

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SOLAR Y UNA COCINA TIPO
PARABÓLICO**

SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SOLAR Y UNA COCINA TIPO
PARABÓLICO**

SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR

JULIAN ERNESTO JARAMILLO

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2014

DEDICATORIA

A mi madre, mis hermanos, mi familia y mi novia que con su apoyo hicieron posible este y muchos otros logros en mi vida.

SAIN DANILLO DUBEIBE V.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por su apoyo incondicional en cada uno de los momentos duros, a mis hermanos por su apoyo, a mi novia por alentarme a seguir adelante cuando lo necesite y a todas las personas que de una u otra forma ayudaron para que este proyecto se pudiera llevar a cabo.

Al profesor Julián Jaramillo que con su conocimiento, esfuerzo y colaboración hizo posible la culminación de este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	21
1.1. OBJETIVO GENERAL	21
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2. ENERGÍAS RENOVABLES	22
2.1. TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES	22
2.2. USO DE ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL MUNDIAL	24
2.2.1. Uso energético en Colombia	25
2.3. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR	27
2.3.1. Energía solar térmica	27
2.3.2. Energía solar fotovoltaica	31
2.4. NORMAS QUE REGULAN LA SEGURIDAD AMBIENTAL Y EL USO DE ENERGÍA EN COLOMBIA	32
2.4.1. Protocolo de Kioto	32
2.4.2. Convenio de Viena	33
2.4.3. ISO 50001	33
2.4.4. Ley URE 697 de 2001	34
3. RADIACIÓN SOLAR	35
3.1. GENERALIDADES DE LA RADIACIÓN SOLAR	35
3.2. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR	38
3.3. DETERMINACIÓN DE LA INCLINACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR θ RESPECTO A UNA SUPERFICIE	39
3.3.1. Factores dependientes del movimiento de la tierra	39
3.3.2. Factores dependientes de la ubicación de la tierra	44

3.3.3. Cálculo de inclinación solar Θ para diferentes superficies	46
3.4. CÁLCULO DE LA IRRADIANCIA PARA UN PLANO SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE	48
3.4.1. La constante solar I_0	48
3.4.2. Atenuación de la radiación solar	49
3.4.3. Métodos para determinar la irradiancia a nivel terrestre	51
3.4.4. Irradiancia ($q_{s\beta}$)	56
4. COCINAS Y HORNOS SOLARES	58
4.1. ANTECEDENTES	59
4.2. COCINA SOLAR DE CONCENTRACIÓN	60
4.2.1 Componentes de una cocina solar parabólica	61
4.3. HORNO SOLAR O COCINA DE ACUMULACIÓN	62
4.3.1. Componentes de un horno solar	63
5. DISEÑO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA	70
5.1. DISEÑO TÉRMICO	70
5.1.1 Material reflectivo de la parabólica	70
5.1.2 Balance de energía de la cocina solar parabólica	72
5.1.3. Energía reflejada al foco	73
5.1.4. Energía necesaria para cumplir el objetivo	75
5.1.5. Energía disponible para cumplir el objetivo	75
5.2. DISEÑO MECÁNICO	76
5.2.1 Parabólica reflectiva	76
5.2.1.1 Foco	76
5.2.2 Estructura soporte para el reflector parabólico	79
5.2.3. Aro de sujeción de la parabólica	80
5.2.4. Estructura soporte del contenedor de alimentos	81

6. DISEÑO DE HORNO SOLAR	82
6.1. PRINCIPIOS DE DISEÑO	82
6.1.1. Ganancia de calor	82
6.1.2. Pérdida de calor	84
6.1.3. Almacenamiento de calor	86
6.2. DISEÑO Y PROPORCIONES	88
6.2.1. Tamaño de la caja	88
6.2.2. Área de acumulación solar en relación al volumen de la caja	88
6.2.3. Proporción de la cocina solar	89
6.2.4. Reflector	90
6.3. BALANCE DE ENERGÍA DEL HORNO SOLAR	90
6.3.1. Energía absorbida por el horno solar	91
6.3.2. Energía pérdida por los mecanismos de transferencia de calor	92
6.3.3. Energía almacenada en los componentes del horno	93
7. DESARROLLO DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN.	95
7.1. COCINA SOLAR PARABÓLICA	95
7.1.1. Segmentos de parabólica	95
7.1.2. Estructura soporte parabólica	96
7.1.3. Aro soporte de parabólica y barras de seguridad	98
7.1.4. Sujeción del aro a la parabólica	100
7.1.5. Mecanismo de bloqueo y posicionamiento de la parabólica	101
7.2 HORNO SOLAR	102
7.2.1. Elaboración de la caja metálica o cuerpo del horno	102
7.2.2. Aislamiento del horno solar	103
7.2.4. Reflector del horno	105
7.2.5. Siliconado y sellado de los orificios del horno para evitar fugas	106
7.3. PROTOTIPOS TERMINADOS Y FUNCIONALES	107

8. DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	108
8.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS PARA LA COCINA SOLAR.	108
8.2. PRUEBAS DE RENDIMIENTO COCINA SOLAR PARABÓLICA.	109
8.2.1. RENDIMIENTO TÉRMICO EN FUNCIÓN DE LA ENERGÍA INCIDENTE.	110
8.3 PRUEBAS DE RENDIMIENTO HORNO SOLAR.	113
9. RECOMENDACIONES DE USO Y MANTENIMIENTO.	116
9.1. MANTENIMIENTO DEL HORNO SOLAR	116
9.2. RECOMENDACIONES DE USO DEL HORNO SOLAR.	116
9.3. MANTENIMIENTO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA.	117
9.4. RECOMENDACIONES DE USO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA.	118
10. VENTAJAS Y VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS	120
11. CONCLUSIONES	123
LISTA DE FIGURAS	
BIBLIOGRAFIA	126
ANEXOS	128

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Molinos eólicos	19
Figura 2. Paneles solares	19
Figura 3. Represa para generar energía hidráulica	23
Figura 4. Energía Mareomotriz	23
Figura 5. Uso de Energía Renovable a nivel mundial	24
Figura 6. Suministro de Uso energético en Colombia	26
Figura 7. Concentrador Lineal de Fresnel	28
Figura 8. Sistema de Receptor Central o torre solar	29
Figura 9. Canales Parabólicos	30
Figura 10. Sistema de Disco parabólico	31
Figura 11. Paneles fotovoltaicos	31
Figura 12. Mapa mundial según el protocolo de Kioto	32
Figura 13. Espectro de radiación solar	36
Figura 14. Mapa de radiación solar mundial	37
Figura 15. Esquema de tipos de radiación	39
Figura 16. Movimientos de rotación precesión y nutación terrestre	40
Figura 17. Declinación de la tierra respecto al plano elíptico	41
Figura 18. Variación del ángulo de declinación en una superficie en latitud cero	42
Figura 19. Variación del ángulo de inclinación ω	43
Figura 20. Latitud terrestre.	44
Figura 21. Ángulo de inclinación de una superficie	45
Figura 22. Azimut de pared y azimut solar para una superficie inclinada	46
Figura 23. Ángulo incidente de la radiación sobre una superficie inclinada	47
Figura 24. Absorción de la radiación en la atmósfera	50
Figura 25. Piranómetro	52
Figura 26. Pirheliómetro	53

Figura 27. Actinografo	53
Figura 28. Heliografo	54
Figura 29. Cocina solar	54
Figura 30. Horno solar	58
Figura 31. Partes de la cocina parabolica	61
Figura 32. Horno solar en funcionamiento	62
Figura 33. Componentes del horno solar	64
Figura 34. Distribucion de temperaturas	67
Figura 35. Formas de mejorar el rendimiento de las cocinas y hornos solares	69
Figura 36. Mylar reflectivo adhesivo	70
Figura 37. Esquema de la energia absorbida por el foco	72
Figura 38. Posicion contra-sol	76
Figura 39. Foco profundo y expuesto	77
Figura 40. Programa para el calculo de dimensiones de los segmentos rectos	78
Figura 41. Segmento recto del paraboloide	79
Figura 42. Estructura soporte para el reflector	79
Figura 43. Aro de sujecion del reflector	80
Figura 44. Analisis de esfuerzos en el soporte de la olla	81
Figura 45. Efecto invernadero	83
Figura 46. Orientación del cristal.	83
Figura 47. Reflectores horno solar.	84
Figura 48. Separadores entre placa y fondo del horno.	85
Figura 49. Cristal atrapando calor	86
Figura 50. Lana de vidrio	87
Figura 51. Diseño del horno	89
Figura 52. Espesor lana de vidrio	92
Figura 53. Segmentos rectos.	95
Figura 54. Ajuste entre láminas de la parabólica.	96
Figura 55. Estructura soporte de la parabolica	97
Figura 56. Analisis de esfuerzo de la estructura	98

Figura 57. Union del aro	99
Figura 58. Mecanismo de sujecion aro-parabolica	100
Figura 59. Mecanismo de posicionamiento y bloqueo	101
Figura 60. Horno o caja contenedor de alimentos	102
Figura 61. Caja contenedor de alimentos vista inferior	103
Figura 62. Aislamiento termico del horno	103
Figura 63. Manipulacion lana de vidrio	104
Figura 64. Horno remachado	104
Figura 65. Marco de la ventana	105
Figura 66. Sellado del horno	106
Figura 67. Horno solar terminado	107
Figura 68. Cocina solar parabolica terminada	107
Figura 69. Monitoreo del agua para cumplir el objetivo	109
Figura 70. Radiacion y temperatura del agua vs tiempo	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades mecánicas del Mylar.	71
Tabla 2. Reflectividad global de algunos materiales.	71
Tabla 3. Tiempos de cocción horno solar LAZOLA.	114
Tabla 4. Tiempos de cocción prototipo horno solar.	114
Tabla 5. Tiempos de preparación del pan en el horno solar.	115

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Planos de construcción de los prototipos de cocina y horno solar	124
Anexo B. Tabla de radiación y temperatura del agua	149
Anexo C. Propiedades de algunos materiales de la construcción.	152

RESUMEN

TITULO:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SOLAR Y UNA COCINA TIPO PARABÓLICO*

AUTOR:
Sain Danilo Dubeibe Vega. **

PALABRAS CLAVES:
Energía alternativas, disco parabólico, alimentación, cocción solar, radiación.

DESCRIPCIÓN:

La búsqueda de energías alternativas en la actualidad nos lleva a los ingenieros al diseño de sistemas que sean capaces de aprovechar estas energías con la mayor eficiencia posible para poder suplir nuestras necesidades básicas.

Siendo la energía solar una de las alternativas o la alternativa de mayor potencial debido a los grandes avances en procesos tecnológicos y estudios realizados, el objetivo de este proyecto de grado es construir modelos experimentales de cocina y horno solar que permita hacer pruebas de funcionamiento y rendimiento para poder hacer una comparativa con los medios actuales que tenemos para cocinar los alimentos, claro está, con el beneficio que trae consigo la utilización de la energía solar.

Como resultado de las pruebas se pudo demostrar que la cocina solar parabólica es el modelo más eficiente llegando incluso a estar a la par de estufas eléctricas trabajando a cielo despejado, mientras que para el horno se debe buscar la mejor combinación entre cubierta y aislamiento que son los principales factores que permiten mejorar la eficiencia de este modelo.

También vale la pena resaltar que estos dos modelos se plantean como alternativas a los modelos convencionales así que una comparación directa no es posible sino que serían un complemento a las conocidas que permitan reducir los índices de emisiones y contribuyan al desarrollo económico de las poblaciones de las regiones rurales.

*Proyecto de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingeniería Mecánica. Director: Ing. Julian Ernesto Jaramillo Ibarra.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SOLAR OVEN AND PARABOLIC TYPE KITCHEN*

AUTHOR:

Sain Dubeibe Danilo Vega. **

KEY WORDS:

Alternative energy, parabolic dish, food, solar cooking, radiation.

DESCRIPTION:

The search for alternative energy currently leads by the engineers to design systems that are able to harness these energies with maximum efficiency to supply our basic needs.

Being solar energy the alternative of greater potential due to the great advances in technological processes and studies, the objective of this graduation project is to build experimental models of solar kitchen and solar oven that allows testing the operation and performance to make a comparison with the current means that we have for cook the food normally, surely with the benefit that provides the use of solar energy.

As a result of the tests it was proved that the parabolic solar cooker is the most efficient model with a performance nearby to the electric cookers, while for the oven should find the best combination of cover and insulation as these are the main factors that improve the efficiency of this model.

It's also worth noting that these two models are presented as alternatives to conventional models so a direct comparison is not possible but would be a complement to the models conventional to reduce emission rates and contribute to economic development of the populations of the rural regions of this country.

*Graduation project

**Faculty of Physics-Mechanic Engineering's, School of Mechanic Engineering. Director: Julian Ernesto Jaramillo Ibarra

INTRODUCCIÓN

Se denomina alimentación al proceso por el cual los organismos ingieren alimentos para conseguir energía y poderse desarrollar. Desde que el hombre primitivo conoció el fuego como fuente de calor y como forma para preparar sus alimentos, se ha hecho necesario un abastecimiento de combustibles para la elaboración de diferentes platos gastronómicos. Por mucho tiempo, las formas de abastecimiento han abarcado amplios tipos de combustibles, tales como la madera, la electricidad, el carbón, entre otros. Todos los anteriores han permitido al hombre poder crecer y desarrollarse.

La energía eléctrica utilizada en lugares donde el servicio de gas es limitado genera costos elevados, por otro lado en muchos sitios donde es difícil conseguir energía eléctrica y gas natural para preparar los alimentos, las personas se ven en la necesidad de utilizar un combustible como la leña, algo perjudicial ya que trae consigo la deforestación y la contaminación generada por los humos producidos, además de traer problemas a la salud que hacen de esta alternativa la más nociva, pero aún así igualmente utilizada en muchas regiones de nuestro país. El abuso excesivo del ser humano por estos recursos, ha generado un deterioro paulatino del medio ambiente.

Por estas y otras razones se hace necesario buscar energías alternativas, ya que aparte de la inversión inicial sólo tienen un bajo costo de mantenimiento, son amigables con el medio ambiente y el uso de energía solar para cocinar presenta ventajas como:

- Facilidad de uso.
- No contaminan, son muy ecológicas.
- No necesitan electricidad, ni combustible.
- Fomenta el uso de energías renovables.
- Se economiza el dinero utilizado en la cocción de alimentos.
- La tecnología y conocimientos necesarios para la fabricación son accesibles.

- Existe alta disponibilidad de los materiales de fabricación.
- Como frecuentemente los materiales de fabricación son sintéticos e impermeables, la cocina solar presenta un alto grado de limpieza.
- Es una buena solución en lugares donde el clima permite su uso cotidiano.
- Es un beneficio en países y sitios donde los recursos energéticos para cocinar son escasos o de costos altos.

Por las razones expuestas anteriormente, se opta por diseñar y construir una cocina de tipo parabólico, así como un horno solar de tipo caja que permitirá la elaboración de los alimentos en áreas rurales del departamento y del país.

Lo relacionado con estos sistemas se encuentra en este libro en el siguiente orden:

Capítulo 1, en este capítulo se hace una breve descripción de lo que son las diferentes energías alternativas y la normatividad que se presenta en el país.

Capítulo 2, en este capítulo se mencionan generalidades de la radiación solar y cálculos necesarios para este tipo de sistemas solares térmicos.

Capítulo 3, en este capítulo se hace una reseña de los antecedentes y principios de funcionamiento de estos modelos.

Capítulo 4, en este capítulo se realizó el diseño mecánico y térmico de la cocina solar parabólica.

Capítulo 5, en este capítulo se realizó el diseño mecánico y térmico del horno solar de acumulación.

Capítulo 6, en este capítulo se hace una descripción de los procesos necesarios para la fabricación y construcción de los dos prototipos.

Capítulo 7, en este capítulo se muestran los resultados de las pruebas realizadas para hacer la comprobación experimental planteada en los objetivos del trabajo de grado.

Capítulo 8, en este capítulo se dan unas recomendaciones de uso y mantenimiento para cada modelo.

Capítulo 9, en este capítulo se plantean unas ventajas como conclusión además de presentar posibles razones para su futura implementación en la región o el país, así como un breve análisis financiero.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Contribuir a la misión de la Universidad Industrial de Santander en la construcción, aplicación y divulgación de conocimientos; el desarrollo y la transferencia de tecnologías, mediante el diseño y la construcción de una cocina solar parabólica y un horno solar que permita determinar la viabilidad de implementar estos elementos en zonas rurales de la región.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un prototipo de cocina solar de tipo concentrador parabólico:
 - Diseño térmico
 - Diseño mecánico
 - Comprobación experimental del funcionamiento: ¿es capaz de calentar 3 litros de agua a una temperatura de 85°C antes de una hora?
- Diseñar y construir un prototipo de horno solar tipo caja con unas dimensiones de 50cm de ancho, 40 cm de altura y 40 cm de profundidad:
 - Diseño térmico
 - Diseño mecánico
 - Estudio experimental: ¿es capaz de lograr que un trozo de carne de 1 kg alcance una temperatura de 170°C en menos de 1 hora?

2. ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado [1]. Entre ellas se encuentran la energía solar, eólica, geotérmica, biomasa, mareomotriz, entre otras.

2.1. TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

-Energía Eólica: Es la producida por los vientos, la energía cinética de los vientos hace girar los hélices de turbinas eólicas y generan electricidad para uso doméstico o industrial por medio de un generador acoplado al eje central (Ver Figura 1).

-Energía Solar: Es aquella proveniente de nuestro sol. La energía es captada por medio de paneles solares para luego ser convertida en energía térmica y fotovoltaica utilizada para diferentes propósitos (Ver Figura 2).

-Energía Hidráulica: Utilizan las corrientes de los ríos para propulsar una turbina que mueve un generador eléctrico y así producir la energía (Ver Figura 3).

-Energía geotérmica: Es la utilización del calor interior de la tierra. La temperatura interior de la tierra es cercana a los 5000 grados centígrados

-Energía mareomotriz: Utiliza la fuerza de las mareas, olas, para producir energía (Ver Figura 4).

Figura 1. Molinos eólicos



Figura 2. Paneles solares

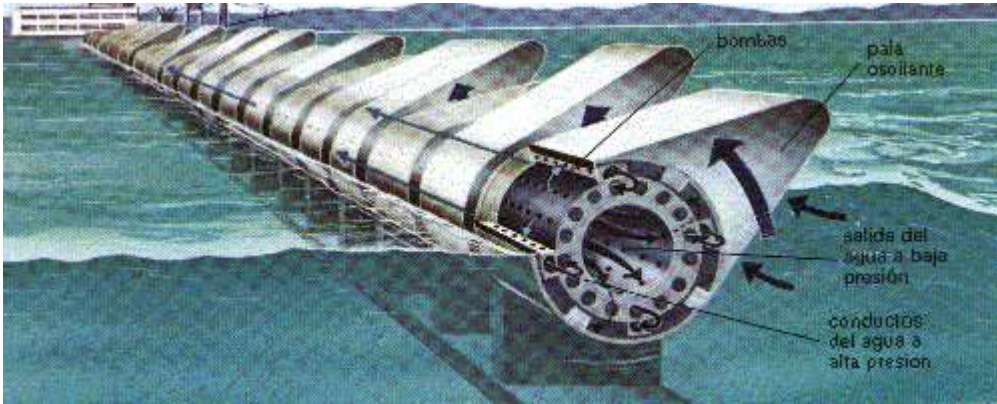


Fuente: Erenovable.com

Figura 3. Represa para generar Energía Hidráulica



Figura 4. Energía Mareomotriz

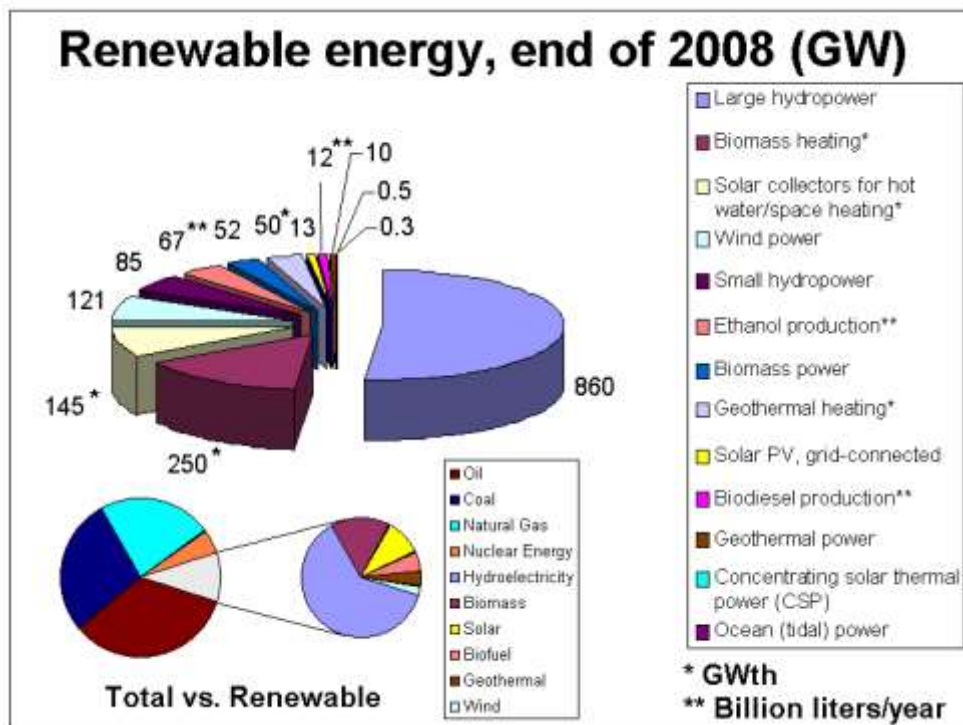


Fuente: <http://www.colegiopioxii.com>

2.2. USO DE ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL MUNDIAL

En 2004, el suministro de energía renovable representó el 7% del consumo energético mundial [2]. El sector de las energías renovables ha ido creciendo significativamente desde los últimos años del siglo XX y en 2005 la inversión nueva total fue estimada en 38 mil millones de dólares estadounidenses. Alemania y China lideran las inversiones con alrededor de 7 mil millones de dólares estadounidenses cada una, seguidas de Estados Unidos, España, Japón e India en la figura 5 se observa como estaban distribuidas en el 2008. Esto ha resultado en 35 GW de capacidad adicional al año.

Figura 5. Uso de Energía Renovable a nivel mundial



Fuente: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ren2006.png>

2.2.1. Uso energético en Colombia

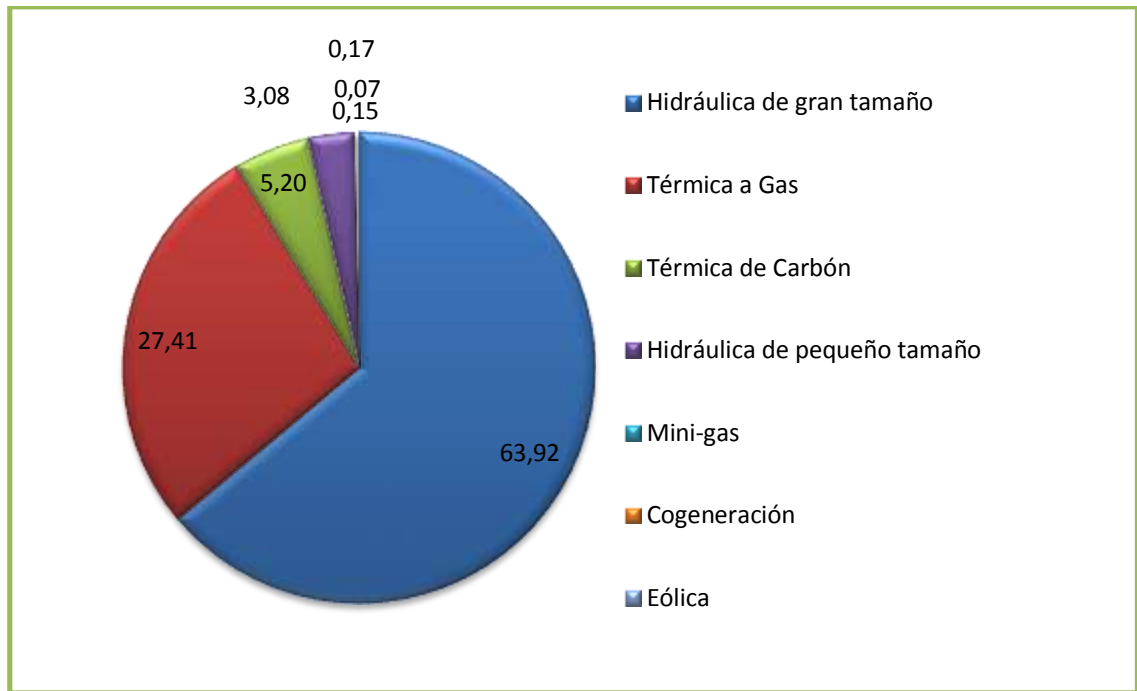
Colombia, al ser un país hídricamente privilegiado, abastece su demanda energética mediante la construcción de hidroeléctricas en diversos embalses y lagunas de nuestro territorio. Su proporción es tal que alcanza un 64% de la producción total del país, mientras que la generación de energía eléctrica a través de termoeléctricas representa un 33% [3]. Es decir, Colombia se podría considerar un país verde en producción energética ya que la mayoría de ella proviene de fuentes renovables.

A pesar de lo anterior, Colombia tiene un gran reto, el cual es diversificar su suministro energético. Si bien la energía hidráulica está bien desarrollada, otros tipos como la solar y eólica están en un completo abandono. Es bien conocido que la Energía hidráulica está ligada a las condiciones medio ambientales, por ello, en un momento de gran escasez de este preciado líquido (agua) se harían necesarios racionamientos de este servicio.

El país cuenta con un gran defecto: el suministro de energía sólo llega al 87 por ciento de la población [DANE 2005], muy por debajo de la media latinoamericana que es del 95%. Es por esto que tiene una baja penetración, principalmente, en zonas rurales.

En la Figura 6 se muestra el suministro energético en Colombia en la cual se muestra 7 tipos de energía, pero solo entre dos tipos cubren el 90% del total de energía.

Figura 6. Suministro de Uso energético en Colombia



Fuente: <http://commons.wikimedia.org>

Comparando los usos a nivel mundial notamos lo siguiente

- Tanto a nivel local como mundial, la fuente de energía renovable más utilizada es la hidráulica. Colombia prácticamente utiliza solo una fuente de energía renovable.
- Colombia tiene una alta dependencia de energía hidráulica. En un verano muy fuerte pueden existir desabastecimiento de energía.
- En los países desarrollados y países emergentes se utilizan la energía nuclear.
- Se debe explotar más la energía eólica y solar.

2.3. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar presenta varios usos. Esta energía se puede aprovechar de dos maneras. Una es la energía solar térmica que implica la utilización de energía solar para producir calor. La otra, energía solar fotovoltaica, que utiliza la energía solar para producir directamente electricidad.

2.3.1. Energía solar térmica:

Busca aprovechar la energía solar para generar calor. Sus principales aplicaciones son la cocción de alimentos, la producción de agua caliente generalmente para uso doméstico y la producción de energía eléctrica por un medio mecánico (turbina) en una termoeléctrica.

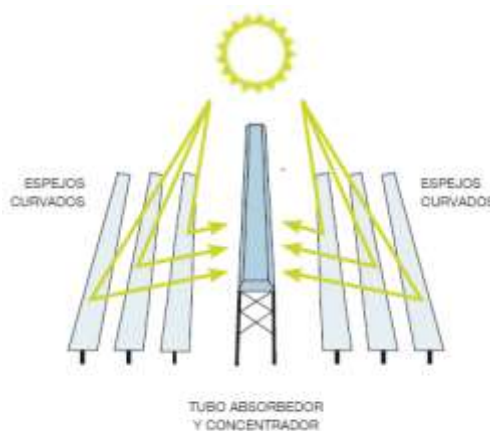
La energía solar térmica se clasifica de acuerdo a las temperaturas que alcanzan sus colectores, es así que se puede encontrar la siguiente clasificación:

- 1. Colectores de baja temperatura:** Son utilizados para fines domésticos y usualmente son instalados en los techos de las casas y edificios. La temperatura del fluido de trabajo no debe sobrepasar los 100 °C. Incluyen los colectores de placa plana y tubos al vacío. Sus principales aplicaciones son el calentamiento de agua para uso doméstico, sistemas de calefacción y climatización de las piscinas, entre otras.
- 2. Colectores de media temperatura:** Requieren temperaturas de trabajo más elevadas que las anteriores. Abarcan a todas las aplicaciones que necesiten temperaturas superiores a los 80 °C. Para alcanzar estas temperaturas se requiere la utilización de lentes o espejos parabólicos que permitan concentrar la radiación solar. Estos equipos aprovechan únicamente la energía solar directa, por tanto necesitan un seguimiento continuo del sol. Se utilizan para la producción de vapor y energía eléctrica en pequeñas centrales.

3. Colectores de alta temperatura: Al igual que los anteriores utilizan lentes o espejos parabólicos para concentrar la radiación solar. Se utilizan para generar energía a gran escala. Son también conocidas como termoeléctricas. Alcanzan temperaturas superiores a los 2000 °C. Estos colectores primero calientan el fluido de trabajo hasta convertirlo en vapor a alta temperatura y presión. Este es conducido hacia una turbina, donde la moverá debido a su alta presión. Esta turbina está acoplada con un generador que permitirá transformar la energía mecánica en eléctrica. Son comunes los receptores centrales, Cilindros parabólicos y Discos parabólicos, y concentradores Fresnel.

-Concentradores Lineales de Fresnel: Un conjunto de reflectores casi planos concentran la radiación solar en receptores lineales invertidos elevados (Ver Figura 7). El agua en los receptores se calienta y se transforma en vapor [4].

Figura 7. Concentrador Lineal de Fresnel



Fuente: <http://www.adrformacion.com/cursos/solarter/leccion1/tutorial6.html>

-Sistemas de Receptor Central o Torre Solar: Un conjunto circular de heliostatos (grandes espejos con sistemas de seguimiento solar) concentra la luz solar en un receptor central montado sobre una torre. Un medio de transferencia térmica en este receptor central absorbe la radiación altamente concentrada reflejada por los heliostatos y la convierte en energía térmica que se utiliza para generar el vapor sobre calentado para la turbina (ver figura 8). Alcanzan temperaturas de 1000 °C.

