



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“Diseño de un concentrador solar de geometría paraboidal portátil”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN DISEÑO

PRESENTA:

HERNÁNDEZ ECHEVERRÍA YOSHITO

DIRECTOR:

MGDP. DORA MIRIAM PERÉZ HUMARA

Huajuapán de León, Oaxaca, México, Octubre de 2012

Dedicatoria

*A mi Madre
María Teresa
que este trabajo sea
un orgullo para ella.*

*A mis sobrinos
David y Matthew. que aunque ahora son
niños, espero les sirva de ejemplo, para
que alcancen sus metas.*

Agradecimientos

Son muchas personas a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en todas las etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo, otras más en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar donde se encuentren o si alguna vez llegan a leer esto, quiero darles las gracias por formar parte de mi vida y porque de una u otra manera me ayudaron a crecer y superarme.

Mami, no me equivoco si digo que eres la mejor madre del mundo, gracias por darme la vida. Me enorgullece que hoy puedas ver hasta donde he llegado y sabes que es gracias a ti; gracias por el apoyo y por la confianza, que desde niño has depositado en mí. Gracias, porque aunque lejos siempre has estado a mi lado. Te quiero mucho.

Dr. Guillermo Juárez López, MMI. Alexandra Ramírez, MC. Verónica Borjas, MC. Salvador Montesinos, MDI. José Jasso, MC. Victor Manuel Cruz y a todos aquellos que han hecho esto posible, no tengo palabras para agradecerles lo mucho que me han dado, los consejos, observaciones y las horas extras que me dedicaron durante este proyecto, muchas gracias.

Resumen

En el mundo actual se debe considerar que la mayor parte de la generación de energía térmica está basada en hidrocarburos provenientes del petróleo, cuyas reservas permitirán satisfacer la demanda sólo algunos años. Ahora el problema está relacionado también con la contaminación, específicamente con las altas emisiones de CO_2 y muchos otros, que afectan seriamente al ecosistema.

En este documento se presentará el comportamiento de los rayos solares al momento de incidir sobre la superficie terrestre, así como los tipos de radiación que en sí existen y el fenómeno físico que presenta la refracción de estos rayos sobre una superficie curva, en este caso sobre una parábola. Por otro lado también se presenta la relación existente entre el área y la potencia generada por la radiación directa que incide sobre la curva parabólica.

En base en lo anterior se diseñará la construcción de un concentrador solar de geometría paraboidal, con el fin de expresar el proceso de construcción y selección de materiales, en este caso polímeros para la geometría parabólica a la cual se denominará carcasa y aluminio para el soporte y parrilla, a lo que en conjunto se conocerá como concentrador solar de geometría paraboidal.

Basándose en las ecuaciones de Fourier, en un balance de energía, en la metodología de Shroeder para el diseño de nuevos productos, en el QFD y en el modelo Kano, se determinaron en sí las características que el concentrador solar debe tener; como son: peso, tamaño y potencia: requerimientos necesarios que el usuario desea en un concentrador solar, además que estos mismos corresponden a un diseño ingenieril. Por otro lado el cálculo de la potencia de este concentrador se hará con base a la metodología de Paul Funk, esto para corroborar que los parámetros establecidos están dentro o no de los requerimientos solicitados.

Por lo tanto este trabajo estará desarrollado de la siguiente forma:

Capítulo 1 Introducción.

En esta sección se abordará la problemática que en la actualidad el uso de los recursos no renovables tienen sobre el planeta, considerando hacer uso de energías renovables como lo es la energía solar.

Capítulo 2 Antecedentes.

El hablar de los pioneros y las experiencias que las personas durante años han tenido con el uso de la energía solar, proporcionará una mejor perspectiva de lo que se está buscando presentar en este trabajo.

Capítulo 3 Metodología.

La descripción secuencial de pasos y la forma en la que se realizará cada uno de ellos, en base a la metodología propuesta por Schroeder, los requerimientos del cliente y finalmente la interpretación ingenieril que se den a éstos, permitirá presentar un mejor panorama de lo que se llevará a cabo.

Capítulo 4 Análisis de Resultados.

Cada uno de los requerimientos observados en el modelo Kano, la versatilidad de cada uno de los materiales propuestos y el análisis, permitirán de forma más concreta, conocer cuál será la mejor elección de estos, así como las pruebas que se realicen para comprobar que se alcanza la temperatura necesaria para el perfecto funcionamiento de un concentrador solar.

Capítulo 5 Conclusiones.

Un concentrador solar nos ayudará o no a preservar el planeta, de ser así cuál es su aportación, en qué beneficia el uso de éste y qué es lo que se puede hacer con esta herramienta. Así como la dificultad que presenta la manufactura y ensamble del mismo.

Por último en los anexos se puede observar la existencia de dos mapas solares, además de los planos constructivos de este concentrador solar de geometría paraboidal portátil.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Índice	V
Índice de Figuras	VIII
Índice de Tablas	X
Capítulo1. Introducción	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivo General	4
1.5. Objetivos Específicos	4
1.6. Alcances	4
Capítulo2. Antecedentes	5
2.1. Introducción	5
2.2. Aplicación de un Concentrador de Energía Solar	5
2.3. Tipos de Concentradores Solares	8
2.3.1. Concentradores Solares de Acumulación	8
2.3.1.1. Concentrador solar de Placa Plana	9
2.3.1.2. Concentradores Solares Cónicos o Esféricos	10
2.3.1.3. Concentrador Solar Tipo Caja	11
2.3.2. Concentradores Solares de Energía	12
2.3.2.1. Concentradores Cilíndricos.	13
2.3.2.2. Concentradores Parabólicos.	13
2.4. Geometría Solar	14
2.5. Balance de Energía	16
2.6. Incidencia de Energía en un Concentrador Parabólico	17

2.7. Consumidor	19
2.8. Identificar las Características del Concentrador Solar a través de la voz del Cliente	21
2.9. Metodología de Paul Funk para el cálculo de la potencia	22
Capítulo3. Metodología	26
3.1. Metodología de Schroeder	26
3.1.1. Desarrollo Experimental	27
3.2. Materiales y Herramientas	28
3.3. Equipo	29
3.3.1. Fresadora CNC	29
3.3.1.1. Cortador Plano de 3/4"	30
3.3.1.2. Cortador de Bola de 1/2"	31
3.3.2. Termoformadora	32
3.3.3. Software	32
3.4. Desarrollo	33
Capítulo4. Análisis de Resultados	34
4.1. Requerimientos del Usuario	34
4.2. Aplicación modelo Kano	38
4.3. Selección del producto	42
4.4. Generación de ideas	44
4.5. Diseño del concentrador solar.	49
4.5.1. Propuestas de Diseño	49
4.6. Selección de la Propuesta	54
4.6.1. Selección del Material para la Carcasa	55
4.6.1.1. Fibra de vidrio	58
4.6.1.2. Película de PVC	59
4.6.1.3. Película de Estireno	60
4.6.2. Determinación del Material de la Carcasa	61
4.6.3. Diseño del Trípode (Soporte de la Carcasa)	62
4.7. Construcción y caracterización del prototipo.	64
4.7.1. Manufactura y Construcción del Concentrador	64
4.7.2. Construcción del soporte	66
4.7.3. Ensamble de las piezas	66
4.7.4. Ensamble del Concentrador Solar	68
4.8. Análisis de Resultados Térmicos	72
4.8.1. Requerimientos para el Cálculo de la Potencia	72

4.8.2. Cálculo del Área de Concentración	73
4.8.3. Criterios para la Obtención de la Potencia	76
4.8.4. Eficiencia	78
4.9. Implementación del Sistema	80
Capítulo5. Conclusiones	83
Trabajos Futuros	85
Créditos de las imágenes	86
Apéndices	89
CapítuloA. Mapas Solares	90
CapítuloB. Planos Constructivos	92
Bibliografía	100

Índice de figuras

2.1. Estufa Tipo Caja concepto De Saussure	6
2.2. Colector solar cilindro parabólico	6
2.3. Solar Cooker: Imágen	7
2.4. Horno Tipo Caja.	9
2.5. Concentrador Solar de Placa Plana.	10
2.6. Concentrador Solar Esférico.	10
2.7. Horno Tipo Caja Modelo Steves.	11
2.8. Concetrador Tipo Caja Modelo Sunstove.	12
2.9. Horno de Heno.	12
2.10. Concentrador Cilíndrico.	13
2.11. Concentrador Parabólico.	14
2.12. Radiación Solar.	15
2.13. Incidencia Solar en un Espejo Parabólico.	18
2.14. Concentración Elíptica de los Rayos Solares.	18
2.15. El modelo de Kano, clasifica las características de un producto de acuerdo a la relación entre funcionalidad y satisfacción, donde: A= Atractivo; U= Unidimensional; O= Obligatorio.	22
3.1. Metodología a Desarrollar basado en el modelo de Schroeder	27
3.2. Fresadora CNC.	30
3.3. Cortador de 3/4 " plano con 4 gabilanes.	31
3.4. Cortador de 1/2 " de bola con 4 gabilanes.	31
3.5. Termoformadora.	32
4.1. Respuesta al cuestionario de exploración con base a 100 personas que han hecho uso de un concentrador solar	36
4.2. Importancia Relativa de las Características de Diseño.	45
4.3. QFD.	48
4.4. Propuesta número 1 del concentrador solar.	50

4.5. Propuesta número 2 del concentrador solar.	51
4.6. Vista lateral derecha de la Propuesta número 2 del concentrador solar.	52
4.7. Vista frontal de la Propuesta número 3 del concentrador solar.	53
4.8. Propuesta número 4 del concentrador solar.	54
4.9. Dimensiones de una parte.	56
4.10. Carcasa parabólica completa.	57
4.11. Piezas de Nylamid: A) soporte 1, B) cinturón ajustador, C) soporte 2 y D) ajustador.	63
4.12. Piezas de Aluminio. A) Tira A, B) Tubular y C) Tira B	64
4.13. Molde MFD.	65
4.14. Tripié Armado.	66
4.15. Ensamble entre cada pieza.	68
4.16. Ensamble de la Carcasa.	69
4.17. Ensamble del Orientador.	69
4.18. Ensamble de la Parrilla.	70
4.19. Ensamble de la Carcasa.	70
4.20. Ensamble de la Manija.	71
4.21. Concentrador Solar Armado.	71
4.22. Red de transporte para el Concentrador Solar.	72
4.23. Relación Potencia Temperatura.	78
4.24. Cocción de alimentos en un concentrador solar.	81
4.25. Calentamiento de agua en una tetera de aluminio en un concentrador solar.	81
4.26. Calentamiento de agua en una jarra de vidrio en un concentrador solar.	82
A.1. Radiación Solar Diaria.	90
A.2. Insolación Anual.	91
B.1. Plano 1/4 Parte Carcasa	93
B.2. Plano Fijador	94
B.3. Soporte 1	95
B.4. Plano Prensa	96
B.5. Plano Soporte 2	97
B.6. Plano Soporte Tripié	98
B.7. Plano Tubular	99

Índice de Tablas

2.1. Relación Área Refracción	19
2.2. Requerimientos del Cliente	21
3.1. Materiales	28
3.2. Herramientas	29
3.3. Equipo	29
4.1. Respuesta del cliente al por qué han usado o no una estufa solar	37
4.2. Incorporación de las categorías en el modelo Kano	39
4.3. Clasificación de los requerimientos	41
4.4. Requerimientos Funcionales por Categoría de Importancia	42
4.5. Coeficiente de Satisfacción e Insatisfacción del cliente (CSC y CIC)	43
4.6. Clasificación de los Requerimientos	44
4.7. Requerimientos, voz del ingeniero	45
4.8. Evaluación de las propuestas.	55
4.9. Pesos y resistencia de la carcasa según el material.	60
4.10. Pesos y resistencia de la carcasa según el material.	61
4.11. Tiempo de manufactura según el material para las partes de la carcasa.	62
4.12. Reflectividad de algunos materiales	68
4.13. Tabla de Variación Calórica	77
4.14. Diferencias de Temperatura Agua Vs Ambiente en °C	77
4.15. Relación de Área y Potencia	79

Capítulo 1

Introducción

1.1. Generalidades

El efecto invernadero es una de las principales causas del deterioro del medio ambiente, este efecto se produce principalmente durante la quema de biocombustibles [1] (gasolina, Gas Licuado a Presión (GLP), diesel, entre otros), que en la actualidad se encarecen día con día. Es por ello, que en los países de Asia y Europa se han desarrollado procesos alternativos para disminuir el consumo de biocombustibles, ya que no lo producen y por lo tanto les generan elevados costos al importarlos, razón por lo que han recurrido a usar energías alternativas como la eólica y solar que actúan como medio para llevar a cabo sus actividades cotidianas.

En nuestro país, México, el uso de este tipo de energías es poco explotado, pues los biocombustibles son utilizados en forma rutinaria para la cocción de alimentos, fabricación de materiales de uso doméstico, entre otros. Pero los derivados del petróleo y las partículas que éste emana a la atmosfera durante su tratamiento y elaboración [2] han ocasionado grandes problemas medio ambientales. Aunando a lo anterior, el crecimiento de la población también ha influido para que exista una mayor demanda en la producción de hidrocarburos, provocando escasez de ellos en las grandes ciudades y más aún en las poblaciones aledañas. En comunidades rurales o marginadas de México, no se cuenta con buenas vías de comunicación, lo que hace difícil y costoso el transporte de los derivados del petróleo para ser utilizados como recursos energéticos. Por lo que la cocción de los alimentos se realiza a través de la quema de leña, hojarasca u otros medios naturales.

Una alternativa ecológica a la problemática que se ha expuesto, es la primera estufa solar desarrollada por Horace de Saussure en 1967[3]. En el uso de energía solar la pionera fue la

Dra. María Telkes [4], de origen Húngaro, quien presentó trabajos que han servido a decenas de investigadores en todo el mundo, tal es el caso de las estufas de tipo caja, cono parabólico, cilindro parabólico, horno global Sun oven o estufa tipo Scheffler, por mencionar los más conocidos. Es por ello, que en este trabajo se plantea una propuesta para desarrollar una estufa solar portátil de un menor tamaño, utilizando las ya establecidas para elegir la que proporcione la mejor geometría y con ello se alcance la temperatura necesaria durante la cocción de los alimentos, sin la necesidad de biocombustibles o leña, pero aprovechando los recursos que la naturaleza proporciona específicamente la energía solar.

1.2. Planteamiento del Problema

El principal problema no es cocinar o dejar de hacerlo, sino hacer conciencia del daño que se le hace al ecosistema. Se conocen diferentes fuentes de energía para cocinar, sin embargo la fuente de energía más requerida fuera de casa es el fuego, por ejemplo al salir de día de campo es muy común prender fogatas. En general, sólo se piensa en conseguir fuego a través de combustibles naturales, utilizando para ello leña y/o carbón vegetal, lo que afecta considerablemente el medio ambiente y el problema se agrava con el uso de algún biocombustible como alcohol, gas, gasolina. Muchos de estos solventes son fáciles de transportar, ligeros y económicos, pero dañan aún más el medio ambiente, debido a los gases tóxicos que generan. El propósito de este trabajo es el diseño de un concentrador solar como un medio alternativo, en este caso es energía solar, para la cocción de alimentos.

En los últimos años se han desarrollado cada vez más tecnologías que utilizan energías alternativas, lo que está rebasando las expectativas de la humanidad. Por otro lado, cabe hacer mención que estos sistemas existen desde los años 50's pero no se han explotado adecuadamente [5].

1.3. Justificación

En los últimos años el consumismo, la producción en masa y el giro mercantil de las actividades ha generado un efecto colateral que se refleja en el medio ambiente. Por ello, se ha considerado reglamentar una serie de normatividades, tratados y políticas, para disminuir el impacto ambiental generado por las empresas y el consumidor mismo.

La contaminación ambiental es provocada por muchas de las actividades humanas como el transporte, el consumo de alimentos chatarra o los procesos de producción efectuados por las máquinas de combustión interna. Por ejemplo, los motores de los medios de transporte generan emisiones a la atmósfera, provocando el llamado efecto invernadero, dichas emisiones son una composición de gases principalmente de bióxido de carbono, vapor de agua y metano. Estos gases por su composición tienden a subir a la atmósfera que es donde se alojan formando una capa densa, capaz de absorber o emitir radiación infrarroja o calor.

Por otro lado, el petróleo actualmente es el mayor negocio del mundo [6], puesto que es el generador de combustibles más utilizado en el planeta. El alza en los hidrocarburos, la contaminación y otros problemas; promueven el uso de energías alternativas o bien energías renovables, como es la utilización y aprovechamiento de la energía solar.

En cuanto al diseño de elementos para la cocción de alimentos, se ha buscado disminuir el uso de combustibles que requieran de la tala de árboles y que arrojen emisiones de bióxido de carbono, como los asadores que requieren carbón y los hornos de leña. Basándose en esta idea, se ha logrado desarrollar nuevos materiales para concentrar energía solar que alcanzan cargas térmicas iguales a las que se pueden lograr utilizando leña o algún biocombustible [7].

El diseño de un concentrador solar plegable, además de ser ligero y práctico ayudará a reducir el uso de carbón y leña para la cocción de los alimentos en cualquier parte del planeta, promoviendo la conservación del medio ambiente[8]. Además un concentrador solar puede presentar las siguientes ventajas:

- Ahorrar árboles y/o otros recursos.
- Cocinar comida sin necesidad de electricidad, leña, petróleo u otro combustible.
- Hervir agua para hacerla potable, previniendo muchas enfermedades.
- Evitar la contaminación y tener que respirar CO_2 mientras se cocina, provocando enfermedades pulmonares.
- Utilizar la energía sin costo directo.

- Matar insectos en los granos (cereales).
- Deshidratar frutas, y otros alimentos.

1.4. Objetivo General

Diseñar un concentrador solar de geometría paraboidal desarmable y portátil, mediante el diseño térmico, geométrico; como herramienta para la cocción de alimentos en lugares remotos y sin acceso a servicios.

1.5. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño térmico, para obtener las especificaciones de calor y temperatura de operación, mediante el balance de energía.
- Desarrollar la geometría y los mecanismos que permitan tener un concentrador plegable y ergonómico.
- Realizar los planos constructivos, mediante el diseño asistido por computadora (programas CAD).

1.6. Alcances

Este trabajo presenta el prototipo de un concentrador solar fabricado en material ligero para facilitar su portabilidad. En base al prototipo, en este documento, se especifica su forma, dimensiones reales, uso, funcionamiento y proceso de fabricación.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Introducción

Para comprender la particular historia de la cocción solar, se puede comenzar analizando a grandes rasgos la historia de la cocina en la humanidad; una actividad que a través del tiempo ha ido evolucionando y mejorando para la capacidad alimenticia. El origen de los primeros cocineros se produjo cuando el hombre pudo utilizar el fuego para cocinar sus alimentos. La revolución neolítica (hace 10 000 años) produjo una de las artes más antiguas de la humanidad, la alfarería, que permitió al ser humano confeccionar recipientes que podían ser del tamaño y forma que se deseara. De esta manera se contó con artefactos que contenían líquidos y facilitan la labor de cocinar alimentos. Otro gran aporte se dio en la etapa en que el hombre descubre el uso de los metales (hace 3500 años) lo cual le permitió crear y obtener un mayor número de utensilios. En todo este periodo la leña fue el combustible más usado[9].

2.2. Aplicación de un Concentrador de Energía Solar

En el año 1767, Horace de Saussure(1740 - 1799) realizó los primeros experimentos con hornos solares de tipo caja para la preparación de alimentos, como el que se muestra en la figura 2.1. La máxima temperatura lograda con este horno solar fue de 88 °C , que posteriormente al incorporar una superficie negra dentro de la caja alcanzó los 110 °C. También predijo que “algún día este ingenio que actualmente es pequeño, barato y fácil de fabricar, puede ser de gran utilidad”. Este científico fue un visionario, a pesar de que sus experimentos quedaron en el olvido por un largo tiempo ya que hasta principios del siglo XX, las técnicas para cocinar se basaron en asar, cocer y freír [10].

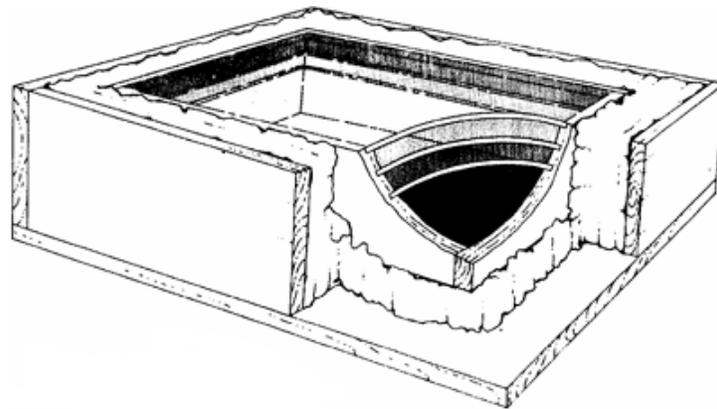


Figura 2.1: Estufa Tipo Caja concepto De Saussure

En 1860 Auguste Mouchot(1825 - 1912), ingeniero francés quien comenzó a explorar los conocimientos generados anteriormente para la cocción de alimentos con energía solar. Con base a sus investigaciones en 1866 diseñó una cocina portátil , para el ejército de Napoleón III, que consistió en un recolector solar con forma de cilindro parabólico, como se observa en la figura 2.2.

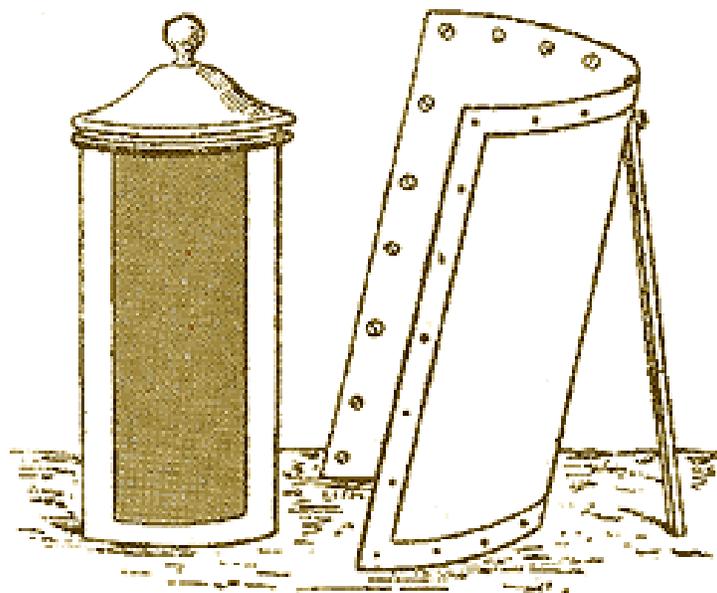


Figura 2.2: Colector solar cilindro parabólico

Entre 1940 y 1970, la doctora María Telkes(1900 -1995) realizó grandes aportes en el diseño de innovadores hornos solares que inspiraron a investigadores en todo el mundo. Un ejemplo se puede observar en la figura 2.3, este horno denominado también Solar Cooker, que está formado por una caja con una puerta trasera para introducir o sacar los alimentos y en la parte superior de la caja tiene un reflector formado por espejos que atraen la energía solar y la transmiten a los alimentos.

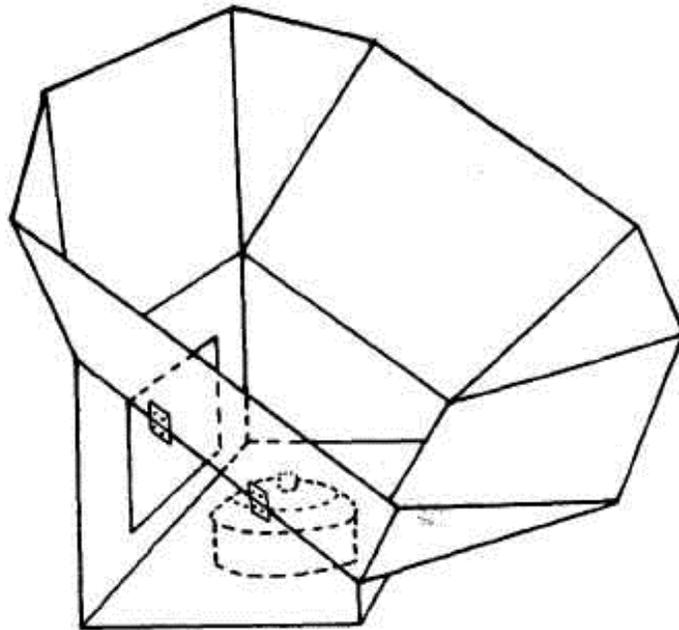


Figura 2.3: María Telkes Solar Cooker

En 1960 un estudio de las Naciones Unidas llega a la siguiente conclusión: “las cocinas solares son un instrumento idóneo y solamente es necesario un poco de voluntad y una cierta adaptación de las costumbres para poder iniciar su utilización a gran escala” [11].

