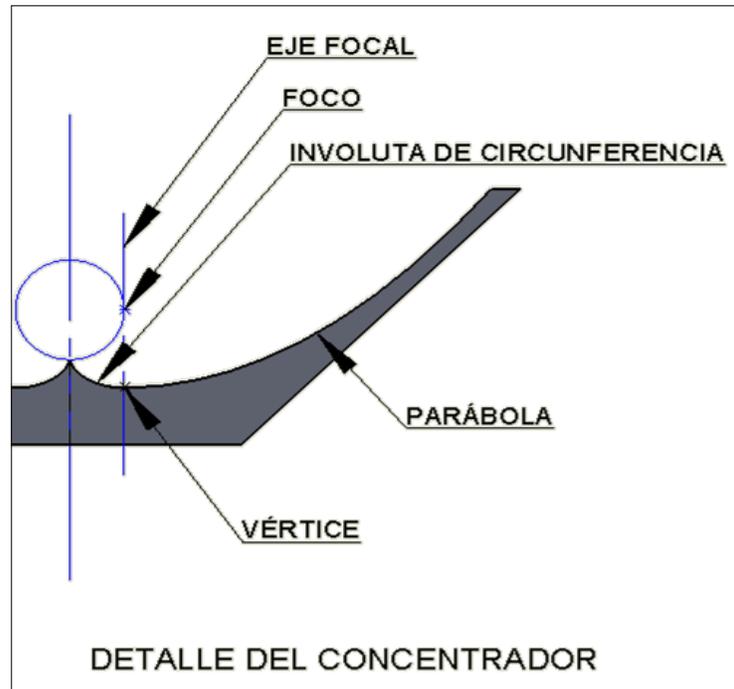
LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Figura 58. Dimensiones del concentrador solar parabólico compuesto



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

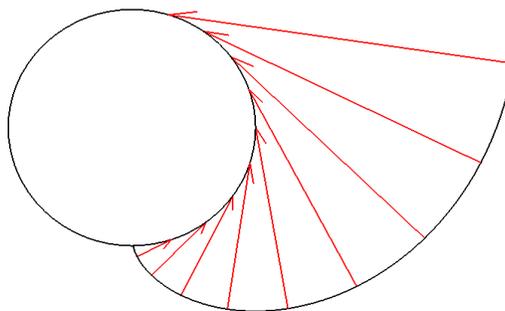
Figura 59. Detalle de construcción de concentrador



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

El patrón de concentración del calentador solar de agua consiste en que la radiación es reflejada hacia el absorbedor de manera tangente en toda su superficie.

Figura 60. Patrón de concentración solar producido por el prototipo

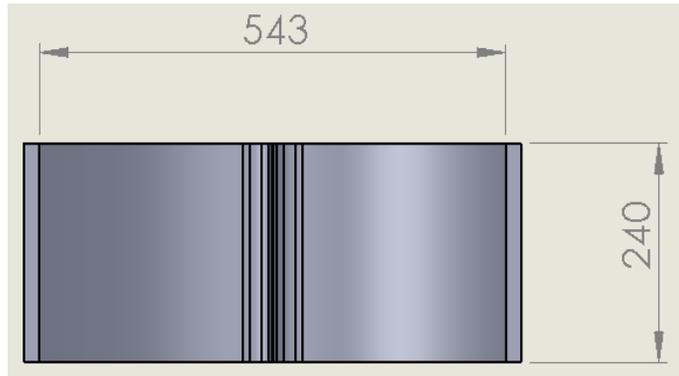


Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

El área de concentración de este dispositivo es de 0.13 m^2 , calculada como sigue:

$$A = 0.543\text{m} \times 0.24\text{m}, A = 0.13 \text{ m}^2$$

Figura 61. Área de captación solar [mm]



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

Fotografía 24. Segundo concentrador solar desarrollado. Tipo parabólico compuesto.



Los materiales empleados en la construcción de este prototipo se enumeran en la tabla No. 13.

Tabla 13. Lista de materiales del segundo modelo

Elemento del concentrador	Material
Estructura	Triplay de 9 mm
Mecanismo de orientación	Madera 2.0 X 2.0 cm
Absorbedor	"Lata-botella" color negro
Superficie de concentración	Formaica blanca
Superficie de concentración	Mylar
Elemento transparente	Vidrio transparente de 3 mm
Elemento aislante	Cartón
Elementos de fijación	Tornillos

Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Una de las características esenciales de diseño de estos dispositivos de concentración es que para su construcción y funcionamiento, se empleen materiales comunes y de fácil acceso. No se requieren materiales o elementos sofisticados para aprovechar la energía solar. Sólo se requiere conocer geometría y entender las propiedades especulares de cada superficie diseñada, así mismo experimentar con los patrones de concentración obtenidos a fin de crear configuraciones óptimas y eficientes.

El segundo concentrador solar desarrollado fue mejorado, incorporando reflectores planos en cada uno de sus lados, logrando un incremento notablemente en la concentración de la radiación y de la temperatura, llegando a 75°C en el absorbedor.

Una característica de los reflectores planos es que no concentran la radiación solar sino que la reflejan y redirigen hacia el absorbedor de calor o hacia concentradores solares, incrementando con esto la radiación incidente. Estos elementos permiten incrementar el área de captación solar.

Fotografía 25. Segundo concentrador solar desarrollado incorporando reflectores planos.



4.5.3 CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO SIN AISLAMIENTO TÉRMICO

El tercer concentrador desarrollado es del tipo parabólico compuesto, consiste en un concentrador de dos alas, sin elementos aislantes y el absorbedor es una cazuela empleada para la cocción de alimentos. Este tercer modelo tiene como propósito cocinar alimentos, pudiendo cocer un huevo en menos de 40 min. La temperatura alcanzada en el absorbedor para la de cocción de alimentos es de 91°C.

Fotografía 26. Cocción de huevo mediante el empleo del tercer concentrador solar



Una característica que debe identificarse al diseñar concentradores solares es su extensión, entre más superficie de captación mayor aprovechamiento solar y por lo tanto mayor concentración de calor. La Fotografía 33 ilustra el tercer modelo desarrollado. Puede observarse que este modelo es muy alto, su altura máxima es de 1.5 metros. Permitiendo alcanzar temperaturas de hasta 91°C.

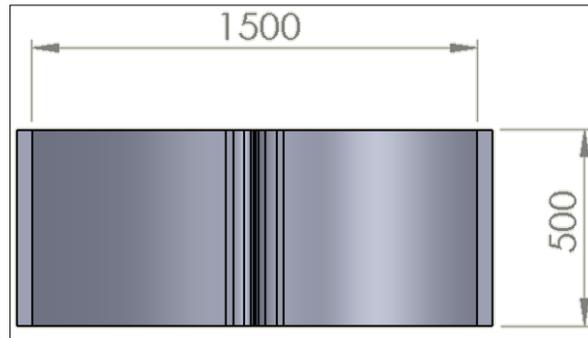
Fotografía 27. Tercer concentrador solar desarrollado del tipo parabólico compuesto



LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Las dimensiones del concentrador tipo parabólico compuesto se indican en la figura No. 64. El área de concentración del tercer prototipo es de 0.75 m^2 , calculada como sigue: $A = 1.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$, $A = 0.75 \text{ m}^2$

Figura 62. Área de captación solar del tercer prototipo [mm]



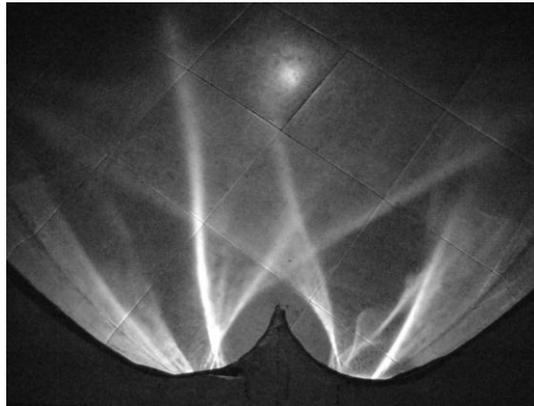
Al igual que los anteriores concentradores, el tercer modelo también incorpora materiales comunes y de bajo costo para su construcción, como es mostrado en la tabla 14.

Tabla 14. Lista de materiales del tercer concentrador

Elemento del concentrador	Material
Estructura	Triplay de 9 mm
Mecanismo de orientación	Madera 6.0 X 2.0 cm
Absorbedor	Cazuela de barro
Soporte del absorbedor	Varilla cromada y cadena
Superficie de concentración	Triplay de 3 mm
Superficie de concentración	Mylar
Elementos de fijación	Pijas y clavos
Elementos de fijación	Tornillos

El patrón de concentración de este prototipo lo podemos observar en la fotografía 34. Se observa que la radiación incidente se direcciona principalmente hacia el centro del concentrador. Esta zona es ideal para colorar el absorbedor de calor y aprovechar la energía concentra. Los dos lados del concentrador permiten extender el tiempo de ajuste del concentrador hasta dos horas, ya que la radiación solar incide sobre un lado del concentrador y tras una hora de movimiento aparente del sol, el otro lado del concentrador comienza a concentrar energía. Esta es una de las características identificadas en este modelo.

Fotografía 28. Patrón de concentración del tercer concentrador solar



Este modelo inicialmente sólo estaba conformado por los concentradores y el soporte para el absorbedor y el absorbedor mismo, sin embargo las pérdidas térmicas debidas al proceso de transferencia de calor por convección son elevadas; entre más elevada es la temperatura, mayores son las pérdidas de calor en sistemas no aislados térmicamente, lo que hacía a este modelo un sistema ineficiente. Como una mejora a esta condición se diseña una base aislada térmicamente cuya finalidad es obtener un mejor desempeño del prototipo; se incluyen adicionalmente reflectores de tipo parabólico a cada lado del absorbedor de calor, obteniendo un notable incremento en la temperatura y en la rapidez de cocción de alimentos.

Así mismo, el aislamiento térmico permite conservar gran parte del calor acumulado en el absorbedor. Bajo la condición anterior (sin aislamiento térmico), el sistema presentaba grandes caídas de temperatura, ya que parte del calor concentrado, era arrastrado por el viento circundante.

La forma final de este concentrador solar es nueva, cumple la necesidad de concentrar radiación solar para generar calor suficiente y cocer alimentos. Para lograr este objetivo, se diseñaron y construyeron concentradores de un área de captación solar determinada y su disposición está dada en función de la posición solar.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Fotografía 29. Adaptación de reflectores tipo parabólico al tercer concentrador solar.



La fotografía 36 corresponde al detalle de la base con aislamiento térmico empleada en el tercer prototipo.

Fotografía 30. Base con aislamiento térmico



Como resultado de la implementación de estas mejoras, se pudo cocinar verduras en un tiempo de 60 minutos empleando únicamente energía solar.

Fotografía 31. Cocción de verduras empleando un concentrador solar



Una de las desventajas de este prototipo es la dificultad para ser desplazado y ser orientado, debido principalmente a su peso y dimensiones.

4.5.4 COCINA SOLAR CON CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPUESTO Y CAJA DE REFLECTORES PLANOS

El cuarto prototipo desarrollado corresponde a la propuesta final de diseño de la cocina solar. Este sistema combina características de los diseños anteriores; incluye una estructura móvil y plegable que permite el fácil desplazamiento del sistema, un concentrador multicompuesto en su parte inferior, una caja aislante en su parte superior y un absorbedor de energía en su parte central.

En los párrafos siguientes se detalla cada uno de los componentes y las mejoras hechas a lo largo de su desarrollo.

El propósito de este modelo es confirmar que es posible cocer alimentos empleando como fuente energética a la radiación solar.

Como resultado de este diseño de cocina solar, es posible alcanzar una temperatura en el absorbedor de calor superior a los 92°C, permitiendo cocinar alimentos tales como espagueti, gelatina, sopa de verdura, filetes de pescado entre otras empleando únicamente la energía proveniente del sol.

Los elementos que conforman este diseño se describen en los párrafos siguientes.

4.5.4.1 ESTRUCTURA DE LA COCINA SOLAR

Este elemento se diseña a partir de la necesidad de movilidad de la cocina solar, específicamente a la necesidad de un adulto mayor para poder desplazar y orientar el sistema de manera práctica y con el menor esfuerzo posible.

Como resultado a la revisión de este requerimiento, se llega a la conclusión de que es necesaria la incorporación de ruedas a la estructura para su óptimo desplazamiento y orientación práctica. Así mismo se diseña la estructura de tipo plegable para poder ser fácilmente guardada y trasladada.

La estructura está compuesta por dos soportes laterales de forma trapezoidal y travesaños articulados a estos mediante bisagras.

El material empleado en la construcción de la estructura es madera de pino. Este tipo de material es seleccionado por su facilidad de trabajo y su precio accesible.

La fotografía 40 describe la estructura o soporte de este modelo, cuya característica principal es que puede plegarse y posee ruedas que permiten su fácil desplazamiento y orientación.

Fotografía 32. Estructura móvil de la cocina solar



LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Las dimensiones de los componentes de la estructura se detallan en la figura No. 65. Básicamente los soportes laterales son configurados con una forma trapezoidal y los travesaños son elementos articulados mediante bisagras.