Figura 8. Sistema de Receptor Central o torre solar



Fuente: <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo6.html>

-Canales parabólicos: Se utilizan reflectores de espejo en forma cilindro parabólico para concentrar la luz solar en tubos receptores térmicamente eficientes ubicados en la línea focal de la parábola (Ver Figura 9). Normalmente los canales están diseñados para seguir el sol en un eje, predominantemente norte-sur. Se hace circular por esos tubos un fluido de transferencia térmica, como aceite térmico sintético. El fluido se calienta a unos 400°C mediante los rayos solares concentrados y se bombea por una serie de intercambiadores térmicos para producir un vapor sobre calentado, que se convierte en energía eléctrica en

un generador de turbinas de vapor convencional que puede formar parte de un ciclo de vapor convencional o integrarse en un ciclo combinado de turbinas de vapor y gas.

Figura 9. Canales Parabólicos



Fuente: <http://themorningstarg2.wordpress.com/tag/colectores-cilindro-parabolicos/>

-Sistemas de Disco Parabólico: Un reflector parabólico en forma de disco concentra los rayos solares en un receptor situado en el punto focal de un disco (Ver Figura 10). La radiación de los rayos concentrados se absorbe en el receptor para calentar un fluido o gas (aire) a unos 750°C. Este fluido o gas se utiliza para generar electricidad en un pequeño pistón o motor Stirling o una micro turbina, conectada al receptor.

Figura 10. Sistema de Disco parabólico



Fuente: <http://cer.gob.cl/tecnologias/solar/concentracion-solar-de-potencia-csp/disco-parabolico/>

2.3.2. Energía solar fotovoltaica:

Es aquella que transforma la energía solar en eléctrica. El principio descrito se conoce como efecto fotoeléctrico. Para producir esta energía se necesita de un dispositivo conocido como célula solar. Este es elaborado con un material semiconductor (por lo general es el silicio) donde se crea un campo eléctrico. Cuando los rayos del sol caen en la célula rompen los enlaces de los electrones de valencia, creando así una corriente de electrones y la generación de corriente eléctrica (Ver Figura 11).

Figura 11. Paneles fotovoltaicos



Fuente: <http://www.ahorroenenergia.com/que-son-las-celdas-fotovoltaicas/>

2.4 NORMAS QUE REGULAN LA SEGURIDAD AMBIENTAL Y EL USO DE ENERGÍA EN COLOMBIA

2.4.1. Protocolo de Kioto:

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un protocolo de la CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Gas metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)

En un porcentaje aproximado de al menos un 5 %, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990.

Figura 12. Mapa mundial según el protocolo de Kioto



Fuente: Wikipedia

2.4.2. Convenio de Viena:

Este convenio internacional plantea ciertas medidas para la recuperación de la capa de ozono. Algunas de las actividades que se deben realizar son:

- Investigar sobre los procesos químicos y físicos que puedan afectar la capa de ozono.
- Indagar sobre sustancias y tecnologías que colaboren a la protección y recuperación de la capa de ozono.
- Examinar continuamente la capa de ozono, para detectar cualquier modificación que pueda alterar el clima del planeta.
- Investigar los efectos que tiene la radiación ultravioleta baja (UV-B) en los seres vivos debido a la contaminación de la capa de ozono.

2.4.3. ISO 50001:

Es una norma de estándar internacional creada por la organización internacional para la estandarización, donde se establecen los requisitos para el establecimiento de un sistema de gestión de energías. Este estándar especifica los requerimientos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de administración de energía, cuyo propósito es el de permitir a una organización alinearse con un enfoque sistemático, y de esta manera lograr el mejoramiento continuo del desempeño de energía, incluyendo eficiencia energética, seguridad energética, utilización de energía y consumo. Este estándar apunta a permitir a las organizaciones reducir continuamente su utilización de energía, y de esta manera, sus costos relacionados con energía, y la emisión de gases de efecto invernadero.

2.4.4. Ley URE 697 de 2001:

Esta ley expedida en la República de Colombia en el año 2001 con el fin de generar conciencia sobre el uso racional y eficiente de la energía en la población.

En esta se plantean unos objetivos que son:

- Desarrollar proyectos y asesorar a personas naturales o jurídicas de derecho público o privado, en el programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía.
- Incentivar proyectos que conlleven al uso de energías no convencionales dentro del programa de uso racional y eficiente de la energía.

3. RADIACIÓN SOLAR

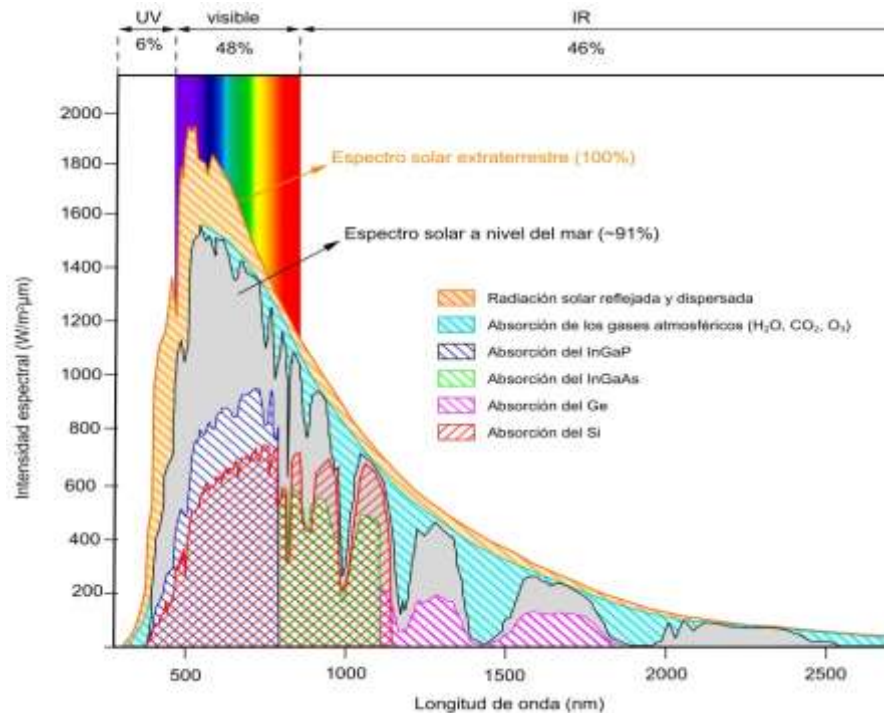
3.1 GENERALIDADES DE LA RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es el conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el sol. El sol se comporta como un cuerpo negro e irradia energía a unos 6000 [K] siguiendo la ley de Planck [5].

La radiación solar es el resultado de un conjunto de reacciones nucleares que ocurren en el interior del sol. La formación de ésta se debe al proceso de fusión que se genera en el sol, reacción mediante la cual se unen cuatro núcleos de hidrógeno para generar un núcleo de helio, proceso por el cual se libera energía en forma de radiación gamma [6].

Las ondas electromagnéticas generadas por el sol presentan diferentes longitudes de onda. La radiación solar abarca un espectro electromagnético (ver Figura 13) que incluye radiación ultravioleta, infrarroja, y por supuesto luz visible. Las ondas de baja frecuencia generan calor (infrarrojo) y las de alta permiten el desarrollo de la plantas en su proceso de fotosíntesis.

Figura 13. Espectro de radiación solar

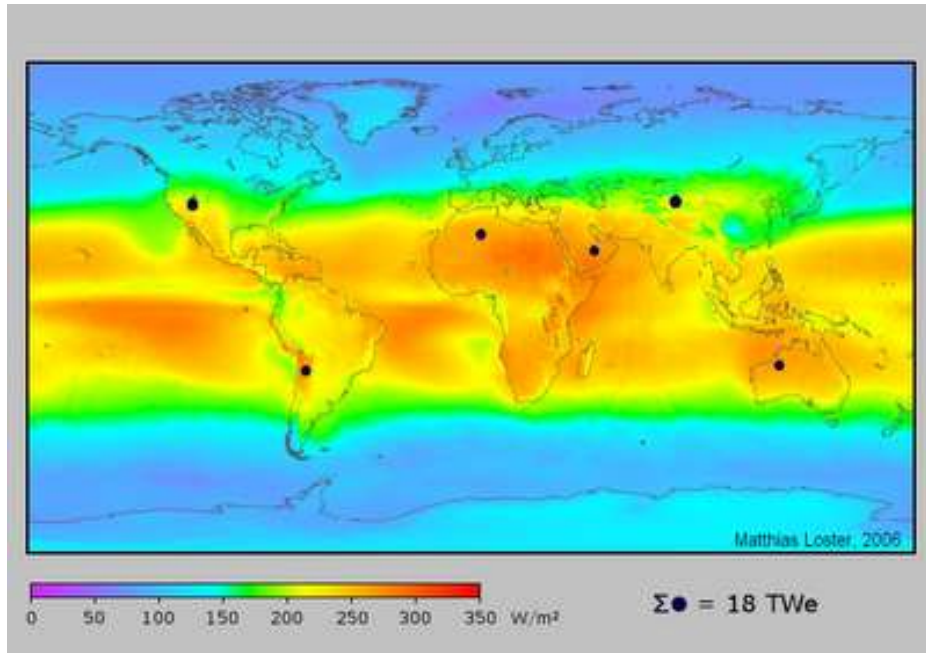


Fuente:<http://admatnet.com/nano-materiales-termoemisores-para-el-incremento-de-la-eficiencia-en-celulas-solares/>

Los rayos que alcanzan la atmósfera terrestre están compuestos por un 50% de luz visible, un 40% de luz infrarroja y un 10% de rayos ultravioletas. Estos últimos, nocivos para la salud de los seres humanos, pero necesarios para otros organismos vivos.

Estos porcentajes varían significativamente en la superficie terrestre (ver figura 14), debido a la absorción de los rayos solares por parte de la atmósfera, principalmente de radiación ultravioleta. Del total de energía que obtenemos del sol el 41% es luz visible, el 51% rayos infrarrojos y un 8% de rayos ultravioleta.

Figura 14. Mapa de radiación solar mundial



Fuente: <http://solucionessolares.blogspot.com/2008/05/mapa-radiacin-solar.html>

Se sabe que la radiación solar no es constante durante el año, incluso durante el día. La radiación incidente depende de muchos factores, entre ellos, la ubicación geográfica, las condiciones ambientales y los movimientos terrestres (traslación, rotación y nutación).

3.2. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR

Existen tres tipos básicos de radiación solar que alcanzan la superficie terrestre.

- **RADIACIÓN DIRECTA:** Es aquella que llega desde el sol sin desviar su camino, es decir, es la energía que no sufre desviaciones debidas a fenómenos como la refracción y la reflexión y es la mayor cantidad que llega a los sistemas de energía solar como concentradores.

- **RADIACIÓN DIFUSA:** es el tipo de radiación que llega a la tierra de forma aleatoria, la radiación directa es desviada de su curso principalmente por factores ambientales como nubes, humos, edificios, montaña, lluvia, etc. Afecta principalmente a la radiación ultravioleta ya que esta presenta menores longitudes de onda.

- **RADIACIÓN REFLEJADA:** Es la que es reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende de un factor de reflexión o albedo. Las superficies horizontales no reciben radiación reflejada, mientras que las verticales son las que más reciben este tipo de radiación los sistemas como colectores y concentradores no reciben esta radiación.

Por lo anterior, la radiación total va a ser igual a la suma de la radiación directa, difusa y reflejada.

$$I_{total} = I_{directa} + I_{difusa} + I_{reflejada}$$

En el esquema de la Figura 15 se muestran claramente los tipos de radiación mencionados anteriormente.

Figura 15. Esquema de tipos de radiación



Fuente: <http://www.dondeestudiar.org/2010/09/que-es-la-radiacion-solar-tipos-de.html>

3.3. DETERMINACIÓN DE LA INCLINACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR θ RESPECTO A UNA SUPERFICIE.

Para el estudio de la radiación solar incidente en un plano no perpendicular a la dirección de la radiación solar es necesario tener en cuenta muchos factores entre ellos:

- Factores dependientes del movimiento de la tierra
- Factores dependientes de la ubicación geográfica en la tierra.

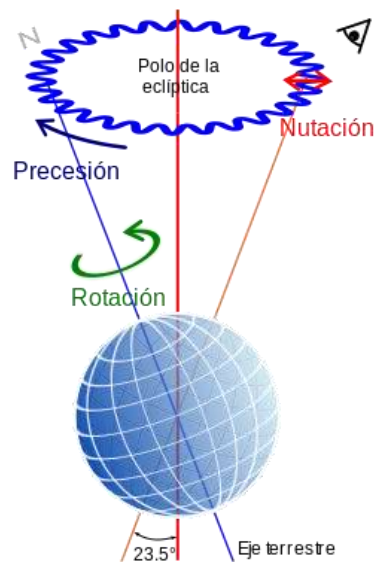
3.3.1. Factores dependientes del movimiento de la tierra:

La tierra posee 4 movimientos que son: rotación, traslación, nutación y precesión [7] (Ver figura 16).

- **Rotación:** es un giro que da la tierra sobre su eje que va desde el polo sur hasta el polo norte y se da en sentido anti-horario es decir de oeste a este.
- **Traslación:** es el movimiento de la tierra alrededor del sol y se da alrededor de una órbita elíptica.

- **Nutación:** es la oscilación periódica del eje de rotación de la Tierra alrededor de su posición media en la esfera celeste se hace que cada 18,6 años el eje de rotación de la Tierra oscile hasta unos nueve segundos de arco a cada lado del valor medio de la oblicuidad de la eclíptica y hasta unos 17 segundos a cada lado del valor medio de desplazamiento del punto Aries sobre la eclíptica debido a la precesión de los equinoccios.
- **Precesión de los equinoccios:** es el cambio lento y gradual en la orientación del eje de rotación de la Tierra, que hace que la posición que indica el eje de la Tierra en la esfera celeste se desplace alrededor del polo de la eclíptica, trazando un cono y recorriendo una circunferencia completa cada 25 776 años.

Figura 16. Movimientos de rotación precesión y nutación terrestre



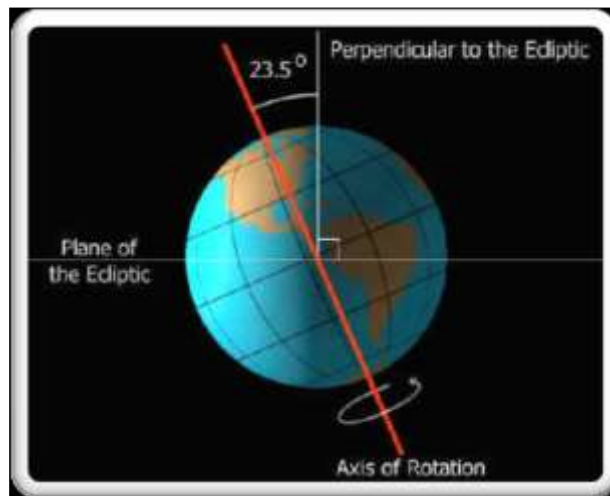
Fuente: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Precession-nutation-ES.svg>

Algo importante para tener en cuenta es que los movimientos que se tienen en cuenta para el cálculo de la irradiación total sobre una superficie son los movimientos de traslación y rotación que influyen en el ángulo de declinación $[\delta]$ y el ángulo de inclinación horaria $[\omega]$ respectivamente.

3.3.1.1. Angulo de declinación [δ]:

Al situar un plano sobre la trayectoria elíptica de la tierra alrededor del sol se observa como el eje de rotación de la tierra se encuentra inclinado aproximadamente $23,5^\circ$ este valor varía de $21,5^\circ$ a $24,5^\circ$ causado por el movimiento de nutación (ver figura 17).

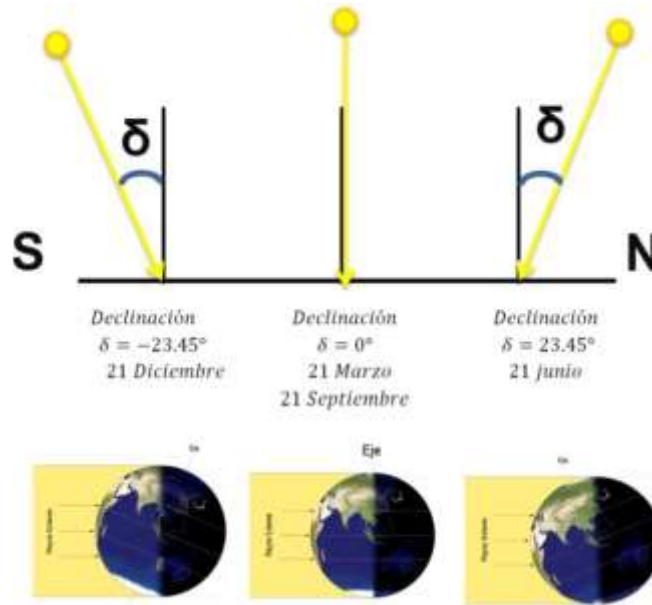
Figura 17. Declinación de la tierra respecto al plano elíptico.



Fuente: ovnisultimahora.blogspot.com

El ángulo de declinación influye directamente en la manera como los rayos solares inciden sobre una superficie vertical con sus caras de frente a los polos todo esto se da por el movimiento de traslación y este ángulo cambia en el recorrido de la tierra desde $-23,5^\circ$ el 21 de diciembre a $23,5^\circ$ el 21 de junio aproximadamente (ver figura 18).

Figura 18. Variación del ángulo de declinación en una superficie en latitud cero.



Fuente: Tesis de grado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN COLECTOR SOLAR DE TUBOS AL VACÍO-UIS.

La declinación solar (δ) varía en todo el año pero hay una sencilla forma de calcularla así:

$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{284+n}{365}\right)$$

En donde n representa el día del año que se quiere calcular teniendo en cuenta que el 1 de enero es n=1.

3.3.1.2 Ángulo de inclinación horaria ω :

Es un ángulo que depende de la rotación terrestre y mide el desplazamiento angular del sol respecto del mediodía (ve figura 19). En el instante en que el Sol se encuentra más alto en el cielo y el ángulo cenital solar es mínimo, el ángulo horario es igual a 0° ; Cada hora es igual a 15° de longitud, tomando un valor positivo (+) por las mañanas y negativos (-) por las tardes:

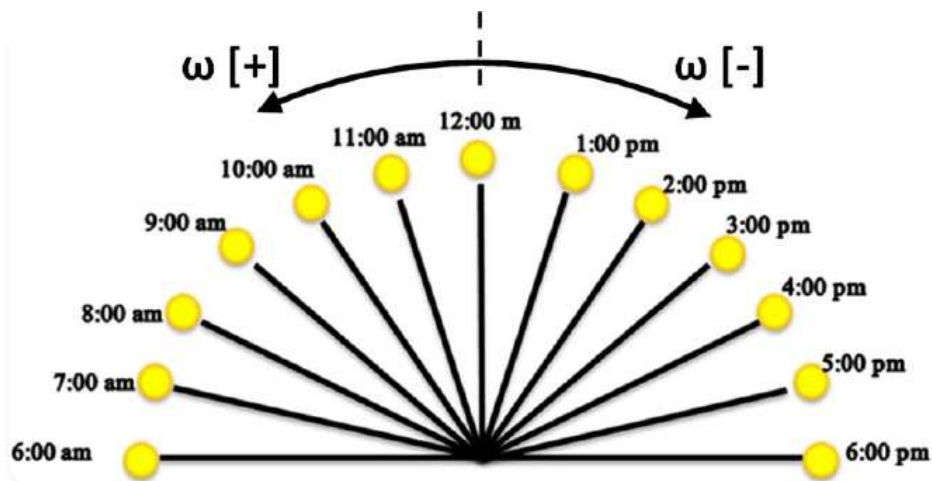
Entonces tendríamos que:

Hora 6:00 AM $\omega = 90^\circ$

Hora 12:00 M $\omega = 0^\circ$

Hora 6:00 PM $\omega = -90^\circ$

Figura 19. Variación del ángulo de inclinación ω .



Fuente: Tesis de grado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE COLECTOR SOLAR DE TUBOS AL VACÍO-UIS.

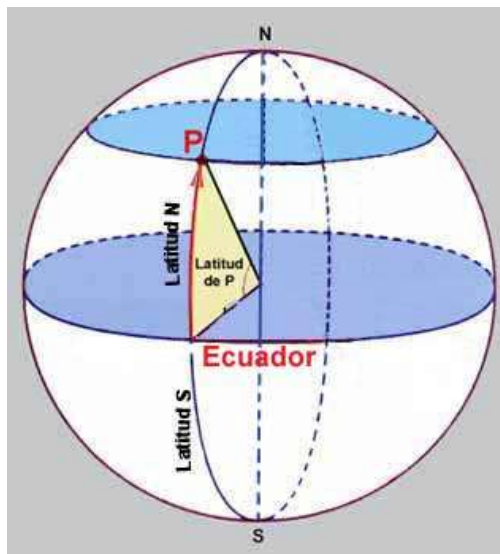
3.3.2. Factores dependientes de la ubicación de la tierra:

Las condiciones en las que un plano se encuentra cambian en toda la superficie terrestre puesto que un plano horizontal en el ecuador a una latitud 0° no es lo mismo que un plano horizontal en el polo a una latitud de 90° , además se debe tener en cuenta su inclinación con la horizontal y si su normal no apunta al sur para el cálculo de la irradiación. Así pues se deben considerar algunos factores que afectan la radiación solar:

- Latitud terrestre (φ).
- Angulo de inclinación superficial (β).
- Azimut superficial de la pared (γ_p).
- Azimut solar (γ_s).

3.3.2.1 Latitud terrestre (φ): es la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto (ver figura 20).

Figura 20. Latitud terrestre.

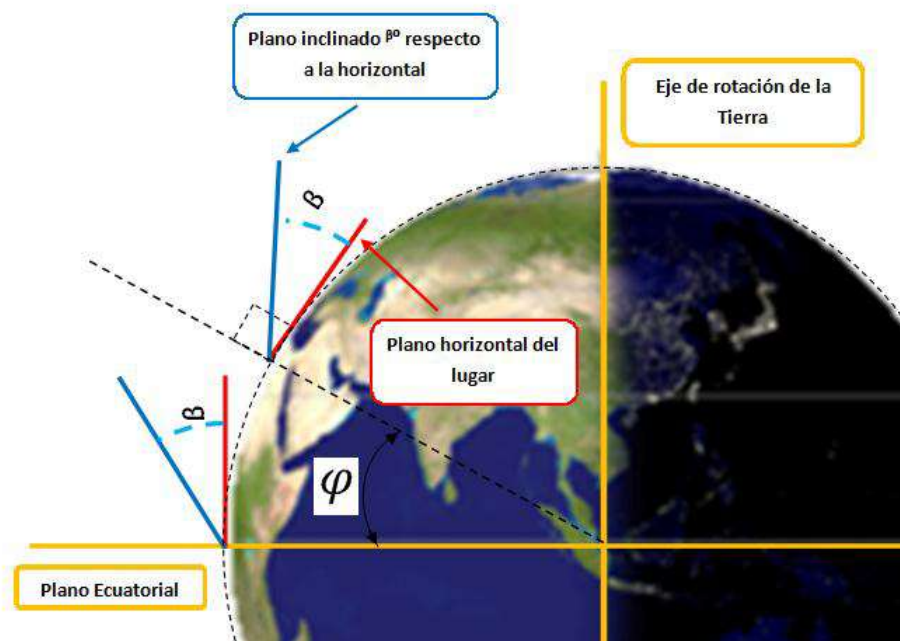


Fuente:<http://www.paranauticos.com/Notas/Tecnicas/Navegacion/navegacion-1.htm>

La latitud se mide en grados y puede ir de 0° a 90° y puede ser mencionada de dos maneras diferentes la primera es indicando con signo (+) o (-) si son para el hemisferio norte o sur respectivamente o sencillamente diciendo latitud sur o latitud norte.

3.3.2.2. Angulo de inclinación de la superficie (β): es el ángulo que forma la superficie de estudio con la horizontal del lugar donde está ubicada (ver figura 9).

Figura 21. Angulo de inclinación de una superficie.

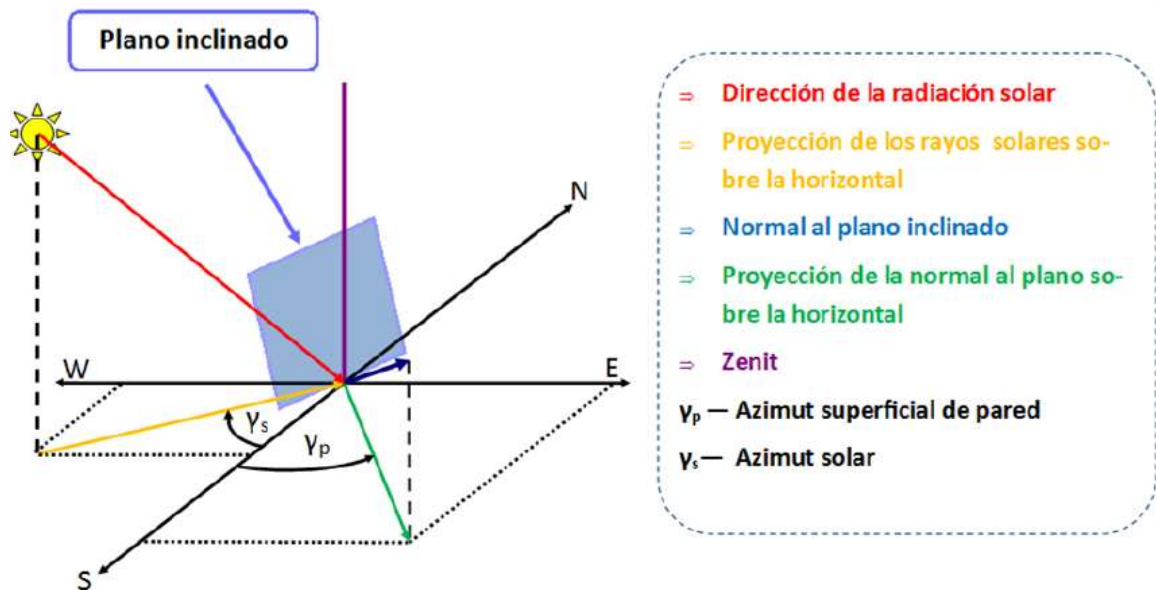


Fuente: Tesis de grado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN COLECTOR SOLAR DE TUBOS AL VACÍO-UIS.

3.3.2.3. Azimut superficial de pared (γ_p): es el ángulo que se forma entre el eje norte-sur y una proyección sobre la horizontal normal de la superficie, se expresa de forma positiva hacia el oeste y negativa hacia el este (ver figura 22).

3.3.2.4. Azimut solar (γ_s): es el ángulo formado entre la línea norte-sur y una proyección sobre la horizontal de la dirección de la radiación solar, es positivo hacia el oeste y negativo hacia el este.

Figura 22. Azimut de pared y azimut solar para una superficie inclinada.



Fuente: Tesis de grado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR DE TUBOS AL VACÍO.

3.3.3. Cálculo de inclinación solar Θ para diferentes superficies

Es un ángulo formado entre la normal del plano y la dirección de la radiación y se puede determinar con las siguientes ecuaciones:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega$$

$$\alpha_s = 90 - \theta_z$$

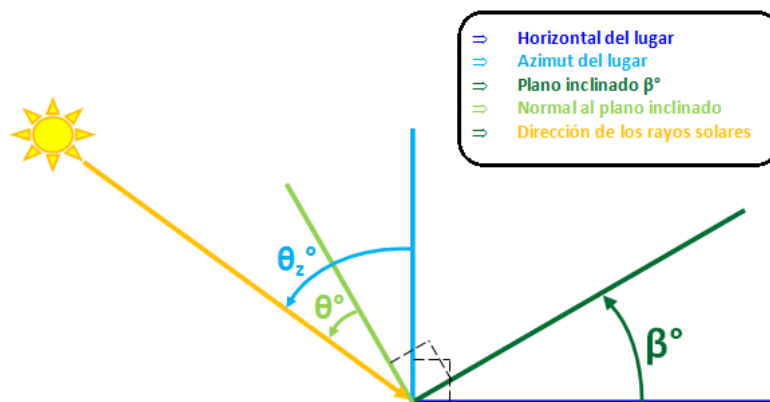
$$\cos \gamma_s = \frac{\cos \theta_z * \sin \varphi - \cos \delta}{\cos \theta_z * \sin \varphi}$$

$$\cos \theta = \cos(\gamma_s - \gamma_p) \cos \alpha_s \sin(\beta) + \sin \alpha_s \cos(\beta)$$

Pudiéndose presentar tres tipos de planos como son:

- Superficies horizontales ($\beta=0$)
- Superficie inclinada mirando al sur ($\beta \neq 0$ $\gamma_p=0$)
- Superficie inclinada indiferentemente ($\beta \neq 0$ $\gamma_p \neq 0$)

Figura 23. Angulo incidente de la radiación sobre una superficie inclinada.



Fuente: Tesis de grado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR DE TUBOS AL VACÍO.

3.4. CÁLCULO DE LA IRRADIANCIA PARA UN PLANO SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE.

La irradiancia es la energía que incide sobre una superficie en un tiempo determinado [8]. Así como ya conocemos los parámetros necesarios para conocer la inclinación de la radiación respecto de una superficie, es necesario determinar la energía radiada sobre esta. Para ello se hace una evaluación de la intensidad con la que la radiación solar llega a la tierra.

3.4.1. La constante solar I_0 :

La cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie incidente en un plano perpendicular a la radiación y a la distancia media entre el Sol y la Tierra, se conoce como Constante Solar o Irradiancia Extraterrestre. Esta tiene un valor estimado 1367 [W/m²] medidos por satélites con una incertidumbre del 1% a causa de los cambios en la distancia entre el sol y la tierra por la trayectoria elíptica de esta y la variación de energía producida en el sol.

Mediante estudios continuos de la radiación se ha logrado determinar una forma práctica para calcular esta constante:

$$I_0 = 1353 \left(1 + 0,034 \cos \frac{360n}{365} \right)$$

En donde n es el número de día del año asumiendo que el primero de enero es el día 1.

Existen puntos muy importantes en la trayectoria elíptica de la tierra dentro de ella el Afelio conocido como el punto más alejado de la órbita de la tierra sucede a principios del mes de julio (generalmente, el día 4). Su opuesto es el perihelio, sucede a principios de Enero (2 al 3 de Enero) es el punto más cercano al Sol. A causa de esto la intensidad solar extraterrestre es máxima en Enero y mínima en Julio.

