

**DISEÑO DE UNA COCINA SOLAR PARA ACTIVIDADES DE CAMPING O
AFINES**

Luis Carlos Monsalvo L.
Código. 200310082085

Oscar Hernando Zamora Z.
Código. 200310023085

Universidad EAFIT.
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Diseño de producto.
Medellín
2009

**DISEÑO DE UNA COCINA SOLAR PARA ACTIVIDADES DE CAMPING O
AFINES**

Luis Carlos Monsalvo L.
Código. 200310082085

Oscar Hernando Zamora Z.
Código. 200310023085

Trabajo de grado presentado para optar al título de:
Ingeniería de diseño de producto

Asesor:

Luis Santiago Paris.
Ingeniero Mecánico.

Docente Departamento de Ingeniería de Producción
Universidad EAFIT

Universidad EAFIT.
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Diseño de producto.
Medellín
2009

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado.

Firma del Jurado.

Firma del Jurado.

Firma del Jurado.

Medellín, Octubre 13 de 2009

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

El señor Camilo Jaramillo, director de operaciones de Hybrytec S.A, por permitirnos acceder a información relevante sobre el uso específico de energías renovables.

Al señor Juan Alejandro García, docente del departamento de Ingeniería de diseño de producto, por su colaboración en el adelanto de las gestiones requeridas para hacer uso de los laboratorios y talleres de la universidad.

Al señor Juan Felipe Valencia, especialista en Inyección de materiales poliméricos, por suministrar información relevante y esencial asociada a este tipo de proceso.

A Luis Santiago París, asesor de este trabajo, por su compromiso, colaboración y valiosas orientaciones.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE ANEXOS DIGITALES.....	viii
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
1. JUSTIFICACION.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
3. MARCO TEÓRICO.....	8
3.1 Revisión de literatura.....	8
3.2. Acerca de las cocinas solares.....	12
La radiación solar y la energía térmica solar.....	12
Las cocinas solares.....	15
Elementos constitutivos de las cocinas solares tradicionales.....	16
Principios de funcionamiento.....	18
Tipos de cocinas solares.....	18
Cocinas solares tipo caja.....	28
Cocinas solares concentradores.....	29
Cocinas solares indirectas.....	30
4. METODOLOGÍA SUGERIDA.....	32
5. ANÁLISIS DEL USUARIO.....	40
Estilo de vida.....	43
Emoción.....	44
Tema visual.....	44
Identificación de los deseos y demandas.....	45
Descripción de tipos de alimentos y temperaturas necesarias de cocción.....	46
Análisis de la competencia directa – Estado del Arte.....	48
6. ANALISIS FUNCIONAL.....	50
7. ASPECTOS DE ERGONOMÍA.....	57
Posición del usuario.....	57
Área de alcance.....	59
Agarraderas.....	59
Señales indicativas.....	60
Brillo máximo tolerado.....	61
8. DISEÑO CONCEPTUAL.....	62
Especificaciones de diseño de producto.....	62
Definición de la caja Negra del producto.....	62
Identificación de las entradas del sistema.....	63
Identificación de las salidas del sistema.....	63
Desarrollo de la estructura funcional.....	64
Arquitectura del producto.....	65
Agrupación de los elementos del diagrama esquemático.....	65
Matriz morfológica.....	66
Interacciones fundamentales.....	67
Interacciones incidentales.....	67

	Disposiciones geométricas.....	68
9.	DISEÑO FORMAL Y GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS	70
	Síntesis formal del producto.....	70
	Selección del referente formal.....	70
	Análisis emocional del producto	74
	Generación y evaluación de alternativas.....	79
	Generación preliminar de alternativas.....	79
	Re-contextualización del referente formal	80
	Evaluación de alternativas.	83
	Selección del método de evaluación	83
	Evaluación de alternativas	86
	Selección alternativa final de solución.....	88
	Consolidación de la alternativa final de solución	91
	Planos de taller y cartas de proceso del producto.....	94
10.	DISEÑO DE DETALLE DEL PRODUCTO	95
	Definición del volumen del contenedor principal	95
	Diámetro y altura del contenedor principal.	96
	Ángulos de desmoldeo.....	97
	Acabado superficial	98
	Casquetes parabólicos.....	99
11.	ESTUDIO DE MATERIALES.....	101
	Traducción.....	101
	Contenedor principal	101
	Tapa inferior	102
	Soporte para el disco parabólico	102
	Cubierta principal	102
	Casquetes reflectivos	103
	Búsqueda, selección y ranking.....	103
	Contenedor principal	103
	Cubierta del contenedor principal.....	104
	Tapa superior e inferior	106
	termoplásticos	106
	Cubierta principal	109
	Soporte parábolas	110
	Casquetes	111
12.	ANÁLISIS TÉRMICO.....	112
	Propiedades de los materiales.	112
	Condiciones de frontera.	113
	Análisis de resultados	114
	Rediseño	115
13.	PERFIL AMBIENTAL DEL PRODUCTO.....	118
	Definición del ciclo de Vida del Producto	118
	Cálculo de la Huella de Carbono del producto	120
	Tipo de sistema.....	120
14.	PRUEBAS DE CONCEPTO Y PRUEBAS DE USUARIO	121
	Prueba de la cocina solar sin casquetes parabólicos.....	121

___ Pruebas de cocina solar con el disco parabólico.....	124
CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	134
FUENTES DE INTERNET	142

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Zonas No Interconectadas en Colombia	5
Figura 2. Nivel de radiación promedio para el mes de marzo según el atlas de radiación solar en Colombia	13
Figura 3. a) Diagrama de funcionamiento de una cocina solar tipo caja. b) Ejemplo de una cocina solar tipo caja	28
Figura 4. a) Diagrama del principio de concentración, b) Ejemplo de una cocina solar parabólica o tipo concentradora.....	30
Figura 5. a) Diagrama del principio de funcionamiento, b) Ejemplo de una cocina solar indirecta con colector solar	31
Figura 6. Proceso Metodológico. Adaptación de la metodología de Ulrich y Eppinger, Cross y TU Delft vs Objetivos del proyecto	33
Figura 7: Identificación de las necesidades del cliente	34
Figura 8: Diseño Conceptual y Formal.....	35
Figura 10. Selección del concepto	36
Figura 11. Diseño de detalle	37
Figura 12. Construcción del prototipo	37
Figura 13. Implicaciones ambientales	38
Figura 14. Evaluación del producto.....	39
Figura 15. Estructura General de los Scout	42
Figura 16. “Boards” de usuario según Baxter	43
Figura 17. “Boards” de usuario- a) Estilo de vida. b) Emoción.....	44
Figura 18. “Boards” de usuario – Tema visual	45
Figura 19. Morral para camping de 55 litros.....	46
Figura 20. Tipos de cocinas empleadas durante el ensayo de desempeño.....	50
Figura 21. Registro de temperaturas obtenidas durante los días de ensayo.	51
Figura 22. Modelo de celda fotovoltaica empleada como piranómetro, para establecer el índice aproximado de la intensidad de radiación solar presente en los días de ensayo.....	52
Figura 23. Montaje de ambos tipos de cocinas y dispositivos de medición para realización del ensayo	53
Figura 24. Análisis gráfico de los resultados obtenidos del ensayo comparativo de ambos modelos de cocinas	53
Figura 25. Variación del índice de radiación durante los ensayos comparativos de los días 17 y 18 de marzo de 2009.....	54
Figura 26. Diagrama de áreas de captación y recepción de los dispositivos empleados	55
Figura 27. Dimensiones especiales para espacios reducidos.....	59
Figura 28. Área norma y máximo en el plano horizontal	60
Figura 29. Caja negra de la cocina solar.....	63
Figura 30. Estructura funcional de la cocina solar	64
Figura 31. Agrupación de las sub-funciones por componentes	65
Figura 32. Matriz morfológica.....	66
Figura 33. Caminos solución de la Matriz morfológica.....	67
Figura 34. Interacciones Fundamentales de la Cocina Solar.....	68

Figura 35. Interacciones incidentales entre los diferentes componentes de la cocina solar	69
Figura 36. Disposiciones geométricas identificadas para el diseño del producto ..	69
Figura 37. Collage de elementos asociados a la emoción.....	70
Figura 38. Exterior e interior del referente formal seleccionado.....	71
Figura 39. Exploración formal	72
Figura 40. Abstracción formal	73
Figura 41. Colores y texturas características del referente formal seleccionado ...	73
Figura 42. Esquema de las relaciones más comunes a los niveles emocionales.	75
Figura 43. Evaluación de atributos de productos alternativos para la cocción de alimentos durante actividades de camping.....	77
Figura 44. Resultados obtenidos para la etapa inicial de lluvia de ideas	80
Figura 45. Desarrollo de conceptos preliminares de solución.....	81
Figura 46. Ejemplos de los referentes tomados para rediseño del producto	81
Figura 47. Alternativas finales de solución.....	82
Figura 48. Matriz genérica para la evaluación de alternativas de diseño.....	83
Figura 49. Adaptación del método de evaluación de convergencia controlada.	84
Figura 50. Modelo de evaluación planteado para la selección de alternativas de acuerdo al modelo de Pugh.....	85
Figura 51. Pirámide alimenticia recomendada, para la realización de actividades de camping.....	87
Figura 52. Factor de concentración de las alternativas seleccionadas	90
Consolidación de la alternativa final de solución.....	91
Figura 53. Depuración formal y funcional de la alternativa final de solución.....	91
Figura 54. Modelo tridimensional de la alternativa final de solución.	92
Figura 55. Modelo CAD del producto final.	93
Figura 56. Carta de colores para el producto final.	93
Figura 57. Variación del volumen con relación a la altura del recipiente.	97
Figura 58. Dimensiones propuestas para el contenedor principal obtenidas a partir de la Geometrización del recipiente contenedor.....	97
Figura 59. Aplicación para obtener la geometría de los casquetes parabólicos ..	100
Figura 60. Porcentaje de impacto ambiental obtenido para 1 kg de ABS, PC, PA y PVC respectivamente	107
Figura 61. Principio de funcionamiento de la cubierta traslucida	110
Figura 62. Configuración actual para la cubierta del contenedor principal.....	112
Figura 63. Condiciones de frontera para el análisis térmico del recipiente	113
Figura 64. Rediseño de la geometría del contenedor principal	117
Figura 65. Ciclo de vida-cocina solar parabólica comercial	118
Figura 66. Análisis de Impactos del montaje de la cocina solar.....	119
Figura 67. Fotos térmicas del ensayo de la cocina solar sin el componente concentrador.....	122
Figura 68. Variación de la temperatura de agua contenida al interior del producto sin utilizar elementos concentradores en la cocina solar.....	123
Figura 69a. Ensamble de los casquetes parabólicos utilizando una banda elástica como elemento de unión	124

Figura 70. Temperaturas logradas durante el ensayo del día 7 de octubre de 9:00 am a 12:00 pm en la ciudad de Medellín	125
Figura 71. Temperaturas logradas durante el ensayo 2 de 1:00 pm a 3:00 pm en la ciudad de Medellín	126
Figura 72. a) Montaje de ensayo de la cocina solar con la sección parabólica....	127
Figura 73. Temperaturas logradas durante el ensayo del día 8 de Octubre de 9:00 am a 12:30 pm en la ciudad de Medellín	127
Figura 74. Temperaturas logradas durante el ensayo del día 11 de Octubre de 8:40 am a 11:30 pm en la ciudad de Medellín	128
Figura 75. Temperaturas logradas durante el ensayo del día 12 de Octubre de 8:50 am a 13:30 pm en la ciudad de Medellín	129
Figura 76. Proceso de cocción de alimentos mediante el uso del modelo funcional fabricado.....	130

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Nivel de radiación solar por tipo de cielo.....	10
Tabla 2. Disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones en Colombia.	11
Tabla 3. Especificaciones cocinas solares tipo Caja – Acumuladora.....	25
Tabla 4. Características de las cocinas Solares tipo Panel.....	26
Tabla 5. Características de las cocinas tipo Concentradoras – Parabólicas.....	27
Tabla 6. Tipos de alimento consumidos según horario	47
Tabla 7. Temperaturas de cocción para diferentes alimentos.....	47
Tabla 8. Cantidad sugerida de alimento por día	48
Tabla 9. Comparación de las principales alternativas de cocción para camping ...	49
Tabla 10. Evaluación de aspectos de seguridad, ergonomía y calidad de las cocinas solares ensayadas.....	58
Tabla 11. Características y efectos de atributos sensoriales identificados del referente formal, como color, textura y formas	74
Tabla 12. Resultados obtenidos de la evaluación de atributos de productos alternativos.	78
Tabla 13. Resultados obtenidos de las evaluaciones de las alternativas realizadas	88
Tabla 14. Formato de selección para filtración de alternativas finales de solución	89
Tabla 15. Volumen de líquido requerido para preparar sopas y cremas para varios fabricantes ofrecidos en la ciudad de Medellín.....	96
Tabla 16. Comparativo de conductividad térmica de posibles materiales a emplear para el contenedor principal	103
Tabla 17. Relación entre el número de elementos y la temperatura sobre la superficie externa del contenedor principal	105
Tabla 18. Relación de elastómeros comerciales con su temperatura de deflexión bajo una carga de 0.45 MPa.....	106
Tabla 19. Temperatura de deflexión por calor de diferentes polímeros termoplásticos	106
Tabla 20. Propiedades consideradas para la selección del material del soporte.	108
Tabla 21. Precio de materiales opcionados para el soporte de la cocina solar....	109
Tabla 22. Relación de densidad, modulo de elasticidad y precio para diferentes grupos de materiales	111
Tabla 23. Propiedades térmicas del Aluminio y el TPE.....	113
Tabla 24. Temperatura en la cubierta del contenedor principal con diferentes mallados	114
Tabla 25. Relación entre diferentes espesores promedio, numero de elementos del análisis térmico y la temperatura alcanzada en cada caso.....	115
Tabla 26. Materiales factibles de ser usados como aislante en la cocina solar ...	116
Tabla 27. Relación entre diferentes mallados y la temperatura final en la cubierta del contenedor principal.....	117
Tabla 28. Caracterización de las emisiones al aire en CO2 equivalente.	120

LISTA DE ANEXOS DIGITALES.

Anexo A – Formato de entrevista

Anexo B – Evaluación del desempeño de una cocina solar parabólica en comparación con una cocina solar de acumulación

Anexo C – Especificaciones de diseño de producto (PDS)

Anexo D – Planos técnicos y cartas de proceso del producto

Anexo E – Specifications ThurmaloX250 Selective Black solar coating

Anexo F – Quote ThurmaloX 250 Solar Coating

Anexo G – Mediciones de las temperaturas tolerables al contacto humano

Anexo H – Perfil ambiental del producto

Anexo I – Manufactura del modelo funcional

Anexo J – Plano del casquete reflectivo modificado

RESUMEN

Por medio de este trabajo se pretende dar a conocer la ventaja funcional que tienen las cocinas solares durante el desarrollo de algunas actividades al aire libre como es el picnic o el camping. Adicionalmente se busca concebir un producto diseñado, inicialmente en consideración a las demandas asociadas a los grupos de scouts, desde su estilo de vida, hábitos comunes de consumo y el contexto en el cual se desenvuelven.

Para lograr obtener un producto que pueda vincularse a este usuario en particular se emplean diversas estructuras metodológicas de investigación y síntesis, por medio de las cuales se retoman todos aquellos aspectos relevantes en cualquier proceso de diseño de producto como son; la definición e identificación detallada del tipo de usuario, factores ergonómicos asociados a éste, la estructuración funcional asociada a una propuesta formal coherente, la identificación de procesos adecuados de producción, el potencial económico en comparación a la competencia del mercado y el compromiso ambiental del producto vinculado a su ciclo de vida

Una vez se desarrolló todo este proceso de investigación, formalización y conceptualización, se evaluó la alternativa de solución propuesta, a partir de la materialización de un modelo funcional a escala real que permitió evaluar el desempeño del producto.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo corresponde al informe final que se presenta a la Universidad EAFIT con el objeto de optar al título de Ingeniero de Diseño de productos. El proyecto consiste en la investigación, formalización y conceptualización preliminar de una cocina solar para cocción de alimentos, factible de ser empleada durante actividades de camping o picnic, y potencialmente en zonas rurales no interconectadas del país.

A lo largo de los catorce capítulos en los que se presenta el proyecto, se pretende mostrar la aplicación de diferentes herramientas conceptuales y metodológicas de diseño, que permiten obtener una alternativa de solución para el proceso de cocción que demandan los diferentes usuarios relacionados con actividades de camping o picnic en Colombia.

En la etapa inicial de este proyecto, se procuró identificar características y aspectos relevantes para el usuario final tales como: tipología del producto y mecanismos de operación y funcionamiento que deben ser considerados al momento de seleccionar una cocina solar. En estos apartados se incluyen algunas características de ergonomía y antropometría, y posibles interacciones incidentales entre el producto y el usuario.

Igualmente se presenta el marco teórico tenido en cuenta en la construcción de este modelo de diseño y por ende, la metodología sugerida para su elaboración.

Posteriormente, se desarrollan tres capítulos en los que se condensa la información preliminar consistente en el desarrollo conceptual del producto, con el cual se buscó obtener las diferentes configuraciones que pueden ser tenidas en cuenta a la hora de realizar propuestas de diseño. Seguidamente, para la síntesis formal se estableció un referente como elemento principal para la creación de un alfabeto visual y complementar la etapa preliminar enfocada a la generación de conceptos. Finalmente se realizó una exploración formal donde se itera entre

conceptos que al final serán evaluados siguiendo el método de Convergencia Controlada.

En los cinco capítulos restantes se desarrolló en detalle el concepto solución proveniente de las etapas anteriores. En ésta fase se investigaron y determinaron las características finales de los materiales asociados al producto y su impacto ambiental, así como la verificación de los condicionantes de uso, desempeño y operación del sistema mediante los análisis de ingeniería, que fueron corroborados y replanteados de acuerdo a los resultados arrojados por las pruebas de concepto efectuadas sobre el modelo digital y modelo funcional construido.

Finalmente se espera que el producto presentado sirva de base para soluciones posteriores asociadas al cuidado del medio ambiente y comprometidas socialmente con el desarrollo sostenible de la comunidad en general y, de alguna forma, ser utilizado a gran escala en procesos industriales de mayor alcance.

1. JUSTIFICACION

Diseñar una cocina solar para actividades de camping o afines se justifica por razones de tipo social, ambiental y profesional.

En lo que respecta a lo social y ambiental se tiene, que todo proceso de cocción y preparación de alimentos, como necesidad básica del hombre, requiere del uso de algún tipo de energía, bien sea eléctrica o térmica, y por ende del consumo de cualquier recurso energético, como el carbón, leña, gas, electricidad, entre otros, que hoy por hoy, y como consecuencia del aumento de las demandas y consumo de las comunidades, se hace incierta su disponibilidad a largo plazo, por lo que es indispensable dar mayor importancia a soluciones más seguras a futuro, como son las energías renovables.

Si se mira de manera particular el consumo de leña¹ para los procesos de cocción, se encuentra que alrededor del 50% de la madera recogida en todo el planeta, es decir, cerca de 32 millones de toneladas, es procesada y quemada como combustible. Particularmente para el caso latinoamericano, el 40% de la producción y procesamiento de madera, termina siendo combustible en procesos similares en los que es aplicable la energía solar (calentamiento de agua, cocción de alimentos, etc.). Curiosamente en muchos de estos lugares se habla de una radiación promedio de 5,5 KW-h/m², la cual empleada bajo las condiciones adecuadas contribuiría a mejorar el desarrollo de dichas actividades, de una manera más amigable con el ambiente y el planeta en general, con el cual se debe estar comprometido.

Como ejemplo de la magnitud de las consecuencias en el uso desmedido de las fuentes no renovables se tiene que, solamente para la preparación de alimentos

¹ Se hace referencia al consumo de leña porque, tal como se planteó en el resumen anterior, el diseño de esta cocina va dirigido específicamente a usuarios amantes de las actividades al aire libre como el *picnic* o el *camping*, y son precisamente ellos los que con una alta probabilidad usan este producto (leña).

de una persona, se calcula un consumo promedio al año de 225 kilogramos de madera.²

Por ello, mediante el conocimiento de los principios básicos de la energía solar, transferencia de calor y el acceso a materiales simples, puede llegarse a materializar y construir varios modelos de cocinas y otros artefactos solares eficaces, que desde una perspectiva comercial e incluso social, podrían obtener de manera exitosa una divulgación en varios sectores sociales, que bien sea, por su condición económica, ubicación geográfica y/o debido a los altos costos relativos de las tarifas de los servicios públicos, tienen difícil acceso a las fuentes tradicionales de energía.

De esta manera, la cocina solar se presenta como un producto con buenos atributos, consistentes en: alta funcionalidad, capacidad de reducir los riesgos sobre los usuarios, como incendios, quemaduras y efectos nocivos por la generación de humo, más segura y a la vez trae consigo beneficios económicos, tal como se ha insinuado, que se ven reflejados tanto en lo asequible, como en el ahorro energético que implica su uso si se llegaran a emplear dentro de una zona conectada a la red eléctrica o la que tendrían al llegar a *Zonas No Interconectadas-ZNI*.³

En Colombia las *ZNI* alcanzan una extensión cercana a 600.000 km², es decir 52 % del territorio nacional, en los cuales se incluyen aproximadamente 929 localidades, 72 cabeceras municipales y 857 localidades rurales, donde habitan aproximadamente 2 millones de personas. La baja densidad poblacional de estas zonas (*3 habitantes/km²*)⁴, aumenta y dificulta considerablemente el costo unitario de inversión y operación del *Sistema Interconectado Nacional – SIN*⁵, el cual

² **Fundación TERRA**. Perspectiva ambiental. Cocina Solar. Barcelona España. Junio de 2002. Pág. 6-10. [Documento en línea]. [<http://www.ecoterra.org>]. Consulta: Agosto 20 de 2008.

³ **MIRANDA, Rubén**. Micro Centrales Hidroeléctricas: Tecnologías De Reducción De Costos Y Posibilidad De Construcción. Universidad del Atlántico. Barranquilla. Colombia. Marzo de 2007. Pp. 1-4.

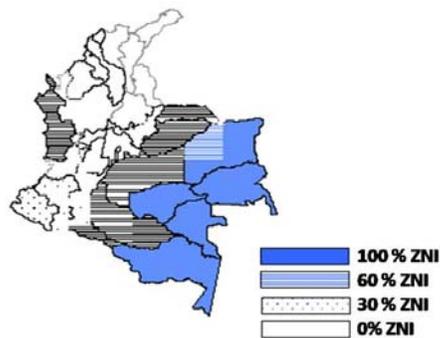
⁴ **MIRANDA, Rubén**. *Op cit* p.4.

⁵ **XM – empresa del Grupo ISA**. Informe de operación del sistema y administración del mercado. Capítulo 1. Caracterización del sistema. Bogotá. Colombia. Noviembre de 2007. Pp, 21-23.

abarca la mayoría de los departamentos del país, a excepción de: Vichada, Guaviare, Amazonas, Vaupés, Guainía y San Andrés Islas, como se muestra a continuación en la figura 1.

La energía solar puede ser el futuro en países como Colombia, ya que cuenta con regiones con niveles de radiación solar favorables, cuyo potencial energético en todo el territorio nacional promedia los 4,5 KWh/m², el cual, en combinación con el uso diario de una cocina solar permitiría el ahorro mensual de un 70% en leña o gas, y como término medio, una tonelada y media de CO₂ al año.⁶

Figura 1. Zonas No Interconectadas en Colombia



Fuente: Tomado de MICRO CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.⁷

Aunque el potencial de implementación de este tipo de productos, es ampliamente identificado dentro del contexto Colombiano, el verdadero reto de diseño del producto que se busca obtener, radica en dar a la cocina solar un valor agregado admitido por el usuario, que bien, puede ser alcanzado a partir de la introducción de atributos como portabilidad, funcionalidad, integración de componentes, facilidades y posibilidades de uso, cuidados, restricciones, e inclusive estética, entre otros, de forma tal que el producto pueda ser concebido como una solución integral correspondiente a las tendencias de diseño de producto para el hogar, y particularmente para el contexto cocina.

⁶. Fundación TERRA. *Op.Cit.*, pp. 7-9.

⁷. MIRANDA, *Op. Cit.*, p. 4.

Adicionalmente, la cocina solar puede ser dirigida a zonas donde los indicadores de recursos para la satisfacción de necesidades básicas de la población no son los más alentadores, ya que puede introducirse dentro de las bien denominadas *“tecnologías socialmente apropiadas”*⁸, puesto que permiten la transformación de materias primas en acciones o productos benéficos para las comunidades partiendo de la oferta local de recursos y energía, de forma que pueda llegar a contribuir al mejoramiento de la conservación civil, con modelos de vida y desarrollos alternativos y bajo criterios de equidad étnica, generacional y de género de las comunidades.

Igualmente, desde lo profesional, este trabajo permitió poner en práctica un cúmulo de conocimientos adquiridos a lo largo de la formación como ingenieros de diseño, desde la generación de una idea que se fue perfeccionando no sólo con la información obtenida del usuario final, sino con la revisión de literatura sobre el tema, hasta obtener un producto que sin haberse aún perfeccionado, si llenó las expectativas de los autores en este primer peldaño de la formación, sin contar con el aprendizaje que dejó los ires y venires del proceso mismo del presente modelo de diseño.

Para terminar este acápite, el diseño de una cocina solar tiene repercusiones económicas positivas si se mira su potencial en procesos productivos industriales y en la construcción de vivienda auto sostenible, que, sin ser el mercado objetivo en este trabajo, se puede pensar como una alternativa de desarrollo en el largo plazo.

⁸. **RESNATUR. Corporación Colombia Sostenible – Asociación Red Colombiana de reservas Naturales de la Sociedad Civil.** Tecnologías socialmente apropiadas al servicio de una cultura permanente. Capítulo 8. El Horno Solar. RED Editorial WWF-RESNATUR. Primera Edición – Diciembre 23 de 2006. Medellín. Colombia. Pp..61-68.

2. OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Diseñar una cocina solar con capacidad para el aprovechamiento de la energía captada, como una alternativa para la preparación de alimentos, mediante el uso de fuentes renovables más amigables con el medio ambiente.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Desarrollar un modelo funcional de una cocina solar que este acorde a los requerimientos y necesidades de los usuarios finales según las determinantes del contexto al cual va dirigido.
- Lograr un producto aplicando el uso de metodologías de diseño y de desarrollo de productos sostenibles.
- Identificar el perfil ambiental del producto utilizando la metodología de diseño sostenible para sugerir futuros cambios.
- Verificar especificaciones de diseño mediante pruebas de usuario

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Revisión de literatura

Dentro de lo que hoy por hoy, se conocen como las energías renovables, se encuentra que de todas las utilizadas actualmente a lo ancho del planeta, hay cuatro cuyo potencial de producción energética alcanza índices considerables en relación a las fuentes tradicionales de energía. La unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) lista el biocombustible, con un consumo del 11% de la energía global y separado en biomasa y biogás; la energía mareomotriz con un consumo 0.5% a nivel mundial condicionada a la fuerza de las corrientes oceánicas; la energía solar conocida como sistemas PV o fotovoltaicos los cuales transforman la radiación solar en energía eléctrica y/o calorífica contribuyendo con dos tercios del consumo mundial⁹ y finalmente la energía eólica la cual, aunque es la de mayor auge en los últimos años, no es tan continua como las anteriores por su dependencia en el viento. Se espera que para el año 2030 pueda abastecer al 14% de la población mundial.¹⁰

Adicionalmente, otro tipo de energía en proceso de investigación y de futura aplicación tanto a nivel mundial como a nivel nacional, es la denominada Energía Geotérmica, que se define como el calor producido por la tierra, el cual se determina de acuerdo a la temperatura alcanzada en cada una de las distintas capas de la corteza terrestre, donde por cada 100 metros de profundidad logra aumentar la temperatura 3°C, permitiendo a grandes profundidades, la extracción y transformación de agua caliente y termales en fuentes para la generación de

⁹. **UPME. Unidad de Planeación Minero-Energética.** Ministerio de minas y energía, República de Colombia. Energías Renovables: Descripción, tecnologías y usos Finales. Bogotá, Colombia. 2007. Pp. 10 – 40.

¹⁰. **Diario EL UNIVERSO.** Energía eólica aumenta su presencia a nivel Mundial. Guayaquil. Ecuador. Abril 1 de 2008. [en línea]. [<http://archivo.eluniverso.com/2008/04/01/0001/1064/8FF4C7411D7F4F80A887A474BEAA9B21.aspx>]. Consulta: Agosto 29 de 2008

energía eléctrica, cuya transformación requiere de grandes esfuerzos tecnológicos.¹¹

Por ello, y en respuesta a esta tendencia mundial, a nivel local, la empresa *Hybrytec S.A*, dedicada al diseño y comercialización de productos enfocados hacia energías alternativas, tales como la energía eólica, solar térmica y fotovoltaica, presenta como iniciativa viable para la resolución a la problemática medio-ambiental previamente descrita, un nuevo diseño para la línea de cocinas solares que actualmente maneja. Por lo tanto se busca que el nuevo concepto cumpla con todos aquellos requerimientos indispensables, tanto para la transformación de energía solar en térmica, como para su almacenamiento, de manera que pueda ser por sí solo una fuente de energía de bajo consumo, efectiva en el cuidado del medio ambiente y sin la necesidad de hacer uso de fuentes y recursos fósiles no renovables, de tal forma que pueda promoverse como una opción económica, factible y optima, para todas aquellas zonas aisladas donde comúnmente los servicios públicos son un recurso de difícil adquisición.

Teniendo en cuenta lo anterior, se determina que el auge de las energías renovables y sus aplicativos son de gran diversidad y alto beneficio para la estabilización ambiental que el planeta requiere. Pero de todas estas opciones cabe resaltar que son la energía fotovoltaica, eólica y la biomasa, las fuentes renovables de mayor participación en la solución a dichos problemas energéticos, bien sea por sus buenos resultados, o por su eficiencia frente a otras fuentes en proceso de investigación. Aun así, las opciones de utilización de dichas energías pueden ampliarse aun más, como en el caso particular, y para efectos de este proyecto, de la energía fotovoltaica, que puede emplearse no solo para la transformación y generación de electricidad, sino también, como fuente térmica.

Se puede definir entonces la energía del sol, como la energía producida por reacciones nucleares al interior del sol, que son transmitidas en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio, fenómeno conocido como *radiación solar*.

¹¹ . **UPME. Unidad de Planeación Minero-Energética.** *Op. Cit.*, pp. 40-43.

En un día claro, esta radiación está conformada por: un 4% por la luz ultravioleta, 46% por la radiación visible y 50% por los rayos infrarrojos. El sol irradia energía a una tasa de $3,9 \times 10^{26}$ voltios de forma perpendicular a la parte superior de la atmósfera, alcanzando a recibir una radiación promedio de 1367 W/m^2 . La estabilidad de la energía que proviene del sol se refleja en la temperatura relativamente constante que se irradia en la tierra, y la cual puede permanecer inalterable por billones de años. Pero aun así, de toda esta energía que logra recibir el planeta, solamente un 47 % de la radiación solar que absorbe la atmósfera llega a la tierra, un 31% de manera directa y un 16% en forma indirecta (llamada comúnmente *radiación difusa*), quedando en el planeta un 29% de la radiación total adquirida, variando de acuerdo al tipo de cielo que se esté presenciando. En la tabla 1 se muestra el nivel de radiación solar según el tipo de cielo.

Tabla 1. Nivel de radiación solar por tipo de cielo

TIPO DE CIELO	RADIACIÓN SOLAR (W/M²)
Constantemente nublado	Menor a 300
Nubosidad media	Entre 300 y 400
Nubosidad mínima	Entre 400 y 500
Cielo despejado	Mayor a 500

Fuente: IDEAM- Instituto de Hidrología, Metrología y Estudios Ambientales.¹²

Aunque se supone como una cifra baja esta cantidad de radiación recibida -29% de toda la absorbida por la atmósfera, realmente la tierra, en un día determinado, recibe 10000 veces más energía del sol, de lo que toda la humanidad usaría durante ese día, solo que a diferencia de las fuentes tradicionales de energía (segunda industria más grande del mundo) la energía solar es limpia, renovable e igualmente accesible tanto para los países ricos como para los menos favorecidos, ya que puede ser capturada en el mismo lugar donde se desea consumir.

¹². IDEAM-INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. El Sol-Balance radiativo. [Documento en Línea]. Fuente:[<http://www.ideam.gov.co/radiacion.htm>]. Consulta: Septiembre 18 de 2008.

Colombia es un país privilegiado ya que por su posición geográfica los niveles de radiación solar varían entre 4.0 y 4.5 Kwh/m². De acuerdo al IDEAM, los departamentos con mayor incidencia de radiación son: Cauca, Huila, Valle, Cundinamarca y Antioquia entre otros. A nivel regional, la Guajira y la Costa Atlántica tienen el mayor nivel de radiación anual (ver tabla 2).

Tabla 2. Disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones en Colombia.

REGIÓN	DISPONIBILIDAD (KW-H/M²/AÑO)*
Guajira	2190
Costa Atlántica	1825
Orinoquía	1643
Amazonía	1551
Andina	1643
Costa Pacífica	1278

** Valores de KW-h/m² en un día promedio de sol radiante.*

Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá. Colombia.¹³

Dentro de las aplicaciones, la energía calorífica obtenida de la transferencia de radiación solar es normalmente usada en procesos de calentamiento de agua, cocción de alimentos, secado de cultivos, calefacción de espacios y potabilización de agua, aunque son productos de un alto costo de adquisición e instalación y relativamente ineficientes, especialmente en la conversión de luz solar en electricidad. La tendencia es contradecir esta afirmación debido a los procesos de desarrollo e investigación, permitiéndoles consolidarse como sistemas con gran potencial de interés en amplias zonas y regiones de todo el mundo.