Figura 63. Dimensiones generales del soporte lateral de la estructura de la cocina solar

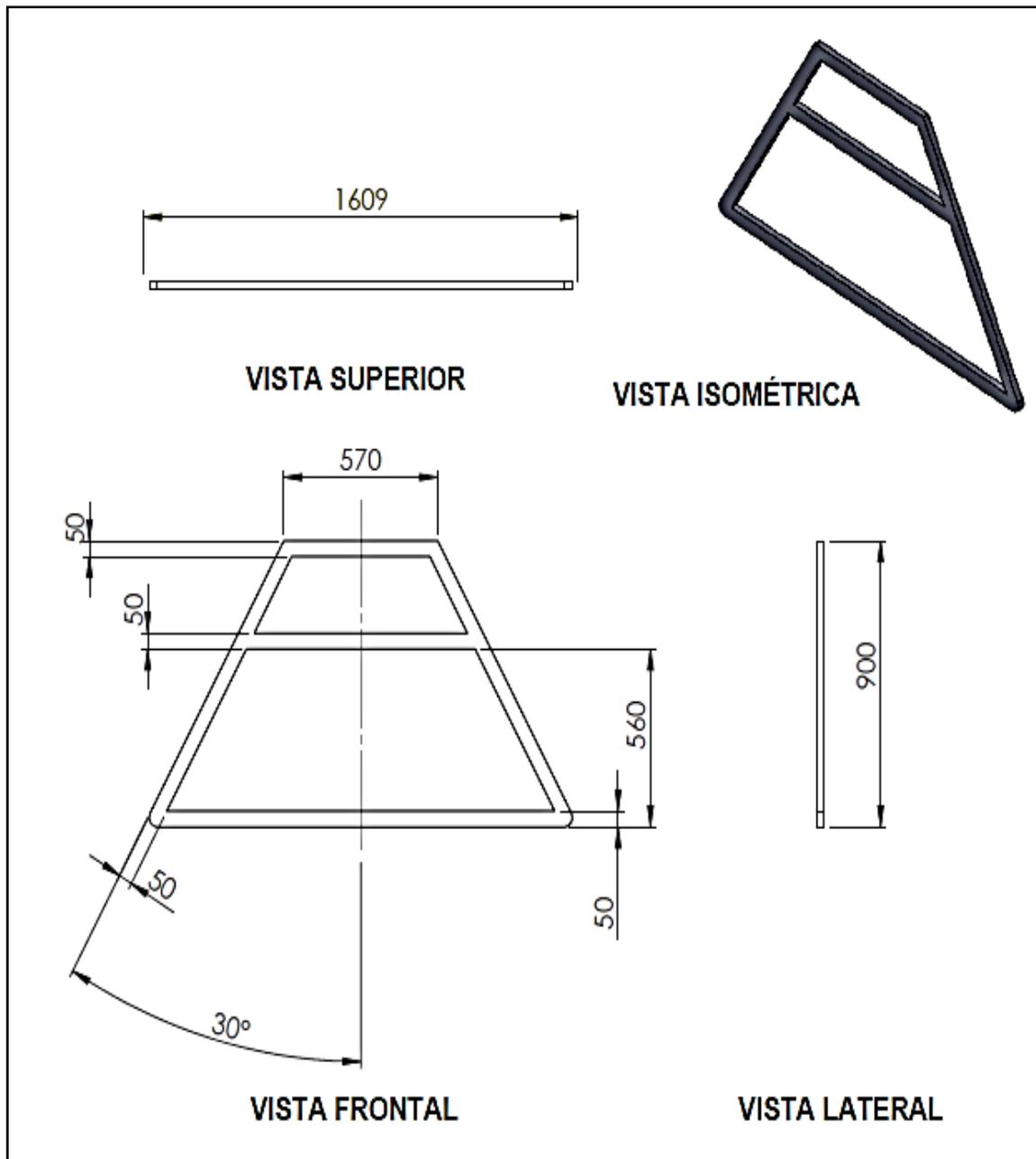
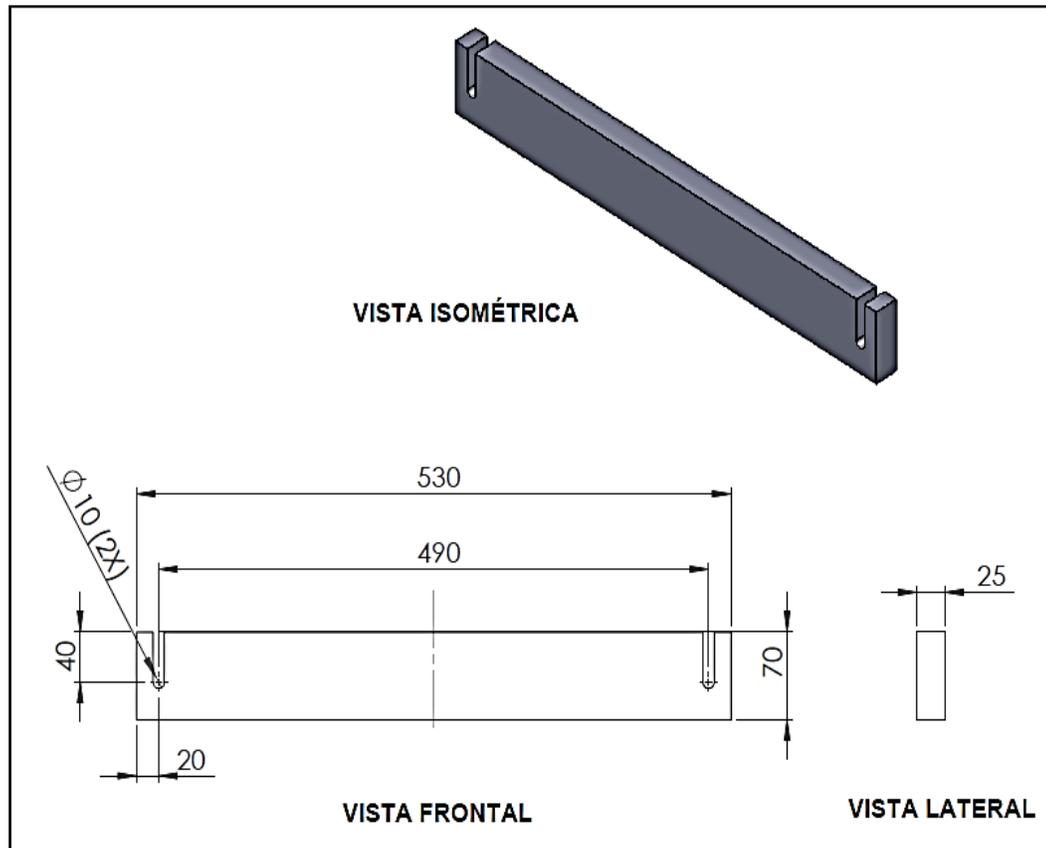


Figura 64. Dimensiones de los travesaños

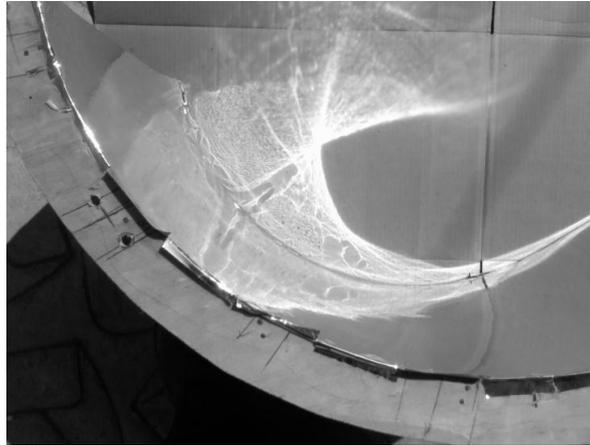


Para dar mayor rigidez a la estructura o soporte de la cocina solar, se incluyen elementos tales como travesaños y tensores que se adaptan a la estructura sin necesidad de fijaciones tales como tornillos o pijas.

4.5.4.2 CONCENTRADOR MULTICOMPUESTO

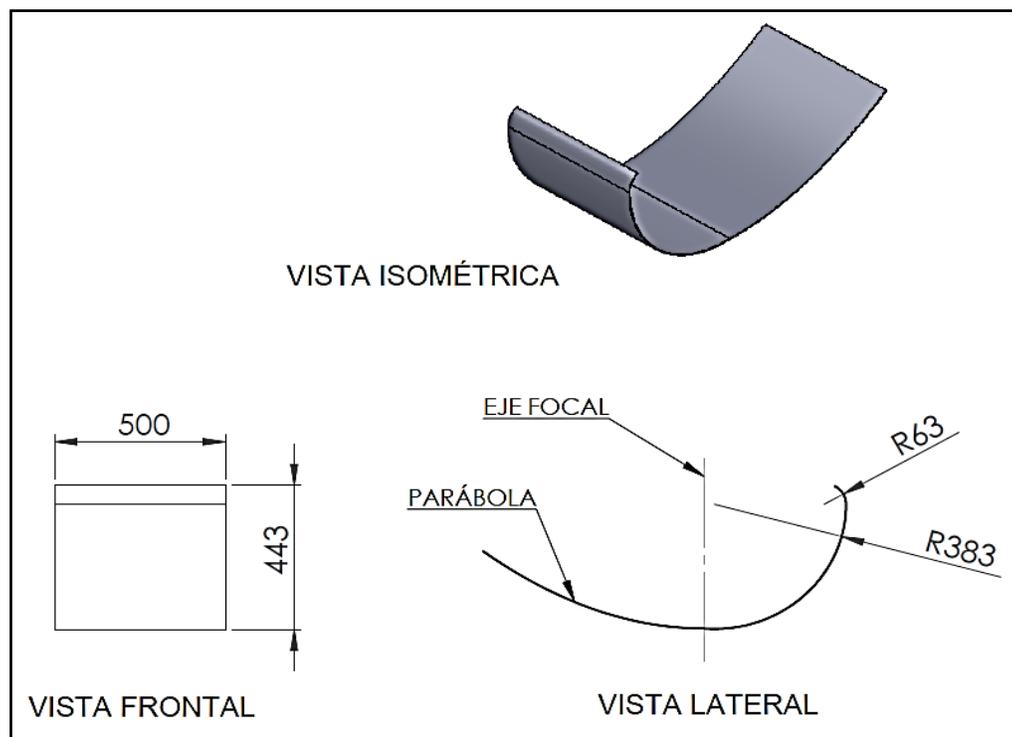
El concentrador solar diseñado para la cocina está compuesto por segmentos de involuta de circunferencias de diferentes radios y una porción de una parábola, motivo por el cual se denomina multicompuesto. La incorporación de los elementos geométricos antes mencionados al diseño del concentrador permite obtener un patrón de concentración específico. La fotografía 39 muestra el patrón de concentración obtenido físicamente por el concentrador multicompuesto. Este diseño del elemento concentrador pretende simular la fuente calorífica proporcionada por un fogón u hornilla de la estufa común de gas.

Fotografía 33. Patrón de concentración de la radiación solar obtenido por el concentrador multicompuesto



La figura 67 muestra las dimensiones de los elementos geométricos incorporados en el concentrador solar multicompuesto.

Figura 65. Concentrador solar multicompuesto



El área de concentración solar de este elemento de la cocina solar es de 0.5m^2 calculada como sigue: $A = 1.0\text{ m} \times 0.5\text{ m}$, $A = 0.5\text{ m}^2$

4.5.4.3 CAJA AISLANTE

Este elemento de la cocina solar se diseña considerando el requerimiento de que el calor concentrado en el absorbedor y en los alimentos se conserve y se evite en lo posible las pérdidas del mismo por radiación y convección.

La concentración de la radiación se logra mediante el elemento concentrador del sistema. Esta concentración se debe conservar mediante un aislamiento térmico. Por lo que se diseña la caja aislante, que incorpora paredes inclinadas en tres de sus lados, recubiertas estas de un material reflejante para optimizar la captación solar. La inclinación de las paredes está dada por la latitud del lugar donde se empleará la cocina solar. Particularmente para este diseño, se determinó un ángulo de inclinación de las paredes de la caja de 19°, dato equivalente a la latitud del lugar de aplicación de la cocina solar. La tabla No. 7 muestra la latitud (19.28°) del lugar de estudio de la cocina solar.

La cubierta de la caja es un vidrio transparente que permite el paso de los rayos solares y evita que el calor escape ya que este elemento crea el fenómeno de efecto invernadero en el interior de la caja. Incluye la caja además una puerta a través de la cual se introducen los alimentos a la cocina solar, referir a la fotografía 45.

En su cara frontal la caja cuenta con un vidrio transparente que evita la proyección de sombras sobre el absorbedor.

Las figuras 67 a 69 señalan las dimensiones de los componentes de la caja aislante y las dimensiones de la caja ensamblada.

La tabla 15 muestra el material empleado en la construcción de cada componente de la cocina solar propuesta.