La intensidad de la radiación solar permite calcular la irradiancia (h_o) en un plano situado en la parte externa de la atmósfera mediante la ecuación:

$$h_o = I_0 \cos \theta_z$$

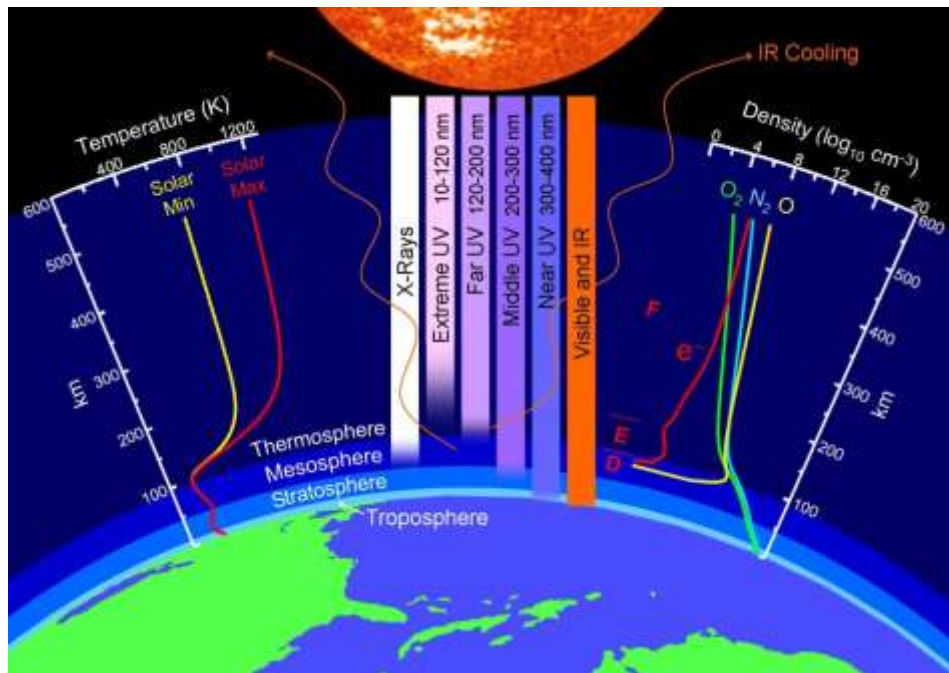
Al llevar este mismo plano a la superficie terrestre la irradiancia se ve atenuada debido a su paso por la atmosfera.

3.4.2. Atenuación de la radiación solar:

Para estudiar la radiación solar en la tierra se debe tener en cuenta que cantidad de esta llega. Pues hay varios fenómenos que impiden que llegue en su totalidad a la tierra y disminuyen su intensidad (ver figura 24), algunos de estos son:

- Variaciones de la difusión debidas al vapor de agua, gases del aire y partículas en el aire.
- Variaciones en la absorción atmosférica por el ozono (O_3), agua (H_2O), monóxido de carbono (CO) y algunos gases presentes en la atmosfera.

Figura 24. Absorción de la radiación en la atmosfera.



Fuente: <http://www.redorbit.com>

Para entender un poco más debemos definir algunos términos que están relacionados con el paso de la radiación por la atmosfera.

- **Masa atmosférica:** Relación entre la masa del aire a través de la cual la radiación directa pasa para llegar a la superficie terrestre y la masa que pasaría si el sol estuviera ubicado en el cénit.
- **Albedo (ρ):** Es la capacidad de reflexión o fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie.
- **Dispersión:** La radiación solar tiene una trayectoria recta pero los gases y partículas la desvían cambiando la dirección de su recorrido. Esta depende de la longitud de onda, pues entre más corta sea ésta, mayor será la dispersión.

- **Irradiancia:** Es la potencia instantánea de radiación solar recibida por unidad de superficie y sus unidades según el Sistema Internacional (SI) son los kW/m².

Al estudiar todos estos factores en el tiempo podemos encontrar la constante de claridad K_T que es la relación entre la radiación medida en la tierra y la radiación extraterrestre.

$$K_T = \frac{h}{h_0}$$

Esta constante es variante en el tiempo debido a que una nube en el cielo puede cambiar su valor, por esto alrededor del mundo se mide la irradiancia a nivel terrestre y esa constante se calcula indirectamente.

3.4.3. Métodos para determinar la irradiancia a nivel terrestre:

Hoy en día se han desarrollado métodos e instrumentos para medir tanto la radiación difusa como la radiación directa, que son necesarios para el estudio del calor incidente sobre una superficie (Q_s). Entonces tenemos que estas variables pueden ser estimadas o medidas.

3.4.3.1. Instrumentos para la medición de la radiación solar:

Estos equipos nos permiten medir la radiación directa y difusa su intensidad y horas del día en las que se presenta. Algunos de estos son:

- **Piranómetro:** es un instrumento utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata

de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (Kw/m^2) en un campo de 180 grados (ver figura 25).

Figura 25. Piranómetro.



Fuente: <http://www.directindustry.es>

- **Pirheliómetro:** Es un instrumento muy similar a un piranómetro pero a diferencia de este no mide la radiación en un campo de 180 grados sino se encarga de medir solamente la radiación directa hacia donde se encuentra orientado, posee el mismo sensor del piranómetro en la parte inferior de un ducto y de esta manera la radiación reflejada y difusa no influye en su medida.

Figura 26. Pirheliómetro.



Fuente: <http://www.directindustry.es>

- **Actinógrafo:** Registra la radiación solar global directa y difusa mediante diferencias de temperatura entre una banda metálica pintada de negro y dos bandas metálicas similares pintadas de blanco expuestas a la radiación solar. Hace falta un planímetro para medir el área que queda bajo la curva, valor que multiplicado por el factor de calibración, proporciona la suma diaria de la radiación global [Watt/m²].

Figura 27. Actinógrafo

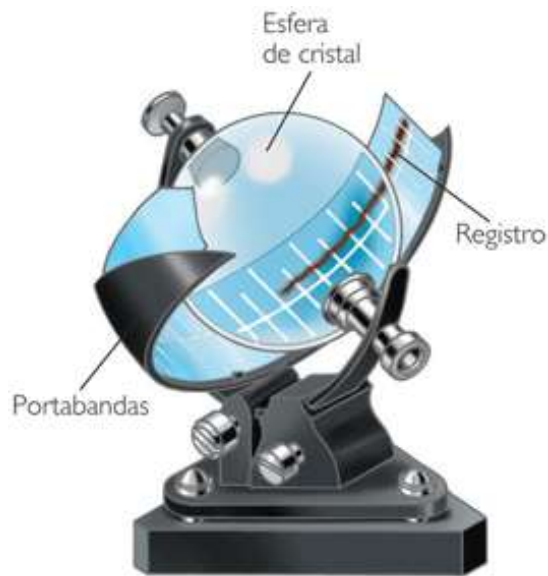


Fuente: http://sonda.ccst.inpe.br/fotos/CAI/2002/caico_06.html

- **Heliógrafo:** Es un aparato meteorológico que mide el tiempo de insolación diaria. La duración de la insolación se halla concentrando los rayos solares sobre una banda de cartulina teñida de azul que se quema en el punto que se forma la imagen del sol. Mientras el cielo este despejado se formara una línea continua sobre la banda de cartulina. Para calcular las horas de insolación solo hace falta sumar la distancia total carbonizada en la banda.

Con este instrumento es posible determinar cuántas y durante qué horas se presentó radiación solar por encima de cierta intensidad.

Figura 28. Heliógrafo.



Fuente: <http://matandomomentos.blogspot.com/>

3.4.3.2. Métodos para la estimación de la radiación solar:

Cuando es difícil conseguir los instrumentos necesarios para determinar la radiación directa y difusa incidentes sobre una superficie, se presentan algunos métodos para estimar estos valores [9].

- **Constante de claridad:** es la relación entre la radiación medida en la tierra y la radiación extraterrestre.

$$H = K_t * H_0$$

- **Estimación de I_b por contante de claridad:** Relaciona la radiación total incidente sobre una superficie con la contante de claridad:

$$I_b = (-520 + 1800k_t)$$

$$H_b = I_b * \cos(\theta_z)$$

I_b – Radiacion por unidad de

area sobre una superficie perpendicular a los rayos solares

- **Estimación de I_b por masa de aire y ubicación:** Cuando no se cuenta con instrumentos para medir la radiación, se puede determinar de acuerdo a las condiciones del aire y la ubicación terrestre:

$$I_b = A * e^{\left[\frac{-P}{P_0} * \frac{B}{\cos \theta_z}\right]} [8]$$

$$\frac{-P}{P_0} = \exp(0,0001184 * Z)$$

$$A = 1183 - 1230$$

$$B = 0,15 - 0,2$$

Donde Z es la altura de la zona y A , B son constantes dependientes del sitio.

- **Estimación de la radiación difusa (H_d):** Relaciona la radiación difusa normal terrestre con la radiación normal total terrestre en función de la constante de claridad:

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} = 0,99 \rightarrow & k_t < 0,17 \\ = 1,188 - 2,272k_t + 9,473k_t^2 - 21,865k_t^3 + 14,1648k_t^4 \rightarrow & 0,35 < k_t < 0,75 \\ = -0,54k_t + 0,632 \rightarrow & 0,75 < k_t < 0,8 \\ = 0,2 \rightarrow & k_t > 0,8 \end{cases}$$

3.4.4. Irradiancia ($q_{s\beta}$):

para el calculo de esta sobre una superficie plana inclinada ubicada en la superficie terrestre se debe determinar la componente de la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada. De esta forma $q_{s\beta}$ se determina a partir de:

$$q_{s\beta} = H_b * \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} + H_d * \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) + H * \rho * \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

Ahora teniendo en cuenta los métodos de medición y estimación de la radiación solar directa, difusa y reflejada es posible conocer el valor del calor útil sobre una superficie teniendo en cuenta lo siguiente:

1. Medir la radiación total con un piranómetro y medir la radiación directa con un pirheliómetro.
2. Medir la radiación total con un piranómetro y medir la radiación difusa con un piranómetro bloqueando la radiación directa.
3. Medir la radiación total, determinar la constante de claridad y estimar la radiación directa.
4. Medir la radiación total, determinar la constante de claridad y estimar la radiación difusa.

5. Estimar la constante de claridad, determinar la radiación total y determinar la radiación directa mediante ecuaciones.
6. Estimar la radiación directa en función de la ubicación del lugar, calcular la constante de claridad y calcular la radiación total.

4. COCINAS Y HORNOS SOLARES

Las cocinas solares son artefactos que permiten cocinar alimentos usando el Sol como fuente de energía. Se dividen en dos grupos:

- **De concentración:** Se basan en concentración de la radiación solar en un punto, típicamente a través de un reflector parabólico. En dicho punto se coloca la olla que cocinará los alimentos. Generan altas temperaturas y permiten freír alimentos o hervir agua. Al funcionar de manera semejante a una cocina de gas alcanzando altas temperaturas, es necesario que el usuario tenga los debidos cuidados y usar el tipo de protección necesarios.
- **Horno o caja:** El horno o caja solar es una caja térmicamente aislada, diseñada para capturar la energía solar y mantener caliente su interior. Los materiales generalmente son de baja conducción de calor, lo que reduce el riesgo de quemaduras a los usuarios y evita la posibilidad de incendio tanto de la cocina como en el lugar en el que se utiliza. Además los alimentos no se queman ni se pasan conservando así su sabor y valor nutritivo.

Figura 29. Cocina solar



Fuente: www.terra.org

Figura 30. Horno solar



Fuente: www.merkasol.com

4.1. ANTECEDENTES

La primera estufa solar fue inventada en 1767 por Horrace de Saussure [10]. Él hizo experimentos con el efecto invernadero y también cocinó con el Sol. Utilizó una cocina tipo horno.

La verdadera pionera de las cocinas tipo horno fue la Dra. María Telkesi, de origen húngaro. Ella hizo trabajos fundamentales entre 1950 a 1970. Sus trabajos sirvieron de base a decenas de investigadores en todo el mundo.

Se han hecho muchos intentos por desarrollar las cocinas solares, quizás el más extensivo fue el que desarrollaron científicos y antropólogos en los estados de Sonora, Coahuila y Oaxaca dónde introdujeron cerca de 200 cocinas solares. El prototipo de cocina producida fue desarrollado en la Universidad de Wisconsin. En un principio, estas cocinas usaron reflectores de plástico rígido unido a las superficies frontales, sin embargo tuvieron que ser desechadas debido a fallas mecánicas.

Se realizó un nuevo rediseño con el apoyo económico de la fundación Rockefeller con un armazón de poliéster, reforzadas con tela de muselina y con unos pequeños reflectores de vidrios pegados a su superficie frontal. Al principio fue utilizado nuevamente por el 100% de la población pero luego fueron desechados. Las razones principales por las que los pobladores hicieron esto fueron:

- Se tenían que hacer cambios periódicos del armazón poliéster
- La fácil disponibilidad de otros tipos de combustibles como la madera
- La cocina necesitaba constante movimiento para que se expusiera al sol
- No había forma de almacenamiento de calor, por lo tanto no era posible cocinar cuando había poco sol o mucha nubosidad.

Otro intento por introducir cocinas solares, se hizo en la india entre los años de 1950-1960, dónde una compañía quiso desarrollarlas comercialmente, la cocina era de tipo parabólico y su reflector fue hecho de aluminio pulido y anodizado y

fue capaz de realizar diferentes tipos de cocina. Sin embargo, el prototipo no fue exitoso debido a varios factores como su elevado costo, facilidad de encontrar otros combustibles el no almacenamiento de calor y el frecuente ajuste con el sol.

Un intento realizado con la ayuda de la Danish AID Organization Dandchurchaid para introducir 250 cocinas solar en el alto Volta. La cocina fue capaz de preparar todos los platos nativos y no hubo problema por parte de sus habitantes para entender su funcionamiento [10].

4.2. COCINA SOLAR DE CONCENTRACIÓN

Una cocina solar nos permitirá cocinar nuestros alimentos de una manera adecuada sin ningún costo energético, de esta manera se contribuye al desarrollo de la economía de nuestra región ayudando a las personas que no pueden acceder al servicio de gas natural domiciliario.

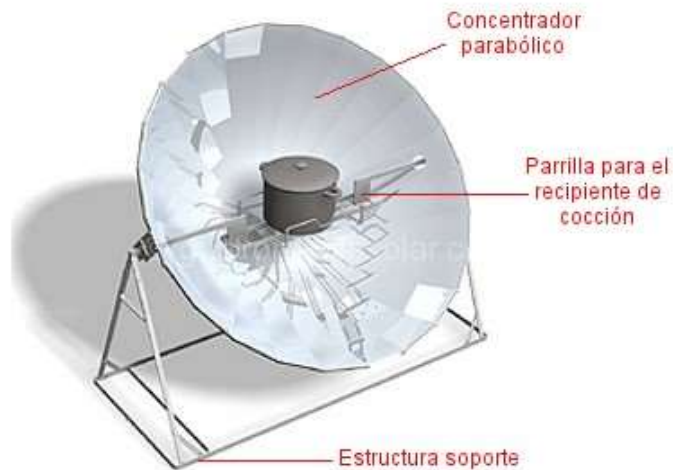
Las cocinas solares consisten en sistemas capaces de utilizar la radiación solar para generar el calor necesario para cocinar alimentos de una manera adecuada y estable sin ningún costo, sin presentar ningún tipo de contaminación y con mucha facilidad de uso.

Este tipo de cocinas solares se utilizan actualmente en países en los que la disponibilidad de energía solar es muy alta y en los que las fuentes de energía para cocinar se basan en la leña. Esto implica un ahorro muy grande de tiempo y transporte empleado en el corte y transporte de esta leña aparte de la contaminación que genera esta alternativa.

En los sistemas de cocción mediante energía solar se presenta un inconveniente grande que es la disponibilidad de energía que depende del lugar en el que se quiera implementar el sistema, por ello es necesario hacer un estudio de viabilidad siempre que se pretenda implementar.

El principio de funcionamiento de la cocina solar parabólica se muestra en la figura 31 se observa que los rayos solares son captados por la superficie espejo y son reflejados hacia el foco, es decir, dónde va a estar ubicada nuestra olla o elemento portacomida (efecto concentrador).

Figura 31. Partes de cocina Parabólica



Fuente: www.gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/

4.2.1 Componentes de una cocina solar parabólica

- **Soporte o Parrilla para cocción:** Se encarga de mantener de forma segura el recipiente en donde se van a preparar los alimentos. Es en este lugar donde se concentrarán los rayos solares.
- **Concentrador parabólico:** Es el elemento encargado de concentrar y reflejar los rayos solares hacia el foco. Es quizás el elemento más importante de la cocina solar. Son hechos de materiales con altos coeficientes de reflectividad como aluminios, espejos, entre otros.
- **Estructura:** Es la encargada de soportar los elementos anteriores de la cocina solar (parrilla y concentrador). Debe ser capaz de girar para orientar la cocina solar hacia los rayos del sol.

4.3. HORNO SOLAR O COCINA DE ACUMULACIÓN

Es una caja que está diseñada para capturar la energía solar y mantener caliente su interior. Los materiales generalmente son de baja conducción de calor, lo que reduce el riesgo de quemaduras a los usuarios y evita la posibilidad de incendio tanto de la cocina como en el lugar en el que se utiliza. Además los alimentos no se queman ni se pasan conservando así su sabor y valor nutritivo, en la figura 32 se observa un horno solar casero.

Figura 32. Horno Solar en funcionamiento



Fuente: <http://www.basurillas.org/cocina-y-horno-solar-reciclinventores-de-coin-y-totalan>

Los hornos solares alcanzan temperaturas de hasta 140°C. El principio de funcionamiento de un horno solar es el efecto invernadero, este efecto permite aumentar el calor dentro del horno. La luz visible traspasa fácilmente el cristal. Ésta es absorbida por los materiales en el interior del horno y la transforman en energía calorífica, la cual presenta una mayor longitud de onda y no es capaz de traspasar el vidrio, es por ello que el interior de la caja comienza a calentarse.

Para la construcción de hornos solares se deben tener en cuenta las pérdidas de calor por convección, conducción o radiación, por eso muchos de ellos son recubiertos en su parte exterior por materiales aislantes.

Los materiales con los que son hechos estos hornos deben tener las propiedades físicas necesarias para aguantar las altas temperaturas que se alcanzan en estos elementos (alcanzan temperaturas superiores a los 140 °C). Deben tener puntos de fusión superiores a este para que no se deformen.

El material por el cual pasan los rayos solares debe ser transparente para que permita el fácil acceso de estos al horno. Por su precio y abundancia, los más usados son plásticos y vidrios.

La principal desventaja o ventaja es su tiempo de preparación. Por lo general presentan mayores tiempos de preparación que las cocinas solares por concentración. La ventaja de su preparación lenta es que los alimentos no pierden sus propiedades nutricionales, es decir, a fuego lento los platillos nutren más.

La temperatura que alcancen estos hornos depende de los materiales para su fabricación y de la forma que posea. Por lo general estos hornos están en un rango de 90-140 °C. El promedio de platos que puede preparar en una tanda oscila entre los 6 y 10 platos. Por lo general estas cocinas son más económicas que las parabólicas solares.

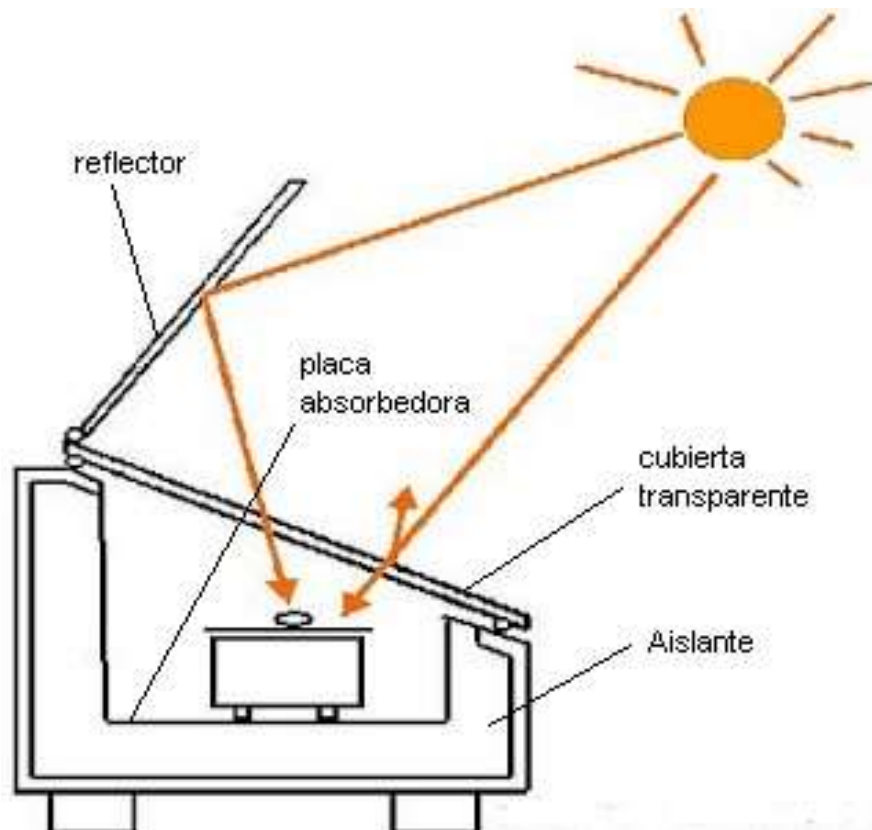
4.3.1. Componentes de un horno solar

Existen muchos diseños de hornos solares pero básicamente están conformados por cuatro elementos:

- **Aislamiento:** Es el material que se sitúa entre la zona de cocción y la parte exterior del horno y es el que permite la acumulación de energía.

- Cubierta transparente: Es por donde entran los rayos solares, por lo general es de vidrio o de plástico.
- Placa absorbedora: Es el lugar donde la energía solar se transforma en energía térmica. Por lo general se hace de un metal negro, ya que como sabemos, estos elementos presentan conductividades térmicas grandes y tienen un coeficiente de absorción elevado.
- Reflectores: Como su nombre lo indican, estos se encargan de reflejar la luz solar y enviarla hacia la zona de cocción. Esto permite calentar aún más los alimentos pero algunos modelos no los usan.

Figura 33. Componentes del horno solar



4.3.2. Materiales necesarios para su construcción

Hay tres clases de materiales que se utilizan típicamente en la construcción de las cocinas solares. Una propiedad que debe considerarse al seleccionar los materiales es la resistencia a la humedad.

- A. Material para la estructura
- B. Aislantes
- C. Material transparente
- D. Resistencia a la humedad

4.3.2.1. Material para la estructura

Se necesitan materiales estructurales para que la caja tenga y conserve una configuración y una forma dada, y sea duradera.

Los materiales estructurales incluyen cartón, madera, madera contrachapada, mampostería, bambú, metal, cemento, ladrillos, piedras, cristal, fibra de vidrio, cañas tejidas, caña de indias, plástico, papel maché, arcilla, tierra pisada, metales, corteza de árbol, telas aglomeradas con goma de pegar u otros materiales.

Muchos materiales que se comportan bien estructuralmente son demasiado densos para ser buenos aislantes. Para proporcionar las dos cosas, tanto cualidades de estabilidad estructural como de buen aislante, se necesita normalmente utilizar materiales distintos para la estructura y para el aislamiento.

4.3.2.2. Aislamiento

A fin de que la caja alcance en su interior temperaturas lo suficientemente altas para cocinar, los muros y la parte inferior de la caja deben tener un buen valor de aislamiento (retención de calor). Se incluyen entre los buenos materiales aislantes: hojas de aluminio (reflector brillante), plumas, lana de fibra de vidrio, lana de roca, celulosa, cascarillas de arroz, lana, paja y periódicos arrugados.

Cuando se construye una cocina solar, es importante que los materiales aislantes rodeen el interior de la cavidad donde se cocina de la caja solar por todos los lados excepto por el lado acristalado normalmente el superior. Los materiales aislantes deben ser instalados para permitir la mínima conducción de calor desde los materiales estructurales del interior de la caja hacia los materiales estructurales del exterior de la caja. Cuanta menos pérdida de calor haya en la parte inferior de la caja, más altas serán las temperaturas de cocción.

4.3.2.3. Material transparente

Finalmente una superficie de la caja debe ser transparente y encararse al sol para suministrar calor vía "efecto invernadero". Los materiales vidriados más comunes son el cristal y el plástico resistente a altas temperaturas como las bolsas para asar que se usan en las cocinas. Se utiliza doble vidrio, bien de cristal o de plástico para influir tanto en la ganancia como en la pérdida de calor. Dependiendo del material que se use, la transmisión y la ganancia de calor puede reducirse entre un 5/15%.

Sin embargo, gracias a reducir a la mitad la pérdida de calor a través del cristal o del plástico, el resultado global de la caja solar se incrementa.

4.3.2.4. Resistencia a la humedad

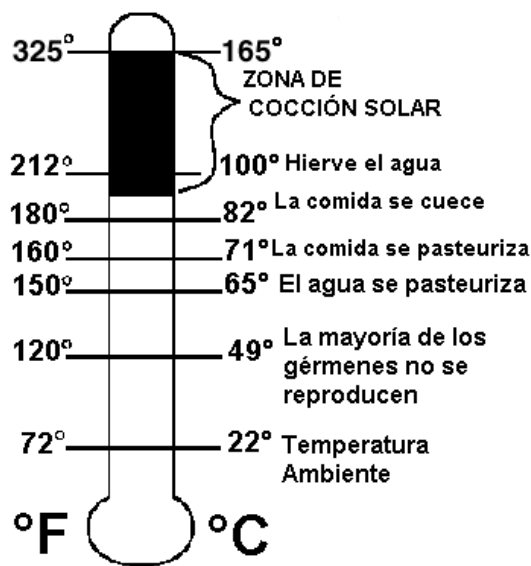
La mayoría de la comida que se cuece en una cocina solar contiene humedad. Cuando el agua o los alimentos se calientan en la cocina solar, se crea una presión de vapor, conduciendo la humedad desde el interior al exterior de la caja, Hay varias maneras de que esta humedad pueda salir. Puede escapar directamente a través de los huecos y las grietas de la caja o introducirse en las paredes y la parte inferior de la caja si no hay una barrera de humedad. Si la caja se diseña con cierres herméticos y barreras de humedad, el vapor de agua puede ser retenido dentro de la cámara de la cocina. En el diseño de la mayoría de las

cocinas solares, es importante que la mayoría de la parte interior de la cocina tenga una buena barrera de vapor. Esta barrera impedirá desperfectos por agua en los materiales de la cocina, tanto aislantes como estructurales, a causa de la lenta migración del vapor de agua a los muros y a la parte inferior de la cocina.

4.4 PRINCIPIOS DE COCCIÓN DE ALIMENTOS.

Es básico conocer las temperaturas necesarias para la cocción de alimentos, en la figura 34 se muestra como es la distribución de temperaturas.

Figura 34. Distribución de temperaturas.



Fuente: solarcooking.org

Allí se observa algo muy importante que es la temperatura necesaria para pasteurizar el agua que son 65° C es decir que si el agua alcanza esta temperatura estará libre de bacterias un dato no menor, por otra parte tenemos que los alimentos empiezan su cocción a partir de los 85° C, las temperaturas mayores lo que ocasionan es que las velocidades de cocción sean mayores.

4.4.1. Tiempos de cocción

El tiempo de cocción de los alimentos en un horno u cocina solar dependerá de la temperatura de trabajo del equipo que estemos utilizando. No todos los hornos y cocinas solares son iguales, ni tienen la misma potencia térmica, existen artefactos que llegan a desarrollar temperaturas alrededor de los 90 °C donde los alimentos demorarán un poco más en cocinarse; y también están aquellos equipos de alta eficiencia capaces de desarrollar mayores temperaturas donde los alimentos emplearán un tiempo menor para su cocción.

Además de la temperatura de trabajo del horno y cocina solar, la cual depende de la potencia del equipo y las características de la radiación solar en el momento en que se está cocinando, también hay otros factores que afectan el tiempo de cocción de los alimentos, a continuación algunas recomendaciones:

- El tipo, la cantidad y el tamaño de los alimentos que se cocinan influyen en el tiempo de cocción. Las recetas con menos agua se cocinarán antes, de igual forma los alimentos en trozos emplearán menor tiempo que si se cuecen enteros.
- Reorientar con cierta frecuencia siguiendo el avance del sol en el horizonte ayuda a acelerar la cocción, ya que de este modo aseguramos la temperatura máxima de trabajo durante todo el proceso.
- Aunque en un horno solar, se puede utilizar cualquier tipo de olla o bandeja, los recipientes metálicos de paredes delgadas y color negro mate son los más adecuados si buscamos una cocción rápida de los alimentos.
- Procurar emplear ollas y cazuelas que vayan de acuerdo a la cantidad de la preparación y siempre que sea posible utilizarlos con la tapa puesta.
- Reducir el número de veces que se abre la cubierta del horno, cada vez que se hace esto se provoca un descenso en la temperatura interior y en consecuencia el tiempo de cocción se alarga.

- En algunas preparaciones, la utilización de bolsas de asar es muy recomendable puesto que evita la formación de vapor y concentra el calor en los alimentos.

Figura 35. Formas de mejorar el rendimiento de las cocinas y hornos solares.



Fuente: gastronomiasolar.com

Los tiempos de cocción para las cocinas solares parabólicas con cielo despejado se acercan mucho a una cocina a gas en condiciones de operación normales, por otro lado los tiempos de los hornos solares son un poco más largos debido a que requiere de mucho más tiempo para alcanzar temperaturas altas debido a su principio de funcionamiento de acumulación y tiene mayores pérdidas.

5. DISEÑO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA

5.1. DISEÑO TÉRMICO

5.1.1. Material reflectivo de la parabólica

En nuestro diseño conceptual de plan de proyecto se planteó la alternativa de realizar la cocina parabólica con un reflector de aluminio de alta reflectividad (verde) debido a que es un material con muy buenas propiedades reflectivas, pero que fue imposible conseguir en el país. Entonces procedimos a pasar a la alternativa más cercana, se optó por un material adhesivo que sirve como recubrimiento llamado Mylar (ver Figura 36) el cual tiene propiedades reflectivas cercanas (ver Tabla 1) a las del aluminio, aparte tiene un costo menor al del aluminio.