Solamente en los procesos de cocción de alimentos, hoy día, bajo las circunstancias de un alto índice de aumento poblacional, y a la vez, de la demanda de servicios domiciliarios, más de 2000 personas en países subdesarrollados

¹³. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM, EN CONVENIO CON LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME. Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá. Colombia. Diciembre de 2002. Pág. 3-10

siguen empleando recursos como la leña como única fuente de energía térmica para la preparación de alimentos.¹⁴

Por lo tanto, una forma de utilizar las ventajas energéticas que poseen regiones en desarrollo para el mejoramiento de la calidad de vida de los grupos humanos sin llegar a alterar el bienestar ambiental de las regiones que habitan, puede proporcionarse mediante el uso de productos como las cocinas solares, que como su propio nombre indica, son sistemas que se valen de la energía irradiada por el sol para crear un espacio caliente, útil y económico en la cocción de alimentos. Que a su vez, bajo un adecuado uso de materiales altamente eficientes en cuanto a evitar la pérdida de calor, sin que sean fácilmente alterables por su exposición a la radiación o a los diversos factores climáticos, llegan a conformar un producto capaz de nivelarse funcionalmente con las fuentes tradicionales de energía, empleadas para la preparación de alimentos.

3.2. Acerca de las cocinas solares

La radiación solar y la energía térmica solar

El sol emite constantemente cantidades enormes de energía sobre la tierra, llegando hasta los $3,8 \times 10^{23}$ KWh (es de decir 380.000 millones de millones de millones de KW), de los cuales solo llega a la tierra en una cantidad muy pequeña¹⁵. La radiación solar llega como ondas electromagnéticas en forma de fotones. Para medir esta cantidad de energía se emplea la **constante solar**; valor que se establece para cuantificar la radiación incidente de forma perpendicular sobre 1m^2 de la parte exterior de la atmósfera. El valor establecido es de 1370 W/m^2 , variando entre un $\pm 3\%$ durante el año. Por el debilitamiento que ocasiona la atmósfera al paso de la luz solar por reflexión, difusión y absorción; en un día

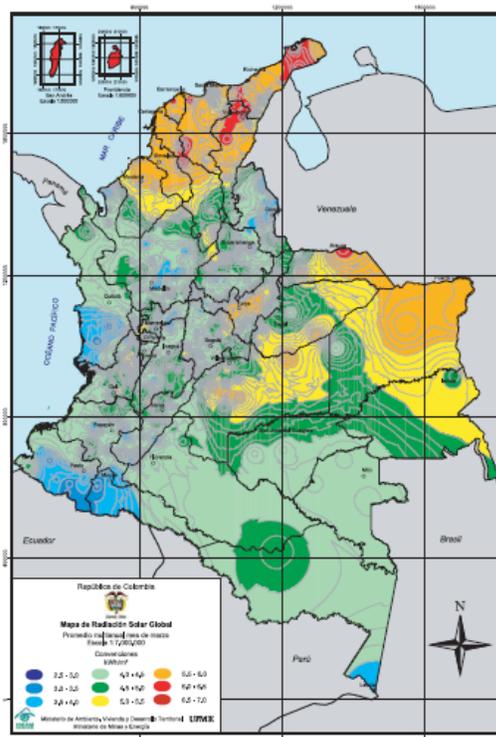
¹⁴ . **SOLAR COOKER INTERNATIONAL & FUNDACIÓN TERRA**. Cocción solar y tecnologías de procesado de alimentos. Granada-España. Enero de 2006. [documento en línea]. [<http://www.solarconference.net>]. consulta; Septiembre 12 de 2008]

¹⁵ . **SANCHEZ MAZA, Miguel Ángel**. Energía Solar térmica. Primera edición. Editorial LIMUSA. México. 2008. Pág. 7 -12.

claro y despejado, se registra en 1m^2 de la superficie terrestre un valor cercano a los 1000 W/m^2 .¹⁶

De acuerdo a estudios realizados por Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – IDEAM, en convenio con la Unidad de planeación minero energética – UPME Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – IDEAM, en convenio con la unidad de planeación minero energética – UPME, se tiene que en general, el país cuenta con un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a $4,5\text{ kWh/m}^2$ en la mayoría de las regiones del país. En la figura 2 se muestra el atlas de radiación, desarrollado por ambos institutos.

Figura 2. Nivel de radiación promedio para el mes de marzo según el atlas de radiación solar en Colombia



Fuente. Tomado del atlas de radiación del convenio IDEAM– UPME¹⁷

¹⁶. KENEWELL, jhon & McDONALD, Andrew. The constant Solar. IPS – Ratio and Space Services. Australia Government. [en línea], Disponible en: www.ips.gov.au/Category/Educational/The_Sun_and_Sola_Activity/Genera-Info/Solar_Constant.pdf. Consulta: Enero 22 de 2009.

Ahora bien, una forma de aprovechar este valor, es mediante la transformación de la radiación en calor, empleando la componente directa y difusa de la radiación solar. Dicha conversión se realiza mediante los tres mecanismos de **conducción, convección y radiación**.

La conducción es un proceso donde el calor fluye desde la región con mayor temperatura hacia una de menor temperatura dentro de un medio sólido, líquido, gaseoso o entre diferentes medios que están en contacto físico. Es decir, para la conducción se requiere una diferencia en temperatura y una vía o material de transmisión. La convección, consiste en la transferencia de calor debida al movimiento de fluidos, es decir, la conducción ocurre cuando un líquido o gas que se mueve de un punto a otro llevando calor. Por otro lado, la radiación, es el proceso donde el calor fluye de un medio a otro y es emitida por cualquier cuerpo con calor.¹⁸

La energía solar térmica, deriva del proceso de transformación de la energía radiante solar en energía térmica o calor, cuyo aprovechamiento puede emplearse para el consumo humano en procesos básicos como la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, climatización de espacios, etc. Por lo tanto, el proceso de obtención de energía solar térmica, es un método que utiliza directamente la energía proveniente del Sol para calentar un fluido. En este proceso de aprovechamiento térmico, se identifican dos formas o niveles en que puede ser captada la energía solar térmica, *el aprovechamiento solar activo o pasivo*¹⁹.

La energía solar pasiva, es el proceso de captación de la energía solar a través de sistemas que aprovechan el calor proporcionado por el sol, sin necesidad de recurrir a elementos mecánicos o ningún otro tipo de energía para conseguirlo. También llamados sistemas fototérmicos pasivos. Por lo general este tipo de sistemas se

¹⁷ . INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM, EN CONVENIO CON LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME. *Ibíd.*, Pp. 3-10.

¹⁸ . SIBAJA, Eduardo. PETERSON, Donald. Colectores Solares. Capítulo III. Principios de transferencia de calor aplicables para el aprovechamiento de la energía solar. Ediciones Esotéricas. Medellín, Colombia. Pág.29-36.

¹⁹ . SANCHEZ MAZA, Miguel Ángel. *Ibíd.*, p.30-31.

emplean para conseguir bajas temperaturas, llegando a requerir en algunas ocasiones energías de apoyo, pero aun así, permiten la reducción considerable de energías convencionales²⁰. Ejemplos comunes de estos tipos de sistemas, son los techos acumuladores, los invernaderos, agua caliente sanitaria por termosifón, etc.

La energía activa, o sistemas fototérmicos activos, son aquellos que funcionan con el respaldo de algún otro tipo de energía adicional a la solar para lograr trabajar correctamente, por lo general son mejores que los sistemas pasivos, ya que presentan mejor eficiencia en la obtención de temperaturas más altas, empleando menos espacio. Un ejemplo típico de este tipo de sistemas, son los sistemas de calefacción solar, los colectores cilíndrico-parabólicos, los colectores parabólicos, etc.²¹

Las cocinas solares

La cocina solar surge como un artefacto capaz de coadyuvar en el mejoramiento de las condiciones básicas de alimentación mediante el uso y aplicación de la energía solar térmica, específicamente sistemas solares pasivos, caracterizados por ser tecnologías eficaces y de bajo costo.

El uso de las cocinas solares permite la disminución en el consumo de fuentes fósiles y combustibles convencionales. Evita la degradación de ecosistemas, aminora la contaminación por generación de CO₂ y evita la generación de enfermedades inducidas por el humo y el daño óptico producido por medio de la cocción con cocinas tradicionales basadas en el consumo de leña y otros combustibles.

Actualmente, en pro de las dinámicas ambientales por contrarrestar el acelerado cambio climático derivado del calentamiento global, se hace especial énfasis en el aprovechamiento de las energías renovables por parte de todos los sectores (industrial, político, económico, académico, etc.), con el fin de encaminarse hacia

²⁰. **Energía Solar 365**. Energía solar pasiva. [En línea]. Disponible en: www.energiasolar365.com/energia-solar-pasiva-vs-servicios-1218.html. Consulta: febrero 13 de 2009

²¹. **SIBAJA, Eduardo. PETERSON, Donald**. *Ibíd.*, p.28.

la concepción y materialización de productos más amigables con el medio ambiente, antes, durante y después de su uso y/o disposición final.

Particularmente, el uso de dispositivos que emplean el sol como fuente energética para la preparación de alimentos, otorgan al proceso, mayor seguridad al cocinar, logran mantener la calidad nutricional de los alimentos cocinados, no se origina humo ni dióxido de carbono, e indirectamente se presenta como una oportunidad dentro de todos aquellos contextos que pueda trabajar en forma provechosa su potencial solar.

De acuerdo a esto, las cocinas solares surgen como un dispositivo funcionalmente viable, posible de construir y sin un alto valor económico asociado. Muestra practica de ello, es el estudio que adelanta el centro de Energía Solar de la Universidad de Florida sobre la simulación del desempeño térmico y óptico, además de la experimentación y estudio de materiales factibles de ser incorporados en futuros prototipos²². Este hecho ha permitido identificar aspectos relevantes en cuanto a desempeño, como velocidades de calentamiento, temperaturas alcanzadas, área de apertura, frecuencia de reposicionamiento, capacidad, dimensiones y peso.

De igual forma es importante considerar los principios de la óptica geométrica y la física térmica asociados al desarrollo de las cocinas solares, como aquellos relacionados con la reflexión y transmisión de la luz, la absorción de la radiación y la transformación de ésta en energía térmica. Permiten establecer configuraciones y combinaciones correspondientes a los diferentes diseños que pueden obtenerse para una cocina solar.

Elementos constitutivos de las cocinas solares tradicionales

- **Reflectores:** Se definen como el elemento requerido para la transmisión y direccionamiento de la energía solar captada, en función de obtener la

²². **PASSAMAI, Víctor.** Nuevas experiencias de campo con cocinas solares. Facultad de ciencias exactas.

mayor eficiencia posible evitando al máximo la pérdida óptica y térmica del sistema.

- **Receptor:** El receptor o elemento absorbedor, es el componente que se encarga de controlar el flujo de radiación que ingresa al sistema, obteniendo una mayor velocidad en la transformación de la energía solar en energía térmica. Para algunas cocinas este componente no es indispensable puede disminuir las pérdidas por conducción. Para otros casos, donde su funcionalidad es requerida, puede llegar a alcanzar niveles de concentración más altos y temperaturas de operación más elevadas.
- **Aislante:** Mediante la concepción de un buen aislamiento se logra mantener durante mayor tiempo la energía térmica generada. Para obtener esto, todo aislante debe caracterizarse por una buena resistencia a altas temperaturas sin llegar a deteriorarse, no degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo y soportar la humedad que se pueda producir en el interior de los sistemas durante la preparación de alimentos, de manera que el material aislante no pierda sus cualidades. Los materiales más usados como aislante son, la lana de vidrio, la espuma rígida de poliuretano y el Poliestireno expandido. En el caso de las espumas, es el aire quieto obtenido en su volumen una vez son procesados, lo que les confiere una extraordinaria capacidad de aislamiento térmico²³.
- **Cubierta:** La característica principal de la cubierta, es ser transparente al paso de la radiación solar, pero opaca a la radiación térmica para evitar las pérdidas de calor en el sistema. Es un componente de uso común en las cocinas solares tipo caja e indirectas.
- **Estructura o carga:** Es el componente encargado de proteger y soportar los elementos que constituyen la cocina solar, por ello deberá cumplir con los siguientes requisitos: Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad, ya que debe resistir la presión del viento, facilitar el montaje y

²³ . **DUNKER G. Albert.** Los aislantes térmicos y el Poliestireno expandido. Revista BIT. Edición especial. Mayo de 2003. Santiago de Chile. Chile. Pág. 22-24.

desmontaje de todos los componentes del sistema y resistencia a la intemperie y, a los efectos corrosivos de la atmósfera.

Principios de funcionamiento

De acuerdo al tipo de cocina empleada, puede inferirse que tras su concepción, existe un esquema teórico adscrito a un modelo térmico fundamentado en varios principios concurrentes que se requieren para lograr la cocción de un alimento. Tales principios son la ganancia, el almacenamiento y las pérdidas de energía.

Por lo general, la ganancia térmica se logra mediante la introducción de un cuerpo negro, que debido a su nivel de absorción, logra captar la radiación incidente y reflejarla, aunque en una muy poca proporción.

El almacenamiento térmico de la energía se logra, en los modelos más comunes, mediante la generación de efecto invernadero o la consolidación de un espacio aislado, a través de la incorporación de materiales o sustancias que aumenten la energía internan de forma sensible o latente, permitiendo aumentar el flujo de calor y evitar las perdidas en el sistema por acción de vientos²⁴.

En las cocinas tipo concentradora o parabólica, la ganancia se logra por la concentración directa de la radiación solar sobre el foco de la cocina (punto donde se ubica el recipiente con los alimentos), mientras para el almacenamiento de la energía se da a por con sellamiento del recipiente o de del sistema en general. En la mayoría de los tipos de cocinas solares las pérdidas de energía se por los tres mecanismos de transferencia de calor Conducción, convección y radiación.

Tipos de cocinas solares

Actualmente hay gran variedad de diseños de cocinas solares en el mercado, las cuales en una forma muy general se caracterizan por ser fabricadas mediante materiales de muy bajo costo, particularmente materiales reciclables. Son

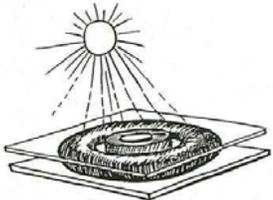
²⁴. **PASSAMAI, Víctor., T, PAREJA & S. PIZARRO, L.** Física Térmica de una cocina solar de pequeñas dimensiones Avances es Energías renovables y medio ambiente, Vol. II, INENCO-CIUNSa – CONICET. Facultad de ciencias exactas, Argentina. 2007. Pág. 1- 4.

productos de fácil instalación, bajo mantenimiento y acorde funcionalmente a la versatilidad en los alimentos que se deseen preparar. En las tablas 3,4 y 5 se dan algunos ejemplos sobre modelos de cocinas solares comercialmente existentes.

Como puede verse, las cocinas solares pueden ser clasificadas de acuerdo a los principios de funcionamiento anteriormente mencionados. Existen modelos basados en el principio de acumulación o las cocinas tipo “caja”, otros que emplean el principio de concentración, donde el tipo de mayor preferencia es la cocina tipo parabólica²⁵, y las cocinas indirectas, que se asemejan a los colectores solares, ya que hacen uso de tubos de calor para el calentamiento del horno.

²⁵. **JUTGLAR, Lluís**. Energía Solar. Energías Alternativas y Medio ambiente. Editorial CEAC. Barcelona, España. 2004. Pág.69 – 70.

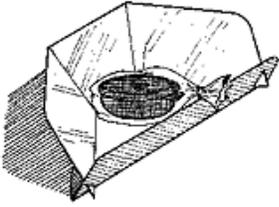
Tabla 3. Especificaciones cocinas solares tipo Caja – Acumuladora

COCINAS SOLARES TIPO CAJA – HORNO SOLAR – ACUMULADORAS				
Modelos existentes	<i>Cocina Solar Mínima</i>	<i>Sartén Solar (Sun Pan)</i>	<i>Horno Solar de Pared</i>	<i>Cocina Solar Neumática</i>
				
Observaciones	Bajo costo producción No requiere casi reorientación No quema las comidas Fácil de producir	Requiere de piezas de aluminio para un mayor rendimiento	No se puede reorientar Ubicada en paredes con orientación al sur	Mayor facilidad de construcción respecto a las demás Menor número de componentes
	Proceso de cocción lenta No permite freír Rango de temperatura entre 90 - 120 °C			

Fuente: Adaptado de the solar cooking archive²⁶

²⁶. **THE SOLAR COOKING ARCHIVE.** Cocinando con el sol. Pág. 1. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.solarcooking.org/newsletters/scrapr05-span.htm>. Consulta: Octubre 27 de 2008

Tabla 4. Características de las cocinas Solares tipo Panel.

COCINA SOLAR TIPO PANEL – CONCENTRADORAS Y ACUMULADORAS				
Modelos existentes	<i>Caja con reflectores externos</i>	<i>Paneles plegados</i>	<i>Cocina caja abierta</i>	<i>Cocina tipo embudo</i>
				
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manufactura • Mayor temperatura que los hornos solares 	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla de un horno solar con concentradores curvados 	<ul style="list-style-type: none"> • Más eficiente que la cocina de paneles plegables 	<ul style="list-style-type: none"> • No genera riesgos al usuario • Temperatura similar a las cocinas parabólicas
	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas mayores a 180°C • Cocinas de bajo costo productivo • Bajo mantenimiento • Deben ser reorientadas hacia el sol 			

Fuente. Adaptado de SOLAR COOKING ARCHIVE²⁷

²⁷. THE SOLAR COOKING ARCHIVE *Ibid.*, p.2

Tabla 5. Características de las cocinas solares tipo Concentradoras – Parabólicas

COCINAS SOLARES CONCETRADORAS			
Modelos existentes	Cocinas cónicas	Cocinas parabólicas	Cocinas de doble posicionamiento
			
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de construir, transportar y ensamblar • Bajo costo productivo • Es más eficiente si se acondiciona como una cocina tipo embudo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de cocción rápidos • Requiere atención sobre la preparación de los alimentos • Reorientada cada 15 – 30 minutos • Mayor costo que los demás tipos de cocinas 	<ul style="list-style-type: none"> • Cocina de mayor eficiencia que las cocinas cónicas • No necesitan ser reorientadas tan continuamente
	<ul style="list-style-type: none"> • Alcanzan altas temperaturas en poco tiempo • Generan riesgo al usuario por la reflexión • Deben ser redireccionadas • Alcanzan temperaturas mayores a 180°C 		

Fuente: Adaptado de solar cooking archive²⁸ y cocinas solares²⁹

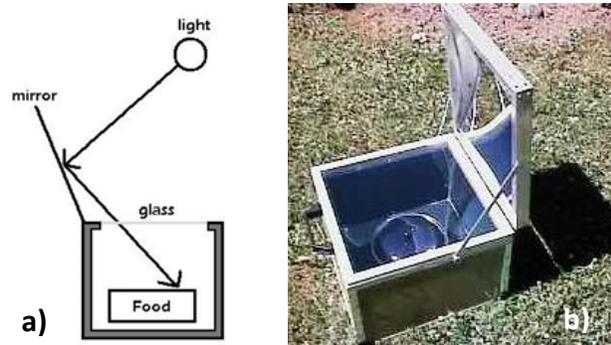
²⁸ . THE SOLAR COOKING ARCHIVE *Ibíd.*, p.2

²⁹ . MACIA G. Andrés Felipe & JANNA, Farid Chejne. Cocinas Solares. Grupo de termodinámica aplicada y energías alternativas-TAYEA-. Facultad de minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2005. Pág. 3-5.

Cocinas solares tipo caja.

Este tipo de cocinas (figura 3-b) comúnmente son las de mayor facilidad de construcción, puesto que dentro de los modelos desarrollados se encuentran gran variedad de cocinas y configuraciones en cuanto a material, forma y funcionamiento. Por lo general este tipo de cocinas se basan en dos principios de funcionamiento, el factor *tau-alfa* ($\tau\alpha$) y el efecto invernadero³⁰.

Figura 3. a) Diagrama de funcionamiento de una cocina solar tipo caja. **b)** Ejemplo de una cocina solar tipo caja



Fuente: a) tomada del sitio web www.associatedcontent.com/, b) tomada del sitio web www.mueller-solartechnik.com

Con el factor *tau-alfa* ($\tau\alpha$), define el nivel de radiación que se da al interior de la cocina una vez incide la radiación solar sobre la cubierta transparente. Esta radiación llega a la superficie absorbente donde la energía es absorbida y a la vez reflejada hacia la cara interior de la cubierta, comúnmente vidrio. Una vez llega allí, es reflejada nuevamente en dirección de la superficie absorbente. Este proceso se reitera, de manera que forma que se generan múltiples reflexiones entre ambas superficies las cuales son contenidas y dan generación al efecto invernadero.

El efecto invernadero, consiste básicamente en la creación de un espacio cerrado y aislado del exterior que permite capturar la energía del ambiente exterior y

³⁰ . SANCHEZ MAZA, Miguel Ángel. *Ibid.*, p. 23.

transmitirla al espacio interior, y una vez adentro impedir su pérdida. En resumidas cuentas, este fenómeno, consiste en incrementar la temperatura interior de un recinto, mediante el uso de láminas de cristal que permitan el paso de los rayos solares o radiaciones de onda corta ($<3\mu\text{m}$), que junto con la acción del elemento absorbedor, logra emitir en el espacio, una radiación de mayor longitud (4,5 y 7,2 μm), que no logra escapar hacia el exterior, minimizando tanto las pérdidas por conducción como por convección³¹. (Figura 3-a)

Cocinas solares concentradores

A diferencia de las cocinas tipo caja, las cocinas solares concentradoras (figura 4b) en lugar de basarse en el principio de efecto invernadero, este tipo de cocina ha sido especialmente concebida para la obtención de altas temperaturas, empleando el principio de la concentración. El cual requiere de una superficie curva reflectante que reciba la radiación y los proyecta de manera que todos sean dirigidos a un punto común o punto de concentración³².

Como puede verse en la figura 4a, los rayos solares que inciden sobre una superficie parabólica, por efecto de la curvatura son proyectados hacia la parte central o foco consiguiendo mejorar el aprovechamiento de la insolación incidente en la transformación de la energía radiante en energía calórica. Al emplearse un espejo paraboloide, se obtienen una relación de concentración muy elevada, dando como resultado la obtención de temperaturas del orden de los 450°C ³³ si él se orienta adecuadamente. Este tipo de sistema solamente es funcional mediante el uso y aprovechamiento de la radiación solar directa.

³¹ . **SANCHEZ MAZA, Miguel Ángel**. *Ibíd.*, p. 23.

³² . **DE CUSA, JUAN**. Energía solar para viviendas. Monografías de la construcción. Ediciones CEAC S.A. Barcelona, España. 2004. Pág. 60-66.

³³ . **JUTGLAR, Lluís**. *Ibíd.*, p. 44-45.

Figura 4. a) Diagrama del principio de concentración, **b)** Ejemplo de una cocina solar parabólica o tipo concentradora



Fuente: **a)** tomada del sitio web www.renewables-made-in-germany.com, **b)** tomada del sitio web www.geocities.com/institutoingefor2

Generalmente este tipo de cocinas se componen de un disco parabólico para el cual debe considerarse parámetros físicos como el diámetro, tipo de material, espesor y distancia focal (punto de ubicación del recipiente de cocción). El sistema debe contar un soporte para el disco parabólico que de rigidez y resistencia frente a la manipulación (restricción de movimientos que desorienten el sistema) y a factores ambientales. Por último, el mecanismo de redireccionamiento facilita la reubicación de la cocina en dirección normal de los rayos solares y mejora el nivel de concentración del equipo.³⁴

Cocinas solares indirectas

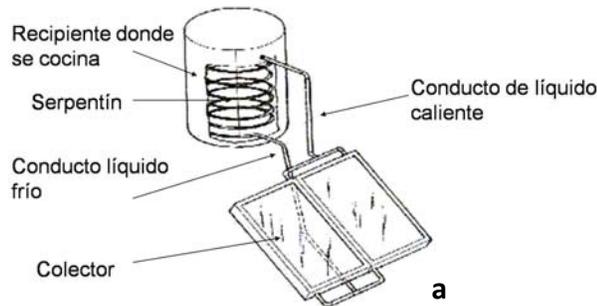
Las cocinas indirectas funcionan mediante el uso de colectores solares convencionales, usados principalmente para el calentamiento de agua residencial o industrial (Figura 5b). Los colectores se caracterizan emplear métodos de acumulación, puesto que se componen principalmente por una cubierta transparente (comúnmente de vidrio), una placa captadora o superficie negra que

³⁴. CENTRE OF ENERGY STUDIES, Indian instate of technology & MINISTRY NON_CONVENTIONAL ENERGY SOURCES. Draft test procedure of solar cooke – Paraboloid concentrator type. New Delhi, India. Agosto de 2006. Pág. 2-6

absorber la luz solar, el aislante y una carcasa para contener todos los anteriores componentes.

El funcionamiento de este tipo de cocinas, consiste en aprovechar la ganancia térmica obtenida mediante el material absorbente, la cual es transferida a un fluido *caloportador*³⁵ (agua, aceite, aire, refrigerante, etc.)³⁶, que luego es enviado a calentar el horno o el recipiente donde se introducen los alimentos. En la figura 5a, se muestra el esquema de funcionamiento de este tipo de cocinas.

Figura 5. a) Diagrama del principio de funcionamiento, b) Ejemplo de una cocina solar indirecta con colector solar



Fuente: Imágenes tomadas del sitio web www.pucp.edu.pe/grupo/energias/solar/powersolar.ppt

³⁵. **Líquido Caloportador:** Líquido anticongelante a base de Glicol utilizado para evitar las bajas temperaturas en el circuito primario de los colectores solares.

³⁶. **CEUTA, Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadadas.** Autoconstrucción de cocinas solares y calentadores de agua. Parte 3. Colectores solares. Montevideo, Uruguay. 2007. Pág. 40-42.

4. METODOLOGÍA SUGERIDA

Para el diseño de la cocina solar y en cumplimiento de los objetivos que su desarrollo implica, se utilizaron tres metodologías que se complementan entre si y permiten abarcar los tres grandes bloques del proyecto desde diferentes áreas del saber: diseño, ingeniería y sostenibilidad; inicialmente el trabajo de Kart T. Ulrich y Steven D. Eppinger será el hilo conductor del proceso el cual será complementado por Nigel Cross en la etapa de diseño conceptual, finalmente, por la naturaleza medioambiental del proyecto, se utilizara la metodología creada en conjunto por TU Delft y CEGESTI para el diseño de productos sostenibles y análisis del ciclo de vida de los mismos.

En *Diseño y Desarrollo de Productos*³⁷, Ulrich y Eppinger plantean un proceso el cual para el caso actual comenzara con la identificación de las necesidades del cliente y culminara con la creación del prototipo del producto seleccionado. Esta metodología fue seleccionada debido a que permite tener un acercamiento al proceso de diseño desde una perspectiva muy similar al proceso utilizado durante varias de las asignaturas de Proyecto en el pre-grado de Ingeniería de Diseño de Producto.

Como se enunció anteriormente, la metodología de Nigel Cross³⁸ en su texto *Métodos de diseño*, servirá de complemento para el proceso. Su aplicación permitirá hacer una profundización en la etapa de diseño conceptual la cual será abarcada desde la creación de la caja negra del producto hasta el estudio de la arquitectura del producto.

Finalmente, la metodología de diseño sostenible implementada por TU Delft y CEGESTI, la cual es una organización sin ánimo de lucro creada para el desarrollo

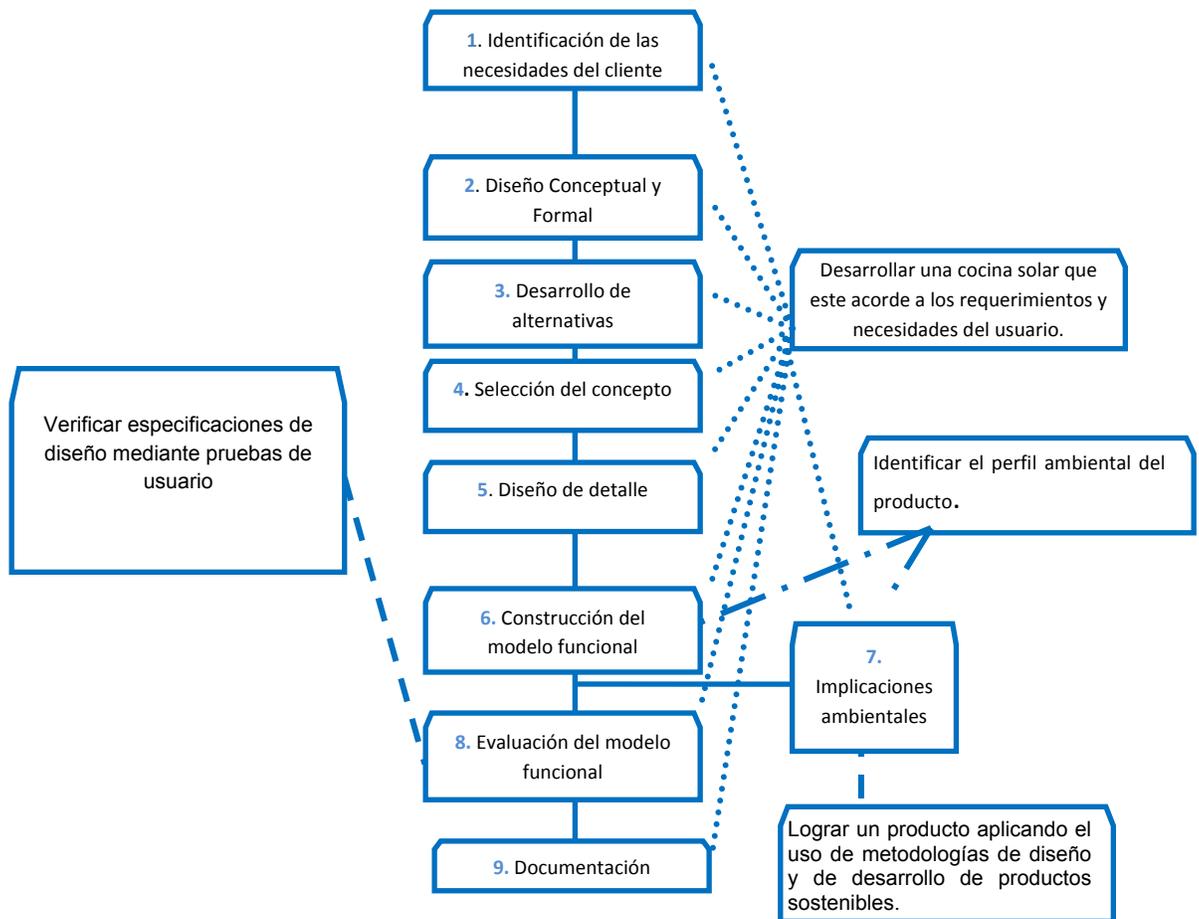
³⁷. **ULRICH, K Y EPPINGER, S.** *Diseño y Desarrollo de productos*: Rebecca Virginia Madrigal Álvarez, tr. México: McGraw-Hill. 2003.

³⁸. **CROSS, Nigel.** *Métodos de Diseño Estrategias para el diseño de productos*: Fernando Roberto Pérez Vázquez, tr. México: Limusa, Wiley, 2003.

sostenible en los países de América Latina³⁹, será implementada en la parte final del proceso de diseño ya que esta permite un mejoramiento del producto desde una perspectiva que no ha sido abordada por ninguno de las dos obras anteriormente mencionadas.

Basado en lo anterior la metodología sugerida que cumple con los objetivos del proyecto, quedaría como se muestra en el siguiente esquema. Figura 6.

Figura 6. Proceso Metodológico. Adaptación de la metodología de Ulrich y Eppinger, Cross y TU Delft vs Objetivos del proyecto



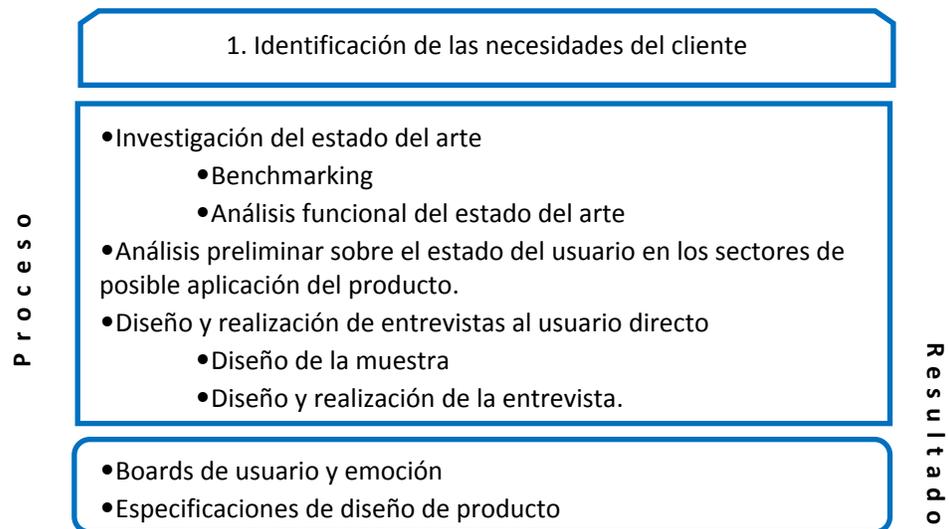
Fuente: Elaboración propia

³⁹ . CRUL M.R.M Y DIEHL J.C. Diseño para la sostenibilidad Un enfoque práctico para economías en desarrollo Francia, Delft

Identificación de las necesidades del cliente

Esta etapa tiene por objetivo realizar un acercamiento al usuario final y un estudio del estado del arte actual de productos similares, para esto se hará uso de herramientas de recolección de información como entrevistas; para su proceso de síntesis se utilizarán *boards* de usuario. Para el estado del arte, se utilizarán herramientas como el benchmarking y el análisis funcional de productos existentes.