En 1987 se creó Solar Box Cookers International(SCI), que es una organización no gubernamental ubicada en Sacramento, California, Estados Unidos de América. Esta organización tiene como propósito apoyar a familias de escasos recursos económicos que habitan en áreas con abundante luz solar para ofrecerles una forma de cocinar sin combustibles. SCI organizó

en 1992 la primera conferencia mundial sobre cocinas solares, este acontecimiento reunió a investigadores de 18 países, convocando en 1994 a 16 países latinoamericanos en Guatemala, con quienes formó la Red Latinoamericana de Cocinas y Hornos Solares (RECOSOL).

El Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR) ubicado en Sevilla, España, considera que los hornos y las cocinas solares son dispositivos térmico-solares que utilizan la energía radiactiva proveniente del sol para crear un ambiente térmico. La transformación de esta energía, trata de lograr temperaturas lo suficientemente altas y sostenidas para llevar a cabo la cocción de alimentos, pasteurización, preparación de conservas, secado de productos naturales, entre otros [11].

Para la construcción de hornos solares, se utilizan materiales que reflejen los rayos del sol, que sean fácilmente alterables por diversos procesos de manufactura para aprovechar los diversos factores climáticos, como se muestra figura 2.4. El uso doméstico de hornos y cocinas solares generan grandes ahorros energéticos, debido al rango de temperatura que se logra en dichos dispositivos durante cualquier día del año con un cielo despejado, disminuyendo el consumo de leña, GLP ó electricidad. Por otro lado, según la forma geométrica que presenten se puede lograr disminuir el riesgo de incendio y accidentes durante su uso, puesto que sus formas tridimensionales, permiten concentrar la radiación solar en un solo punto mediante la orientación en dirección al espectro solar. La intensidad energética concentrada va a depender del tipo de material, la geometría empleada y la radiación solar existente.

2.3. Tipos de Concentradores Solares

Los concentradores solares son dispositivos capaces de captar la radiación solar y transmitirla a un fluido o a un recipiente, con el fin de aprovechar su energía [12]. Existen dos tipos de concentradores solares, éstos son los de acumulación y los de concentración de energía [13].

2.3.1. Concentradores Solares de Acumulación

Son dispositivos que no superan fácilmente los 70°C, por lo que son utilizados en aplicaciones solares de baja temperatura, un claro ejemplo de ellos es la producción de agua caliente.



Figura 2.4: Horno Tipo Caja.

Estos colectores principalmente se caracterizan por no poseer métodos de concentración, por lo que la relación entre la superficie del colector y la de absorción son prácticamente la misma [14].

2.3.1.1. Concentrador solar de Placa Plana

En general, un colector de placa plana actúa como un receptor que almacena la energía procedente del Sol y la transfiere hacia una placa en forma de calor, del mismo modo la puede transferir hacia un fluido. Usualmente, estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero, formado por una serie de tubos de cobre, los cuales expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior como se muestra en la figura 2.5. Su aplicación es la producción de agua caliente, climatización de piscinas, calefacción, entre otras [15].

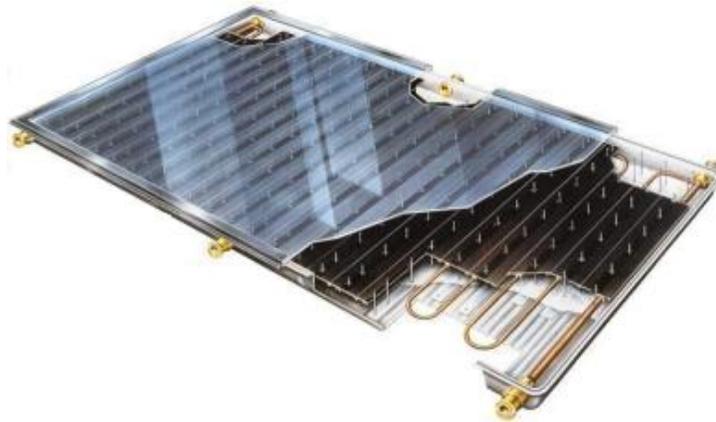


Figura 2.5: Concentrador Solar de Placa Plana.

2.3.1.2. Concentradores Solares Cónicos o Esféricos

Su principal característica es que constituyen simultáneamente la unidad de captación y de almacenamiento. Su superficie de captación es cónica o esférica con una cubierta de vidrio de la misma geometría. Con estas geometrías se consigue que la superficie iluminada a lo largo del día, en ausencia de sombra, sea constante [16]. Su instalación es sencilla, pero presentan problemas de estratificación del agua y la superficie útil de captación es pequeña. Su aplicación principal es la producción de agua caliente como se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6: Concentrador Solar Esférico.

2.3.1.3. Concentrador Solar Tipo Caja

Existen diversos hornos solares de tipo caja, como los mostrados en las Figuras 2.7 y 2.8, también conocidos como de acumulación o trampa de calor, los cuales realizan una conversión de la radiación solar en energía calórica. La parte superior es transparente para permitir el paso de luz solar, poseen paneles reflectantes de papel aluminio o espejo, que ayudan a capturar más calor[17]. La base en el interior debe ser oscura para absorber la mayor cantidad de radiación. Por otro lado, estos hornos solares de tipo caja, tienen la particularidad de ser de cocción lenta en comparación a la tradicional. Además presentan la ventaja de mantener el aroma, humedad y nutrientes de los alimentos. En este tipo de concentradores presentan los siguientes inconvenientes:



Figura 2.7: Horno Tipo Caja Modelo Steves.

- Las cantidades de alimento que pueden ser cocinadas son relativamente pequeñas.
- El proceso de cocción de los alimentos puede resultar bastante largo, ya que existe la dependencia de las condiciones climatológicas.
- Para reducir los tiempos de cocción se incluyen superficies reflectivas, las cuales ayudan a incrementar la intensidad de energía radiactiva sobre la superficie receptora, de esta forma se evita realizar constantes ajustes de la caja para obtener una adecuada captación de la energía solar.

Es importante señalar otro tipo de concentradores del tipo caja, como el construido por las mujeres de Eritrea, el cual sustituye la madera y lámina de las paredes externas por heno,



Figura 2.8: Concentrador Tipo Caja Modelo Sunstove.

su función es evitar la transferencia del calor con el medio ambiente utilizando éste como material aislante como se presenta en la figura 2.9. Este tipo de modelos construidos con heno son muy variados porque dependen de los materiales disponibles en cada zona y no sólo se deben analizar las propiedades térmicas si no también las refractantes.



Figura 2.9: Horno de Heno.

2.3.2. Concentradores Solares de Energía

Este tipo de concentradores utilizan sistemas especiales con el fin de aumentar la radiación solar directa sobre la superficie absorbente y de este modo aumenta la temperatura en el recipiente hacia el que se conducen. El principal inconveniente que presenta es la necesidad

de un sistema de seguimiento solar para mantenerlo orientado hacia el sol [18].

2.3.2.1. Concentradores Cilíndricos.

El diseño de este tipo de concentradores se diferencia con respecto a los otros ya que su superficie colectora es la mitad de un cilindro, teniendo como principal aplicación la producción de vapor. Debido a la concavidad de su geometría, en el foco se coloca un conducto por donde pasa un fluido como aceite o salmuera. Dependiendo de la longitud de exposición, el área de captación solar y la irradiancia, el líquido se calienta por encima del punto de ebullición, llegando alrededor de 300 °C. Una vez caliente, el fluido pasa a una caldera donde calienta agua y la convierte en vapor, como se muestra en la figura 2.10. La energía contenida en el vapor puede ser utilizada para generar electricidad si se pasa a través de una turbina la cual pone en funcionamiento a un generador [18].



Figura 2.10: Concentrador Cilíndrico.

2.3.2.2. Concentradores Parabólicos.

El principio de los concentradores con geometría parabólica es dirigir los rayos solares en un punto mediante procedimientos ópticos, antes de su transformación en calor. Así, una

radiación solar que entra a un colector concentrador a través de una superficie determinada es reflejada, refractada o absorbida por una superficie menor, para luego ser transformada en energía térmica [18]. La ventaja de este tipo de concentradores es la reducción de la pérdida térmica en el receptor, pues al ser éste de menor superficie habrá menos área para la radiación de calor y por lo tanto el líquido que circula por el receptor puede calentarse a mayores temperaturas con un rendimiento razonable y a un bajo costo. Tal como se observa en la figura 2.11.

En la práctica, los rayos solares no se concentran mediante lentes, si no mediante espejos y geometrías parabólicas, de los cuales se hablará más a detalle en los capítulos siguientes.



Figura 2.11: Concentrador Parabólico.

2.4. Geometría Solar

Un factor indispensable para el correcto funcionamiento de un concentrador es la radiación solar, la cual llega a la tierra en forma directa sobre la superficie terrestre, y de forma difusa, la cual se pierde durante el trayecto. Las dos formas de radiación pueden reflejarse en cualquier superficie que toquen y dependerá de ésta el porcentaje de radiación que incida sobre la misma (Apéndice A Radiación solar), a esto se le conoce como albedo. Lo anterior se puede observar en la figura 2.12.

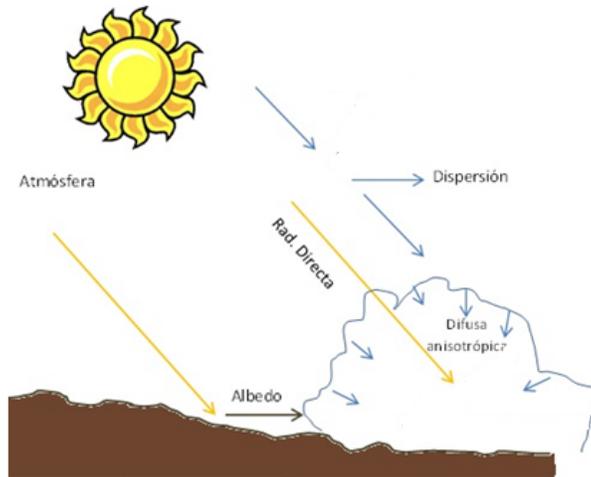


Figura 2.12: Radiación Solar.

La atmósfera terrestre recibe una potencia de 173×10^{12} KW, es decir 15×10^{17} KWh de energía al año. De dicha cantidad aproximadamente el 53% es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y nubes. Finalmente a la superficie de la tierra llegan en promedio al año 3×10^{13} KWh[8]. La energía que proviene del sol se le llama radiación solar y la magnitud que lo mide hasta alcanzar la superficie de la tierra es la irradiación. La ecuación 2.1 desarrollada por Duffie y Beckman [19] define los ángulos para describir la posición del sol en el cielo, presentando las relaciones que existen entre estos ángulos. Así, las ecuaciones relacionan el ángulo de incidencia de la radiación directa θ en una superficie con otros ángulos;

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cos\beta \sin\theta_z + \sin\beta \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (2.1)$$

De donde:

θ_z Ángulo Cenit, el ángulo entre la vertical y la línea que apunta hacia el Sol.

α_s Ángulo de Altitud Solar, el ángulo entre la horizontal y la línea que apunta hacia el Sol, (complemento del ángulo cenit).

γ_s Ángulo de Acimut Solar, el desplazamiento angular con respecto al sur de la proyección de radiación directa en el plano horizontal.

La declinación δ puede ser determinada por la ecuación 2.2, conocida como ecuación de

Cooper:

$$\delta = 23,45 \operatorname{Sen}\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (2.2)$$

2.5. Balance de Energía

En términos generales las condiciones térmicas de un sistema abierto esta relacionado con las ganancias y pérdidas de calor, para ello se realizó un balance térmico basado en el estudio de la reflexión en los espejos parabólicos, tal como se muestra en la figura 2.13, observando el comportamiento de los rayos solares sobre la superficie de la tierra, lo que permitía obtener el área de concentración del paraboloide y la potencia con respecto al área de la superficie. Los mecanismos de transferencia que corresponden a conducción, convección y radiación, son en sí materias de estudio con un complicado tratamiento. No obstante a ello, antes de comenzar el análisis de radiación térmica conviene comparar su naturaleza; de tal manera, que el modo de transferencia con los mecanismos por conducción en un sólido la energía es transportada por la red atómica y electrones libres. Para la convección en un fluido es el que se encarga de entregar o retirar energía a través de colisiones entre molécula y molécula. La convección siempre resulta un mecanismo de transferencia en el cual las características del fluido como son distribución de velocidad, turbulencia, entre otros, afectan significativamente la transferencia de calor.

Aunque la generación de energía ocurriera en el medio, el proceso no afectaría al balance de energía en la superficie de control. Además, este requerimiento es válido para las condiciones de estado transitorio y estable, partiendo del punto en el cual el flujo de energía sólo es la del ambiente y ésta es inducida al elemento hasta llegar al equilibrio térmico del sistema. De tal forma, que se puede realizar el balance en relación a la energía que entra debiendo ser igual a la energía que sale, tal como se muestra en la ecuación 2.3.

$$\dot{E}_{entra} = \dot{E}_{sale} \quad (2.3)$$

De esta forma se puede expresar la cantidad de calor que es conducida menos la cantidad de calor que se transmite por convección, menos la cantidad de calor que se pierde por radiación, tal como se muestra en la ecuación 2.4.

$$q''_{cond} - q''_{conv} - q''_{rad} = 0 \quad (2.4)$$

Considerando el valor de cada tipo de energía se obtiene la ecuación 2.5, 2.6 y 2.7.

$$q''_{cond} = k \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2.5)$$

$$q''_{conv} = h(T_1 - T_\infty) \quad (2.6)$$

$$q''_{rad} = \epsilon \sigma (T_2^4 - T_1^4) \quad (2.7)$$

De donde q''_{cond} es la energía por conducción, q''_{rad} es la energía de radiación, q''_{conv} es la energía de convección y k , h y σ son las constantes de conducción, convección y radiación respectivamente y ϵ .

Como componente final de esta sección, se revisan los conceptos fundamentales de transferencia de calor. La transferencia de calor por radiación está obviamente presente en el funcionamiento de los sistemas solares, así como los mecanismos de transferencia por convección y conducción.

2.6. Incidencia de Energía en un Concentrador Parabólico

El trazado de este proceso gráfico, se utiliza para seguir la trayectoria de un gran número de rayos incidentes en el sistema óptico de concentración, determinando su distribución en la superficie que los intercepta. Para un colector del tipo concentrador, el trazado de rayos inicia con el ensamble de radiación incidente en la apertura y distribución e intensidad de aquellos rayos en el receptor, esto se realiza mediante vectores. Para una superficie reflejante, se calcula la dirección y sentido, así como el punto de intersección de un rayo incidente con la superficie reflejante. La normal a la superficie basada en la forma de la superficie reflejante y en la ley de reflexión, donde este ángulo es igual al de incidencia, estableciendo la dirección de los rayos reflejados. Dado el tamaño finito del Sol y el ángulo que sustenta visto desde la tierra, es necesario considerar que los rayos solares se encuentran en un cono de 16 min de arco; es decir, que en lugar de tener sólo puntos que describen una línea focal se tiene una región espacial donde llegan los rayos solares una vez concentrados[20].

En la figura 2.13, se puede observar cómo se comportan los rayos al incidir sobre la superficie de la carcasa, esta energía se concentra en un solo punto denominado foco, creando una dispersión del as de luz de 16 min de arco [19], esta dispersión de los rayos genera una área de concentración elíptica tal como se puede observar en la figura 2.14.

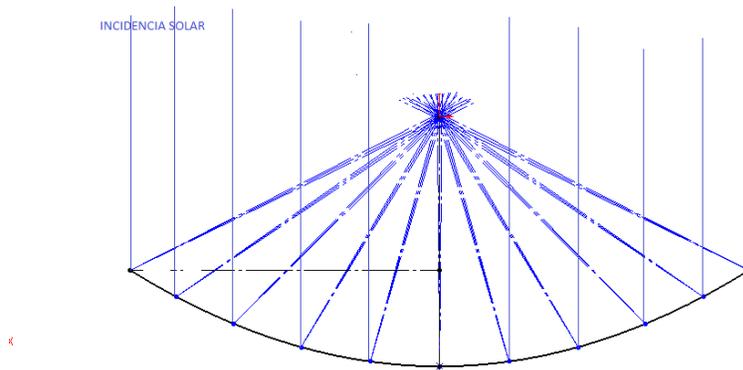


Figura 2.13: Incidencia Solar en un Espejo Parabólico.

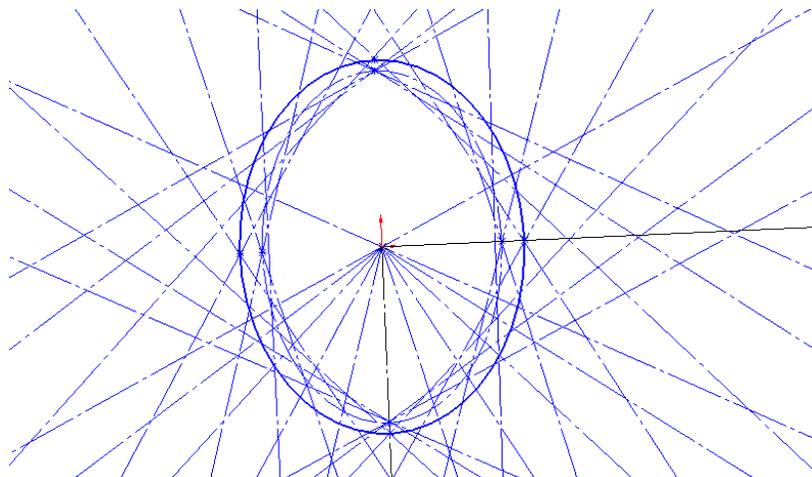


Figura 2.14: Concentración Elíptica de los Rayos Solares.

Es de vital importancia conocer la cantidad de energía que la carcasa del concentrador recibirá por medio de los rayos del sol, debido a que es importante realizar el cálculo de la cantidad de energía por área que se requiere. Para ello se utiliza la constante solar de 1353

W/m^2 , dato proporcionado por la NASA. La ecuación 2.8, representa dicho cálculo, pero considerando que se trata de una superficie irregular al ser integrada se tiene[21]:

$$Q = \int q'' dA \quad (2.8)$$

Resolviendo la ecuación 2.8 se obtiene la ecuación 2.9 que corresponde a la transferencia de energía por área:

$$Q = k\epsilon A \quad (2.9)$$

Donde Q es la cantidad de energía, k es la constante solar = $1353 W/m^2$, ϵ la emisividad (para ésta se utilizará el índice de refracción de Mylar = 0.833) y A es el área en $/m^2$. Sustituyendo estos Valores en la ecuación 2.9 se genera la tabla 2.1 donde se presenta esta relación.

Tabla 2.1: Relación Área Refracción

Área en m^2	K	ϵ	Q
281.76	1353	0.833	0.25
563.52	1353	0.833	0.50
845.29	1353	0.833	0.75
1127.05	1353	0.833	1.00
1408.81	1353	0.833	1.25
1690.57	1353	0.833	1.50
1972.34	1353	0.833	1.75
2254.10	1353	0.833	2.00
2535.86	1353	0.833	2.25
2817.62	1353	0.833	2.50

En particular un concentrador solar de geometría paraboidal portátil será más efectivo para las personas que se dedican a expediciones, excursiones, de tal forma que contando con un buen diseño se deba de cubrir las expectativas y necesidades del consumidor.

2.7. Consumidor

El concentrador solar portátil está dirigido a usuarios, en términos generales y de preferencia mayores de 18 años, aunque no es requisito indispensable la edad siempre y cuando se

utilicen las medidas de seguridad necesarias para su buen funcionamiento, puesto que éste no es de operación complicada. De lo contrario se podría ocasionar accidentes por las temperaturas alcanzadas con este concentrador y como consecuencia generar quemaduras considerables. Por lo tanto cualquier persona responsable y con las medidas de seguridad necesarias podrá hacer uso de este dispositivo.

Es importante considerar que los materiales para el concentrador solar deben minimizar costos, peso, facilidad de transporte, armado y durabilidad. Por lo tanto, la metodología de diseño de nuevos productos permite utilizar el método de Despliegue de la Función de Calidad (por sus siglas en inglés QFD), en el que se mencionan los requerimientos reales del usuario denominados “Voz del cliente”. De tal manera, que esta herramienta, también permite visualizar lo que el usuario espera, además de realizar un análisis general de los requerimientos del producto.

Dicho en otras palabras, se puede fabricar un producto con excelente presentación a bajo costo; sin embargo, se tiene el riesgo de no tener la aceptación de diseño esperada en el mercado. Esta situación indicará que el diseño se realizó sin considerar las necesidades potenciales del cliente, que aún habiendo intentado conocer las expectativas de éste, se ha fracasado al momento de traducirlas a las características del producto. Por lo anterior, existe una gran importancia en el diseño, que es parte fundamental de todo producto, ya que se debe traducir las demandas expresadas del cliente en las especificaciones sugeridas. Una de las claves del enfoque central del QFD [22] para lograr la mejora continua, es que los clientes se involucren en el proceso de desarrollo del producto.

En esta fase, se deberá desarrollar cualquier tipo de diseño para todo tipo de concentrador solar, además de considerar los requerimientos necesarios para cumplir con las demandas que el usuario solicite, este análisis se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Requerimientos del Cliente

Requerimiento	Comercial	Usuario
Ensamble	uso de herramientas	Desarmable
Temperatura	100	200
Concentración de Energía	Parabólico	Indistinto
Área de incidencia de Energía	1.82 m ²	6 m ²
Tiempo de transferencia	—	10 min.
Transferencia de Energía	C.C.R.	C.C.R.
Dimensiones	1.5 m ²	1m ²
Peso	10 kg	5 kg
Movilidad	incómodo	fácil

2.8. Identificar las Características del Concentrador Solar a través de la voz del Cliente

La satisfacción del consumidor comienza por identificar las expectativas y requerimientos, para ello es necesario desarrollar una encuesta dirigida al uso y aplicación del concentrador solar con la finalidad de identificar las ideas o conceptos que los clientes asocian con el término “estufa solar”. Cabe hacer mención que se deberá modificar la palabra concentrador por estufa, con el fin de que el encuestado tenga una mejor perspectiva. Los resultados que se obtengan de esta encuesta serán trasladados hacia un modelo llamado modelo Kano [23].

Este modelo, es una herramienta de la gestión de la calidad que facilita las decisiones de mercadeo y en especial aquellas vinculadas con el desarrollo de productos y servicios. Este modelo clasifica los requerimientos de los clientes en tres categorías [24]:

- **Atractivos:** Esto es cuando los clientes valoran que está presente un requerimiento aunque no noten su ausencia.
- **Obligatorio:** Es cuando la ausencia de un requerimiento provoca insatisfacción, aunque su presencia se dé por hecha y especialmente no se valore.
- **Unidimensionales:** Representado por el aumento en la satisfacción del cliente aproximadamente lineal con el aumento de su funcionalidad.

En otras palabras, este modelo permite extraer aquellas necesidades que no se mencionan, pero que sin embargo son de gran importancia para que el nuevo producto se introduzca con éxito en el mercado. Por otro lado, se establece que para cada requerimiento del cliente, hay una relación entre satisfacción y funcionalidad. Lo anterior, se puede observar claramente en la figura 2.15, la cual ayuda a comprender esta relación, donde al dibujar tres tipos ideales de atributos en función a la relación entre la funcionalidad y la satisfacción [23].

Donde la satisfacción del cliente, está compuesto de la funcionalidad que éste presente sobre el diseño.