Figura 36. Mylar reflectivo adhesivo



Tabla 1. Propiedades mecánicas del Mylar

Propiedades	Método Ensayo	Unidades	Valores					
Espesor Nominal		μm	12	23	36	50	75	100
Gramage	Int. DuPont	gr/m2	17	32	50	70	105	140
Resistencia a la tracción:								
- L	ASTM D 882-80	MPa	210	200	220	200	190	190
- T			220	240	280	240	230	230
Coefficiente Elástico:								
- L	ASTM D 882-80	MPa	4150	3850	3800	3650	3550	3450
- T			4150	4450	4500	4100	4000	3900
Elongación:								
- L	ASTM D 882-80	%	100	130	130	130	135	140
- T			100	100	100	100	110	115
Contracción 105°C en 30 min	ASTM D 1204-78	%	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Contracción 150°C en 30 min	ASTM D 1204-78	%	1.5	1.0	2.0	1.5	1,3	1,3
Contracción 200°C en 30 min								
- L	ASTM D 1204-78	%	4.5	4.5	6.5	4.0	3,5	3,5
- T			1.5	4.0	6.2	4.0	3,3	3,3
Opacidad	ASTM D 1003-52		5	12	30	27	36	39
Rigidez dieléctrica	ASTM D 149	kV	2,5	4	5,5	7,7	10	11,75

- L = Sentido Longitudinal T = Sentido transversal

Fuente: fabricante ARCLAD Colombia.

Según un estudio de reflectividad de materiales de la Universidad de Salta en Argentina nos entrega la siguiente tabla de materiales con sus respectivos valores de reflectividad global.

Tabla 2. Reflectividad global de algunos materiales

PVC blanco	0,871	fibra de vidrio pintada de blanco	0,709
aluminio de alta reflectividad (verde)	0,839	espejo de vidrio de 2 mm	0,795
aluminio de alta reflectividad (rosado)	0,853	espejo de vidrio de 3 mm	0,754
aluminio de alta reflectividad (celeste)	0,820	espejo de vidrio de 4 mm	0,712
chapadur prepintado blanco	0,741	acero inoxidable	0,572
chapa galvanizada	0,588	mylar	0,833
chapa pintada de blanco nueva	0,582	papel de aluminio	0,799
chapa pintada de blanco envejecida	0,656		

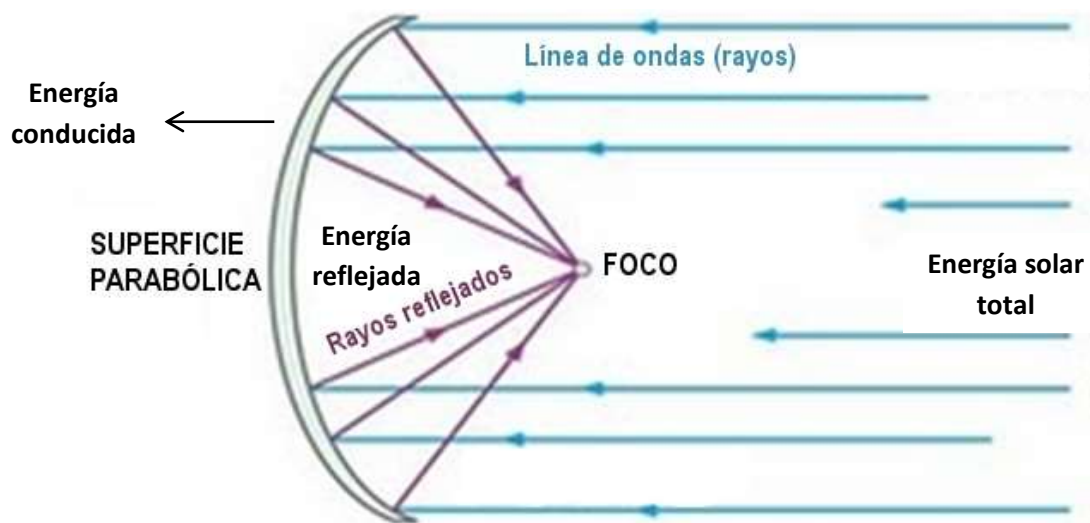
Fuente: <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t008-a003.pdf>

5.1.2. Balance de energía de la cocina solar parabólica

Entonces partiendo de este dato empezaremos con un balance de energía general en la cocina para determinar la energía con la que podremos contar en nuestro recipiente de cocción.

Para ello debemos hacer un planteamiento de cómo se distribuye la energía que llega a nuestra cocina y se dispone del siguiente esquema que muestra la figura 37:

Figura 37. Esquema de la energía absorbida por el foco.



Haciendo un balance sobre la superficie reflectiva tenemos que de la energía total captada la mayor parte se refleja hacia el foco y una parte pequeña se va por conducción, este porcentaje depende de que tan reflectivo es nuestro material. Es decir, si tenemos un coeficiente de reflectividad de 0.83 esto quiere decir que el 83% de la radiación incidente será reflejada hacia el foco que es en donde tendremos nuestro contenedor de alimentos, es decir:

$$E \text{ solar total} = E \text{ reflejada al foco} + E \text{ conducida}$$

5.1.3. Energía reflejada al foco

La energía útil en este caso para la cocina parabólica es la energía reflejada al foco, por este motivo es importante que el material sea lo más reflectivo posible en este caso la reflectividad podemos decir siendo conservadores estamos alrededor del 80% esto quiere decir que:

$$\text{Energía solar total} * 0.8 = \text{Energía reflejada al foco}$$

Es la energía que en realidad estaría llegando a nuestro recipiente en condiciones normales de funcionamiento.

Depende básicamente de la superficie captadora que tengamos ya que las unidades de la radiación están dadas sobre metro cuadrado de superficie, para la cocina se planteó que tenga un diámetro de 1.1m esto nos da aproximadamente una superficie captadora de $A = 1.1m^2$, ya que cada segmento recto posee un área captadora de $0.054 m^2$ y debido a que son 22 segmentos el área total captadora será de $1.2m^2$ pero para efectos de cálculos se tiene en cuenta que hay una superficie con sombra en el fondo por lo tanto se asume el $A = 1.1m^2$.

Entonces lo que se hace es calcular la radiación incidente sobre nuestra superficie parabólica así:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega$$

Llegamos a que reemplazando valores para la latitud de Bucaramanga y tomando como planteamiento la mejor hora del día que sería las 12 m tendríamos un valor

de $\cos \Theta_z=0.9996$ con la siguiente expresión hallaremos la constante solar para este caso particular así:

$$I_0 = 1353 \left(1 + 0,034 \cos \frac{360n}{365} \right) [8]$$

De esta formula obtenemos una intensidad de 1350 watts/m² teniendo en cuenta que el n utilizado en este caso seria el 1 de mayo ya con esta intensidad se puede calcular la radiación extraterrestre aproximada para este dia que es:

$$h_o = I_0 \cos \theta_z$$

Como ya obtuvimos el Θ_z y la constante solar esto nos da como resultado una radiación extraterrestre de unos 1348 watts/m² ya por ultimo para saber la radiación total terrestre se asume una constante de claridad que en nuestro caso por nuestra ubicación y diremos que K_t es de 0.6 entonces:

$$K_T = \frac{h}{h_o}$$

De allí ya tendríamos un dato de radiación total de unos 800 watts/m² aclarando que este valor seria teóricamente en el mejor de los casos es por esto que asumimos que de esa radiación solo el 80% estaría disponible y llegaría o podría ser captada por nuestro sistema entonces esos serían unos 640 watts/m².

5.1.4. Energía necesaria para cumplir el objetivo

Para determinar la energía necesaria para lograr el objetivo de calentar 3 litros de agua hasta 85 °C desde unos 20 °C, que es la temperatura ambiente, en un tiempo de una hora se realiza un balance de energía como sigue:

$$\Delta T = (85 - 20) = 65 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t = 3600 \text{ seg} \quad C = 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^{\circ}\text{C}} \quad m = 3 \text{ Kg}$$

$$Q = m * C * \Delta T \quad Q = 3 \text{ Kg} * 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^{\circ}\text{C}} * 65^{\circ}\text{C} = 815,1 \text{ Kj}$$

$$\text{calor por unidad de tiempo} = \frac{Q}{t} \text{ (watts)}$$

$$\frac{Q}{t} = \frac{815,1}{3600} = 0,226 \text{ Kwatts} \quad \text{calor necesario para calentar el agua}$$

5.1.5. Energía disponible para cumplir el objetivo

Entonces teniendo un área de 1.1m² y con una radiación promedio en Bucaramanga de 640 $\frac{\text{watts}}{\text{m}^2}$ [4] tendríamos que:

$$E_{\text{util}} = qsb * A * c.\text{reflectividad}$$

$$E_{\text{util}} = 500 * 1.1 * 0.8 = 440 \text{ watts}$$

Con este cálculo llegamos a que en un día similar podremos llegar a 440 watts en promedio entonces obtendríamos la energía necesaria para cumplir nuestro objetivo y estaría muy cerca de las cocinas comerciales con estas mismas dimensiones.

5.2. DISEÑO MECÁNICO

5.2.1 Parabólica reflectiva

Para la parabólica reflectiva se tuvo en cuenta que está hecha a secciones, es decir son trozos rectos que con los cortes necesarios forman un paraboloide de las dimensiones requeridas por nuestro diseño entonces tenemos que serán 22 secciones y tendrá un diámetro de 110 cm que nos va a dar una buena área de captación.

5.2.1.1 Foco

Otro aspecto importante es el foco entonces como nuestro paraboloide debe girar y ponerse en posición contra-sol (ver Figura 38) el foco debe estar dentro de la parábola es decir debe ser de foco profundo (ver Figura 39) y no afuera como muchos diseños de este tipo de cocinas de foco expuesto, es importante que se pueda girar debido a que si se necesita observar cómo va la cocción de los alimentos se puede girar mirar el recipiente con comida sin tener ningún riesgo de radiación directa en los ojos.

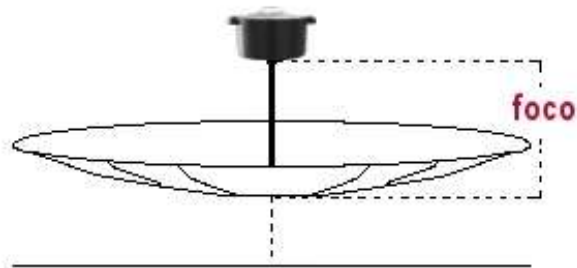
Figura 38. Posición contra-sol



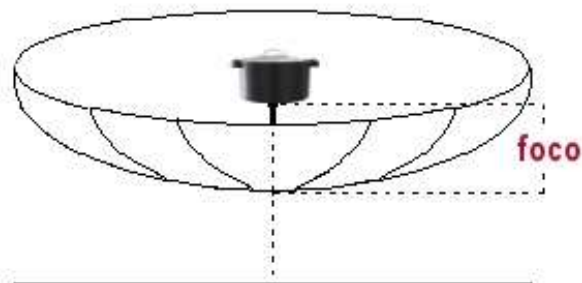
Fuente: www.ecovidasolar.es

Figura 39. Foco profundo y expuesto.

Superficie parabólica de foco expuesto



Superficie parabólica de foco profundo



Fuente: www.gastronomiasolar.es/p/cocina-solar.html

5.2.1.2. Segmentos de parabólica

Para el diseño de los segmentos necesarios para construir la parabólica utilizamos una herramienta sencilla pero muy útil para elaborar este tipo de elementos que se llama “Guía para elaborar grandes reflectores parabólicos usando segmentos planos” extraído de un sitio especializado en cocina solar [11].

En este sencillo programa de Excel lo único que debemos introducir son el número de segmentos, la distancia desde el centro de la parabólica hasta el foco y el incremento con el que podemos decidir el diámetro de nuestra parabólica como se muestra en la figura 40 tomada del programa.

Figura 40. Programa para el cálculo de dimensiones de los segmentos.

<i>row number</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>yI</i>	<i>z</i>	<i>Vd</i>	<i>from centre</i>
1	0,00	0,00	0,30	5,51	5,51	0,79
2	5,50	0,30	1,21	5,57	11,08	1,58
3	11,00	1,21	2,72	5,70	16,79	2,37
4	16,50	2,72	4,84	5,89	22,68	3,16
5	22,00	4,84	7,56	6,14	28,82	3,95
6	27,50	7,56	10,89	6,43	35,25	4,74
7	33,00	10,89	14,82	6,76	42,01	5,54
8	38,50	14,82	19,36	7,13	49,14	6,33
9	44,00	19,36	24,50	7,53	56,67	7,12
10	49,50	24,50	30,25	7,96	64,62	7,91
11	55,00	30,25				

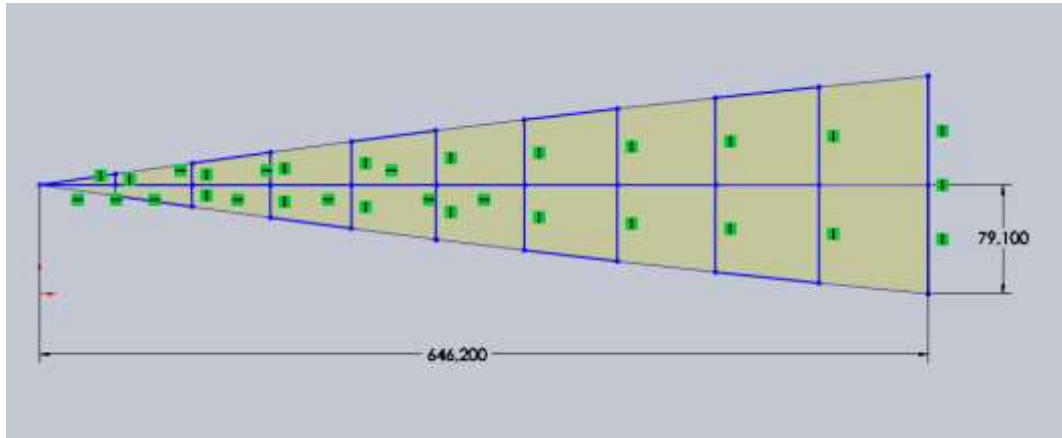
x incremento	5,5
f (distancia al foco)	25
# secciones	22

El diagrama ilustra un perfil parabólico con los siguientes parámetros etiquetados:

- distancia tomada de la última columna, fila 1:** Distancia horizontal desde el eje de simetría hasta el punto de la fila 1.
- última columna fila 2:** Distancia horizontal desde el eje de simetría hasta el punto de la fila 2.
- distancia Vd de la fila 1:** Distancia vertical desde el eje de simetría hasta el punto de la fila 1.
- distancia Vd, fila 2 (así consecutivamente):** Distancia vertical desde el eje de simetría hasta el punto de la fila 2.

Con las dimensiones que nos da el programa podemos diseñar la forma del primer segmento igual a los otros 21 que necesitamos para formar el paraboloides. En la figura 41 se muestra cómo quedaría el plano de la lámina para construcción.

Figura 41. Segmento recto del paraboloides.



5.2.2 Estructura soporte para el reflector parabólico

Consta de una estructura base cuadrada que termina de manera triangular (ver figura 42) y otra estructura guía en forma de aro que permite el giro de la parabólica para facilidad de uso.

Figura 42. Estructura soporte para el reflector.



5.2.3. Aro de sujeción de la parabólica

El aro de sujeción será atornillado a la parabólica y es el encargado de darle la forma a esta a la vez que sirve de soporte, está hecho de acero de 2.5 cm de ancho y un espesor de 1/8 de pulgada como muestra la figura 43.

Figura 43. Aro de sujeción del reflector.



Toda la estructura fue diseñada atornillada y en partes que puede entrar en una caja para hacer fácil su transporte a cualquier lugar también nos permite que con solo unas herramientas podamos armarla fácilmente.

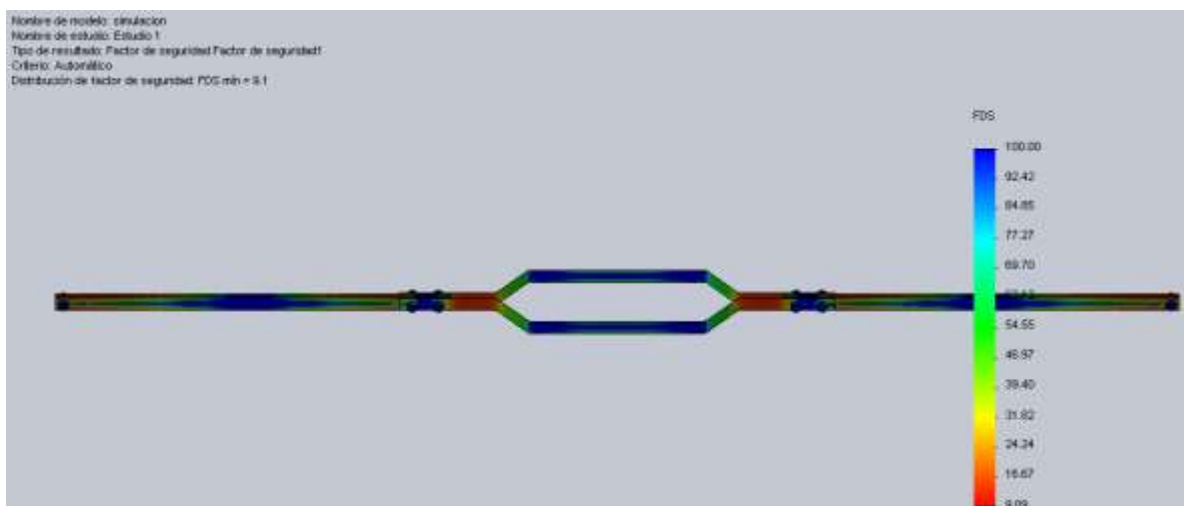
5.2.4. Estructura soporte del contenedor de alimentos

Esta está situada en el foco de nuestra parabólica y debe soportar el peso de nuestros alimentos junto con el del recipiente que lo contiene entonces para esto debemos hacer un cálculo de cuanto peso debe soportar para esto asumimos que la cantidad de agua que tenemos normalmente son 5 litros más la comida que tengamos dentro digamos que serán unos 5 kilos más por todo en un caso extremo tendríamos en total 10 kilos en nuestro recipiente.

Para el cálculo de la resistencia se utiliza la herramienta Solidworks que nos ayuda a saber el factor de seguridad que tendríamos bajo unas condiciones de carga determinadas.

Como se muestra en la figura 44 estamos muy por encima de las especificaciones y no tendríamos problemas con la resistencia del soporte de alimentos.

Figura 44. Análisis de esfuerzos en el soporte de la olla.



6. DISEÑO DE HORNO SOLAR

6.1. PRINCIPIOS DE DISEÑO

Una cocina solar funciona porque el interior de la caja se ha calentado por la energía del sol tanto directa como reflejada entra en la caja solar a través de la parte superior de cristal calentando el interior. Este calor en el interior causa que la temperatura dentro de la cocina solar aumente hasta que el calor que se pierda de la cocina sea igual al aumento del calor solar. Se alcanzan fácilmente temperaturas suficientes para cocinar comida y pasteurizar agua.

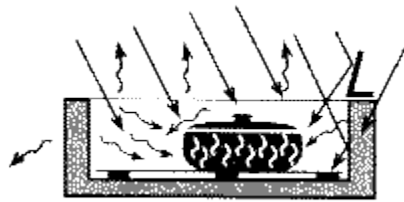
Los siguientes principios de calor se considerarán en primer lugar:

- Ganancia de calor
- Pérdida de calor
- Almacenaje de calor

6.1.1. Ganancia de calor

EFEECTO INVERNADERO: este efecto es el resultado del calor en espacios cerrados en los que el sol incide a través de un material transparente como el cristal o el plástico. La luz visible pasa fácilmente a través del cristal y es absorbida y reflejada por los materiales que estén en el espacio cerrado. La energía de la luz que es absorbida por las ollas negras y la plancha negra debajo de las ollas se convierten en energía calorífica que tiene una mayor longitud de onda, e irradia desde el interior de los materiales. La mayoría de esta energía radiante, a causa de esta mayor longitud de onda, no puede atravesar el cristal y por consiguiente es atrapada en el interior del espacio cerrado. La luz reflejada, o se absorbe por los otros materiales en el espacio o atraviesa el cristal si no cambia su longitud de onda (ver figura 45).

Figura 45. Efecto invernadero

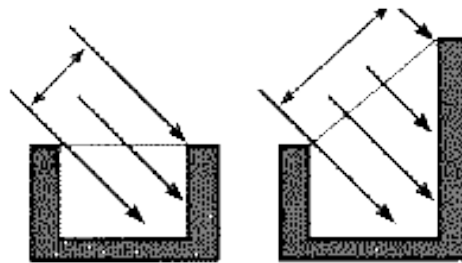


Fuente: internauta.org

Debido a la acción de la cocina solar, el calor que es recogido por la plancha y las ollas de metal negro absorbente es conducido a través de esos materiales para calentar y cocinar la comida por esta razón se hace necesario que la placa base del horno sea de color negro mate preferiblemente y las paredes sean lo más reflectivas posible para que la mayor cantidad de energía llegue a la placa base.

ORIENTACIÓN DEL CRISTAL: Cuanto más directamente se encare el cristal al sol, mayor será la ganancia del calor solar esto depende del lugar de la tierra en el que estemos ubicados debido a que como este es un ángulo fijo debe ser escogido una manera correcta para poder aprovechar de una mejor manera el sol recibido durante todo el día, en la figura 46 se observan dos orientaciones diferentes.

Figura 46. Orientación del cristal.

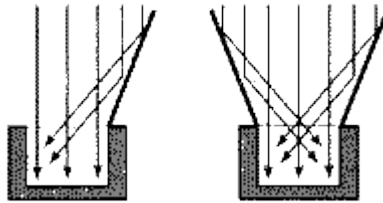


Fuente: thales.cica.es

Teniendo en cuenta recomendaciones que se usan en concentradores de placa plana el ángulo de inclinación debe ser la latitud del lugar en el que estamos ubicados, para Bucaramanga esos son unos 7° de latitud norte entonces este debería ser nuestro ángulo de inclinación de vidrio pero más adelante se explicará porque se asumió uno un poco mayor.

REFLECTORES, GANANCIA ADICIONAL: Uno o múltiples reflectores hacen rebotar radiación solar adicional a través del cristal y dentro de la caja solar. Esta mayor entrada de energía solar aumenta la eficiencia del horno en nuestro caso utilizaremos un reflector en la parte superior que aumente al doble el área de captación como se observa en la figura 47.

Figura 47. Reflectores horno solar.



Fuente: somosamigosdelatierra.org

6.1.2. Pérdida de calor

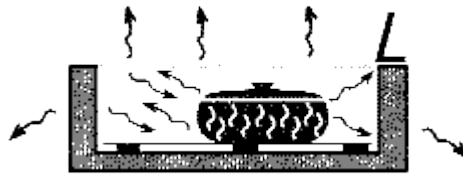
Las pérdidas de calor se pueden presentar por medio de los tres mecanismos de transferencia de calor es por esto que es importante hablar de ellos para nuestro diseño.

- CONDUCCIÓN
- RADIACIÓN
- CONVECCIÓN

CONDUCCIÓN: El asa de una olla de metal puesta en una cocina o fuego se calienta gracias a la transferencia de calor desde el fuego a través de los materiales de la cacerola hacia los materiales del asa. En el mismo sentido, el calor dentro de una cocina solar se pierde cuando viaja a través de las moléculas de las hojas de acero, el aire y el aislamiento hacia el aire fuera de la caja.

La chapa absorbente calentada por el sol conduce el calor a la parte inferior de las cacerolas. Para prevenir la pérdida de este calor vía conducción a través de la parte inferior de la cocina, la chapa absorbente se eleva de la parte inferior utilizando pequeños espaciadores aislantes como se observa en la figura 48.

Figura 48. Separadores entre placa y fondo del horno.



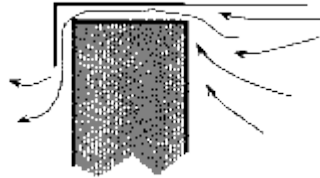
Fuente: solarcooking.wikia.com

Estos separadores son importantes en el diseño del horno debido a que no permite un contacto directo entre la placa absorbente y el fondo del horno por este motivo hace que la conducción disminuya y las pérdidas por este medio bajen lo que hace más eficiente nuestro horno solar.

RADIACIÓN: Las ollas y recipientes de cocción despiden olas de calor o irradian a su alrededor. Estas olas de calor se irradian a través del aire o el espacio. La mayor parte del calor radiante que se despiden de las ollas calientes dentro de una cocina solar se refleja desde el estaño y el cristal de vuelta a las ollas y a la bandeja inferior. Aunque los vidrios transparentes atrapan la mayoría del calor radiante, un poco escapa directamente a través del vidrio. El cristal (ver figura 49) atrapa el calor radiante mejor que la mayoría de los plásticos por este motivo

nuestra ventana va a estar compuesta de dos capas de cristal que permite que escape una menor cantidad de calor del horno solar.

Figura 49. Cristal atrapando calor.



CONVECCIÓN: Las moléculas del aire entran y salen de la caja a través de las rendijas intercambiando aire frío del exterior por aire caliente del interior por este motivo se hace necesario que sea lo más hermética posible para que no se produzcan estas pérdidas por flujo de aire en alguna dirección, este es un factor que depende mucho de la construcción por tal motivo es un poco dependiente de los procesos de fabricación y se requiere de mucha precisión para disminuir mucho las pérdidas por convección.

6.1.3. Almacenamiento de calor

De este almacenamiento de calor es del que se encarga nuestro aislante en el interior del horno en nuestro caso se utilizó lana de vidrio (ver figura 50) que es fácil de conseguir aunque su manejo es un poco dispendioso debido a que hay que manipular con mucho cuidado porque produce comezón pero tiene un rendimiento bastante bueno.

Figura 50. Lana de vidrio



Posee una conductividad térmica de $0,032 \text{ W/ (m}\cdot\text{°K)}$ a $0,044 \text{ W/ (m}\cdot\text{°K)}$ y un calor específico de $670 \text{ J/Kg}\cdot\text{K}$ datos que son importantes para más adelante calcular rendimiento del horno solar.

6.2. DISEÑO Y PROPORCIONES

6.2.1. Tamaño de la caja

Estos son algunos de los factores que influyen en el tamaño de la caja u horno solar:

- El tamaño debe permitir la mayor cantidad de comida que se cocina normalmente.
- Si la caja necesita trasladarse a menudo, no debe ser tan grande como para dificultar esta tarea.
- El diseño de la caja debe adaptarse a los productos de cocina de que se dispone, o que se usan normalmente.

En los objetivos se planteó un horno solar con dimensiones de 50x40x40 cm pero considerando los factores anteriormente mencionados y teniendo en cuenta un recipiente de cocción de unos 25 cm de diámetro y una altura de 15 cm, además se debe tener en cuenta que una gran cantidad del espacio debe ser invertido en el aislamiento por este motivo las dimensiones serán un poco mayores a las inicialmente planteadas.

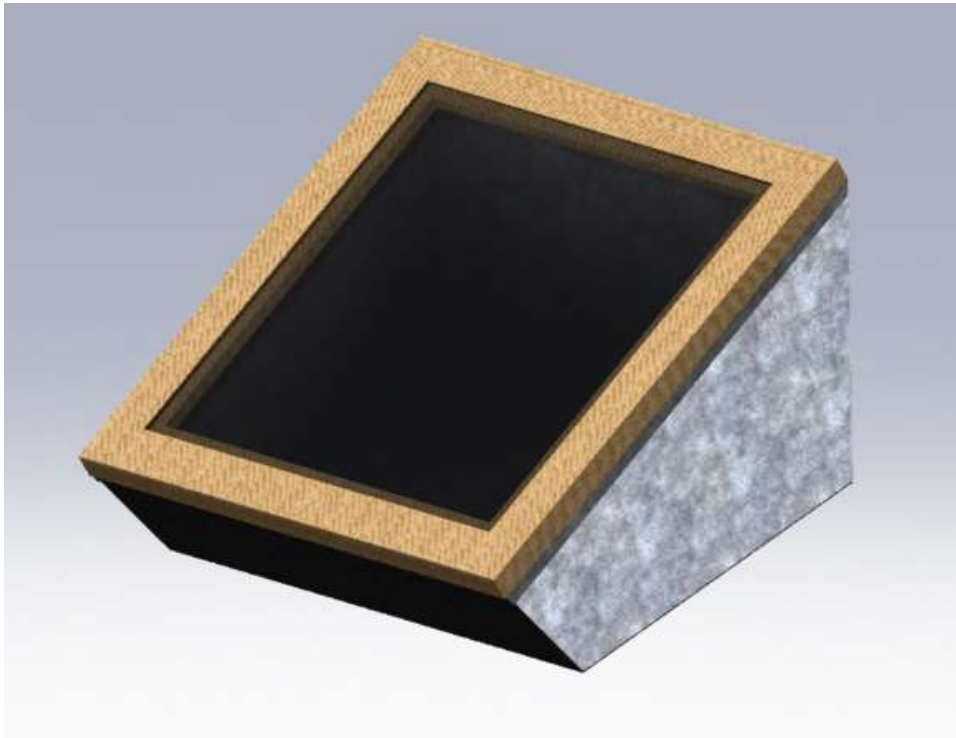
6.2.2. Área de acumulación solar en relación al volumen de la caja

Siendo todo igual, cuanto más grande sea el área de acumulación solar de la caja en relación al área de pérdida de calor de la misma, tanta más alta será la temperatura de cocción.

Dadas dos cajas que tengan áreas de acumulación solar de igual tamaño y proporción, aquella de menor profundidad será más caliente porque tiene menos área de pérdida de calor.

Por este motivo la caja no va a ser cuadrada con una altura de 30cm sino que va ir desde unos 13 cm en la parte de adelante hasta unos 30cm en la parte trasera teniendo una forma como la que se ilustra en la figura 51.

Figura 51. Diseño del horno.



6.2.3. Proporción de la cocina solar

Una cocina solar puesta de cara al sol de mediodía debe ser más larga en la dimensión este/oeste para hacer un mejor uso del reflector sobre un periodo de cocción de varias horas. Mientras el sol viaja a través del cielo, esta configuración da como resultado una temperatura de cocción más constante. Con cocinas cuadradas o aquellas cuya dimensión más larga sea la norte/sur, un porcentaje

mayor de luz solar se reflejará por la mañana temprano y por la tarde desde el reflector al suelo, perdiendo la caja área de acumulación por este motivo se pretende que la distancia más larga sea la frontal de nuestro horno.