Figura 7: Identificación de las necesidades del cliente

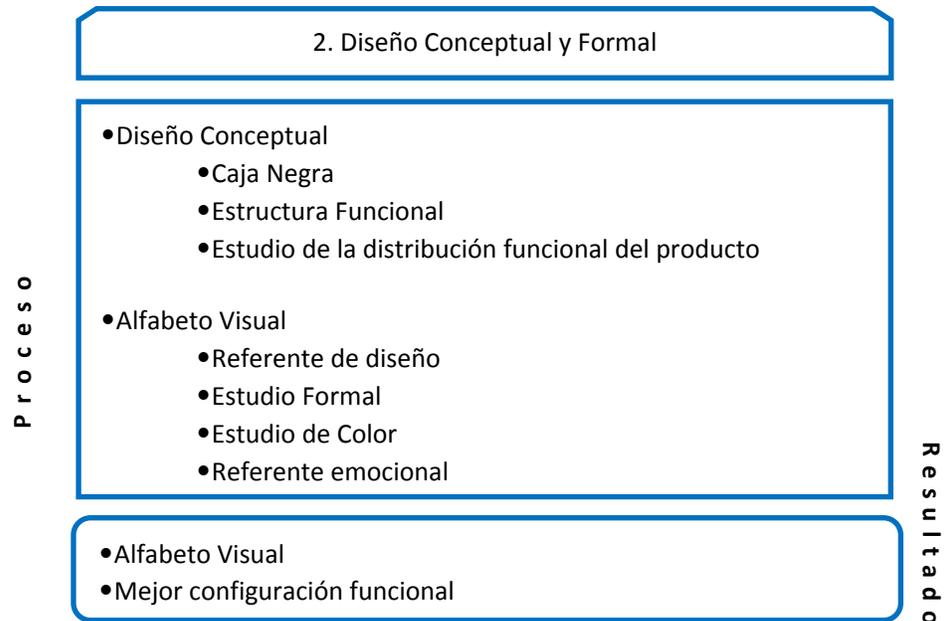


Fuente: Elaboración propia

Diseño conceptual y formal

Esta etapa tiene como principal objetivo brindar las bases para todo el proceso creativo. La conceptualización abarca desde el análisis funcional del objeto que se desea diseñar hasta la arquitectura del mismo, mientras que el área de formalización será representada por el alfabeto visual, el cual incluye referentes de forma, color y emoción que se quieran implementar en el diseño.

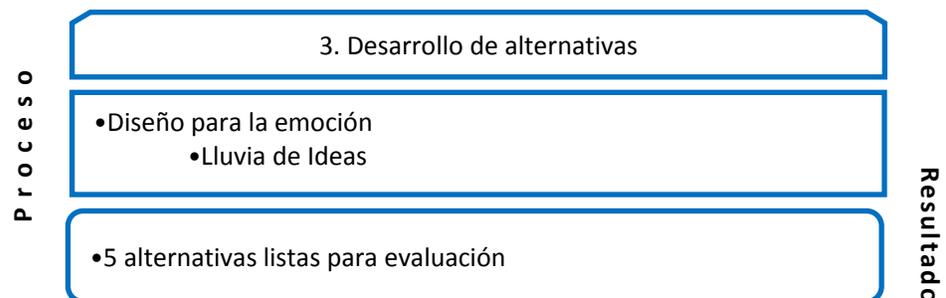
Figura 8: Diseño Conceptual y Formal



Fuente: Elaboración propia

Desarrollo de Alternativas

Aunque esta etapa es una de las que menos pasos requiere, su importancia es vital para el desarrollo del proyecto ya que es el primer eslabón en el proceso de síntesis del diseño. Para el desarrollo de las alternativas se utilizara como método la lluvia de ideas. **Figura 9: Desarrollo de Alternativas**

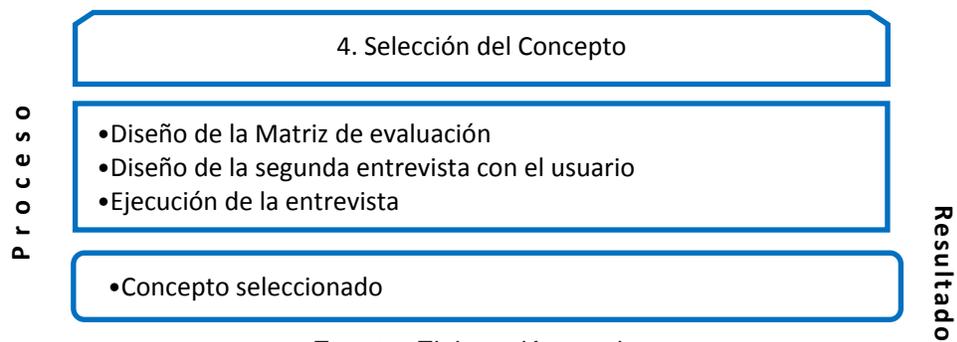


Fuente: Elaboración propia

Selección del concepto

Para la selección del concepto, se utilizará el método de criterios ponderados, en el cual se tendrá en cuenta 2 aspectos fundamentalmente: la opinión del usuario y la evaluación interna de las mismas. La opinión del usuario utilizará como medio otra entrevista la cual tendrá como espacio muestral los mismos de la entrevista anterior.

Figura 10. Selección del concepto

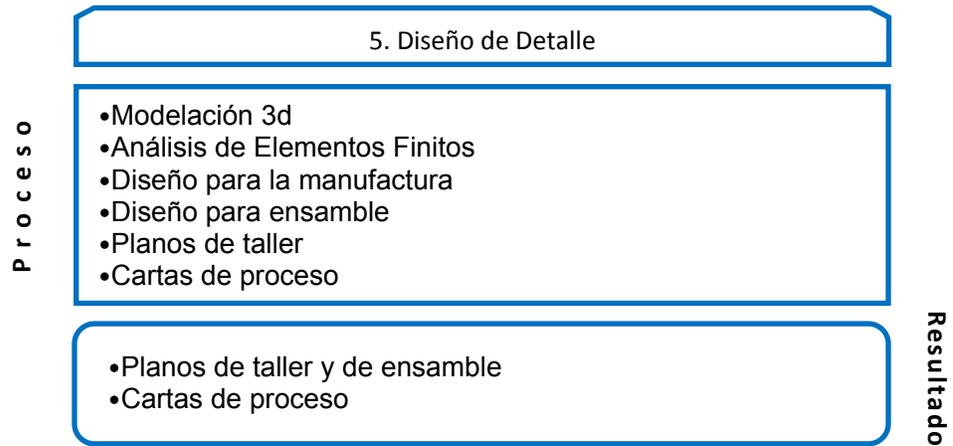


Fuente: Elaboración propia

Diseño de detalle

El diseño de detalle permite obtener un dimensionamiento y desarrollo del concepto seleccionado anteriormente. Iniciará con una modelación 3d para seguir con análisis de elementos finitos, diseño para ensamble y manufactura; los cuales servirán como base para la creación de planos de taller y de ensamble y las cartas de proceso. Adicionalmente, en esta etapa se estimarán los costos de producción.

Figura 11. Diseño de detalle

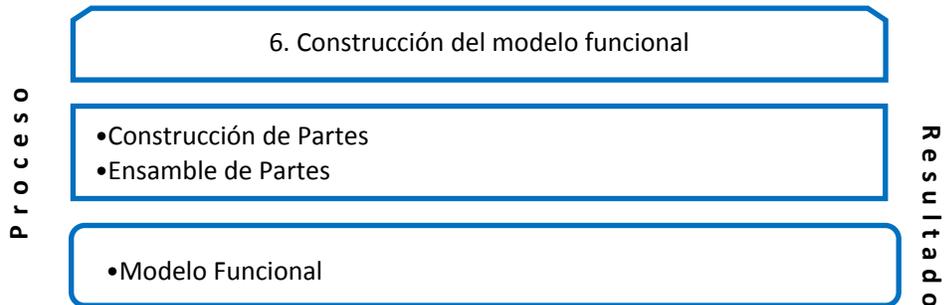


Fuente: Elaboración propia

Construcción del modelo funcional

Durante esta etapa se construirá el modelo funcional de la cocina solar el cual servirá como evaluación del proceso de diseño de detalle y como base para la realización de todas las pruebas al producto.

Figura 12. Construcción del prototipo



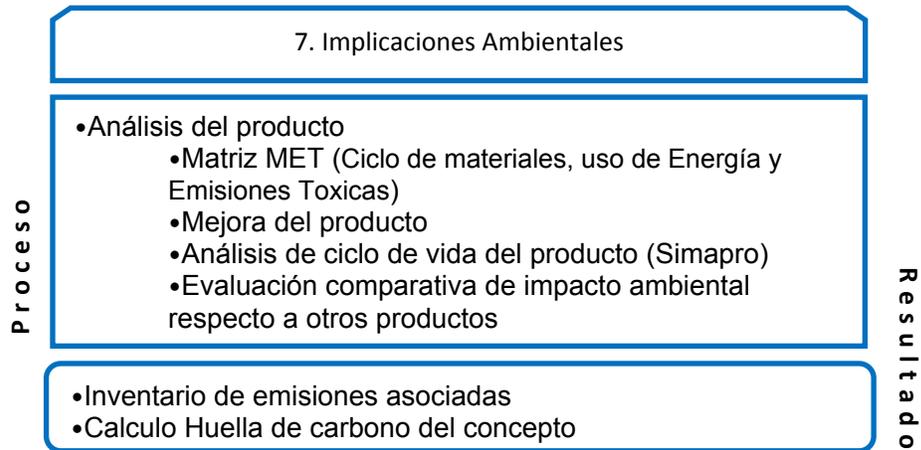
Fuente: Elaboración propia

Implicaciones ambientales

Esta etapa corresponde a la tercera metodología empleada donde se realizará el análisis del producto partiendo del análisis del ciclo de vida y al estudio de todas

aquellas emisiones derivadas de este concluyendo en la identificación y cálculo de la huella de carbono asociada al producto.

Figura 13. Implicaciones ambientales



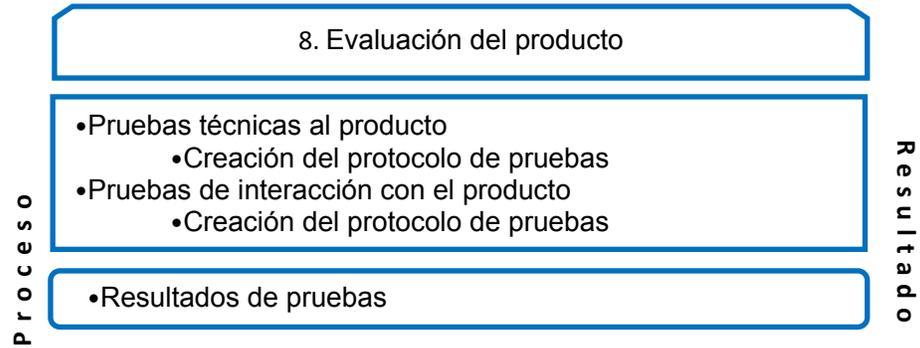
Fuente: Elaboración propia

Ya que la metodología para la aplicación de **Ecodiseño** dentro del desarrollo de nuevos productos, considera pasos que inician desde un análisis estratégico y organizacional, análisis y selección de un producto, generación de nuevas ideas y su conceptualización hasta una posterior evaluación, implementación y desarrollo dentro del ciclo de diseño, se considera pertinente la definición del anterior proceso de esta etapa, donde no se considera ejecutar la totalidad de los pasos sugeridos por la metodología, sino simplemente aquellos más convenientes para el desarrollo y evaluación del concepto resultante de las anteriores etapas, en respuesta a la necesidad de obtener un mejor producto en todos los niveles y con el menor impacto posible para el medio ambiente.

Evaluación del producto

Esta etapa corroborará el diseño del producto, se realizarán las pruebas técnicas al producto y las pruebas de interacción con el usuario.

Figura 14. Evaluación del producto



Fuente: Elaboración propia

Documentación

Si bien el proceso de documentación se ha realizado durante todo el desarrollo del producto, en esta etapa se realizarán las conclusiones de las pruebas y se diseñará el manual de usuario para la cocina solar.

5. ANÁLISIS DEL USUARIO

Es claro que existen diferentes actividades en las cuales la cocina solar puede ser una opción a considerar, y como puede evidenciarse, particularmente es necesario darle uso en aquellas actividades que sean desarrolladas en ambientes abiertos, como todas aquellas mencionadas anteriormente dentro de la justificación, puesto que el éxito funcional del producto solo será evidente, al estar expuesto al sol por argos periodos de tiempo, como suele ocurrir durante un picnic, una salida a acampar o durante la preparación de alimentos en zonas rurales, donde comúnmente se utiliza un fogón a base de leña o carbón.

Como ha sido planteado en el capítulo uno, el desarrollo del producto está enfocado en dar una solución particular para actividades de camping o afines. Por ello, y con el fin de identificar requerimientos preliminares de todos aquellos usuarios asociados a dicha actividad, se realizó una investigación de mercados de corte exploratorio a conveniencia del investigador, que de acuerdo a Ronald M. Weiers⁴⁰, permite generar ideas y hacer un reconocimiento de la información, más que la proyectar de datos. Este modelo da a conocer las siguientes premisas:

- Determinar la frecuencia con que se realizan actividades de camping
- Determinar los lugares donde habitualmente se realizan dichas actividades
- Definir los tipos de alimentos comúnmente consumidos
- Conocer el número de puestos necesarios para preparar alimentos
- Determinar el tiempo de cocción tolerable por parte de los usuarios
- Identificar otras posibles aplicaciones
- Conocer competidores potenciales en cuanto a precio

La muestra seleccionada, aunque no es representativa desde el punto de vista estadístico lo es desde el cualitativo, ya que las personas se seleccionaron

⁴⁰. **WEIERS, Ronald.** *Investigación de Mercados*: Rosa María Rosas Sánchez, tr. México: Prentice-Hall, 1986. P. 106.

teniendo en cuenta como único criterio, su gusto por acampar. Para esto se entrevistaron diferentes audiencias, entre ellos *scouts*, estudiantes de la universidad EAFIT y campistas de la ciudad de Medellín. (Ver Anexo digital A - formato de entrevista).

Con la información proveniente de esta encuesta, se logró definir dos grandes grupos objetivo factibles de ser analizados. Por un lado están todas aquellas personas que acampan por *hobby*, y por otro, están *los scouts*. Entre ambas tipologías de usuarios se identificaron diferencias considerables como: el número de personas, la tipología y variedad de implementos usados durante el camping, frecuencia en el desarrollo de actividades de campin, etc. Por ejemplo, se observó el uso común de los fogones a gasolina por parte de todas aquellas personas que practican el camping como hobby, mientras que para los *scout*, el tipo de solución a emplear, variaba entre un fogón de gas y la leña, conforme variaba el número de integrantes, que bien podría ir desde 4 personas hasta las 15 personas. Para el caso del camping por *hobby*, el número de personas identificadas en el sitio de la encuesta, consistía en grupos conformados hasta por 6 personas en función de un mismo artefacto para cocción de alimentos. Asimismo, la encuesta permitió identificar un factor similar entre ambos tipos de usuarios, para los cuales se encontró que la frecuencia con que desarrollaban actividades de camping la efectuaban cada 2 ó 3 meses (entre 4 y 6 veces al año) con un tiempo de duración de 1 a 3 días aproximadamente.

Dentro de la identificación del (los) lugar(es) de mayor concentración para camping, pudo registrarse aquellos sitios más visitados, y de los cuales sobresalen zonas aledañas a los municipios de Envigado y Guatapé, y el Parque *Arví* en Santa Elena, Antioquia. En este último se identifica la mayor tendencia de asistencia por parte de ambos grupos.

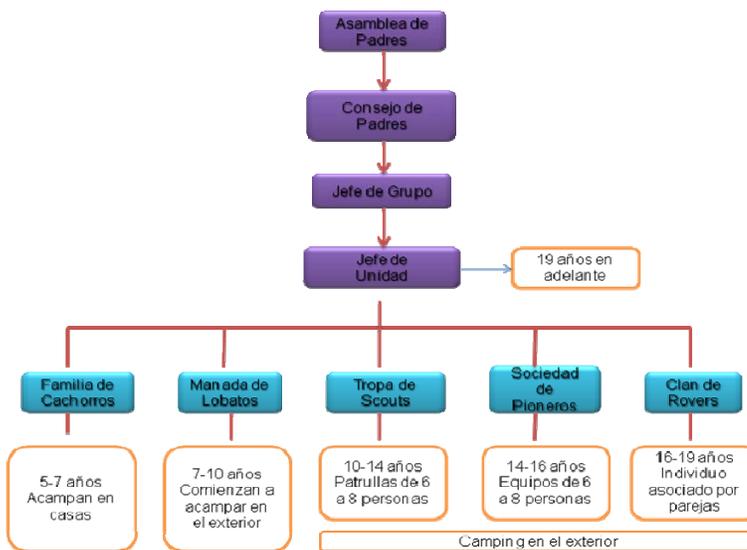
Al identificar los sitios de mayor afluencia, se pretende estimar los niveles de radiación solar haciendo uso del atlas de radiación solar en Colombia, desarrollado

por la Unidad de planeación minero energética - UPME⁴¹, y analizar el potencial funcional que tendría el producto en dichos lugares.

Definición de los usuarios directos del producto

Dentro de la estructura de los Scout (ver Figura 15), la cual va desde los miembros de la sociedad de pioneros hasta los jefes de unidad, la tropa de scouts no será tomada en cuenta ya que su limitada experiencia en actividades de camping puede no ser concluyente para el proyecto. El rango de edad del usuario, principalmente jefes de escuadrón, oscila entre los 14 y los 30 años, haciendo que la experiencia académica varíe desde estudiantes de bachillerato hasta graduados universitarios con estudios de educación superior.

Figura 15. Estructura General de los Scout



Fuente: Diana Pamela Villa. Entrevista propia

⁴¹. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – IDEAM, en convenio con la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá. Colombia. Diciembre de 2002. Pp. 3-10.

Con base en la definición del tipo y características de usuario objetivo, se procede a realizar los *Boards* de usuario.

“Boards” de usuario

Mediante la construcción de los “board” de usuario, se busca sintetizar la información del usuario, producto de las entrevistas, de manera gráfica y que permita ir concluyendo la etapa exploratoria del proceso de diseño para pasar a una más creativa. De acuerdo el libro *Product Design*⁴² de Mike Baxter, hay tres elementos que se deben manejar en los boards de usuario: estilo de vida, emoción y tema visual, donde cada uno de ellos es prerequisite para el siguiente. (ver figura 16)

Figura 16. “Boards” de usuario según Baxter



Fuente: Tomado de *Product Design*, de Mike Baxter⁴³.

Estilo de vida.

Mediante este “*board*”, se busca obtener imágenes del usuario del producto, ya sea directo o indirecto, donde se representen aspectos de su vida, generalmente agradables, que sirvan para contrastar con el producto final. Una vez este último esté diseñado, busca evaluar la coherencia del mismo con el usuario y sus posibles momentos de uso. (Figura 17a)

⁴². BAXTER, Mike. *Product Design: Practical Methods for Systematic Development of New Products*. Ed Chapman & Hall. Pp. 221-227.

⁴³. BAXTER, Mike. *Ibid.*, p. 224.

Emoción.

El “board” de emoción busca adquirir imágenes que representen el tipo de emoción más acorde con el estilo de vida previamente seleccionado. Es prioritario que esta emoción sea percibida una vez el usuario entre en contacto con el producto. (Figura 17b)

Figura 17. “Boards” de usuario- **a)** Estilo de vida. **b)** Emoción



Fuente: Elaboración propia.

Tema visual.

El “board” de tema visual busca reunir productos que sirven al usuario para generar la emoción que se busca obtener. Para ello se consideran productos de diferentes categorías y situaciones de uso, de tal manera que las formas, elementos o componentes de los mismos, sirvan como alternativas de desarrollo para el producto actual (Figura 18).

Adicionalmente, el equipo de diseño puede buscar otras ayudas graficas como respaldo a estos tres “boards”, de manera que puedan realizar boards de

Otro de los requerimientos para el producto ampliamente manifestado por los usuarios, es la necesidad de soportar agua, ya que hay ocasiones en las que las carpas se inundan como consecuencia de la lluvia. Aunque muchos de los encuestados expresaron que no lograban imaginarse el producto, se evidenció la necesidad de un producto fácil disposición de uso y transportabilidad en los morrales comúnmente usados, los cuales tienen una capacidad que varía entre los 55 y 90 litros (ver figura 19). Todos estos deseos, se tendrán en cuenta para las especificaciones de diseño de producto, sin embargo, el requerimiento principal para la cocina solar es que funcione en los tiempos de operación demandados por el usuario.

Figura 19. Morral para camping de 55 litros



Fuente: Elaboración propia

Descripción de tipos de alimentos y temperaturas necesarias de cocción.

En cuanto a la nutrición, los alimentos son cocinados en el campamento, sin embargo hay una alta preferencia por embutidos, botellones de agua y saborizantes para ésta, debido a su facilidad de preparación y consumo. El menú general que se consume se lista en la tabla 6.

Una vez, identificado los principales tipos de alimentos consumidos, se consulta el sitio web del Departamento de Salud de Virginia⁴⁵, para determinar las temperaturas de cocción requeridas para la eliminación de gérmenes y volverlos aptos para el consumo humano. Tales datos se encuentran especificados en grados Fahrenheit, por lo que se realizó la conversión a grados centígrados. (Ver tabla 7).

Tabla 6. Tipos de alimento consumidos según horario

Opciones	
Desayuno	Granola, arepa, embutidos, huevo, aguapanela o chocolate
Almuerzo	Sopas, pastas, carne, embutidos y “jugos de sobre” ⁴⁶
Cena	

Fuente: Diana Pamela Villa. Entrevista propia

Para un adecuado tratamiento de los alimentos, estos deben mantenerse por al menos 15 minutos, permitiendo la eliminación de gérmenes y agentes contaminantes⁴⁷.

Tabla 7. Temperaturas de cocción para diferentes alimentos

Tipo de alimento	Temperatura °C / °F
Aves	74°C / 165°F
Pescados, carnes, pastas y alimentos rellenos	74°C / 165°F
Carnes molidas, pescado y animales de caza	68°C / 154°F
Carne de res y cerdo	63°C / 145°F
Mariscos	63°C / 145°F
Huevos consumo inmediato	63°C / 145°F
Alimentos procesados comercialmente	57°C / 135°F
Arroz, fideos y verduras cocinadas para mantenerse calientes	57°C / 135°F
Calentar sobras	74°C / 165°F

Fuente: Tomado de Virginia Department of Health

⁴⁵. VIRGINIA DEPARTMENT OF HEALTH. Temperaturas de cocción. Disponible Online: www.vdh.virginia.gov Fecha de acceso febrero 9 de 2009

⁴⁶. Jugos cuya base es agua endulzada con sabores artificiales

⁴⁷. VIRGINIA DEPARTMENT OF HEALTH. Temperaturas de cocción. Disponible Online: www.vdh.virginia.gov Fecha de acceso febrero 11 de 2009

En cuanto el tiempo de cocción de los alimentos, varía considerablemente de acuerdo al tipo de fuente de cocción que se esté utilizando. Sin embargo, con base en las encuestas realizadas, el tiempo razonable establecido por el usuario fluctúa entre 45 y 60 minutos para alimentos destinados al desayuno, mientras que para el almuerzo, el tiempo máximo de espera estará entre 1.5 y 2 horas, con las fuentes habituales como leña, gas, combustible, etc.

En cuanto a la cantidad de alimento que se puede preparar en la cocina solar, las porciones personales recomendadas de acuerdo a la información suministrada por los usuarios se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Cantidad sugerida de alimento por día

Tipo de alimento	Cantidad sugerida (g/día)
Pastas	250 gr/persona-día
Sopas	480 ml/persona-día
Carnes rojas	200 gr/persona-día
Arepa / Pan / Papas	180 gr/persona-día
Huevo	50 gr/persona-día (equivalente a 1 huevo/persona)
Panela (Aguapanela)	85 – 100 gr/persona-día
Arroz	60 -80 gr/persona-día
Embutidos	100 gr/persona-día
Verduras y Frutas	400 gr/persona-día

Fuente. Elaboración propia. Resultado de entrevistas a usuarios.

Con base en la información de consumo anterior, puede identificarse la importancia de dar al producto la capacidad (volumen) suficiente para cocinar los consumos de alimento básicos recomendados por los mismos usuarios.

Análisis de la competencia directa – Estado del Arte

Entre los productos sustitutos que el usuario ayudo a identificar se encuentran: el fogón de leña, de gasolina, de gas y de parafina. A continuación se muestran en la tabla 9 las opiniones de los usuarios con relación a las diferentes alternativas actuales.

Tabla 9. Comparación de las principales alternativas de cocción para camping

Clase de Fogón o sistemas alternativos para la preparación de alimentos en zonas al aire libre	Tipo	Debilidades	Fortalezas
	<p>Gasolina</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Depende del tanque de Gasolina -Explosivo. Fácil riesgo de incendio -Alto peso - Requiere ser transportado -Requiere recarga -Limitaciones de transporte -Requiere bombeo -Requiere recipiente adicional para gasolina -La gasolina reacciona con algunos plásticos - El viento interfiere en su funcionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Operación en el momento deseado - Permite el control de la cocción -Portátil -Almacenable
	<p>Camping Gas</p> 	<ul style="list-style-type: none"> --Requiere ser transportado -Requiere Recarga -No indica la cantidad de gas disponible -Desechable -El viento interfiere en su funcionamiento -Inestable para ollas grandes 	<ul style="list-style-type: none"> - Operación en el momento deseado - Permite el control de la cocción - Portátil -Liviano -Tiempo de duración es elevado 2 a 3 días -Económico
	<p>Parafina</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Muy lento de usar -No calienta tan bien como el de gas o gasolina -Inestable -Tiempo de duración indeterminado -No es eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Operación en el momento deseado -Económico
	<p>Leña</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Se dificulta prender a mayor humedad de la leña -Depende de la disponibilidad de leña en el ambiente -Lento para iniciar la llama -Genera mucho humo Requiere conocimiento previo para su óptima utilización. -Impregna de humo a las personas -Riesgo de contaminación por cenizas sino se tapa la olla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Operación en el momento deseado - Funciona con lluvia -No requiere transporte -Precio Mínimo -Alcanza altas temperaturas. Ideales para cocción. -Permite hornear -Velocidad de cocción

Fuente. Elaboración propia. Resultado de entrevistas a usuarios.

6. ANALISIS FUNCIONAL

En la definición del mejor tipo de cocina a emplear, se desarrolla un ensayo comparativo, con el que se busca determinar experimentalmente, la mejor configuración en desempeño y funcionamiento para el sistema de cocción que se pretende obtener con este proyecto. Por ello se realizaron pruebas a dos tipos de cocinas solares, una parabólica o concentradora (figura 20a), y la otra tipo caja o acumuladora (Figura 20b)

Figura 20. Tipos de cocinas empleadas durante el ensayo de desempeño

a) Cocina solar parabólica, b) Cocina solar de acumulación



Fuente: Elaboración propia

Se descarta la opción de evaluar las cocinas solares indirectas debido a su complejidad estructural y funcional, puesto que dificulta la construcción de un modelo factible de ser evaluado y comparado con los otros tipos de cocinas existentes.

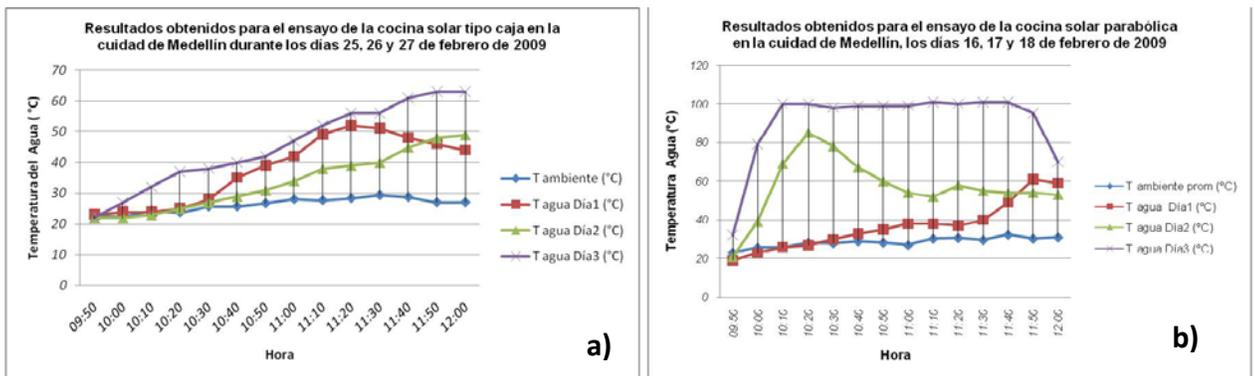
El ensayo está basado en la norma ASAE S580 JAN03⁴⁸, por medio de la cual se evalúa el desempeño de cocinas solares. En el Anexo digital B - Evaluación del desempeño de una cocina solar parabólica en comparación con una cocina solar de acumulación, se desglosa el registro completo y memorias del desarrollo.

⁴⁸. **ASAE. American Society of Agriculture Engineers.** Testing and reporting solar cooker performance. USA. Enero de 2003. (ASAE S580 JAN03). pp. 1-3.

De acuerdo a este modelo de ensayo se realizan mediciones de temperatura sobre 0,6 litros de agua para cada uno de los tipos de cocina. Como parámetros comparativos se realizan ensayos preliminares e independientes con el fin de observar el desempeño de cada uno de los equipos durante tres días y tres escenarios diferentes, un día parcialmente nublado (día 1), altamente nublado (día 2) y despejado (día 3), y bajo los cuales se observaron los cambios de temperatura registrados en las figuras 21a y figura 21b.

Figura 21. Registro de temperaturas obtenidas durante los días de ensayo.

a) Resultados cocina solar acumulación b) Resultados cocina solar parabólica



Fuente. Elaboración propia

Algunos aspectos relevantes, observados durante esta primera etapa de ensayo es la alta funcionalidad en ganancia térmica de la parabólica respecto a la cocina de acumulación los días despejados, pero bajo presencia de nubes su desempeño caía considerablemente. Con base en esto, es importante considerar la importancia funcional que presenta la cocina de acumulación al no presentar caídas tan significativas en la temperatura del agua.

En cuanto a la homogeneidad y acabado del elemento reflectivo utilizado (*foil de aluminio*) en la cocina solar de acumulación, presenta más imperfectos que la

superficie reflectiva en los casquetes de la cocina parabólica, por lo que puede considerarse como un factor decisivo en la ganancia térmica de este tipo de cocina.

Por otro lado, inicialmente, se toma como factor comparativo, la temperatura ambiente, la cual, no es un parámetro claro ni preciso en cuanto a la estimación en la intensidad de la radiación solar. Debido a esto se realiza un nuevo ensayo simultaneo donde se emplea un piranómetro (ver figura 22), que es un dispositivo que da una aproximación sobre el nivel de brillo solar. Para ello hace uso de una celda fotovoltaica, con la cual se obtiene un valor numérico a manera de índice sobre el nivel de intensidad solar a partir de la generación alcanzada por la celda solar.

Figura 22. Modelo de celda fotovoltaica empleada como piranómetro, para establecer el índice aproximado de la intensidad de radiación solar presente en los días de ensayo.



Fuente: Elaboración propia

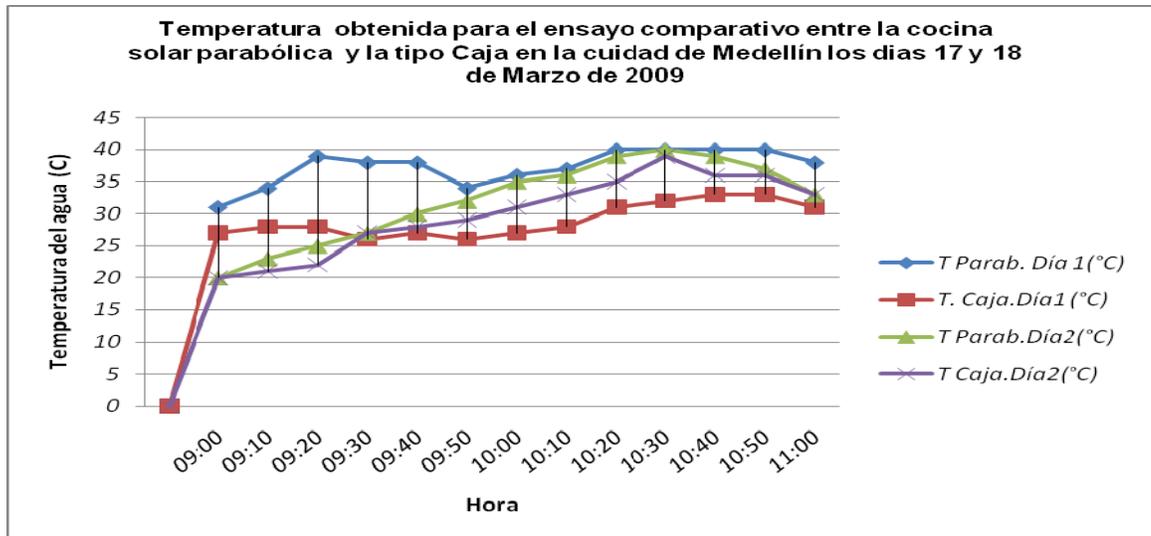
Una vez establecido el modelo de medición de la radiación se procede a realizar el montaje de ambos dispositivos (Figura 23). Para esta segunda prueba se toma el mismo patrón del ensayo preliminar, es decir, la misma cantidad de agua y ambas cocinas se expuestas al sol a la misma hora y durante el mismo lapso. Para este segundo test, en la figura 24, se especifican los resultados obtenidos para las mediciones realizadas sobre la ganancia térmica del agua

Figura 23. Montaje de ambos tipos de cocinas y dispositivos de medición para realización del ensayo



Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Análisis grafico de los resultados obtenidos del ensayo comparativo de ambos modelos de cocinas

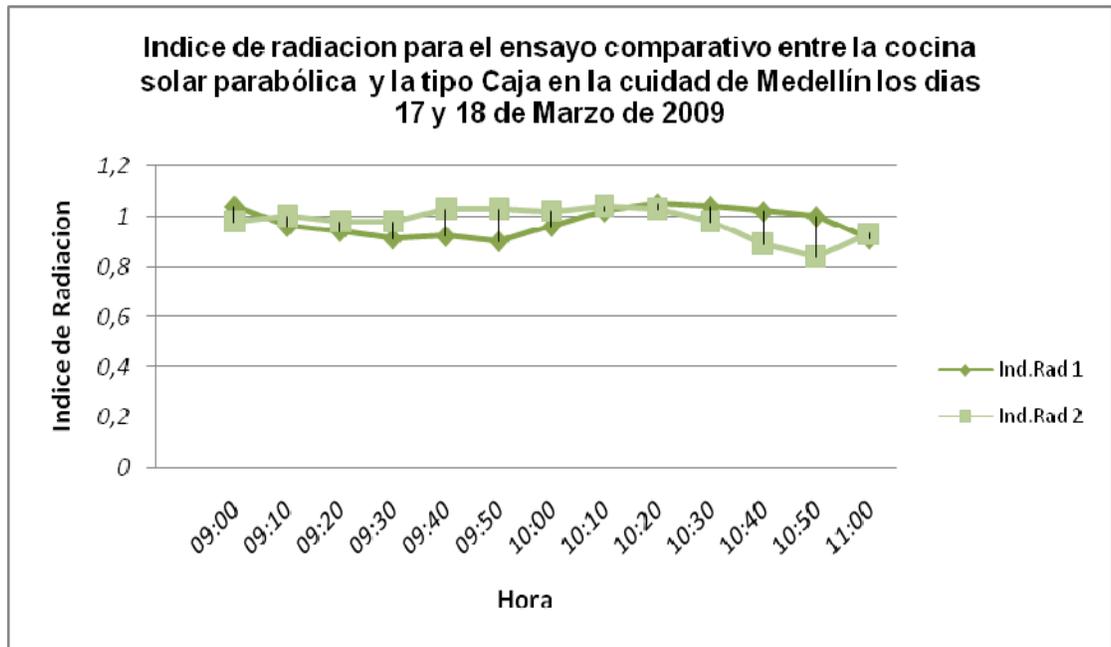


Fuente: Elaboración propia

Como se ha mencionado anteriormente, el mejor parámetro comparativo sobre el nivel de radiación solar, es el valor arrojado por el piranómetro durante el ensayo

comparativo. Por ello a continuación en la figura 25, se ilustra la variación en cuanto a radiación medida durante los dos días de ensayo.