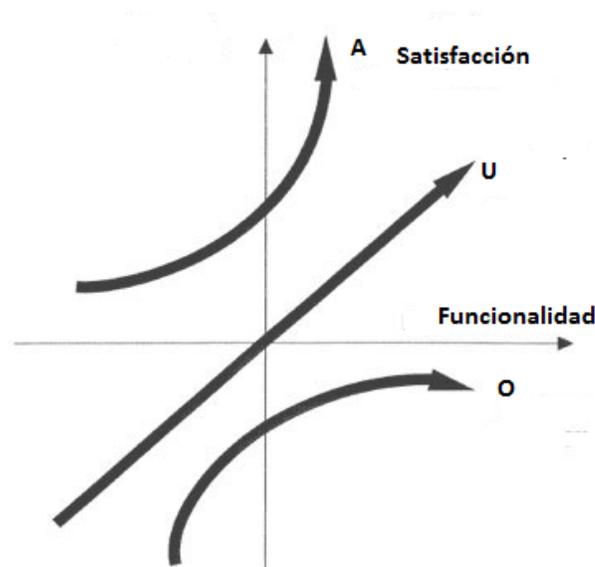


Figura 2.15: El modelo de Kano, clasifica las características de un producto de acuerdo a la relación entre funcionalidad y satisfacción, donde: A= Atractivo; U= Unidimensional; O= Obligatorio.

2.9. Metodología de Paul Funk para el cálculo de la potencia

En un dispositivo solar se pueden utilizar varios métodos para el cálculo de la potencia que un concentrador solar genera, en particular el modelo de predicción proporcionado por Paul Funk [25] es el que más se ajusta, dado que está hecho para cualquier tipo de concen-

trador solar, este cálculo se realizará una vez construido el prototipo, para corroborar que se obtuvieron satisfactoriamente los resultados esperados.

Paul Funk desarrollo una metodología en 1998, en la cual presentó un modelo de predicción de la potencia en los concentradores solares que fue utilizada durante un ensayo con los concentradores de tipo de acumulación de energía solar. Esta metodología se aplica a concentradores solares de concentración de energía y resulta con suficiente precisión para la prueba de cocción. En esta sección se indica la metodología para el cálculo de la potencia de los concentradores solares, las consideraciones respecto de los valores de las variables ambientales y el registro de la misma, para que las mediciones tengan un valor universal, tal como lo ha descrito Funk.

En el ensayo debe tenerse en cuenta una serie de consideraciones para realizar los cálculos correspondientes, dicho protocolo es propuesto por Paul A. Funk en la Tercera Conferencia Mundial de Cocción Solar aunque fue realizado para una estufa solar tipo horno, el algoritmo funciona para cualquier estufa solar [25].

1. Registro. La temperatura promedio del agua $[Co]$ en la olla dentro de la cocina, debe ser registrada cada 5 o 10 min. La insolación solar $[W/m^2]$ y la temperatura ambiente, son otras variables que deben ser tomadas en cuenta y registrarlas frecuentemente.

Registrar el ángulo de azimut durante el test. Registrar la latitud del lugar donde se realiza la medición y la fecha en que se realiza. Razón: cinco o diez minutos es un periodo suficientemente largo de tiempo que minimiza las fluctuaciones en pérdidas de calor debido a la temperatura ambiente y variabilidad del viento, esperándose una diferencia despreciable. Este intervalo de tiempo puede a su vez considerarse un periodo corto pero suficiente de tiempo para que la variación en la ganancia de calor, debido al cambio gradual en el ángulo del sol, sea considerado constante durante el intervalo.

2. Cálculo de la potencia de cocción, P_c . El cambio en la temperatura del agua cada cinco o diez minutos debe ser multiplicado por la masa en kilogramos y calor específico del agua $4186 [J/kg \text{ } ^\circ C]$ contenida en el recipiente, dividiendo este producto por 300 o 600

segundos contenidos en el intervalo de tiempo para obtener la potencia en Watts.

$$Pc[W] = mcdT/dt \quad (2.10)$$

$$Pc[W] = mc(T - Ti)/t \quad (2.11)$$

3. Cálculo de intervalos promedios. El promedio de insolación, temperatura ambiente y temperatura del contenido del recipiente debe ser un dato en cada intervalo.

4. Estandarización de la potencia de cocción. También conocida como potencia de cocción ajustada Pca. La potencia de cocción para cada intervalo debe corregirse por una insolación estándar de $700 [W/m^2]$, multiplicando la potencia de cocción observada por $700 [W/m^2]$ y dividiendo por el promedio de insolación registrada durante el intervalo correspondiente. Razón: facilitar la comparación de resultados para diferentes localidades y fechas.

$$Pca[W] = Pc[W]700[W/m^2](I/2) \quad (2.12)$$

5. Diferencia de temperaturas. La temperatura para cada intervalo deberá estar dada por el promedio de la temperatura del contenido del recipiente. Por otra parte se debe calcular la diferencia de temperatura del agua con respecto al ambiente, para cada intervalo. Razón: las pérdidas de calor aumentan con la diferencia en temperaturas entre el interior del concentrador solar y los alrededores de éste, la temperatura del contenido del recipiente se correlaciona con la temperatura en él.

6. Graficar. Potencia estándar de cocción $[W]$ contra la diferencia de temperatura $[oC]$ para cada intervalo.

7. Regresión. Realizar una regresión lineal en el gráfico para encontrar una relación entre el potencial de cocción y la diferencia de temperatura, se obtiene la pendiente $[W/oC]$. Se requiere de un mínimo de 30 observaciones y el coeficiente de correlación R^2 proporciona la variación en la potencia de cocción que se atribuye a la relación encontrada por la

regresión, debería ser superior al 75 %. Razón: Se esperan medidas estadísticas de buena calidad debido a la regresión lineal. Un error experimental excesivo puede invalidar el proceso.

8. Medida simple del funcionamiento. Para el valor estándar de la potencia de cocción[W] se debe registrar la diferencias de temperaturas entre el agua y el ambiente cuando existe una diferencia de $50^{\circ}C$ usando la relación determinada anteriormente, con ello se obtiene una medida de la potencia de cocción para el concentrador solar.

9. Información. Graficar la relación entre la potencia de cocción estándar y la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente, presentando la ecuación en el gráfico.

Capítulo 3

Metodología

El propósito de esta sección, es proponer una metodología para el diseño de un concentrador solar portátil tipo geométrico paraboidal. Tomando como referencia lo explicado en el capítulo 2, se diseñará un concentrador de este tipo, dado que estos presentan una mayor eficiencia con respecto a los demás. De tal forma que para el diseño y construcción del concentrador solar de tipo geométrico paraboidal se hará en base a la metodología propuesta por Schroeder.

3.1. Metodología de Schroeder

Esta metodología se basa en el diseño de nuevos productos para los sistemas de concentración de energía solar que cumplan con los requerimientos y necesidades del cliente. De tal forma que esta investigación considerará los siguientes factores de vital importancia, como son ligero, portátil y funcional, implementando el diseño por sujeción, aumentando la eficiencia del producto al momento de ser utilizado por el usuario. Por otro lado, también se apoyará en la técnica de Despliegue de Función de Calidad (QFD)[26], cabe hacer mención, que no existe una definición única para esta técnica, por el contrario todas son complementarias ya que al consultarlas permiten al usuario generar un concepto más claro sobre sus alcances y beneficios potenciales [27].

El diseño del producto se realizó en base a una secuencia de pasos, los cuales son mostrados en la figura 3.1, donde se presenta la metodología para el diseño y desarrollo del sistema propuesto, observando como máxima prioridad la determinación de las necesidades del consumidor, que posteriormente se desarrollaran a través de una lluvia de ideas, optando por la

más adecuada para la generación del diseño de ingeniería que al implementarlo cubrirá las expectativas y necesidades del usuario.

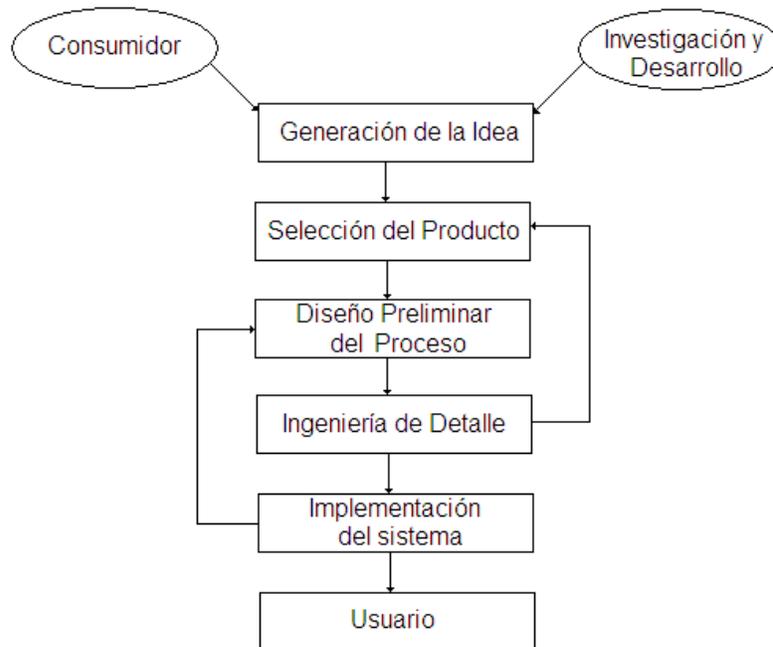


Figura 3.1: Metodología a Desarrollar basado en el modelo de Schroeder

3.1.1. Desarrollo Experimental

Siguiendo con la metodología del diseño de nuevos productos propuesta por Schroeder, con base en la tabla Kano, los requerimientos de diseño y el QFD, se continuará con la generación de ideas, en función del cuestionario Kano, cabe mencionar que para la aplicación del mismo se tomo un espacio muestral de 150 personas oscilando entre los 15 y 35 años de edad, en los niveles medio superior, superior y postgrado de los cuales sólo se aplicó dicho cuestionario a 25 personas. Con estos resultados se observó la aceptación y el conocimiento que las personas tienen hacia un concentrador solar.

Con ayuda del modelo Kano se realizará una tabla la cual permitirá convertir las respuestas de un cuestionario en dos diferentes formas para desplegar la evaluación, una en forma gráfica y otra tabulada, las cual servirá de ayuda para definir los requerimientos del usuario.

3.2. Materiales y Herramientas

Para el proceso de construcción del concentrador solar se utilizó maquinaria existente en el laboratorio de manufactura avanzada dependiente de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, utilizando los materiales descritos en la tabla 3.1 y las herramientas en la tabla 3.2.

Tabla 3.1: Materiales

Nombre	Características		
	Marca	Dimensiones	Composición
Fibra de vidrio	poliformas plásticas	rollo 1.80 X 10 m	75 % vidrio 25 % poliester
Película de PVC	PIN	0.80 X 10 m	Policloruro de vinilo
Película de Estireno	Plastimundo	120 X 80 cm	Estireno
Resina poliester	Poliformas Plásticas	70 x 60	
Catalizador	Poliformas Plásticas	100 ml	Peróxido de metil etilcetona k 2000 al 1 % (36 gotas)
Película desmoldante base alcohol	Poliformas Plásticas	1 litro	alcohol polivinilico MPS-95
Cera desmoldante	poliformas plásticas	500 gr	CP-500
Hoja de MDF	Madereria el Roble	0.18 X 122 X 244 cm	90 % eucalipto 10 % cola
Tornillos	ACME	3/16 "	acero inoxidable
Nylamid	MIDSA	0.18 X 80 X 120 cm	Poliamida(PA)/Nylon con Disulfuro de Molibdeno
Tubular de aluminio	GASU	1/2"	6XXX
Perfil de aluminio	GASU	7/8 X 3/8 "	6XXX

Tabla 3.2: Herramientas

Nombre	Tipo	Características
Desarmador	plano stanley	12 cm, punta plana tipo paleta
Espátula	plástica	4"
Prensa	Sargento	1.5'
Cortador de acrílico	stándar	stándar
Cutter	mango plástico	5"
Moto tool	Eléctrico	profesional
Discos	corte	desbaste universal para todo tipo de metales

3.3. Equipo

La elección del equipo con el que se propone trabajar se muestra en la tabla 3.3, resaltando el uso de una fresadora de control numérico y una termoformadora en la cual se presenta la información sobre cada uno de estos.

Tabla 3.3: Equipo

Nombre	Características	Modelo
Computadora	portátil	HPG42la
Software	Solid works y HSMWorks	versión educativa 2011
Máquina fresadora	revólver de 16 herramientas	MM-430
Termoformadora		

3.3.1. Fresadora CNC

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó una máquina fresadora del tipo CNC como la mostrada en la figura 3.2, modelo Challenger 805 i, la cual realiza operaciones de planeado y perfilado de geometrías complejas, produciendo moldes permanentes, placas integrales, modelos de productos, electrodos para electroerosión. El laboratorio cuenta con dos máquinas de este tipo, a una velocidad de operación máxima de 8000 rpm. con una torreta para almacenamiento de 16 herramientas con un recorrido de 760,430 y 400 mm. en X, Y y Z respectivamente. El centro del husillo es de 515 mm. con guía al centro, la salida del motor es de control directo de 5.7 / 7.5 KW de forma estandar. La presión de aire que maneja es de 6 Bar. El consumo de aire es de 400 L/min. El tanque refrigerante tiene una capacidad de

200 L. Bomba de 186 W con un consumo de 220 V/1 HP/0.5 A. La fresadora cuenta con un consumo máximo de 35 KVA. Apoyado con dos cortadores, uno plano de 3/4" y otro de bola de 1/2".



Figura 3.2: Fresadora CNC.

3.3.1.1. Cortador Plano de 3/4"

Para el desbaste de material en la fresadoras CNC se hace el uso de la fresadora CNC, incluyendo un cortador plano tipo T-15 figura 3.3, con un recubrimiento ligero de cobalto de cara plana con 4 gabilanes, de 3/4" de diámetro de corte, mango de 3/4" de diámetro, largo de 4-1/2" y una inclinación de 35 en cada gabilán. Lo anterior son las condiciones para el tipo de material que se va a desbastar el cual es MDF. La ventaja que presenta este tipo de cortador es el maquinado de radios inferiores, hendiduras, filetes, chaffanes y contornos especiales, ideales para el uso en materiales ferrosos y no ferrosos.



Figura 3.3: Cortador de 3/4 " plano con 4 gavilanes.

3.3.1.2. Cortador de Bola de 1/2"

Para el acabado se hará uso de un cortador de bola de 1/2", como el que se muestra en la figura 3.4 fabricado de acero de alta velocidad, con 4 gavilanes, mango de 1/2" y 3" de largo. Permite la creación de radios muy estrechos, minimizando el costo de operación, eliminando las marcas generadas por el cortador plano durante el desbaste. Ideal para la creación de concavidades cuadradas o circulares, con una gran definición de radios tanto internos como externos.



Figura 3.4: Cortador de 1/2 " de bola con 4 gavilanes.

3.3.2. Termoformadora

Esta máquina realiza piezas a partir de una lámina de materiales plásticos, tales como ABS, HIPS, PP, PET, por mencionar algunos, como la que se observa en la figura 3.5. Por la acción del calor proporcionado por una platina que se calienta mediante resistencias eléctricas para la deformación y un molde sumado a la acción de aire comprimido o vacío se hace adherir la lámina al molde, el cual por estar frío rigidiza la pieza. La máquina cuenta con un área de trabajo de 50 x 75 cm. para producir empaques.



Figura 3.5: Termoformadora.

3.3.3. Software

Para el desarrollo de cada una de las piezas del concentrador de energía solar del tipo geométrico paraboidal, se utilizó el software Solid Works con licencia autorizada por ntech de Solid Works versión educativa 2011, instalado en una computadora portátil marca HP, con un sistema operativo Windows 7, 8 Gb en RAM, tarjeta de video Envidia de 1GB, procesador

CORE i3, modelo G42LA; utilizando para el postprocesador software HSMWorks, que es la extensión CAM de este software del mismo proveedor.

3.4. Desarrollo

Para el desarrollo de esta metodología, con base en el modelo de Schroeder, se realizará un cuestionario planteado por la metodología Kano, para de esta manera determinar los requerimientos del cliente. Con esto y la información recabada en la sección 2.7, se abordará la generación de la idea mediante la propuesta de algunos prototipos para elegir el que mejor satisfaga las necesidades del usuario. Posteriormente se seleccionará el proceso que será considerado utilizando un software de diseño asistido por computadora (CAD). En este caso se ha contemplado el uso de Solidworks y el módulo de maquinado HSMWorks, al igual del uso de un equipo fresador de control numérico (CNC). En el caso de la carcasa del concentrador solar, se utilizará una termoformadora, si es requerido por las necesidades del proceso. Mediante el software de diseño se calculará el área de concentración solar, además se obtendrá un análisis de elementos finitos para determinar los esfuerzos requeridos por los materiales.

El proceso de maquinado se hará mediante un equipo fresador y dos tipos de cortadores, uno para el desbaste de material y otro para el acabado. Por condiciones de proceso se utilizará un cortador plano y otro de bola, respectivamente. Una vez generado el molde y teniendo la elección del material del cual se fabricará la carcasa, ésta se recubrirá con un polímero reflejante en acabado tipo espejo, seleccionando el más apropiado. Cabe mencionar que las dimensiones del concentrador estarán en función de los requerimientos del cliente, realizando un balance térmico el cual aportará la cantidad de área en función de la energía que se requiera para llegar a la temperatura deseada.

Por último, una vez construido el concentrador solar parabólico, se realizarán pruebas físicas con él, para determinar si los parámetros térmicos han sido los adecuados, así como observar el porcentaje de energía que es aprovechada por éste mediante el cálculo de la potencia en un concentrador de energía de Paul Funk.

Capítulo 4

Análisis de Resultados

Para conocer los requerimientos del usuario se hará uso de la metodología de Schroeder, utilizando la información obtenida directamente por el usuario. Para ello, se elaborará un cuestionario basado en el modelo Kano, dicha encuesta se aplicará a 100 personas, de las cuales sólo se tomará una muestra seleccionando a 25 personas. Con esta información se genera la tabla 4.2. Así mismo, se desarrollará el producto, basado en los requerimientos del cliente seleccionando los materiales que serán más apropiados para este proyecto, llegando de esta forma al diseño preliminar del proceso y posteriormente llegar a la ingeniería de detalle, considerando la función principal de este concentrador solar para posteriormente implementarlo, mostrarlo al usuario final y observar la aceptación que presenta, considerando realizarle mejoras.

4.1. Requerimientos del Usuario

Cabe recordar que se modificó el término concentrador solar por estufa solar, con el fin de que los usuarios identifiquen con facilidad el concepto. Para ello se realizó una encuesta preliminar (encuesta # 1), con el fin de obtener las principales ideas y posteriormente identificar el concepto que los clientes asocian con estufa solar:

Encuesta # 1

- 1.- ¿Qué ideas asocias con estufa solar?
- 2.- ¿Has usado una estufa solar?
- 3.- ¿Qué problemas encontrarías al usar una estufa solar?
- 4.- ¿Qué beneficios encontrarías al usar una estufa solar?

- 5.- ¿Adquirirías una estufa solar?
- 6.- ¿En qué te basarías al elegir una estufa solar?
- 7.- ¿Qué características esperarías de una estufa solar?
- 8.- ¿Dónde usarías una estufa solar?
- 9.- Menciona tu ocupación.

Ideas principales de la encuesta # 1

- La razón por la que usan o no usan una estufa solar.
- Los problemas que el cliente ha experimentado o podría experimentar al usar una estufa solar.
- Los beneficios que el cliente ha experimentado o podría experimentar al usar una estufa solar.
- Saber si el cliente adquiriría una estufa solar.
- La forma en que el cliente se basaría para elegir una estufa.
- Las características que esperan.
- Donde usarían la estufa solar.
- La ocupación del encuestado.

Con estas ideas, se puede observar que el cliente tiene una conceptualización más concreta de una estufa solar. A continuación se muestran los resultados obtenidos de la encuesta # 1 realizada en un espacio muestral de 100 personas y las ideas que los clientes asocian con “estufa solar”:

- Energías alternativas.
- Comida
- Salvar el medio ambiente.
- Dejar de comprar gas.
- Mejorar la economía.
- Costo inicial alto.

- Ahorro de energía.
- Calentar.
- Diseño.
- Ecológico sustentable.
- Objeto que se puede transportar.

En la figura 4.1 se muestra el porcentaje de personas que han usado o no una estufa solar, observando que en su mayoría no la han usado por diferentes razones, las cuales son presentadas en la tabla 4.1.

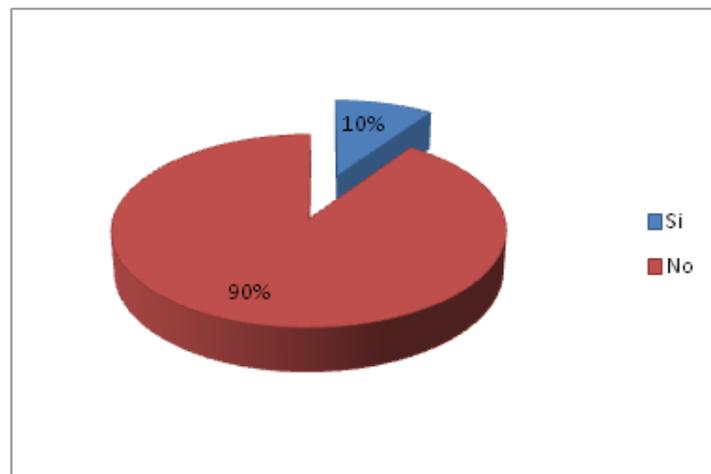


Figura 4.1: Respuesta al cuestionario de exploración con base a 100 personas que han hecho uso de un concentrador solar

Tabla 4.1: Respuesta del cliente al por qué han usado o no una estufa solar

La han usado por qué	No la han usado por qué
Asistieron a una demostración	No han tenido la oportunidad de ver en funcionamiento alguna estufa solar
Videos en internet	No la venden en centros comerciales
Un conocido tiene una	El precio es elevado
	No sabían que existían
	No es práctica
	Son muy grandes / Requieren de mucho espacio
	No tienen una estufa solar

Por otro lado también se observan los problemas que el cliente ha experimentado o podría experimentar al usar una estufa solar las cuales son las siguientes, por mencionar algunas:

- Conocer el adecuado uso de la estufa
- Noche/nublado/lluvia
- Costos de instalación/construcción
- Rapidez con la que se cocinan los alimentos
- Espacio/tamaño
- Regulación de temperatura
- Practicidad

Es importante señalar los beneficios que el cliente ha experimentado o podría experimentar al usar una estufa solar, los cuales son:

- Favorece al medio ambiente
- Ahorro de dinero
- Elimina el uso de gas/electricidad
- Al viajar

4.2. Aplicación modelo Kano

Una innovación de Kano fue el diseño de un formato de cuestionario asociado a una tabla de evaluación como la tabla 4.2, la cual permite clasificar los requerimientos de satisfacción y funcionalidad. El cuestionario siempre tiene un número par de preguntas relacionadas con los requerimientos del cliente. Las preguntas vienen en pares porque para cada requerimiento, existe una pregunta funcional y otra disfuncional. La primera del tipo “Si el producto cumple con tal requerimiento, ¿cómo se siente?”, la segunda, “si el producto no cumple con tal requerimiento, ¿cómo se siente?”, respectivamente. Las respuestas son del tipo selección múltiple. Las únicas alternativas aceptables son las siguientes:

1. Me gusta.
2. Es algo básico.
3. Me da igual.
4. No me gusta.
5. No me gusta y no lo tolero.

Este modelo (figura 2.15) funciona de forma compleja, además de que los resultados son plasmados por el propio entrevistador, de acuerdo a su criterio por lo que no es recomendable utilizarla. De tal forma que Kano hace la traducción a un modelo más sencillo y efectivo para la selección y aplicación del producto. Con la diferencia de que se incorporarán tres categorías tal como se muestra en la tabla 4.2 ¹, siendo éstas:

1. D: refiere a una respuesta dudosa, debido que ante un par de preguntas complementarias no es razonable la respuesta.

2. Inv.: significa inversa, a lo que la pregunta supone que es funcional cuando es percibido como no funcional.

¹Modelo de Kano, clasificando las características de un producto de acuerdo a la relación entre funcionalidad y satisfacción, donde: A= Atractivo; U= Unidimensional; O= Obligatorio

3. I: indica la indiferencia del cliente ante el requerimiento de la pregunta.

Dado que el cuestionario está dirigido a un número considerable de entrevistados, los datos obtenidos son procesados para clasificar el atributo correspondiente a la pregunta asignada, pero finalmente el resultado estará basado por simple mayoría.