6.2.4. Reflector

Se emplean uno o más reflectores para hacer rebotar luz adicional dentro de la caja solar a fin de aumentar la temperatura de cocción. Este componente es opcional en climas ecuatoriales pero incrementa el resultado de cocción en regiones templadas del mundo en nuestro diseño preliminar se planteó colocar un reflector del mismo tamaño de ventana es decir de unos 50cm x 50cm para así duplicar nuestra área de captación.

6.3. BALANCE DE ENERGÍA DEL HORNO SOLAR

Como ya planteamos el área de captación será de 50 cm x 50 cm es decir de 0.25 m^2 para las especificaciones requeridas es un tamaño adecuado también tiene ángulos que permiten que con menos área alrededor haya una ventana de igual tamaño esto hace que la relación de pérdidas disminuya.

Simplemente se plantea un balance similar al que se hace con los colectores de placa plana ya que su funcionamiento es similar así:

$$Q_{Abs} = Q_u + Q_p + Q_{al}$$

En donde el calor absorbido por la cocina es igual a la suma del calor útil (Q_u) más el calor perdido por medio de cualquiera de los mecanismos de transferencia de calor (Q_p) más el calor almacenado por cada uno de los componentes de nuestro horno solar.

El calor que debemos calcular es el calor útil ya que este es el que finalmente estaría llegando a nuestro recipiente de cocción, pero entonces deberíamos encontrar maneras de calcular pérdidas y el calor almacenado por cada uno de los componentes así como el calor absorbido para con la anterior ecuación poder llegar a obtener un valor teórico del calor útil del horno solar.

6.3.1. Energía absorbida por el horno solar

La energía que absorbe la cocina es la que entra al interior a través de los vidrios y es absorbida y estaría dada por una relación así:

$$Q_{abs} = q_{sb} * t * a$$

En donde a es el coeficiente de absorción a la radiación solar del interior de la cocina (valdrá aproximadamente 0,90); t es el coeficiente de transmisión a la radiación solar de la doble cubierta, este es del orden de 0,70 a 0,72 (cada vidrio transmite un 85% de la radiación solar, así que los dos transmiten entre el 70 a 72%).

Anteriormente pudimos calcular un valor teórico aproximado de un q_{sb} de unos 640 watts/m² en la mejor situación del día y asumiendo una constante de claridad promedio normal para un día despejado.

Teniendo estos datos anteriormente mencionados nos da un valor de **Q_{abs}** de unos 420 watts/m² y con un área de captación de 0.25 m² nos da un valor de unos 105 watts pero como se usa un reflector en teoría deberíamos conseguir un 80% más de esta energía es decir que serían unos 190 watts de calor absorbido aproximadamente.

6.3.2. Energía pérdida por los mecanismos de transferencia de calor

Este es un valor un poco más complejo de calcular ya que depende de muchos factores y en especial de una como es el nivel de aislamiento que tengamos, en nuestro caso el aislante es lana de vidrio, por recomendaciones de fabricantes de este tipo de hornos el aislamiento debe ser de unos 5 cm de espesor ya que espesores mayores no producen cambios grandes en su eficiencia (ver figura 52).

Figura 52. Lana de vidrio.



Fuente: archiexpo.es

Para este tipo de cálculos los valores son muy aproximados ya que no existen formas analíticas similares debido a que hay múltiples factores así que con las propiedades que tiene este material y teniendo en cuenta que tenga pequeñas pérdidas por los costados en rendijas que pueden quedar por los procesos de fabricación tan convencionales como los que fueron usados se dice que las pérdidas serían en el mejor de los casos entre un 20% y 30%.

6.3.3. Energía almacenada en los componentes del horno.

Esta energía está relacionada sencillamente con el estado transitorio del horno ya que para llegar a una temperatura de trabajo el horno debe pasar por una fase de calentamiento, en esta fase de calentamiento el aislamiento alrededor del horno debe llegar a la temperatura deseada dentro de este como mínimo, esto consume una energía que puede ser calculada así:

Temperatura planteada en el objetivo son unos 170°C entonces tenemos que usar el calor específico de lana de vidrio que es de 670 J/Kg.K e igual asumimos un tiempo de una hora de transición pero también se debe calcular la masa de aislante que tenemos en el interior así:

$$\text{densidad} = 38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{volumen} = 0.04 \text{m}^3 \quad m = 38 * 0.04 = 1.5 \text{kg}$$

Con estos datos ya se puede saber la energía almacenada por el aislante así:

$$\Delta T = (170 - 25) = 145 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t = 3600 \text{ seg} \quad C = 0.67 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$m = 1.5 \text{ Kg}$$

$$Q = m * C * \Delta T$$

$$Q_{al} = 1.5 \text{ Kg} * 0.67 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 145^\circ\text{C} = 145 \text{ Kj}$$

$$\text{calor por unidad de tiempo} = \frac{Q}{t} \text{ (watts)}$$

$$\frac{Q}{t} = \frac{145}{3600} = 0,040 \text{ Kwatts} \quad \text{calor necesario para calentar el aislante}$$

Es decir que en almacenamiento se perderían unos 40 watts ya habiendo calculado todos los valores podemos obtener un calor útil así:

$$Q_u = Q_{Abs} - Q_p - Q_{al}$$

$$Q_u = 190 - 40 - 40$$

$$Q_u = 110 \text{ watts}$$

Por otro lado, la energía necesaria para alcanzar los 170 °C asumiendo que el trozo de carne está a una temperatura de 25 °C sería:

$$\Delta T = (170 - 5) = 165 \text{ °C} \quad t = 3600 \text{ seg} \quad C = 3.35 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * \text{°C}} \quad m = 1 \text{ Kg}$$

$$Q = m * C * \Delta T \quad Q = 1 \text{ Kg} * 3.35 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * \text{°C}} * 165 \text{°C} = 552,75 \text{ Kj}$$

$$\text{calor por unidad de tiempo} = \frac{Q}{t} \text{ (watts)}$$

$$\frac{Q}{t} = \frac{552,75}{3600} = 0,153 \text{ Kwatts} \quad \text{calor necesario para calentar la carne}$$

De lo anterior podemos deducir que el calor útil aproximado que podemos conseguir con nuestra cocina son unos 110 watts y que el calor necesario para que el trozo de carne llegue a los 170 °C es de unos 153 watts entonces podemos concluir que teóricamente nuestra pregunta planteada inicialmente está un poco distante de la realidad debido a que haciendo un estudio más a fondo debemos tener en cuenta factores muy importantes de pérdidas que influyen notablemente en el rendimiento de nuestro por este motivo por medio de las pruebas averiguaremos que podemos lograr con la capacidad del horno construido.

7. DESARROLLO DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN.

Este capítulo es una guía acerca de los procesos de fabricación que fueron utilizados para la elaboración de estos dos modelos experimentales.

7.1. COCINA SOLAR PARABÓLICA

7.1.1. Segmentos de parabólica

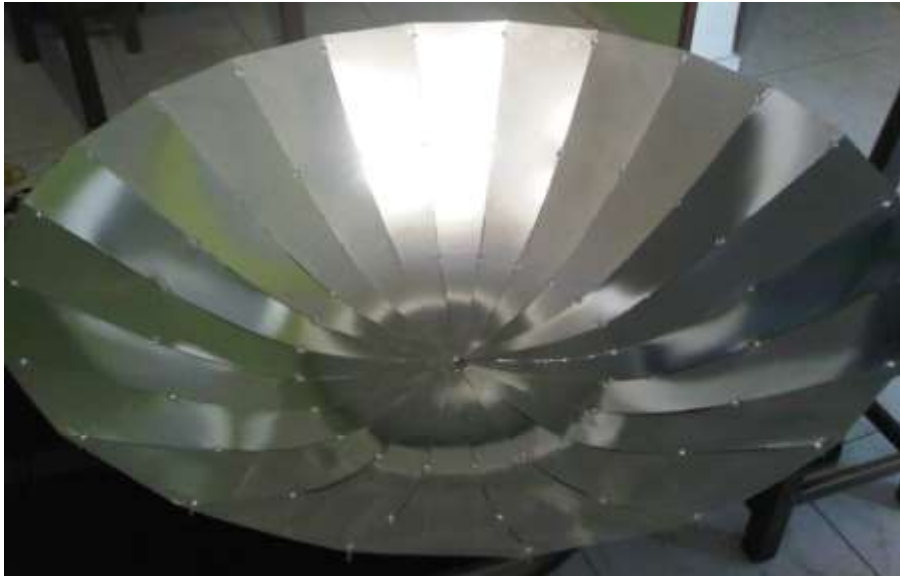
El proceso más complejo y delicado dentro de la parte de construcción es precisamente la parabólica reflectiva ya que de esta depende el funcionamiento óptimo del sistema como lo había detallado anteriormente son 22 segmentos rectos que al unirse dan forma a la parábola como se puede observar en la figura 53.

Figura 53. Segmentos rectos.



Estas van unidas con tornillos de 3/16" x 1/2" y arandela en tres puntos claves para dar su forma parabólica sin ningún tipo de dobles forzado más que la forma suave que se da por este tipo de ajuste como se muestra en la figura 54.

Figura 54. Ajuste entre láminas de la parabólica.



7.1.2. Estructura soporte parabólica

El siguiente paso en nuestro proceso de fabricación fue el montaje de la estructura soporte de la parabólica, como se mencionó se requería que toda la estructura fuera desarmable por un concepto de portabilidad en la cocina además de la reducción de costos y espacio que implica no tener piezas soldadas.

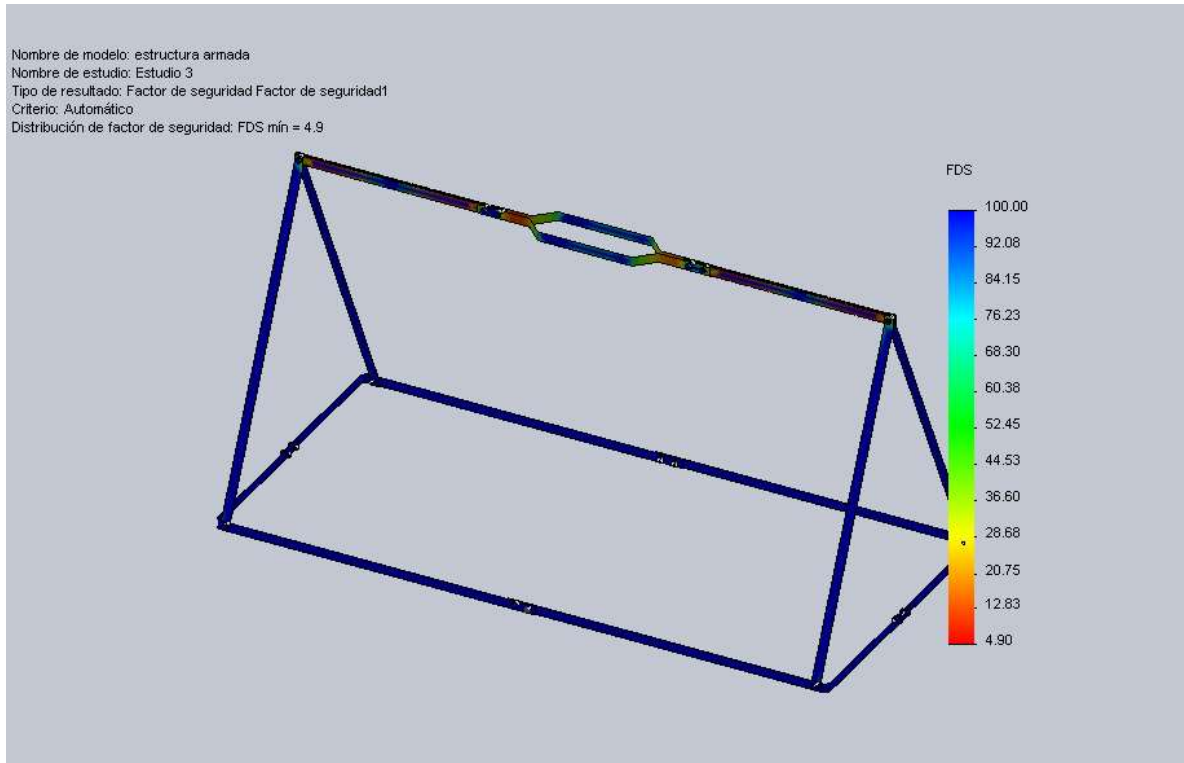
Esta estructura está compuesta por platinas de acero de **3/4" x 1/8"** atornillada con pernos de **1/2" x 1/4"** en acero galvanizado para evitar corrosión como se puede ver en la figura 55.

Figura 55. Estructura soporte de la parabólica.



Como se muestra en la figura 56 la estructura soporta con facilidad el peso integral de la parabólica tanto como del recipiente de cocción que para el análisis se asumió de 10kg un peso bastante razonable y conservador para lo que normalmente se usa en una cocina.

Figura 56. Análisis de esfuerzo de la estructura.



En donde observamos un factor de seguridad mínimo de 4.9 bastante bueno para una estructura que no está sometida a mucho esfuerzo, como era de esperarse los puntos críticos se encuentran cerca de la unión central del soporte de alimentos.

7.1.3. Aro soporte de parabólica y barras de seguridad.

Este aro es el que permite montar la parabólica a la estructura también es el encargado de darle una mayor estabilidad debido a que conserva su forma y no permite que pierda la unión entre segmentos.

Están hechos de unas platinas de hierro de **1" x 1/8"** y el aro está dividido en 4 partes iguales que hacen más fácil su ensamble y permiten mayor rigidez que un aro enterizo, entre ellos están unidos por tornillos de **1/2" x 1/4"** como se observa en la figura 57.

Figura 57. Unión del aro.



Como se observan las dos barras de soporte o seguridad van cruzadas y atornilladas al aro de sujeción de manera que hacen que se forme una parábola entre ellas para que pueda entrar fácilmente la parábola.

7.1.4. Sujeción del aro a la parabólica.

Esta es una parte clave del proceso de fabricación debido a que por medio de este mecanismo se fija de manera permanente el aro a la parabólica dándole así forma definitiva como se muestra en la figura 58.

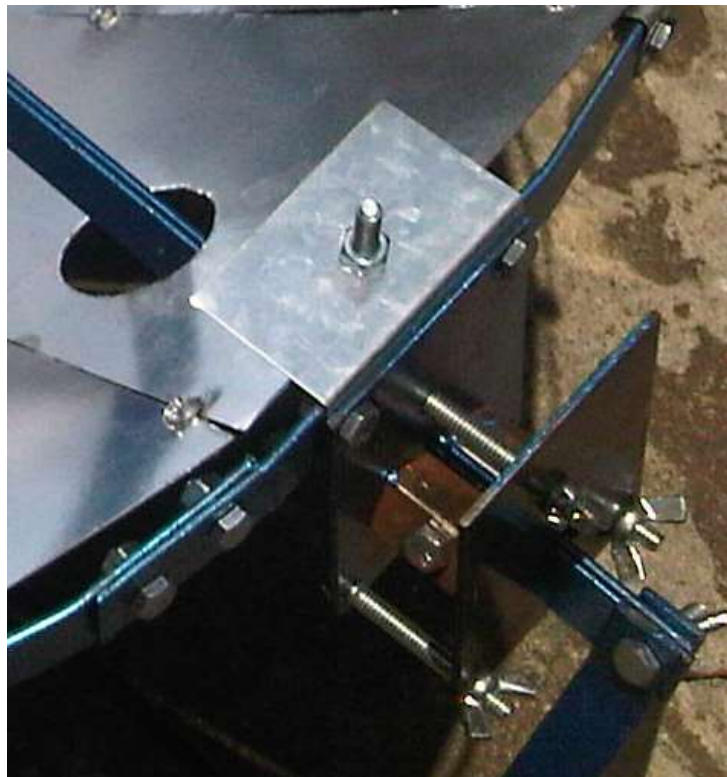
Figura 58. Mecanismo de sujeción aro-parabólica.



7.1.5. Mecanismo de bloqueo y posicionamiento de la parabólica.

Este sistema es el que nos permite saber cuándo la parabólica está bien dirigida hacia el sol, es decir que los rayos están llegando perpendiculares a nuestra cocina solar como se muestra en la figura 59, está compuesto de unos bujes entre dos placas que al ajustar hacen que la cocina no gire pero antes de ajustar es necesario saber si estamos apuntados directamente al sol para ello cuenta con un sencillo principio de observar la sombra en un tornillo cuya normal coincide con la normal de nuestra parabólica entonces lo único que hay que hacer es mirar que la sombra del tornillo sea paralela al tornillo y luego mover hacia arriba o abajo según corresponda para dejar sin sombra al tornillo de esta manera vemos que el sol está completamente perpendicular a la cocina después procedemos a ajustar los tornillos para fijar nuestra cocina en la posición deseada.

Figura 59. Mecanismo de posicionamiento y bloqueo.



7.2 HORNO SOLAR

7.2.1. Elaboración de la caja metálica o cuerpo del horno.

Esta fue elaborada en lámina galvanizada calibre 20 que tiene un espesor suficiente para conservar forma y dar rigidez la parte externa fue remachada y la parte interna es enteriza dentro de ella se encuentra el aislante de lana de vidrio, en la figura 60 se observa la caja completamente remachada.

Figura 60. Horno o caja contenedor de alimentos.



7.2.2. Aislamiento del horno solar.

Como se observa en la figura 61 podemos ver el espacio que hay entre las dos chapas metálicas en esta cavidad ira la lana de vidrio que va a hacer la función de aislar la caja interna de la externa.

Figura 61. Horno o caja contenedor vista inferior.



Figura 62. Aislamiento térmico del horno.



Para colocar la lana de vidrio se precisa de unos implementos básicos como son guantes, tapabocas y preferiblemente un buzo para no permitir un contacto directo con el material aislante como se observa en la figura 63.

Figura 63. Manipulación lana de vidrio.



Como se observa toda la caja está unida por medio de remaches ciegos de 3/16" después de haber terminado de colocar la lana de vidrio se procede a cerrar la caja con una lámina de acero galvanizado y remachada a la parte superior como se ve en la figura 64.

Figura 64. Horno remachado.



7.2.3. Elaboración de la tapa del horno o ventana.

Consiste en un marco de madera de aproximadamente de 61 cm x 61 cm y con una área para colocar la ventana de unos 50 cm x 50 cm está hecho con madera de cedro que es bastante resistente a la humedad, una de las condiciones de diseño especificadas anteriormente con sus respectivas pestañas para colocar el vidrio como se muestra en la figura 65 y sujeta a la caja metálica del horno por unas bisagras que permiten abrir y cerrar fácilmente nuestra tapa.

Figura 65. Marco de la ventana.



7.2.4. Reflector del horno.

Consiste en una lámina de acero galvanizado de 53 cm x 53 cm recubierta con papel reflectivo utilizado en la cocina solar parabólica, está sujeta al marco de madera por medio de bisagras que permiten obtener diferentes ángulos para las distintas posiciones solares a lo largo del día.

7.2.5. Siliconado y sellado de los orificios del horno para evitar fugas.

Este procedimiento es bastante importante porque nos permite disminuir al máximo las pérdidas, en gran medida por convección que se puedan presentar por el aire frío que entra desde el exterior.

Para esto se utilizó silicona sikaflex recomendada para este tipo de trabajos y masilla corriente para sellar pequeñas grietas y hendidias por las que podríamos tener fugas como se ve en la figura.

Figura 66. Sellado del horno.



Con este procedimiento ya realizado nuestro horno en este punto ya es funcional ya que está compuesto de un cuerpo con su respectiva ventana y un reflector que le da una mayor área de captación.

7.3. PROTOTIPOS TERMINADOS Y FUNCIONALES

Figura 67. Horno solar terminado.



Figura 68. Cocina solar parabólica terminada



8. DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El objetivo de estas pruebas es poder comparar datos reales de funcionamiento de ambos prototipos con los resultados esperados según los cálculos. Para esto se precisa de un banco de prueba que dispone de un módulo de adquisición de datos que nos permite obtener lecturas claras y precisas de las temperaturas en cada una de las pruebas que a continuación se mostrarán.

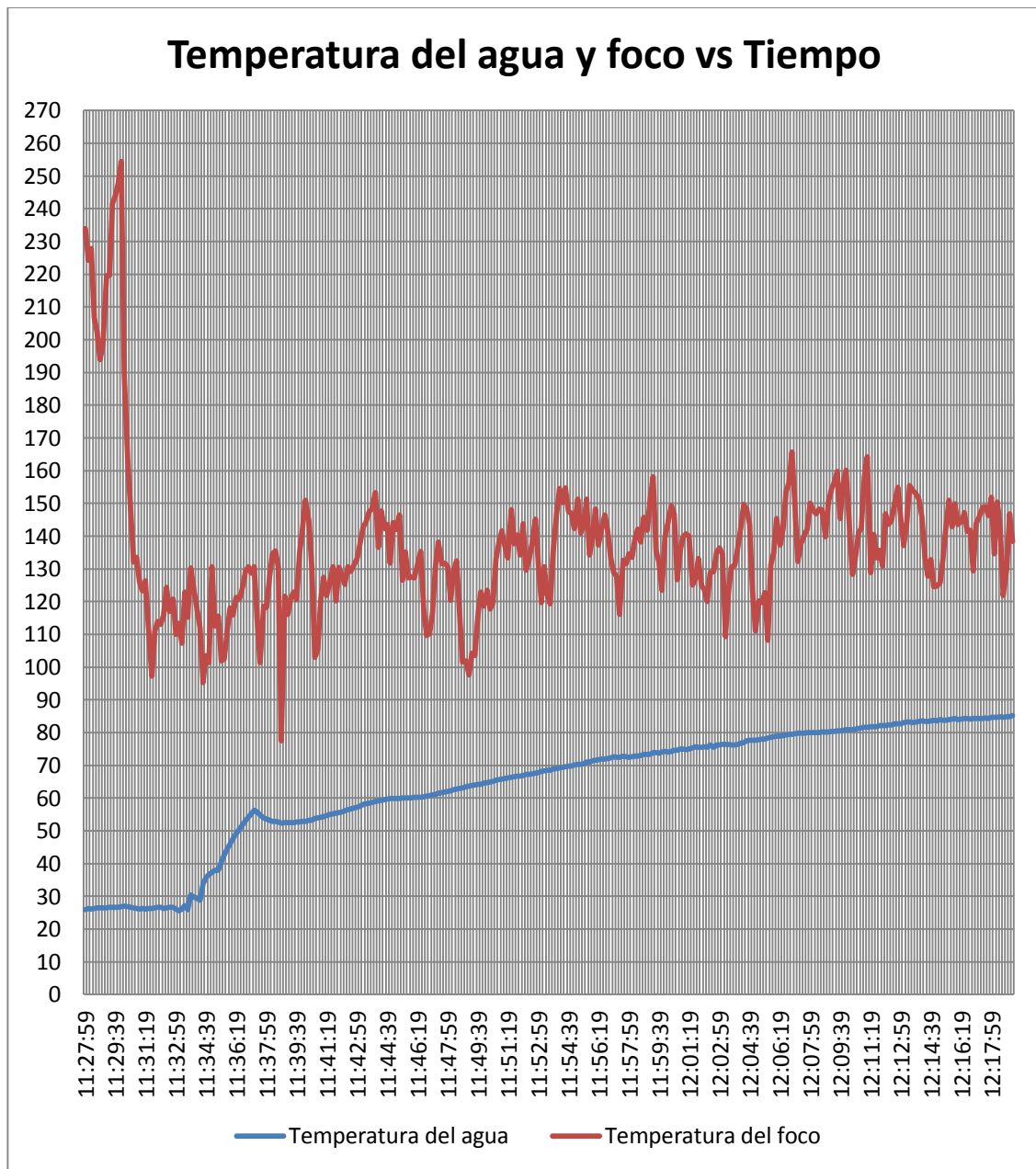
8.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS PARA LA COCINA SOLAR.

Para estas pruebas se partió del objetivo planteado en el plan de proyecto que consistía en poder llevar a una temperatura de 85 °C un volumen de 3L de agua en menos de una hora, entonces se deberá tomar datos de temperatura en el agua, se monitoreo la temperatura del foco, que es el punto en el que se concentran los rayos solares, así como también se midió la radiación directa y difusa a lo largo de un determinado intervalo de tiempo.

La prueba de rendimiento empieza con la ubicación de la cocina en un área despejada, en donde los rayos directos del sol no encuentren obstrucción alguna a lo largo del día, seguidamente se procede a direccionar la superficie captadora inclinándola respecto a la horizontal y siguiendo el ángulo de declinación del sol. A continuación, se procede a la ubicación de los piranómetros para el registro de la radiación total y difusa. Finalmente, con la cocina ubicada se procede a ejecutar el programa de monitoreo del módulo de Agilent, el cual se encarga de almacenar los datos registrados cada 4 segundos para su posterior análisis a la par que se toman datos de radiación por medio de Labview que también los almacena para ser posteriormente utilizados.

8.2. PRUEBAS DE RENDIMIENTO COCINA SOLAR PARABÓLICA.

Figura 69. Monitoreo del agua para cumplir el objetivo.



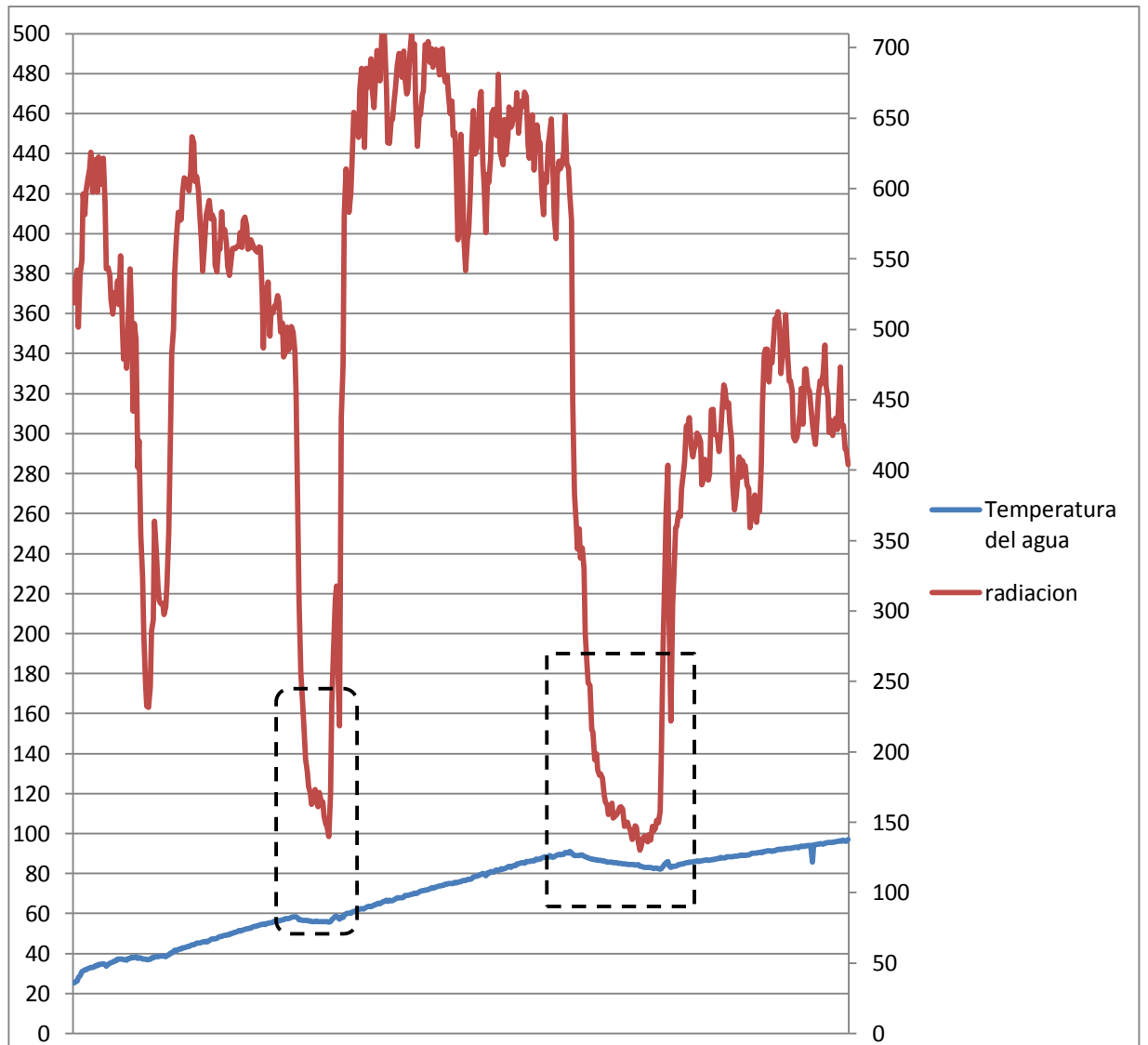
Esta figura 69 nos muestra el tiempo en el cual el líquido de prueba logro alcanzar los 85 °C, que fue de aproximadamente 50 min, en la otra serie se tiene la temperatura presente en el foco y esta temperatura de foco tiene relación directa con la radiación presente en ese momento, con lo que podemos observar que a pesar de que hubo una caída de la radiación, el líquido siguió subiendo de temperatura hasta alcanzar los 85 °C en un tiempo menor al que se esperaba.

8.2.1. RENDIMIENTO TÉRMICO EN FUNCIÓN DE LA ENERGÍA INCIDENTE.

Para obtener la eficiencia térmica de la cocina solar parabólica, lo que se hizo fue colocar una olla con 1L de agua y tomar datos de radiación junto con los datos de temperatura del líquido, para ver en qué tiempo fue posible hervir un litro de agua, de esta manera se podría saber la energía incidente sobre la cocina vs la energía que en realidad estaba llegando al recipiente de cocción, es de esperar que sea muy fluctuante debido a que depende del tiempo de respuesta del sistema de captación de datos y los otros instrumentos de medición, por lo tanto se espera que sea un dato con un margen de error considerable.

La figura 70 muestra la evolución de la temperatura en el tiempo así como la radiación incidente en ese instante. Cabe destacar que los intervalos son diferentes por esto se utilizó un promedio para disminuir el error que se obtiene al utilizar datos instantáneos.

Figura 70. Radiación y temperatura de agua vs tiempo.



Allí se observa como en periodos de nubosidad la radiación tiene caídas y se ve reflejada en el comportamiento del líquido de prueba, entonces a partir de estos datos obtenidos vamos a calcular el rendimiento de la cocina solar parabólica.