Figura 25. Variación del índice de radiación durante los ensayos comparativos de los días 17 y 18 de marzo de 2009.



Fuente: Elaboración propia

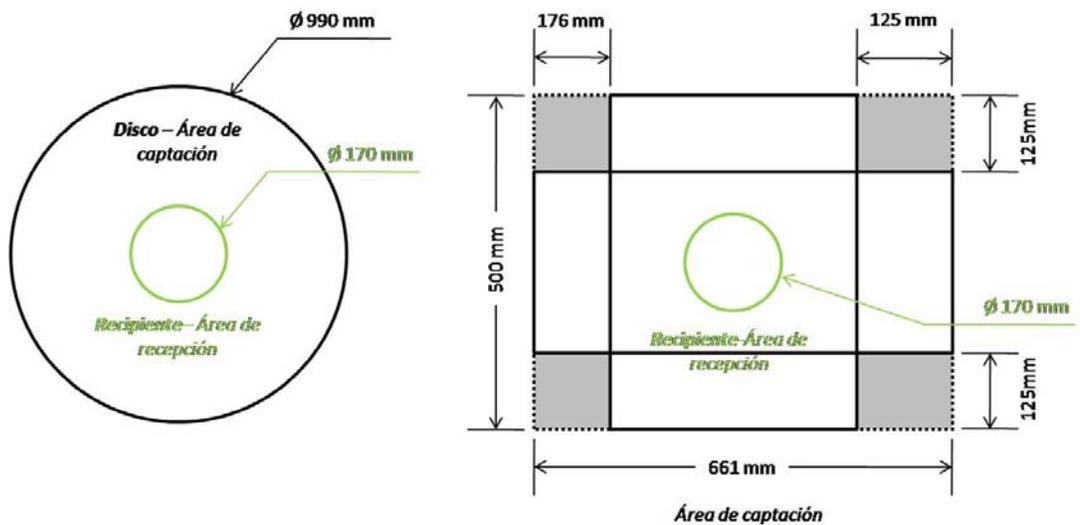
Implicaciones asociadas al diseño

Al obtener resultados y lograr evaluar el desempeño de los dispositivos en un nivel de brillo solar bajo, procuran el escenario menos favorable de operación del equipo, ya que no se podría realizar el proceso de cocción adecuadamente. Aun así se obtienen temperaturas útiles para la preparación de ciertos alimentos, aunque el largo tiempo empleado para este proceso, puede resultar poco práctico.

Otro factor considerable sobre las mediciones realizadas para la cocina solar parabólica, es la sensibilidad de este equipo a los cambios en la intensidad solar, ya que registra picos altos y bajos en las mediciones de temperatura del agua en los momentos de ausencia y presencia de nubes.

Es esencial dentro de ambas cocinas, la relación entre las áreas de captación y recepción de ambos dispositivos empleados. Para ello se calcula la relación de concentración de ambos sistemas en función de la geometría o *concentración geométrica*, la cual se define como la razón del área de apertura al área del receptor (Figura 26).

Figura 26. Diagrama de áreas de captación y recepción de los dispositivos empleados



Fuente: Elaboración propia

Del cálculo de la relación de concentración se obtienen que la cocina parabólica posee un mayor factor de concentración respecto a la tipo caja, por lo que su ganancia energética es mayor. También debe ser considerado el tamaño o dimensiones que tenga el elemento absorbedor, ya que al ser lo suficientemente pequeño, logra reducir en mayor grado las pérdidas térmicas del sistema.

De igual forma, para disminuir la pérdida de energía térmica drástica que la cocina solar parabólica presenta, puede considerarse la utilización de un volumen aislado donde pueda producirse efecto invernadero, permitiendo el

almacenamiento y ganancia del sistema. Ambos factores podrían llegar a integrarse dentro del modelo funcional de la cocina parabólica y disminuir las pérdidas que en esta se presentan.

7. ASPECTOS DE ERGONOMÍA

Como parte de la evaluación del desempeño de ambas cocinas solares, realizado durante la etapa de análisis funcional, tanto la cocina solar parabólica como la cocina tipo caja, fueron evaluadas simultáneamente en cuanto a varios aspectos de seguridad, calidad y ergonomía, los cuales se muestran a continuación en la tabla 10. Estas mediciones permiten dar a conocer factores positivos y negativos de ambos equipos que para efectos de este proyecto deberán ser reforzados o solucionados de acuerdo a su nivel de importancia y de impacto sobre la salud del usuario. Por este motivo es por el cual se deben analizar aspectos ergonómicos el mismo, que no solo pueden ayudar a dimensionar el producto sino también a mejorar la interacción del usuario con el mismo. Los aspectos que serán tenidos en cuenta son:

- Posición del usuario de pie y agachado
- Área de trabajo del usuario
- Consideraciones para el diseño de mangos
- Señales indicativas y colores adecuados
- Brillo máximo tolerado visualmente
- Temperaturas toleradas por la piel

Posición del usuario

Teniendo en cuenta los productos de la competencia y las cocinas solares estudiadas previamente, será crítico tener en cuenta la posición el usuario de pie y agachado. Cuando el usuario está de pie, Panero⁴⁹ recomienda que la altura del piso al área de trabajo varíe entre 88.9cm y 92.1 cm. Para la cocina solar este rango equivale a la altura a la cual el elemento de cocción deberá disponerse sobre el producto. Si el diseño del producto exige que el usuario se encuentre

⁴⁹ **PANERO, Julius, ZELENIK, Martin.** Las dimensiones humanas en los espacios interiores: estándares antropométricos. Decima edición. Editorial G.GILI, México, 2002. p.198.

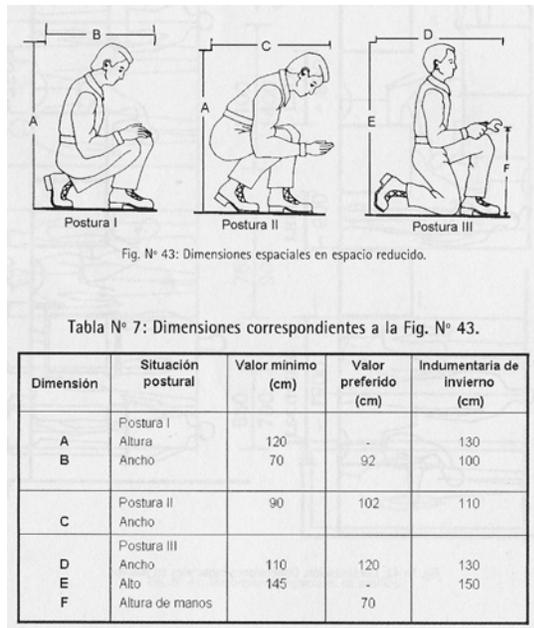
agachado, Roque Ricardo Rivas aconseja que la altura del piso al área de trabajo sea preferiblemente 70 cm. (Ver Figura 27)

Tabla 10. Evaluación de aspectos de seguridad, ergonomía y calidad de las cocinas solares ensayadas.

ASPECTOS DE SEGURIDAD		PARABOLICA			TIPO CAJA		
		Poco probable	Probable	Muy probable	Poco probable	Probable	Muy probable
<i>Quemaduras por uso normal</i>	<i>Ollas/alimentos calientes</i>		X		X		
<i>Quemaduras por contacto con vapor</i>				X			X
<i>Heridas por elementos existentes</i>	<i>Manipulación / transporte</i>		X			X	
<i>Quemaduras por fallas</i>	<i>Desborde del líquido</i>			X		X	
	<i>Inestabilidad del producto</i>	X				X	
	<i>Redireccionamiento</i>		X				X
	<i>Vientos/factores ambientales</i>		X		X		
	<i>Colapso de la estructura</i>	X			X		
ERGONOMÍA		Fácil	Prom.	Difícil	Fácil	Prom.	Difícil
<i>Transporte</i>			X			X	
<i>Facilidad de operación</i>	<i>Armado</i>			X	X		
	<i>Desarmado</i>			X		X	
<i>Direccionamiento</i>			X			X	
<i>Introducción de alimentos</i>			X			X	
<i>Limpieza de la cocina</i>		X				X	
<i>limpieza de componentes</i>	<i>Ollas, tapas, etc.</i>		X			X	
CALIDAD (Durabilidad de acuerdo al tipo de material)		Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
<i>Superficies</i>	<i>Absorbentes</i>		X			X	
	<i>Reflectoras</i>	X					X
<i>Cubiertas</i>			X			X	
<i>Aislamiento</i>				X		X	
<i>Protección exterior</i>				X		X	
<i>Soporte Móvil</i>		X					X
<i>Otros componentes</i>			X			X	

Fuente: Modelo de evaluación adaptado de Centre of Energy Studies⁵⁰

Figura 27. Dimensiones especiales para espacios reducidos.



Fuente. Tomado de las dimensiones humanas en los espacios interiores: estándares antropométricos⁵¹

Área de alcance

El área de trabajo determina la zona en la que el usuario es capaz de alcanzar objetos moviendo sus manos sin necesidad de esfuerzo alguno. Para el caso de la cocina solar, se tendrán en cuenta la información suministrada por los anteriores autores mencionados (PANERO y RIVAS), con el fin de determinar el rango de la misma, el cual debe variar entre 91.4 cm y 130 cm para el ancho y 45.7 cm a 55 cm para el largo (Figura 28).

Agarraderas

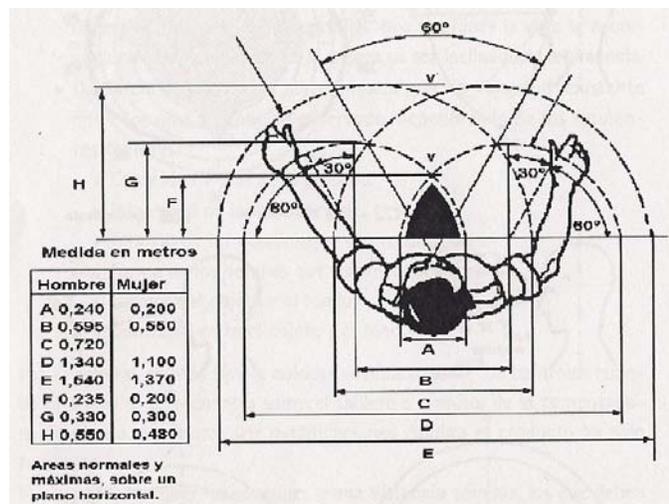
Las agarraderas deben garantizar que la muñeca del mismo permanezca recta el mayor periodo de tiempo posible. El manual de ergonomía Mapfre recomienda que

⁵⁰ . CENTRE OF ENERGY STUDIES, Indian instate of technology & MINISTRY NON_CONVENTIONAL ENERGY SOURCES. Ibíd., Pp. 4-6.

⁵¹ PANERO, Julius. ZELNIK, Martin. *Op.cit.*

tengan un ancho mínimo de 1325 mm, diámetros aproximados a los 40 mm y utilizar una forma cilíndrica o elíptica. Adicionalmente, el material debe proveer la suficiente fricción para que el objeto no se resbale por lo que se recomienda usar materiales como madera de hulla o fresno, cuero, corcho o espuma dura de Poliuretano. Adicionalmente por ser un elemento que va a estar expuesto a la intemperie, los materiales deben ser resistentes al agua en caso de lluvia y resistentes al aceite en caso de salpicaduras.

Figura 28. Área normal y máxima en el plano horizontal



Fuente. Tomado de las dimensiones humanas en los espacios interiores: estándares antropométricos⁵²

El aislamiento térmico es muy importante si los mangos están cerca de elementos de alta conductividad térmica pueden lastimar al usuario durante el funcionamiento, ya que las temperaturas pueden oscilar entre los 90 y 110° C

Señales indicativas

Al interior del producto se debe hacer referencia a situaciones del funcionamiento para mayor seguridad del usuario. Sergio Botero⁵³ recomienda usar los códigos de

⁵². PANERO, Julius. ZELNIK, Martin. *Ibíd.*, p. 199.

color correspondientes para indicar posibles situaciones de peligro, precaución y recomendación son rojo, naranja y azul respectivamente. En el caso de la cocina solar estos deberán ser visibles en partes donde haya un alto reflejo de la luz o donde la superficie este muy caliente para el contacto directo con la piel.

Brillo máximo tolerado

Dentro de los fenómenos físicos que se desarrollan al interior de la cocina solar, la reflexión de la luz del sol es muy importante para el proceso de cocción. Sin embargo, la luz del sol expuesta directamente sobre el ojo humano no solo molesta visualmente sino que puede causar daños irreparables, motivo por el cual durante el diseño del producto se debe tener en cuenta la disposición de los elementos reflectivos de tal forma que la luz del sol no incomode al usuario.

⁵³. **BOTERO, Sergio**. Desarrollo de un equipo modular para la cosecha manual de frutas y hortalizas en Colombia. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia. 2007. p.19.

8. DISEÑO CONCEPTUAL

Especificaciones de diseño de producto

Para iniciar el proceso de diseño conceptual del producto, se desarrolla de forma preliminar la definición de las especificaciones de diseño de producto, Anexo Digital C – Especificaciones de diseño de producto (PDS), donde son considerados todos aquellos requerimientos funcionales, ergonómicos, ambientales, estéticos, extraídos de la investigación realizada sobre los usuarios y productos similares y competencia existentes en el mercado.

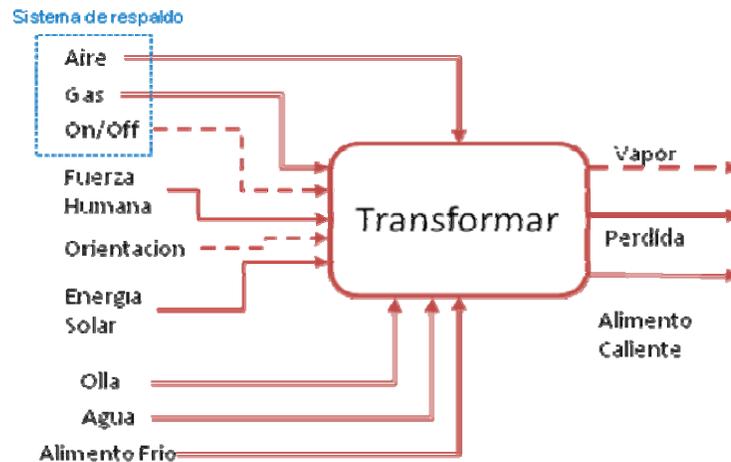
Una vez definido el PDS del producto, se procede a identificar y desglosar las diferentes funciones que este debe cumplir. Para ello se recurre a la construcción y uso de la caja negra del producto, la estructura funcional, las interacciones asociadas y las posibles arquitecturas o configuraciones básicas, útiles a la hora de plantear alternativas de solución para el producto.

Definición de la caja Negra del producto

La caja negra muestra los flujos de entrada y salida del producto relacionándolos con una función principal que realiza las transformaciones requeridas⁵⁴. Se identifica entonces, que la función principal del producto es transformar una energía solar en una energía térmica que servirá al usuario para el calentamiento de un “alimento frío” hasta un punto en que este pueda ser apto para consumo humano. Ahora bien, con base en la función principal se procede a identificar las demás entradas y salidas de materia, energía e información asociadas al sistema. A continuación en la figura 29, se muestra la caja negra de la cocina solar.

⁵⁴. **CROSS, Nigel**. Métodos de Diseño Estrategias para el diseño de productos: Fernando Roberto Pérez Vázquez, tr. México: Limusa, Wiley, 2003. p. 76.

Figura 29. Caja negra de la cocina solar



Fuente: Elaboración propia

Identificación de las entradas del sistema

Las entradas del sistema se especifican de acuerdo al tipo de flujo a considerar. Para el caso de los flujos de materia, se considera el ingreso del alimento frío previamente mencionado, y del recipiente de cocción (donde se almacenan los alimentos). No se descarta la posibilidad de emplear un sistema de respaldo a base de respaldo, integrado o ajustable al producto final. En cuanto a los flujos de energía son considerados, la energía solar y la fuerza humana, proveniente de la iteración del usuario con el producto. Por último, los flujos de información relevantes son las principales señales indicativas de uso y de orientación del producto de manera que se aproveche al máximo la energía solar.

Identificación de las salidas del sistema

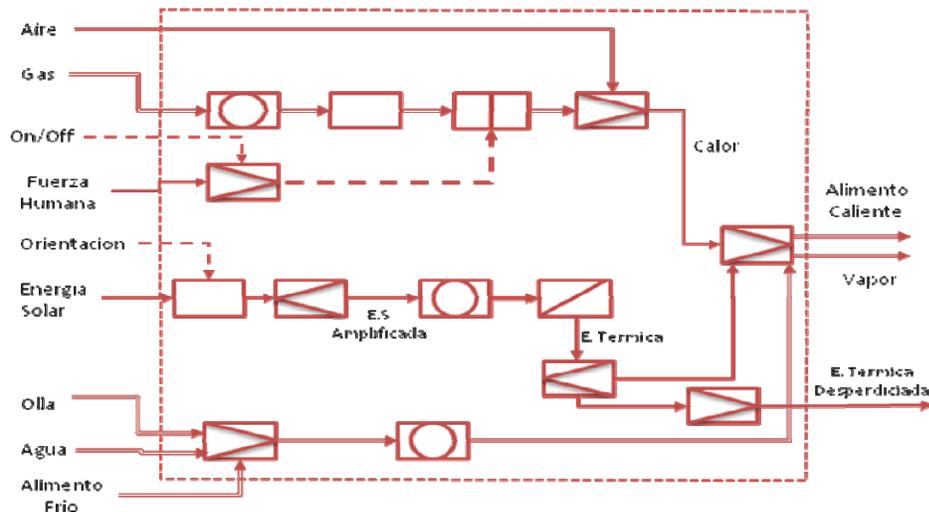
Al igual que los flujos de entrada, se espera que el sistema de cómo resultado de su función principal, la transformación de dichos flujos que ingresan al sistema del producto. Dentro de los flujos de materia que salen, se identifican el alimento caliente (apto para el consumo humano) y la generación de vapor como resultado

del proceso de cocción. En cuanto a los flujos de energía, se identifican algunas pérdidas de energía térmica o toda aquella energía no aprovechable por el sistema o que este disipó.

Desarrollo de la estructura funcional

La estructura funcional del producto, se obtiene al descomponer la función principal en un conjunto de funciones secundarias esenciales⁵⁵. Como puede verse en la figura 30, se muestra la estructura funcional del producto usando la simbología de Pahl y Beitz. En ella presentan aspectos relevantes en el diseño como son la iteración entre el usuario y el producto, la integración del producto con el recipiente contenedor, el proceso de transformar la energía solar en térmica, el proceso del calentamiento del alimento, el funcionamiento del combustible de respaldo y otras consideraciones generales del producto como el aislamiento térmico.

Figura 30. Estructura funcional de la cocina solar



Fuente: Elaboración propia

⁵⁵. CROSS, Nigel. *Ibíd.*, p. 77.

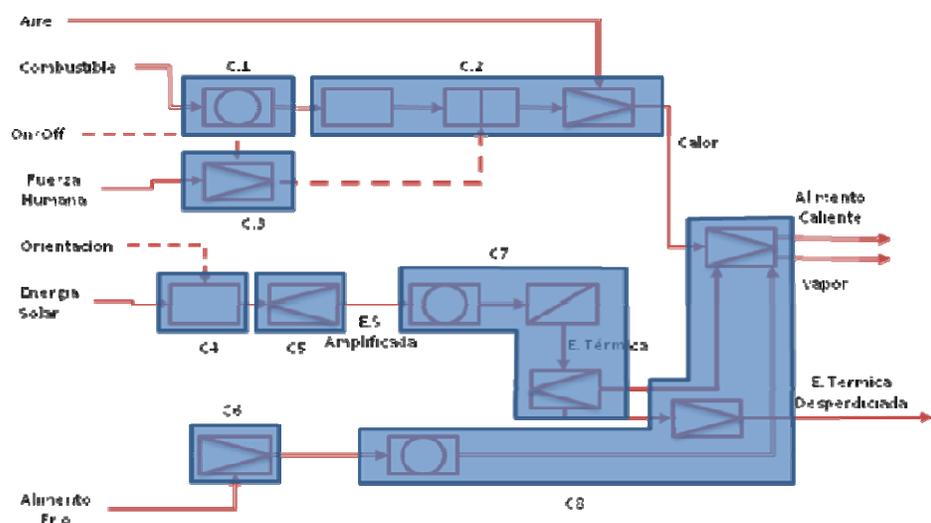
Arquitectura del producto

La arquitectura de un producto es el inicio de la materialización del mismo y define como todas las funciones planteadas en la estructura funcional se disponen en componentes encargados de realizar cada una de las sub-funciones, estos componentes también llamados portadores de función son analizados de forma que se definan las interacciones entre ellos.⁵⁶ Adicionalmente, la arquitectura del producto incluye aspectos como modularidad, los cuales serán analizados en una fase posterior del proceso.

Agrupación de los elementos del diagrama esquemático

A continuación se agrupan las sub-funciones en componentes, sin asignar portadores de funciones específicos. La figura 31 muestra la agrupación de funciones

Figura 31. Agrupación de las sub-funciones por componentes



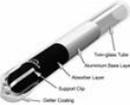
Fuente. Elaboración propia

⁵⁶. ULRICH, K. y EPPINGER, S. Diseño y Desarrollo de productos: Rebecca Virginia Madrigal Álvarez, tr. México: McGraw-Hill. 2003. p. 165.

Matriz morfológica

Una vez se han agrupado los componentes del producto, se procede a buscar componentes que cumplan con las funciones previamente mencionadas (figura 32). Esta herramienta permite visualizar las posibles configuraciones del producto de manera que se consideren diferentes alternativas de solución que sirven para ampliar el panorama de posibles alternativas del producto (ver figura 33).

Figura 32. Matriz morfológica

Componentes	Portador 1	Portador 2	Portador 3	Portador 4
Componente 1	 Tanque	 Batería	 Pipeta	
Componente 2	 Quemador	 Resistencia		
Componente 3	Perilla	Pulsador	Suiche	Sensor óptico
Componente 4	Proyector de sombra	Sensor digital	Brújula	
Componente 5	 Paraboloide Esférico	 Paraboloide Cilíndrico	 Panel plegado	 Embudo
Componente 6	 Recipiente interno	 Parrilla	 Plancha	
Componente 7	 Tapa traslucida	 Tubo de calor	 Serpentín de Cobre	
Componente 8	Soporte	Cajón	Placa plana	

Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Caminos solución de la Matriz morfológica



Fuente. Elaboración propia

Interacciones fundamentales

Son aquellas que relacionan los componentes entre sí identificando la función que realiza cada bloque para un posterior análisis geométrico. La figura 34 muestra las interacciones fundamentales⁵⁷

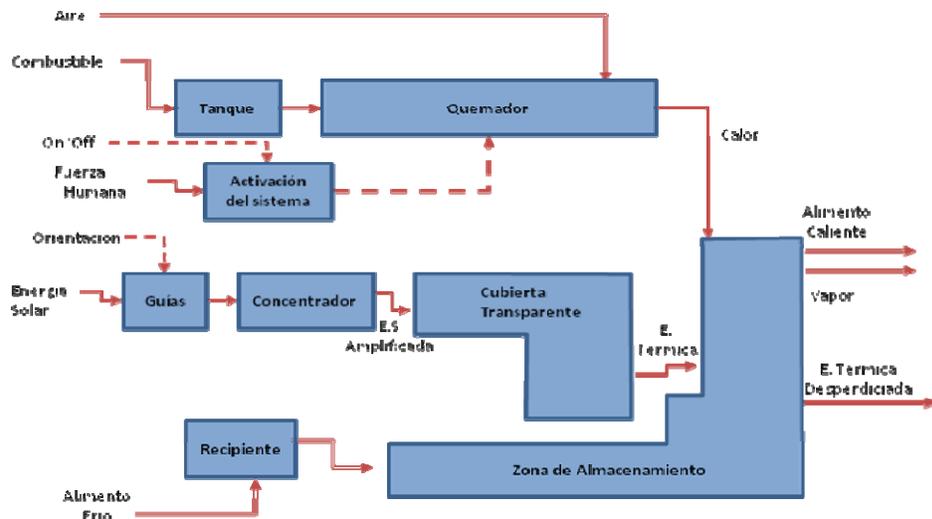
Interacciones incidentales.

Las interacciones incidentales, indican como el funcionamiento de cada componente afecta los otros, y sirven para tener en cuenta las posibles

⁵⁷. ULRICH, K y EPPINGER, S. *Ibid.*, p.176.

condiciones que pueden hacer que un componente no funcione adecuadamente a causa de otro⁵⁸. En la figura 35 se muestran las principales interacciones incidentales entre los elementos del producto.

Figura 34. Interacciones Fundamentales de la Cocina Solar



Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar, que al tener una fuente de calor adicional, producida por gas, esta llama debe tenerse en consideración para el elemento tanque, por ser explosivo, y para el resto de elementos porque al difundir calor, este puede derretir ciertos materiales o calentarlos a un punto que genere inconformidad.

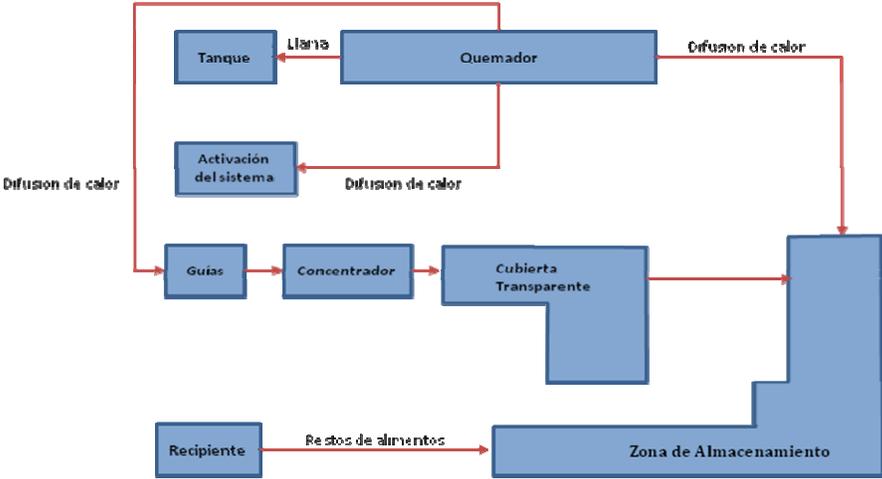
Disposiciones geométricas

A partir de los diferentes componentes creados, producto de la agrupación de funciones, se realizan diferentes arreglos geométricos que si bien guardan cierta

⁵⁸. ULRICH, K y EPPINGER, S., *Ibid.* p.176.

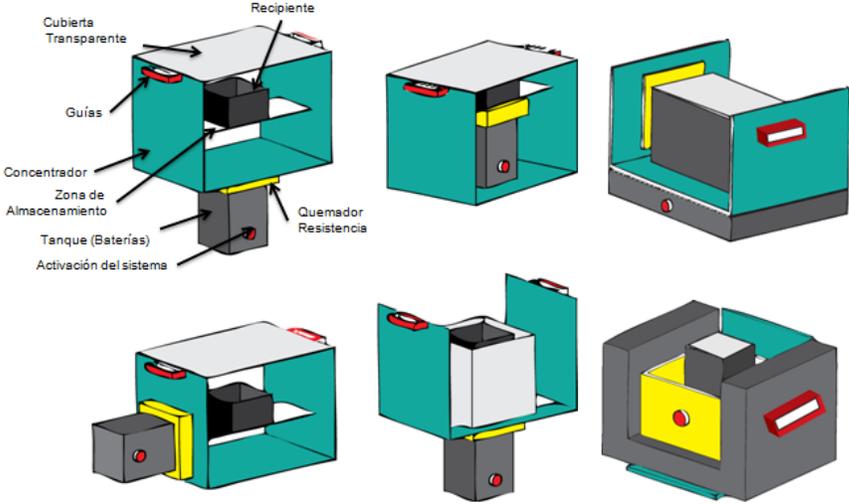
proporción con el producto final, no definen la forma del mismo. Las disposiciones geométricas se visualizan en la figura 36.

Figura 35. Interacciones incidentales entre los diferentes componentes de la cocina solar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 36. Disposiciones geométricas identificadas para el diseño del producto



Fuente: Elaboración propia

9. DISEÑO FORMAL Y GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

Síntesis formal del producto.

Selección del referente formal

Una vez realizado el desglose por emociones, que en principio, se desean dar a conocer con el producto, se tiene que el objetivo principal del nuevo concepto de cocina solar para camping, busca que las características de diseño se relacionen con las expectativas emocionales y sentimientos de los usuarios finales. A continuación en la figura 37 se muestra el collage realizado durante la etapa de identificación y selección de la emoción, donde posteriormente se seleccionara y empleara un referente para una aproximación formal del nuevo producto.

Figura 37. Collage de elementos asociados a la emoción.

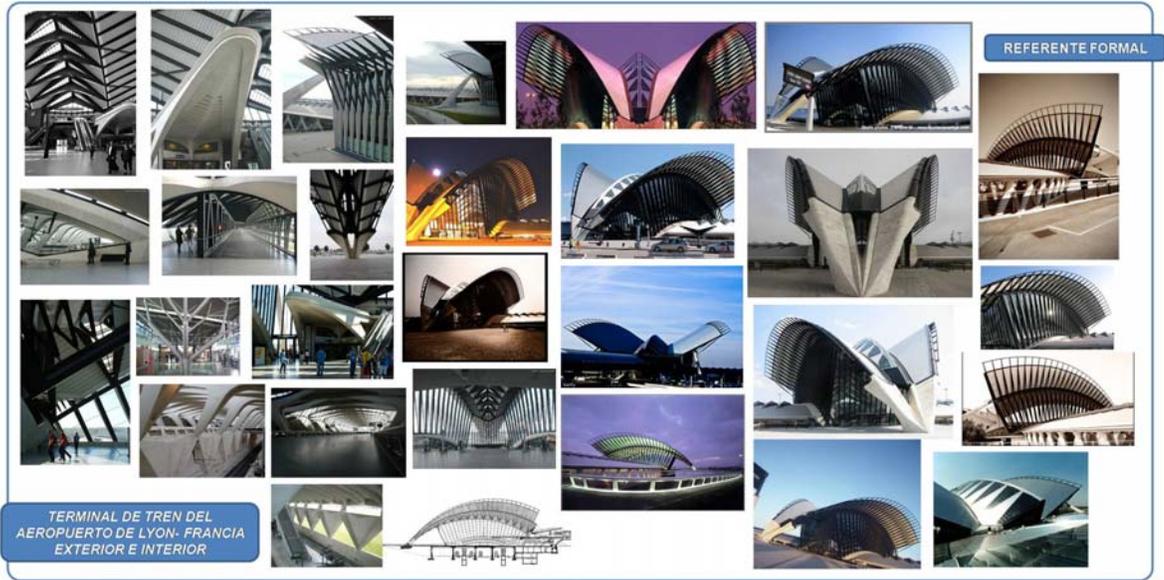


Fuente: elaboración propia

Para el desarrollo de un nuevo concepto de cocina solar, se toma como punto de partida, el concepto de *integración*. El cual se soporta desde la misma actividad que desarrolla el usuario final del producto, puesto que las actividades de camping,

bien sea por parte de usuarios aficionados o por parte de los grupos de scouts, son actividades que de una manera indirecta conllevan a la integración de grupos de personas. Otro aspecto importante que resalta el concepto de integración gira en torno al mismo producto, ya que la preparación y consumo de alimento, son actividades comúnmente realizadas en grupo. Por lo tanto la cocina, puede ser considerada como un elemento integrador en los grupos humanos. Una vez se determina la emoción hacia la cual se desea orientar el producto, se selecciona como referente formal inicial, el aeropuerto, ya que comúnmente en estos espacios se desarrollan distintas actividades de integración, como son la llegada de vuelos provenientes de distintos lugares, el reencuentro de personas o la reunión de personas de distintos lugares de procedencia, etc. De acuerdo a esto, se tomo como referente formal, la estación de tren del aeropuerto *Lyon-Satolas*, Francia, estructura diseñada por el famoso arquitecto español Santiago Calatrava (1989 – 1994), e inspirada en la forma del ojo humano.

Figura 38. Exterior e interior del referente formal seleccionado.