Tabla 4.2: Incorporación de las categorías en el modelo Kano

	Requerimientos disfuncionales					
		1	2	3	4	5
Requerimientos funcionales	1	D	A	A	A	U
	2	INV	I	I	I	O
	3	INV	I	I	I	O
	4	INV	I	I	I	O
	5	INV	INV	INV	INV	D

Para conocer los requerimientos y satisfacción del usuario se continuó con una segunda encuesta (encuesta # 2) en el mismo espacio muestral, con la diferencia de que se elegirán únicamente a 25 individuos, considerando la ocupación y edad del encuestado, basada en 15 preguntas de acuerdo a la tabla 4.2, puesto que se deben considerar los requerimientos funcionales (a) y disfuncionales (b). Lo anterior está basado en el número de eventos considerados por el modelo Kano:

Encuesta #2

1a.- Considera que el tamaño de una estufa portátil es importante.

1b.- ¿Qué tan importante es o sería si: se considera o no el tamaño en la estufa portátil?

2a.- Considera que el peso de la estufa solar es importante.

2b.- ¿Qué tan importante es o sería si: no se considera el peso de la estufa solar?

3a.- Considera que si la estufa solar es muy grande y fácil de transportar es importante.

3b.- ¿Qué tan importante es o será si: la estufa solar es grande y difícil de transportar?

4a.- Considera que si la estufa solar, es ligera será más fácil de transportar.

4b.- Considera que si la estufa solar, no ligera será más fácil de transportar.

- 5a.- Considera que el tiempo de cocción de alimentos en una estufa solar es importante.
- 5b.- ¿Qué tan importante es o será si: el tiempo de cocción de alimentos es tardado?
- 6a.- Considera que si la estufa solar es desarmable es importante.
- 6b.- ¿Qué tan importante es o será si: la estufa solar no es desarmable?
- 7a.- Considera que el precio de la estufa solar es moderado es importante.
- 7b.- ¿Qué tan importante es o será si: el precio de la estufa solar no es moderado?
- 8a.- Considera que si la estufa solar es fácil de limpiar es importante.
- 8b.-¿Qué tan importante es o será si: no es fácil de limpiar?
- 9a.- Considera que la practicidad de uso es importante.
- 9b.-¿Qué tan importante es o será si: la estufa solar no es práctica?
- 10a.- Considera que la vida útil de la estufa solar fuera alta es importante.
- 10b.- ¿Qué tan importante es o será si: la vida útil de la estufa fuera baja?
- 11a.- Considera que el material del cual esté diseñada la estufa solar fuera excelente, es importante.
- 11b.- ¿Qué tan importante es o será si: el material de la estufa solar no es muy bueno?
- 12a.- Considera que la geometría de la estufa solar es importante.
- 12b.- ¿Qué tan importante es o será si: la estufa solar no es geométrica?
- 13a.- Considera que la estética de una estufa solar es importante.
- 13b.- ¿Qué tan importante es o será si: la estufa solar no fuera estética?
- 14a.- Considera que si la estufa solar es segura es importante.
- 14b.- ¿Qué tan importante es o será si: la estufa solar no es segura?
- 15a.- Considera que si la estufa solar es fácil de usar es importante.
- 15b.- ¿Qué tan importante es o será si: la estufa solar no es fácil de usar?

Tomando como referencia la evaluación de la tabla 4.2 y considerando las respuestas de los encuestados para el estudio de este trabajo y sumando los resultados de (a) y (b), se obtendrá la clasificación (C) de los requerimientos correspondientes a cada pregunta encuestada, tal se observa en la tabla 4.3. Cabe destacar que en esta tabla se agrega también el término total (T) que corresponde al número total de las respuestas.

Tabla 4.3: Clasificación de los requerimientos

Número y Contenido Abreviado de la Pregunta	A	O	U	INV	D	I	T	C
1.-Tamaño de la estufa	11	0	9	1	4	0	25	A
2.-Peso de la estufa	5	2	6	1	1	10	25	I
3.-Fácil de transportar	6	3	3	5	4	4	25	A
4.-Ligera	6	2	7	1	4	5	25	U
5.-Tiempo de cocción	5	3	5	0	3	9	25	I
6.-Fácil de desarmar	6	2	2	1	3	11	25	I
7.-Precio	2	4	3	1	2	13	25	I
8.-Fácil de limpiar	5	0	4	2	3	11	25	I
9.-Vida útil	4	3	6	3	4	5	25	U
10.-Calidad de los materiales	3	2	6	0	3	11	25	I
11.-Diseño	1	0	3	3	2	16	15	I
12.-Geometría	2	1	4	0	1	17	25	I
13.-Estética	5	1	0	2	0	17	25	I
14.-Seguridad	6	0	9	0	5	5	25	U
15.-Fácil de usar	3	0	6	0	4	12	25	I

Una vez determinada la clasificación de la encuesta se incorporará una nueva categoría considerando la importancia de cada pregunta, tabla 4.4. Con los datos obtenidos en la tabla 4.3 y considerando sólo las preguntas del tipo (a), se ponderará en una escala del 1 al 5 donde:

1. Nula
2. Sin importancia
3. Importante
4. Muy importante
5. Extremadamente importante

Tabla 4.4: Requerimientos Funcionales por Categoría de Importancia

Número y Contenido Abreviado de la Pregunta	A	O	U	INV	D	I	T	C	IMP
1.-Tamaño de la estufa	11	0	9	1	4	0	25	A	4.96
2.-Peso de la estufa	5	2	6	1	1	10	25	I	4.28
3.-Fácil de transportar	6	3	3	5	4	4	25	A	4.16
4.-Ligera	6	2	7	1	4	5	25	U	4.56
5.-Tiempo de cocción	5	3	5	0	3	9	25	I	4.32
6.-Fácil de desarmar	6	2	2	1	3	11	25	I	4.16
7.-Precio	2	4	3	1	2	13	25	I	3.88
8.-Fácil de limpiar	5	0	4	2	3	11	25	I	4.20
9.-Vida útil	4	3	6	3	4	5	25	U	4.24
10.-Calidad de los materiales	3	2	6	0	3	11	25	I	4.16
11.-Diseño	1	0	3	3	2	16	15	I	3.68
12.-Geometría	2	1	4	0	1	17	25	I	3.56
13.-Estética	5	1	0	2	0	17	25	I	3.12
14.-Seguridad	6	0	9	0	5	5	25	U	4.72
15.-Fácil de usar	3	0	6	0	4	12	25	I	4.32

4.3. Selección del producto

Considerando la voz del cliente se procederá a la selección del producto. Para llevar a cabo esto es necesario tomar como base los requerimientos del consumidor para la introducción de un nuevo producto al mercado y lograr su aceptación. Para realizar una evaluación más detallada, la cual se presenta en la Tabla 4.5, mostrando la información proporcionada por el cuestionario de Kano, llevando con él la obtención del Coeficiente de Satisfacción del Cliente (CSC) y el Coeficiente de Insatisfacción del Cliente (CIC), calculado con las ecuaciones 4.1 y 4.2.

$$CSC = \frac{A + O}{A + O + U + INV} \quad (4.1)$$

$$CIC = \frac{O + U}{A + O + U + INV} - 1 \quad (4.2)$$

Tabla 4.5: Coeficiente de Satisfacción e Insatisfacción del cliente (CSC y CIC)

Número y Contenido Abreviado de la Pregunta	A	O	U	INV	D	I	T	C	IMP	CSC	CIC
1.-Tamaño de la estufa	11	0	9	1	4	0	25	A	4.96	0.52	-0.57
2.-Peso de la estufa	5	2	6	1	1	10	25	I	4.28	0.50	-0.43
3.-Fácil de transportar	6	3	3	5	4	4	25	A	4.16	0.53	-0.65
4.-Ligera	6	2	7	1	4	5	25	U	4.56	0.50	-0.44
5.-Tiempo de cocción	5	3	5	0	3	9	25	I	4.32	0.62	-0.38
6.-Fácil de desarmar	6	2	2	1	3	11	25	I	4.16	0.73	-0.64
7.-Precio	2	4	3	1	2	13	25	I	3.88	0.60	-0.30
8.-Fácil de limpiar	5	0	4	2	3	11	25	I	4.20	0.45	-0.64
9.-Vida útil	4	3	6	3	4	5	25	U	4.24	0.44	-0.44
10.-Calidad de los materiales	3	2	6	0	3	11	25	I	4.16	0.45	-0.27
11.-Diseño	1	0	3	3	2	16	15	I	3.68	0.14	-0.57
12.-Geometría	2	1	4	0	1	17	25	I	3.56	0.43	-0.29
13.-Estética	5	1	0	2	0	17	25	I	3.12	0.75	-0.88
14.-Seguridad	6	0	9	0	5	5	25	U	4.72	0.40	-0.40
15.-Fácil de usar	3	0	6	0	4	12	25	I	4.32	0.33	-0.33

Para mostrar con mayor claridad los resultados obtenidos en la tabla 4.5, se considerará la clasificación de acuerdo al método Kano donde los valores de mayor importancia serán relacionados en función a la figura 4.2 de tal manera que serán ordenados por el índice de importancia de cada una de las respuestas obtenidas, quedando ordenados conforme a la tabla 4.6, cabe hacer mención que los Requerimientos, Obligatorios (O), Dudosos (D), Inversos (Inv) no se incluyeron debido a que no se generaron.

Tabla 4.6: Clasificación de los Requerimientos

Requerimientos		
Atractivos (A)	Unidimensionales (U)	Indiferentes (I)
1.- Tamaño de la estufa	4.-Ligera	2.-Peso de la estufa
3.- Fácil de transportar	9.-Vida útil	5.-Tiempo de cocción
	14.-Seguridad	6.-Fácil de desarmar
		7.-Precio
		8.-Fácil de limpiar
		10.-Calidad de los materiales
		11.-Diseño
		12.-Geometría
		13.-Estética
		15.-Fácil de usar

4.4. Generación de ideas

Existen actualmente un sin número de técnicas para la generación de ideas, una de las más utilizadas es la lluvia de ideas (Brainstroming), que es una herramienta de trabajo grupal, la cual facilita el surgimiento de nuevas ideas. Considerando la idea de construir un concentrador solar de geometría paraboidal portátil basado en los requerimientos que anteriormente se han mencionado, de tal forma que el dispositivo que se diseñe permita concentrar la energía y mantenerla constante en un punto dado para después dirigirla en un punto a una temperatura adecuada. Para determinar el diseño del concentrador solar se utilizaron los datos presentados en la tabla 2.2, que mediante el análisis de valor, es posible ponderar y ordenar con respecto al de mayor importancia los datos mostrados en la tabla 4.4.

Para satisfacer las características anteriores de acuerdo a la encuesta realizada mediante el modelo Kano, se plantean los siguientes requerimientos de diseño, denominados voz del ingeniero y traducidos como diseño ingenieril. Tal como se muestran en la tabla 4.7 y figura 4.2 donde se muestra la importancia relativa de las características de diseño, mostrando los requerimientos que afectaron más se eliminaron, decidiendo que pasaran a la siguiente etapa de evaluación, los que alcanzaron mayor ponderación, ordenándolos por la importancia en que se deben contemplar.

Tabla 4.7: Requerimientos, voz del ingeniero

Requerimientos del diseño	Valor meta
Tamaño	Menor a $1.5 m^3$
Tiempo de cocción 1 kg comida y agua	35 min
Peso	Menor a 10Kg
Temperatura del concentrador	Menos 40 C
Piezas	Menos de 10
Área concentración de energía	Más de $0.6 m^2$
Volumen de sistema desarmado	Menor a $0.5 m^3$
Temperatura máxima en parrilla	Mayor a 100 C
Número de personas para el sistema	4
Potencia	1200 Watts
Reflectividad del material del concentrador	Mayor a $0.8 W/m^2nm$

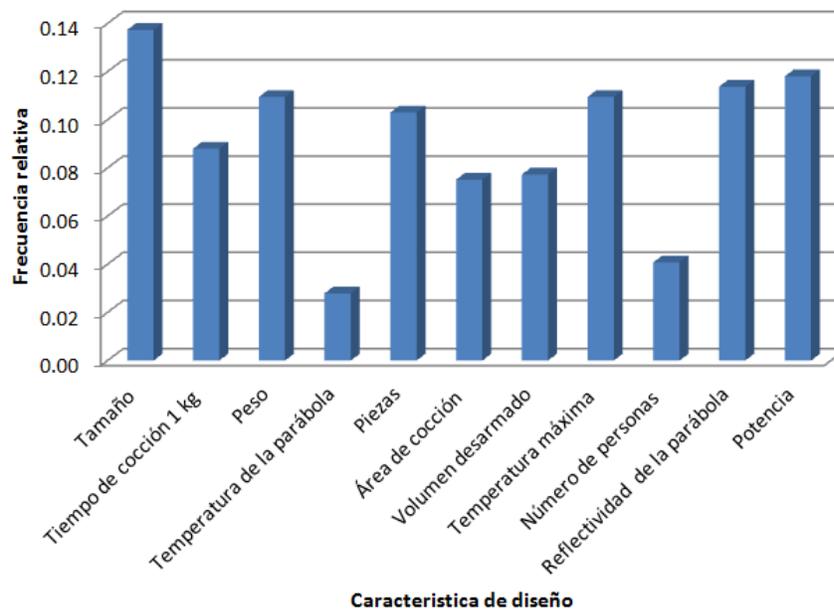


Figura 4.2: Importancia Relativa de las Características de Diseño.

De lo anterior se jerarquizan con el orden de prioridad de acuerdo a las características arrojadas por el cuestionario Kano, quedando de la siguiente manera.

1. Tamaño
2. Potencia
3. Peso
4. Temperatura de Cocción Máxima
5. Reflectividad de la pantalla
6. Número de piezas
7. Tiempo de cocción de un Kg
8. Área de cocción
9. Volumen del sistema desarmado

La integración y evaluación de las características del producto a diseñar, se representará como un despliegue de la función de calidad (QFD), conocido como la casa de la calidad [26]. Esta técnica de ingeniería concurrente permite traducir las necesidades de los clientes a requerimientos de diseño. También ayuda a discernir entre aquellos requerimientos que permitan aumentar en un mayor grado la satisfacción del cliente. Por otro lado, también genera ideas que permiten innovar y diferenciar los productos resultantes, promoviendo la participación integrada entre departamentos, funciones y miembros de una organización con diferentes especialidades.

La Casa de la Calidad, es una metodología sistemática que disminuye tiempos de desarrollo de productos y mejora de la calidad [28]. De tal manera, que para determinar los requerimientos que pasaron a la fase dos del QFD se procedió conforme al modelo Kano. Por lo que los requerimientos son como sigue:

1. Tamaño de la estufa
2. Tiempo de cocción
3. Peso
4. Fácil transportar
5. Fácil desarmar

El núcleo del QFD es un mapa conceptual que relaciona los requerimientos de los clientes (RC) con las características técnicas (CT) necesarias para satisfacerlos. Estas relaciones se presentan en forma de una tabla elaborada llamada Casa de la Calidad (Figura 4.3). Tomados en su conjunto, los RC definen la calidad de un producto y son las expresiones que los clientes utilizan para describir los productos y sus características deseables. Asociada con cada CT existe un valor, que se usa para determinar el grado de satisfacción de los clientes con cada uno de sus requerimientos. Esta medida es fundamental para la mejora continua.

Los RC se indican en la dimensión vertical de la Casa de la Calidad; las CT, en la horizontal. Tanto los primeros como los segundos suelen ser numerosos y se agrupan en varios niveles, según su grado de abstracción. Esta multiplicidad no es al azar. El gran número de los RC responde a las variadas dimensiones de la calidad y la cantidad de las CT es consecuencia de la creciente complejidad tecnológica de los productos modernos.

Dado que no todas las CT contribuyen a conformar un RC dado, debe indicarse la relación entre las distintas combinaciones de RC y CT; esta relación se muestra en los cruces de las filas y columnas de la Casa de la Calidad, con símbolos que reflejan la intensidad del vínculo. Una adecuada comprensión de las relaciones entre RC y CT facilita el balance entre las demandas de los clientes con el potencial tecnológico de la empresa.

La Casa de la Calidad contiene otros elementos importantes, como son:

- Una columna con la prioridad que los clientes asignan a cada RC.
- Una columna que compara, para cada RC, a los productos de nuestra empresa con los de la competencia, según la evaluación del cliente.
- Una fila que pondera numéricamente la importancia de cada CT con respecto a las demás.
- Una evaluación técnica comparativa de las CT de nuestro producto con las CT de uno o varios productos de la competencia .
- Un valor objetivo fijado para cada CT.
- Un panel triangular que indica la correlación existente entre las distintas CT.

Para leer e interpretar la Casa de la Calidad, se lleva a cabo de la siguiente forma: se observa que los puntos de la columna de la izquierda corresponden a los RC, los renglones que se ubican frente a éstos proporcionan las TC's, si se requiere conocer la relación de importancia que existe entre cualquiera de los RC contra los TC, y la parte de arriba corresponde a la relación que cada uno de estos tiene entre sí, por ejemplo para conocer la relación que existe entre el tiempo de cocción y la potencia se puede observar que en la matriz de relaciones corresponde a un valor 9 el cual se traduce, a una relación fuerte entre estos dos. En el segundo nivel de la casa de la calidad se pueden observar el valor objetivo que tiene cada uno de las CT. En el tercer nivel la relación de interacciones y el valor meta. Y por último el cuarto nivel que hace referencia a la descripción de las propiedades técnicas.

4.5. Diseño del concentrador solar.

De acuerdo a los requerimientos de diseño y en función de la voz del cliente se han desarrollado cuatro propuestas de diseño para el concentrador solar. En cada una de las propuestas se ha seleccionado los materiales que mejor se adecuan para la fabricación del concentrador solar portátil con geometría paraboidal. Para ello, se detallan las pruebas realizadas con diversos materiales.

La selección de materiales se basó en su peso y rigidez, aunado a la resistencia a la corrosión ante la exposición al medio.

4.5.1. Propuestas de Diseño

Uno de los requerimientos de los clientes fue la portabilidad, debido a ello se ha decidido hacer un concentrador solar que se pueda desarmar y así facilitar su traslado, es por ello que se proponen estos diseños con base en los requerimientos obtenidos en la Casa de la Calidad y el modelo Kano.

Como se puede observar en la figura 4.4, es la primer propuesta de concentrador solar, ésta consiste en un soporte de tres patas que convergen entre sí y una U que soporta al paraboloide y a su vez la parrilla, permitiendo que se pueda orientar al sol y se mantenga alineada al ser utilizada.

El soporte de tres patas contiene un perno al centro el cual permite que la carcasa pueda rotar 360° con relación a la horizontal brindándole al soporte en U la libertad de rotación en el eje vertical. La parrilla se mantiene fija para no perder la relación de distancia del vértice al foco de la carcasa.

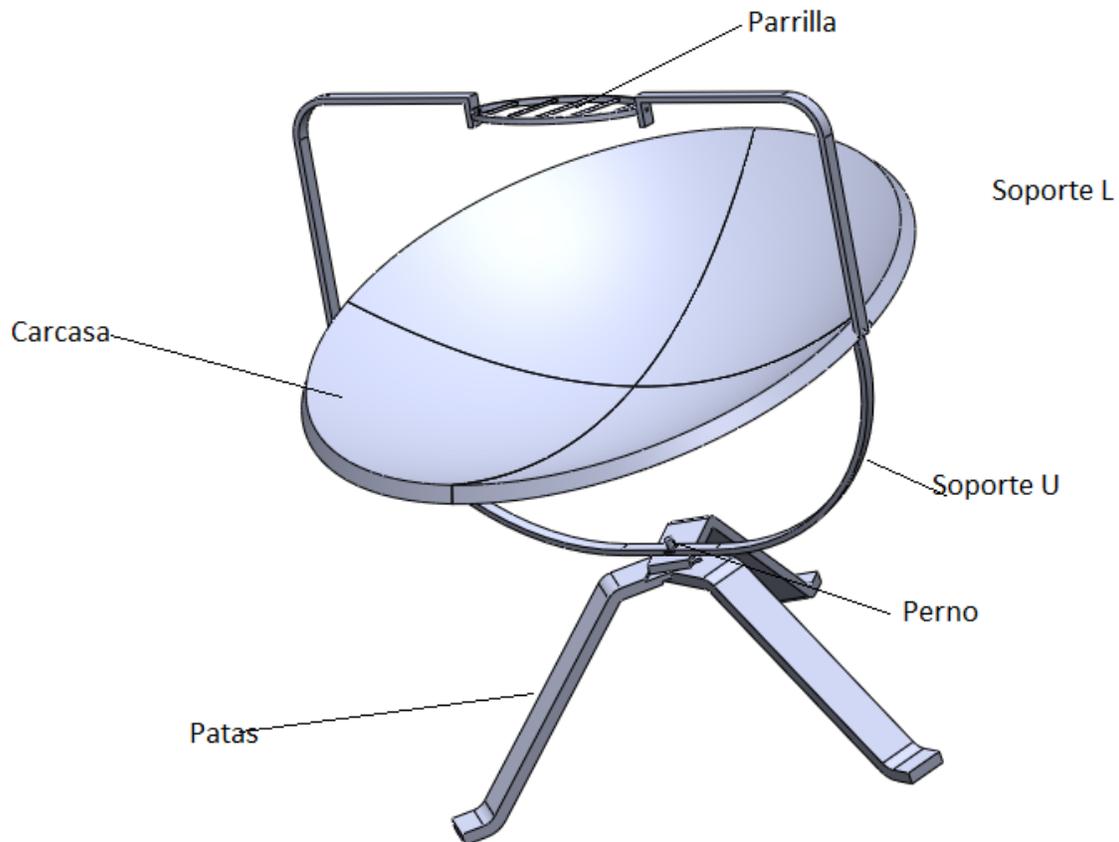


Figura 4.4: Propuesta número 1 del concentrador solar.

La segunda propuesta consiste en un soporte rectangular con dos patas. La carcasa se coloca sobre los soportes de la parrilla como se ve en la figura 4.5, la cual se encuentra sujeta sobre los costados de la carcasa permitiendo así tener libertad de girar y mantenerse orientada al sol. De esta manera, la concentración de energía en la parrilla se mantendrá todo el tiempo.

La portabilidad de este diseño recae en el soporte, ya que en él se unen todas las piezas de este concentrador. Los tubos son de aluminio para minimizar el peso y con ello cumplir

con los requerimientos del cliente. Este diseño está formado por un par de patas, dos barras laterales, una parrilla y una barra estabilizadora en la parte central como se puede ver en la figura 4.6 se presenta una vista lateral. Los elementos se unen entre sí por medio de pernos, ensambles y tornillos, permitiendo hacer el armado del concentrador en poco tiempo.

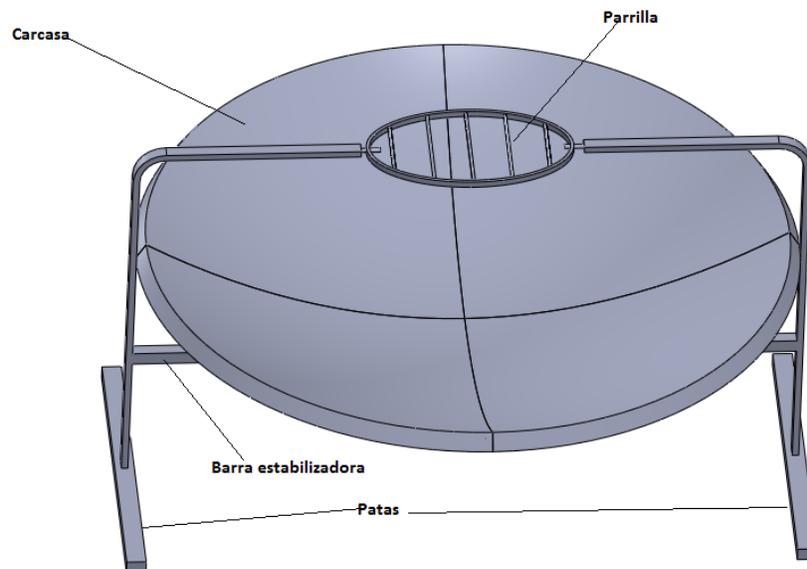


Figura 4.5: Propuesta número 2 del concentrador solar.