El tiempo estimado en el que se logró alcanzar los 96 °C necesarios para la ebullición del agua en Bucaramanga fue de 16 min teniendo en cuenta esto podemos decir que la energía que llegó al agua fue:

$$\Delta T = (96 - 24) = 72 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t = 960 \text{ seg} \quad C = 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} \quad m = 1 \text{ Kg}$$

$$Q = m * C * \Delta T \quad Q = 1 \text{ Kg} * 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 72^\circ\text{C} = 301 \text{ Kj}$$

$$\text{calor por unidad de tiempo} = \frac{Q}{t} \text{ (watts)}$$

$$\frac{Q}{t} = \frac{301}{960} = 0,313 \text{ Kwatts} \quad \text{calor necesario para hervir el agua en 16 min}$$

El promedio de radiación que se obtuvo en ese tiempo fue de unos 425 watts teniendo en cuenta el área de captación nuestra es decir que según el balance de energía teórico de la cocina solar parabólica tenemos que:

$$\text{Eficiencia térmica teórica} = 0.8$$

Depende del coeficiente de reflexión y de las pérdidas por orientación de la cocina.

$$\text{Energía teoría reflejada} = \text{Eficiencia térmica} * \text{energía incidente}$$

$$\text{Energía teórica reflejada} = 0.8 * 425 = 340 \text{ watts}$$

Con la situación presentada y con la energía incidente esta sería teóricamente la energía reflejada al recipiente de cocción, a esto falta restarle las pérdidas por conducción que dependen del recipiente y por esto asumimos alrededor del 5% ya que la prueba se hizo con un recipiente usado y con desgaste, entonces a esa energía reflejada le restamos el 5% y esa será la energía teórica que llegó a nuestro líquido de trabajo es decir:

$$340 \text{ watts} - (340 \text{ watts} * 5\%) = 323 \text{ watts}$$

Ahora con estos valores es posible comparar el valor teórico contra el experimental así:

$$\% \text{ error} = \frac{323 - 313}{323} = 3 \%$$

Tenemos un error aproximado del 3% entre lo que esperábamos y lo que obtuvimos, con esto ajustamos el rendimiento global de la cocina solar parabólica y obtenemos uno cercano al 75% bastante bueno si la comparamos con cocinas comerciales que están entre 75-85%.

8.3 PRUEBAS DE RENDIMIENTO HORNO SOLAR.

Para las pruebas del horno solar se parte del objetivo planteado en el plan de proyecto de grado que era de tipo experimental, se trataba de comprobar si era capaz de hacer que un trozo de carne de 1 kg alcanzara 170 °C en menos de una hora, al hacer pruebas con el prototipo se pudo observar que las pérdidas que se pretendía tuviera el horno fueron mayores, por este motivo y por la disposición solar en el momento de las pruebas este objetivo era difícil de alcanzar, entonces lo que se hizo fue tomar un horno de similares especificaciones comercial y hacer un comparativo entre los resultados obtenidos y las capacidades de un horno comercial.

La tabla 3 nos muestra los tiempos de funcionamiento del horno solar LAZOLA [12] de fabricación en Alemania de tipo comercial usando pan.

Tabla 3. Tiempos de cocción horno solar LAZOLA.

Temperaturas y tiempos en el HORNO LAZOLA.		
Cantidad de pan (kg).	Tiempos de calentamiento (min).	
	70 °C	90 °C
1	40	76
1,5	50	98
2	63	127
2,5	73	155
3	87	180
3,5	98	205

Fuente: www.lazola.de

En el caso de nuestro prototipo optamos por hacer pruebas con 1 kg, 1.5 kg y 2 kg para obtener los datos suficientes y poder comparar como es el comportamiento respecto a uno de similares características de tipo comercial.

Entonces se obtuvieron los siguientes resultados según muestra la tabla 4:

Tabla 4. Tiempos de cocción prototipo horno solar.

Temperaturas y tiempos en el PROTOTIPO DE HORNO SOLAR.		
Cantidad de pan (kg).	Tiempos de calentamiento (min).	
	70 °C	90 °C
1	45	82
1,5	58	107
2	73	140

Se puede observar que a medida que aumentamos la cantidad de pan dentro del horno las diferencias entre uno y otro modelo se hacen un poco más evidentes, cabe destacar que a partir del momento en el que se alcanzan estas temperaturas empieza la cocción y esta depende de la capacidad de sostener dichas temperaturas para esto hicimos pruebas de cuánto podría demorar en cocinar 1 kg de pan que para un horno convencional sería de aproximadamente 1 hora en nuestro caso los resultados de las pruebas se describen a continuación.

En la tabla 5 se observa el tiempo que fue necesario para conseguir una cocción uniforme.

Tabla 5. Tiempos de preparación del pan en el horno solar.

Tiempos de cocción del pan horno solar		Tiempos de cocción horno convencional
1 kg	1 h 44 min	1 h
1.5 kg	2 h 36 min	1 h 30 min
2 kg	3 h 51 min	2 h

Vale la pena destacar que los tiempos que tarda el horno convencional son aproximados debido a que depende del tipo de pan que estemos horneando, desde el punto de vista de los tiempos se observa claramente que el horno convencional supera por bastante a nuestro modelo solar pero la ventaja de este radica en su eficiencia tal que no necesita de ningún combustible, su única fuente de energía es el sol, más adelante se plantea un análisis financiero de ambos prototipos.

9. RECOMENDACIONES DE USO Y MANTENIMIENTO.

9.1. MANTENIMIENTO DEL HORNO SOLAR

Para un correcto funcionamiento del horno solar es necesario saber qué aspectos son los más importantes para obtener el máximo rendimiento. A continuación se mencionan y se dan algunas recomendaciones para cada caso.

- **Claridad de ventana:** si la ventana está muy opaca y empañada no dejara entrar la totalidad de los rayos solares posibles, así que antes y después de utilizar nuestro horno debemos limpiar ambos cristales removiendo la suciedad y el agua que pueda haber.
- **Limpieza en el interior del horno:** al igual que un horno convencional en la parte interna es común que queden restos de comida, por esto es necesario hacer una limpieza después de su uso evitando dejar restos en el interior que puedan crear malos olores y garantizando higiene en el proceso de cocción.

9.2. RECOMENDACIONES DE USO DEL HORNO SOLAR.

Es necesario hacer ciertas recomendaciones básicas para el buen uso del horno solar como son:

- Al trabajar con objetos calientes es necesario utilizar elementos de protección para las manos, como guantes, ya que se pueden alcanzar temperaturas de hasta 100 °C en el interior tanto en placa como en recipientes de cocción.

- Los tiempos de cocción varían dependiendo de la intensidad solar que tengamos, por esto es necesario revisar periódicamente la cocción de los alimentos como en una cocina convencional.
- La ubicación debe ser en un lugar a cielo abierto y en donde no haya mucho viento para evitar muchas pérdidas por convección.
- Evitar que llegue agua al interior del horno ya que esto generaría mayores pérdidas y puede causar cambios en las propiedades del material aislante y su deterioro.
- El posicionamiento correcto del reflector nos permite cocinar los alimentos en tiempos menores.
- No debe ser manipulado por niños bajo ninguna circunstancia ya que se podría causar accidentes.

9.3. MANTENIMIENTO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA.

Los aspectos más relevantes a tener en cuenta en el mantenimiento de la cocina solar parabólica son:

- Limpiar los reflectores cuidadosamente sin rayar para quitar suciedad, manchas que puedan ser causadas por el contacto con las manos, polvo que pueda tener al estar guardada y otros factores que no me permitan aprovechar al máximo la capacidad de reflexión.
- Antes y después de cada uso hacer limpieza de todos los desechos de comida y agua que pudieran quedar.

- No debe ser expuesta a agua directamente, la limpieza de los reflectores debe hacerse con líquido limpiavidrios y un pedazo de tela para no rayarlos.
- Cada cierto tiempo es necesario cambiar el recubrimiento de las láminas para garantizar eficiencia en la cocina para esto se plantea una guía paso a paso para poder cambiarlos
 - Remover el recubrimiento anterior de la lámina.
 - Lijar la superficie con una lija 320 para remover cualquier imperfección o una un poco más gruesa si es necesario.
 - Recortar segmentos cercanos a la forma del segmento de parabólica.
 - Quitar el protector del adhesivo y pegar sobre la lámina pasando un trapo para evitar rayarlo.
 - Después de pegar se remueve con tijeras los sobrantes de cada uno de los segmentos y se procede a armar de nuevo la parabólica reflectiva.

El costo de este mantenimiento es de aproximadamente \$10.000 y se debe realizar cada año pero también depende del uso, exposición a humedad y ralladuras presentes en los relectores.

9.4. RECOMENDACIONES DE USO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA.

Al trabajar con cualquier cocina hay unas recomendaciones básicas que son:

- Se deben utilizar guantes o levanta ollas para manipular los recipientes debido a que se pueden alcanzar altas temperaturas como en una cocina convencional y así evitar quemaduras.

- Al manipular los alimentos ya puestos en la olla y bien orientada es necesario utilizar gafas con filtro solar para evitar irradiación directa en los ojos o en su defecto poner la cocina en posición contra el sol.
- Los niños no deben estar cerca de la cocina porque podría volcarse y provocar quemaduras.
- Para preparar platos que requieran larga cocción es necesario tener en cuenta las condiciones climáticas favorables, ya que podrían tardar un poco más.

10. VENTAJAS Y VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS.

10.1 VENTAJAS DE LA COCINA Y EL HORNO SOLAR

Las ventajas de la cocina solar parabólica radica en factores como:

- Aporte al medio ambiente reduciendo las emisiones de dióxido de carbono que se produce en la cocina con leña.
- Beneficio para la salud de las personas que cocinan con leña debido a que evitan inhalar humos tóxicos producto de la combustión de leña.
- Aporte económico ya que solo es necesario una primera inversión y después el único costo será un mantenimiento cada cierto tiempo debido a que la energía necesaria para su funcionamiento es gratis.

Teniendo en cuenta estos factores podemos decir que es una buena alternativa para disminuir o ayudar en algunos de estos casos, ya que debido a la fluctuación y dependencia de la posición geográfica también tiene desventajas respecto a los métodos convencionales.

En este proyecto se planteó analizar la viabilidad desde el punto de vista técnico es decir que teniendo en cuenta la disponibilidad solar en Bucaramanga y como pudimos observar en las pruebas funciona, es eficiente y la posibilidad de fabricación es viable, a partir de ahí entrar a registrar factores culturales que tal vez son un poco difícil de controlar pero con estudio y capacitación pueda hacer que las personas cambien su manera de ver estas energías alternativas y las vean como una opción para complementar las energías convencionales.

Cabe destacar que son prototipos sujetos a mejoras de tipo constructivo que permitan su fabricación en serie debido a que hay procesos estrictamente manuales que se deben estandarizar, las ventajas de este primer diseño es que se pensó en hacer portables ya que la cocina solar parabólica es completamente desarmable y cabe en una caja, el modelo de horno si está más pensado para dejar en un lugar fijo.

Por ultimo podemos concluir que ambos modelos construidos son funcionales y cumplen con el objetivo principal que es la cocción de alimentos, los tiempos de cocción no son plenamente comparables pero su ventaja radica en la ventaja ecológica y que la energía utilizada no tiene ningún costo.

10.2 ANÁLISIS FINANCIERO

Hay que aclarar que estos modelos no son directamente comparables con los modelos convencionales debido a que tienen una gran desventaja que es la fluctuación, dependencia del clima y horas del día que tienen de servicio.

Se plantean como alternativa de ahorro a largo plazo y conservación del medio ambiente, que permita reducir los niveles de emisiones causados por la cocina con leña utilizada en su mayoría en las zonas rurales y aportar a la salud disminuyendo la exposición a gases de combustión.

Entonces se hará un análisis corto de inversión y retorno a la inversión con estos prototipos:

La cocina solar parabólica tuvo un costo de fabricación por concepto de materiales de unos \$350.000 COP, allí solo están incluidos los materiales debido a que la construcción fue realizada por el autor es decir que no es cuantificable entonces asumiremos un valor de \$600.000 COP, este primer dato es importante debido a

que nos da una comparación directa con modelos de similares características que se venden en internet por valores cercanos a los \$820.000 COP [12] y una estufa convencional tiene un valor de \$200.000 COP.

Ahora miraremos el retorno a la inversión que generan las cocinas solares, con las cocinas convencionales debemos pagar un servicio para su funcionamiento, esto no ocurre con las cocinas solares como se explica a continuación:

Costos por m ³ de gas en Colombia (estrato 3)	\$859 COP
Promedio de consumo familia de 6 personas	26 m ³

Si tenemos en cuenta que el mayor consumo es en el almuerzo y las horas del día, podemos afirmar que haciendo un uso eficiente de la energía solar reduciremos a la mitad el consumo de gas, es decir:

$$\text{Ahorro mensual} = 13 \text{ m}^3 * \$859 \text{ COP/m}^3 = \$11.200 \text{ COP}$$

En un año obtendríamos un ahorro de \$134.400 COP y si tenemos en cuenta que la cocina solo necesita \$10.000 COP de mantenimiento en un año, podemos ver que la inversión inicial de \$600.000 COP retornaría después de 5 años de funcionamiento aproximadamente o un poco más si tenemos en cuenta inflación y otros factores de tipo económico y valor presente a futuro de la inversión.

Por último vale la pena recalcar que hay factores que no se pueden cuantificar y que también aportan como es la reducción de emisiones de CO₂ al ambiente y la reducción de gases tóxicos perjudiciales para los seres humanos, además de la parte económica anteriormente mencionada.

11. CONCLUSIONES

- Se construyeron dos prototipos, uno de cocina solar y uno de horno solar de acumulación, con sus respectivos diseños mecánico y térmico con facilidad de uso.
- Se observó en las pruebas realizadas que la cocina solar parabólica puede llegar a tener una eficiencia cercana al 75% y sus tiempos son cercanos a los que se esperaría de una estufa eléctrica o de gas.
- El horno solar presentó características de comportamiento y funcionamientos similares a las de un horno de tipo comercial.
- Mediante el análisis se observaron las principales ventajas de implementación de estos modelos, que radican principalmente en el ahorro económico y los beneficios para la salud que presentan.
- La cocina solar parabólica fue diseñada para ser portable y puede ser transportada a cualquier lugar en una caja de 125 cm x 40 cm x 15 cm que puede ser llevada fácilmente.
- Se comprobó experimentalmente que la cocina solar parabólica era capaz de llevar a 85°C 3L de agua en menos de una hora y se hizo una prueba de rendimiento para su comparación con otros modelos.
- Se hizo la prueba con el horno solar para averiguar cuál era la temperatura que podía alcanzar y compararla con un horno convencional, así que llegamos a la conclusión que los 170 °C que se pensaba llevar un 1Kg de carne no es posible, pero por el contrario con estos materiales con un costo moderado llegamos a prestaciones cercanas a las de un horno comercial.

CITAS

[1] INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS. Libro de energías renovables y eficiencia energética [En línea] [Citado: 5 septiembre de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://www.ciencia.canaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>.

[2] TECNOLOGÍA INDUSTRIAL II. Consumo y recursos energéticos a nivel mundial. [En línea] Google Cites. [Citado: 2 julio 2014] disponible en: <https://sites.google.com/site/tecnoindus12/csdsdfsdfs/consumo-y-recursos-energeticos-a-nivel-mundial>.

[3] UPME. Demanda de energía en Colombia [documento en línea] [citado: 4 de diciembre de 2013] disponibilidad en: http://www.upme.gov.co/Docs/Energia/PROYECC_DEMANDA_ENERGIA_OCTUBRE_2010.pdf.

[4] APERCA. Energía solar térmica de concentración [documento en línea] [citado: 4 enero de 2014] disponibilidad en: http://www.aperca.org/temp/pdf/concentracion_2009.pdf.

[5] INCROPERA Frank P. y DEWITT David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4 ed. México: PRENTICE HALL, 1999, P912 [citado: 3 de julio de 2013].

[6] CENGEL Yunus A. Transferencia de Calor. 2 ed. México: McGraw-Hill, 2004, P792 [citado: 3 Julio de 2013].

[7] NICHESE. Movimientos solares [sitio en línea] [citado: 7 de marzo de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://solete.nichese.com/movimiento.html>.

[8] GUIA DOCENTE. Radiación solar en la superficie de la tierra [documento en línea] [citado: 25 de marzo de 2014] disponible en: https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2012/469/45764/1/Documento6.pdf.

[9] OPSOMS.ORG. Estimación radiación solar [documento en línea] [citado: 4 de noviembre de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://www.bvsde.opsoms.org/tecapro/documentos/miscela/iEstimacionradiacion.pdf>.

[10] CENTRO UNIVERSITARIO DEL NOROCCIDENTE. Antecedentes de las cocinas solares [documento en línea][citado: 15 de marzo de 2013] disponible en: <http://murcia.isf.es/blog/wp-content/uploads/2013/06/SISTEMATIZACION-Estufas-solares.pdf>.

[11] CUINESSOLARS. Guía práctica para elaborar grandes parabólicas a partir de segmentos rectos [documento en línea][citado: 18 de septiembre de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://cocinasolar.files.wordpress.com/2013/09/parabola.pdf>.

[12] SUN AND ICE [sitio en línea] [citado: 23 de agosto de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://www.sun-and-ice.de/catalog/shopliste.html>.

BIBLIOGRAFIA

CENGEL Yunus A. Transferencia de Calor. 2 ed. México: McGraw-Hill, 2004, P792 [citado: 3 Julio de 2013].

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NOROCCIDENTE. Antecedentes de las cocinas solares [documento en línea][citado: 15 de marzo de 2013] disponible en: <http://murcia.isf.es/blog/wp-content/uploads/2013/06/SISTEMATIZACION-Estufas-solares.pdf>.

CUINESSOLARS. Guía práctica para elaborar grandes parabólicas a partir de segmentos rectos [documento en línea][citado: 18 de septiembre de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://cocinasolar.files.wordpress.com/2011/09/parabola.pdf>.

INCROPERA Frank P. y DEWITT David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4 ed. México: PRENTICE HALL, 1999, P912 [citado: 3 de julio de 2013].

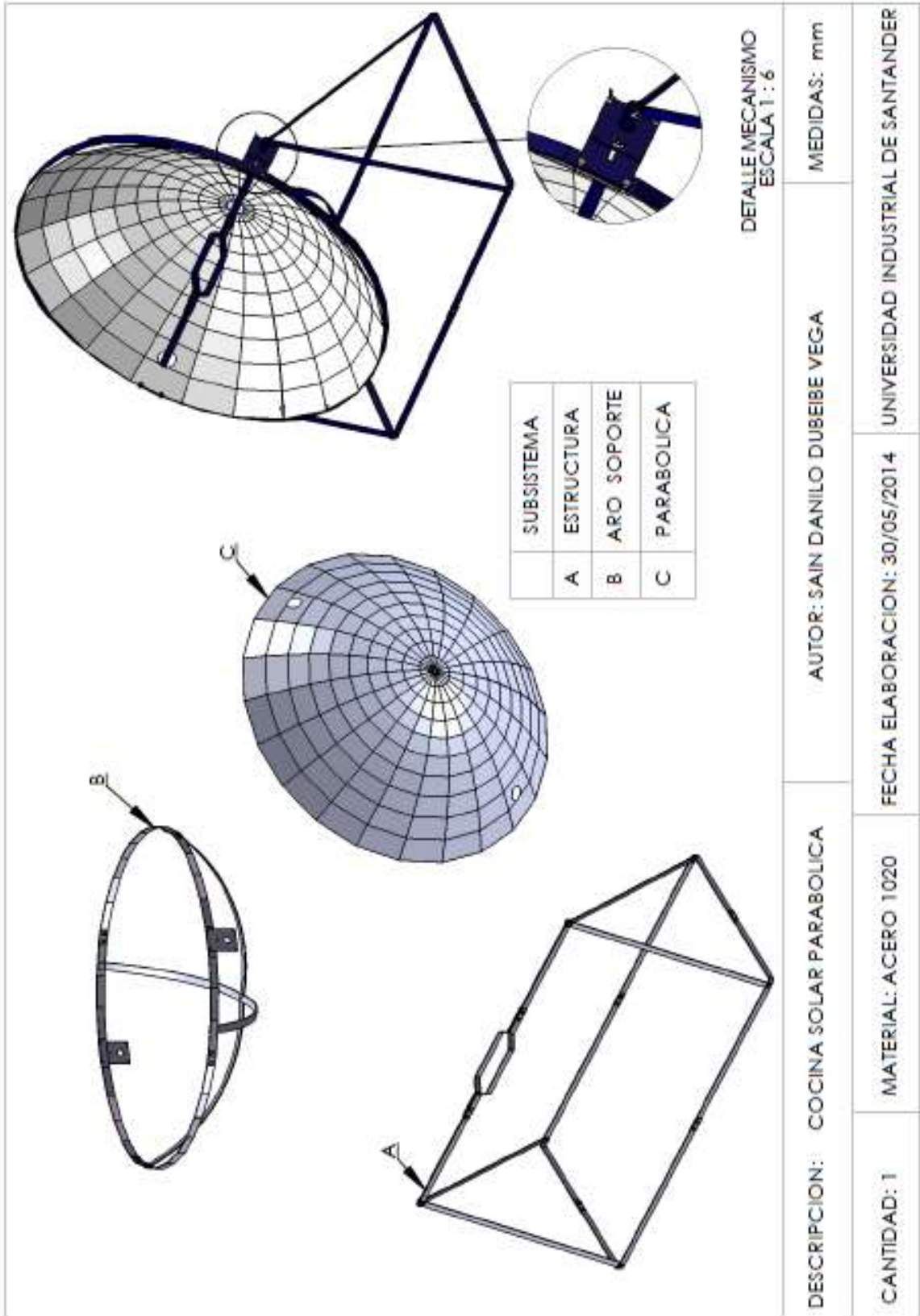
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS. Libro de energías renovables y eficiencia energética [En línea] [Citado: 5 septiembre de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>.

OPSOMS.ORG. Estimación radiación solar [documento en línea] [citado: 4 de noviembre de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://www.bvsde.opsoms.org/tecapro/documentos/miscela/iEstimacionradiacion.pdf>.

SUN AND ICE [sitio en línea] [citado: 23 de agosto de 2013] disponibilidad y acceso en: <http://www.sun-and-ice.de/catalog/shopliste.html>.

UPME. Demanda de energía en Colombia [documento en línea] [citado: 4 de diciembre de 2013] disponibilidad en: http://www.upme.gov.co/Docs/Energia/PROYECC_DEMANDA_ENERGIA_OC_TUBRE_2010.pdf.

ANEXOS
ANEXO A. PLANOS DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA Y EL HORNO
SOLAR DE ACUMULACIÓN.



DESCRIPCION: COCINA SOLAR PARABOLICA

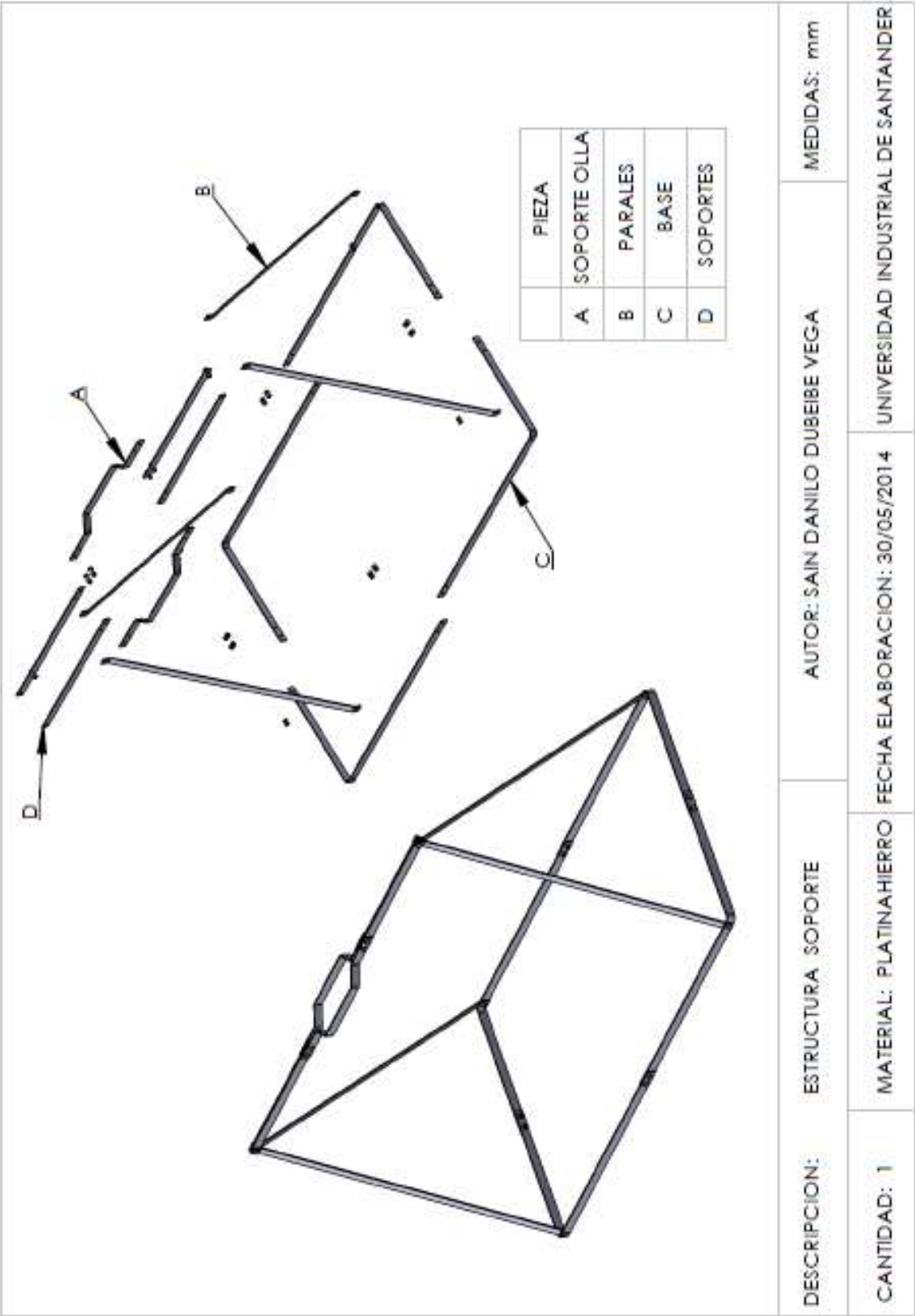
AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