Figura 66. Dimensiones de la caja aislante. Tapa frontal

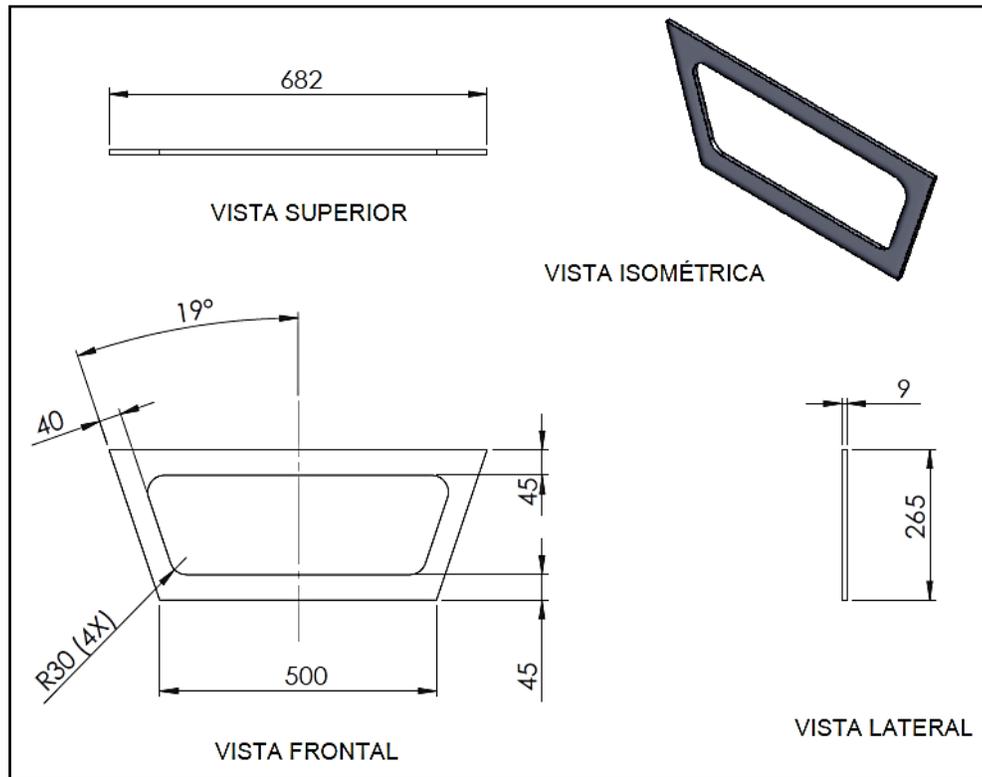


Figura 67. Dimensiones de la caja aislante. Tapa lateral

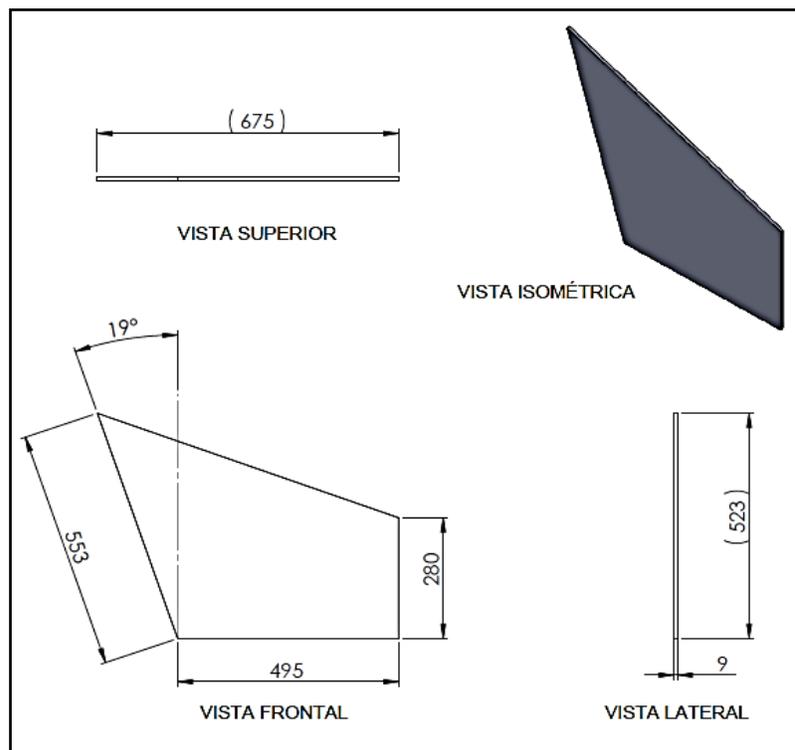


Figura 68. Dimensiones de la caja aislante. Tapa trasera

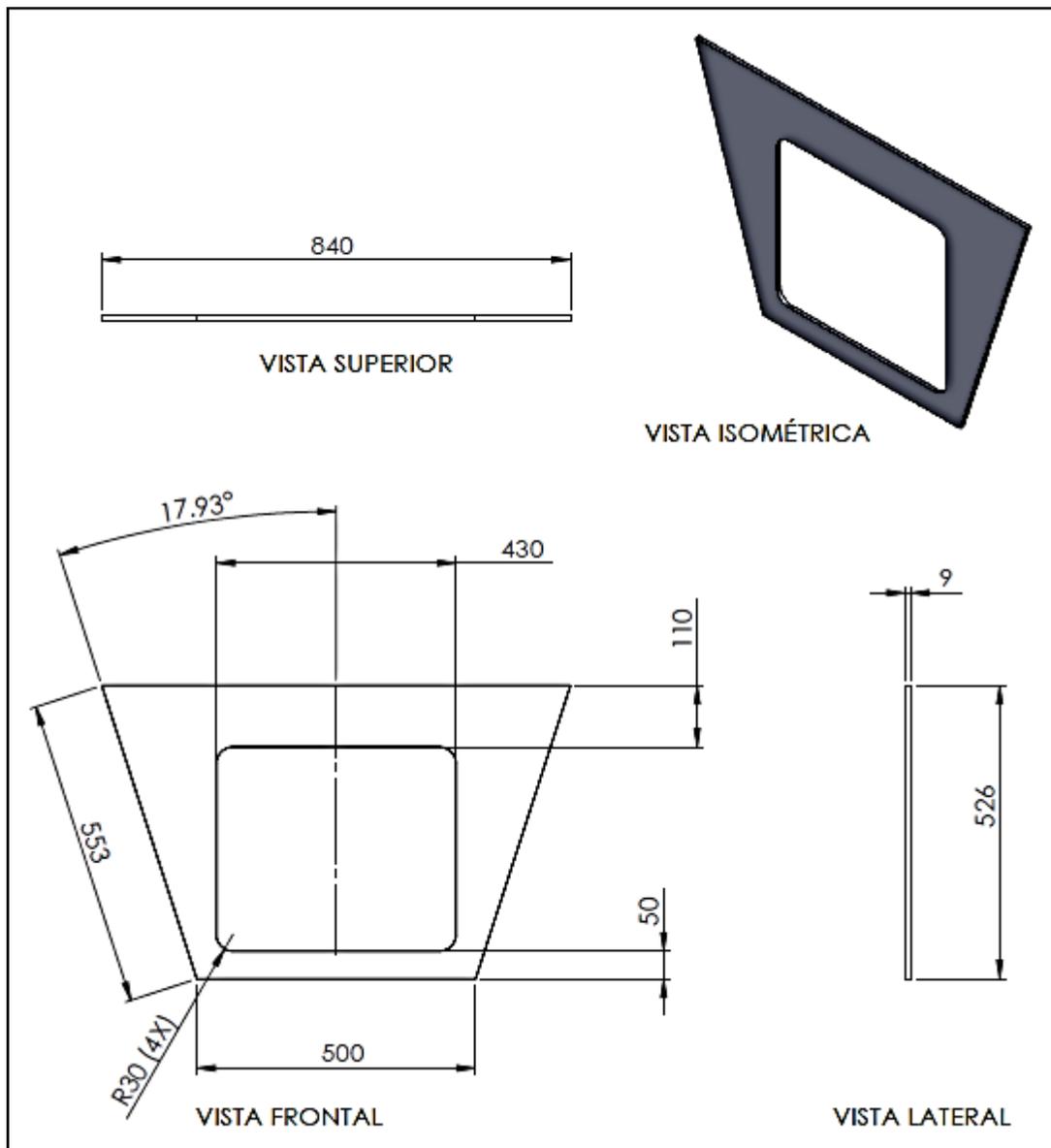
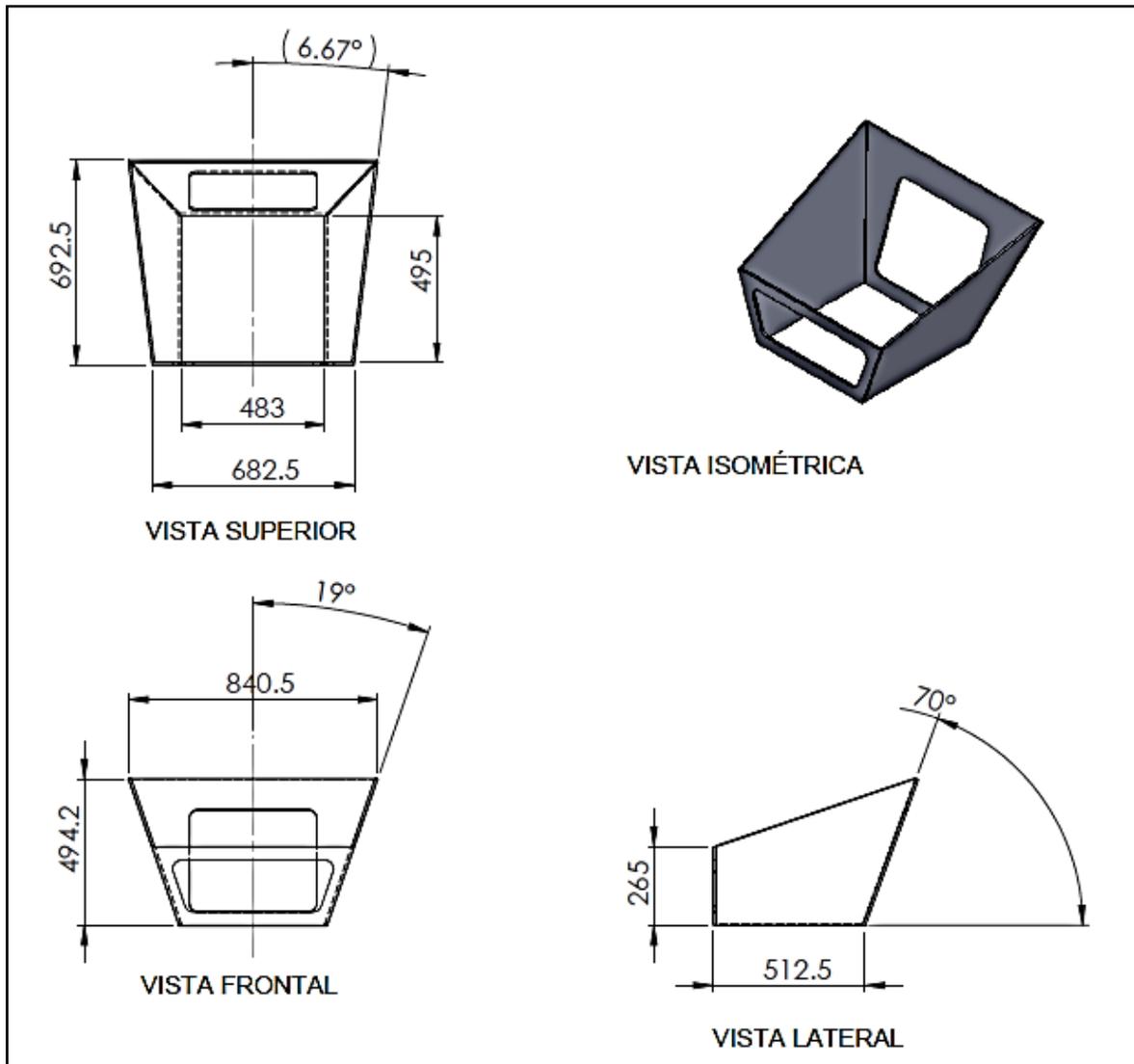


Figura 69. Caja superior aislante



**LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA**

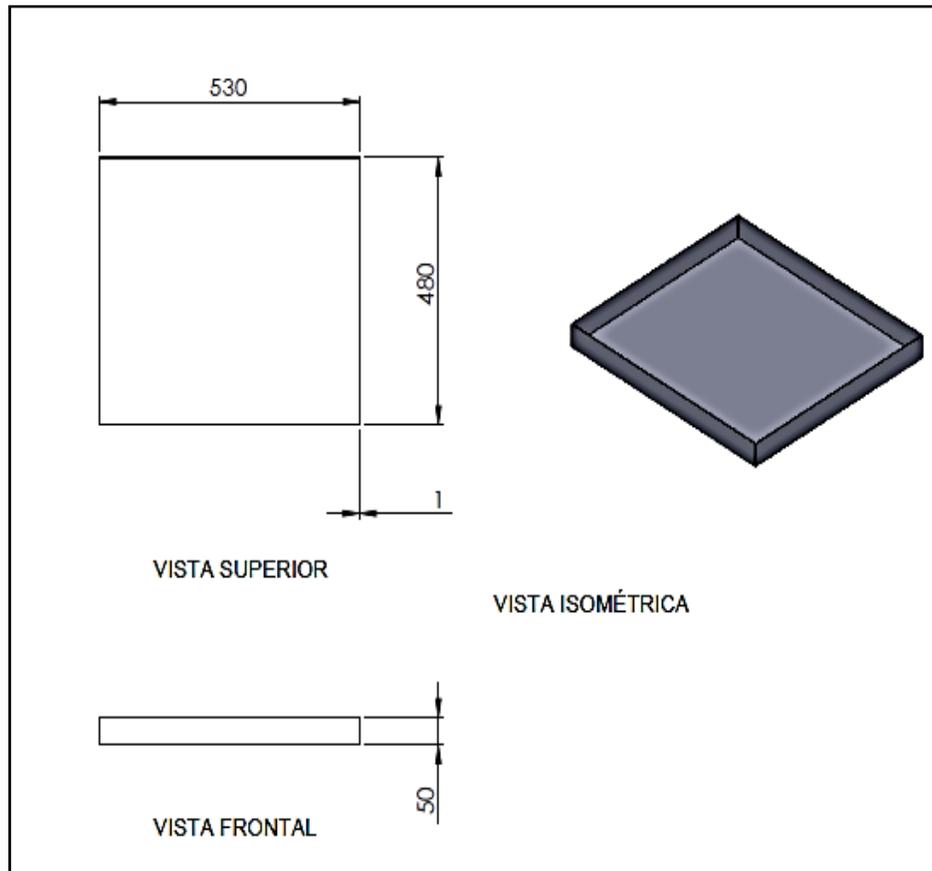
Tabla 15. Lista de materiales de la cocina solar

Elemento de la cocina solar	Material
Estructura	Madera de 6.0 X 2.0 cm
Concentrador Multicompuesto	Triplay de Pino de 9 mm
	Triplay de Pino de 3 mm
	Clavos de 1"
	Madera de 3.0 X 2.0 cm
	Mylar
Caja aislante	Vidrio transparente de 6 mm
	Triplay de pino de 9 mm
	Mylar
	Silicón
	Clavos de 1"
	Bisagras de 1 1/2"
Absorbedor de calor	Pasador
	Varillas cromadas
	Charola de lámina galvanizada

4.5.4.4 ABSORBEDOR DE CALOR

El absorbedor de calor de la cocina solar está conformado por una charola de lámina galvanizada, la cual cubre el fondo de la caja superior y es soportada por dos varillas cromadas. Las dimensiones del absorbedor son 53.0 X 48 X 5 cm. La cara inferior del absorbedor es ahumada para mejorar el rendimiento del sistema.

Figura 70. Absorbedor de la cocina solar



Fuente: Elaboración propia, Toluca, 2012

4.5.5 PROCESO DE MANUFACTURA DE LA COCINA SOLAR

La tabla 16 muestra el proceso de manufactura y herramienta empleada para la creación de modelo de cocina solar propuesto.

**LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA**

Tabla 16. Proceso de manufactura de la cocina solar

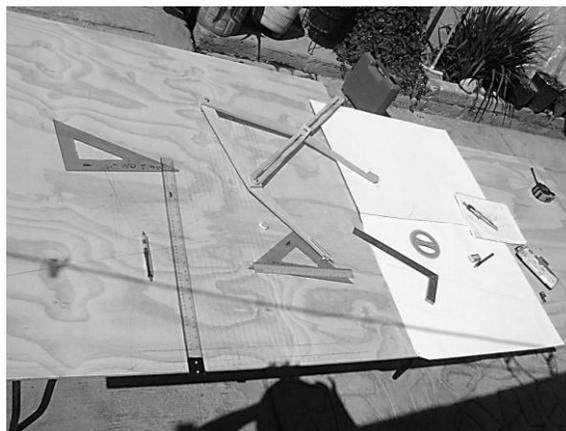
PROCESO DE MANUFACTURA DE LA COCINA SOLAR		
NÚMERO DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	HERRAMIENTA
CAJA AISLANTE		
Parte num. C		
C-1	Cortar triplay de 9 mm de acuerdo a croquis de cada componente	Sierra Caladora
C-2	Ensamblar caja mediante clavos y resistol blanco	Martillo, escuadras
C-3	Forrar con Mylar cada una de las paredes interiores de la caja	Regla y tijeras
C-4	Colocar vidrio transparente de 6mm como cubierta superior y en la cara frontal	aplicador de silicón
C-5	Ensamblar pasador y bisagra en puerta de la caja	Desarmador y taladro
C-6	Pintar caja aislante	Brocha
CONCENTRADOR SOLAR		
Parte num. R		
R-1	Cortar triplay de 9 mm de acuerdo a croquis del perfil del concentrador	Sierra Caladora
R-2	Cortar travesaños del concentrador	Sierra Caladora
R-3	Cortar triplay de 3 mm para formar la cubierta del concentrador	Sierra Caladora
R-4	Ensamblar concentrador mediante clavos y resistol blanco	Martillo, escuadras
R-5	Forrar con Mylar toda la cubierta del concentrador	Regla y tijeras
ABSORBEDOR		
Parte num. A		
A-1	Ensamblar charolas de lámina galvanizada	Pinzas
A-2	Ahumar superficie inferior del absorbedor	-
ESTRUCTURA-SOPORTE DE LA COCINA SOLAR		
Parte num. E		
E-1	Cortar madera para estructura de acuerdo a croquis de cada componente	Sierra Caladora
E-2	Ensamblar componentes de la estructura mediante resistol blanco y clavos y pijas	Martillo, escuadras
E-3	Cortar triplay de 3 mm para formar tapas laterales de la estructura	Sierra Caladora
E-4	Pintar estructura en color blanco	Brocha

4.5.6 PROCESO DE DESARROLLO DE LA COCINA SOLAR

El proceso de diseño para este caso de estudio comienza con la identificación de las necesidades de la población respecto a la cocción de alimentos empleando una fuente energética limpia y sustentable. Surge tras esta observación la idea de crear un dispositivo económico, accesible para todos y que emplee a la radiación solar como fuente energética. Una vez que se genera la idea del dispositivo estudia que se ha hecho al respecto a lo largo de la historia y como se ha solucionado la problemática. Además se estudian los elementos y principios de diseño que darán paso a la creación del modelo.

Una vez concretado el conocimiento de los principios y la identificación de los elementos de diseño, se procede al trabajo de diseño. Esta etapa requiere de la experiencia del diseñador a fin de aproximar un boceto, lo más próximo al requerimiento del usuario final. Tras la creación del boceto se procede a la creación de planos y croquis para la manufactura del modelo, a la determinación de los materiales y procesos de manufactura que se emplearán para el desarrollo del mismo. Una vez determinados materiales y procesos de manufactura, se comienza con el proceso de manufactura. Se generan los componentes del modelo y se procede a su ensamble.

Fotografía 34. Trazado de cada uno de los componentes de la cocina solar



Al finalizar el ensamble del modelo, se llevan a cabo los ajustes y preparativos necesarios para comenzar con su evaluación.

4.5.6.1 PROCESO DE MEJORA DE LA COCINA SOLAR

A. Desarrollo de concentrador multicompuesto



B. Adaptación de soportes para la fijación del elemento absorbedor



C. Incorporación de reflectores con perfil parabólico a cada lado del concentrador multicompuesto.



D. Adaptación de una caja aislante térmica



E. Nuevo concepto de cocina solar.

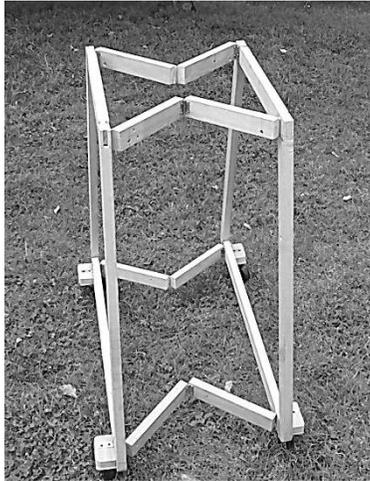


F. Diseño y desarrollo de caja reflectora y aislante térmica.

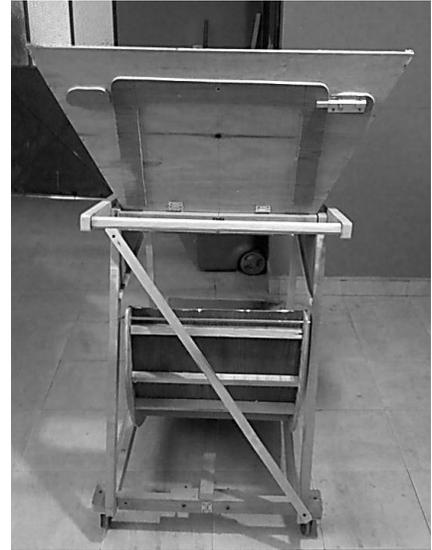


LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

G. Diseño y desarrollo de estructura-base plegable y con adaptación de ruedas para su fácil traslado y orientación del modelo.



J. Incorporación de elemento estructural y elemento para mejoramiento de la movilidad del modelo.



H. Mejora de la caja reflectora. Mayor área para paso de radiación solar.



K. Mejoramiento del elemento estructural y de manejo del modelo, incorporación de pintura a la cocina.

I. Diseño y desarrollo de concentrador multicompuesto.



LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

- L. Modelo final de cocina solar con incorporación de cubierta para facilitar la incorporación de los alimentos al interior de la cocina.



CAPITULO V. EVALUACIÓN DE LA COCINA SOLAR

5.1 EVALUACIÓN DE LA COCINA SOLAR

5.1.1 TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LA COCINA SOLAR

5.1.1.1 METODOLOGÍA

La temperatura de operación de la cocina solar desarrollada se evalúa colocando dos litros de agua en un recipiente colocado sobre el absorbedor de calor. La cocina solar se colocó en posición de funcionamiento. La temperatura del absorbedor se midió cada 30 minutos a lo largo de cinco horas a partir de las 10 de la mañana, hora civil. Los registros de temperatura se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Registro de temperatura en el absorbedor de calor

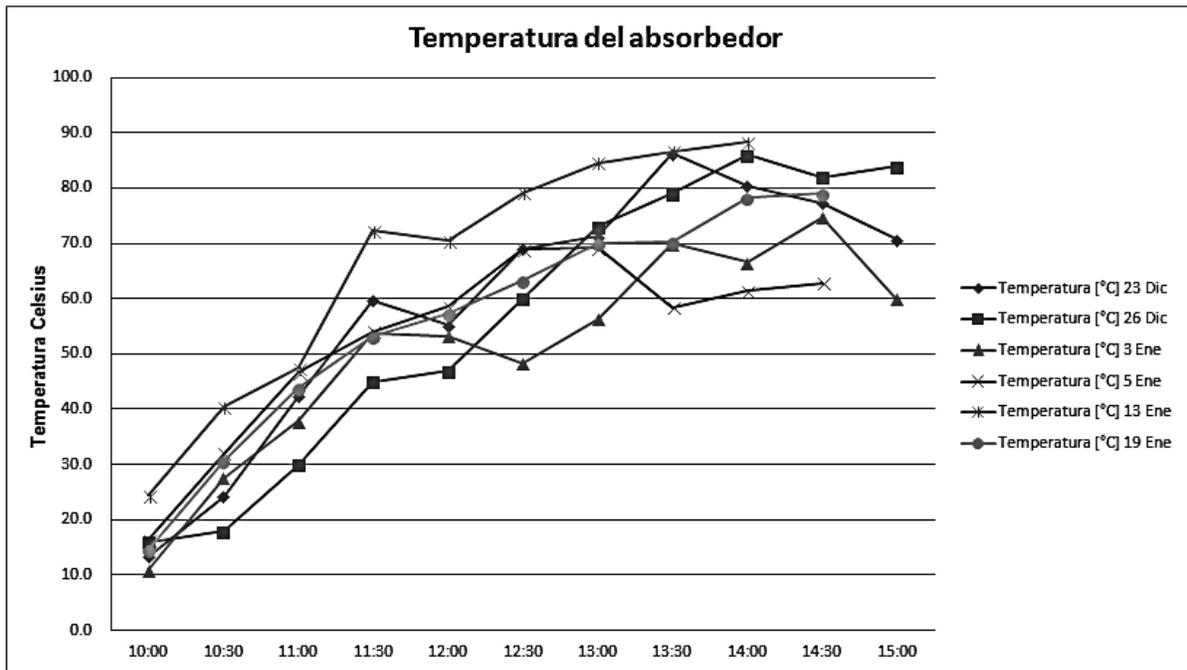
Hora Legal	Temperatura [°C] 23 Dic 12	Temperatura [°C] 26 Dic 12	Temperatura [°C] 3 Ene 13	Temperatura [°C] 5 Ene 13	Temperatura [°C] 13 Ene 13	Temperatura [°C] 19 Ene 13
10:00	13.4	16.0	11.0	16.4	24.4	14.7
10:30	24.3	18.0	27.7	32.1	40.4	30.6
11:00	42.4	30.0	37.8	46.6	47.4	44.0
11:30	59.7	45.0	53.7	54.1	72.3	53.2
12:00	55.2	47.0	53.2	58.6	70.5	57.3
12:30	69.1	60.0	48.4	69.0	79.2	63.2
13:00	71.3	73.0	56.4	69.2	84.6	70.0
13:30	86.2	79.0	69.9	58.5	86.6	70.2
14:00	80.5	86.0	66.6	61.5	88.3	78.4
14:30	77.3	82.0	74.8	62.9	Sin registro	79.1
15:00	70.8	84.0	60.0	Sin registro	Sin registro	Sin registro

Estas temperaturas son características de la cocina solar propuesta. Las grafica 5 muestra el comportamiento de las temperaturas mostradas en la tabla anterior. Las caídas de temperatura mostradas se deben principalmente a la presencia de nubes durante el uso de la cocina solar. Puede notarse además que la caída de temperatura no es drástica y se recupera calor en el absorbedor tan pronto como vuelve a incidir la radiación solar sobre la cocina.

En el anexo de este documento puede verse el detalle del comportamiento de la temperatura al interior de la cocina solar durante diferentes días de operación.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Gráfica 5. Comportamiento de la temperatura al interior de la cocina solar



Como resultado de la evaluación experimental, se observa que la cocina solar en condiciones de cielo despejado, no importando la temperatura ambiente, que en promedio durante los días de evaluación es de 16°C (tomada de cuerpos circundantes al modelo), es capaz de desempeñar su función básica que es cocer alimentos. Las temperaturas máximas registradas superan los 92°C. Como confirmación se realizaron pruebas en la cocina solar con diversos guisos, determinando su tiempo de cocción. El sabor y consistencia de los alimentos cocinados es buena. Especialmente alimentos de origen vegetal son cocidos fácilmente, lo que representa una oportunidad de uso para personas que necesiten dieta baja en grasas y carnes.

La tabla siguiente muestra un comparativo entre las temperaturas internas requeridas para la cocción de carnes y la temperatura alcanzada por el absorbedor de calor de la cocina solar.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Tabla 18. Comparativo de temperatura interna requerida para la cocción de carnes y la temperatura alcanzada por la cocina solar

TIPO DE CARNE	TEMPERATURA DE COCCIÓN SEGURA	TEMPERATURA DE COCINA SOLAR
CORTES DE CARNE	62.78 °C	92°C obtenidos en el absorbedor de calor
CARNE MOLIDA (CERDO Y RES)	71.11 °C	
CARNE DE AVES DE CORRAL	73.89 °C	

Fuente: (USDA), Recommended cooking temperatures

5.1.2 COCCIÓN DE ALIMENTOS EMPLEANDO LA COCINA SOLAR

5.1.2.1 ESPAGUETI

El primer platillo cocinado 100% con energía solar es espagueti, ración para 3 comensales. El sabor y consistencia del platillo es aceptable comparado con un platillo preparado con energía convencional.

Fotografía 35. Espagueti cocinado en cocina solar

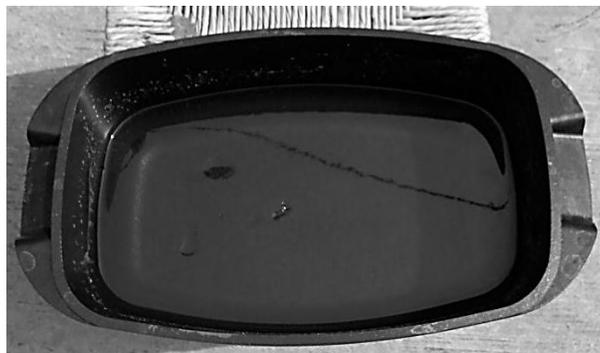


El tiempo de cocción de este platillo es de 3 hrs. Durante este periodo se presenta viento que reduce el desempeño de la cocina solar de manera significativa. La temperatura máxima alcanzada al interior de la cocina solar es de 88 °C. Este platillo se cocinó a mediados del mes de diciembre.