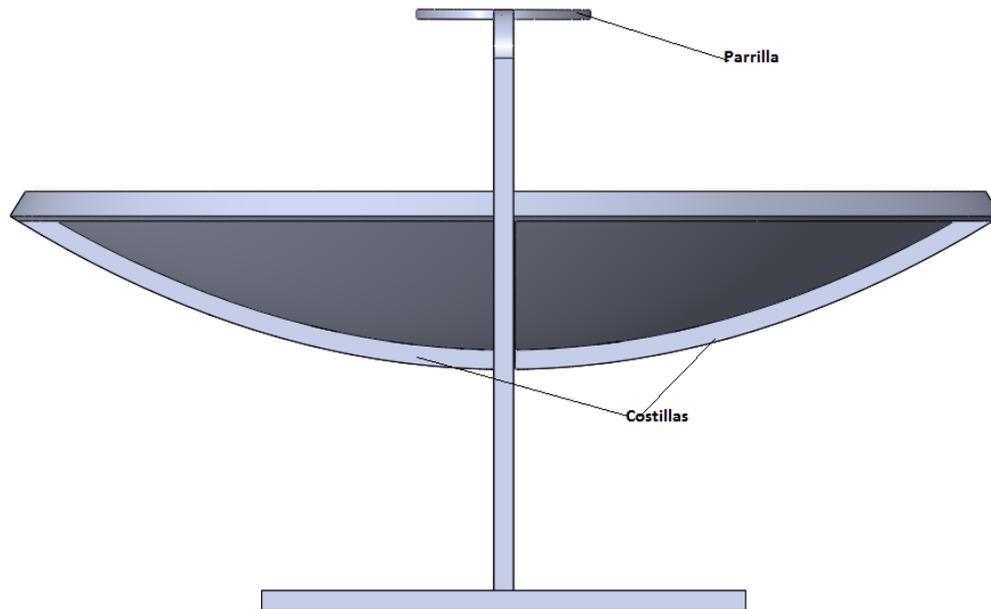


Figura 4.6: Vista lateral derecha de la Propuesta número 2 del concentrador solar.

En la figura 4.6 se pueden observar las costillas de cada una de las piezas de la carcasa, éstas además de dar forma, ayudan a la carcasa a obtener rigidez y permitir el ensamblado entre ellos. Este diseño consta de 4 piezas unidas entre sí por medio de tornillos de 3/16" de acero inoxidable. La distancia del vértice del paraboloide permite mantener en todo momento la distancia focal, logrando una concentración máxima en ese punto.

La propuesta número tres tiene cuatro pares de patas, simulando la forma de un arácnido, como se puede observar en la figura 4.7. El diseño se alinea al sol por medio de una cintura de aluminio, la cual permite que el concentrador solar se pueda alinear al eje horizontal. Para la colocación sobre el eje vertical se cuenta con un soporte en forma de **L** que alinea a la parrilla en relación a la distancia focal requerida por el paraboloide.

Las piezas son de aluminio, para minimizar el peso, como en las propuestas anteriores. En este diseño, las patas se soportan mediante una costilla y un perno prisionero. El soporte en forma de **L** está sujeto a la cintura de aluminio mediante dos pernos que le dan soporte al paraboloide y lo mantienen fijo por medio de un prisionero con mariposa, el cual sirve para mantener el ángulo requerido.

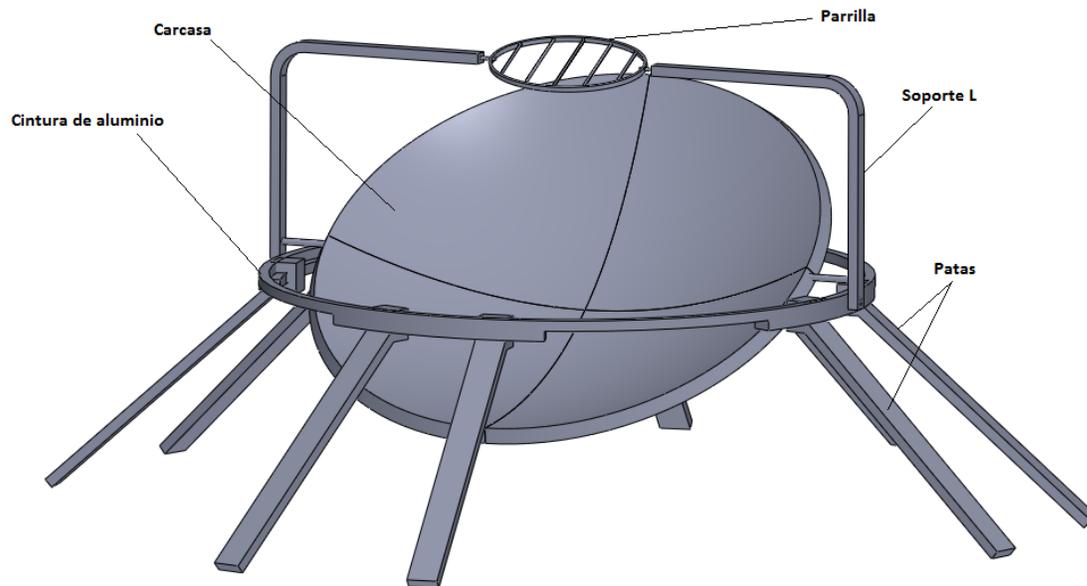


Figura 4.7: Vista frontal de la Propuesta número 3 del concentrador solar.

En la figura 4.7 se puede observar que en la cintura de aluminio se proponen unos rieles, que le darán orientación angular al paraboloides con respecto a la línea de horizonte. El perno que contiene el soporte en forma de **L** permite que se pueda alinear de forma vertical, asegurando así la orientación en dirección al sol de la carcasa.

Finalmente se presenta la propuesta número cuatro en la figura 4.8, que consta de un soporte de tres pies denominado trípode. Este soporte permite que se ajuste a mayor número de superficies. Además consta de una rótula en la parte superior, que le proporciona la posibilidad de variar de grados en que se mueve la carcasa para su perfecta alineación con respecto al sol.

Este diseño consta, al igual que los anteriores, de una carcasa seccionada en cuatro partes, cada uno se encuentra unido a la siguiente parte por medio de costillas laterales. Para mantenerlos unidos, las costillas laterales tienen dos barrenos por donde se atraviesan tornillos de $3/16$ ".



Figura 4.8: Propuesta número 4 del concentrador solar.

Para optimizar y aumentar la concentración de energía, la parrilla de la propuesta cuatro se alinea con respecto al foco en el centro del paraboloide en una **Y**, como se observa en la figura 4.8 La estructura en **Y** soporta a la parrilla manteniendo el objeto a calentar alineado y sin perder la distancia focal del paraboloide.

4.6. Selección de la Propuesta

Para la evaluación de las propuestas se tomó en cuenta: tiempo de construcción, peso, costo del material y la resistencia que éste presenta. A continuación se desglosan estos datos en la tabla 4.8, donde tenemos los resultados de la valoración entre cada uno de ellos, los parámetros establecidos son los siguientes:

- 1 No cumple
- 2 Se acerca al requerimiento.
- 3 Cumple satisfactoriamente.

El primer parámetro de la evaluación menciona que: no cumple, con esto se determina que no satisface los requerimientos. Sobre todo el peso, pues el concentrador, con todo y cada una de sus partes, no debe de pesar más de 6.5 kilos, esto debido a que el peso que una persona puede cargar no debe exceder el 10 % de su peso corporal².

De la suma de las evaluaciones resalta la propuesta 1 y 4 con 25 y 27 puntos respectivamente. Sin embargo el peso de la opción número 1 está muy por arriba del máximo esperado (9.97 kg), en tanto que la propuesta seleccionada (4) pesa 6.42 kg.

El cálculo de pesos se realizó con ayuda del software Solid Works, utilizando aluminio para las piezas del soporte y estireno para la carcasa, la cual tiene un peso de 2.2 kg. En el caso del aluminio se eligió con aleación 1060 por ser ésta de la más comercial y ABS para el estireno, debido a que el programa no cuenta con este material y es el que más se aproxima a los requerimientos.

Tabla 4.8: Evaluación de las propuestas.

Requerimientos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
Tamaño	3	2	1	3
Potencia	3	3	3	3
Peso	2	3	1	3
Temperatura de cocción máxima	3	3	3	3
Reflectividad de la pantalla	3	3	3	3
Número de piezas	2	2	1	3
Tiempo de cocción de un kg de masa	3	2	2	3
Área de cocción	3	3	3	3
Volumen del sistema desarmado	3	2	1	3
TOTAL	25	23	18	27

4.6.1. Selección del Material para la Carcasa

A continuación se procede a un análisis de los materiales que se pueden utilizar para la fabricación de la carcasa del concentrador solar. Para esto se debe conocer mejor el prototipo

²Un adulto de 1.82 m con 90 kilos de peso, puede cargar el concentrador solar en la espalda, ya que el peso que éste debe cargar son 9 kilos, 2.5 por arriba del peso de la elección del concentrador solar completo

y analizar cada una de sus partes integrantes, como se puede observar en la figura 4.9 donde se presenta una de las cuatro partes que constituyen la carcasa. En la parte lateral cuenta con costillas, para que se puedan unir uno con otro y en conjunto formar el paraboloide como se observa en la figura 4.10.

Las dimensiones de cada pieza son:

- Largo de 474.290 mm con una longitud de arco de 511.800 mm.
- Ancho de 700.0 mm con una longitud de arco de 495.99 mm.
- Altura de 156.250 mm con un radio de curvatura de 542.80 mm.

Al unir cada uno de las piezas de estas dimensiones, se obtiene un paraboloide completo de 1000.0 mm de diámetro y 183.0 mm de altura.

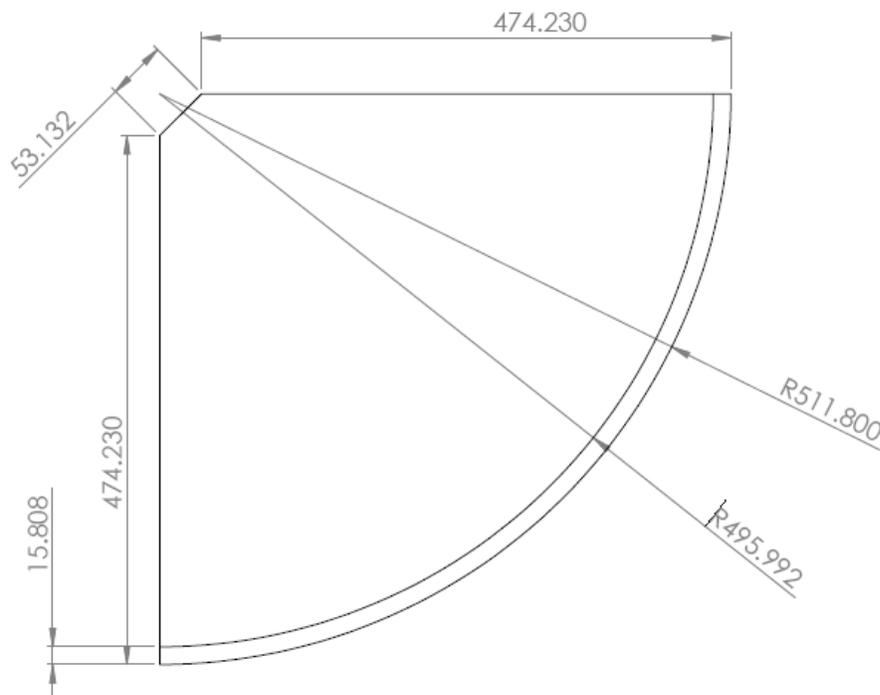


Figura 4.9: Dimensiones de una parte.

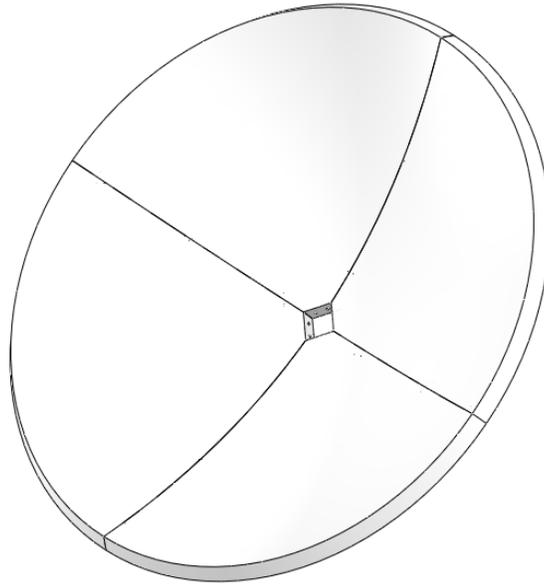


Figura 4.10: Carcasa parabólica completa.

El objeto principal es la carcasa, misma que se forma por porciones iguales denominadas partes, en esta parte del proceso la geometría del objeto es determinante para su construcción. Considerando lo anterior, para la carcasa se contempló la utilización de materiales de peso ligero y con posibilidad de adoptar la forma que se desee, por compleja que sea.

De manera general, los posibles materiales para la carcasa son: Kevlar, fibra de carbón, láminas de aluminio ultra reflectantes acabado espejo, láminas de acero inoxidable, fibra de vidrio y Estireno.

Considerando la geometría de la carcasa y los procesos de manufactura existentes en los talleres de diseño y en el Laboratorio de Manufactura Avanzada de la Universidad Tecnológica de la Mixteca se seleccionaron los siguientes tres materiales:

- Fibra de vidrio.
- Película de PVC.
- Película de Estireno.

Los tres materiales seleccionados se pueden encontrar con facilidad en la región Mixteca. Además, el proceso de manufactura que requieren es en base a la deformación por temperatura. Cada material requiere de un proceso de manufactura distinto, por ello se evaluaron los tiempos requeridos por cada uno. También se hicieron pruebas para evaluar la rigidez y la facilidad para su manufactura.

Para la realización del modelo de la carcasa se fabricó un molde en placas de MDF. El molde representa la geometría de las partes, con él se reproduciran todas las piezas. El material que se utilizó para el molde fue MDF, porque presenta una dureza mínima para el desbaste, de esta manera es ideal para ser modelado mediante una fresadora de control numérico (CNC).

Considerando lo anterior, a continuación se analizan las propuestas para determinar la selección del material a utilizar en el prototipo final.

4.6.1.1. Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es uno de los materiales compuestos que están siendo utilizados especialmente en el sector automotriz y en la industria aeronáutica [29]. Estos compuestos se utilizan debido a su alta resistencia específica y rigidez [30], así como por su facilidad para adoptar formas complejas, su resistencia química y ambiental.

La resina utilizada se denomina comercialmente Crystic 199, es fabricada por Scott Bader y distribuida por Plastiform S.A. Es una resina de poliéster isoftálmico recomendada para aplicaciones de altas prestaciones con una gran resistencia química y térmica. Esta resina puede ser curada en caliente o en frío (previamente preacelerada en este último caso) mediante la adición de un 2% de catalizador C-201 (peróxido de metiletilcetona, Plastiform S.A.).

El molde debe de estar perfectamente libre de impurezas para poder aplicar la fibra de vidrio, además de eliminar los desperfectos que pudiera tener. El proceso consistió en la aplicación de sellador en varias capas, las tres primeras se asentaron con lija del número 250, las tres últimas capas de sellador se aplicaron con una pistola de gravedad y se asentaron con lija del número 1000.

Una vez listo el molde y reunidos los elementos, se procede a aplicar tres capas de película desmoldante de base alcohol, con una esponja hacia el mismo sentido para obtener una capa homogénea y dejando reposar el molde por 15 minutos entre cada aplicación. Al tener listo el molde, se mezcla el Gelcoat con un 3% de catalizador y se aplica con brocha sobre el molde para tener una capa de aproximadamente 1mm. Posteriormente se añade el Velo C, para tener la primera capa de fibra de vidrio. Después de aproximadamente 20 minutos se puede aplicar la segunda capa de fibra de vidrio, a la que se le añade resina con catalizador a un 2%. La aplicación de las capas es por medio de brocha para dejar un espesor uniforme. Este procedimiento se continúa con la capa tres y cuatro. Después de 24 horas la pieza adquiere la rigidez adecuada y se puede desmoldar. Por último se aplica una capa superior de Gelcoat para tener un acabado de presentación. En este caso se utilizó un color negro, para dicha capa superior.

4.6.1.2. Película de PVC

La película de PVC es empleada en la industria de empaques debido a su facilidad de deformación. Es un polímero termofijo, que permite mantener la geometría a la cual se ha expuesto mediante el incremento en la temperatura, es ideal para la reproducción de geometrías complejas. Para determinar el tiempo de exposición, el PVC, dentro de una termoformadora eléctrica se debe multiplicar el espesor en milímetros por un factor de 2.1. Así se obtiene el correcto acoplamiento para adoptar una forma, en particular depende del espesor en milímetros de la hoja. También se puede utilizar una pistola de calor para hacer que el polímero se ajuste al molde. Para iniciar el proceso de termoformado se requiere un molde, para este caso se utilizó el molde de MDF. La película de PVC que se utilizó era de un calibre superior a 20 puntos.

La termoformadora se programa por medio de ciclos, éstos son:

- Calentamiento de la platina
- Etapa de vacío
- Enfriamiento

Para iniciar el ciclo se debe sujetar la película de PVC a un marco de metal por medio de clams. Posteriormente se procede al calentamiento de la platina, que es una tapa metálica

Tabla 4.9: Pesos y resistencia de la carcasa según el material.

Material	Calibre	Tiempo de ciclo (Seg.)		
		Calentamiento de la platina	Etapa de vacío	Enfriamiento
Película de PVC	20 puntos (1mm)	60	30	60
Estireno	20 puntos (1mm)	60	30	60
Estireno	30 puntos (2mm)	40	20	90
Estireno	40 puntos (2.5mm)	90	50	100
Estireno	60 puntos (3mm)	90	60	120

compuesta por resistencias eléctricas, que incrementan la temperatura del material. Una vez caliente, la base de metal que funciona por medio de un pistón y sube hasta el nivel del marco haciendo que el molde se adhiera a la película de PVC. Enseguida inicia el ciclo de vacío, para extraer todo el aire que pueda existir entre el molde y la película, adecuándose a la geometría deseada. Una vez que se extrajo el aire inicia el ciclo de enfriamiento, que consiste en decrecer la temperatura por medio de un ventilador.

Al enfriarse la pieza se puede sacar de la termoformadora y hacer los recortes del material excedente, dejando la pieza idéntica al molde. Cada uno de los ciclos tiene una duración en particular que se regula a través de un temporizador. En la tabla 4.9 se muestran los tiempos de cada ciclo para el calibre 20 de película de PVC y los calibres 20, 30, 40 y 60 de estireno. Estos datos fueron obtenidos de las pruebas que se llevaron a cabo.

4.6.1.3. Película de Estireno

El proceso de termoformado del estireno es similar al de la película de PVC. Los tiempos de termoformado para el estireno se muestran en la tabla 4.9. Después de extraer la hoja de la termoformadora se procede a hacer el recorte de los excedentes. Quitando las esquinas y bordes que no pertenecían a la geometría paraboidal, en el modelo de estireno de 60 puntos requirió alrededor de 20 minutos, por lo que se considera que el tiempo para el recorte depende del grosor de la lámina. La diferencia entre la película de PVC y el estireno en el proceso de termoformado, radica en que el estireno presenta un incremento de temperatura que lo hace más moldeable y con mayor rigidez al termino del proceso.

4.6.2. Determinación del Material de la Carcasa

Una vez generadas las partes de la carcasa paraboidal con los materiales propuestos, se evaluaron en función del peso y la rigidez que obtuvieron. Tomando en cuenta los resultados se determinó que la carcasa del concentrador solar se puede fabricar de cualquier material, siempre y cuando éste cumpla con los requerimientos de diseño.

En la tabla 4.10 se puede ver el peso y la compresión a la cual se transformará en rigidez, cabe mencionar que la rigidez es la ausencia o mínima elasticidad de cada uno de los materiales y de esta forma determinar cuál de ellos es el más adecuado para la generación de la carcasa del prototipo.

Tabla 4.10: Pesos y resistencia de la carcasa según el material.

Material	Espesor	Peso	Compresión
PVC	1 mm	81.975 grs.	>> 100 N
Fibra de vidrio	4 mm	1263.13 grs	-----
Estireno	4.5 mm	546.5 grs.	>100 N

Mientras que en la película de PVC se presenta una deformación elástica Von Mises, esta deformación es significativa pues llega a soportar un peso mucho mayor a 100N, sin llegar a romperse.

En el caso de la fibra de vidrio, carece de Coeficiente de Poisson en XY, Módulo de elasticidad en X y Módulo cortante en XY. Debido a ello no se puede llevar a cabo el análisis de deformación; lo cual implica que es un material rígido y presenta una elasticidad muy baja.

Por otro lado la película de estireno presenta una deformación mucho menor que la de la película de PVC, lo cual permite obtener una mayor referencia de elasticidad y rigidez, de tal forma éste es el material más adecuado para construir la carcasa.

En la tabla 4.11 se establece el tiempo de manufactura que se requiere para la generación de cada una de las piezas, según el tipo de material y su espesor, tomando como referencia la pieza terminada, los valores que se muestran, se obtuvieron de los procesos de cada material

Tabla 4.11: Tiempo de manufactura según el material para las partes de la carcasa.

Material	Espesor	Tiempo de manufactura
PVC	1 mm	22 min
Fibra de vidrio	4 mm	48 horas
Estireno	4.5 mm	32 min

anteriormente mencionados.

El material elegido para la carcasa es el Estireno, siendo la opción con mayores ventajas para los objetivos de esta propuesta. Para esta elección se consideró principalmente el análisis de deformación (obtenido en Simulation Expres de Solid Works), el peso del material y los tiempos de proceso de cada uno de los materiales que anteriormente fueron mencionados. Una vez hecha la elección del material adecuado, se procedió a la construcción del concentrador solar.

4.6.3. Diseño del Trípode (Soporte de la Carcasa)

En esta parte de diseño se presentan las piezas que conforman el tripié así como la capacidad de carga máxima que éste soporta, una vez más auxiliados por el software Solid Works. Considerando los requerimientos del cliente en cuanto al peso, se ha seleccionado el aluminio y el nylamid, materiales que son ligeros y resistentes.

Las patas y centro del trípode son de aluminio, los pernos de acero, las uniones y retenes son de nylamid (figura 4.11), a continuación se hará una descripción de cada una de las piezas así como la importancia que presentan.

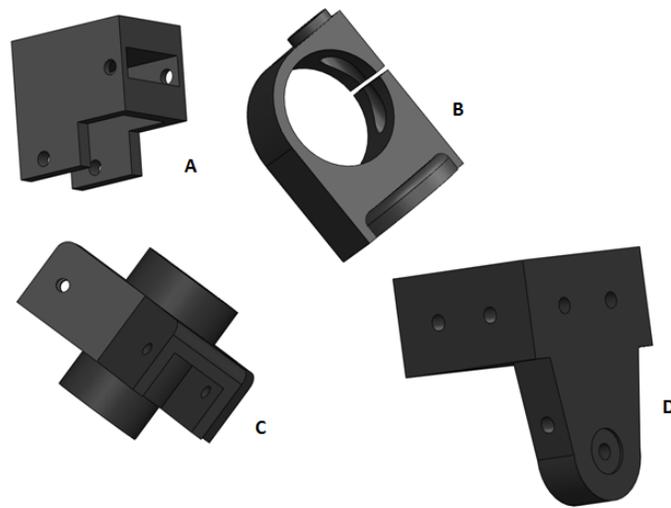


Figura 4.11: Piezas de Nylamid: A) soporte 1, B) cinturón ajustador, C) soporte 2 y D) ajustador.

La figura A) es un soporte a los laterales que conforman las patas, la figura B) es un cinturón ajustador del tubo que en combinación con la figura D) permiten que la carcasa tenga libertad de movimiento, lo cual permitirá una rápida orientación, la figura C) es un soporte que se ubica sobre el tubular de aluminio permitiendo el ajuste de la altura en relación con los laterales.

Para las extensiones se ha usado perfiles de aluminio como se pueden ver en la figura 4.12, haciendo un total de 6 perfiles y un tubular, aunque sólo se muestran 3 piezas.

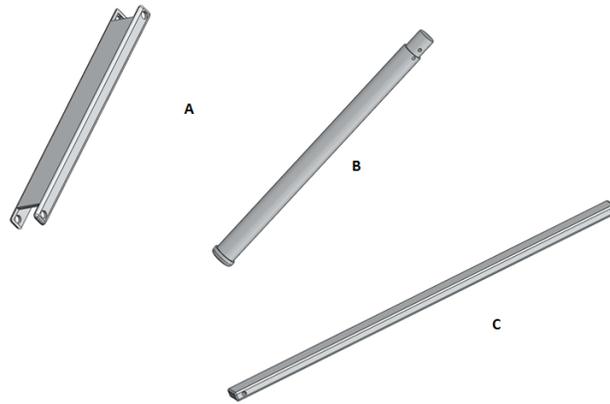


Figura 4.12: Piezas de Aluminio. A) Tira A, B) Tubular y C) Tira B

4.7. Construcción y caracterización del prototipo.

Para la construcción del concentrador solar, en el capítulo anterior se ha elegido el material así como las dimensiones del concentrador, ya que con ellas se obtiene la superficie de refracción requerida.