CANTIDAD: 1

MATERIAL: ACERO 1020

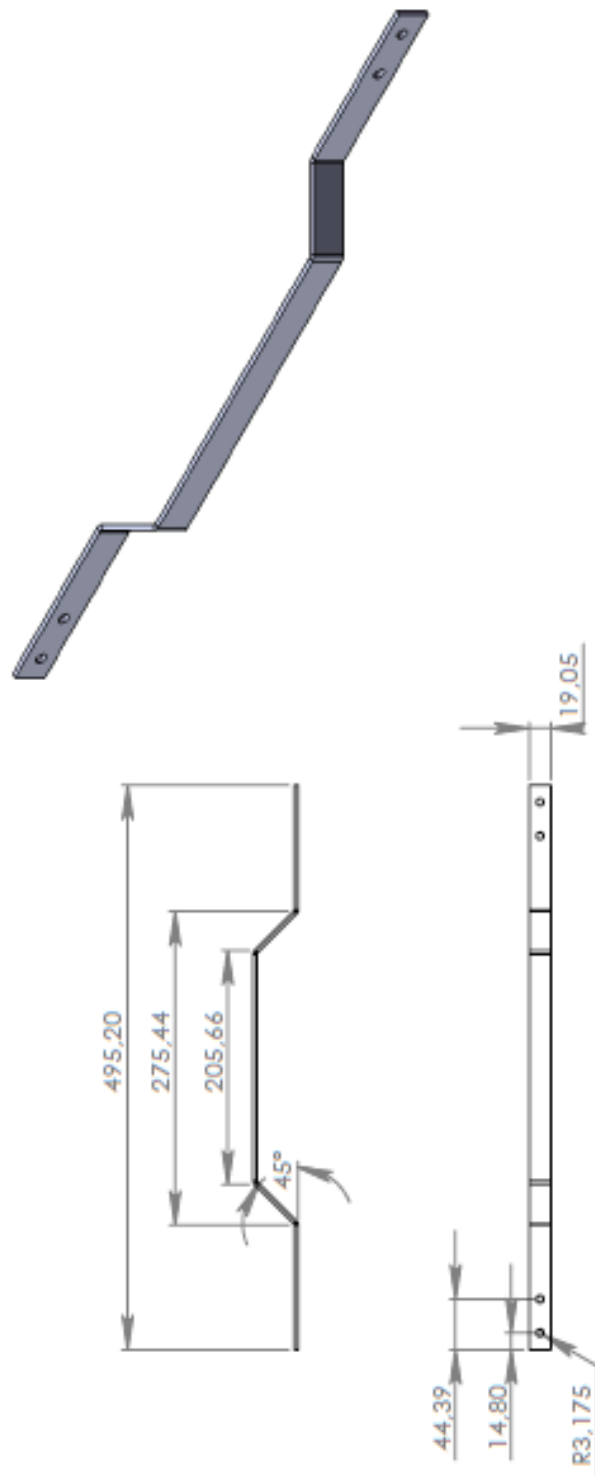
FECHA ELABORACION: 30/05/2014

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

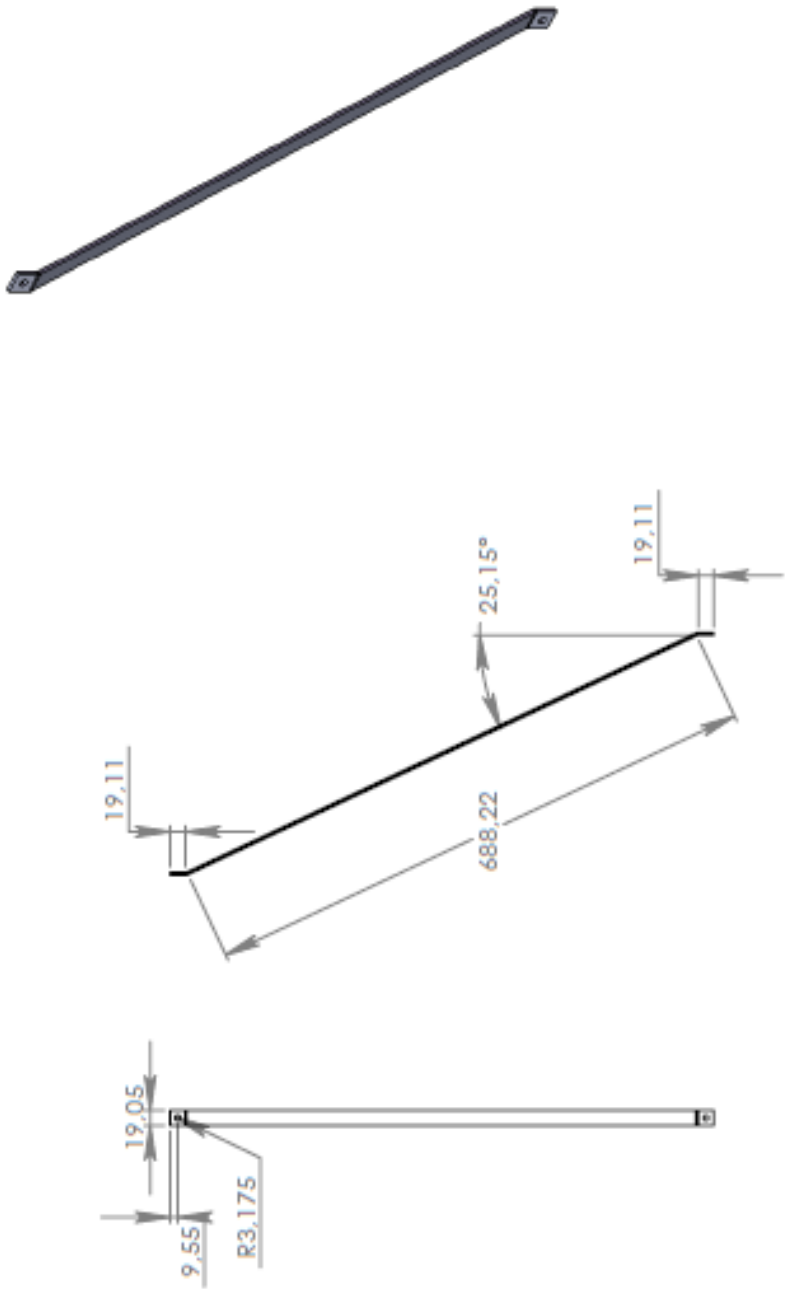


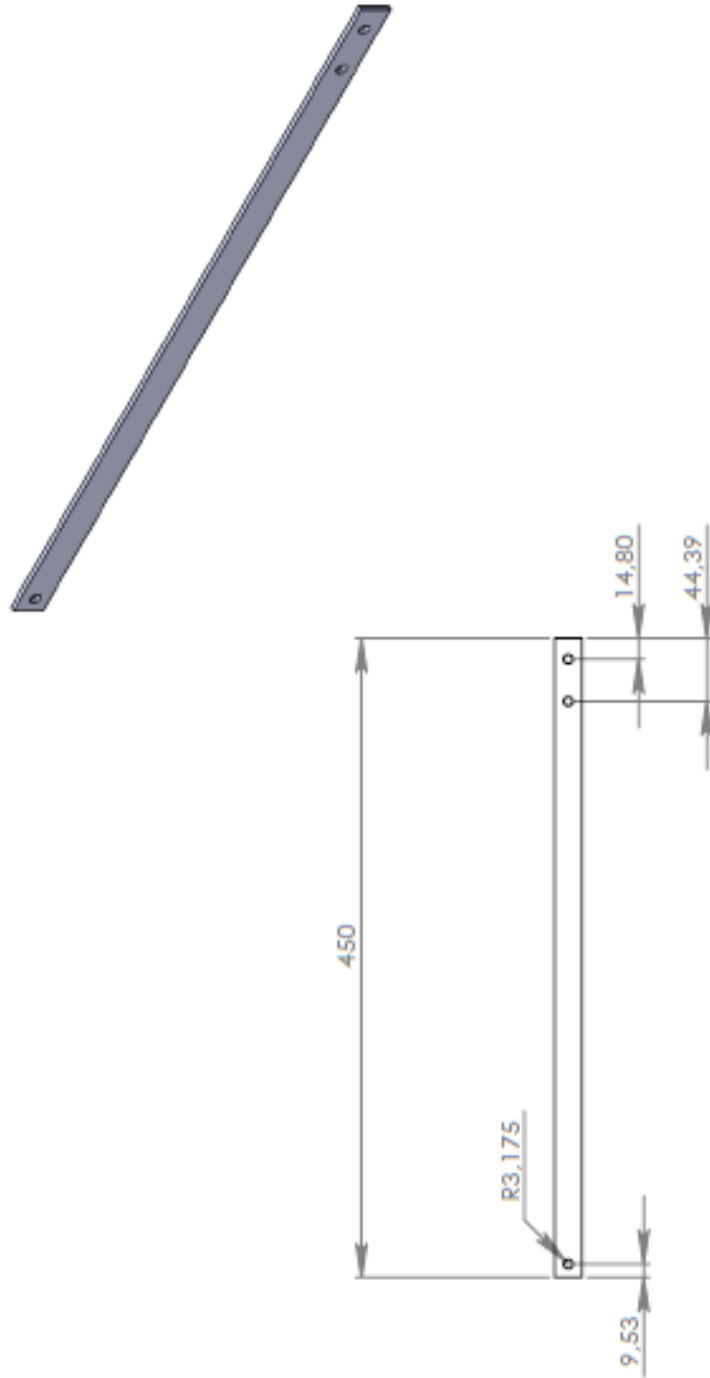
DESCRIPCION: ESTRUCTURA SOPORTE AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA MEDIDAS: mm

CANTIDAD: 1 MATERIAL: PLATINAHIERRO FECHA ELABORACION: 30/05/2014 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

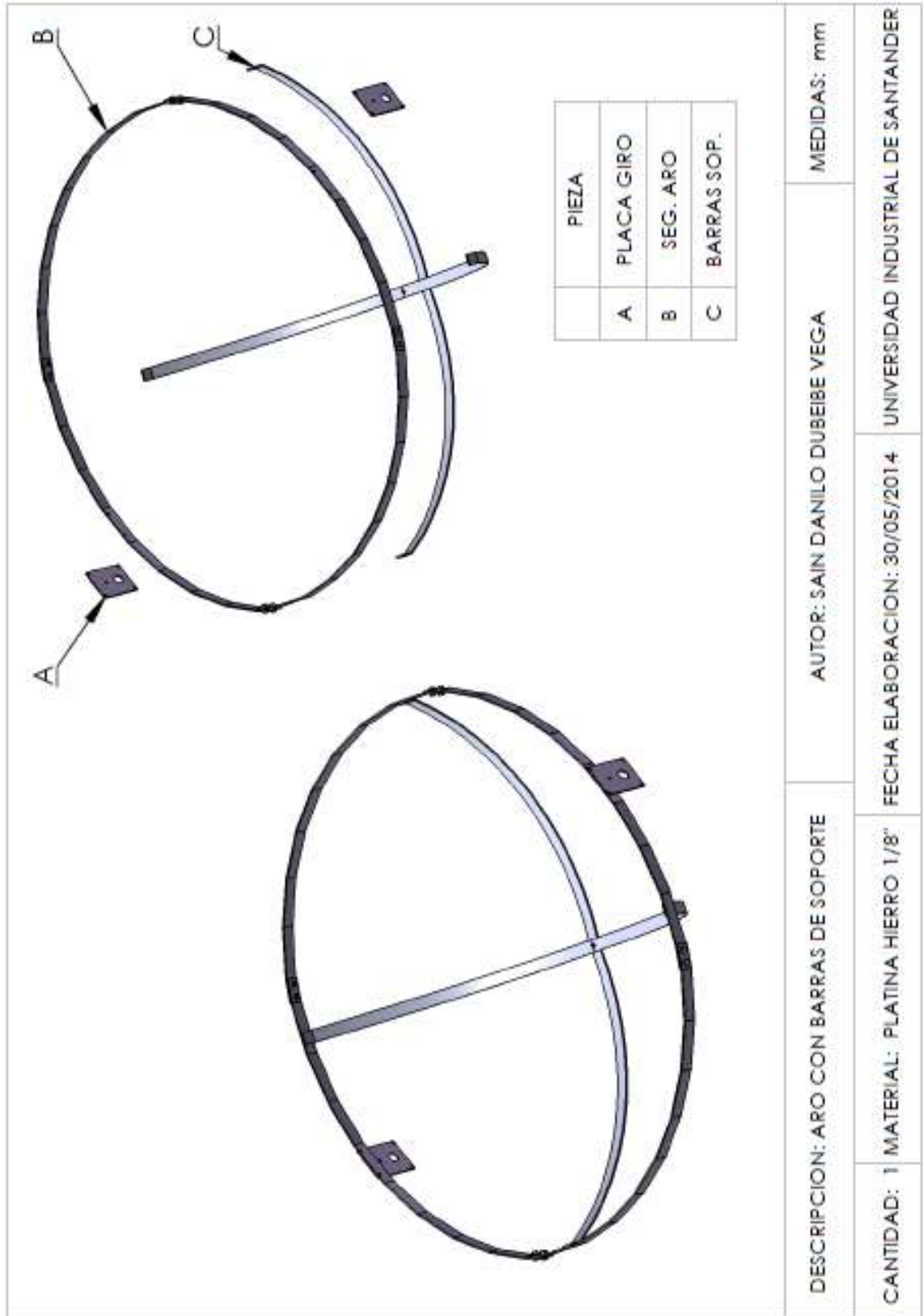


DESCRIPCION:	SOPORTE DE OLLA	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD: 2	MATERIAL: PLATINA HIERRO 1/8"	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

	DESCRIPCION: PARALES ESTRUCTURA	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
	CANTIDAD: 1	MATERIAL: PLATINA HIERRO 1/8 "	FECHA ELABORACION: 30/05/2014



DESCRIPCION: SOPORTES HORIZONTALES		AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD: 4	MATERIAL: PLATINA HIERRO 1/8"	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



DESCRIPCION: ARO CON BARRAS DE SOPORTE

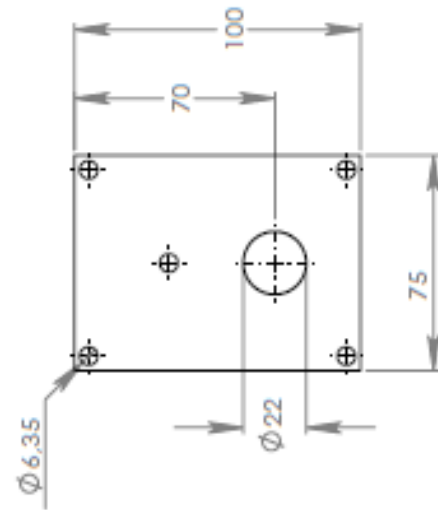
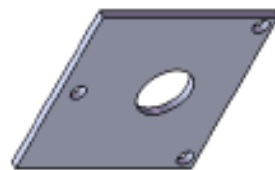
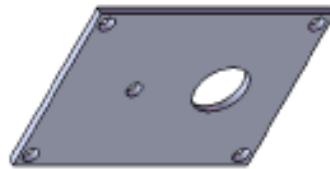
AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

MEDIDAS: mm

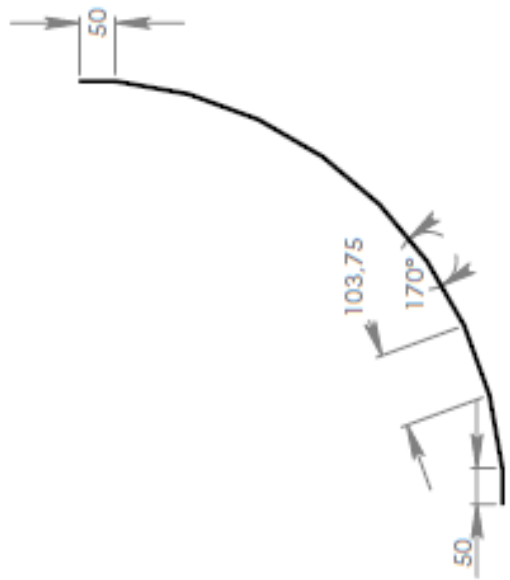
CANTIDAD: 1 MATERIAL: PLATINA HIERRO 1/8"

FECHA ELABORACION: 30/05/2014

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

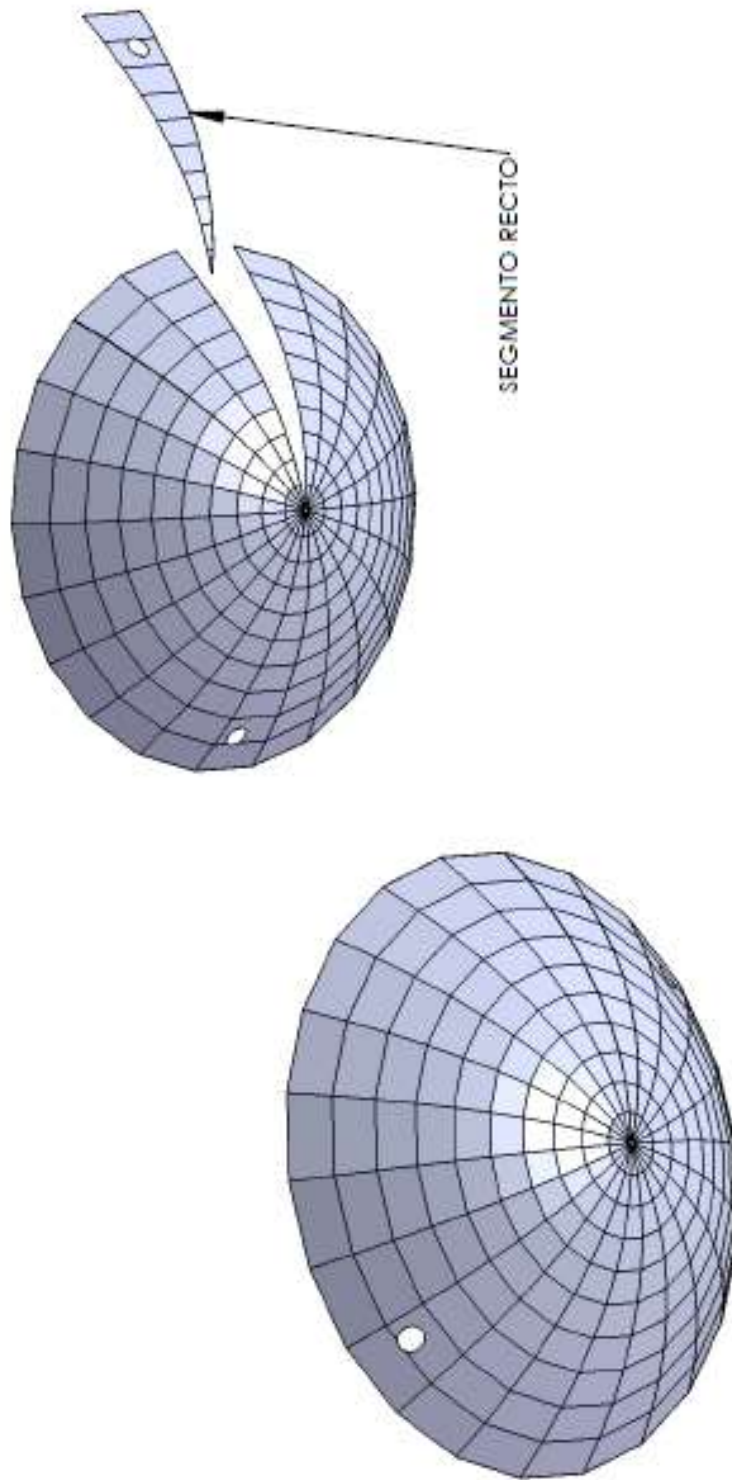


DESCRIPCION: PLACAS DE GIRO Y SOPORTE		AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD: 4	MATERIAL: PLATINA HIERRO 1/8"	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



DESCRIPCION:	SEGMENTO DE ARO	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD: 4	MATERIAL: PLATINA HIERRO 1/8"	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

		DESCRIPCION: BARRAS DE SOPORTE	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
		CANTIDAD: 2	MATERIAL: PLATINA HIERRO 1/8"	FECHA ELABORACION: 30/05/2014



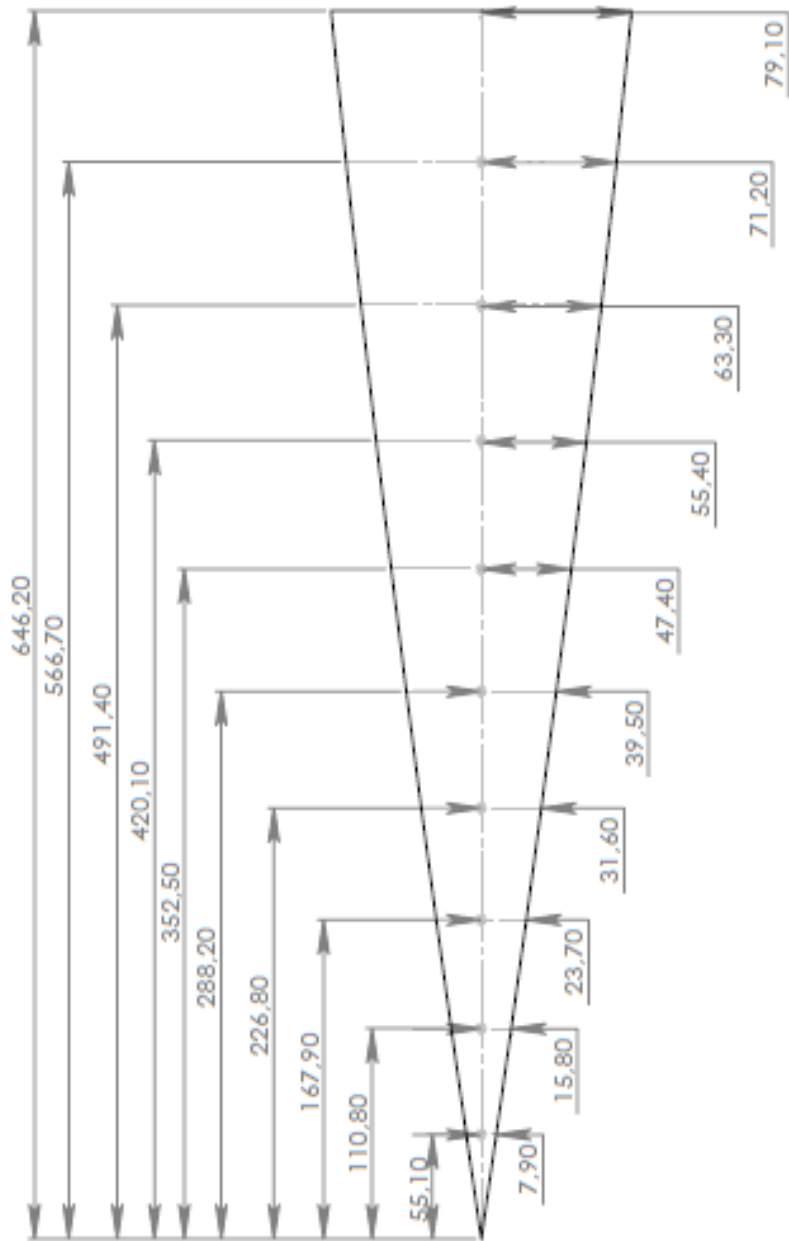
DESCRIPCION: PARABOLICA REFLECTIVA

AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

MEDIDAS: mm

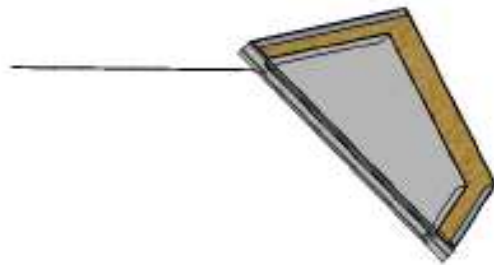
CANTIDAD: 1 MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA

FECHA ELABORACION: 30/05/2014 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

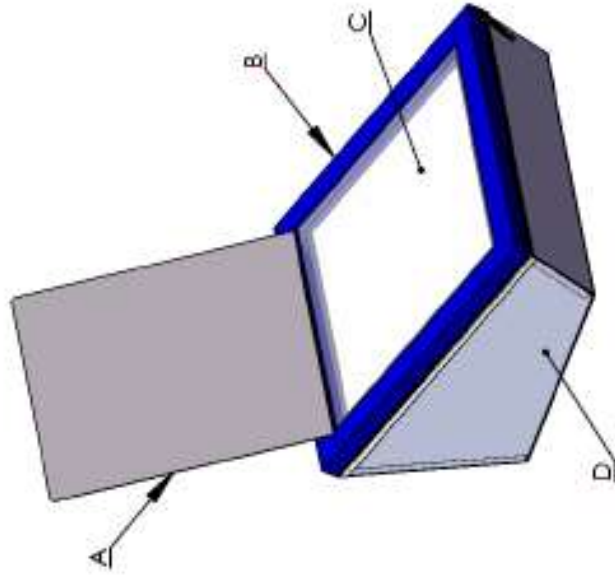


DESCRIPCION:	SEGMENTO RECTO	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD:22	MATERIAL:LAMINA GALVANIZADA	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

		DESCRIPCION: AJUSTE ENTRE LAMINAS Y SUJECION CON EL ARO	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
		CANTIDAD: 1	MATERIAL: GALVANIZADA	FECHA ELABORACION: 30/05/2014



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 12



PIEZA	
A	REFLECTOR
B	MARCO
C	VENTANA
D	CAJA

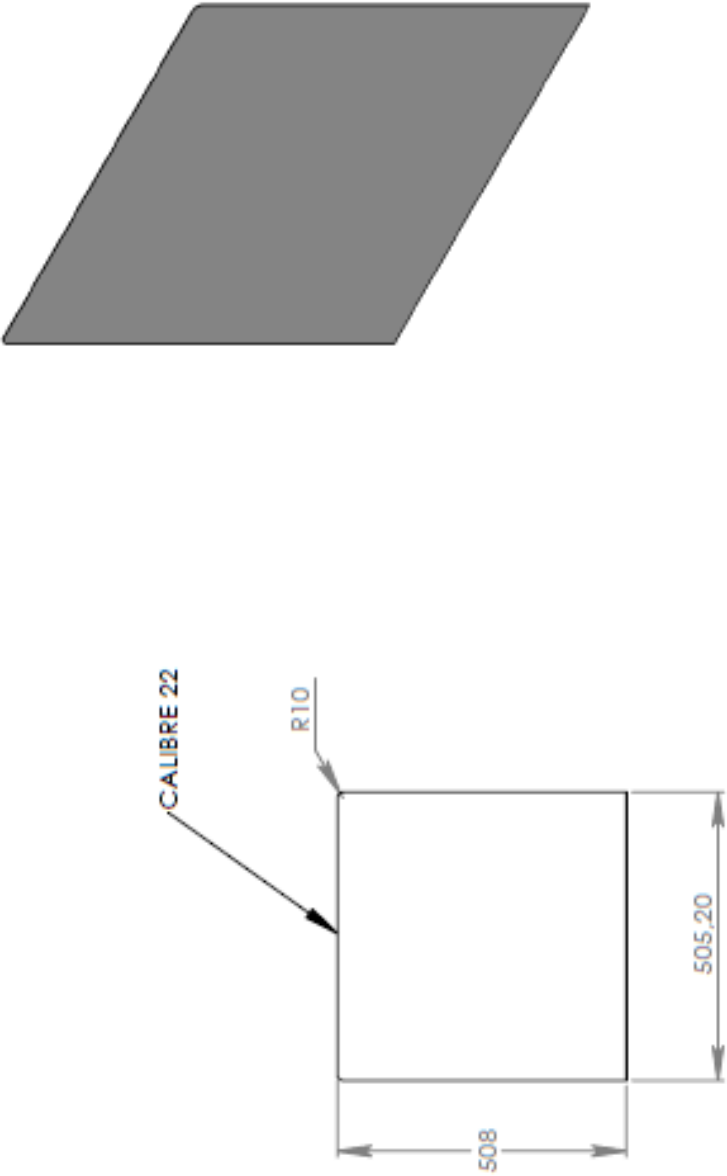
DESCRIPCIÓN: HORNO SOLAR

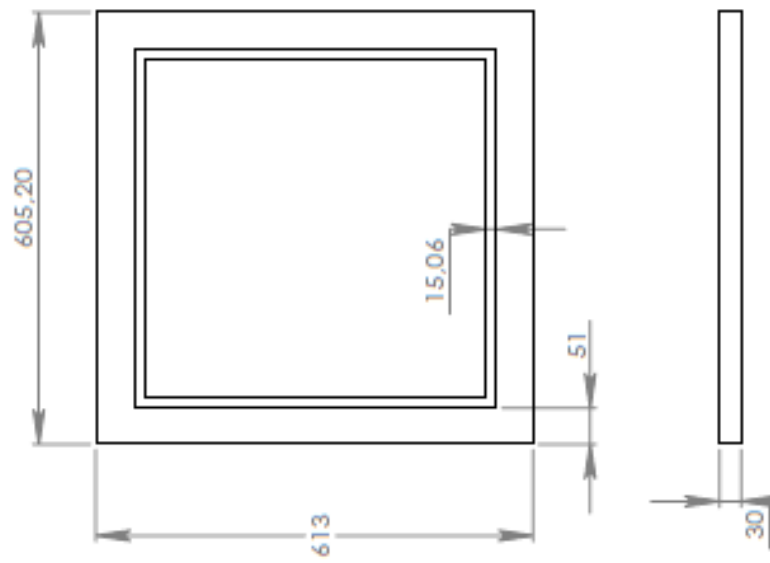
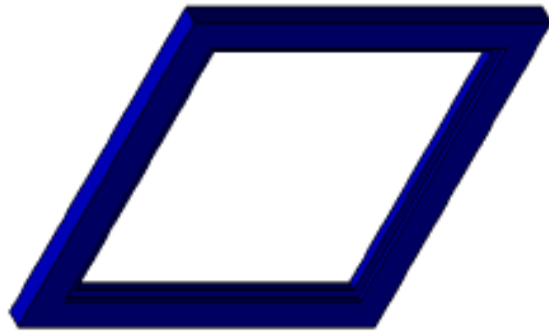
AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

MEDIDAS: mm

CANTIDAD: 1 MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA

FECHA ELABORACION: 30/05/2014 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

	DESCRIPCION: REFLECTOR CUBIERTO CON MYLAR	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
	CANTIDAD: 1	MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA	FECHA ELABORACION: 30/05/2014



DESCRIPCION: MARCO DE MADERA

AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

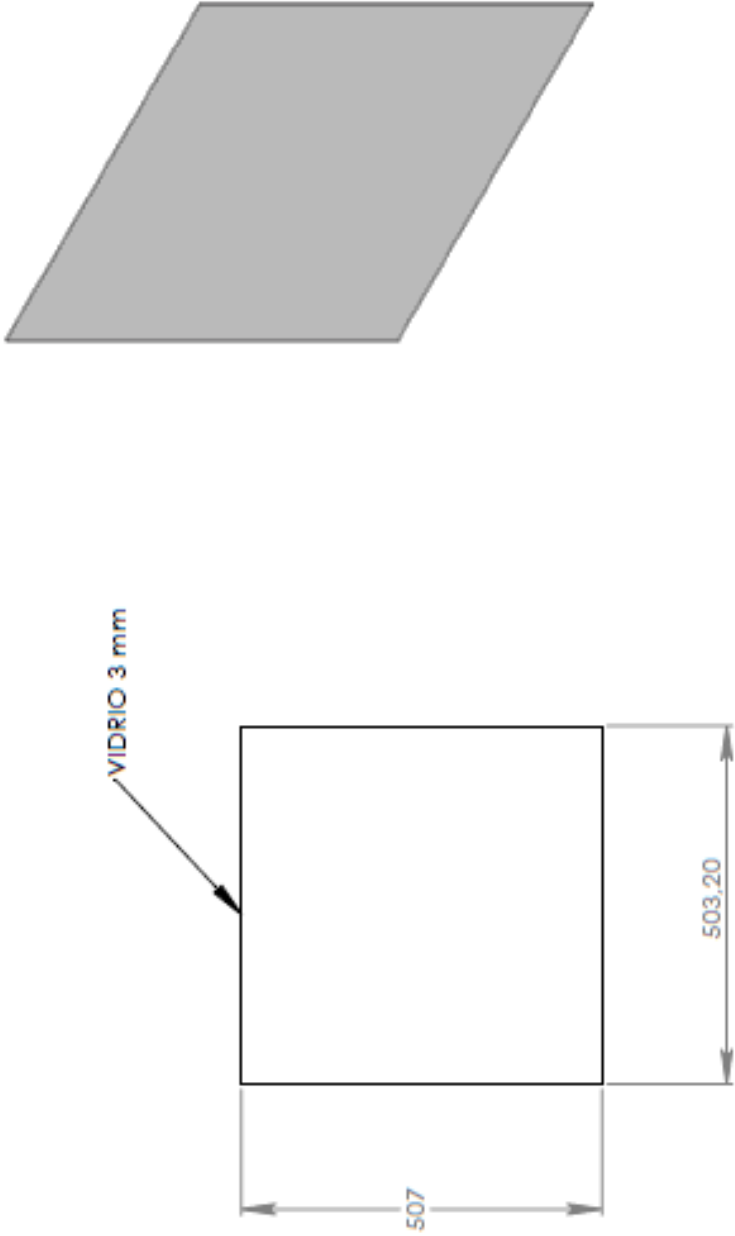
MEDIDAS: mm

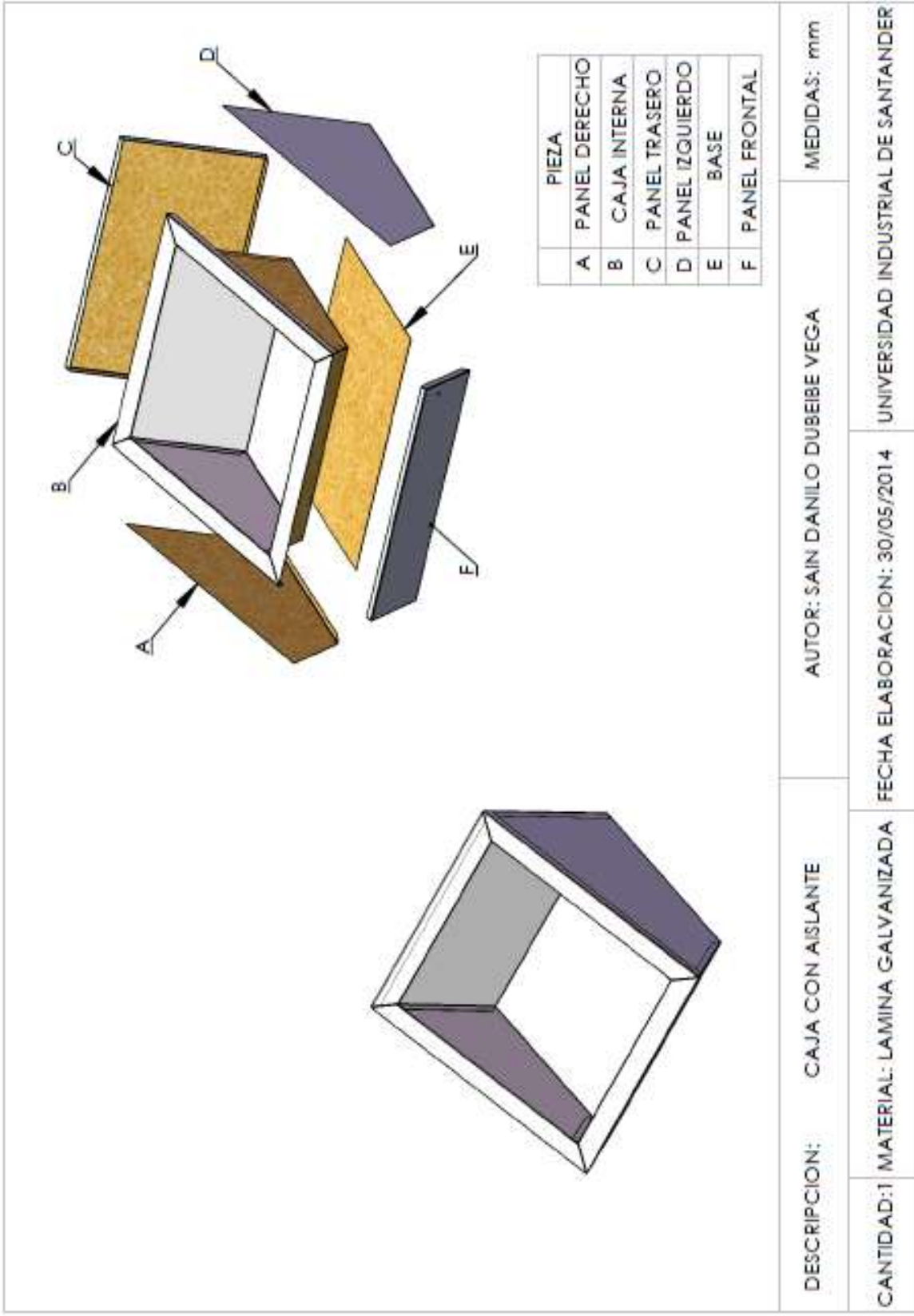
CANTIDAD: 1

MATERIAL: MADERA DE CEDRO

FECHA ELABORACION: 30/05/2014

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

		AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
		DESCRIPCION: VIDRIO DE CAPTACION	
CANTIDAD: 2	MATERIAL: VIDRIO	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