5.1.2.2 GELATINA

El segundo alimento preparado en la cocina solar es gelatina. La cantidad un litro, el tiempo de calentamiento de agua es de una hora. La temperatura inicial del agua fue de 17°C y la temperatura final fue de 86°C.

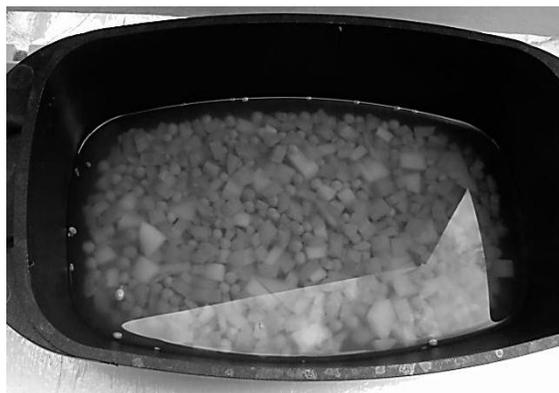
Fotografía 36. Gelatina preparada en cocina solar



5.1.2.3 VERDURAS HERVIDAS

El tercer platillo cocinado puramente con energía solar, son verduras cocidas: Zanahoria, chícharo y papa, ración para tres comensales. El sabor y consistencia de las verduras cocidas es aceptable comparado con un platillo preparado con energía convencional.

Fotografía 37. Verduras hervidas en cocina solar



El tiempo de cocción de este platillo fue de 2 hrs. Sin la presencia de nubes o viento que redujeran el desempeño de la cocina solar. La máxima temperatura registrada

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

del absorbedor fue de 88.3 °C. Referir a la gráfica 12 del anexo para mayor detalle del comportamiento de la temperatura durante la cocción de este alimento.

La siguiente tabla presenta un comparativo de platillos cocinados con energía convencional (gas LP y carbón) y platillos cocinados con energía solar.

Tabla 19. Comparativo de platillos cocinados con energía convencional y platillos cocinados con energía solar

Platillos cocinados (energía convencional)	Temperatura de cocción	Tiempo de cocción	Platillo cocinado con energía solar	Temperatura de cocción
ALBÓNDIGAS EN SALSA VERDE	78-80°C	1 hora y media	Sopa de pasta	86.2°C
ATOLE DE MASA	86- 90°C	Dos horas	Sopa de verduras	82.3°C
MOJARRAS EMPAPELADAS	más de 100°C	50 minutos	Filete de mojarra	92°C
ESPINAZO DE PUERCO FRITO	mas de 100°C	1 hora	Pechuga de pollo asada	91.8°C
Calentar tortillas en comal	95°C	cinco minutos	Tortillas calientes	90°C

De la tabla 19 podemos concluir que platillos tales como carne de puerco frita o pescado frito no es posible cocinarlo en la cocina solar propuesta debido a que para freír algún alimento se requieren temperaturas superiores a los 100°C. Sin embargo cortes de carne delgados como bistecs o pechugas de pollo es factible asarlos y obtener una carne bien cocida. Los tiempos de cocción en una cocina solar oscilan entre una hora y media y 2 horas y media.

5.1.3 RECOMENDACIONES PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS

Los tiempos requeridos para la cocción de alimentos depende de la insolación, de la cantidad de alimentos que se coloquen en la cocina, del tipo de alimento, y del espesor de las porciones - entre más delgados, más rápido es el cocimiento - (Rincón, 2010: 20)

Toda cocina solar eficiente tendrá una cavidad en donde se coloque uno o más recipientes que contengan los alimentos a cocinar. Esta cavidad es calentada por la radiación solar, concentrada por el uso de espejos, que ingresa a ésta a través de una cubierta transparente (y aislante). La cavidad es aislada térmicamente del exterior usando los materiales más convenientes, o de preferencia, el vacío parcial, que prácticamente elimina las pérdidas por convección y conducción. Las pérdidas por radiación son disminuidas empleando películas selectivas. (Cfr. Rincón, 2010: 25)

5.1.4 INSTRUCTIVO DE USO DE LA COCINA SOLAR

El uso de la cocina solar representa una oportunidad práctica para la cocción de alimentos, ya que ofrece la posibilidad de cocerlos sin el riesgo de que puedan quemarse y no es necesario estar moviendo los alimentos durante su tiempo de cocción. Una vez colocados los alimentos en dentro de la cocina, sólo es necesario orientarla cada hora con la finalidad de seguir la trayectoria aparente del sol para potenciar el aprovechamiento de su radiación.

Los siguientes pasos indican las acciones que se deben tomar al momento de usar la cocina solar.

- A. El armado de la cocina solar es sencillo y fácil de llevar a cabo.
 - a. Es una recomendación para el armado de la cocina, que no se lleve a a cabo esta acción bajo los rayos directos del sol, esto con la finalidad de evitar reflejos que puedan causar daño a la vista el usuario. Una vez completado el ensamble, es seguro dirigir la cocina hacia el espacio donde pueda aprovechar la radiación solar directa.
 - b. Primeramente se debe desplegar la base de la cocina solar e instalar los elementos de seguridad como son el travesaño horizontal y el travesaño transversal.
 - c. Como segundo paso se debe instalar el absorbedor de calor sobre la base de de la cocina, esto a través de las ranuras superiores que tiene

la base y empleando para su ensamble las varillas provistas a cada lado del absorbedor.

- d. En el tercer paso se debe instalar el concentrador solar en la parte inferior del absorbedor a través de los agujeros y ranuras adaptados en la base y empleando una varilla (Cromada). Y enganchar la cadena provista en el concentrador al elemento de la base incorporado para este fin.
 - e. Como cuarto paso se debe colocar la caja superior sobre la base. Es recomendable que dos personas realicen esta operación debido al peso de la caja.
- B. Identificar un área al exterior de la vivienda con soleamiento permanente. Esta área puede ser un patio, una azotea o un lugar de seguro y fácil acceso.
- C. La cocina solar se debe ubicar en esta área. El frente de la cocina siempre se debe posicionar siguiendo al sol. Una ventaja de este modelo es la incorporación de ruedas para su fácil desplazamiento y posicionamiento.

Fotografía 38. Posición de la cocina solar



- D. Se recomienda el uso de lentes oscuros durante la puesta en operación de la cocina solar, con la finalidad de evitar el reflejo directo de la radiación solar sobre los ojos de usuario.
- E. Se recomienda dejar la cocina en posición durante media hora para que el absorbedor eleve su temperatura y al colocar los alimentos en su interior,

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

rápidamente ganen calor y no permanezcan mucho tiempo en la zona peligrosa de temperatura.

- F. Tras el tiempo de preparación, se debe abrir la puerta de la caja superior de la cocina y colocar los alimentos sobre el absorbedor, tras esto cerrar la puerta y dejar en posición la cocina.

Fotografía 39. Puerta de acceso al interior de la cocina solar



- G. Se recomienda no abrir la puerta de la cocina continuamente ya que al hacerlo se pierde calor y el desempeño de la cocina se ve disminuido.

- H. La mejor manera de orientar la cocina es identificar la sombra proyectada por esta. En la fotografía 46 y su detalle se observa que la sombra proyectada por la base de la cocina se encuentra justo debajo de esta.

Fotografía 40. Posición correcta de la cocina solar



Detalle de identificación de la sombra



Es un hecho que cuando la sombra proyectada por el modelo, particularmente la proyectada por su base se encuentra justo debajo de la misma, la cocina está en posición correcta.

- I. Es importante estar pendiente a la presencia de nubes en el cielo, ya que su interferencia entre el sol y la cocina limitará su desempeño, provocando caídas de temperatura. Una vez identificado un día nublado, es recomendable no usar la cocina solar, o bien si se presenta un día con sol intermitente, se puede usar el modelo para calentar agua y emplearla para la preparación de alimentos.
- J. Una vez cocinados los alimentos se deberán de retirar de la cocina, no se recomienda dejarlos al interior por un tiempo prolongado una vez que la potencia solar se reduce o hay presencia de nubosidad.
- K. Al terminar de cocer los alimentos se deberá limpiar muy bien el interior el absorbedor y la parte interior de la caja superior.
- L. Es importante que la cocina no permanezca a la intemperie después de usarse, se debe crear un lugar de resguardo para protegerla de la lluvia y polvo. Al incorporar ruedas a este modelo, se facilita el traslado para su resguardo.
- M. Al emplear la cocina en una zona exterior, es común que sus elementos transparente y reflector se cubran de polvo, por lo que es necesario limpiar estos elementos frecuentemente y de este modo permitir un mejor aprovechamiento de la energía solar.

5.1.5 RENDIMIENTO DE LA COCINA SOLAR

La relación entre la energía de radiación incidente y la energía térmica aprovechada da el rendimiento del sistema fototérmico. La máxima temperatura que puede alcanzarse con un colector se consigue cuando no se escapa ninguna cantidad de calor útil a través del medio portador del calor.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

5.1.6 EL COSTO DE LA COCINA SOLAR

Tabla 20. Lista costos de materiales empleados en la construcción de la cocina solar

Elemento de la cocina solar	Material	Costo [€]
Estructura	Madera de 6.0 X 2.0 cm	100.00
Concentrador Multicompuesto	Triplay de Pino de 9 mm	350.00
	Triplay de Pino de 3 mm	50.00
	Clavos de 1"	15.00
	Madera de 3.0 X 2.0 cm	30.00
	Mylar	100.00
Caja aislante	Vidrio transparente de 6 mm	220.00
	Triplay de pino de 9 mm	-
	Mylar	-
	Silicón	10.00
	Clavos de 1"	-
	Bisagras de 1 1/2"	35.00
Absorbedor de calor	Pasador	15.00
	Varillas cromadas	30.00
	Charola de lámina galvanizada	60.00
Total		1015.00

5.5.1 COSTOS DE LA COCINA SOLAR DESARROLLADA COMPARADO CON COCINAS SOLARES COMERCIALES

Las cocinas solares comerciales disponibles en México son los Hornos y comales Tolokatsin, cuyo precio es de \$8,000.00 pesos por cada uno. No existen en México otros modelos comerciales de cocinas solares.

Fotografía 41. Horno y comal Tolokatsin



Fuente: Tellis, 2012

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

En Estados Unidos de América, hay un modelo disponible, el SUN OVEN® cuyo precio es de \$279.00 dólares americanos (Solar Household Energy, 2012), el equivalente a \$3,565.00 pesos mexicanos.

Fotografía 42. SUN OVEN®



Fuente: The Ready Store, 2012

Los costos de materiales para construcción de la cocina solar desarrollada en este trabajo de investigación son indicados en la tabla 16. El costo total del material es de \$1,015.00 pesos. Este costo no incluye los costos de manufactura, ya que el propósito del diseño es que pueda ser construida la cocina solar por el propio interesado.

Este valor es 7 veces menor al precio de las cocinas Tolokatsin y 2.5 veces menor al precio de la cocina Norteamericana. Lo que significa una ventaja muy importante para la economía del usuario.

Adicionalmente, si se compara el costo de la cocina solar con otros dispositivos convencionales para la cocción de alimentos, podemos destacar que la ventaja competitiva que ofrece la cocina solar es una fuente energética para su operación gratuita, lo que a lo largo del tiempo representa un ahorro significativo.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Un punto a destacar es el hecho de que esta cocina solar es un prototipo, es decir, es un modelo experimental, por tanto el material durante la construcción no fue 100% optimizado. En un futuro al crear plantillas para reproducir esta cocina, será posible reducir de manera significativa los costos de materiales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Los objetivos de esta investigación se completaron satisfactoriamente, se pudieron identificar y estudiar los principios relativos al aprovechamiento de la energía solar. Se revisaron los modelos de cocinas solares desarrollados a lo largo de la historia y se pudo hacer una clasificación general de las mismas. El lugar de aplicación y estudio de la cocina solar se pudo delimitar satisfactoriamente; así mismo se diseñaron y construyeron diversos prototipos de sistemas fototérmicos en laboratorio para evaluar su desempeño. Finalmente se pudo llevar a cabo la propuesta de diseño de una cocina solar funcional.

La propuesta final de diseño tiene algunos puntos que deben mejorarse para potenciar su desempeño, por ejemplo incluir un doble aislamiento térmico que reduzca aún más las pérdidas térmicas en el sistema; revisar el diseño de la caja superior a fin de disminuir su peso y mejorar el aspecto estético general de la cocina solar.

6.1.1 USO DE LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una opción viable para su uso como satisfactora de la necesidad térmica en la zona rural del Valle de Toluca, al ser empleada como fuente de calor para la cocción de alimentos.

Particularmente se diseñó y construyó una cocina solar funcional para una familia de adultos mayores. La característica principal de este diseño fue que el funcionamiento de la cocina fuera lo más sencillo posible y que su puesta en operación se llevara a cabo de manera fácil y con el menor esfuerzo. Esto se confirmó durante el uso de la cocina por usuarios. Además de que el modelo es muy ligero y fácil de trasladar. Sólo la caja superior es pesada debido al vidrio de 6 mm empleado en su construcción.

6.1.2 DISEÑO Y DESARROLLO DE LA COCINA SOLAR

Durante el proceso de diseño y desarrollo de la cocina solar se pudo verificar que para poder generar un buen producto o creación de diseño, es necesaria la evaluación continua del mismo y un enfoque centrado en el usuario final, así mismo establecer los parámetros de diseño mínimos que se deben satisfacer desde el comienzo del desarrollo.

El diseño de prototipos permite comprobar la intención de diseño de determinado sistema con el resultado físico obtenido. Así mismo permite comprender de mejor manera su funcionamiento y desempeño y es más sencillo identificar fallas y mejoras.

Los prototipos desarrollados a lo largo del estudio permitieron identificar características básicas que se incorporaron a la propuesta de modelo final, lo que enriqueció el diseño de la cocina solar. Particularmente el diseño de la cocina sufrió grandes modificaciones a través del tiempo de desarrollo, debidas a revisiones y evaluaciones del funcionamiento por parte de los usuarios.