Fuente: elaboración propia

Como puede verse en las figuras 39 y 39, se desarrollan un collage con la selección de imágenes del interior y el exterior de la edificación, las cuales posteriormente serán analizadas y empleadas para la generación de la abstracción formal y el desarrollo de alternativas preliminares de solución.

Figura 39. Exploración formal



Fuente: elaboración propia

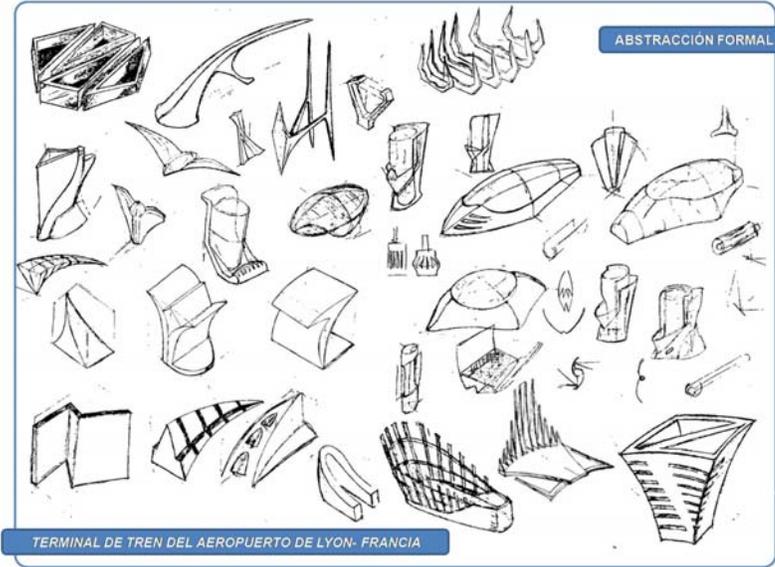
En la figura 40 se muestran las formas obtenidas durante el proceso de abstracción formal derivado de la exploración anteriormente realizada.

Debido a la tendencia del diseño sensorial en el desarrollo de nuevos productos [Bedolla 2002]⁵⁹, el objetivo final de todo producto, es que el usuario llegue a una mejor interacción tanto funcional, como comunicativa, con el producto. Para ello debe valerse de la inculcación de atributos como el color, la textura y la forma, de manera que un usuario, al percibir tales atributos e interactuar con ellos, logre

⁵⁹. **BEDOLLA, D. , LLOVERAS, J. & GIL, J.** Diseño sensorial: Modelos guía para la concepción de productos industriales más humanizados. Ejemplos. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Instituto de Diseño. Departamento de proyectos, ETSEIB, UPC. Oaxaca. México. 2002. Pág. 1-8 [en línea] Disponible en: http://cmap.upb.edu.co/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1153176144421_693802693_1561. Consulta: 2 de mayo de 2009.

satisfacer sus necesidades e inclinaciones. Los colores y texturas identificadas en el referente formal seleccionado, se muestran a continuación en la figura 41.

Figura 40. Abstracción formal



Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Colores y texturas características del referente formal seleccionado



Fuente: elaboración propia

La tabla 11, muestra una aproximación cualitativa sobre las múltiples relaciones existentes entre los atributos de los objetos o productos y sus características, ya que tanto los colores como los atributos táctiles interactúan con receptores que originan importantes *efectos psico-fisiológicos*, que marcaran las experiencias del usuario respecto a los objetos que emplea [Arnheim 1998]⁶⁰.

Tabla 11. Características y efectos de atributos sensoriales identificados del referente formal, como color, textura y formas

ATRIBUTOS	CARACTERISTICAS Y EFECTOS
Formas triangulares	<i>Tienen el efecto de ejercer tensión. Sus ángulos determinan una especie de impulso dinámico</i>
Formas Circulares	<i>Transmite el concepto de homogeneidad, permanencia e integración</i>
Color Azul	<i>Color que transmite cualidades de tranquilidad y relajamiento</i>
Color Gris	<i>Color que transmite independencia, autosuficiencia y estabilidad</i>
Textura Lisa	<i>Comunica el concepto de limpieza, elegancia y continuidad</i>
Textura Zigzag	<i>Comunica conceptos de dinamismo y movimiento</i>
texturas rugosas	<i>Otorga el concepto de pesadez, solidez y seguridad</i>

Fuente. Adaptado de diseño Sensorial de BEDOLLA, D., LLOVERAS, J. & GIL, J.⁶¹.

Análisis emocional del producto

Donald A. Norman, en su libro, el diseño emocional, determina que para la definición de una conceptualización y contextualización de productos emocionalmente diseñados, es necesario conocer los diversos niveles del sistema cognitivo y emocional de las personas, *visceral, conductual y reflexivo*⁶².

⁶⁰. ARNHEIM, Rudolf, *El pensamiento visual*, Paidós, Barcelona 1998. Citado por: BEDOLLA, D., LLOVERAS, J. & GIL, J. Ibid., p. 5.

⁶¹. BEDOLLA, D. , LLOVERAS, J. & GIL, J. Diseño sensorial: Modelos guía para la concepción de productos industriales más humanizados. Ejemplos. *Op cit.*, p. 6.

⁶². NORMAN. Donald A. El diseño emocional. Por qué nos gustan (o no) los objetos cotidianos. Ediciones Paidós Ibérica. Barcelona, España. 2005. p. 51.

El primer nivel, *el visceral*, el más básico de todos se constituye a partir de todas aquellas sensaciones preliminares del usuario respecto a los objetos con que interactúa. La respuesta visceral es inmediata y positiva, Por otro lado, el nivel *conductual*, trata del uso y de la experiencia asociada en función de las principales actividades que permite hacer el producto. Por último, el nivel *reflexivo o de la conciencia*, es donde se siente en total plenitud el impacto del pensamiento y las emociones ocasionadas en los niveles anteriores. Es decir, a este nivel están asociados el refinamiento y condiciones de mejora que se deben efectuar sobre el producto.

En la figura 42 se resume las relaciones y asociaciones particulares a los distintos niveles emocionales más comunes de las personas en relación a los productos cotidianos.

Figura 42. Esquema de las relaciones más comunes a los niveles emocionales.



Fuente: El diseño emocional de Norman Donald ⁶³.

Con base en esto, comúnmente encontramos productos que son apreciados principalmente, por su *diseño conductual*, es decir, son elegidos y estimados esencialmente por su función y utilidad, por su usabilidad, la facilidad de ser

⁶³. DONALD A. Norman. *Ibíd.* p. 54.

comprendidos y la sensación física que despiertan al usuario (belleza, durabilidad, comodidad, funcionalidad, etc.). Asimismo, el *diseño reflexivo*, logra desempeñar un papel importante en este proceso, ya que otorga al producto tener un enfoque en cuanto a atributos de confianza, servicio o simplemente diversión. Por lo tanto un diseño de éxito debe descollar en todos los niveles. Por consiguiente, para definir el nivel de valoración emocional, que el usuario seleccionado tiene sobre los productos más comunes que emplea para la cocción de alimentos durante el desarrollo de actividades de camping, se decide emplear el método de diferencial semántico [OSSGOD, SUCI & TANNENBAUM 1954], ya que como metodología de diseño emocional, aporta información relevante al captar el valor y significado afectivo que tienen las personas por los objetos ⁶⁴.

Específicamente, este método, permite medir el significado y la intensidad de juicio que cada persona atribuye a las imágenes de algunos productos específicos. Para este caso, la aplicación del diferencial semántico permite definir y establecer un valor promedio sobre la apreciación que tienen los individuos sobre los diferentes tipos de sistemas que emplean con mayor cotidianidad.

Para el análisis emocional los sistemas cotidianos de cocción para camping, se desarrolla un modelo de encuesta apoyado en imágenes de los distintos productos a analizar, con el fin de extraer información relevante sobre las percepciones de usuarios finales, permitiendo identificar componentes emocionales significativos asociados al nivel visceral, propuesto por Norman Donald, donde la apariencia y primeras impresiones, vinculan a las personas con el producto. Por medio de apreciaciones cualitativas inducidas por los mismos usuarios, se logra obtener un conjunto de adjetivos específicos asociados para este tipo de productos. En la figura 43 se describen los adjetivos y tipologías de

⁶⁴. **MONDRAGÓN D., Salvador, VERGARA M., Margarita & COMPANY C., Pedro.** Diferencial semántico: Una herramienta al servicio del diseño emocional de maquinas herramientas. Universidad JAUME I Castelló. Departamento de Ingeniería mecánica y construcción. España. P. 2.

productos que se evaluaron en el modelo de encuesta desarrollado para obtener el perfil emocional de los productos comunes de cocción.

Figura 43. Evaluación de atributos de productos alternativos para la cocción de alimentos durante actividades de camping.

CAMPINGAS		Calificación				
		1	2	3	4	5
	Moderno					
	Fácil Manejo					
	Fácil Limpieza					
	Compacto					
	Seguro					
	Cómodo					
	Estable					
	Económico					
	Rápido					
	Liviano					
	Ecológico					

COCINA SOLAR		Calificación				
		1	2	3	4	5
	Moderno					
	Fácil Manejo					
	Fácil Limpieza					
	Compacto					
	Seguro					
	Cómodo					
	Estable					
	Económico					
	Rápido					
	Liviano					
	Ecológico					

PARILLA ELÉCTRICA		Calificación				
		1	2	3	4	5
	Moderno					
	Fácil Manejo					
	Fácil Limpieza					
	Compacto					
	Seguro					
	Cómodo					
	Estable					
	Económico					
	Rápido					
	Liviano					
	Ecológico					
Moderno						

FOGÓN DE LEÑA		Calificación				
		1	2	3	4	5
	Moderno					
	Fácil Manejo					
	Fácil Limpieza					
	Compacto					
	Seguro					
	Cómodo					
	Estable					
	Económico					
	Rápido					
	Liviano					
	Ecológico					
Moderno						

FOGÓN DE GASOLINA		Calificación				
		1	2	3	4	5
	Moderno					
	Fácil Manejo					
	Fácil Limpieza					
	Compacto					
	Seguro					
	Cómodo					
	Estable					
	Económico					
	Rápido					
	Liviano					
	Ecológico					

FOGÓN DE CARBÓN		Calificación				
		1	2	3	4	5
	Moderno					
	Fácil Manejo					
	Fácil Limpieza					
	Compacto					
	Seguro					
	Cómodo					
	Estable					
	Económico					
	Rápido					
	Liviano					
	Ecológico					

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al modelo planteado, en la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos de la elaboración y análisis de los atributos más representativos sobre la cocina solar y productos alternativos.

Tabla 12. Resultados obtenidos de la evaluación de atributos de productos alternativos.

OPCIÓN	Moderno	Fácil Manejo	Fácil Limpieza	Compacto	Seguro	Cómodo	Estable	Económico	Rápido	Liviano	Ecológico
Campingas	45	46	41	38	36	40	36	30	48	42	35
TOTAL (%)	4.5	4.6	4.1	3.8	3.6	4.0	3.6	3.0	4.8	4.2	3.5
Parrilla - Eléctrica	34	33	37	35	36	35	43	30	29	27	27
TOTAL (%)	3.4	3.3	3.7	3.5	3.6	3.5	4.3	3.0	2.9	2.7	2.7
Fogón-Gasolina	33	31	28	33	29	31	36	29	40	30	27
TOTAL (%)	3.3	3.1	2.8	3.3	2.9	3.1	3.6	2.9	4.0	3.0	2.7
Cocina Solar	46	32	28	13	40	23	33	23	23	26	49
TOTAL (%)	4.6	3.2	2.8	1.3	4.0	2.3	3.3	2.3	2.3	2.6	4.9
Fogón-Leña	10	26	15	16	20	17	21	45	30	22	23
TOTAL (%)	1.0	2.6	1.5	1.6	2.0	1.7	2.1	4.5	3.0	2.2	2.3
Parrilla - Carbón	23	26	14	16	34	27	39	26	32	15	21
TOTAL (%)	2.3	2.6	1.4	1.6	3.4	2.7	3.9	2.6	3.2	1.5	2.1

Fuente. Elaboración propia

Ahora bien, existen dos formas de emplear la información cualitativa extraída. La primera de ellas, es a través de un mejoramiento sobre aquellos parámetros de mejor puntaje, con el fin de llegar a un mayor estímulo del producto sobre el usuario. Por otro lado existe la opción de buscar elevar las percepciones negativas o de menor puntaje en la evaluación y generar un producto mejor percibido por el usuario.

De acuerdo a los resultados y sensaciones provenientes de la aplicación del anterior modelo, para el caso particular de la cocina solar, tenemos que son varios los aspectos emocionales a mejorar y que adquieren un peso importante para el

usuario durante la ejecución de las actividades de camping. Dichos aspectos son la limpieza del equipo, la comodidad durante su operación, la economía (costo) del equipo, la eficiencia en la preparación de alimentos o rapidez de cocción, el peso y la compactibilidad a la hora de ser transportado.

Con base en estos criterios, se presenta un reto de diseño, que significa agrupar en el menor volumen posible todos los distintos componentes que integren la cocina solar diseñada. Ya que si se reevalúa el equipo solar empleado para los ensayos es poco práctico para camping, debido al área de instalación que demanda (1.2 m²), el alto número de componentes y elementos comerciales a ensamblar (50 elementos aproximadamente), y el peso total del equipo (11.5 kg) que lo hacen difícil de transportar.⁶⁵

Generación y evaluación de alternativas

Generación preliminar de alternativas

Mediante la técnica de lluvia de ideas⁶⁶ [Osborne 1941]⁶⁷ se busca generar ideas creativas de forma preliminar, por medio de los elementos formales identificados durante las etapas de exploración, abstracción formal, identificación de colores y texturas.

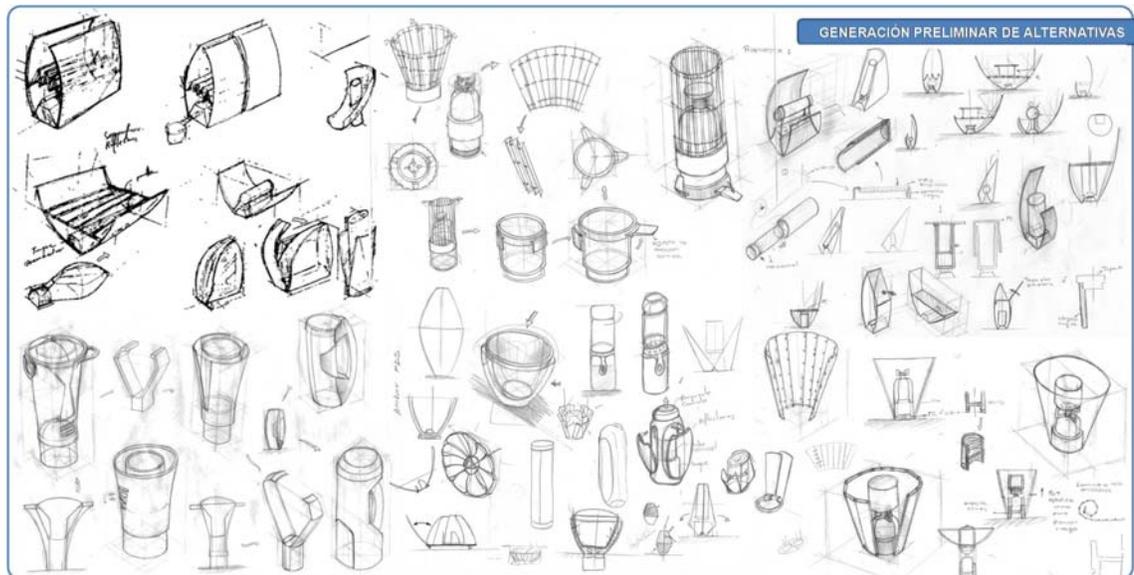
Los resultados obtenidos durante esta fase se muestran a continuación en las figura 44.

⁶⁵. **Manual de ensamble.** Cocina Solar parabólica Alsol 1.4. [Sitio en Internet] Disponible en: <http://www.alsol.es/manual%20finalbaja.pdf>. Consulta 09 de septiembre de 2009.

⁶⁶. **BAUMGARTNER, Jeffrey.** The complete guide to managing traditional brainstorming events. Bwiti company. Bélgica. [en línea]. Disponible en: <http://www.jpb.com/creative/brainstorming.pdf>. consulta: 22 de Abril de 2009.

⁶⁷. **SOCIEDAD LATINOAMERICANA PARA LA CALIDAD.** Lluvia de ideas (Braingstorming). 2000. Pág. 1. [en línea]. Disponible en: <http://www.ongconcalidad.org/lluvia.pdf>. Consulta: 22 de Abril de 2009.

Figura 44. Resultados obtenidos para la etapa inicial de lluvia de ideas



Fuente. Elaboración propia

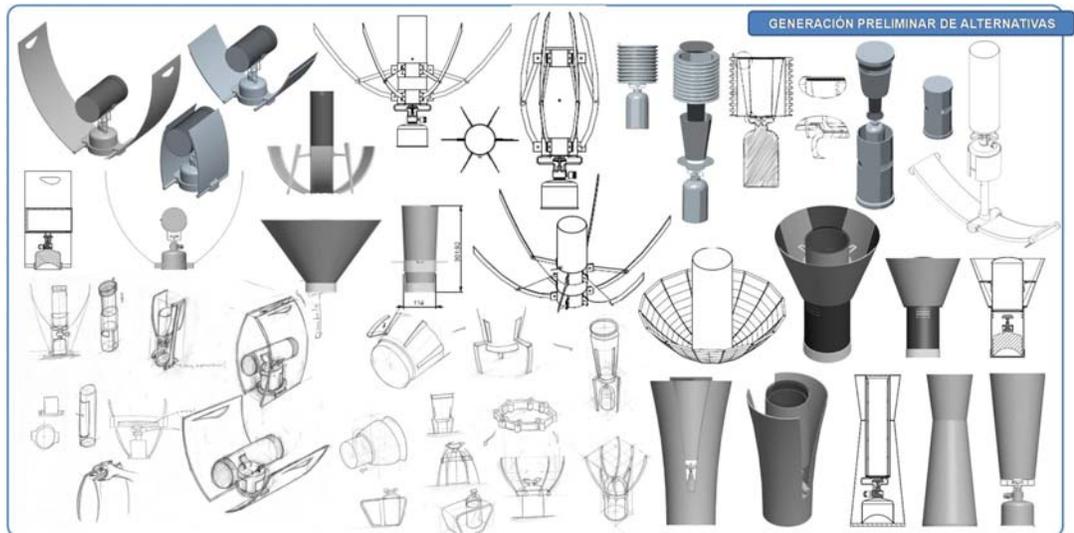
Por medio de esta primera aproximación, se identifican y se extraen de allí los conceptos que inicialmente corresponden en mayor medida con los parámetros funcionales, obtenidos tanto del ensayo realizado y la síntesis funcional, como de la coherencia formal brindada por el referente seleccionado. Para algunos casos se combinan características funcionales y formales de varios conceptos en una alternativa común, dando como resultado de dicha síntesis los conceptos preliminares mostrados en la figura 45.

Re-contextualización del referente formal

Una consideración relevante, es la obtención de un sistema compacto, fácil de transportar y adaptable a los utensilios y componentes tradicionales de camping. Para llegar a este tipo de solución se toma como elementos de referencia, dos artefactos caracterizados por ser de gran versatilidad y uso continuo, durante la realización de actividades al aire libre. Tales aparatos empleados son, el termo para agua y el soporte adaptado para su transporte en bicicleta. Para mayor

claridad en la figura 46, se muestran algunos ejemplos para ambos tipos de componentes.

Figura 45. Desarrollo de conceptos preliminares de solución



Fuente. Elaboración propia

Figura 46. Ejemplos de los referentes tomados para rediseño del producto



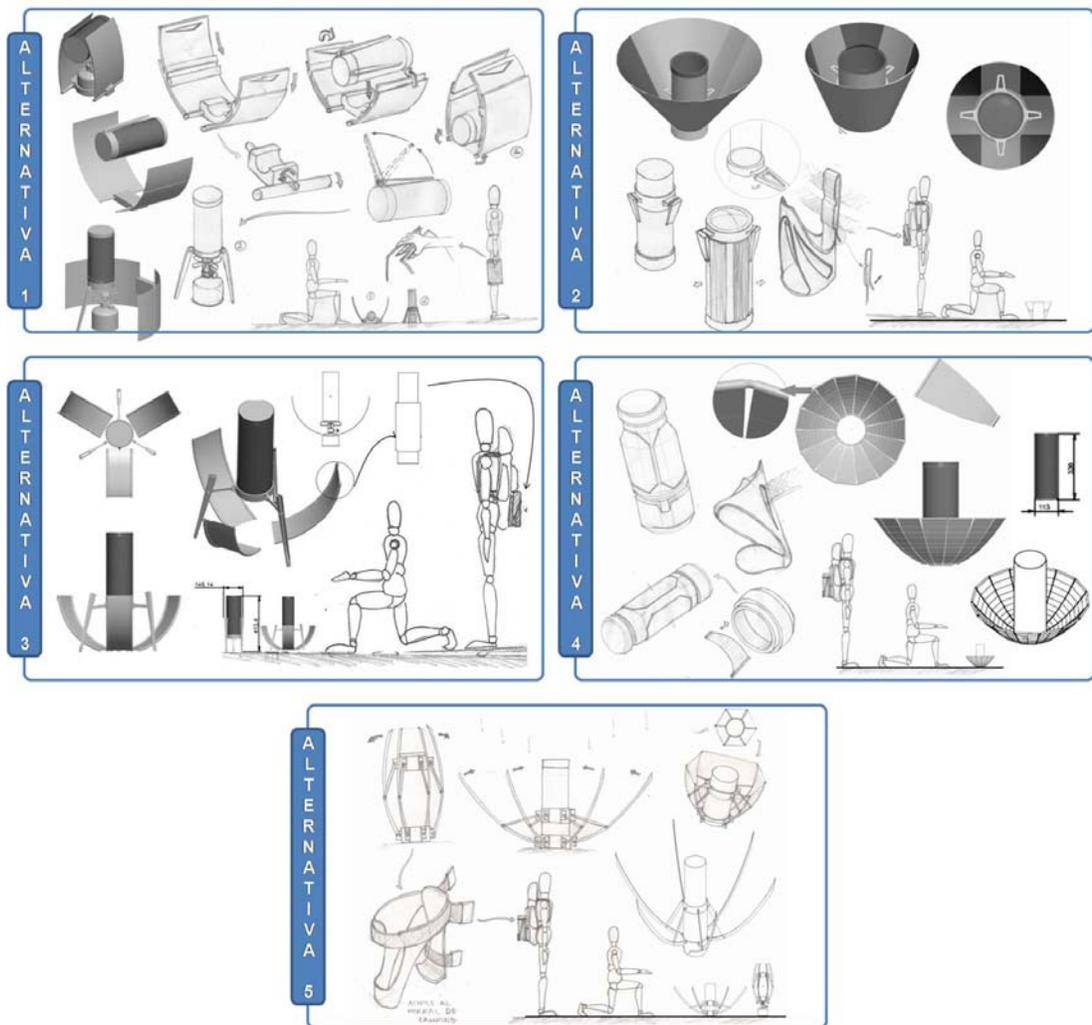
Fuente. Elaboración propia

Con base en ambos referentes y de acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo inicial, los conceptos buscan aprovechar la capacidad de concentración que tiene el disco parabólico y la disminución de pérdidas que ofrece el sistema de acumulación, son sintetizados los conceptos preliminares, para obtener cinco

alternativas de solución con un mayor grado de detalle. A continuación en la figura 47, se muestra las alternativas generadas durante esta etapa.

Como puede verse, la alternativa 1 al basarse en el principio de concentración de los sistemas cilíndrico-parabólicos, y debido a que no se tiene información suficiente para comparar el funcionamiento de este concepto respecto a los demás sistemas propuestos, se plantea como una alternativa de solución viable para este proyecto.

Figura 47. Alternativas finales de solución



Fuente: Elaboración propia

Evaluación de alternativas.

Comúnmente, el proceso de evaluación de alternativas consta como mínimo de cuatro fases (figura 48): listar los conceptos a evaluar; elegir los criterios de selección; valorar el grado de cumplimiento de cada concepto respecto de cada criterio de selección, y finalmente, mediante un algoritmo de selección determinar el mejor concepto.

Figura 48. Matriz genérica para la evaluación de alternativas de diseño



Fuente: Tomado de Estudio de métodos de evaluación de conceptos⁶⁸

Selección del método de evaluación

Para la evaluación de alternativas, se emplea el modelo de convergencia controlada planteado por Pugh (1981)⁶⁹, el cual consiste en un proceso continuo de selección de soluciones, que permite combinar situaciones de pensamiento analítico (convergente) y sintético (divergente)⁷⁰. En otras palabras, el proceso de evaluación se desarrolla entre actividades de generación y selección. En la figura 49 se muestra en síntesis el modelo metodológico de evaluación aplicado.

⁶⁸. LOZANO, Justel D., BARTOLOMÉ, Pérez E., NADAL, Vidal R., FERNÁNDEZ, Gallo A., JAUREGUI, Val E. Estudio de métodos de selección de conceptos. XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Lugo. España. Septiembre, 2007. Pp. 47 – 59.

⁶⁹. MOULTRIE, James. Design Managment Group. Institute of manufacturing. University of Cambridge. [Sitio en Internet] Controlled convergence. Disponible en <http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/ctm/idm/tools/concept/convergence.html>. Acceso el 29 de Julio de 2009

⁷⁰. REYES P. Metodología de diseño para Seis Sigma. Pág 14-16 [Documento en línea]. Disponible en www.icicm.com/files/METODOLOGIA_DFSS_IMADOV.doc. Consulta: 27 de Julio de 2009.

El método busca comparar las alternativas generadas respecto a un diseño de referencia (*datum*) o respecto a un producto existente con alta competitividad y relevancia en el mercado. En este caso, la ejecución de la evaluación se realiza tomando como el producto de referencia para realizar la comparación el Campingas, porque es el producto que posee mejor desempeño en cuanto a requerimientos de funcionalidad, portabilidad, manipulación, eficiencia e impacto ambiental, de todos los productos similares y de competencia identificados en el estado del arte,

Figura 49. Adaptación del método de evaluación de convergencia controlada.



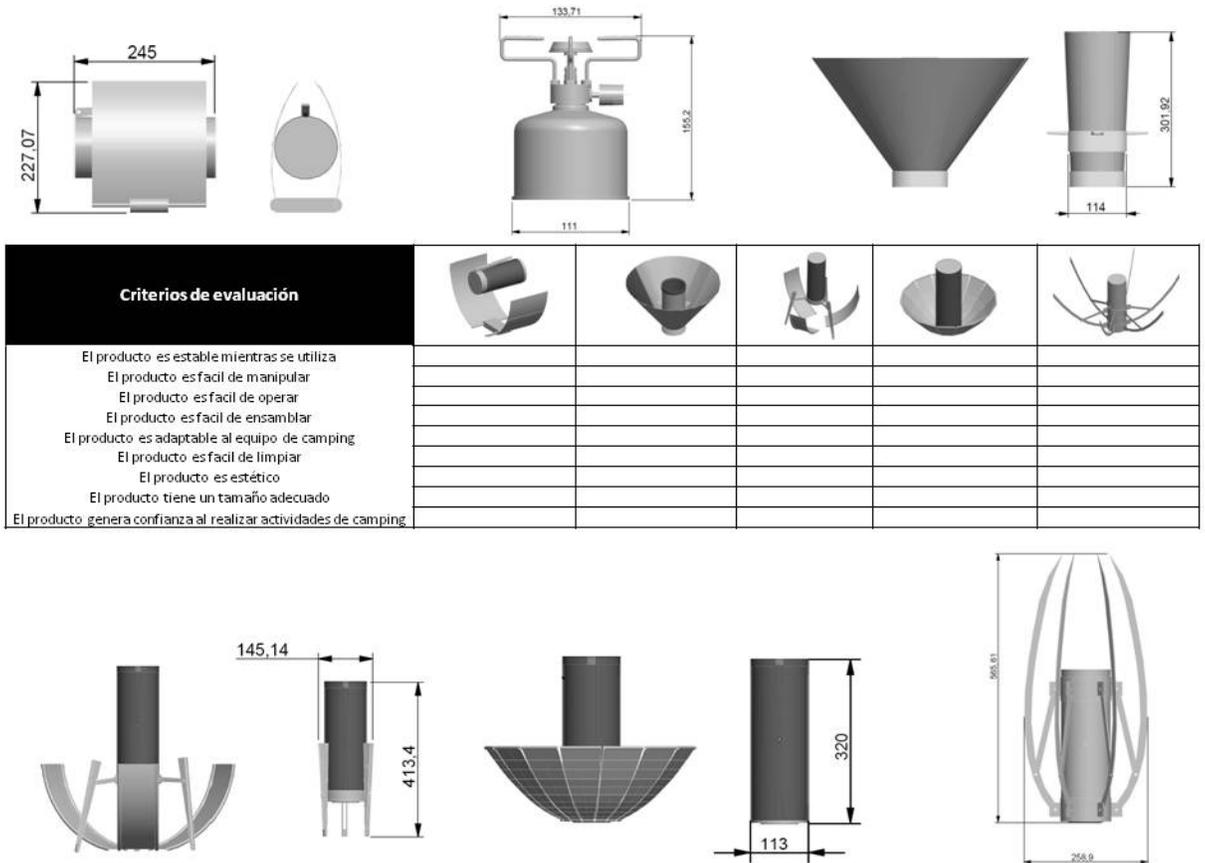
Fuente: elaboración propia.

En la figura 50 se muestra el formato empleado para la evaluación de las alternativas de acuerdo al modelo de Pugh. En concordancia con dicha matriz, los requerimientos a evaluar serán la estabilidad, facilidad de manipulación, facilidad de operación, facilidad de ensamble, adaptabilidad al equipo de camping, facilidad de limpieza, forma, estética, tamaño y confianza. La metodología de evaluación consiste en que cada usuario evalúe comparativamente, las propuestas de diseño y el producto, referencia los anteriores requerimientos. Por ello, para efectuar el registro de valoraciones en el formato, se le indica a los evaluadores que utilicen los criterios comparativos de “+”, “-” y “S”. El criterio de (+) es usado cuando la

alternativa propuesta cumple en un mejor grado respecto al producto referencia, el requerimiento asignado, El criterio de (-) es usado cuando cumple en un menor grado el requerimiento asignado y el criterio de (S) es usado cuando la alternativa propuesta cumple en igual grado el requerimiento asignado.

Al final se contabilizaran la cantidad de criterios positivos, negativos e iguales de cada una de las alternativas, y la alternativa con mayor cantidad de rasgos positivos (+) será la alternativa seleccionada.

Figura 50. Modelo de evaluación planteado para la selección de alternativas de acuerdo al modelo de Pugh



Fuente: elaboración propia

Evaluación de alternativas

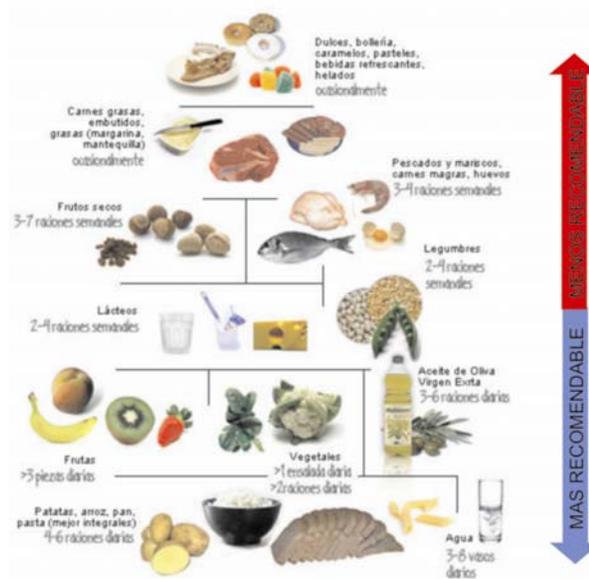
Para el desarrollo de la evaluación, se visitó a un grupo de scouts reunidos en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana el día 25 de Julio de 2009. Durante el desarrollo de este evento se contó con presencia de aproximadamente 50 scouts entre jefes de escuadrón y miembros de tropa. Por ello, para la obtención de mejores resultados, solo se realiza la prueba con aquellos scouts de mayor rango y experiencia dentro de cada uno de los grupos de scouts participantes del evento. El filtro permite extraer percepciones sobre el concepto propuesto de aquellas personas son las que mayor contacto y con más regularidad desarrollan actividades de camping, y especialmente en la preparación de alimentos.

Una vez identificadas las personas que pudieran participar de la evaluación, se realizó la evaluación con 8 personas, dentro de las cuales se encuentran participan jefes de escuadrón, personas con mayor experiencia dentro de las tropas y scouts que han efectuado en alguna oportunidad alguna actividad de camping o picnic.

Los resultados que se muestran en la tabla 13. Como puede observarse, las alternativas con mayor cantidad de criterios positivos y menor cantidad de criterios negativos, son la alternativa 1 y 4. Adicionalmente, de esta primera evaluación, son extraídos aspectos y consideraciones relevantes, que deben ser incorporados al diseño final como son:

- Facilidad para revolver los alimentos mientras están siendo cocinados
- Tener en cuenta la base alimenticia recomendada durante la realización de actividades de camping. (Ver figura 51)

Figura 51. Pirámide alimenticia recomendada, para la realización de actividades de camping.

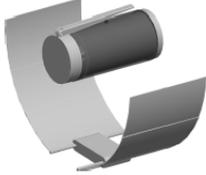
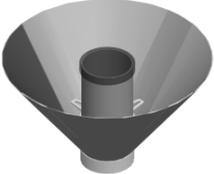
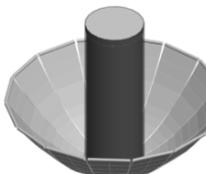


Fuente: Adaptado de pirámide alimentaria de Fundación Dieta Mediterránea (FDM)⁷¹

Observando el modelo de alimentación, pueden ser identificados la tipología de alimentos y consumos más recomendables durante el desarrollo de actividades de camping. Dicha pirámide alimenticia se basa en el consumo de pastas, cereales, legumbres, vegetales y principalmente, en el consumo de agua, debido a la considerable pérdida de agua que sufre el organismo como consecuencia de las prolongadas caminatas y la cantidad de ejercicios que son ejecutadas por este tipo de usuarios (scouts) durante el camping.