En este capítulo se detallará el proceso para su construcción así como el área de la superficie reflectante y la potencia que éste produce.

El proceso para la construcción del prototipo no es muy complejo, pero sí es de gran importancia que no se pierda el parámetro de potencia que el concentrador genera. Puesto que con lo anterior demostraremos en la etapa de análisis de resultados si se cumple con el objetivo de llegar a los 90°C , temperatura adecuada para la cocción de alimentos sin el uso de biocombustibles.

4.7.1. Manufactura y Construcción del Concentrador

Para la construcción de la carcasa se utilizó el molde fabricado en MDF (figura 4.13), el molde se llevó a cabo mediante el proceso de termoformado. El Termoformado negativo, permite obtener productos con alta definición de detalles, dispuestos a competir con cualquier otro producto realizado por inyección.



Figura 4.13: Molde MFD.

Contemplando los resultados obtenidos en el capítulo anterior se utilizó un termoplástico conocido como estireno.

Para llevar a cabo el proceso de termoformado del estireno se utilizó una máquina Termoformadora, con un área de trabajo de 50 cm por 75 cms. Después de haber termoformado la pieza se retiran los excesos de cada uno de los bordes para dejarla limpia, este proceso se lleva a cabo con un cortador de acrílico y al final se rectifican las piezas con una pulidora manual para retirar todos los excesos no deseados. Previamente se realizó una plantilla del perfil del paraboloides para hacer los barrenos y que coincidan entre sí. Cada uno de los barrenos tiene un diámetro de $5/16$ de pulgada, por donde pasa un tornillo de $1/4$ de pulgada de diámetro con cuerda estándar. En total son 16 barrenos para asegurar la sujeción de las piezas que forman el paraboloides. La construcción del paraboloides consiste en unir cada parte formando así el paraboloides.

4.7.2. Construcción del soporte

Con base en la voz del cliente y al porcentaje de peso que una persona adulta puede cargar se contempla que el soporte debe resistir un peso máximo de 5 kilos, considerando la carcasa, la parrilla y la cacerola. Por lo que para la construcción del trípode, se utilizará aluminio debido a su ligereza y buena rigidez.

Las tres patas son telescópicas por lo que pueden ajustarse a una altura de entre 45 cm a 80 cm. Para éstas se utilizó un perfil cuadrado de aluminio comercial de 1/2", para los ajustadores y el soporte del paraboloide se utilizó Nylamid. Las partes se unieron con tornillos de 5/36" con cabeza para llave Allen. El tripié quedó hecho para su transporte en una sola pieza como se muestra en la figura 4.14.



Figura 4.14: Tripié Armado.

4.7.3. Ensamble de las piezas

En esta parte se mencionarán cada una de las piezas de las cuales se llevará a cabo la sugestión entre los gajos así como la carcasa y el soporte. Con base en los datos obtenidos en el modelo Kano y traduciendo la voz del cliente, en este caso a la voz del ingeniero y realizando el QFD.

Como se mencionó en los antecedentes el concentrador solar más eficiente es el de tipo Cono-Parabólico, por lo que se utilizó su diseño y desarrollo como base para la propuesta de esta investigación, considerando incorporarle las características obtenidas del QFD, como se muestra en la figura 4.3.

La base del concentrador contempla un trípode ajustable, así el usuario tendrá la posibilidad de decidir la altura de la estufa según sus necesidades y el tipo de suelo en donde se utilice.

Retomando la información de la tabla 4.12, y en función del índice de refracción, se eligió utilizar el PVC blanco y el Mylar. El material que se seleccionó fue el Mylar por tener una de las mejores reflectividades[31], además de que con la ventaja de ser un plástico se puede moldear fácilmente con el solo hecho de someterlo a calor y difícilmente se calentará, por lo tanto no modificará su forma en ningún momento. Cabe hacer mención que el PVC blanco presenta un índice mayor al del Mylar, pero para este proyecto no ayudo a la concentración de energía, debido a que la dispersión de los rayos es mayor que la que se encuentra en los materiales presentados en la tabla 4.12.

Para la estructura del soporte en la parábola en forma de trípode, se cuenta con una pieza denominada ajustador, la cual funciona como rótula permitiéndole girar y ajustarse para no perder la alineación con respecto a los rayos solares, además de soportar a la carcasa permite que la parrilla se ubique en el foco, sin perder esa relación de distancia focal, permitiendo así que la carcasa parabólica se mueva y no pierda la concentración de energía.

Tabla 4.12: Reflectividad de algunos materiales

Reflectividades globales de algunos materiales (W/m^2nm)	
PVC blanco	0,871
Aluminio de alta reflectividad (verde)	0,839
Aluminio de alta reflectividad (rosado)	0,853
Aluminio de alta reflectividad (celeste)	0,820
Chapadur prepintado blanco	0,741
Chapa galvanizada	0,588
Chapa pintada de blanco nueva	0,582
Chapa pintada de blanco envejecida	0,656
Fibra de vidrio pintada de blanco	0,709
Espejo de vidrio de 2mm	0,795
Espejo de vidrio de 3mm	0,754
Espejo de vidrio de 4mm	0,712
Acero inoxidable	0,572
Mylar	0,833
Papel de aluminio	0,799

4.7.4. Ensamble del Concentrador Solar

Para llevar a cabo el ensamble final es necesario contar con todas las piezas mencionadas anteriormente, mostrando la forma secuencial del armado del concentrador solar. Cabe mencionar que los planos constructivos de cada una de las piezas se encuentran en el Apéndice B.

1. Ensamble de las partes de la carcasa: cada una se une entre sí por medio de tornillos como se muestra en la figura 4.15

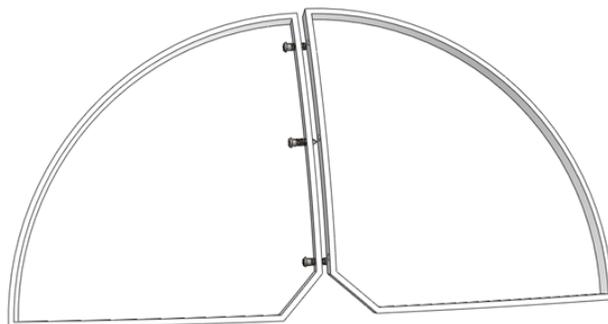


Figura 4.15: Ensamble entre cada pieza.

2. El conjunto de piezas forman la carcasa tal como se muestra en la figura 4.16

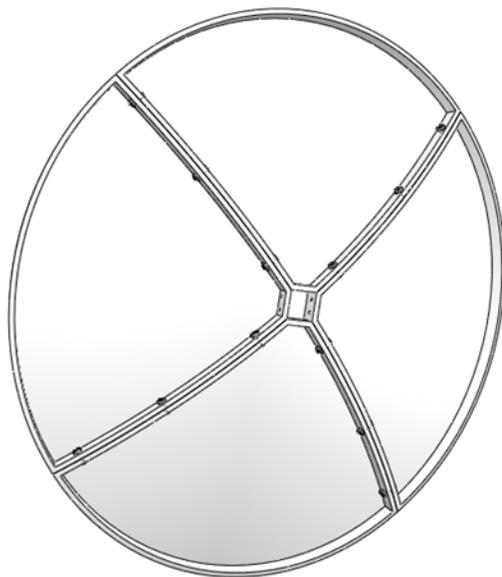


Figura 4.16: Ensamble de la Carcasa.

3. Una vez unidas las piezas, se inserta el orientador angular con respecto al sol de la carcasa, que va sujeto con el mismo tipo de tornillos que durante el proceso se han mencionado figura 4.17.

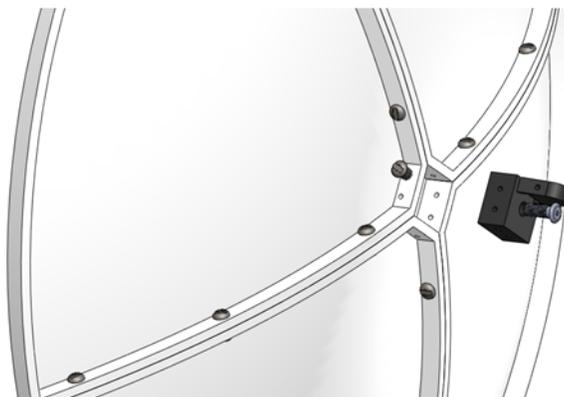


Figura 4.17: Ensamble del Orientador.

4. En la figura 4.18, se observa la instalación de la parrilla, con el soporte en forma de “Y” el cual se fija con un tornillo de 1/4” a la base del orientador angular.

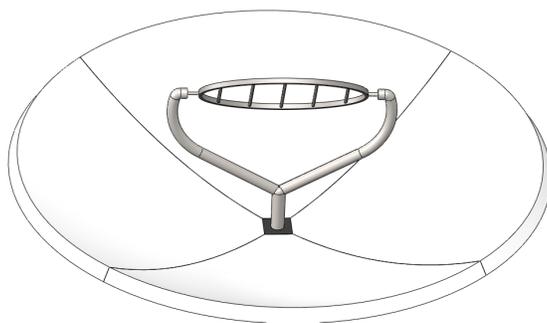


Figura 4.18: Ensamble de la Parrilla.

5. El orientador solar se instala en el soporte superior del tripié para su perfecta operación, como se muestra en la figura 4.19

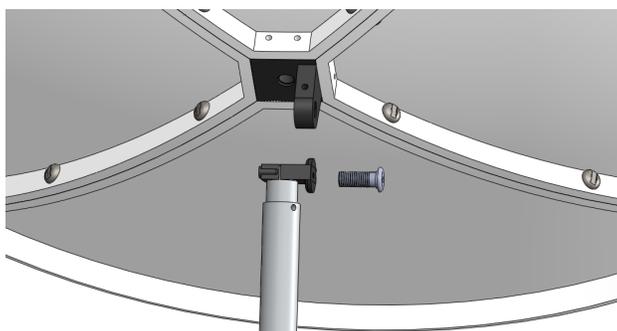


Figura 4.19: Ensamble de la Carcasa.

6. La operación del concentrador solar depende de una manija, ésta va ubicada en el orientador angular figura 4.20. Ésta es la forma en que se arma el concentrador solar sin que el usuario sufra algún riesgo.



Figura 4.20: Ensamble de la Manija.

7. Ahora se puede observar el concentrador en la figura 4.21 listo para empezar a usarlo.



Figura 4.21: Concentrador Solar Armado.

Una forma para facilitar el transporte del concentrador es el uso de una red, con la cual se puede llevar a cualquier lugar sobre cualquier mochila, como se puede observar en la figura 4.22.



Figura 4.22: Red de transporte para el Concentrador Solar.

4.8. Análisis de Resultados Térmicos

Es importante verificar que el área de este concentrador solar genere la potencia de energía que se pretende obtener, siendo al menos 1200 Watts. Con este primer parámetro de concentración de energía, tendríamos el equivalente a una hornilla de gas con una flama de intensidad media, alcanzando con ello temperaturas superiores a los 90°C , suficiente para cubrir los requerimientos del usuario.

4.8.1. Requerimientos para el Cálculo de la Potencia

Considerando que el diseño de este concentrador solar es portátil, y que la cantidad de energía que se requiere es para proporcionar temperaturas por encima de los 90°C , se realiza el diseño del concentrador solar en función del área de concentración y la cantidad de energía emitida por ésta.

4.8.2. Cálculo del Área de Concentración

El diseño del concentrador solar, debe permitir que 1 litro de agua se exponga como máximo 30 minutos en un área de 1 m^2 . Tomando en cuenta que el flujo de energía suministrado por una estufa convencional oscila entre 1200 y 1800 W, además de contar con quemadores de un diámetro de 15 a 20 cm; es decir, de un área de aproximadamente 0.0315 m^2 . Un valor medio de potencia, en una cocina convencional proporciona aproximadamente 1500 W en 0.0315 m^2 (que equivale a 47600 W/m^2), lo que significa 47 veces más flujo de energía que la que incide en la superficie terrestre debido al sol (considerando potencias máximas). Para lograr la cocción de los alimentos no es necesaria una potencia como los máximos proporcionados por una cocina convencional, en cambio, es posible cocinar a fuego lento (disminuir la potencia) y alargar los tiempos de cocción. Sin embargo, la potencia generada por los rayos solares es tan baja, que la exposición directa de los alimentos es insuficiente para cocinarlos. Es por esto que es necesario encontrar la manera de aumentar la densidad energética solar que reciban los alimentos, lo que se consigue con el uso de las Cocinas Solares[32].

Ésta es la razón primordial por la que se ha escogido construir el concentrador solar con las dimensiones adecuadas, y éstas puedan generar una concentración de tal magnitud permitiendo la rápida cocción de los alimentos. Cabe mencionar que el tiempo en el que se cuece la comida debe ser holgado debido al desprendimiento de propiedades de cada alimento. Por ejemplo, no es posible cocinar un pastel en un horno tan sólo en cinco minutos pues requiere de un proceso y una temperatura adecuada. Por ello, la potencia del concentrador estará controlada y sin pasarse de esta potencia, para permitir la perfecta cocción de los alimentos sin que se quemen o pierdan algunas de sus propiedades. Ha sido este el principal objetivo por el cual se utilizan dos límites que estén referenciados para poder tomar un parámetro relativo definiendo un límite superior e inferior y que oscile entre los 1000 y 1200 watts respectivamente. Por lo antes mencionado y basandose en las dimensiones propuestas al inicio de este capítulo se realizaron los cálculos necesarios sobre éstas así como la mejor ubicación del foco, que será el punto en el que se llevará a cabo la concentración de calor por medio de la cual la comida podrá ser guisada.

El parámetro principal para delimitar la cantidad de energía que se obtendrá son las dimensiones del concentrador solar. Estando en función del área calculada de acuerdo a las ecuaciones 4.3 y 4.4:

$$y^2 = 4PX \quad (4.3)$$

$$A = \int_a^b 2\pi f(x) \sqrt{1 + f'(x)^2} dx \quad (4.4)$$

Con estas ecuaciones se determinan las dimensiones del paraboloide, de tal forma que la concentración de potencia solar se pueda ubicar en el foco del paraboloide. La ecuación matemática de una parábola con vértice en el origen está dada por la ecuación: 4.3 de donde la relación de amplitud y posición del foco está dada por: $4P$ [33]. Para encontrar el área de este perfil cónico se hará girar dicho perfil para poder calcular el área de la superficie mediante la ecuación 4.4 [34], y con los datos técnicos³ del proveedor del material conocer acertadamente el área requerida y la ubicación más idónea del foco para que la concentración de energía en el foco sea máxima. Para ello se utilizará la ecuación de la parábola (ecuación 4.3), utilizando las dimensiones del paraboloide, las cuales se convertirán en coordenadas ubicando el vértice en el origen. Con un punto ubicado en la periferia del paraboloide se determinará la posición del foco, las coordenadas serían las siguientes:

(0,0) para el vértice y (500, 183) para un punto en la periferia del paraboloide, haciendo uso de la ecuación 4.3, se ha determinado la coordenada del foco (P) ecuación 4.5

$$(x - h)^2 = 4P(y - k) \quad (4.5)$$

De la ecuación 4.5 despejamos P. Obteniendo la ecuación 4.6

$$P = \frac{(x - h)^2}{4(y - k)} \quad (4.6)$$

El punto en la periferia se asignará a “x” e “y”, el vértice para “h” y “k”. Con lo anterior, donde $h= 500$, $k=183$ y para x e $y = 0$; sustituyendo estos valores se determina la ubicación del foco que tiene coordenadas (0, 400).

De la coordenada anterior se puede encontrar la ecuación de la parábola con vértice en el origen, de la cual se obtuvo la ecuación 4.16, en donde $P = 400^4$.

³Datos Técnicos: índice de refracción del material, peso y calibre

⁴ P: Se denomina distancia focal

$$y = \frac{x^2}{1600} \quad (4.7)$$

Con ayuda de la ecuación 4.4 se obtiene el área de la superficie del paraboloides completo. La cual tiene 1.8 m^2 de superficie, los cálculos se muestran a continuación.

en donde:

$$f(x) = \frac{x^2}{1600} \quad (4.8)$$

$$f'(x) = \frac{x}{800} dx \quad (4.9)$$

Sustituyendo la ecuación 4.8 y 4.9 en la ecuación 4.4 obtenemos la ecuación 4.10, donde $a=0$ y $b=5$, límites inferior y superior respectivamente, utilizando 5 en vez de 500 para hacer más simples los cálculos.

$$A = \int_0^5 2\pi \left(\frac{x^2}{1600}\right) \sqrt{1 + \left(\frac{x}{800}\right)^2} dx \quad (4.10)$$

Dado que se observan radicales en la integral de la ecuación 4.10, se hará uso de un método de integración llamado sustitución trigonométrica, haciendo uso de este obtenemos la ecuación 4.13, en donde se sustituye:

$$x = 800 \tan\theta$$

$$dx = 800 \sec^2\theta d\theta$$

Sustituyendo y simplificando se tiene:

$$A = \int_0^5 800^2 \pi \tan^2\theta \sec^3\theta d\theta \quad (4.11)$$

Aplicando identidades trigonométricas se obtiene la ecuación 4.12

$$A = \int_0^5 800^2 \pi (\sec^5 \theta - \sec^3 \theta) d\theta \quad (4.12)$$

Resolviendo se tiene:

$$\int_0^5 800^2 \pi \tan^2 \theta \sec^3 \theta d\theta \quad (4.13)$$

Aplicando la identidad trigonométrica de la \tan^2 se obtiene la ecuación 4.14

$$A = \int_0^5 800^2 \pi (\sec^5 \theta - \sec^3 \theta) d\theta \quad (4.14)$$

Resolviendo la ecuación 4.14 se obtiene la ecuación 4.15

$$A = 800^2 \pi \left(\frac{\sec^4 \theta}{4} + \frac{3 \sec^2 \theta}{8} - \frac{\sec \theta}{2} \right) \Big|_0^5 \quad (4.15)$$

Resolviendo lo anterior se obtiene el área de la carcasa la cual es de aproximadamente 1.8 m^2 .

4.8.3. Criterios para la Obtención de la Potencia

En esta sección retomamos la metodología de Paul Funk para el cálculo de la potencia del concentrador solar. De la tabla 4.13, se obtiene la variación calórica.

En cuanto a la potencia de cocción, P_c . El cambio en la temperatura del agua debe ser multiplicado por la masa en kilogramos y calor específico del agua $4186 \text{ [J/kg } ^\circ\text{C]}$ dividiendo entre el tiempo de exposición en segundos para obtener la potencia en Watts y de esta forma se obtiene la tabla 4.14, utilizando las ecuaciones 4.16 y 2.12

Tabla 4.13: Tabla de Variación Calórica

Tiempo (min)	Temp. Ini ($^{\circ}C$)	Temp. Final ($^{\circ}C$)	Dt ($^{\circ}C$)	Potencia
00	25	30	5	62.79 Watts
05	30	35	5	74.09 Watts
10	35	41	6	87.43 Watts
15	41	48	7	103.17 Watts
20	48	57	9	121.74 Watts
25	57	67	10	143.65 Watts
30	67	80	12	169.51 Watts
35	80	94	14	200.02 Watts
40	94	111	17	236.02 Watts
45	111	131	20	278.50 Watts
50	131	154	24	328.63 Watts
55	154	182	28	387.79 Watts
60	182	215	33	457.81 Watts

Tabla 4.14: Diferencias de Temperatura Agua Vs Ambiente en $^{\circ}C$

Temperatura del Agua	Temperatura Ambiente	Diferencia de Temperatura
30	25	5
35	25	10
41	25	16
48	25	23
57	25	32
67	25	42
80	25	55
94	25	69
111	25	86
131	25	106
154	25	129
182	25	157

Por último para graficar la potencia estándar de cocción [W] contra la diferencia de temperatura [°C] para cada intervalo.

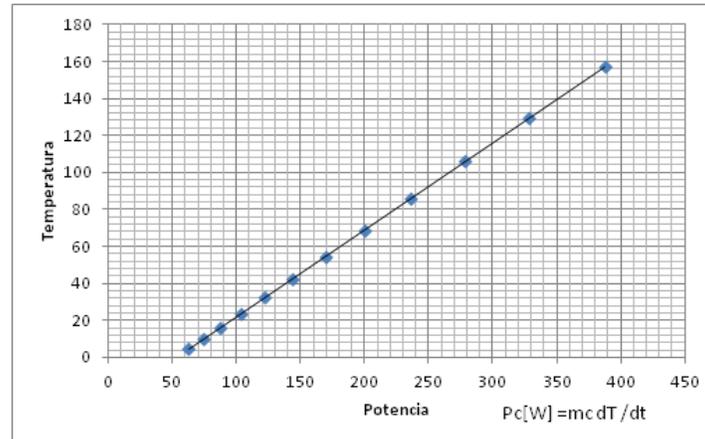


Figura 4.23: Relación Potencia Temperatura.

4.8.4. Eficiencia

En esta parte, teniendo en cuenta el balance térmico y conociendo la cantidad de calor que se pierde en el proceso, el cálculo de la eficiencia sería el siguiente [35].

$$n = 100 * \frac{E_{Ent} - Prd}{E_{Ent}} \quad (4.16)$$

De esta ecuación, sustituyendo los valores obtenidos anteriormente se obtiene:

$$n = 100 * \frac{1353W/m^2 - 189,42W/m^2}{1353W/m^2}$$

de donde $n = 86\%$.

El concentrador solar cuenta con una eficiencia del 86 %.

Lo siguiente se deriva de lo anterior:

$$Q = (1353 \text{ W}/m^2)(0.833)(A)$$

Utilizando estos parámetros se obtiene la siguiente tabla 4.15, en la cual podemos ver la cantidad de energía concentrada en función del área. Tomando en cuenta el índice de refracción del Mylar (0.833).

Tabla 4.15: Relación de Área y Potencia

Área en m^2	k constante solar	ϵ (Mylar)	Potencia en watts/ m^2
0.3	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	338.1147
0.45	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	507.17205
0.6	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	676.2294
0.75	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	845.28675
0.9	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	1014.3441
1.05	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	1183.40145
1.2	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	1352.4588
1.35	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	1521.51615
1.5	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	1690.5735
1.65	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	1859.63085
1.8	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	2028.6882
1.95	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	2197.74555
2.1	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	2366.8029
2.25	1353 W/ m^2	0.833 W/ $m^2\text{nm}$	2535.86025

Al reacomodar las ecuaciones 2.5, 2.6 y 2.7

Por lo tanto al sustituir los valores numéricos apropiados, encontramos

$$(209,3W/mK)\left(\frac{(T_1-373)K}{0,003m}\right) = (20W/m^2K)(373 - 298)K$$

$$+0,85(5,67 \times 10^{-8}W/m^2K^4)(373^4 - 298^4)K^4$$

$$= 1150,05W/m^2 + 652W/m^2$$

$$= 2152W/m^2$$

Resolviendo para T_1

$$\begin{aligned} T_1 &= 373K + \left(\frac{0,003m}{209,3W/mK}\right)(2152W/m^2) \\ &= 99,85^\circ C. \end{aligned}$$

Con este resultado se puede observar que al menos se requiere de $1.80 m^2$ de superficie para elevar la temperatura a $100^\circ C$, sería algo interesante mostrar en qué tiempo esta área y esta concentración de energía llegarían a la temperatura mencionada utilizando la ecuación de potencia y de calor específico ecuación (4.17 y 4.18) obtenemos el tiempo en el que un litro de agua llegaría a $100^\circ C$.

$$Q = \frac{q}{t} \quad (4.17)$$

$$q = mc\Delta T \quad (4.18)$$

De esta ecuación se obtiene que en al menos 24 minutos se hervirá un litro de agua.

4.9. Implementación del Sistema

Con el concentrador solar se han hecho pruebas de cocción de alimentos y calentamiento de agua, en la figura 4.24 se puede observar la cocción de un huevo estrellado y el calentamiento de agua en una tetera de aluminio como se muestra en la figura 4.25 así como el calentamiento de agua en una jarra de vidrio para cafetera tal como se puede observar en la figura 4.26.