La construcción de la cocina desarrollada no requiere de herramientas y procesos de manufactura especiales como lo muestra la tabla 16. La intención de diseño es que las personas interesadas en tener una cocina solar puedan crearlas ellos mismos.

Para ello se pueden crear plantillas de cada uno de los componentes y así tener la posibilidad de reproducir la cocina. Además de que los dibujos de dichos componentes se encuentran en el anexo de este documento para mayor referencia.

6.1.3 COSTO

El diseño y construcción de una cocina solar a costos asequibles para la población de la zona rural del Valle de Toluca y de bajos recursos es viable. Comparativamente podemos observar en la tabla 16 que el costo de la cocina solar propuesta es mucho menor que los precios actuales de modelos disponibles en el mercado.

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Tabla 21. Precio de modelos de cocinas solares disponibles en el mercado y costo de modelo desarrollado.

Modelo	Precio
Horno Solar <i>Tolokatsin</i>	\$8, 000.00
Comal Solar <i>Tolokatsin</i>	\$8, 000.00
SUN OVEN®	\$3,565.00
Cocina solar propuesta	\$1,000.00

Además los materiales empleados son comunes y económicos como lo muestra la tabla 17.

6.1.4 BENEFICIOS DE LA COCINA SOLAR

La cocina solar permite cocer alimentos principalmente hirviéndolos o asar cortes delgados de carne como pechugas de pollo o bistecs. Una de las limitantes de la cocina solar propuesta es freír alimentos tales como cortes gruesos de carne, ya que el calor concentrado en el absorbedor no es suficiente para este fin.

La cocina solar es un elemento muy útil para purificar el agua de contaminantes biológicos, ya que al alcanzar temperaturas superiores a los 66°C por tiempos mayores a 1 hora, las bacterias y microorganismos presentes en el agua son destruidos, reduciendo considerablemente problemas de salud relacionados con infecciones intestinales por consumir agua contaminada.

Entre los alimentos cocinados con el diseño de cocina solar tenemos: Espagueti, verduras, sopa aguada de pasta, filetes de pescado, papas hervidas, huevo, gelatina, pechugas de pollo asadas, bistecs delgados, calentar tortillas, etc.

6.1.5 ASPECTOS A CONSIDERAR

La cocina solar no puede reemplazar en su totalidad a los dispositivos tradicionales empleados para la cocción de alimentos debido a que la zona de estudio cuenta con días nublados que cubren el territorio aproximadamente la mitad del año.

Es necesario incorporar al diseño de la cocina solar, otros dispositivos térmicamente aislados que permitan conservar calientes los alimentos durante el día una vez que han sido cocidos o calentados, tales como cajas calientes, tortilleros térmicos, etc.

El diseño de la propuesta de cocina solar tuvo un enfoque funcional. El aspecto estético fue poco abordado.

6.1.6 RECOMENDACIONES

El diseño para el aprovechamiento térmico de la energía solar es muy amplio y requiere propuestas mejoradas basadas en las características positivas y negativas de modelos previos.

Se recomienda revisar el diseño de la caja superior de la cocina solar con la finalidad de reducir su peso y minimizar la afectación en su desempeño.

El aspecto estético en esta propuesta de diseño fue poco abordado por lo que se recomienda un estudio adicional que permita cubrir este aspecto.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Multiactiva Creación y Servicios Editoriales, 2008. Gran diccionario universal, Planeta, China

Puppo, E., Giorgio A. Puppo, Giancarlo Puppo, 1999. Sol y diseño Índice térmico relativo, Alfaomega marcombo, Barcelona

Sabady, P., 1989. Arquitectura solar, Ediciones ceac, Barcelona

Bhamra, Tracy y Lofthouse, Vicky (2007), Design for sustainability A practical approach, Ashgate Publishing Company, USA

Butti y Perlin (1985), Un hilo dorado, 2500 años de arquitectura y tecnología solares, Graficinco, Madrid

Bonsiepe, Gui (1985), El diseño de la periferia: debates y experiencia, Gustavo Gili

Breeze, Paul, Vieira da Rosa, Aldo (2009) Renewable Energy Focus Handbook, ELSEVIER, UK.

Brinkworth B. J. (1981), Energía solar para el hombre, H. Blume Ediciones, Madrid

Çengel, Y. A., (2007), Transferencia de Calor y Masa. Un enfoque práctico, Tercera edición, McGraw-Hill, México

Chaves, J. C., (2008), Introduction to Nonimaging Optics, CRC Press, Taylor & Francis Group, USA

De Cusa, Juan, (1987),Energía solar para viviendas, CECSA, México

Duffie J. A. y A. W. Beckman, (1991), Solar Engineering of Thermal Processes, Segunda Edición, Wiley Interscience, USA

Echeverri-Perico, Rafael y Édgar Moscardi (2005), Construyendo el desarrollo rural sustentable en los territorios de México, IICA, México.

Edwards, Brian (2004) Guía básica de la sostenibilidad, Editorial Gustavo Gili S.A

Fuad-Luke, Alastair (2009) Design activism beautiful strangeness for a sustainable world , EARTHSCAN, UK

Führer, Michaela (2011) “Techos solares en Brasil. El hambre de electricidad de las ciudades” en Deutsche Welle. 24 de mayo de 2011

ISO 13407:1999(E), Human-centred design processes for interactive systems

Chapman, J. y Gant, Nick, Designers, visionaries and other stories. A collection of sustainable Design Essays. EARTHSCAN, London

Jones, Ch. (1978), Métodos de Diseño, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, S. A.

Kasper-Claridge, Manuela (2011) “Programa de los 1000 tejados en Brasil” en Deutsche Welle. 28 de mayo de 2011

Meinel A. B. y M. P. Meinel, Aplicaciones de la energía solar, Editorial Reverté, Barcelona

Moreno, D. (1998), Desarrollo de un horno solar para uso doméstico utilizando un concentrador del tipo parabólico compuesto. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica. Toluca, México, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México

Jaramillo, O. (1998), Transporte de energía solar concentrada a través de fibras ópticas: acoplamiento fibra-concentrador y estudio térmico). Tesis de Maestría en Energía Solar (Fototérmica). Temixco, Morelos, Universidad Nacional Autónoma de México.

M.R.M. Crul, J.C. Diehl, (2007), Diseño Para la sostenibilidad, un enfoque práctico para las economías en desarrollo. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, UNEP, Francia

Nandwani, Shyam S. (2006) Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, EXPERIENCIA PERSONAL DE 25 AÑOS CON LA TRANSFERENCIA

TECNOLOGICA DE COCINAS Y SECADORES SOLARES EN COSTA RICA.
Vol. 10

- Papanek Victor (2000), Design for the Real World Human Ecology and Social Change, Academy Chicago Publishers, Chicago
- Perales B. Tomás (2006), Guia del instalador de energías renovables Energía fotovoltaica, energía térmica, energía eólica, Climatización, LIMUSA, México.
- Reuter, Gero y Bolívar, Luna (2011) “Energía solar: una fuente en acelerado desarrollo” en Deutsche Welle. 27 de mayo de 2011
- Rincón, E. A., (2010), Notas del curso Cocina Solar, XXXIV Semana Nacional de Energía Solar, Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), México
- Rincón, E. y A.Lentz, (2011) “La óptica anidólica aplicada en concentradores solares óptimos” En Programa de Energía [En línea], Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Disponible en: [Accesado el 28 de diciembre de 2011]
- Rincón, E., (2009), Curso: “Tecnología solar doméstica para calentamiento de agua”. Aplicaciones térmicas de la energía solar, rendimiento térmico, concentradores convencionales y concentradores solares multicompuestos. Universidad Autónoma de la Ciudad de México, programa de energía. (17 al 27 de marzo de 2009). Plantel del Valle de la UACM. México DF.
- Rodríguez Viqueira, Manuel (2001), Introducción a la arquitectura bioclimática, LIMUSA, México
- Romero Tous, Marcelo (2009), Energía solar térmica, Editorial CEAC, Barcelona
- Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación (NORMEX) (2006), Energía Solar – Definiciones y Terminología PROY-NMX-ES-002-NORMEX-2006, Secretaría de Economía, México.
- Springer, A. (2008) Solar energy Fundamentals & modeling techniques Atmosphere, environment, climate change & renewable energy, Turkey Istanbul

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

The German Solar energy Society (2005), Planning and installing Solar Thermal Systems: a guide for installers, architects and engineers, Saxon Graphics Ltd. UK

Thomas, Angharad (2006) Design, poverty and Sustainable development, Massachusetts Institute of Technology, Design Issues: Volume 22, USA

Tippens, P. E., (2001) Física, Conceptos y aplicaciones, Sexta edición, McGraw-Hill, México

Wahl, Daniel C. y Baxter Seaton (2008), The designer's role in Facilitating Sustainable Solutions, Massachusetts Institute of Technology, Design Issues: Volume 24, USA

Walker, Stuart (2006) Sustainable by Design Explorations in Theory and Practice, EARTHSCAN, UK

Wever, Renee, Van Kuijk Jasper y Boks Casper (2008), User-centred Design for sustainable Behaviour. International Journal of Sustainable Engineering. USA

Kaltenbach, Frank (2007) Materiales translúcidos. Vidrio plástico, metal, Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona.

Lenel, U. R. y Mudd, P. R. (1984) A review of materials for solar heating systems for domestic hot water. Solar Energy, Vol. 32

Rau H., (1984), Energía solar: aplicaciones prácticas, Editorial Marcombo, Barcelona

Aguirre R., Rafael (1998) Conceptos básicos sobre cocina. Principios culinarios, Colección de Textos Politécnicos, LIMUSA NORIEGA EDITORES, México

Quintín, J. (1983), Bromatología de los Alimentos Industrializados, cuarta edición, Francisco Méndez Cervantes, México

MESOGRAFÍA

Solar Cookers International (2010) “Solar cooking archive” [En línea] México, disponible en: www.solarcooking.org [Accesado el día 6 de septiembre de 2010]

PVRESOURCES (2011) Solar radiation [En línea] México, disponible en: <http://www.pvresources.com/SiteAnalysis/SolarRadiation.aspx> [accesado el día 27 de octubre de 2011]

Solar Cookers World Network. 2011. Principles of Solar Box Cooker Design. En línea: http://solarcooking.wikia.com/wiki/Principles_of_Solar_Box_Cooker_Design. [Consultado en línea: 13 de diciembre de 2011 23:08 hrs]

SOCIEDAD INTERNACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ISES), 2003. LIBRO BLANCO. TRANSICIÓN HACIA UN FUTURO BASADO EN LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA. En línea: <http://whitepaper.ises.org> [Consultado en línea: 16 de abril de 2012]

World Radiation Center, En línea: <http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=wrc> [Consultado en línea: 23 de mayo de 2012]

FAO SALA DE PRENSA, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, en línea: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2005/100102/index.html> [Consultado en línea: 28 de julio de 2012]

United States Department of Agriculture (USDA), Food Safety and Inspection Service (FSIS), Recommended cooking temperatures. En línea:

http://www.fsis.usda.gov/news/NR_052411_01/index.asp [Consultado en línea: 19 de agosto de 2012, 20:00 hrs]

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO
PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

NASA, 2012. Lates Solar Images, En línea:
http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/latest/latest_4096_0304.jpg [Consultado
en línea: 20 de agosto de 2012, 21:45 hrs]

Energías como bienes comunes. Compartiendo conocimientos sobre energías
renovables, Verselli, A. 2012, en línea:
[http://www.energias.bienescomunes.org/2012/08/que-es-la-
energia-eolica-3/](http://www.energias.bienescomunes.org/2012/08/que-es-la-energia-eolica-3/) [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

Energía geotérmica, Fresco, J. 2009, en línea:
http://www.geofisica.cl/Tempo2/Energia_Geotermica.htm [Consultado
en línea: 11 de Noviembre de 2012]

BIOCOMBUSTIBLES. Los aceites vegetales como constituyentes principales del
biodisel, Stratta, J. 2010, en línea:
<http://www.ingenieroambiental.com/2020/BIOCOMBUSTIBLES.PDF>
[Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

Biocombustibles: desarrollo histórico tecnológico, mercados actuales y comercio
internacional, Álvarez, C. 2009, en línea:
[http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosal
varez.pdf](http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf) [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

La energía solar “en el punto de miras” de las eléctricas, 2012. En línea:
[http://warningcurvedstation.blogspot.mx/2012/04/la-energia-
termsolar-en-el-punto-de.html](http://warningcurvedstation.blogspot.mx/2012/04/la-energia-termsolar-en-el-punto-de.html) [Consultado en línea: 11 de noviembre de
2012]

The azimuth Project, Blog – a quantum of warmth Stacey, A. 2011. En línea:
[http://www.azimuthproject.org/azimuth/show/Blog+-
+a+quantum+of+warmth](http://www.azimuthproject.org/azimuth/show/Blog+-+a+quantum+of+warmth) [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

IES. Fuente Nueva, Formas de transferencia de calor, 2012. En línea:
<http://www.iesfuentenueva.net/proyecto2/index.php/fisica/652->

formas-de-transferencia-del-calor [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

LEMELSON-MIT, Celebrating innovation, inspiring youth, Inventor of the week archive. 2006. En línea: <http://web.mit.edu/invent/iow/telkes.html> [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

Ecología. Noticias de ecología, Reciclaje y Medio Ambiente, Energía Mareomotriz. 2012. En línea: <http://www.ecologiahoy.com/energia-mareomotriz> [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

Las energías renovables, Mareomotriz, 2012. En línea: <http://www.lasenergiasrenovables.com/energiasrenovables/mareomotriz/index.html> [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

Inspira © Energías renovables, Geotérmica, 2010. En línea: <http://www.inspira.es/energia-geotermica> [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

CNN EXPANSIÓN, ENERGÍA, ENERGÍA SOLAR, Negocio para México,2012. En línea: <http://www.cnnexpansion.com/manufactura/2009/06/16/energia-solar-negocio-para-mexico> [Consultado en línea: 11 de noviembre de 2012]

Alfonso, J., 2012.Energías Limpias y Renovables, German energy transition. En línea: <http://energiaslimpiasyrenovables.blogspot.mx/> [Consultado en línea: 6 de noviembre de 2012]

Solar Household Energy, 2012. Solar cooking for Human Development and Enviromental relief. En línea: <http://www.she-inc.org/> [Consultado en línea: 2 de enero de 2013]

The ready store, 2002-2012. The ready store always here/always ready, sun oven solar cooker. En línea: <http://www.thereadystore.com/sun-oven-solar-cooker-bundle> [Consultado en línea: 2 de enero de 2013]

Kalipedia, 2012. Transmisión de calor. En línea: http://www.kalipedia.com/popup/popupWindow.html?anchor=klpcnaecl&tipo=imprimir&titulo=Imprimir%20Art%EDculo&xref=20070924klpcnafyq_293.Kes [Consultado en línea: 2 de enero de 2013]

Deutsche Welle, 2010. Cocinas solares en la india, Cocinar con el sol. En línea: <http://www.dw.de/cocinar-con-el-sol/a-5158544> [Consultado en línea: 8 de febrero de 2012]

Soliclima, 2012. Energía solar. En línea: <http://www.soliclima.es/energia-solar> [Consultado en línea: 8 de febrero de 2012]

Population matters, 2013. Population matters for sustainable future. En línea: <http://www.populationmatters.org/?gclid=CJ6N1afS0bQCFaGPPAoddQYAsA> [Consultado en línea: 5 de enero de 2013]

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2011. Población, Hogares y Vivienda, cuadro resumen, indicadores de demografía y población En línea: <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=17484> [Consultado en línea: 5 de enero de 2013]

Dussel, E. 1984. Filosofía de la poiesis. Introducción histórica, 1977 (Reedición aumentada: Filosofía de la producción, 1984). En línea: <http://168.96.200.17/ar/libros/dussel/filopro/cap3.pdf> [Consultado en línea: 13 de enero de 2013]

ANEXOS

GLOSARIO

Albedo m. 1. *Fís.* Potencia reflectora de un cuerpo iluminado. Relación de la radiación solar (energía radiante o luminosa) reflejada por una superficie respecto de aquella que incide sobre ella.