⁷¹. **FUNDACIÓN DIETA MEDITERRANEA.** Los alimentos. Pirámide alimentaria. [Sitio en Internet]. Disponible en http://www.fdmed.org/03_piramide.asp. Acceso el 26 Julio de 2009.

Tabla 13. Resultados obtenidos de las evaluaciones de las alternativas realizadas

	ALTERNATIVA 1										
	ENCUESTAS	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	TOTAL	PROM
	SUM(+)	7	6	5	6	5	5	2	3	39	4.88
	SUM(-)	0	2	0	3	1	1	5	2	14	1.75
SUM(S)	2	1	4	0	3	3	2	4	19	2.38	
	ALTERNATIVA 2										
	ENCUESTAS	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	TOTAL	PROM
	SUM(+)	5	2	2	5	2	6	0	4	26	3.25
	SUM(-)	1	4	1	4	4	2	3	2	21	2.63
SUM(S)	3	3	5	0	3	1	5	3	23	2.88	
	ALTERNATIVA 3										
	ENCUESTAS	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	TOTAL	PROM
	SUM(+)	5	5	9	3	4	6	0	3	35	4.38
	SUM(-)	0	2	0	1	1	2	7	3	16	2.00
SUM(S)	3	2	0	2	4	1	2	3	17	2.13	
	ALTERNATIVA 4										
	ENCUESTAS	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	TOTAL	PROM
	SUM(+)	3	6	9	5	4	6	1	5	39	4.88
	SUM(-)	5	0	0	3	2	2	2	2	16	2.00
SUM(S)	1	3	0	1	3	1	6	2	17	2.13	
	ALTERNATIVA 5										
	ENCUESTAS	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	TOTAL	PROM
	SUM(+)	5	2	2	4	3	6	0	3	25	3.13
	SUM(-)	1	2	5	4	3	2	7	4	28	3.50
SUM(S)	3	5	2	1	3	1	2	2	19	2.38	

Fuente: elaboración propia

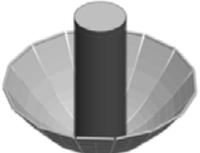
Selección alternativa final de solución

Con base en el resultado anterior, se procede a realizar el proceso de evaluación anterior con las alternativas 1 y 4, tomando como evaluadores, personas con mayor conocimiento y especialidad sobre actividades de camping. Un caso particular de aplicación de este modelo se efectuó al Ingeniero Santiago Orrego del grupo de Investigación de Mecánica aplicada de la Universidad EAFIT, quien

fuera de tener fundamentos y conocimiento teóricos suficientes para evaluar el productos desde su concepción funcional, brinda percepciones también desde su experiencia como individuo que efectúa actividades de camping por hobby, principalmente en alta montaña. Este segundo filtro se realiza con el fin de destacar de ambas alternativas, factores funcionales que puedan conllevar a mejorar y optimizar la alternativa final.

En la segunda evaluación, no se emplea ningún producto de referencia o comparativo, sino que es realizada directamente entre ambas alternativas. Para esta evaluación se toman los mismos criterios de evaluación empleados en el modelo anterior y se selecciona la alternativa que cumple en mayor grado los requerimientos planteados. Los resultados obtenidos se observan a continuación en la tabla 14.

Tabla 14. Formato de selección para filtración de alternativas finales de solución

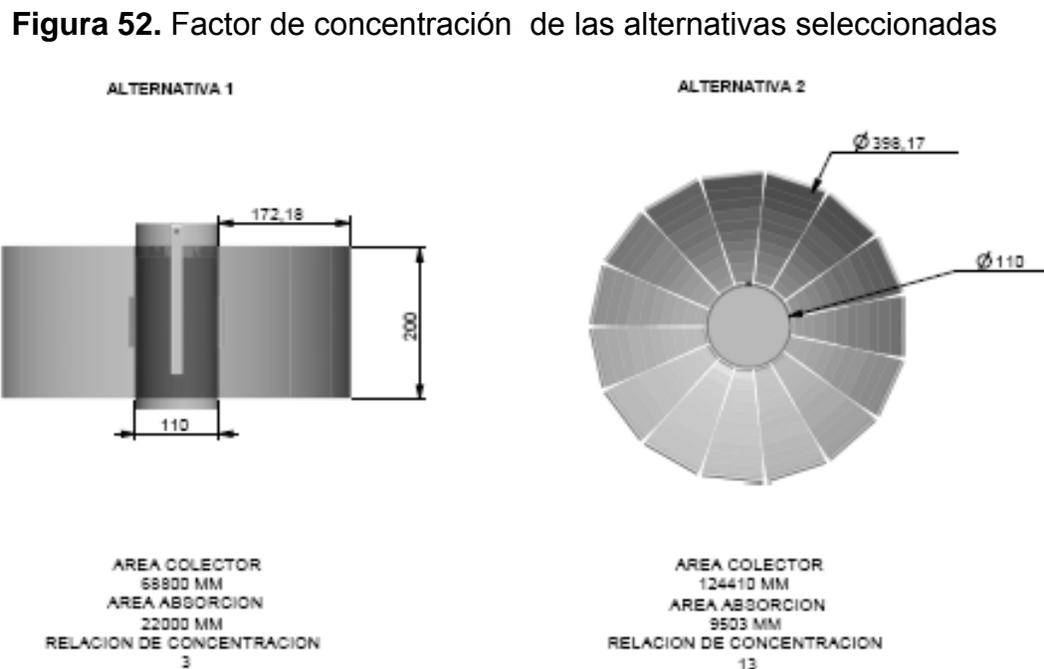
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS FINALES DE SOLUCIÓN			
Alternativa 1	Criterios de evaluación	ALT 1	ALT 2
	El producto es estable mientras se utiliza		X
	El producto es fácil de manipular		X
	El producto es fácil de operar		X
	El producto es fácil de ensamblar		X
	El producto es adaptable al equipo de camping		X
	El producto es fácil de limpiar		X
	El producto es estético	X	
	El producto tiene un tamaño adecuado		X
	El producto genera confianza al realizar actividades de camping	X	
SUM (X)		2	7

Fuente: Elaboración propia

Además de la selección de una alternativa de diseño factible de ser desarrollada en un mayor grado de detalle, éste filtro permitió extraer consideraciones relevantes sobre el producto, como:

- La utilización de un único recipiente de cocción debe permitir la preparación de gran variedad de alimentos. Por ello la importancia que el proceso de limpieza de este componente sea lo más fácil y rápido posible.
- Mantener la temperatura del alimento el mayor tiempo posible.
- Como operación básica del equipo, este debe permitir a los usuarios potabilizar agua, bien sea para consumo posterior o para la cocción de los mismo alimentos. Cabe resaltar, que esta recomendación ratifica la importancia del consumo de agua como base de la alimentación dentro del camping.

Finalmente, se procede a evaluar funcionalmente ambos conceptos, y se toma como criterio, la relación de concentración de ambas cocinas con el fin de conocer la ganancia térmica de cada una de ellas. En la figura 52 se muestra la relación de áreas y el factor de concentración hallado.



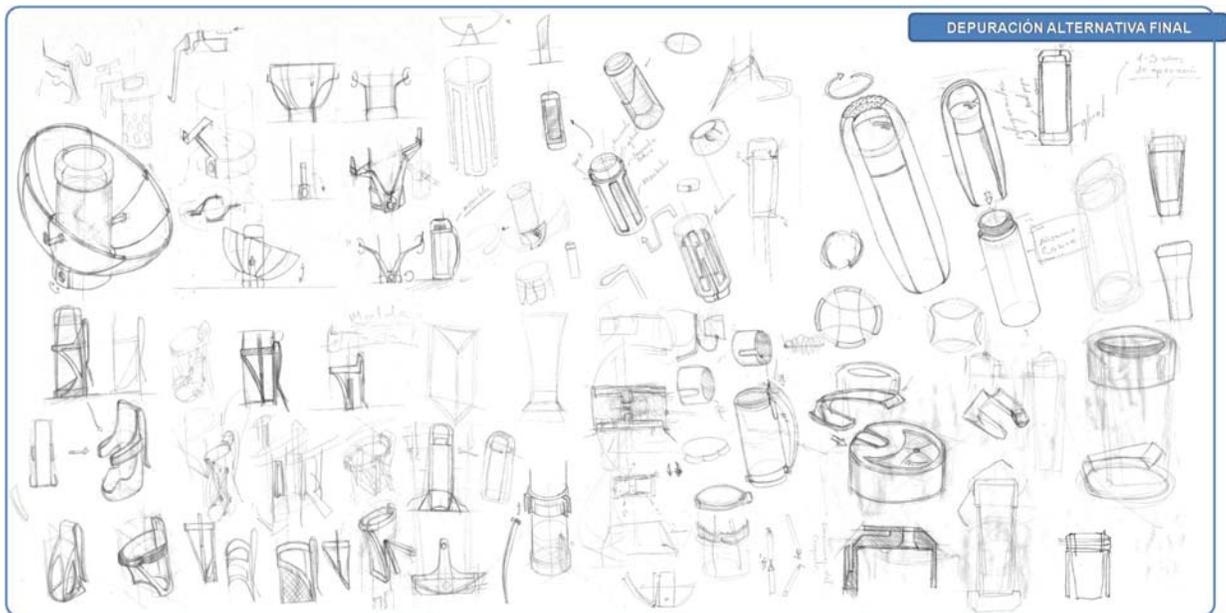
Fuente: elaboración propia

Como puede verse, el factor de concentración de la alternativa 2 es mayor que la alternativa 1, por lo cual se infiere que la alternativa con sección parabólica presenta una solución, que probablemente otorgara mayor ganancia térmica.

Consolidación de la alternativa final de solución

Una vez se tiene la alternativa final, a criterio de los usuarios finales del producto, se procede a realizar un segundo proceso de síntesis formal, con el fin de establecerse un diseño de mayor detalle que facilite la construcción del modelo CAD del producto. En la figura 53 se evidencia el proceso de depuración de la alternativa final seleccionada.

Figura 53. Depuración formal y funcional de la alternativa final de solución.



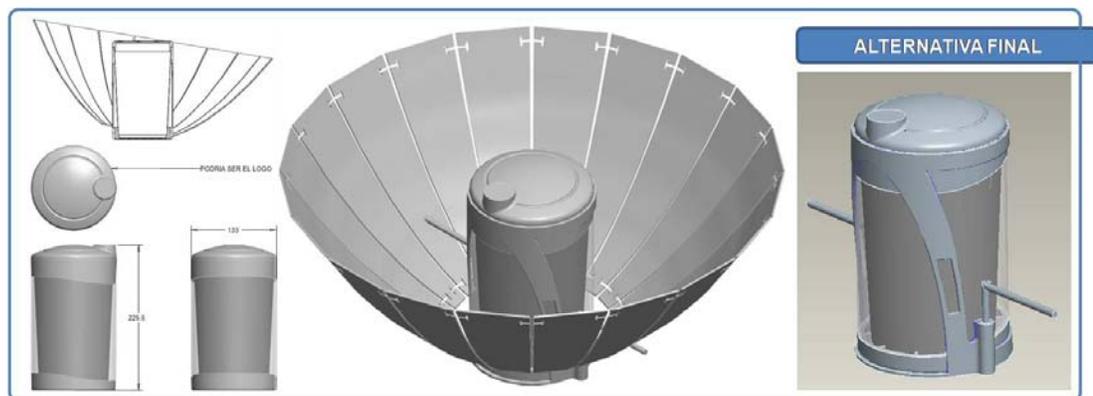
Fuente. Elaboración propia

Durante esta etapa de depuración se tienen en cuenta aspectos de gran importancia para el desarrollo del producto y su interface con el usuario. Tales aspectos son:

- La facilidad de orientación de la sección parabólica sin alterar el foco de recepción
- Número de componentes (Ensamble y desensamble de componentes)
- Almacenamiento durante y después de los ciclos de uso.
- Compatibilidad con el equipo de camping
- Accesorios secundarios para facilitar el uso del producto (orientación, soporte, elementos de agarre, etc.)
- Indicaciones e instructivos de uso
- Contacto de los materiales con superficies de alta temperatura
- Secuencias de uso. Operaciones previas y posteriores a la operación del producto. Montaje y desmontaje

Considerado los anteriores aspectos, y de acuerdo a lo obtenido del proceso de síntesis formal y funcional durante el proceso de evaluación de las alternativas finales preliminares, se procede a la construcción de un modelo tridimensional de la alternativa final de solución (figura 54).

Figura 54. Modelo tridimensional de la alternativa final de solución.



Fuente. Elaboración propia

Parte importante de la optimización de dicha propuesta, se obtiene sobre la consideración de una buena relación de captación entre la sección parabólica y la sección de recepción. Por ello para una mejor formalización del concepto se

calcula la sección parabólica que permita obtener una relación de concentración intermedia a la cocina solar parabólica ensayada, y aproximada a la alternativa de solución propuesta (ver alternativa 4). Dicha relación de concentración entre el área de captación y absorción del concepto propuesto es de 15.

Posteriormente, se procede a construir el modelo tridimensional final del producto, y para ello se establece una carta de colores, que aunque no correspondiente con la obtenida en el análisis formal, se plantea de acuerdo a consideraciones dadas por los usuarios finales durante la evaluación de alternativas. En la figura 55 se muestra el modelo 3D de la alternativa, y en la figura 56, se desglosan las diferentes opciones de colores, factibles de ser aplicadas en el producto final.

Figura 55. Modelo CAD del producto final.



Fuente. Elaboración propia

Figura 56. Carta de colores para el producto final.



Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a la importancia funcional de la sección parabólica en el producto, y una vez se ha establecido su geometría final mediante la formalización en un modelo CAD, se procede a la construcción y conceptualización final del producto mediante el diseño de detalle.

Aunque, el referente seleccionado y la carta de colores que de allí es extraída, sugieren el uso de colores fríos, como el azul y el gris, se busca generar mayor contraste en el concepto generado, que al igual que en el referente se da una continua combinación de formas curvas y rectas, se pretende encontrar un contraste de mayor impacto para el usuario. El color es redefinido, a partir del uso del concepto de modernidad que manejan la gran mayoría de elementos y productos asociados a las actividades al aire libre y de aventura, donde fácilmente puede estar inscrito el camping y el picnic. Otra variable, determinada cualitativamente, es la selección aleatoria de colores preferidos por los usuarios finales del producto, y para la cual se obtiene que la gran mayoría de intervenciones y sus resultados, muestren una clara tendencia hacia los colores más vivos y llamativos, como el amarillo, el rojo y el verde limón. Con esta reconfiguración no se descarta completamente el uso de colores fríos (propios del referente inicial) como colores opcional para el desarrollo del producto final.

Planos de taller y cartas de proceso del producto.

Una vez realizadas las anteriores modificaciones, se desarrollan los planos y cartas de procesos asociados a este. Aunque dichos planos pueden ser reestructurados en consecuencia a los resultados provenientes de las pruebas finales de la alternativa, en el Anexo digital D – Planos técnicos, se muestran en detalle los distintos componentes y ensambles asociados al producto obtenido hasta la etapa de evaluación, y bajo los cuales se desarrolla el modelo funcional a escala real, necesario para evaluación del producto en cuanto a dimensiones, rendimiento, funcionalidad y ergonomía. En el capítulo 15, se describe el procedimiento de fabricación y pruebas ejecutadas sobre el modelo.

10. DISEÑO DE DETALLE DEL PRODUCTO

A continuación se especifica la optimización de algunos de los elementos y componentes que hacen parte de la cocina solar seleccionada. El siguiente diseño de detalle busca simplificar formal y funcionalmente algunos componentes como el contenedor principal, en cuanto a su volumen y acabado superficial, y el disco parabólico, en cuanto a la optimización en el número de secciones y su posterior forma de ensamble.

Definición del volumen del contenedor principal

Para determinar el volumen del contenedor principal, es necesario, recordar ciertos requerimientos claves de los usuarios: el número de acompañantes y el tipo de alimentos que son generalmente consumidos. Dentro de la investigación preliminar realizada se encontró que el número de personas con las que el usuario acampa llega máximo a 3, adicionalmente las comidas más consumidas son sopas y pastas. Teniendo en cuenta una exploración en los puntos de venta de estos productos, se pudo estudiar los volúmenes de agua requeridos sugeridos por los principales fabricantes para preparar dichos alimentos (ver tabla 15)

De igual forma, se exploró con 2 fabricantes de pastas, en este caso fueron Doria y La Muñeca, los cuales a diferencia de las sopas y cremas presentaban una relación de 1000 cm^3 de agua por cada 100 gr de pasta que se quisieran preparar; de esta forma para un grupo de 4 personas se necesitaría 4000 cm^3 de agua.

Si se trabaja con el volumen de agua ideal máxima para hacer pastas el cual es mucho mayor del requerido para hacer sopas y cremas, se tendría que diseñar un recipiente que almacenara al menos 4000 de 1000 cm^3 de agua, sin embargo, este recipiente estaría pesando más de lo necesario y ocupando un volumen mayor ya sea por fuera del maletín del usuario o por dentro. Por este motivo se

decide diseñar el contenedor para que almacene una cantidad de agua que varíe entre los 1700 cm³ y 2000 cm³.

Tabla 15. Volumen de líquido requerido para preparar sopas y cremas para varios fabricantes ofrecidos en la ciudad de Medellín.

Fabricante	Referencia	Cantidad	Porciones	Volumen de líquido requerido
Knorr	Crema de pollo con champiñones	75 gr	4	1000 cm ³
	Crema de camarones	70 gr		
	Crema de tomate	80 gr		
	Sancocho	65 gr		
	Ajiaco	60 gr		
Maggi	Gallina con arroz	65 gr	4	1000 cm ³
	Costilla con fideos	65 gr	4	
	Gallina con fideos	65 gr	4	
	Ajiaco	100 gr	6	1500 cm ³
	Crema de pollo	76 gr	5	1250 cm ³

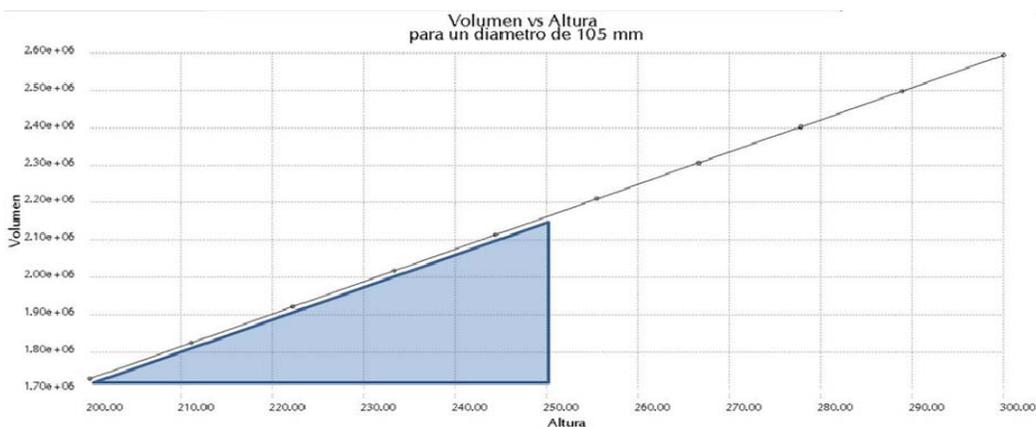
Fuente. Elaboración propia

Diámetro y altura del contenedor principal.

Una de las principales inquietudes respecto a productos para cocinar es que los mismos sean fáciles de lavar (según consideraciones identificadas en el proceso de evaluación de alternativas – Capítulo 9). Para esto el usuario en muchas ocasiones debe introducir su mano dentro del recipiente. Panero establece que el ancho de la mano varía entre 82 mm y 96 mm, sin embargo para mayor comodidad se dejará una holgura de 9 mm para aumentar el confort a la hora de limpiar el recipiente.

Teniendo en cuenta que el diámetro está restringido a 105 mm, la única variable con la que se puede iterar con el fin de alcanzar un volumen determinado es la altura. Cabe anotar que en la gráfica mostrada anteriormente, por aspectos de transporte del producto por parte del usuario, solo se considerará el rango de altura que va desde los 200 mm hasta los 250 mm. La figura 57 muestra como el volumen interno del recipiente varía en función de su altura.

Figura 57. Variación del volumen con relación a la altura del recipiente.

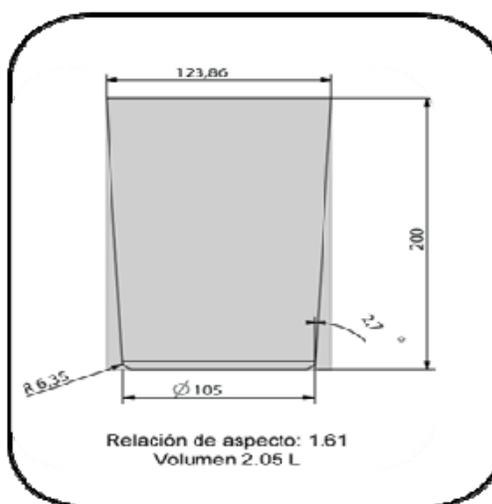


Fuente: Elaboración propia

Ángulos de desmoldeo.

Para conservar la relación de aspecto del contenedor principal de forma que este haga un rectángulo áureo, se decide aplicarle al contenedor principal un ángulo de desmolde de 2.7° (ver figura 58)

Figura 58. Dimensiones propuestas para el contenedor principal obtenidas a partir de la Geometrización del recipiente contenedor



Fuente. Elaboración propia.

Acabado superficial

Para las distintas aplicaciones donde se usa la energía solar, se requiere determinar dos características principales en las superficies y acabados superficiales de los componentes del producto, como son la absorción y la emitancia. La absorción es la fracción de la radiación incidente de longitud de onda λ que es absorbida por la superficie, mientras que la emitancia es la radiación emitida por la misma.⁷² Para el caso de este trabajo, no es de interés mostrar la forma en que dichas propiedades se pueden calcular dentro del producto, sino, plantear su uso como una solución que permita el aumento de la absorción de la radiación en una superficie mientras se disminuye la emitancia de la misma. Un mecanismo conocido para lograr el objetivo previamente descrito es la utilización de superficies selectivas.

Una superficie selectiva, es una superficie que, como se menciona anteriormente, se caracteriza por tener una gran capacidad de absorción de la radiación solar y una débil capacidad de emisión para la radiación infrarroja⁷³. Es común encontrar que para obtener este tipo de superficies, se busque un acabado con la misma característica. El uso de pinturas selectivas, es una forma sencilla de obtener este tipo de acabado.

Un tipo de pintura selectiva que podría ser empleada, para generar el acabado requerido para el contenedor principal, es la referencia ThurmaloX 250, la cual según el proveedor, consiste en un recubrimiento negro basado en silicona y resistente al calor usado en las superficies metálicas de los colectores solares, permitiendo absorber de manera más efectiva la longitud de onda y obtener mayor cantidad de calor en relación a las pinturas negras no selectivas, que

⁷². DUFFIE, John A. BECKMAN, William A. Solar Engineering of thermal processes. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin Madison. Ed. John Wiley Toronto. 1980. pp. 144-145.

⁷³. SIBAJA, Eduardo. PETERSON, Donald. Colectores Solares. Apéndice. Glosario de energía solar. *Op Cit.* p.119.

reflejan una cantidad significativa de radiación solar.⁷⁴ (Ver Anexo digital E- Specifications ThurmaloX250 Selective Black solar coating)

La presentación del producto en aerosol de 13 onzas o por galones a un costo de \$12.50 y \$173.75 respectivamente. Sin embargo por dificultades en el envío del producto, el cual se cotizó el envío por avión y barco (ver Anexo digital F- Quote ThurmaloX 250 Solar Coating), no se pudo tener acceso al mismo para el prototipo

Casquetes parabólicos

Los casquetes parabólicos son los encargados de focalizar la energía proveniente de la radiación solar hacia el contenedor principal, esta parte requiere una alta reflexión la cual se puede lograr a través de diferentes acabados superficiales, como metalizado al vacío o adición de películas reflectivas de plata, para esto es fundamental en la parte que su geometría se conserve.

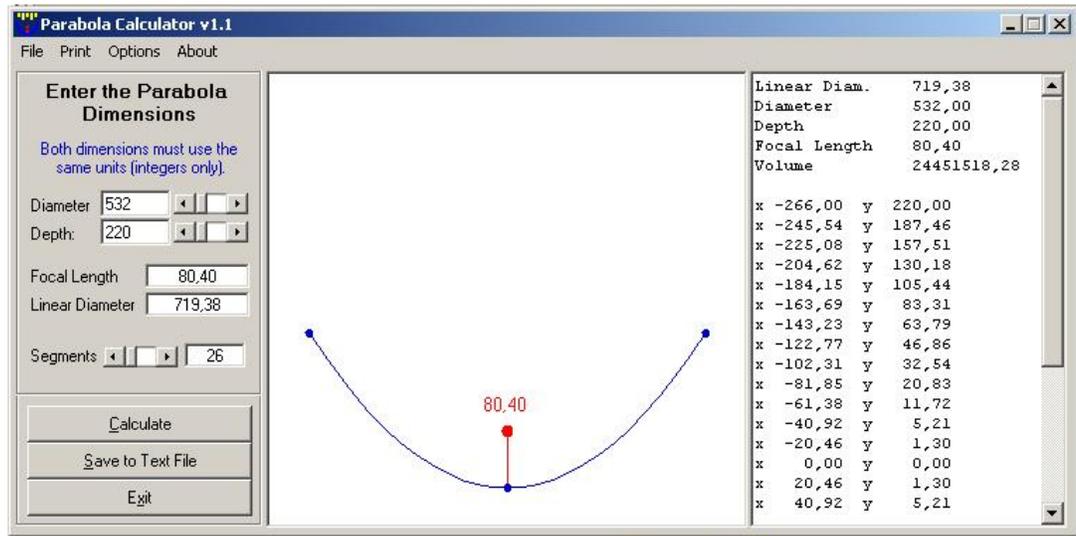
La parábola que forma el casquete tiene su foco en el punto (0,80.4) y su ecuación

es:
$$Y = \frac{x^2}{321,6}$$

Para futuros estudios, la ubicación del punto focal adecuado puede ser tema de investigación, sin embargo, en este caso se escogió debido a que su posición permitía obtener una área de captación 15 veces mayor al área del termo y con una altura de 220 mm, la cual sobresale 20 mm por encima del contenedor principal. Utilizando la aplicación *ParabolaCalculator V1.1* se hallaron los puntos de la parábola los cuales posteriormente se exportaron a un software CAD, en este caso *Pro/Engineer Wildfire 4.0* (ver figura 59)

⁷⁴. **DAMPNEY. Engineered Coatings.** Brochure ThurmaloX 250 Selective Black Solar Collector Coating. [en línea]. Disponible en: www.dampney.com/Products/Products.asp?ProductID=28. Consulta 14 de Julio de 2009.

Figura 59. Aplicación para obtener la geometría de los casquetes parabólicos



Fuente. Tomado del cálculo geométrico del disco parabólico haciendo uso del software *ParabolaCalculator V1.1*

Con base en los anteriores ajustes y modificaciones, en el Anexo digital D, se muestran los planos del producto, planos de taller y las cartas de procesos asociadas a la construcción de los diferentes componentes del producto.

11. ESTUDIO DE MATERIALES

Para la selección de los materiales en los que van a ser manufacturadas cada uno de los componentes del producto se emplea la técnica planteada por Michael Ashby⁷⁵, en la cual, se emplea una secuencia de 4 pasos: traducción, búsqueda, ranking y clasificación, para la obtención de mayores alternativas de materiales.

Traducción

Se refiere a las variables que involucran la selección del material. Allí se especifican las condiciones, las restricciones, el objetivo de la búsqueda y finalmente las variables libres que el diseño debe cumplir. A continuación se aplica este paso a las partes de la cocina solar que presentan mayores alternativas.

Contenedor principal

Función	Almacenar los alimentos o líquidos que van ser calentados
Restricciones	Resistencia química Conductividad térmica Niveles de toxicidad nulos Peso del producto Pintura selectiva para el exterior
Objetivo	Maximizar la conductividad térmica
Variables libres	N/A

Cubierta del contenedor principal

Función	Evitar accidentes del usuario por contacto directo con una superficie metálica a alta temperatura
Restricciones	Resistencia térmica Dureza Reciclabilidad
Objetivo	Disminuir la temperatura generada por el contenedor principal
Variables libres	Elección del colorante

⁷⁵. ASHBY, Michael. *Materials Engineering, Science processing and design*. Cambridge 2007. Pp.36-39.

Tapa Superior

Función	Separar el alimento del aire en circulación y ayudar a la ganancia térmica del sistema
Restricciones	Resistencia térmica Reciclabilidad
Objetivo	Disminuir la pérdida térmica del alimento
Variables libres	Elección del colorante

Tapa inferior

Función	Posicionar el contenedor y la cubierta principal
Restricciones	Resistencia térmica Reciclabilidad
Objetivo	Restringir el posicionamiento del contenedor principal
Variables libres	Elección del colorante

Soporte para el disco parabólico

Función	Soportar y permitir el giro del disco parabólico
Restricciones	Propiedades mecánicas Bajo peso
Objetivo	Minimizar el peso de la parte
Variables libres	Acabado superficial

Soporte

Función	Soporte del sistema reflectivo, tapas y contenedor principal
Restricciones	Rigidez Reciclabilidad Resistencia al rayado Propiedades mecánicas
Objetivo	Proteger los componentes durante el almacenamiento.
Variables libres	N/A

Cubierta principal

Función	Generar efecto invernadero al interior del producto
Restricciones	Traslucidez Propiedades ópticas
Objetivo	Maximizar el área expuesto a radiación.
Variables libres	-

Casquetes reflectivos

Función	Concentrar la energía en una área específica
Restricciones	Conservar geometría Bajo Costo Bajo peso Reflejar la radiación
Objetivo	Minimizar la deflexión de la parte.
Variables libres	-

Búsqueda, selección y ranking

Contenedor principal

Para la búsqueda y selección de las diferentes alternativas de materiales, se utilizó como criterio la conductividad térmica del material y el peso de la parte obtenida de manera digital para cada caso. Ver tabla 16.

Tabla 16. Comparativo de conductividad térmica de posibles materiales a emplear para el contenedor principal

Material	Conductividad térmica (W/m°C)	Peso digital del contenedor para calibre 20 (gr)
<i>Plata</i>	420	1078
<i>Cobre</i>	385	844
<i>Aluminio</i>	202	287

Fuente. Elaboración propia. Información consultada de distintas fuentes de Internet

Aunque la plata es el material con mayor conductividad térmica, el peso del contenedor principal en este material es más alto en comparación con los otros materiales, aparte de que no se conocen proveedores en el mercado. Respecto a otros materiales, el cobre podría ser considerado como una alternativa adicional para la parte por su alta conductividad térmica, sin embargo, el uso de éste está prohibido ya que se ha encontrado que es perjudicial para la salud ya que puede

causar vómito y en exceso puede afectar considerablemente el hígado⁷⁶. Motivo por el cual se utilizará aluminio como material para el recipiente siguiendo con la tradición de la olla de aluminio.

Cubierta del contenedor principal

Este componente, permite al usuario la sujeción del producto cuando el contenedor principal se encuentre a altas temperaturas. Correspondiente al desempeño, la resistencia térmica es la variable utilizada como criterio de búsqueda, selección y ranking, mientras que para los aspectos de ergonomía, se requiere de un material suave al tacto y que ofrezca la firmeza necesaria para brindarle seguridad al usuario. Inicialmente la búsqueda fue orientada hacia materiales poliméricos resistentes a altas temperaturas, sin embargo debido a que estos materiales no ofrecen al usuario condiciones adecuadas al tacto, se reorienta la búsqueda a materiales hacia elastómeros termoplásticos ó TPE. Este tipo de material combina, la procesabilidad de los materiales termoplásticos con las propiedades de los elastómeros reticulados como los cauchos⁷⁷, que pueden ser fácilmente inyectados o extruidos. El TPE se encuentra generalmente en la industria bajo nombres comerciales, ya que es un material desarrollado particularmente por cada fabricante.

Previo a la selección del material, se requiere determinar los rangos de , temperatura a los cuales el contenedor principal va a estar sometido, para esto se utilizó un software CAE, Ansys Workbench 11.0. No es de interés en este momento profundizar como se realizó el análisis, debido a que posteriormente se detallara el mismo. La tabla 17, relaciona el número de elementos de cada

⁷⁶. **PROCOBRE. Connects Life.** Acerca del cobre. Salud. Enfermedades causadas por falta o exceso de cobre. Disponible en http://www.procobre.org/procobre/acerca_del_cobre/pu_salud_04.html. Consulta: 27 de Julio de 2009.

⁷⁷. **OSWALD, Tim.** International plastics handbook. Hanser 2006. P. 666.

análisis con los rangos de temperatura que debe soportar el material al estar en contacto con el contenedor principal.

Tabla 17. Relación entre el número de elementos y la temperatura sobre la superficie externa del contenedor principal

Número de elementos	Temperatura °C
15169	65.72 - 73.36
20290	65.77 - 73.39
20630	65.82 - 73.44
21914	65.75 - 73.37
32785	65.54 -73,21
55655	65.58 – 73,24

Fuente. Elaboración propia

Con base en el anterior secuencia de búsqueda selección y ranking, se define una temperatura de deflexión superior a 73.5°C bajo una carga de 0.45 MPa, resultante de la manipulación del usuario. Con base en esto, se requiere la estabilidad del material a medida que se aplica una carga sobre el mismo mientras se eleva la temperatura (Ver tabla 18)

Aunque el elastómero comercial Grilflex, presenta menor HDT que el Adflex, este último no presenta tanta información respecto a sus propiedades térmicas por lo que los análisis con este material no se podrían realizar adecuadamente. Por lo tanto opta por emplear el Grilflex, que es un elastómero termoplástico utilizado principalmente en aplicaciones deportivas y de entretenimiento. Al ser un copolímero se compone de varios materiales, un bloque rígido de poliamida con éter y ester⁷⁸ en su estructura.

⁷⁸. OSWALD, Tim. *Ibíd.*, Pág. 665

Tabla 18. Relación de elastómeros comerciales con su temperatura de deflexión bajo una carga de 0.45 MPa.