En la cocción del huevo se utilizó un sartén de aluminio para observar el comportamiento de la concentración de energía; en un quemador de gas el tiempo para la cocción del huevo es de alrededor de 5 min, al utilizar el sartén de aluminio en el concentrador solar la cocción se llevó en alrededor de 15 min debido a que las propiedades de refracción del aluminio, muestran un muy pobre absorción de energía. Este experimento se realizó para comprobar la teoría que ronda sobre los colectores solares, en efecto al hacer cambio de sartén y utilizar un sartén de color negro el tiempo de exposición para este experimento fue muy cercano al del quemador de gas, no obstante se realizó, el mismo experimento con una tetera de aluminio y una de vidrio, donde el agua no llegó a hervir pero sí se observó un incremento de temperatura que no superó los $45^\circ C$.



Figura 4.24: Cocción de alimentos en un concentrador solar.

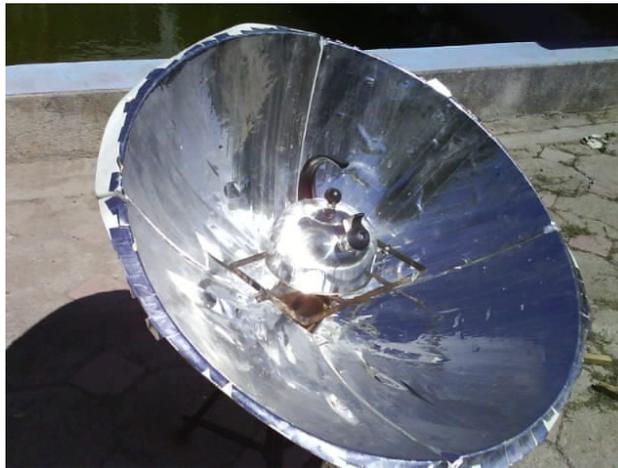


Figura 4.25: Calentamiento de agua en una tetera de aluminio en un concentrador solar.



Figura 4.26: Calentamiento de agua en una jarra de vidrio en un concentrador solar.

Retomando los experimentos realizados podemos concluir que el uso de la energía solar es altamente recomendable, si se cuenta con las condiciones adecuadas así como los utensilios adecuados para éste. Es importante mencionar que el recipiente en el cual se quiera calentar o bien hervir agua debe ser de color obscuro de preferencia negro, así se garantiza que la eficiencia de un concentrador solar será alta y rondará el 86 % como es el caso del que se realizó para este trabajo, alcanzando temperaturas superiores a los 200 °C.

Capítulo 5

Conclusiones

- Teniendo en cuenta los diversos experimentos sobre el uso de la energía solar se puede ver que un concentrador es capaz de generar una cantidad de energía más alta que la proporcionada por un quemador en una estufa de gas, debido a que la concentración se lleva a cabo de forma puntual, esto permite que la energía concentrada se reparta de forma uniforme sobre el recipiente en el cual se llevará a cabo la cocción.
- Para incrementar la eficiencia del concentrador se recomienda utilizar un recipiente que sea de color negro ya que de ser así éste absorberá la energía producida por él, de no ser así se perdería la energía al verse reflejada si se usa un recipiente de color suave o metálico.
- El área de la superficie parabólica a la cual denominamos carcasa permite concentrar la cantidad de energía suficiente para llegar al punto de ebullición del agua, con ello podemos asegurar la cocción de alimentos mediante este prototipo de concentrador solar.
- La geometría es importante ya que en este caso la energía se concentra en un punto permitiendo utilizarla.
- El tamaño sí es importante debido a que éste permite determinar si se puede llevar o no de un lugar a otro.
- El proceso de manufactura de este concentrador solar resulta ser muy práctico, además de ser muy fácil la reproducción de las piezas.
- La orientación con respecto al sol quedo resuelta, gracias a la manija la cual permite, alinearlo y obtener la mejor concentración de energía en cualquier día del año.
- El cálculo de área y de potencia se pudo corroborar y coincide con la metodología de Paul Funk, se pudo obtener una potencia de cocción es superior a los $2000 \text{ W}/\text{m}^2$.

-
- El uso de materiales en este caso polimeros permite la fácil transportación del concentrador solar, teniendo un peso en conjunto no mayor a los 6 Kg, cumpliendo con un requisito ergonómico relacionado al 10% de peso corporal de una persona.
 - El único inconveniente del uso de un concentrador solar es que sólo se puede hacer uso de él de día y además soleado, porque la presencia de nubes hace más lento el proceso o inclusive la cocción de los alimentos puede ser nula.
 - Por último se puede concluir que el desarrollo de un concentrador solar es una forma de apoyar a la conservación del planeta, una gran ventaja que se observa en este proceso es la cantidad de energía captada por el concentrador es directamente proporcional al área de la superficie del mismo.

Trabajos Futuros

Dentro de los implementos que se pueden realizar a este producto existe la implementación de un sistema mecatrónico para el seguimiento solar el cual hará más eficiente el sistema, permitiendo la automatización del concentrador solar, para aprovechar la energía durante el tiempo de exposición en conjunto de un control de temperatura y temporizador. De esta forma no se requiere vigilarlo constantemente, y así asegurar que se está trabajando con la temperatura adecuada. La única desventaja que se podrá presentar es el encarecimiento del producto.

Actualmente existe un concentrador solar que presenta un seguidor solar, que opera con una batería, el costo de éste oscila sobre los 120 y 200 dólares. El que se propone estaría alrededor de ese precio con la ventaja de que se puede controlar la temperatura y el tiempo de exposición, suponiendo que no lo haría en menos tiempo, pero si autómata, es decir sin supervisión, asegurando que lo que se decida hacer con el concentrador estaría controlado, tanto en tiempo de exposición como en temperatura máxima requerida.

Créditos de Imágenes

Figura 2.1 extraída de www.solarcooking.org/saussure.htm

Figura 2.2 extraída de www.terra.org/articulos/art01305.html

Figura 2.3 extraída de weblife.org/capturing_heat

Figura 2.4 extraída de http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FOUR_SOLAIRE_SUN_OVEN_HORNO_SOLAR.JPG?uselang=es

Figura 2.5 extraída de http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1088/html/colector_plano_1.jpg

Figura 2.6 extraída de <http://www.bricolaris.com/agua-caliente/colectores-solares/colector-solar-esferico-de-bubblesun.html>

Figura 2.7 extraída de <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cocinasolarcaja01.jpg?uselang=es>

Figura 2.8 extraída de <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sunstove-horno-solar.jpg?uselang=es>

Figura 2.9 extraída de <http://solarcooking.org/images/frobasket2.jpg>

Figura 2.10 extraída de http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Colector_parabolico.JPG?uselang=es

Figura 2.11 extraída de <http://solarcooking.org/images/PrinceIndia/Parabolic%20cooker%20Domestic.jpg>

Figura 2.12 extraída de <http://www.blogdequk.com/2011/07/el-comportamiento-de-la-radiacion.html>

Figura 2.13 fotografía tomada por el autor

Figura 2.14 fotografía tomada por el autor

Figura 2.15 extraída de <http://www.telemprendedores.org/satisfaccion-consumidor-modelo-n>

Figura 3.1 fotografía tomada por el autor

Figura 3.2 fotografía tomada por el autor

Figura 3.3 fotografía tomada por el autor

Figura 3.4 fotografía tomada por el autor

Figura 4.1 fotografía tomada por el autor

Figura 4.2 fotografía tomada por el autor

Figura 4.3 fotografía tomada por el autor
Figura 4.4 fotografía tomada por el autor
Figura 4.5 fotografía tomada por el autor
Figura 4.6 fotografía tomada por el autor
Figura 4.7 fotografía tomada por el autor
Figura 4.8 fotografía tomada por el autor
Figura 4.9 fotografía tomada por el autor
Figura 4.10 fotografía tomada por el autor
Figura 4.11 fotografía tomada por el autor
Figura 4.12 fotografía tomada por el autor
Figura 4.13 fotografía tomada por el autor
Figura 4.14 fotografía tomada por el autor
Figura 4.15 fotografía tomada por el autor
Figura 4.16 fotografía tomada por el autor
Figura 4.17 fotografía tomada por el autor
Figura 4.18 fotografía tomada por el autor
Figura 4.19 fotografía tomada por el autor
Figura 4.20 fotografía tomada por el autor
Figura 4.21 fotografía tomada por el autor
Figura 4.23 fotografía tomada por el autor
Figura 4.24 fotografía tomada por el autor
Figura 4.25 fotografía tomada por el autor
Figura 4.26 fotografía tomada por el autor

Créditos de Tablas

Tabla 3.1 tabla hecha por el autor

Tabla 3.2 tabla hecha por el autor

Tabla 3.3 tabla hecha por el autor

Tabla 4.2 tabla hecha por el autor

Tabla 4.3 tabla hecha por el autor

Tabla 4.4 tabla hecha por el autor

Tabla 4.5 tabla hecha por el autor

Tabla 4.6 tabla hecha por el autor

Tabla 4.7 tabla hecha por el autor

Tabla 4.8 tabla hecha por el autor

Tabla 4.9 tabla hecha por el autor

Tabla 4.10 tabla hecha por el autor

Tabla 4.11 tabla hecha por el autor

Tabla 4.12 tabla hecha por el autor

Tabla 4.13 tabla hecha por el autor

Tabla 4.14 tabla hecha por el autor

Tabla 4.15 tabla hecha por el autor

Apéndices

Apéndice A

Mapas Solares

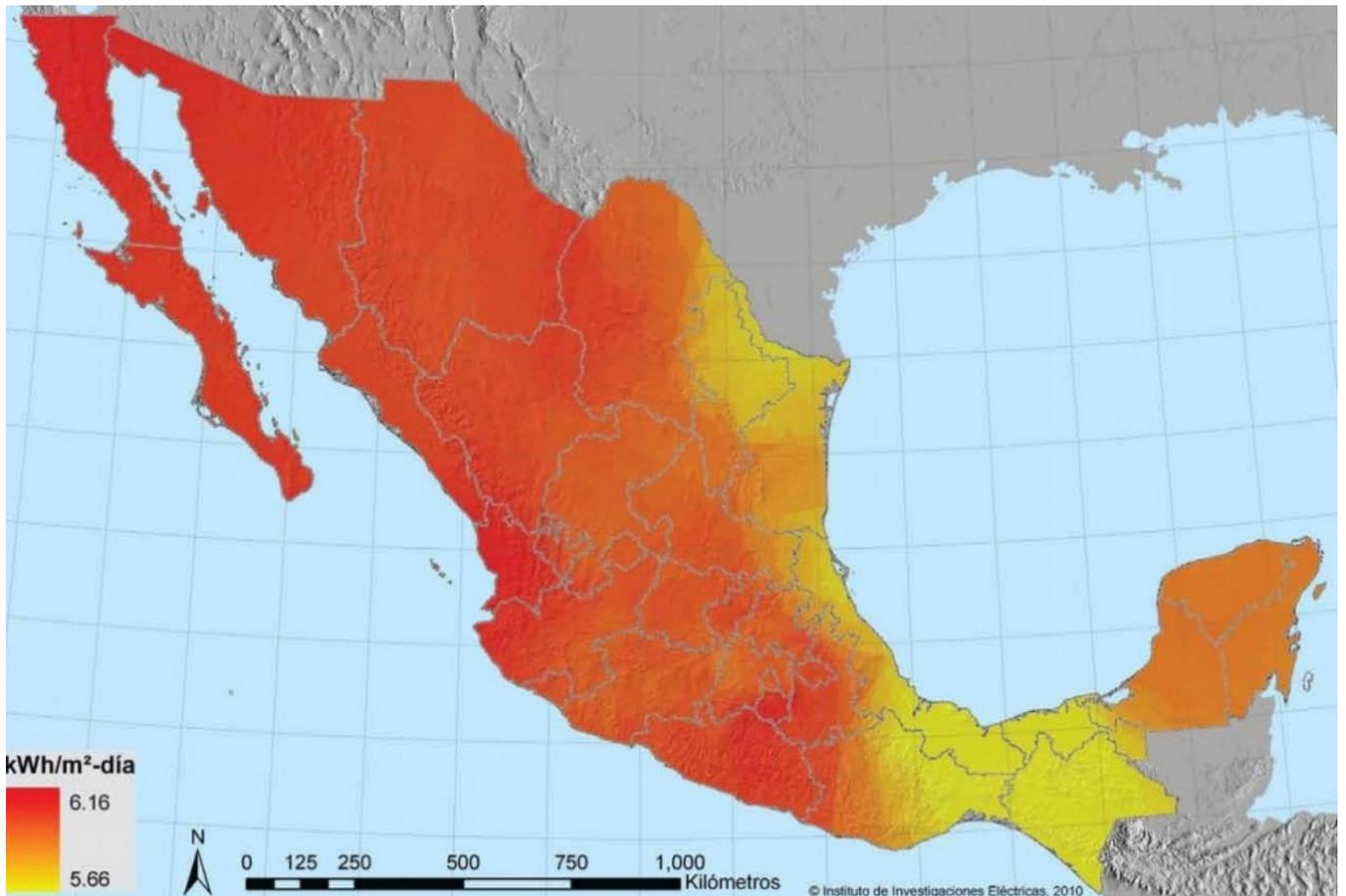


Figura A.1: Radiación Solar Diaria.

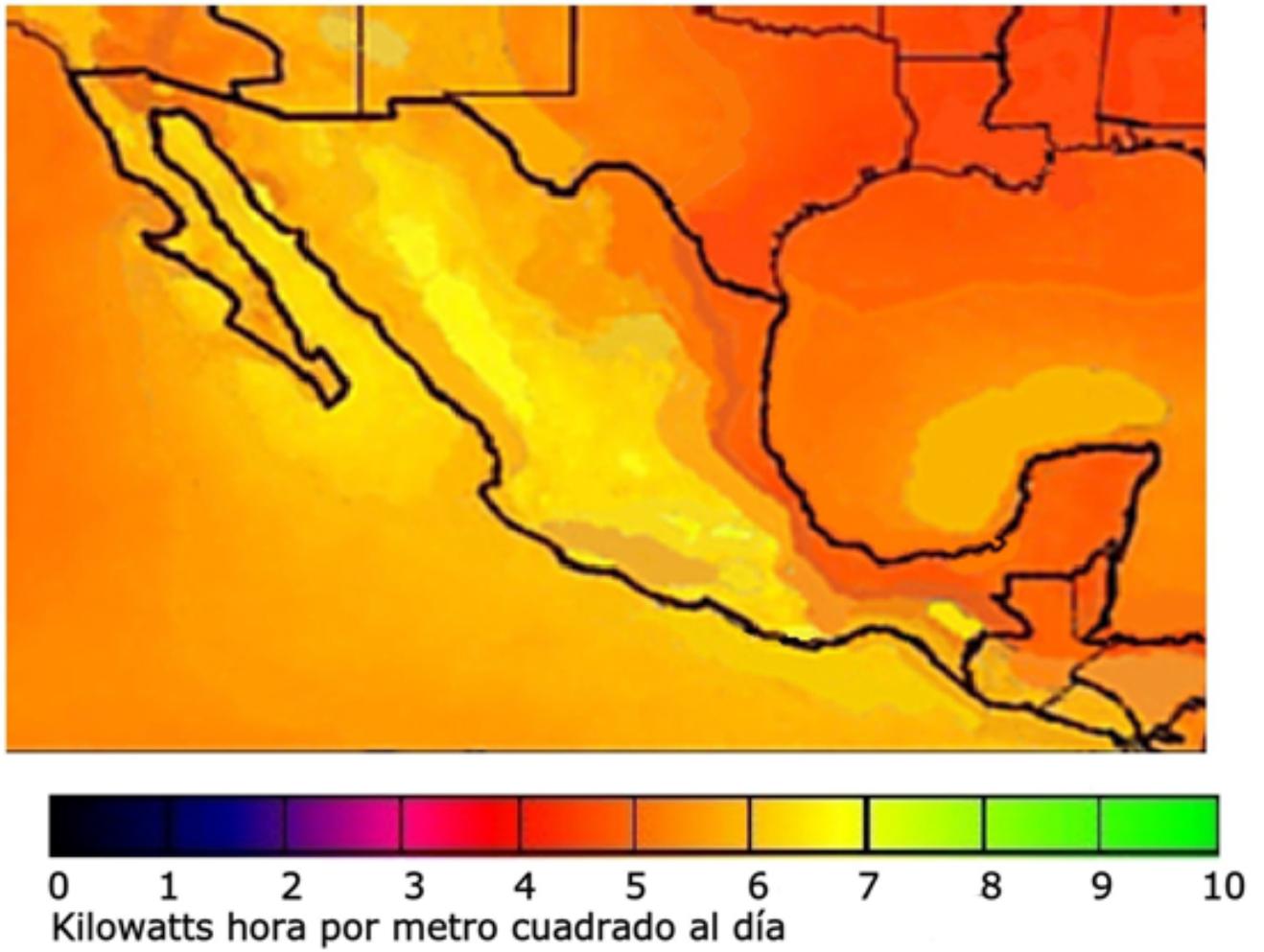


Figura A.2: Insolación Anual.