Absortancia (α). Es la fracción de la radiación incidente que es absorbida.

Calor específico *Fís.* El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que se requiere para elevar un grado Celsius la temperatura de un gramo de esa sustancia. Por ejemplo el calor específico del agua es de $4.184 \frac{J}{g^{\circ}C}$.

Capacidad calorífica (C). La capacidad calorífica de una sustancia es la cantidad de calor requerido para elevar un grado Celsius la temperatura de una cantidad dada de sustancia. La relación entre la capacidad calorífica y el calor específico de una sustancia es, $C = ms$, donde m es la masa de la sustancia en gramos.

Cocina (Del lat. *coquina*, de *coquere*, cocer). 1. f. Pieza o sitio de la casa en el cual se guisa la comida. 2. f. Aparato que hace las veces de fogón, con hornillos o fuegos y a veces horno. Puede calentar con carbón, gas, electricidad, [energía solar] etc.

Cuerpo opaco, Los cuerpos que no transmiten la luz se llaman cuerpos opacos, esto es; $\alpha + \rho = 1$

Diseño m. 1. (*sketch*) Delineación de una figura. 2. (*outline*) Descripción oral o escrita de una cosa. 3. Método de creación industrial que busca adaptar la forma de los objetos a la función que deben cumplir, dándoles a la vez una belleza plástica que los haga agradables. 4. Estilo de decoración inspirado en este método.

Efecto de invernadero. El vidrio transmite más de 90% de la radiación en el rango visible y es prácticamente opaco (no transparente) a la radiación en las regiones infrarrojas de longitudes de onda más largas del espectro electromagnético (muy aproximadamente $\lambda > 3 \mu m$). Por lo tanto, el vidrio tiene una ventana transparente en el intervalo de longitudes de onda de $0.3 \mu m < \lambda < 3.0 \mu m$, en el cual se emite más de 90% de la radiación solar. Por otra parte toda la radiación emitida por las superficies a la temperatura ambiente cae en la región infrarroja. Como consecuencia, el vidrio permite que entre la radiación solar pero no deja que escape la radiación infrarroja proveniente de las superficies interiores. Esto causa una

elevación en la temperatura interior como resultado de la energía que se acumula. Esto se conoce como el efecto invernadero.

Un invernadero atrapa la energía permitiendo que entre la radiación solar, pero no dejando la radiación infrarroja.

Ley de Kirchhoff. La emisividad hemisférica total de una superficie a la temperatura T es igual a su absorptividad hemisférica total para la radiación que proviene de un cuerpo negro a la misma temperatura. $\varepsilon(T) = \alpha(T)$

Piranómetro m. Radiómetro diseñado para medir la irradiancia de la radiación solar global y/o la irradiancia de la radiación solar difusa (esparcida). Un instrumento de éstos también puede medir radiación solar que incide en planos arbitrariamente orientados e inclinados.

Reflectancia (ρ). Es la fracción de la radiación incidente reflejada por la superficie del cuerpo.

Reflejar v. intr. *Fís.* Reflejar.

Reflector, -a adj. y m. y f. Se dice del cuerpo que refleja. *Fís.* Aparato de superficie bruñida para reflejar rayos luminosos.

Reflejar v. intr. Y prnl. *Fís.* Hacer retroceder o cambiar la dirección de la luz, el calor, el sonido o algún cuerpo elástico, oponiéndoles una superficie lisa.

Sistema fototérmico Sistema que transforman la energía del Sol en calor útil para las actividades humanas.

Termia f. *Fís. (therm)* Unidad de cantidad de calor definida necesaria para aumentar 1 °C la temperatura de una tonelada de agua.

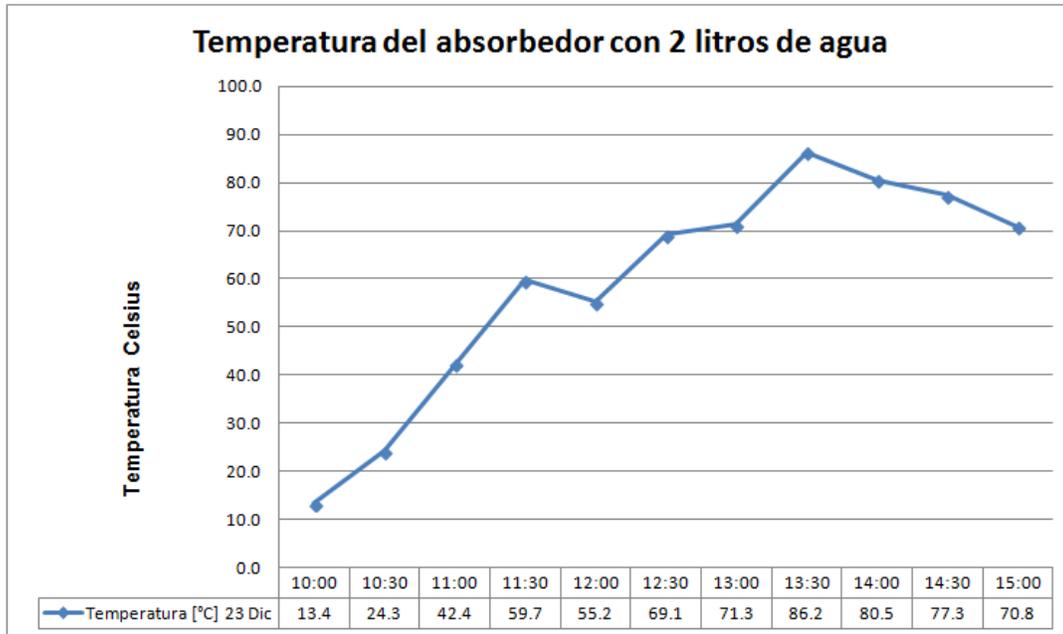
Temperatura absoluta (K). Es el valor de la temperatura medida con respecto a una escala que comienza en el cero absoluto (0K ó -273,15 °C). Se trata de uno de los principales parámetros empleados en termodinámica y mecánica estadística. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en kelvin, cuyo símbolo es K.

Térmica f. *Fís.* Parte de esta ciencia que estudia la aparición, producción, transmisión y utilización del calor.

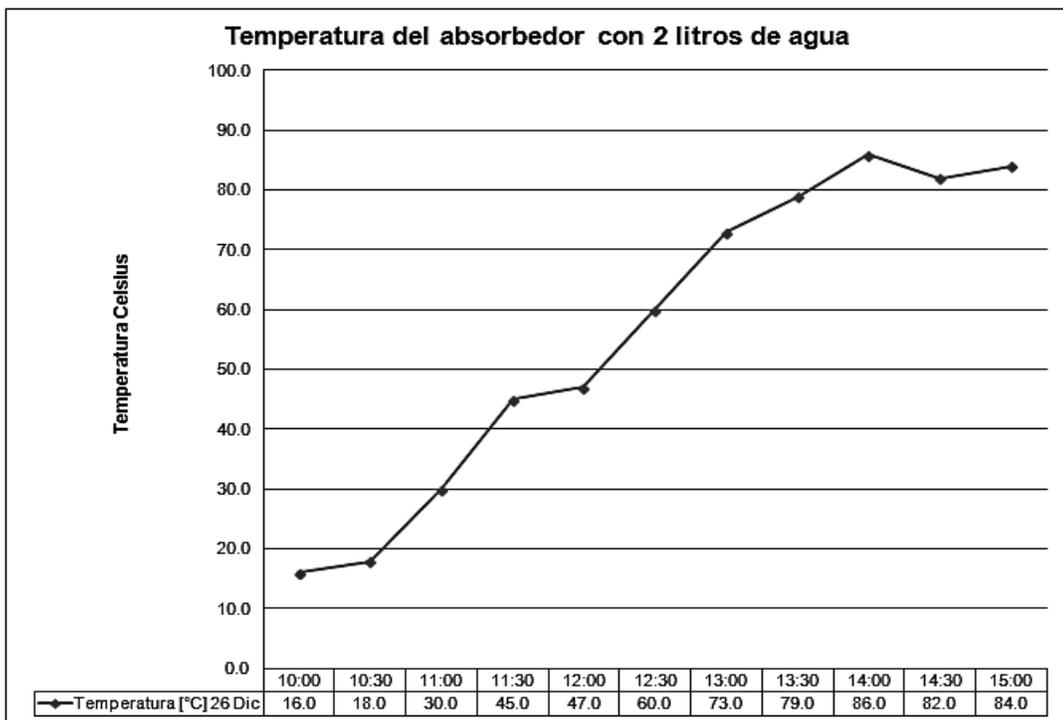
Transmitancia (τ), Es la fracción de la radiación incidente transmitida a través del cuerpo.

GRÁFICAS DE TEMPERATURA OBTENIDAS MEDIANTE EL USO DE LA COCINA SOLAR

Gráfica 6. Temperatura del absorbedor con 2 litros de agua el día 23 de diciembre de 2012

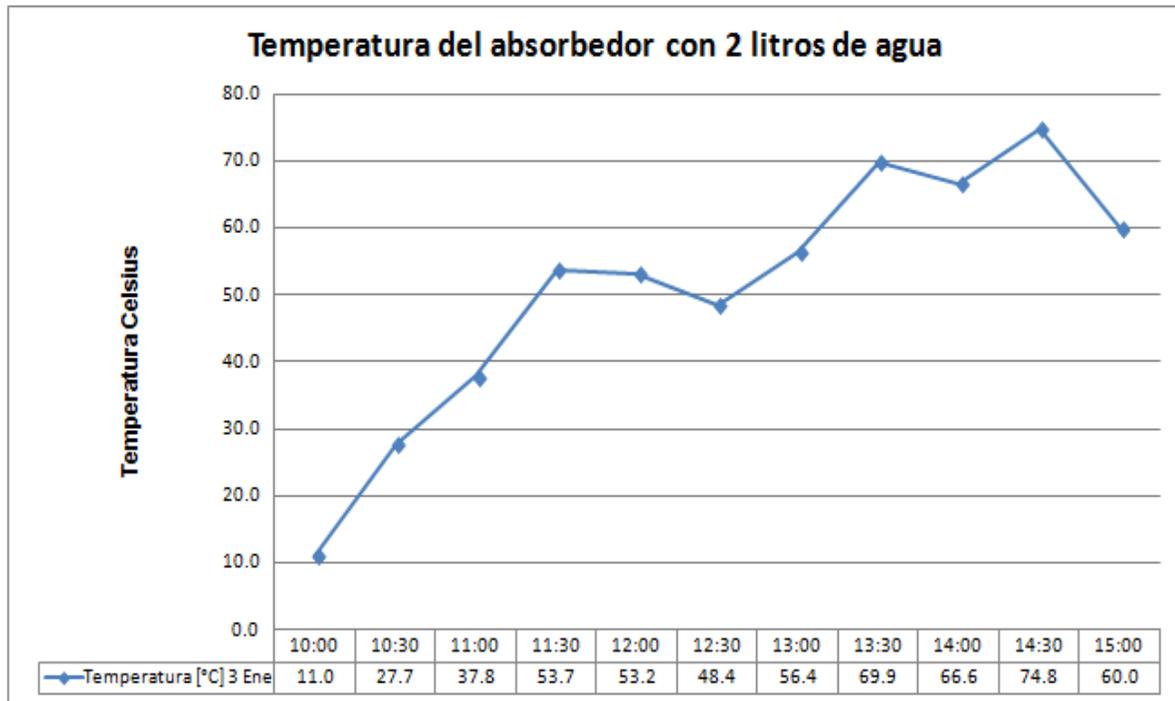


Gráfica 7. Temperatura del absorbedor con 2 litros de agua el día 26 de diciembre de 2012