DESCRIPCION: CAJA CON AISLANTE

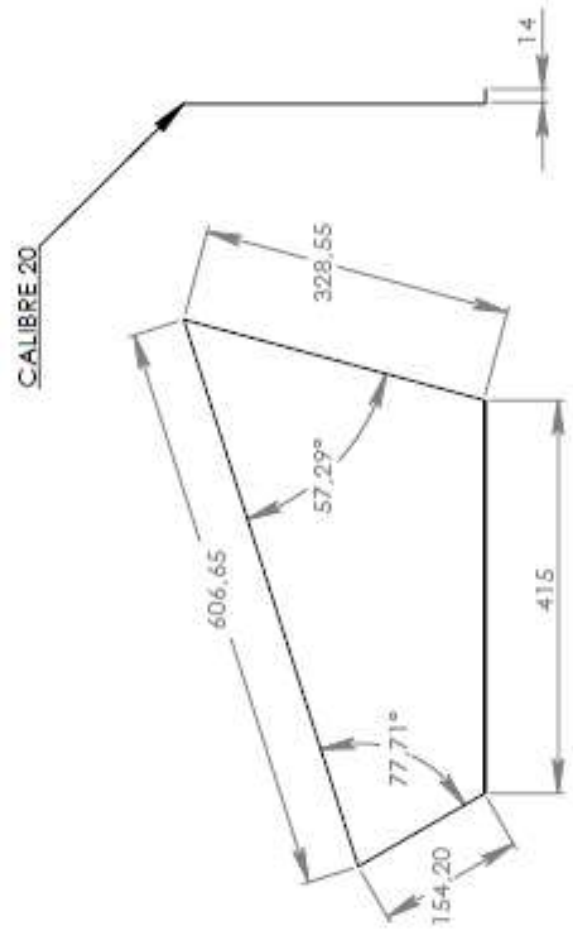
AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

MEDIDAS: mm

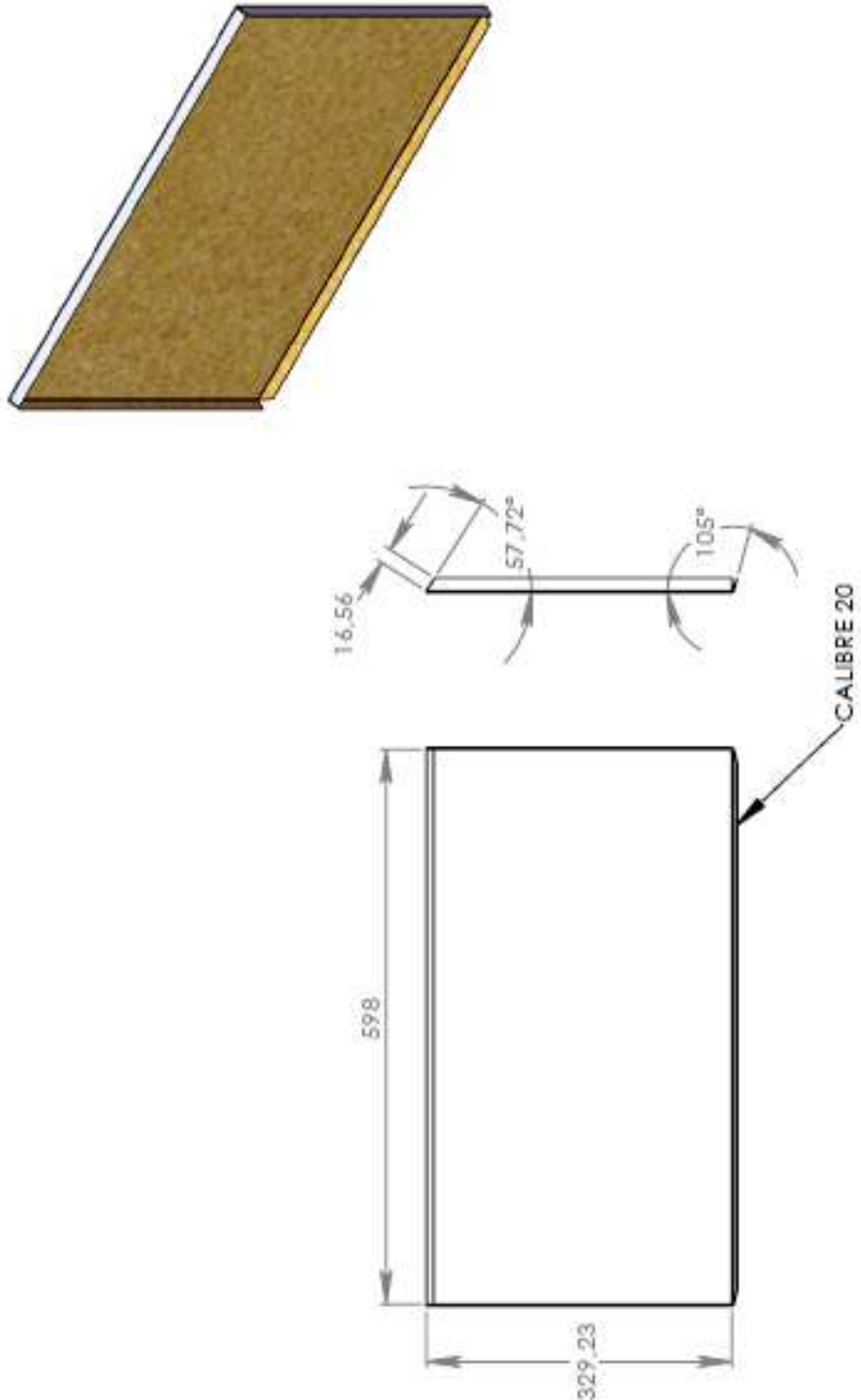
CANTIDAD:1 MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA

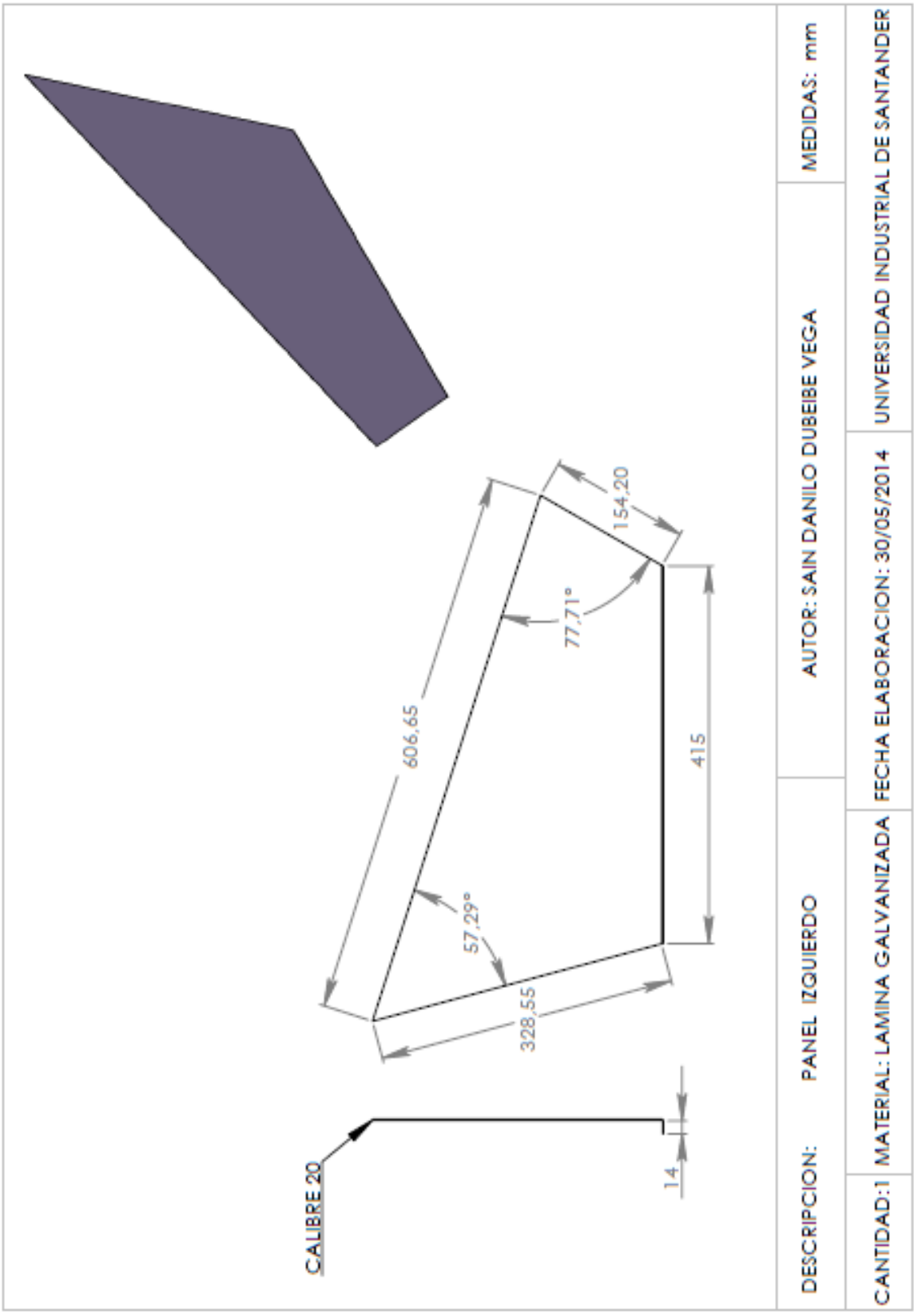
FECHA ELABORACION: 30/05/2014

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

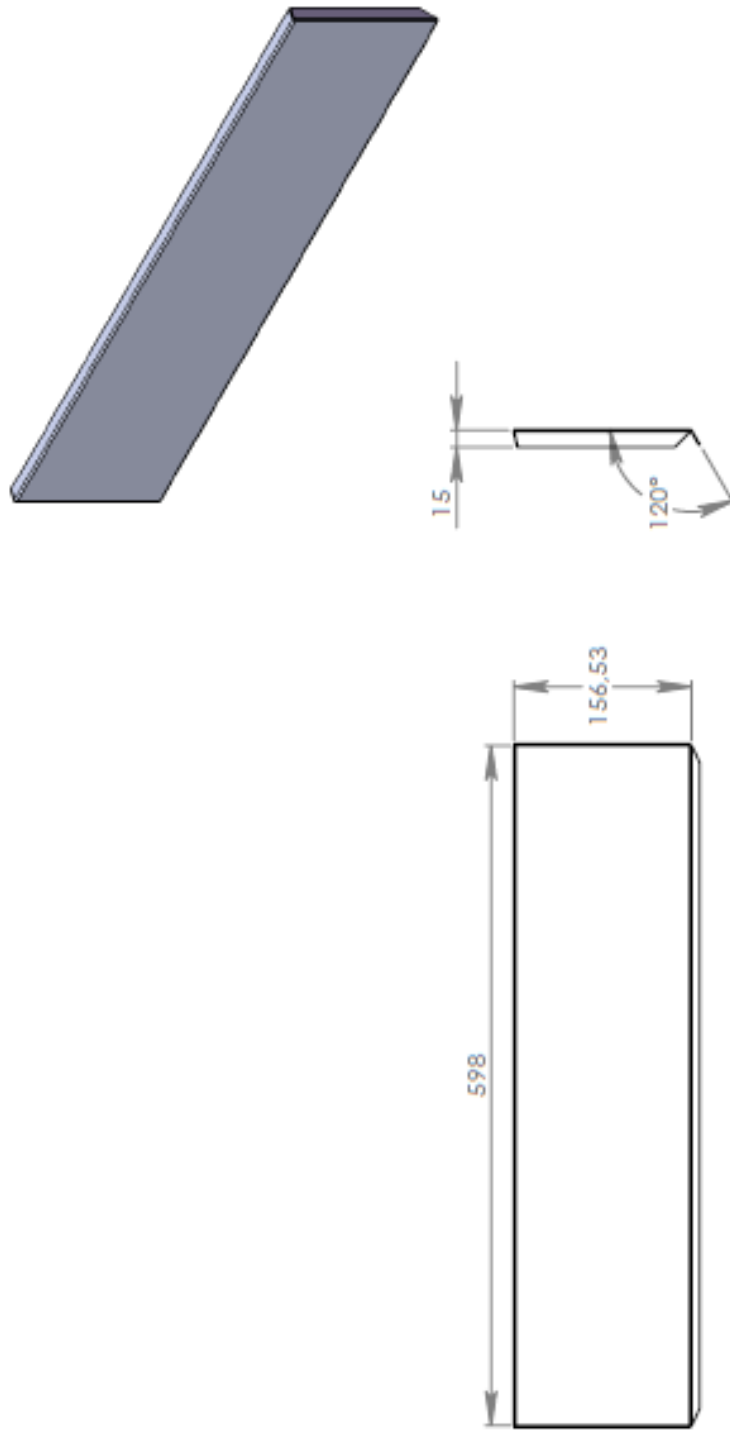


DESCRIPCION:	PANEL DERECHO	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD: 1	MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

	DESCRIPCION: PANEL TRASERO	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD: 1	MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



DESCRIPCION:	PANEL IZQUIERDO	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD: 1	MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



DESCRIPCION: PANEL FRONTAL

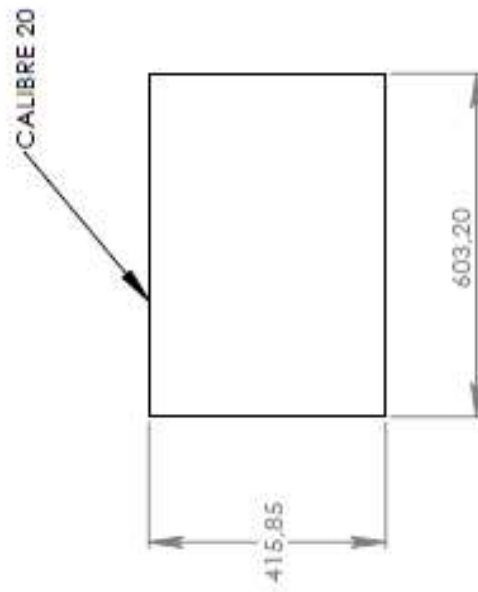
AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA

MEDIDAS: mm

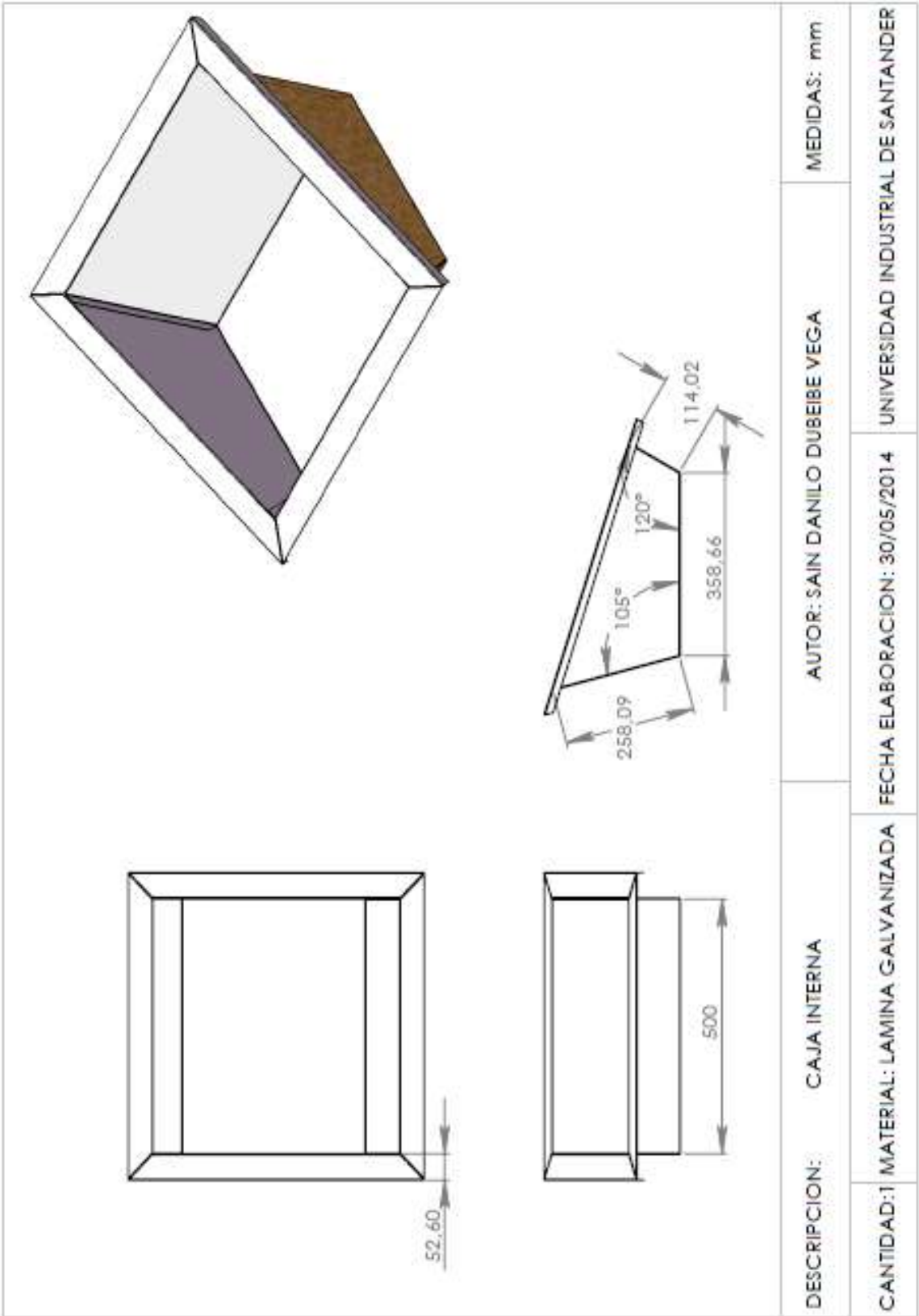
CANTIDAD: 1 MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA

FECHA ELABORACION: 30/05/2014

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



DESCRIPCION:	BASE DE LA CAJA AISLANTE	AUTOR: SAIN DANILO DUBEIBE VEGA	MEDIDAS: mm
CANTIDAD:1	MATERIAL: LAMINA GALVANIZADA	FECHA ELABORACION: 30/05/2014	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



ANEXO B. TABLA DE RADIACIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA PARA ALCANZAR EL OBJETIVO DE LA COCINA SOLAR PARABÓLICA.

Radiación instantánea	Temperatura Agua
525,513	25,959
525,138	26,532
515,138	26,546
525,320	26,605
525,502	26,577
525,197	26,594
594,892	26,653
484,740	26,899
424,769	26,967
309,381	26,803
296,786	26,651
274,595	26,456
247,166	26,275
216,589	26,194
199,877	26,241
196,336	26,126
206,993	26,261
214,956	26,262
276,656	26,417
109,570	26,566
110,160	26,688
116,590	26,229
130,710	26,483
138,150	26,654
131,500	26,604
131,820	26,032
130,630	25,628
120,370	26,051
129,460	27,222
132,380	25,992
116,870	30,488
101,590	29,711
101,930	29,402
97,600	28,793

104,310	33,817
103,480	35,715
115,460	36,758
122,850	37,248
118,580	37,902
123,400	38,041
117,690	40,526
119,780	42,674
132,960	44,511
138,190	46,115
141,600	47,733
136,910	49,191
133,390	50,548
148,140	51,741
137,610	52,997
140,380	54,171
134,260	55,264
143,730	56,322
129,590	55,829
132,550	54,845
138,540	53,878
145,130	53,505
131,630	53,277
119,700	52,947
130,600	52,903
493,289	52,762
475,638	52,426
442,735	52,581
415,421	52,577
412,020	52,569
420,314	52,605
464,250	52,752
481,894	52,727
495,748	52,872
499,181	52,942
480,833	53,162
438,817	53,304

423,291	53,716
425,966	53,902
445,501	54,064
466,739	54,377
471,719	54,759
482,322	54,948
499,860	55,126
507,448	55,381
513,671	55,539
515,492	55,805
516,099	56,141
518,558	56,382
523,021	56,716
525,206	56,946
527,726	57,232
529,577	57,608
530,366	58,053
531,915	58,236
532,825	58,443
533,554	58,629
534,465	58,981
536,499	59,131
537,743	59,296
539,473	59,556
541,173	59,685
542,266	59,911
543,210	59,931
544,301	59,911
544,938	59,948
545,696	60,113
546,910	60,116
547,698	60,101
548,456	60,116
547,789	60,164
531,140	60,159
498,720	60,254
501,176	60,331

507,120	60,531
525,165	60,791
525,165	60,979
523,406	61,222
508,425	61,439
434,123	61,637
388,935	61,859
381,444	62,032
430,029	62,212
473,979	62,522
513,037	62,808
524,188	63,005
528,824	63,202
533,550	63,441
541,095	63,581
539,035	63,781
525,278	63,981
487,765	64,129
461,857	64,271
430,132	64,545
416,739	64,717
430,859	64,942
417,254	65,121
389,923	65,388
437,706	65,579
475,160	65,845
474,887	65,972
427,709	66,164
418,618	66,346
402,385	66,552
391,154	66,651
378,165	66,797
350,797	66,919
340,422	67,159
362,934	67,291
358,526	67,439
397,797	67,646
401,177	67,838
409,381	68,075
396,786	68,264

374,595	68,475
377,166	68,586
376,589	68,831
382,877	69,052
392,336	69,229
345,993	69,408
352,956	69,579
376,656	69,691
398,088	69,734
415,806	70,084
465,445	70,282
495,179	70,331
504,132	70,552
509,787	71,003
519,345	71,018
519,617	71,413
518,830	71,647
526,574	71,771
530,446	71,875
533,744	71,933
535,317	72,083
535,770	72,323
535,166	72,677
533,623	72,538
533,018	72,497
533,049	72,795
532,777	72,555
532,172	72,539
531,416	72,698
529,454	72,889
528,094	72,879
527,339	73,054
526,433	73,406
525,073	73,371
523,985	73,406
521,871	73,879
519,725	73,936
518,335	73,683
517,127	74,112
517,006	74,331

517,641	74,127
518,156	74,298
518,671	74,534
519,155	74,577
519,034	75,049
518,612	74,882
518,612	74,838
519,127	74,999
520,095	75,357
520,024	75,603
520,840	75,435
521,053	75,444
521,084	75,743
521,417	75,563
521,931	76,191
521,962	75,577
521,540	76,191
521,873	76,314
522,508	76,329
523,777	76,338
524,926	76,325
525,560	76,318
525,893	76,315
526,044	76,484
525,924	76,708
525,622	76,978
525,502	77,446
525,684	77,647
526,922	77,715
528,393	77,633
529,931	77,778
531,953	77,987
533,341	78,044
533,944	78,302
533,612	78,647
532,224	78,744
530,987	78,947
530,472	78,889
529,989	79,105
529,989	79,209

530,561	79,409
530,862	79,519
530,561	79,662
530,046	79,783
529,111	79,775
528,477	79,866
528,415	79,957
527,479	79,944
526,845	80,048
525,513	80,042
524,729	80,042
525,030	80,111
525,482	80,191
525,451	80,213
525,451	80,353
525,570	80,446
526,355	80,467
527,559	80,578
528,312	80,696
529,247	80,918
530,452	80,869
531,205	80,978
531,990	81,086
532,109	81,251
532,109	81,354

531,475	81,605
531,325	81,579
531,626	81,715
531,927	81,777
531,681	81,827
531,349	82,173
530,715	82,208
529,631	82,203
528,546	82,387
527,311	82,423
527,161	82,756
527,311	82,774
527,462	82,731
527,311	83,051
527,311	83,177
527,612	83,241
527,944	83,097
527,794	83,306
527,794	83,438
528,126	83,565
529,813	83,434
531,261	83,455
532,314	83,656
533,067	83,741
532,975	83,623

533,307	83,869
534,059	83,732
534,692	83,768
535,143	83,982
535,143	84,168
535,443	84,237
536,076	84,031
536,978	84,181
537,310	84,293
537,461	84,258
537,160	84,173
536,828	84,337
535,443	84,331
534,059	84,402
533,126	84,307
531,259	84,432
529,573	84,365
529,091	84,748
528,490	84,612
527,656	84,639
527,205	84,821
526,122	84,688
525,071	84,858
524,439	84,882
523,656	85,165

ANEXO C. PROPIEDADES ALGUNOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN.

ESPECIFICACIONES FÍSICAS										
DENOMINACIÓN COMERCIAL	DIMENSIONES mm		TOLERANCIAS EN ESPESOR mm.	TOLERANCIAS EN ANCHO mm.		DESVIACIÓN MÁXIMA DEL ÁNGULO ENTRE CARAS (°)	CORTE NORMAL mts. (+19,05 mm)	UNIDAD POR TONELADA	PESO Kg. x mt. NOMINAL	PESO POR PAQUETE (TON.)
	Espeor	Ancho		Mínimo	Máximo					
Pulgadas										
1 x 1/8	3,175	25,4	± 0,18	-0,4	+ 0,4	3°	6	280	0,60	1
1 1/4 x 1/8	3,175	31,75	± 0,18	-0,8	+ 0,8	3°	6	225	0,74	1
1 1/2 x 1/8	3,175	38,1	± 0,18	-0,8	+ 0,8	3°	6	180	0,93	1
2 x 1/8	3,175	50,8	± 0,18	-0,8	+ 0,8	3°	6	140	1,19	1
1 x 3/16	4,76	25,4	± 0,18	-0,4	+ 0,4	3°	6	180	0,93	1
1 1/4 x 3/16	4,76	31,75	± 0,18	-0,8	+ 0,8	3°	6	150	1,11	1
1 1/2 x 3/16	4,76	38,1	± 0,18	-0,8	+ 0,8	3°	6	120	1,39	1
2 x 3/16	4,76	50,8	± 0,18	-0,8	+ 0,8	3°	6	90	1,85	1
2 1/2 x 3/16	4,76	63,5	± 0,20	-0,8	+ 1,59	3°	6	75	2,22	1
3 x 3/16	4,76	76,2	± 0,20	-0,8	+ 1,59	3°	6	60	2,78	1
1 x 1/4	6,35	25,4	± 0,20	-0,4	+ 0,4	3°	6	140	1,19	1
1 1/4 x 1/4	6,35	31,75	± 0,30	-0,8	+ 0,8	3°	6	110	1,52	1
1 1/2 x 1/4	6,35	38,1	± 0,30	-0,8	+ 0,8	3°	6	90	1,85	1
2 x 1/4	6,35	50,8	± 0,30	-0,8	+ 0,8	3°	6	70	2,38	1
2 1/2 x 1/4	6,35	63,5	± 0,38	-0,8	+ 1,59	3°	6	55	3,03	1
3 x 1/4	6,35	76,2	± 0,38	-0,8	+ 1,59	3°	6	45	3,70	1
1 x 3/8	9,52	25,4	± 0,20	-0,4	+ 0,4	3°	6	90	1,85	1
1 1/2 x 3/8	9,52	38,1	± 0,30	-0,8	+ 0,8	3°	6	60	2,78	1
2 x 3/8	9,52	50,8	± 0,30	-0,8	+ 0,8	3°	6	45	3,70	1
2 1/2 x 3/8	9,52	63,5	± 0,38	-0,8	+ 1,59	3°	6	35	4,76	1
1 1/2 x 1/2	12,7	38,1	± 0,30	-0,8	+ 0,8	3°	6	45	3,70	1

Barras de acero y al carbono, laminadas en caliente.