Apéndice B

Planos Constructivos

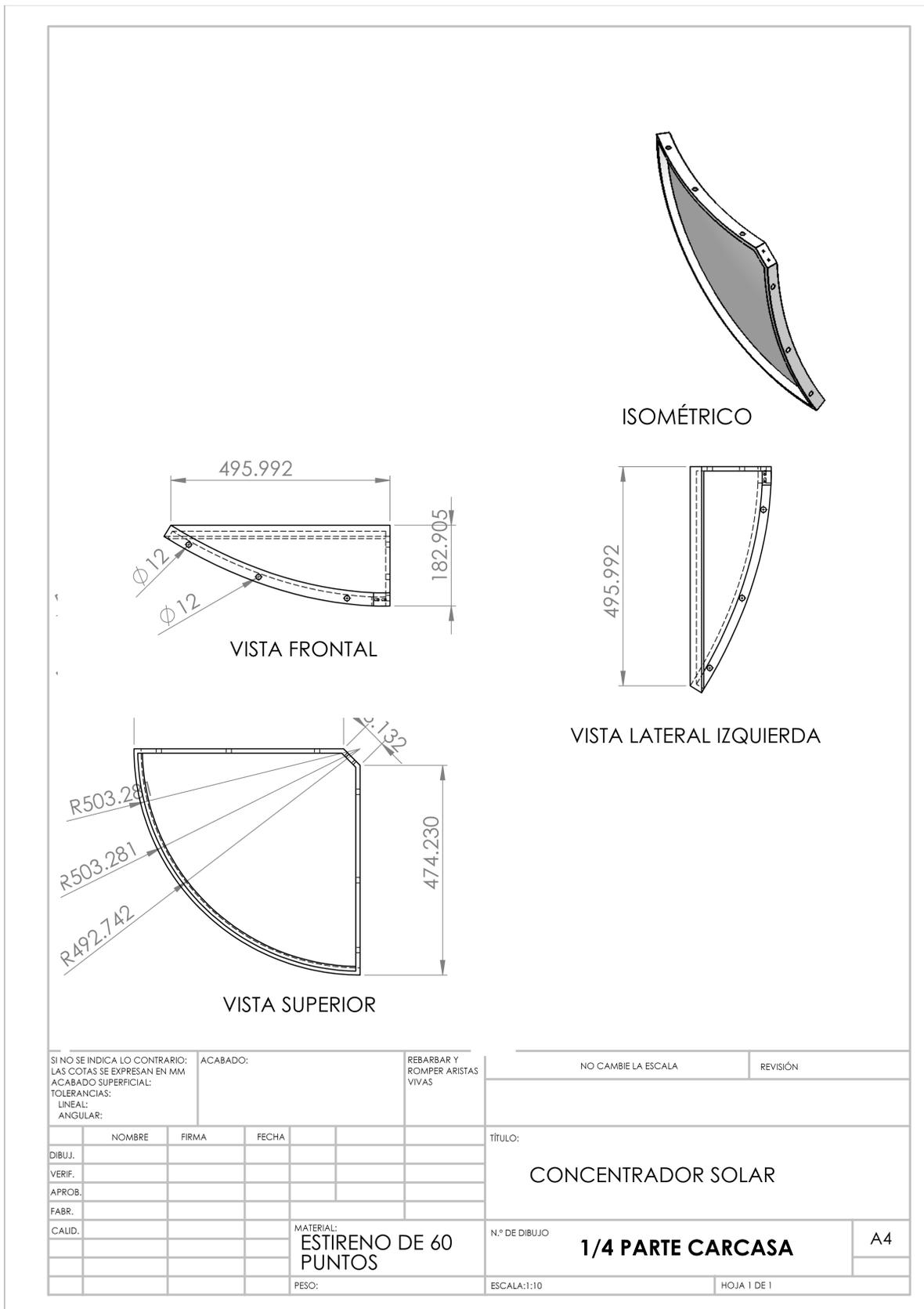


Figura B.1: Plano 1/4 Parte Carcasa

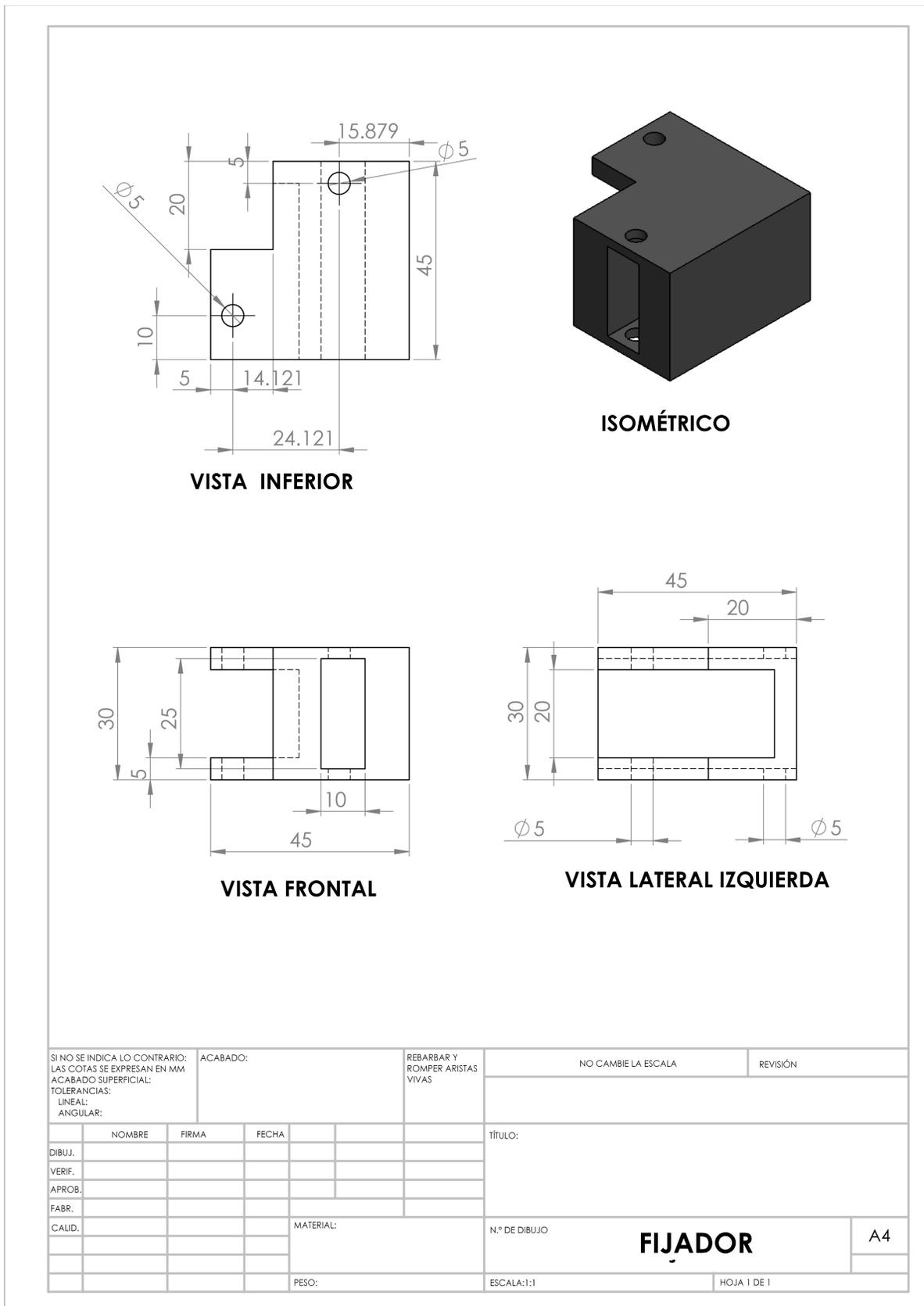


Figura B.2: Plano Fijador

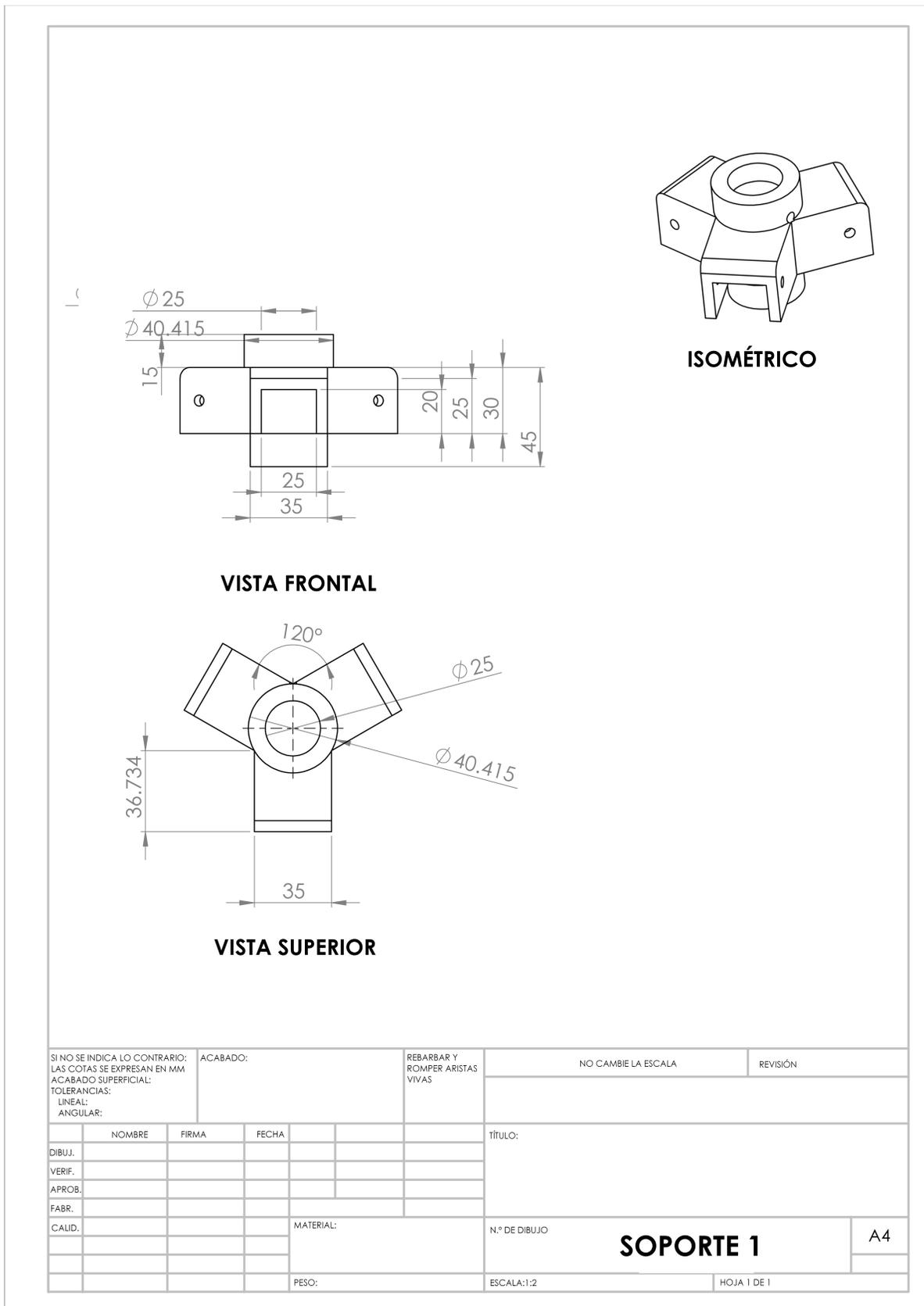


Figura B.3: Soporte 1

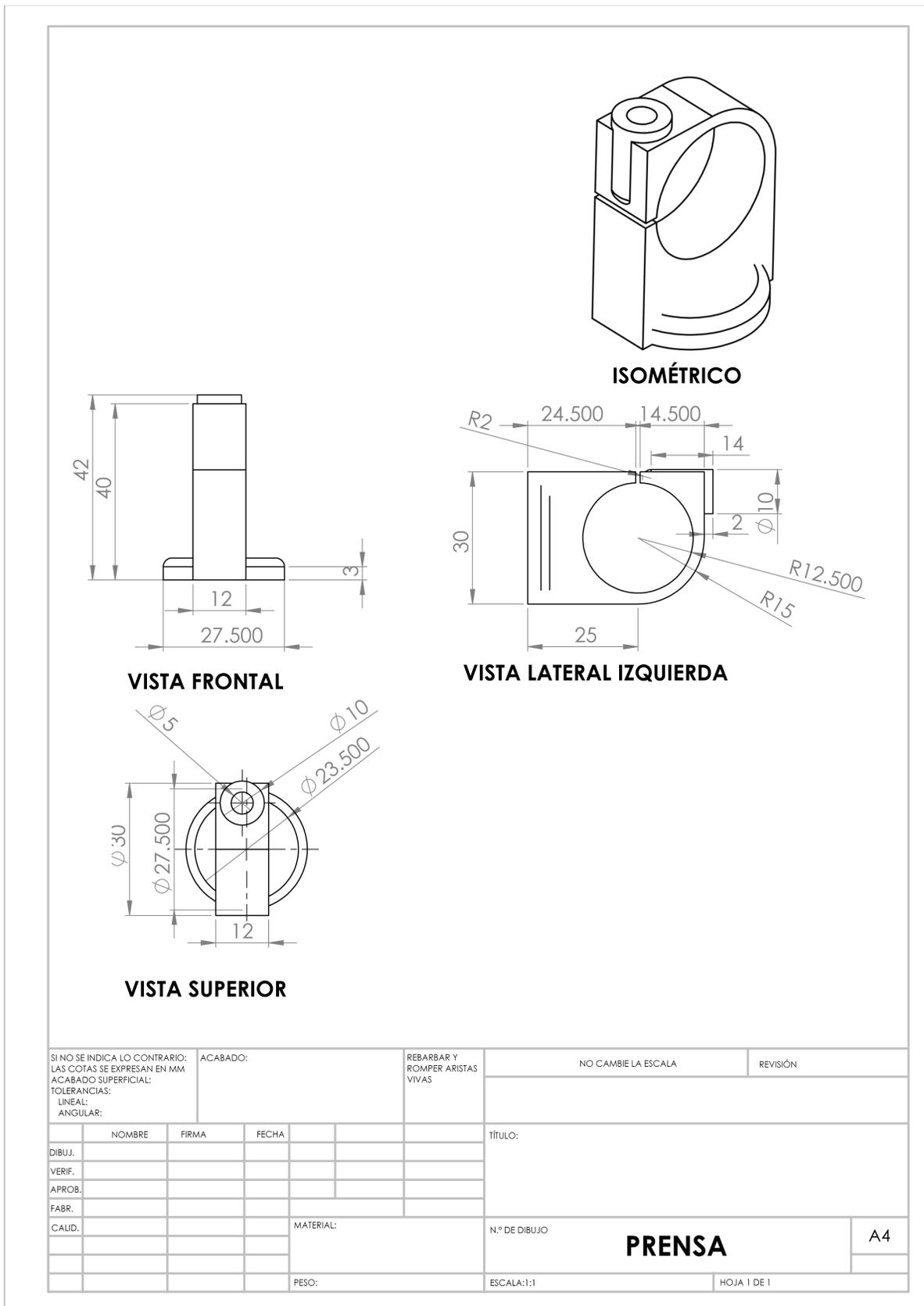


Figura B.4: Plano Prensa

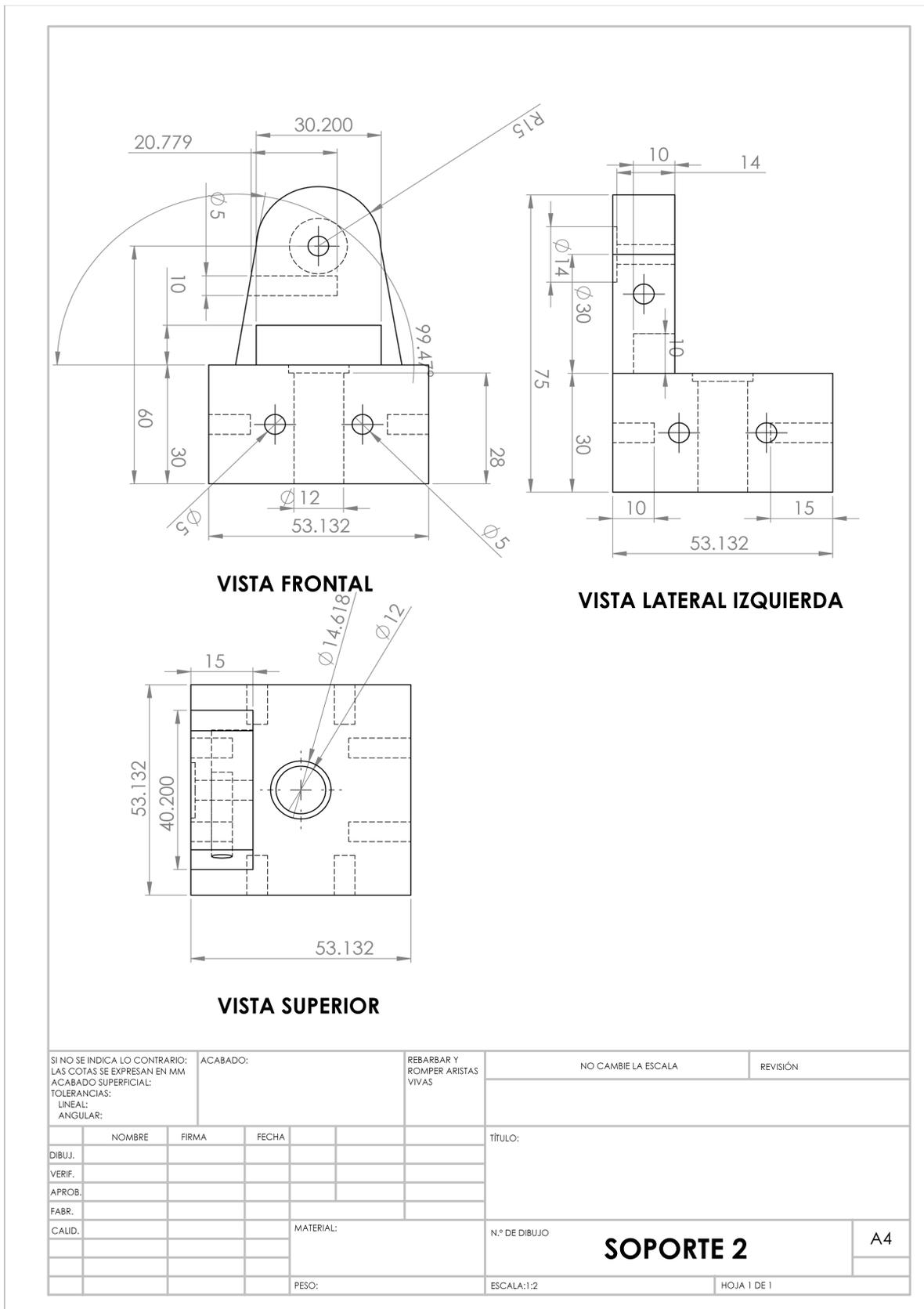


Figura B.5: Plano Soporte 2

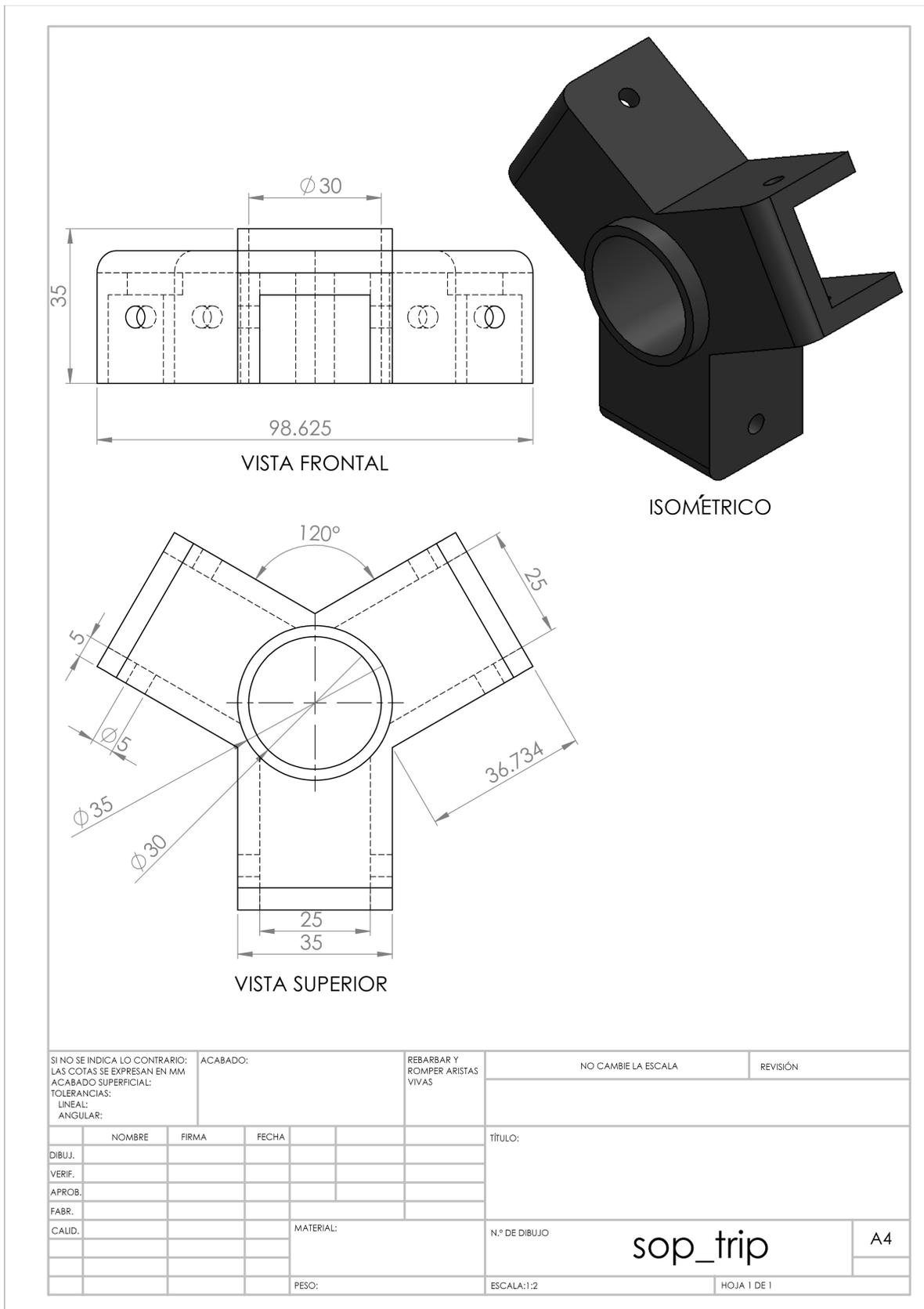


Figura B.6: Plano Soporte Tripié

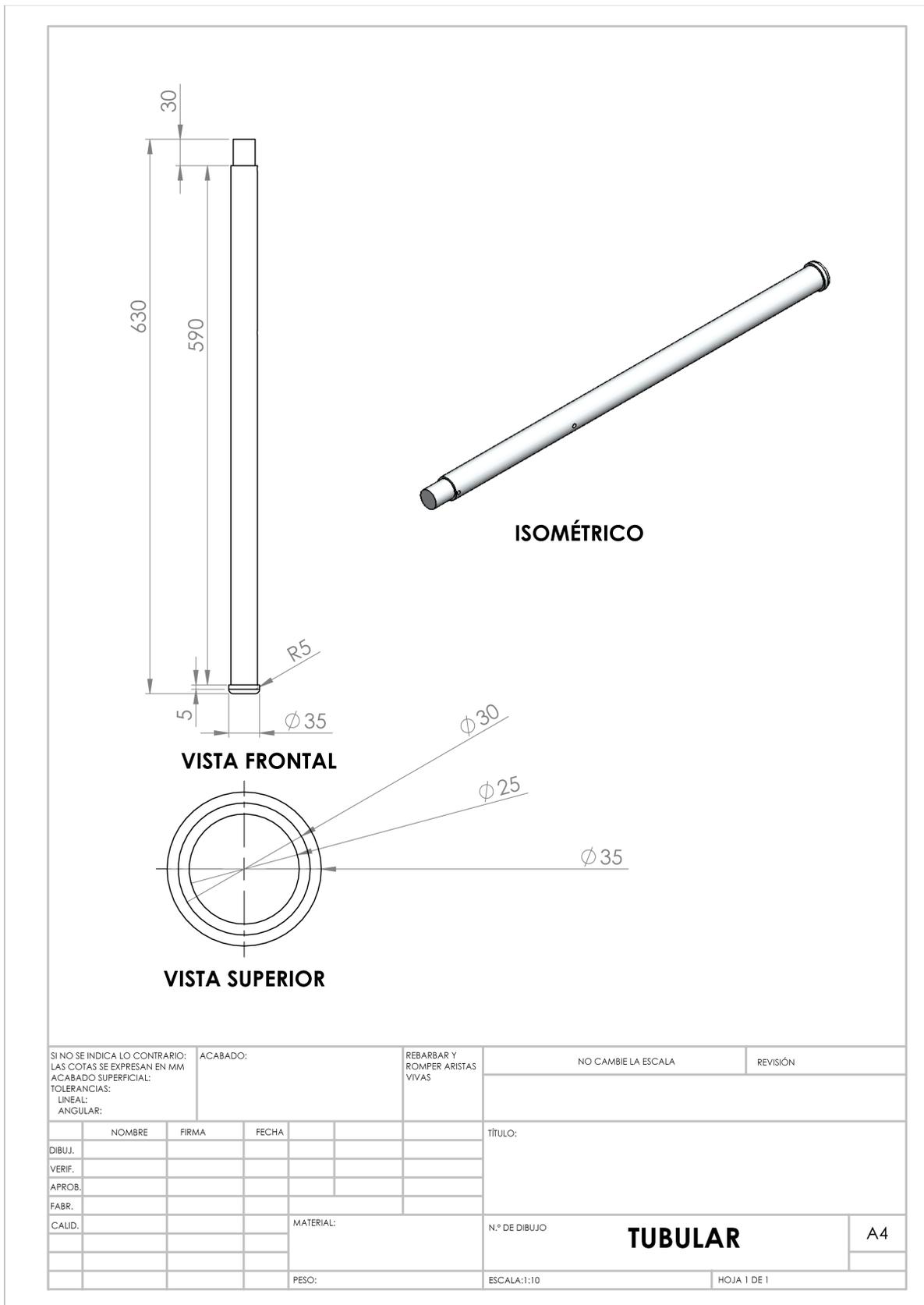


Figura B.7: Plano Tubular

Bibliografía

- [1] A. Padilla and P. Stefanoni. ¿ cuál es el juego de las petroleras, 2005.
- [2] M.P.R. Lima, A.M.V.M. Soares, and S. Loureiro. Combined effects of soil moisture and carbaryl to earthworms and plants: Simulation of flood and drought scenarios. *Environmental Pollution*, 2011.
- [3] H. Suharta, K. Abdullah, and A. Sayigh. The solar oven: development and field-testing of user-made designs in indonesia. *Solar energy*, 64(4):121–132, 1998.
- [4] M. Telkes. Thermal storage for solar heating and cooling. In *Proc. Workshop on solar energy storage subsystem for the heating and cooling of buildings*, pages 17–23, 1975.
- [5] J. Tonda and A.R. García. *El oro solar y otras fuentes de energía*. Fondo de Cultura Económica, 2000.
- [6] C.L.V. year=2008 Bernal. El petróleo como negocio.
- [7] HC Müller and T.L.V. Bustamante. "uso de combustible vegetal y su disminución mediante aprovechamiento de energía solar". *Fundación Ecoandina, Salta, Argentina*, page 26, 1998.
- [8] S. Nandwani. Energía solar. conceptos básicos y su utilización. *Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica)*. Jun, 2005.
- [9] CEUTA. Centro Uruguayo De Tecnologías Apropriadas. La cocina solar. 2006.
- [10] K. Janampa Quispe, O. Cerón Balboa, N.E. Cortez Ledesma, J. Oré García, and O. Morales Morales. Construcción y optimización de un módulo solar multipropósito para ayacucho. 2011.
- [11] P.D.E.E. SOLAR. *COCINAS SOLARES MANUAL DE USO Y CONSTRUCCIÓN*. 1994.
- [12] R. Winston. Principles of solar concentrators of a novel design. *Solar Energy*, 16(2):89–95, 1974.

-
- [13] PA Funk and DL Larson. Parametric model of solar cooker performance. *Solar energy*, 62(1):63–68, 1998.
- [14] SC Mullick, TC Kandpal, and AK Saxena. Thermal test procedure for box-type solar cookers+. *Solar Energy*, 39(4):353–360, 1987.
- [15] L.E. Hunt. Means for concentrating solar energy, January 21 1964. US Patent 3,118,437.
- [16] A.O. Dandini. Spherical system for the concentration and extraction of solar energy, January 27 1976. US Patent 3,934,573.
- [17] H. Steinberg. Solar oven, August 18 1981. US Patent 4,284,071.
- [18] H. Müller-Steinhagen. Concentrating solar power. *References Industrial Engineering*, 2004.
- [19] J.A. Duffie and W.A. Beckman. Solar engineering of thermal processes. *NASA STI/Recon Technical Report A*, 81:16591, 1980.
- [20] HG Riveros and AI Oliva. Graphical analysis of sun concentrating collectors. *Solar energy*, 36(4):313–322, 1986.
- [21] S.A. Kalogirou. Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30(3):231–295, 2004.
- [22] F. Franceschini and M. Terzago. An application of quality function deployment to industrial training courses. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 15(7):753–768, 1998.
- [23] E. Yacuzzi and F. Martín. Aplicación del método de kano en el diseño de un producto farmacéutico. *Fecha de consulta*, 20, 2002.
- [24] C.T. Quezada. Desarrollo de un modelo de valor para clientes de un producto inmobiliario mediante la metodología de kano.
- [25] R.A.F. REYES. Metodologías de análisis térmico de sistemas de coccion solar tipo horno.
- [26] Y. Akao. *Quality function deployment: integrating customer requirements into product design*. Productivity Pr, 2004.
- [27] F.T. Enríquez, A.J. Osuna, and V.G. Bosch. Prioritising customer needs at spectator events: Obtaining accuracy at a difficult qfd arena. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(9):984–990, 2004.

-
- [28] D.P. Clausing and Massachusetts Institute of Technology. Center for Advanced Engineering Study. *Enhanced Quality Function Deployment (EQFD)*. Massachusetts Institute of Technology, MIT Center for Advanced Engineering Study, 1992.
- [29] Steady growth. Steady growth for grp in europe, reinforced plastics. page 14, 2005.
- [30] LS Sutherland and C. Guedes Soares. Effects of laminate thickness and reinforcement type on the impact behaviour of e-glass/polyester laminates. *Composites science and technology*, 59(15):2243–2260, 1999.
- [31] R. Echazú, C. Cadena, and L. Saravia. Estudio de materiales reflectivos para concentradores solares. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4:08–11, 2000.
- [32] M. Telkes. Solar cooking ovens. *Solar Energy*, 3(1):1–11, 1959.
- [33] C.H. Lehmann. *Geometría analítica*. 1993.
- [34] E.W. Swokowski and J.L. Abreu. *Cálculo con geometría analítica*. Grupo Editorial Iberoamérica, 1989.
- [35] M.A. Golato, F.J. Franck Colombres, G. Aso, C.A. Correa, and D. Paz. Metodología de cálculo de la eficiencia térmica de generadores de vapor. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 85(2):17–31, 2008.