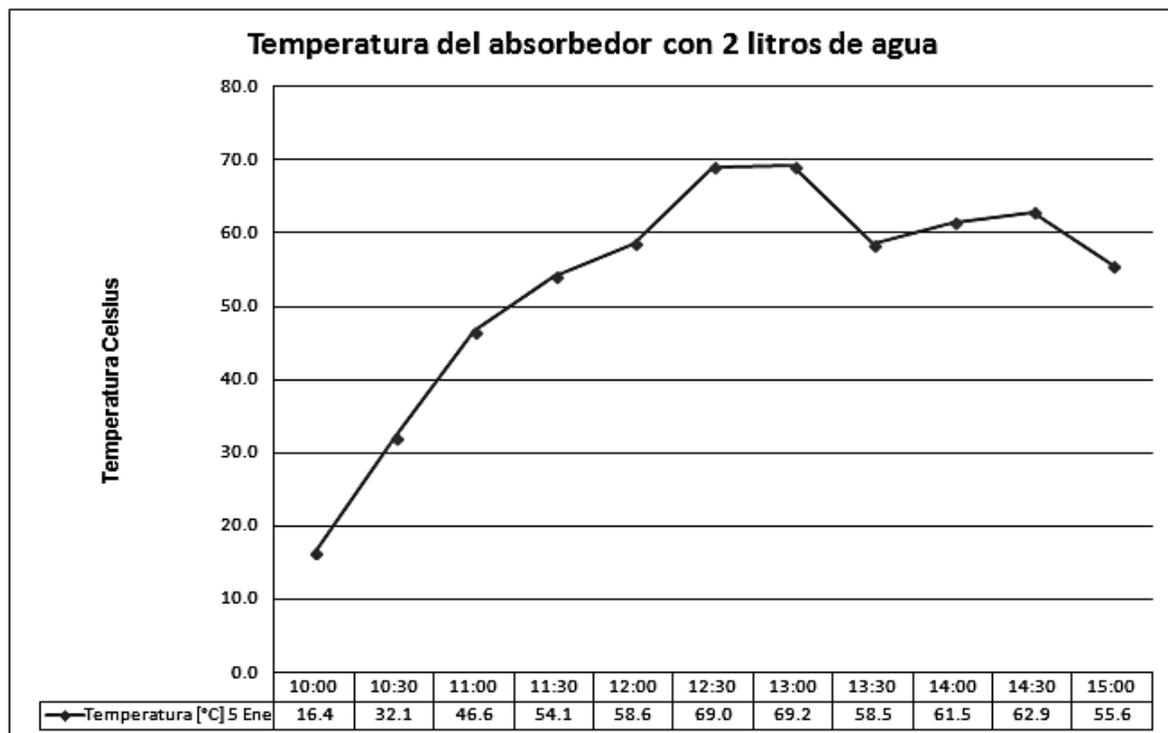


LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Gráfica 8. Temperatura del absorbedor con 2 litros de agua el día 3 de enero de 2013

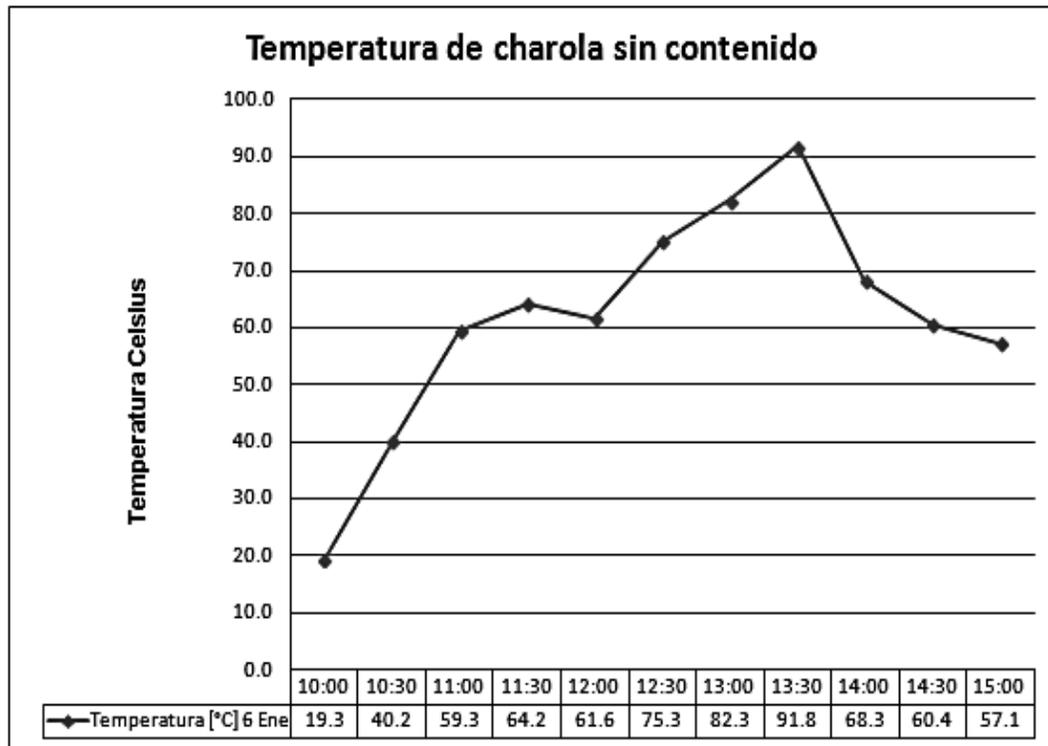


Gráfica 9. Temperatura del absorbedor con 2 litros de agua el día 5 de enero de 2013

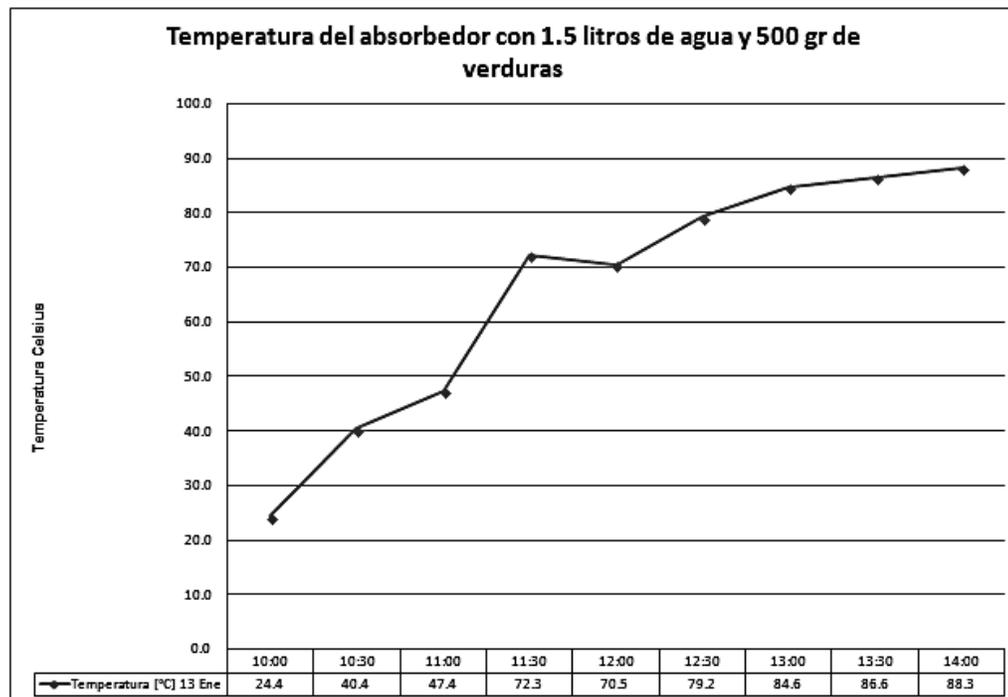


LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Gráfica 10. Temperatura de charola sin contenido 6 de enero de 2013

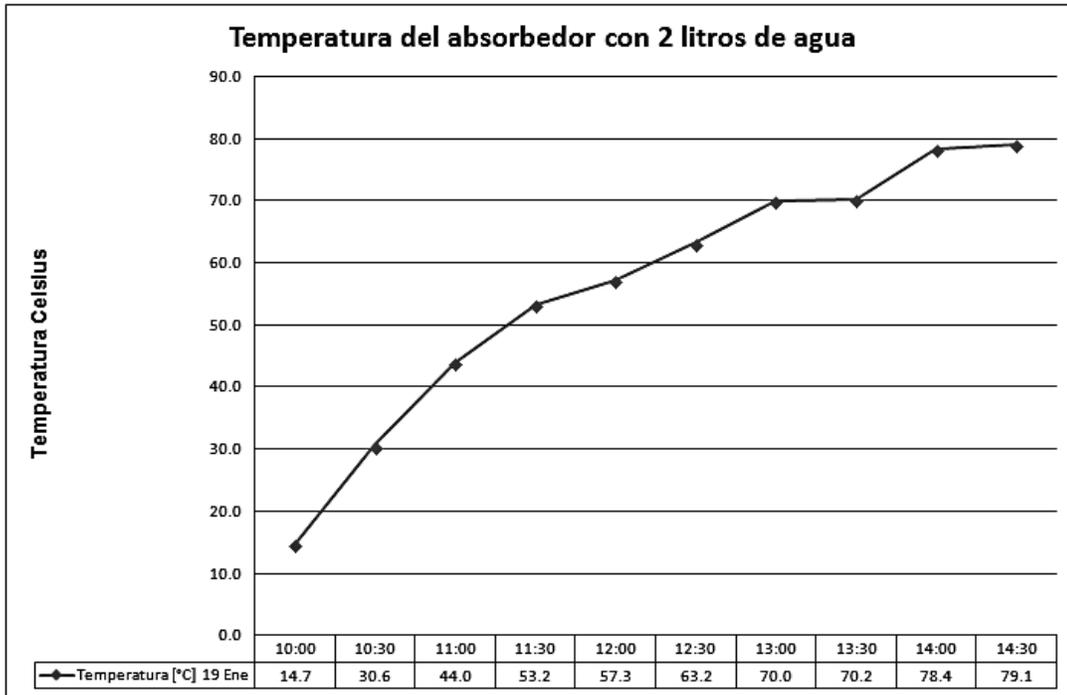


Gráfica 11. Temperatura de charola sin contenido 13 de enero de 2013

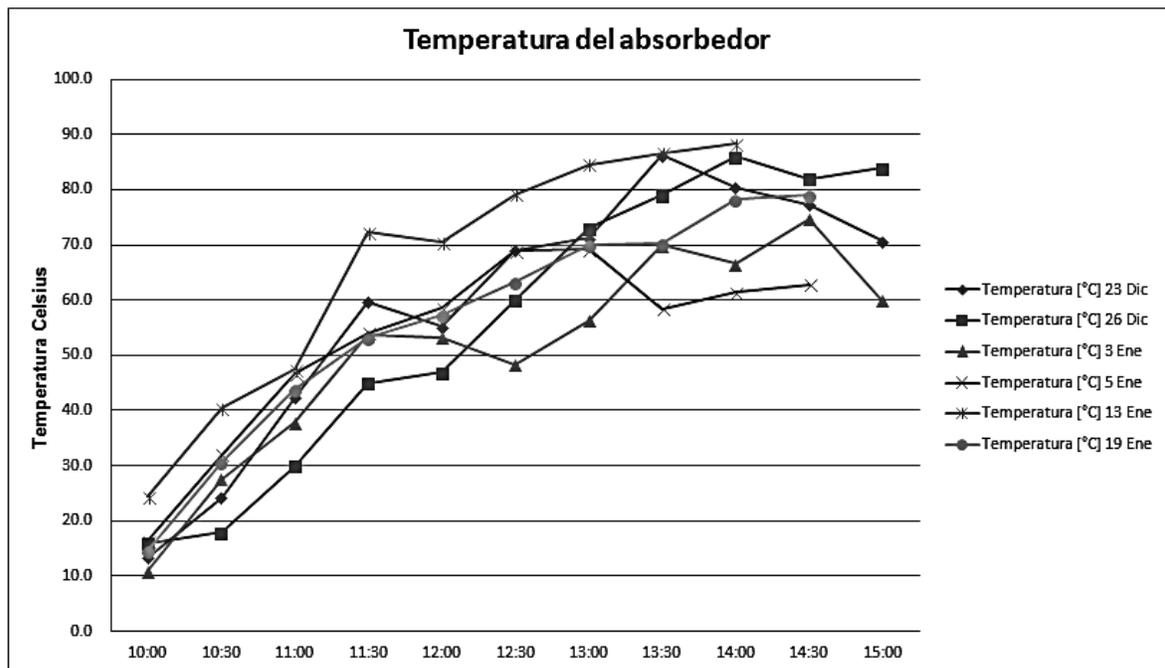


LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

Gráfica 12. Temperatura del absorbedor con 2 litros de agua el día 19 de enero de 2013



Gráfica 13. Comparativo de temperaturas obtenidas en el absorbedor de calor



INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA

El instrumento para medir la temperatura alcanzada por el concentrador solar es un termómetro infrarrojo de medición remota modelo MI-1326S, marca MASTER INSTRUMENTS.

Fotografía 43. Termómetro infrarrojo



Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

Tabla 17. Especificación de termómetro digital

Especificación	Valor
Rango de medición	-35 °C a 500 °C.
Resolución	0.1 °C
Exactitud	±2% de la lectura
Coeficiente de temperatura	0.1 veces la exactitud aplicable, especificación por °C
Tiempo de respuesta	2.0 veces por segundo
Respuesta espectral	6 – 14 μm .
Campo de visión	12:1; radio óptico con una mira mínima de 1"
Mira	Marcador laser 1mw (clase 2)
Sensor	Thermopile

Fuente: Elaboración propia, Toluca, (2012)

LA COCINA SOLAR, SU CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A BAJO COSTO PARA LA ZONA RURAL DEL VALLE DE TOLUCA

HERRAMIENTA EMPLEADA PARA LA MANUFACTURA DE LA COCINA SOLAR

Para la construcción de la cocina solar se empleó herramienta común, ningún proceso de manufactura fue especial y requirió del empleo de maquinaria o herramienta especial. Esta característica permite la fácil reproducción del modelo.

Tabla 18. Herramienta empleada en la manufactura de la cocina solar

Herramienta
Sierra caladora
Taladro
Escuadras
Martillo
Desarmadores
Escofina
Flexometro
Pinzas de corte
Reglas
Cepillo para madera
Transportador
Compás
Tijeras para lámina
Lámparas