Nombre Comercial	HDT (°C)
Griflex	75
Grillon	45
Pebax	42
Vestamid	55
Adflex	80

Fuente. CampusPlastics.com⁷⁹

Tapa superior e inferior

Empleando el mismo análisis realizado para la cubierta, se determina que los materiales requeridos para la tapa superior e inferior deben soportar una temperatura de 73.5 °C y 90.5 °C. Para este caso se analizan materiales termoplásticos con una temperatura de deflexión que sobrepase dicho rango de temperaturas (ver tabla 19)

Tabla 19. Temperatura de deflexión por calor de diferentes polímeros termoplásticos

MATERIAL	HDT (°C)	MATERIAL	HDT (°C)
PVK	150-170	PBT	200-210
PA	105	PES	200-215
PPA	120	PSU	185
PC	125-135	PEK	170
PC+ABS	105	PEEK	140
PET	200-230		

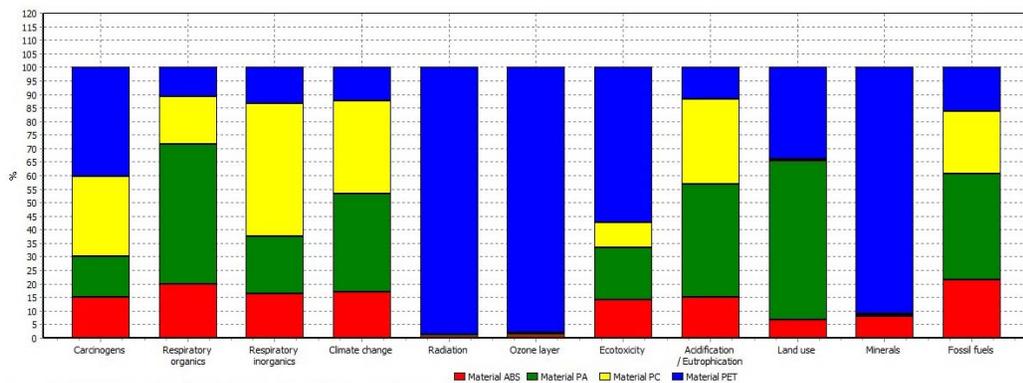
Fuente. International Plastics Handbook Hanser 2007, p 665.

Al establecer las características térmicas con que debe contar el material, se procede a realizar el análisis y evaluación del impacto ambiental que dichos materiales generan. Para esto se emplea el software SimaPro V.7.0., con el cual se puede obtener posteriormente el perfil ambiental de todo el producto.

⁷⁹. **CAMPUS.** The plastics Data Base. Material data center. [en línea]. Disponible en www.campusplastics.com. Consulta 5 de Septiembre 2009.

Este análisis preliminar del impacto ambiental, se calcula para los distintos materiales enunciados anteriormente en la tabla 18, de manera que pueda generarse un filtro inicial para disminuir el impacto final de todo el producto. Cabe aclarar que el programa funciona a partir del acceso a bases de datos predeterminadas donde se listan diferentes opciones de materiales y procesos asociados. Sin embargo, el resultado obtenido solo es factible de ser aplicado para los materiales más comunes como el ABS, PC, PA y PVC, debido a que resto de materiales planteados son polímeros de alta ingeniería y de bajo acceso comercial. En la grafica 60, se especifica el nivel de impacto ambiental asociado a la producción de 1kg de cada uno de los materiales.

Figura 60. Porcentaje de impacto ambiental obtenido para 1 kg de ABS, PC, PA y PVC respectivamente



Fuente. Resultados obtenidos del software SimaPro 7.0.

En la gráfica 59, se muestra el nivel de impacto ambiental asociado a la producción teórica de un componente que contiene un 1kg de cada uno de los materiales mencionados. La grafica especifica, el porcentaje de aportes en emisiones cancerígenas, cambio climático, radiación, daño a la capa de ozono, ecotoxicidad, etc., asociadas a cada material. Como puede observarse, el mayor impacto del componente está asociado al PET, seguido casi en iguales proporciones por el PC y el PA, y con menor impacto el ABS. Es importante

mencionar que dicha elección puede ser reconsiderada, ya que la evaluación solo fue efectuada para cuatro materiales de once propuestos, siendo ideal conocer el impacto asociado a los materiales faltantes.

Soporte

El soporte sirve de base para todo el producto, ya que está en contacto directo con la superficie de apoyo. Por ello se requiere que el material seleccionado no se raye fácilmente, lo cual en propiedades mecánicas implica una alta dureza, resistencia a la corrosión y que no se decolore. La tabla 20 muestra la relación de las propiedades involucradas para la selección del material.

Tabla 20. Propiedades consideradas para la selección del material del soporte

Material	Dureza Vickers	Resistente a la corrosión	Resistente a la luz
PE	5-8	Si	No
PP	6	Si	No
PS	9-16	-	-
ABS	6-15	-	-
PA	6-28	-	-
PMMA	16-21	No	Si
PC	17-22	-	-
POM	14-24	-	-
PEEK	25-28	No	Si

Fuente. Material and design⁸⁰

Se observa como materiales como el PE, PP, PMMA y el PEEK no cumplen con alguna de las características, mientras el Poliestireno (PS), no es lo suficientemente fuerte, por lo que se descartan como materiales opcionados para esta aplicación. Para los materiales restantes, el filtro aplicado es el costo comercial por kilo del material. Según Michael Ashby, el material más económico de los restantes y con una dureza media es el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) por lo que es seleccionado. (Tabla 21)

⁸⁰. ASHBY, Michael. *Ibid.*, Pág. 188-209

Tabla 21. Precio de los materiales opcionados para el soporte de la cocina solar.

Material	\$/kg
ABS	1.5-2.8
PA	2.9-11.5
PC	3.8-4.3
POM	2.7-4

Fuente. Material and design⁸¹

Cubierta principal

La función de la cubierta principal es generar el efecto invernadero al interior del producto. Esto se logra utilizando materiales con alta transmisividad de radiación solar, pero que sean opacos a la radiación emitida por la superficie absorbente⁸². Esto dentro de las características del material se refleja en la naturaleza traslucida del mismo (Figura 61).

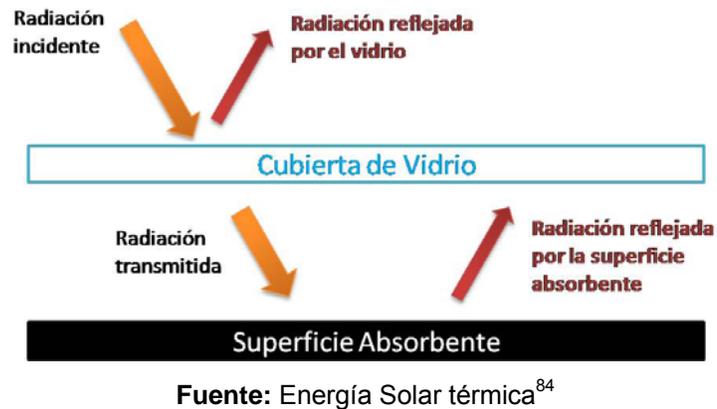
Inicialmente la búsqueda del material se restringió a los materiales poliméricos debido a su baja densidad y a que no son tan frágiles como los vidrios en general. Para esta clase de aplicaciones, es necesario determinar ciertas características como la transmitancia, absortancia y emitancia, sin embargo, debido a la poca disponibilidad de dicha información para estos materiales, se considerarán únicamente los recomendados por Michael Ashby⁸³ que se asemejan al comportamiento de los vidrios, estos son el PC y el PMMA. Por facilidad de comercialización y menor costo, se utilizará el PMMA.

⁸¹. **ASHBY Michael**, *Ibíd.*, Pág. 188-209

⁸². **SIBAJA Eduardo**. *Colectores Solares*,, Opcit., Pág.31.

⁸³. **ASHBY, Michael**. *Ibíd.*, Pag 375

Figura 61. Principio de funcionamiento de la cubierta traslúcida



Soporte parábolas

Como se mencionó anteriormente las restricciones de esta parte son las de un bajo peso y ciertas condiciones mecánicas del material, traducidas en una baja densidad con un módulo de elasticidad tal, que soporte una carga de aproximadamente 10 N. Esta carga se determinó a partir del peso virtual de los casquetes parabólicos, el cual es aproximadamente 1000 gr distribuidos uniformemente sobre los 2 soportes y multiplicado por un factor de seguridad de 2.

Debido a que los materiales con mejores prestaciones mecánicas son los metales, se restringió la búsqueda directamente a esta categoría. Adicionalmente, otra variable será utilizada para la selección del material, el precio, la cual aunque puede variar en el tiempo, sirve como referencia para futuras búsquedas dentro del mercado colombiano. La tabla 22 muestra la relación de varios grupos de metales con su densidad y su módulo de elasticidad y precio por kilo. La información presentada se basa en el libro de Mike Ashby, Material and Design⁸⁵.

⁸⁴. SANCHEZ MAZA, Miguel Angel. Ibid, Pág.

⁸⁵. ASHBY, Michael. Ibid., Pág. 216-225.

Tabla 22. Relación de densidad, modulo de elasticidad y precio para diferentes grupos de materiales

Material	Densidad (Mg/m)	E (Gpa)	\$/kg
Aceros al carbono	7.8-7.9	200 – 216	0.4 - 0,6
Acero inoxidable	7.4-8.1	189-210	1.2 - 8.5
Aleaciones de aluminio	2.5- 2.95	69- 88.5	1.3 - 5.7
Aleaciones de magnesio	1.73 - 1.95	40-47	2.6 - 11.4
Aleaciones de titanio	4.36 - 4.84	90 - 137	21 – 28
Aleaciones de níquel	7.65- 9.3	125 - 245	4.3 - 28.6
Aleaciones de cobre	8.93 - 8.94	121 - 133	1.72 - 1.93
Aleaciones de zinc	5.5 - 5.2	60 - 110	0.9 - 2.9

Fuente. Tomado de Material and design, Mike Ashby.

Dentro de las diferentes opciones, las aleaciones de aluminio, titanio y magnesio son las menos densas, por lo que su aplicabilidad dentro del producto puede resultar útil, sin embargo, el titanio y el magnesio son muy costosos en relación al aluminio, por lo que se prefiere este ultimo para el diseño de la parte.

Casquetes

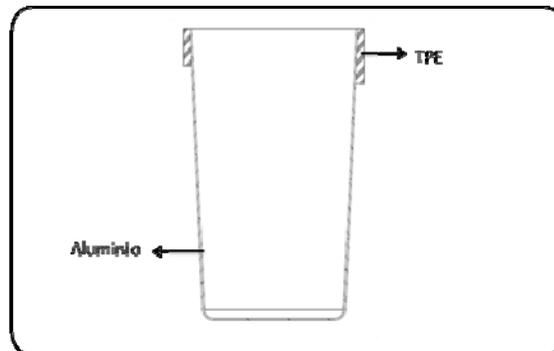
Debido a la cantidad de casquetes, (ver anexo digital D - Planos técnicos y cartas de proceso del producto) es necesario que la parte se conforme en un material de bajo costo y cuya densidad otorgue un bajo peso. Adicionalmente, esta parte no está sometida a esfuerzos mecánicos por lo que los requerimientos del material disminuyen. Para esta aplicación se consideraron inicialmente polímeros termoplásticos ya que estos permiten ser conformados por procesos como inyección o termo formado donde se logran espesores del orden de 1 mm o menores. Siguiendo los consejos de Mike Ashby⁸⁶, uno de los materiales más opcionados para esta parte es el polipropileno ya que es más rígido que el polietileno de alta densidad, pero menos frágil que el Poliestireno (PS).

⁸⁶. **ASHBY, Michael.** Ibid., Pág. 188-190

12. ANÁLISIS TÉRMICO

Por medio del uso de herramientas computacionales, se pretende evaluar la temperatura a la cual la cubierta del contenedor principal alcance cuando el producto se encuentre en funcionamiento, de tal forma que se pueda validar la configuración actual en cuanto a materiales finales del producto (Ver figura 62), ó buscar soluciones alternativas. Durante esta etapa de análisis, se emplea el software Ansys Workbench 11.0 y su módulo de análisis térmico.

Figura 62. Configuración actual para la cubierta del contenedor principal



Fuente. Elaboración propia

Propiedades de los materiales.

Para la definición de las propiedades de los materiales involucrados en el análisis, se emplea la biblioteca interna del software. En los casos particulares del aluminio y el TPE, se consultó el sitio web especializado en materiales plásticos [www.campusplastics.com]⁸⁷ y proveedores directos de ambos materiales. En la tabla 23 se muestran las propiedades requeridas para el desarrollo del análisis térmico del producto

⁸⁷. **CAMPUS.** The plastics Data Base. Material data center. [en línea]. Disponible en www.campusplastics.com. Consulta 30 de agosto 2009.

Tabla 23. Propiedades térmicas del Aluminio y el TPE.

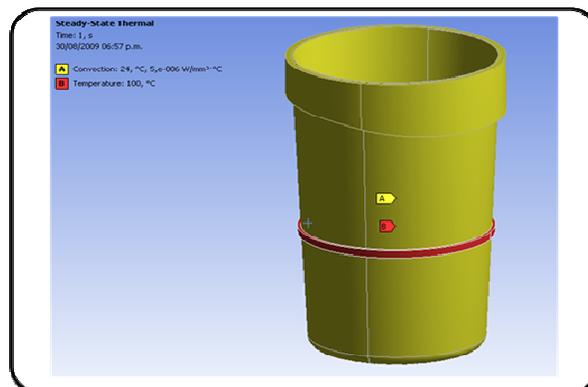
Material	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg°C)	Conductividad térmica (W/m°C)
Aluminio	2770	875	165
Griflex ELG 5260	990	1400	0,2

Fuente. Elaboración propia

Condiciones de frontera.

Las condiciones de frontera del análisis, parten de la hipótesis, en que la temperatura es originada en un rango de 2.5 mm por encima y por debajo del punto focal de la parábola, permitiendo obtener en esta zona un anillo de 2 mm de espesor. En dicha zona se concentra la temperatura de funcionamiento deseada y cuyo valor teórico será 100 °C. Adicionalmente, se planteará una condición de convección a una temperatura ambiente de 24 °C y un coeficiente de de 5 W/m² °C, con el cual se determina el sistema de aire estancado que se encuentra alrededor del recipiente y con el cual se piensa generar el efecto invernadero. En la figura 63, se da una mejor idea sobre las condiciones de frontera aplicadas al modelo tridimensional del producto.

Figura 63. Condiciones de frontera para el análisis térmico del recipiente



Fuente. Elaboración propia

Análisis de resultados

Al aplicar las condiciones de frontera y con base en el sistema de mallado que el software asigna por defecto, se obtiene una temperatura de 66. 2° C. Para obtener un resultado más aproximado, se realizan sobre el modelo, diferentes mallados. Para evidenciar el efecto del mallado o número de elementos en relación a la temperatura generada en el sistema se desarrolla la siguiente tabla de valores obtenida del análisis (tabla 24).

Con base en estos resultados, se puede apreciar que la temperatura de a la cual va a estar expuesto el usuario por contacto, es considerablemente alta. Por ejemplo, como se especifica en el Anexo digital G - Mediciones de las temperaturas tolerables al contacto humano; Se obtiene que un líquido entre los 72 y 73 °C, al ser envasada dentro de un recipiente de polipropileno (PP), genera una temperatura en la parte exterior del recipiente entre 42 °C y 43°C. Temperatura para la cual se estima que el tiempo tolerable por el usuario, es de aproximadamente los 5 primeros segundos de contacto con el envase. Según esto, se busca una configuración que permita obtener una temperatura de 34°C en la parte externa del recipiente principal, tal y como se registra en un vaso de Poliestireno expandido conteniendo una cantidad de líquido y a una temperatura similar.

Tabla 24. Temperatura en la cubierta del contenedor principal con diferentes mallados

No. de elementos	Numero de nodos	Espesor (mm)	Temperatura (°C)
16641	34378	2.5	66,26
16845	34860		66,29
17077	35336		66,27
18055	37538		66,25
19948	41852		66,24

Fuente. Elaboración propia

Rediseño

De acuerdo a ley de Fourier para la conducción de un flujo de calor se tiene que:

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

Donde q es el flujo de calor, k es la conductividad térmica del material, A es el área donde se aplica la temperatura, dT es el cambio de temperatura y dx es la longitud en la dirección del flujo de calor o en otras palabras el espesor de la pieza. Para disminuir el flujo de calor hacia la superficie de agarre del producto, empleando el mismo material y la misma área de contacto, es necesario aumentar el espesor de la pieza. En la tabla 25, se registran diferentes temperaturas obtenidas de la simulación de elementos finitos sobre dicha superficie, en función de variaciones efectuadas sobre el mallado y espesor de pared del recipiente.

Tabla 25. Relación entre diferentes espesores promedio, numero de elementos del análisis térmico y la temperatura alcanzada en cada caso.

Número de elementos	Numero de nodos	Espesor (mm)	Temperatura (°C)
16737	34654	3	65,32
16577	34243		65,29
17012	35200		65,33
17992	37404		65,31
19920	41798		65,32
Número de elementos	Numero de nodos	Espesor (mm)	Temperatura (°C)
15665	32282	3,5	64,59
14766	30363		64,6
16274	33821		64,42
17209	36016		64,44
19140	40536		64,47
Número de elementos	Numero de nodos	Espesor (mm)	Temperatura (°C)
15578	32096	4	63,64
14731	30287		63,66
16246	33782		63,55
17180	35982		63,6
19206	40681		63,62

Fuente. Elaboración propia

Nótese que aunque el espesor se aumento 1.5 mm el cambio de temperatura no es lo suficientemente significativo como para disminuir el flujo de calor hasta la temperatura deseada. Adicionalmente, si se tiene en cuenta la ecuación del tiempo de enfriamiento para una placa plana en el proceso de inyección, el proceso por el cual se manufacturaría la pieza en serie, el tiempo de enfriamiento es directamente proporcional al cuadrado del espesor de la pieza, de manera que a medida que el espesor aumente, el costo de la pieza incrementará tanto por la cantidad de material requerido para su manufactura como el incremento en el costo de procesarla. A continuación se especifica la ecuación del tiempo de enfriamiento para una placa plana en el proceso de inyección

$$t_k = \frac{d^2}{\pi^2 \cdot a_{\text{eff}}} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\bar{T}_M - \bar{T}_W}{\bar{T}_E - \bar{T}_W}\right)$$

Otra forma de obtener una disminución de la temperatura, es mediante la introducción una nueva parte entre la cubierta y el contenedor principal, conservando el espesor inicial (2 mm) y con una conductividad térmica inferior a la del Grilflex. La tabla 26 muestra posibles materiales que pueden ser aplicados.

Tabla 26. Materiales factibles de ser usados como aislante en la cocina solar

Material	Temperatura de servicio (°C)	Conductividad térmica (W/m°K)
PP	120 a -40	0.11-0.17
PS	100 a -18	0.12-0.13

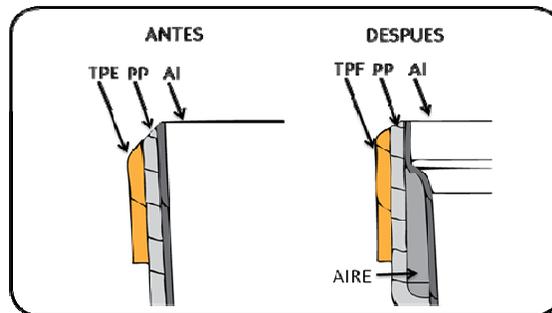
Fuente: Tomado de Material and design, Mike Ashby.⁸⁸

Partiendo de una simulación preliminar con el Polipropileno (PP) y el Poliestireno (PS) como materiales aislantes, con un espesor de 2.5 mm, puede observarse que no se obtienen la temperatura admisible de los 34°C. Para ambos casos se obtienen temperaturas de 52.8 °C y 51.8°C respectivamente, por lo que se infiere que dicha configuración no es la más recomendable.

⁸⁸. ASHBY, Mike. Ibíd.,. Pág. 189, 190.

De acuerdo a esto, se procede a modificar la geometría de todo el sistema para disminuir la temperatura a la cual va a estar en contacto el usuario. Para esto se separa el material aislante 4 mm del contenedor principal deformando la parte superior del mismo (ver figura 64). Esta parte decide conservarse dentro de la configuración del producto ya que es la que ofrece una base estructural para la cubierta debido al material en el cual está elaborada presenta un comportamiento elástico y poco firme.

Figura 64. Rediseño de la geometría del contenedor principal



Fuente: Elaboración propia

Utilizando esta configuración se exporta nuevamente la geometría a un software de elementos finitos para analizar los resultados del rediseño sobre el producto utilizando las condiciones de frontera previamente descritas. En los resultados obtenidos se observa como la temperatura disminuye hasta un rango que varía entre 25°C y 26°C °C logrando así el objetivo del estudio (ver tabla 27).

Tabla 27. Relación entre diferentes mallados y la temperatura final en la cubierta del contenedor principal

No. de nodos	No. de elementos	Temperatura °C
39256	18844	25,63
52090	25053	25,45
123441	60502	24,9
146119	74101	25,9
158243	79864	25,9

Fuente. Elaboración propia

13. PERFIL AMBIENTAL DEL PRODUCTO.

La definición del perfil ambiental del producto, busca determinar con base en el análisis de ciclo de vida del producto, posibles modificaciones y consideraciones de diseño que permitan mejorar la alternativa propuesta en función del impacto ambiental que ésta puede llegar a generar. Para ello se realiza un inventario de emisiones e impactos, basado en el estudio y selección de materiales desarrollado durante la etapa de diseño de detalle.

Definición del ciclo de Vida del Producto

Las cocinas solares parabólicas, son productos con un alto número de ciclos de operación y larga vida útil (aproximadamente 20 años de uso para los modelos comerciales). Por otro lado, su disposición final es altamente amigable con el medio ambiente. En la figura 65, se desglosa el ciclo de vida propuesto para el producto con base en el modo de operación de las cocinas solares parabólicas.

Figura 65. Ciclo de vida-cocina solar parabólica comercial

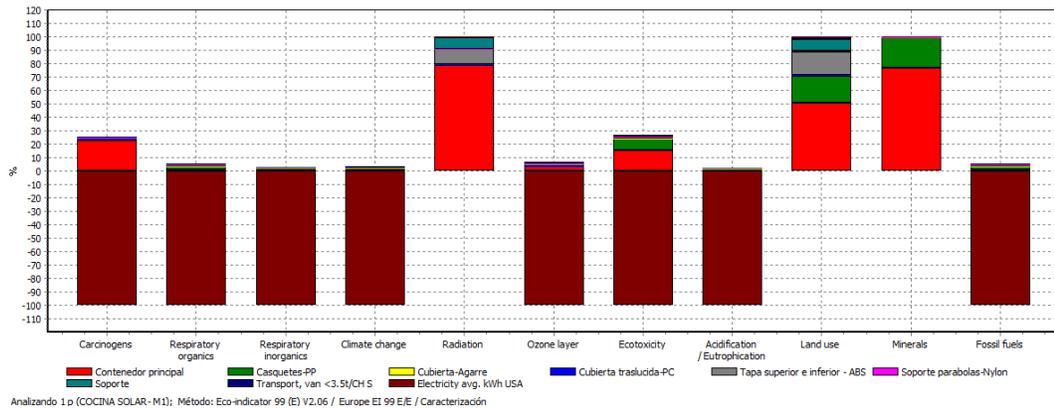


Fuente. Elaboración propia

Con base en la definición de los componentes de esta nueva configuración de cocina solar y el análisis de materiales desarrollado en la etapa de diseño de detalle, se calcula el inventario de emisiones para las distintas configuraciones del producto a partir del anterior análisis de materiales. El eco inventario se realiza con el fin de identificar de forma global y particular (por componente) los impactos ecológicos asociados a cada fase del ciclo de vida. Para obtener mayor detalle del inventario de emisiones ver la página 13 del Anexo digital H – Perfil ambiental del producto.

Otra consideración relevante para determinar el perfil ambiental, es el análisis de impacto del producto (figura 66), ya que mediante este análisis se puede evidenciar el porcentaje de emisiones totales del producto asociadas a impactos como sustancias carcinógenas, cambio climático, radiación, destrucción de la capa de ozono, ecotoxicidad y consumo de combustibles fósiles, para cada uno de los distintos componentes.

Figura 66. Análisis de Impactos del montaje de la cocina solar.



Fuente. Tomado del cálculo efectuado por medio de SimaPro 7.0

Como puede verse las franjas rojas en el plano superior (positivo) representan los impactos del contenedor principal, mientras las franjas marrones del plano inferior

(negativo), indican los ahorros energéticos que conlleva el uso de la energía solar como fuente primaria para la cocción y operación de todo el artefacto.

Cálculo de la Huella de Carbono del producto

La huella de carbono del producto, se estima en relación al aporte que da cada uno de los diferentes componentes. En total, el concepto de cocina solar propuesto, genera alrededor de -284 Kg de CO₂ equivalente a 20 años de operación. En la tabla 28, se procede a realizar un análisis comparativo con equipos similares de cocción comúnmente empleados en actividades de camping y picnic. Uno de ellos es el fogón de leña tradicional, y el otro es una cocina solar parabólica comercial, constituida en su totalidad de aluminio.

Tabla 28. Caracterización de las emisiones al aire en CO₂ equivalente.

Tipo de sistema	Emisiones de CO₂ Eq. (Kg CO₂) para 20 años de operación
<i>Concepto desarrollado</i>	-286 Kg CO ₂
<i>Cocina solar parabólica comercial</i>	17,7 Kg CO ₂
<i>Fogón de leña</i>	1210Kg CO ₂

Fuente. Adaptado de los resultados arrojados por SimaPro V.7.0.

Con base en los análisis realizados, es importante mencionar, que debido a la complejidad de algunos de los materiales al ser polímeros de alta ingeniería, que propuestos debido a sus excelentes propiedades mecánicas y resistencia a las altas temperaturas, no se conoce, ni se establece con exactitud su impacto ambiental.

14. PRUEBAS DE CONCEPTO Y PRUEBAS DE USUARIO

Debido a la importancia que tiene evaluar el producto funcionalmente, se procede a construir un modelo funcional, con el que se pretende llevar a cabo pruebas de funcionalidad y desempeño. En el Anexo digital I - Manufactura del modelo funcional, se muestra el proceso llevado a cabo para la materialización del modelo funcional.

Las pruebas efectuadas sobre el modelo funcional fabricado, tienen como objetivo comprobar si el producto responde a las demandas funcionales planteadas inicialmente y especificadas dentro del PDS. Para ello, se realizaron diferentes pruebas funcionales que permita estudiar e identificar aspectos y situaciones relevantes, propicias para la realización de posteriores rediseños sobre el producto que conduzcan a incrementar su eficiencia de operación.

De forma inicial se proyecta realizar dos tipos de ensayos, el primero consiste en evaluar el desempeño de la cocina sin utilizar los componentes concentradores para evaluar la capacidad de acumulación del producto. Posteriormente se pone a prueba todo el sistema (incluyendo los componentes reflectivos) para determinar el nivel de concentración y capacidad de ganancia térmica de la cocina.

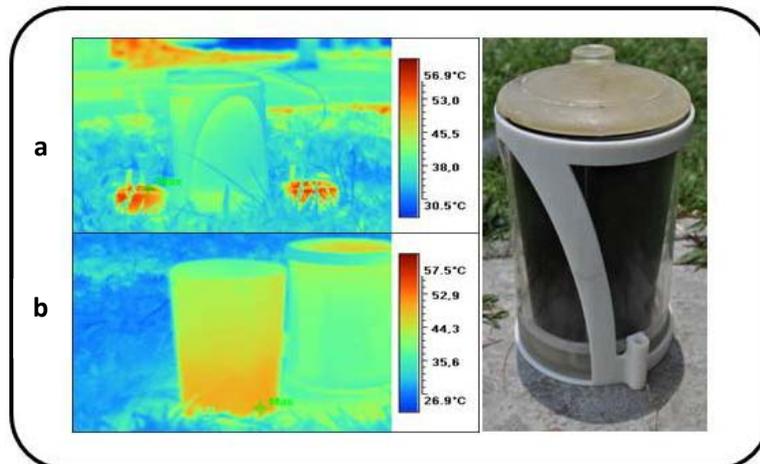
Prueba de la cocina solar sin casquetes parabólicos

Como se menciona anteriormente, la siguiente prueba tiene como objetivo determinar si la configuración inicial sin casquetes parabólicos permite el aumento de la temperatura de un líquido, pero más importante aún, la conservación de la misma. La prueba se realizó el 2 de octubre del 2009 de 8:00 am a 12:00 pm, en las instalaciones de la Universidad EAFIT (Latitud 06° 11' 57.32" Norte y Longitud 75° 34' 43.42" Oeste), a una temperatura ambiente inicial de 27°C con un día soleado y un volumen de agua de 0.6 litros de agua a una temperatura inicial de

20°C. Estas condiciones iniciales, se establecen en concordancia con los parámetros definidos en los ensayos efectuados anteriormente para las cocinas solares de acumulación y concentración durante el análisis funcional (Capítulo 5). De forma similar, se registran las mediciones obtenidas para la temperatura ambiente, la temperatura del agua y el aumento o disminución de la radiación, cada 10 minutos.

Este primer ensayo permitió evidenciar como la cubierta de PMMA o acrílico produjo el efecto esperado de aislar el contenido del recipiente del medio y de generar el efecto invernadero para el incremento en la temperatura. La figura 56 muestra dos fotografías térmicas del producto. En la figura 67, se puede apreciar como el material, aísla térmicamente el contenedor principal, mientras en contraste con la figura 56b, donde el contenedor se encuentra por fuera del aislante, se evidencia el aumento en la temperatura.

Figura 67. Fotos térmicas del ensayo de la cocina solar sin el componente concentrador

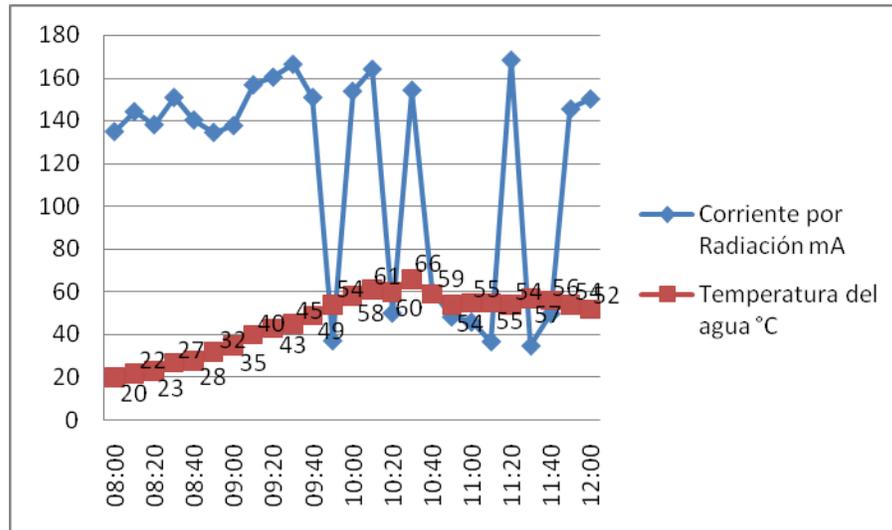


Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, los registros encontrados permiten ver como en momentos de baja radiación solar, entre 10:40 y 11:10 (ver figura 68), la temperatura del agua

contenida en el producto se mantuvo estable, demostrando así que el producto permite asilar los alimentos del medio.

Figura 68. Variación de la temperatura de agua contenida al interior del producto sin utilizar elementos concentradores en la cocina solar.

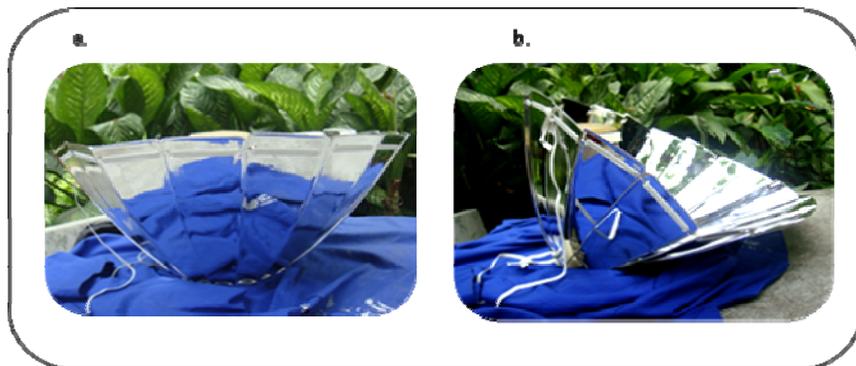


Fuente: Elaboración propia

Pruebas de estabilidad del disco parabólico.

Ahora bien, una vez conocida la capacidad de generación y almacenamiento de energía que tienen el contenedor principal, se procede a evaluar el producto con los componentes concentradores. De forma inicial se prueba la estabilidad que genera el ensamble de las secciones parabólicas o “casquetes” que conforman el disco reflectivo (Anexo digital I – Construcción del modelo funcional). Esto con el fin de analizar el método de ensamble actual por medio de una banda elástica. (Ver figura 69a)

Figura 69a. Ensamble de los casquetes parabólicos utilizando una banda elástica como elemento de unión



Fuente: Elaboración propia

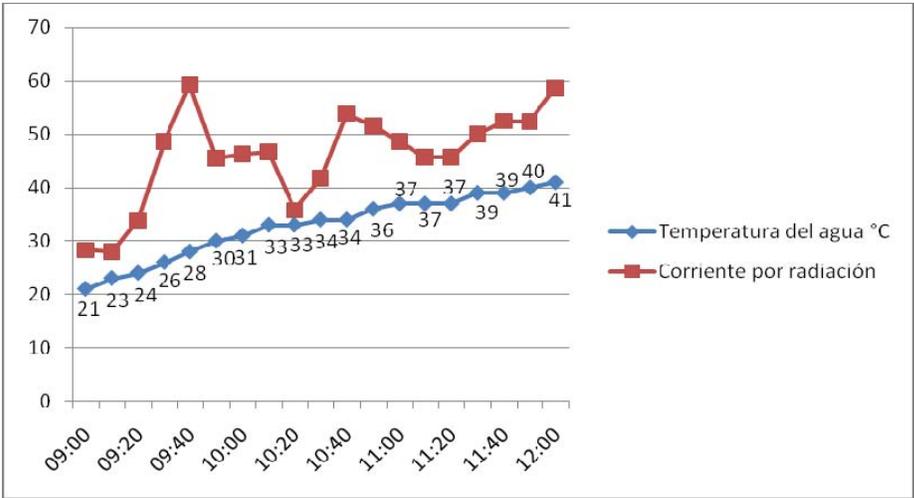
Dicha prueba permitió observar como el método considerado inicialmente no era el adecuado, ya que la banda elástica no es lo suficientemente rígida como para conservar la geometría deseada (Figura 69b.). Con base en este hecho, se presenta un situación de rediseño sobre el ensamble de las secciones, de forma que se reconsidera el diseño final de los casquetes (ver Anexo digital J – Plano del casquete modificado) los cuales generar una unión más rígida mediante fijaciones por *snap-fit*.

Pruebas de cocina solar con el disco parabólico.

Esta segunda prueba se realiza, con el fin de determinar el impacto que tienen los casquetes parabólicos sobre el producto bajo condiciones adversas de uso. La prueba se realizó el 7 de octubre del 2009, bajo las mismas condiciones iniciales del ensayo anterior. Se realiza de 9:00 am a 12:00 pm, bajo una temperatura ambiente inicial de 21°C, un día altamente nublado y un volumen de agua de 0.6 litros de agua a una temperatura inicial de 22°C. De igual forma se realizan mediciones cada 10 minutos.

Este ensayo permitió evaluar el funcionamiento del producto en un día totalmente nublado, en donde se llegaron a presentar precipitaciones ocasionando un retraso en el inicio de las pruebas de una hora. Aunque el día despejó un poco, aproximadamente a las 9:40 am, no hubo la cantidad de radiación necesaria para probar el funcionamiento del producto bajo condiciones ideales. Sin embargo, se verificaron las condiciones de reflexión y conservación de energía al elevarse la temperatura entre 41°C y 22°C a sin llegar a disminuir la misma durante las mediciones del producto. La figura 70 muestra la variación de la temperatura en función del cambio en la radiación solar durante el tiempo de ejecución de las pruebas.

Figura 70. Temperaturas logradas durante el ensayo del día 7 de octubre de 9:00 am a 12:00 pm en la ciudad de Medellín



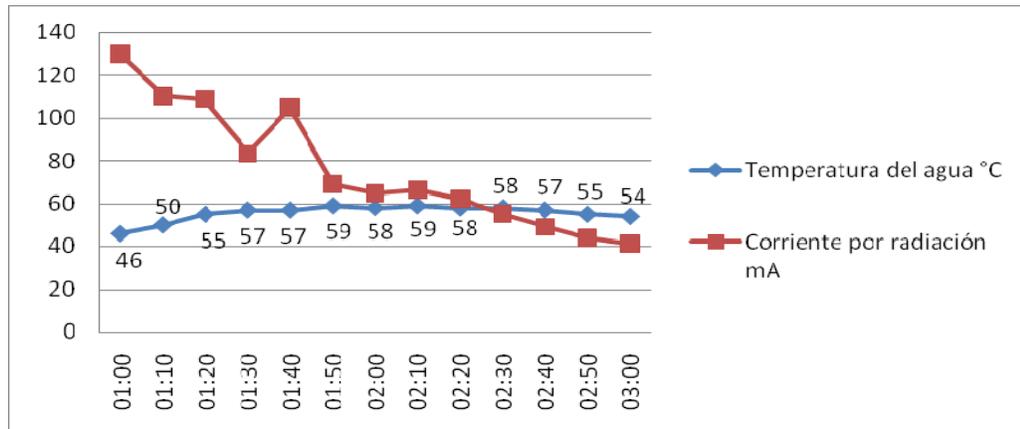
Fuente: Elaboración propia

Cabe anotar que la radiación en este día estuvo muy por debajo del promedio alcanzado en el primer día 1.

Debido a que el mismo día, en horas de la tarde, se presentó un momento oportuno de efectuar nuevas pruebas de desempeño, permitiendo arrojar los resultados mostrados en la figura 70. Estas nuevas mediciones se tomaron en un

intervalo de 1:00 pm a 3:00 pm y para el cual se registró un mejor índice de radiación que en horas de la mañana.

Figura 71. Temperaturas logradas durante el ensayo 2 de 1:00 pm a 3:00 pm en la ciudad de Medellín



Fuente: Elaboración propia

Aunque inicialmente se contó con un buen índice de radiación, este cayo considerablemente después de 40 minutos de iniciada la prueba. Pero como puede observarse, nuevamente se evidencia el incremento que otorga la sección parabólica al sistema, y la capacidad de conservación de la temperatura gracias al principio de efecto invernadero.

Con el fin de encontrar un escenario ideal para la evaluación del producto, se realiza una tercera prueba el día 8 de octubre de 2009, de 9:00 am a 12:30 pm. Para este caso en particular se extendió el periodo de ensayo con el fin de observar los cambios generados con la caída de radiación durante el intervalo de 12:00 pm a 12:30, donde se contaba con un índice de radiación considerablemente alto y que posteriormente fue cayendo drásticamente (paso de registrarse en el piranómetro un valor de 130 a 36.6 durante este tiempo). En la figura 61a se muestra el montaje realizado para la ejecución de dichos ensayos, mientras en la figura 61b, se evidencia el estado del agua en los puntos de registros con mayor temperatura.

Figura 72. a) Montaje de ensayo de la cocina solar con la sección parabólica.

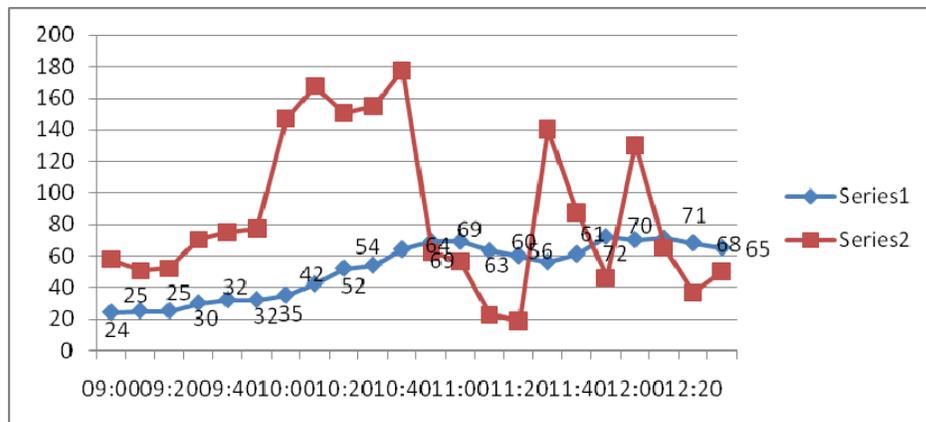
b) Estado del agua durante el ensayo del día 8 de octubre de 2009



Fuente: Elaboración propia

Es importante analizar los cambios registrados sobre la temperatura del agua sobre este intervalo y para ello se hace uso de la grafica 71.

Figura 73. Temperaturas logradas durante el ensayo del día 8 de Octubre de 9:00 am a 12:30 pm en la ciudad de Medellín



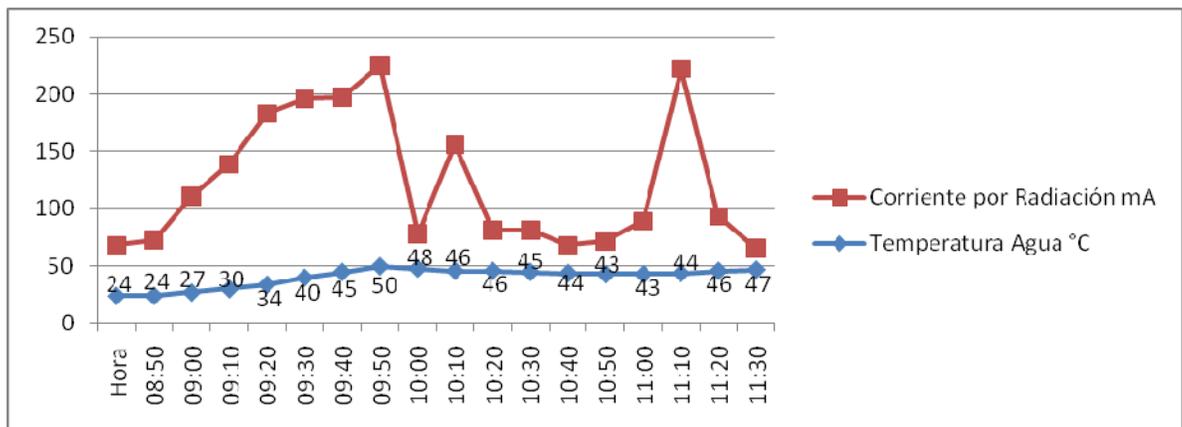
Fuente: Elaboración propia

De este tercer ensayo, puede evidenciarse un crecimiento significativo en la ganancia térmica en el modelo funcional de forma proporcional al incremento en la radiación incidente, según los registros en el tipo de piranómetro empleado. Como puede verse en la figura 73, se tienen registro de incremento de 10°C aproximadamente durante el intervalo de 10:00 am a 10:10 am, y de 10:30 am a

10:40 am, debido a la acción de concentración del disco parabólico. De igual forma es importante considerar el intervalo de 11:00 am a 11:30, donde se registra una caída en la temperatura de aproximadamente 4°C cada 10 minutos.

Para el cuarto ensayo realizado el domingo 11 de octubre de 2009 entre las 8:40 Am y las 11:40 Am, se cambió de locación para el experimento, se utilizaron las instalaciones de Azuleda del Campestre localizada en la Cr 48 C N 16 a sur -50, teniendo como condiciones iniciales una temperatura ambiente de 22°C y un volumen de agua de 0.6 litros a 21°C. La figura 74, muestra la variación de la temperatura en función del brillo solar para el ensayo del día 4, el cual se tuvo que suspender debido a la presencia de lluvias.

Figura 74. Temperaturas logradas durante el ensayo del día 11 de Octubre de 8:40 am a 11:30 pm en la ciudad de Medellín



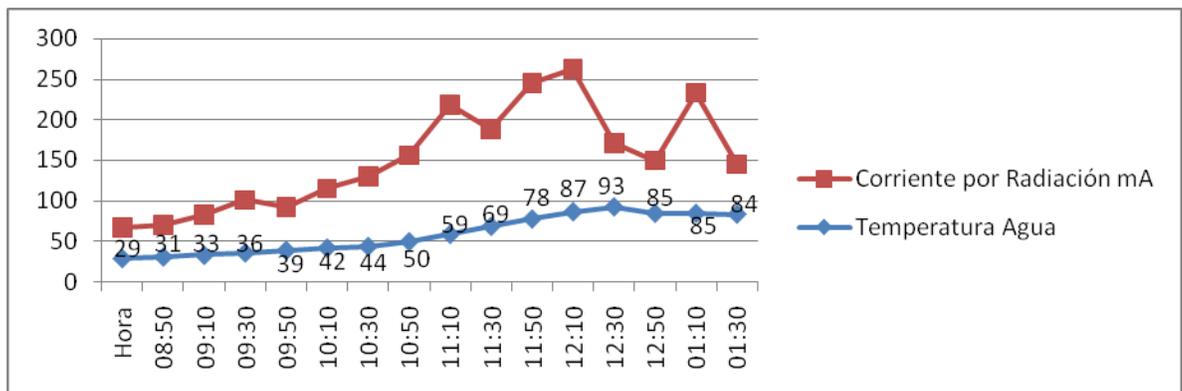
Fuente: Elaboración propia

Aunque inicialmente el día estuvo caracterizado por un alto brillo solar, este se redujo a partir de las 9:50 am aproximadamente, durante la hora previa, la temperatura al interior de la cocina solar aumento 26°C en una hora, lo cual corrobora los resultados de las pruebas anteriores de que la cocina solar efectivamente tiene la capacidad de levantar la temperatura. Sin embargo, al opacarse el día, el funcionamiento de la cocina solar disminuye drásticamente

como se puede ver en el lapso de tiempo entre las 10:10 y 10:50. Debido al día poco óptimo para realizar la prueba, se decide repetir el experimento otro día.

El quinto ensayo se realizo el lunes 12 de octubre de 2009 en el mismo lugar que el día anterior, durante las 8:50 am y 1:50 pm a una temperatura ambiente de 23 °C y un volumen de agua de 0.6 litros a 22°C; a excepción de los ensayos anteriores las mediciones se tomaron cada 20 minutos. Durante las primeras 2 horas del ensayo, los niveles de brillo solar estuvieron muy por debajo de lo esperado, haciendo que la temperatura del agua subiera solo 15 °C (ver figura 75). Sin embargo, a partir de las 10:50 am, las condiciones climáticas cambiaron, logrando un día despejado y con un alto brillo solar que se ve reflejado en el aumento de 10°C aproximadamente cada 20 minutos logrando así una temperatura al interior del producto de 93°C, la más alta registrada durante las pruebas del producto.

Figura 75. Temperaturas logradas durante el ensayo del día 12 de Octubre de 8:50 am a 13:30 pm en la ciudad de Medellín



Fuente: Elaboración propia

Finalizado el experimento, se decide abrir la tapa del contenedor principal a las 2:00 pm para calentar pastas, las cuales se cocinaron dentro del producto a una temperatura promedio de 70°C durante 40 min, posteriormente, fueron aptas para consumo humano (ver figura 76), mostrando que aunque el modelo funcional

levanta la temperatura muy lentamente en un día despejado, si funciona para cocinar.

Figura 76. Proceso de cocción de alimentos mediante el uso del modelo funcional fabricado.



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Con el procedimiento utilizado y descrito anteriormente, se logró un producto que requiere emplear energía solar como fuente primaria, al mismo tiempo que se consiguió satisfacer de forma parcial las necesidades y requerimientos enunciados en el PDS. Siendo los resultados parciales, el aprendizaje fue satisfactorio porque el producto responde funcionalmente a pesar de que el tiempo requerido para alcanzar una temperatura adecuada de cocción fue irregular por las variaciones climáticas y porque el producto final no se ha perfeccionado totalmente, situación que se evidenció en el modelo funcional, donde se buscó generar hermeticidad para lograr el efecto invernadero requerido para disminuir las pérdidas térmicas del producto.

El modelo funcional se evaluó, aunque no directamente con el usuario, se hizo respecto a las demandas y deseos establecidos en el PDS, los cuales se cumplieron conforme lo estipulado para ciertos parámetros relacionados con: temperaturas de cocción, peso final del producto y estabilidad del equipo mientras es operado. De igual forma, gracias a las pruebas, se identificaron algunos aspectos del producto que deben ser reconsiderados tales como: la necesidad de respaldar el sistema de forma que pueda responder a las horas de baja o ninguna incidencia solar, aumentar la relación de captación e implementar un sistema de orientación con el fin de incrementar la ganancia térmica y por último, disminuir la sombra generada por los casquetes parabólicos.

En cuanto a la interacción con el usuario, el producto brinda una mayor protección en cuanto a riesgos asociados a la manipulación y exposición a superficies con altas temperaturas, ventaja que ofrece frente a otros productos existentes que utilizan combustible en estas actividades. Adicionalmente, el producto está concebido para que la disposición entre los materiales de las diferentes partes

como la cubierta de PMMA o la tapa de ABS, aíslen al usuario del contacto directo con superficies calientes y contengan el alimento en caso de una caída accidental, característica que los productos de la competencia no ofrecen. Por otro lado, considerando al usuario objetivo del producto, *Los Scouts*, la cocina solar representa un producto factible de ser empleado en los campamentos que comúnmente realizan, puesto que ofrece mayores niveles de seguridad en cuanto a la manipulación por parte de los integrantes más jóvenes e inexpertos.

Los métodos y metodologías empleadas como los de Cross, Baxter, Ulrich, Eppinger, Norman o Ashby permitieron lograr un producto abordado desde diferentes enfoques profesionales que se complementan entre sí, reflejando una investigación formal pero que no deja de lado aspectos asociados al usuario como persona (diseño emocional), consideraciones funcionales, ambientales, ergonómicas, productivas, entre otras. Adicionalmente, con el uso de herramientas enfocadas el desarrollo de productos sostenibles, se pudo evaluar el impacto ambiental del producto asociado al funcionamiento y a los distintos materiales que lo constituyen y que se resumen con la definición de la huella de carbono asociada a la cocina solar.

En cuanto al perfil ambiental del producto, se identifica una disminución considerable en las emisiones de CO₂ equivalente asociadas a su ciclo de vida, que en comparación a las emisiones generadas por otros productos sustitutos naturales como la leña y/o cocinas solares parabólicas comerciales, representan una ventaja competitiva coherente a las exigencias de los mercados actuales, que tienden a basar sus decisiones de compra y hábitos de consumo, en productos con un menor impacto ambiental asociado.

La cocina solar desarrollada, en comparación con productos sustitutos y de la competencia, solo sería económicamente viable para un cliente personal si se proyecta dentro de un modelo de economías de escala, para el cual sería competitivo en costo a partir de 5000 unidades en adelante en relación a uno de los productos existentes menos contaminantes como es el CampingGaz. Para buscar una disminución en el precio del producto y poder producir menores cantidades, se recomienda considerar otros procesos productivos. Sin embargo, si se desea orientar el producto hacia clientes empresariales como parques temáticos, se puede adoptar un modelo de negocio en el que el producto sea vendido a dichas instituciones para que estas lo alquilen a sus visitantes.

RECOMENDACIONES

Sobre la investigación.

Investigar un modelo de análisis ambiental que permita especificar los impactos asociados a los materiales que no pudieron ser considerados debido a las limitantes de la herramienta Simapro.

Para futuros proyectos e investigaciones es vital realizar un análisis de elementos finitos simulando las condiciones de frontera de radiación y reflexión de las superficies parabólicas, para poder realizar cálculos de ingeniería y predicciones sobre el comportamiento del producto que permitan tomar correctivos sobre el diseño antes de construir un modelo funcional del mismo.

Hacer mayor exploración a las condiciones de frontera de la simulación térmica del producto que permitan tener un conocimiento más global sobre el comportamiento del mismo.

Hacer un desarrollo de pintura selectiva al interior de la universidad EAFIT, ya que su importación a Colombia acarrea unos costos muy elevados, de esta forma se puede potencializar el funcionamiento de productos relacionados con aplicaciones solares.

Se recomienda realizar un estudio sobre diferentes alternativas de combustibles de respaldo con el fin de definir cuál de ellos puede ser el más adecuado con base en el perfil ambiental del producto y razones personales requeridas.

Hacer un desarrollo de cocina solar que pueda inscribirse dentro del modelo de tecnologías socialmente apropiadas, es decir, que se pueda llegar a comunidades con bajos ingresos o zonas no interconectadas.

Sobre el producto.

Estudiar una forma alterna de hacer el desarrollo parabólico para obtener un área de captación mayor sin sacrificar la portabilidad del producto

Estudiar un método de posicionamiento de los casquetes parabólicos en función de la posición del sol para poder maximizar el funcionamiento de la cocina solar.

Buscar una forma alterna de obtener una superficie reflectiva sobre los casquetes ya que el metalizado al vacío aunque ofrece buenos resultados se raya fácilmente disminuyendo así la vida útil del producto.

Aumentar la relación de concentración del producto, ya que la actual 15:1 aunque funciona desde el punto de vista térmico, no sería admisible para un usuario debido a la gran cantidad de tiempo requerido para que el producto funcione como se espera.

Buscar procesos productivos adicionales para la conformación de polímeros ya que el proceso actual requiere una alta inversión en moldes de inyección, lo cual aumenta considerablemente el precio del producto.

Sobre los ensayos

Utilizar diferentes instrumentos para medir la temperatura aparte de las Termocúplulas y Multímetros ya que estos no ofrecen resultados muy precisos y durante los ensayos se presentaban variaciones

Utilizar un piranómetro real debido a que la celda fotovoltaica empleada para medir la variación del brillo solar en función de la corriente producida por la misma, permite obtener valores que no son adecuados ya que no se pueden obtener datos concretos del flujo térmico a causa de la radiación.

Utilizar puntos de medición térmicos adicionales que permitan obtener diferentes temperaturas al interior del producto para de esta forma realizar cálculos futuros

Contar con un equipo que permita simular las condiciones de operación de la cocina solar o cualquier producto de esta índole ya que la incertidumbre sobre si va a ser un día soleado no es muy alta y no permite realizar pruebas bajo parámetros controlados y que puedan ser repetibles.

BIBLIOGRAFIA.

ARENAS, J.M., HORCAJO DE FRUTOS, R. CASTRO SANCHÉZ, S. Diseño y desarrollo de reflector solare portátil para calentamiento de productos alimenticios. Universidad Politécnica de Madrid. E.U. Ingeniería técnica Industrial. Madrid. España, 2001.

ARNHEIM, Rudolf. El pensamiento visual, Paídos, Barcelona. Citado por:
BEDOLLA, D. , LLOVERAS, J. & GIL, J. 1998.

ASAE. American Society of Agriculture Engineers. Testing and reporting solar cooker performance. USA. Enero de 2003. (ASAE S580 JAN03).

ASHBY, Michael. Materials Engineering, Science processing and design. Cambridge. 2007.

BAXTER, Mike. Product Design: Practical Methods for Systematic Development of New Products. Ed Chapman & Hall. 1995.

BOTERO, Sergio. Desarrollo de un equipo modular para la cosecha manual de

CATALOGO DE PRODUCTOS DE HOMECENTER. Octubre 2009.

CENTRE OF ENERGY STUDIES, Indian instate of technology & MINISTRY NON_CONVENTIONAL ENERGY SOURCES. Draft test procedure of solar cooke. Paraboloid concentrator type. New Delhi, India. Agosto de 2006.

CEUTA, Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas. Autoconstrucción de cocinas solares y calentadores de agua. Parte 3. Colectores solares. Montevideo, Uruguay. 2007.

CROSS, Nigel. Métodos de Diseño Estrategias para el diseño de productos: Fernando Roberto Pérez Vásquez, tr. México: Limusa, Wiley, 2003.

CENTRE OF ENERGY STUDIES, Indian instate of technology & MINISTRY NON_CONVENTIONAL ENERGY SOURCES. Draft test procedure of solar cooke. Paraboloid concentrator type. New Delhi, India. Agosto de 2006.

DE CUSA, Juan. Energía solar para viviendas. Monografías de la construcción. Ediciones CEAC S.A. Barcelona, España. 2004.

DUFFIE, John A., BECKMAN, William A. Solar Engineering of thermal processe. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin Madison. Ed. Jhon Wiler Toronto. 1980.

DUNKER G. Albert. Los aislantes térmicos y el Poliestireno expandido. Revista BIT. Edición especial. Mayo de 2003. Santiago de Chile. Chile.

GÓMEZ, Fernando. Contaminación a leña. Origen de emisiones en estufas. Efecto de la característica del combustible. Universidad de Chile. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Escuela de Ingeniería. Santiago de Chile. Chile. 1996.

PATEL, Mona. Designign for conversión. Evaluating decisió making through HFI's PET design. White Paper. Human Factors International. Fairfield IA. May 10, 2007.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM, EN CONVENIO CON LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO

ENERGÉTICA – UPME. Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá. Colombia. Diciembre de 2002.

JUTGLAR, Lluís. Energía Solar. Energías Alternativas y Medio ambiente. Editorial CEAC. Barcelona, España. 2004.

LOPEZ, Germán. Horno Solar. Energías renovables. Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia. 2001.

LOZANO, Justel D., BARTOLOMÉ, Pérez E., NADAL, Vidal R., FERNÁNDEZ, Gallo A., JAUREGUI, Val E. Estudio de métodos de selección de conceptos. XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Lugo. España. Septiembre, 2007.

MACIA G. Andrés Felipe & JANNA, Farid Chejne. Cocinas Solares. Grupo de termodinámica aplicada y energías alternativas- TAYEA-. Facultad de minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2005.

MIRANDA, Rubén. Micro Centrales Hidroeléctricas: Tecnologías De Reducción De Costos Y Posibilidad De Construcción. Universidad del Atlántico. Barranquilla. Colombia. Marzo de 2007.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. República de Colombia. Revolución educativa. Colombia aprende. Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Parte II. Bogotá. Colombia. Febrero de 2006.

MONDRAGÓN D., Salvador, VERGARA M., Margarita & COMPANY C., Pedro. Diferencial semántico: Una herramienta al servicio del diseño emocional de maquinas herramientas. Universidad JAUME I Castelló. Departamento de Ingeniería mecánica y construcción. España. 2005.

NORMAN, Donald A. El diseño emocional. Por qué nos gustan (o no) los objetos cotidianos. Ediciones Paidós Ibérica. Barcelona, España. 2005.

OSWALD, Tim. International plastics handbook. Hanser Verlag. Madison, WI. USA. 2006.

PANERO, Julius. ZELNIK, Martin. Las dimensiones humanas en los espacios interiores: estándares antropométricos. Décima edición. Editorial G. GILI, México. 2002.

PASSAMAI, Víctor. Nuevas experiencias de campo con cocinas solares. CIUNSA – CONICET. Facultad de ciencias exactas, Argentina. 2007.

PASSAMAI, V., PASSAMAI, T., PAREJA & S. PIZARRO, L. Física Térmica de una cocina solar de pequeñas dimensiones Avances es Energías renovables y medio ambiente, Vol. II, INENCO-CIUNSA – CONICET. Facultad de ciencias exactas, Argentina. 2007.

PROYECTOS DE ESTUDIO FPA. Cocinas Solares en Copiapó, Chile, utilizando la energía Solar. Fondo de Protección ambiental. Gobierno de Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 17 de Noviembre de 2007.

RESNATUR. Corporación Colombia Sostenible – Asociación Red Colombiana de reservas Naturales de la Sociedad Civil. Tecnologías socialmente apropiadas al servicio de una cultura permanente. Capítulo 8. El Horno Solar. RED Editorial WWF-RESNATUR. Primera Edición – Diciembre 23 de 2006. Medellín. Colombia.

SANCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía Solar térmica. Primera edición. Editorial LIMUSA. México. 2008.

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Instituto nacional de ecología. Inventario Nacional de emisiones de gases de efecto invernadero. México DF, México. 1999 – 2002.

SIBAJA, Eduardo, PETERSON, Donald. Colectores Solares. Capítulo III. Principios de transferencia de calor aplicables para el aprovechamiento de la energía solar. Editorial Tecnológica de Costa Rica. San José de Costa Rica. 1985.

ULRICH, K., EPPINGER, S. Diseño y Desarrollo de productos: Rebecca Virginia Madrigal Álvarez, tr. México: McGraw-Hill. 2003.

UPME. Unidad de Planeación Minero-Energética. Ministerio de minas y energía, República de Colombia. Energías Renovables: Descripción, tecnologías y usos Finales. Bogotá, Colombia. 2007.

XM – EMPRESA DEL GRUPO ISA. Informe de operación del sistema y administración del mercado. Capítulo 1. Caracterización del sistema. Bogotá. Colombia. Noviembre de 2007.

WEIERS, Ronald. Investigación de Mercados: Rosa María Rosas Sánchez, tr. México: Prentice-Hall, 1986.

FUENTES DE INTERNET

ALEXIS, Faura. URRUTIA, Juan Carlos. MARÍN SANCHEZ, Ulert. QUISPE RIVERA, Hugo. REY PAUCARPURA, Amy. SILVA MOGOLLÓN, Eliana. VALDIVIESO ESTERRIPA, Sylka. VILLAR VENDE, Hugo Eliel. Impactos ambientales de la producción de acero. [en línea]. Disponible en: <http://www.slideshare.net/juankfaura/impactos-ambientales-generados-por-la-produccion-del-acero>

ALSOL. Tecnologías solares. Productos. [en línea]. Disponible en: <http://www.alsol.es/alsol14.html>.

ASSOCIATED CONTENT. How to Build a Solar Box Cooker . [en línea] . Disponible en: <http://www.associatedcontent.com/subject/article/solar+cooker>

BAUMGARTNER, Jeffrey. The complete guide to managing traditional brainstorming events. Bwiti company. Bélgica. [en línea]. Disponible en: <http://www.jpb.com/creative/brainstorming.pdf>

BEDOLLA, D., LLOVERAS, J. & GIL, J. Diseño sensorial: Modelos guía para la concepción de productos industriales más humanizados. Ejemplos. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Instituto de Diseño. Departamento de proyectos, ETSEIB, UPC. Oaxaca. México. 2002. Pág. 1-8 [en línea] Disponible en: http://cmap.upb.edu.co/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1153176144421_693802693_1561.

CAMPUS. The plastics Data Base. Material data center [en línea]. Disponible en www.campusplastics.com.

CLIMATE EXCHANGE AG [en línea]. Disponible en <http://www.climateinterchange.com/index.html>.

CRUL, M.R.M y DIEHL, J.C. Diseño para la sostenibilidad Un enfoque práctico para economías en desarrollo Francia, Delft [en línea]. Disponible en: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DITx1044xPA-D4SSPA.pdf>

DAMPNEY. Engineered Coatings. Brochure Thurmalox 250 Selective Black Solar Collector Coating [en línea]. Disponible en: www.dampney.com/Products/Products.asp?ProductID=28.

DISEÑO INDUSTRIAL Y ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, ESTUDIO DE CASO: LA COCINA SOLAR PORTÁTIL [en línea]. Disponible en <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar20/HTML/articulo03.htm>

ELSEVIER - Renewable Energy Focus, 2008. [PV: Make way for the organic movement]. [en línea]. Disponible en: <http://redigitaleditions.com/ActiveMagazine/print.asp>

ENERGÍA SOLAR 365. Energía solar pasiva. [En línea]. Disponible en: www.energiasolar365.com/energia-solar-pasiva-vsubservicios-1218.html.

FUNDACIÓN APROTEC, 2004. [en línea]. Disponible en: <http://www.aprotec.com.co>

FUNDACIÓN DIETA MEDITERRANEA. Los alimentos. Pirámide alimentaria. [Sitio en Internet]. Disponible en http://www.fdmed.org/03_piramide.asp.

FUNDACIÓN TERRA. Perspectiva ambiental. Cocina Solar. Barcelona España. Junio de 2002. Pág. 6-10. [Documento en línea]. [<http://www.ecoterra.org>].

HORIZONTE ELECTRONICO. Comunidad sobre electrónica. Termocúpla. [en línea]. Disponible en: <http://www.blogelectronico.com/2007/06/termocupla/comment-page-1>.

HUELLA DE CARBONO. Documentación. Presentación EPEA- Asociación de Empresas de Productos Ecológicos de Andalucía. [En línea]. Disponible en: <http://www.huellacarbono.es/upload/Presentacion%20huella%20de%20carbono%20epea%2010709.pdf>.

HYBRYTEC. 2007. [en línea]. Disponible en: <http://hybrytec.110mb.com/>

IDEAM-Instituto de Hidrología, Metrología y Estudios Ambientales, 2005. [El Sol- Balance radiativo]. [en Línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/radiacion.htm>

INSTRUMENTOS DE MEDIDA DIRECTA. Micrómetro o Palmer. [en línea]. Disponible en: http://www.iesunibhi.com/ikasleak/FileStorage/view/alumnos/METROLOG%C3%8DA_5_-_Micr%C3%B3metros.pdf.

INSTITUTO VIRTUAL INGEFOR. El Instituto Virtual de Investigaciones Geográficas e Información Ambiental. [en línea]. Disponible en: <http://www.geocities.com/institutoingefor2>

KENEWELL, jhon & McDONALD, Andrew. The constant Solar. IPS – Ratio and Space Services. Australia Government. [en línea], Disponible en: www.ips.gov.au/Category/Educational/The_Sun_and_Sola_Activity/Genera-Info/Solar_Constant.pdf.

Manual de ensamble. Cocina Solar parabólica Alsol 1.4. [Sitio en Internet] Disponible en: <http://www.alsol.es/manual%20finalbaja.pdf>.

MOULTRIE, James. Design Managment Group. Institute of manufacturing. University of Cambridge. [Sitio en Internet] Controlled convergence. Disponible en <http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/ctm/idm/tools/concept/convergence.html>.

MUELLER SOLARTECHNIK. Cocinas Solares. [en línea]. Disponible en: http://www.mueller-solartechnik.com/c_index.html

NC STATE UNIVERSITY & NORTH CAROLINA SOLAR CENTER, 2007. [Solar Center Information. Photovoltaics Applications]. [en línea]. Disponible en: <http://www.ncs.ncsu.edu>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. Curso básico de energías renovables: a slide Termas solares [diapositivas]. Lima, Perú. [36 diapositivas]. [en línea]. Disponible en: www.pucp.edu.pe/grupo/energias/solar/powersolar.ppt

PRO COBRE. Connects life. Acerca del cobre. Principales usos. Salud. [en línea]. Disponible en: http://www.procobre.org/procobre/acerca_del_cobre/pu_salud_04.html

REYES P. Metodología de diseño para Seis Sigma. Pág 14-16 [Documento en línea]. Disponible en www.icicm.com/files/METODOLOGIA_DFSS_IMADOV.doc.

SANSEAU, Ana. División de oftalmología. Hospital de Clínicas José de San Martín. Buenos Aires, Argentina. Octubre 30 de 2004. [en línea]. Disponible en: <http://www.diversica.com/salud/archivos/2004/10/ojo-con-los-anteojos.php>

SOCIEDAD LATINOAMERICANA PARA LA CALIDAD. Lluvia de ideas (Braingstorming). 2000. Pág. 1. [en línea]. Disponible en: <http://www.ongconcalidad.org/lluvia.pdf>.

THE SOLAR COOKING ARCHIVE. Cocinando con el sol. Pág. 1. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.solarcooking.org/newsletters/scrapr05-span.htm>.

UNIMEDIOS. Estudio de caso: Fogón solar para el campo. [Documento en línea]. Disponible en: <http://unperiodico.unal.edu.co/ediciones/74/15.htm>

VIRGINIA DEPARTMENT OF HEALTH. Temperaturas de cocción. Disponible en : www.vdh.virginia.gov