

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN HORNO SOLAR TRANSPORTABLE**

Trabajo de titulación para optar al Título de  
INGENIERÍA EN FABRICACION Y DISEÑO  
INDUSTRIAL

con Licenciatura en Ingeniería  
en Fabricación y Diseño Industrial

Alumno: Juan Pablo Cabrera Espinoza

Profesor Guía: Augusto Antonio Vargas Schuler

**2024**

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo diseñar física y virtualmente un prototipo de horno solar transportable. Se evaluaron diferentes diseños en el mercado, a través de la búsqueda de diferentes fuentes, en la cual se abarcaron los diferentes tipos de hornos solares y empresas en la actualidad dedicadas a la fabricación y exportación de estos. Utilizando diferentes instrumentos como Diagrama Ishikawa y análisis FODA se logró analizar las posibles causas o debilidades detectadas y problemas a mejorar en base a la evaluación del producto pasando por diseños preliminares, desde sketch básicos hasta el diseño virtual y la construcción del prototipo físico. Se finalizó con la selección y tipo de pruebas coherentes para la evaluación para el prototipo físico, en donde se realizaron dos estudios, uno enfocado en obtener el comportamiento de la temperatura al interior del horno y el segundo estudio, evaluará el tiempo necesario para cocinar ciertos alimentos, considerando la temperatura interior mínima segura para su correcta cocción, los dos estudios realizados en la Región de Valparaíso, Comuna de Quillota, Chile. Se concluyó como un éxito la incorporación de una base con distintos ángulos de inclinación al prototipo y se demostró que el corcho es un buen material, cumpliendo su función como aislante térmico, demostrando ser ligero y crucial para el diseño portátil de hornos solares tipo caja.

*Palabras clave:* Energía solar, Ensayo térmico, Cocina solar, Horno solar tipo caja, Evaluación de metodologías.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to physically and virtually design a transportable solar oven prototype. Different designs on the market were evaluated through the search for different sources, which covered the different types of solar ovens and companies currently dedicated to the manufacture and export of these. Using different instruments such as Ishikawa Diagram and SWOT analysis, it was possible to analyze the possible causes or weaknesses detected and problems to improve based on the evaluation of the product through preliminary designs, from basic sketches to virtual design and construction of the physical prototype. It ended with the selection and type of consistent tests for the evaluation of the physical prototype, where two studies were carried out, one focused on obtaining the behavior of the temperature inside the oven and the second study, will evaluate the time needed to cook certain foods, considering the minimum safe interior temperature for proper cooking, both studies carried out in the Valparaíso Region, Quillota Commune, Chile. The incorporation of a base with different inclination angles to the prototype was concluded as a success and it was demonstrated that cork is a good material, fulfilling its function as a thermal insulator, proving to be light and crucial for the portable design of box-type solar ovens.

Keywords: Solar energy, Thermal test, Solar cooker, Box-type solar oven, Evaluation of methodologies.

## ÍNDICE

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Capítulo 1: Antecedentes.....                                  | 1  |
| 1.1   | Cocinas solares.....   | 1  |
| 1.1.1 | Cocina de concentración.....                                   | 1  |
| 1.1.2 | Cocina de acumulación.....                                     | 2  |
| 1.1.3 | Efecto invernadero.....  | 3  |
| 1.2   | Clasificación de hornos.....                                   | 3  |
| 1.2.1 | Cocina parabólica .....  | 3  |
| 1.2.2 | Cocina solar COOKIT .....                                      | 4  |
| 1.2.3 | Horno solar tipo caja.....                                     | 5  |
| 1.3   | Hornos solares actuales en el mercado.....                     | 7  |
| 1.3.1 | All American SUN OVEN .....                                    | 7  |
| 1.3.2 | Horno Solar SOLMUE .....                                       | 9  |
| 1.3.3 | Horno Solar SunOK Suntaste .....                               | 11 |
| 1.4   | Materialidad de hornos solares.....                            | 12 |
| 1.4.1 | Corcho: Un excelente material .....                            | 13 |
| 1.5   | Empresas que se dedican al diseño y fabricación de hornos..... | 14 |
| 1.5.1 | SunOk .....  | 14 |
| 1.5.2 | Sun Ovens International, Inc. ....                             | 14 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.6   | Debilidades y/o problemas.....                           | 14 |
| 1.7   | FODA.....  | 15 |
| 1.8   | Análisis Ishikawa.....                                   | 18 |
| 1.9   | Diagrama de Pareto.....                                  | 21 |
| 1.10  | Causa – Problema – Consecuencia.....                     | 23 |
| 1.11  | Objetivos.....   | 24 |
| 2     | Capítulo 2: Evaluación de metodologías.....              | 25 |
| 2.1   | Metodologías para diseño en general.....                 | 25 |
| 2.1.1 | Design Thinking .....                                    | 25 |
| 2.1.2 | Metodología de Ulrich y Eppinger .....                   | 26 |
| 2.1.3 | Metodología IHOBE.....                                   | 27 |
| 2.2   | Metodología para diseño de prototipos.....               | 27 |
| 2.2.1 | DFMA.....  | 27 |
| 2.3   | Metodología para diseño de prototipos de hornos.....     | 29 |
| 2.4   | Metodologías para evaluar diseños.....                   | 30 |
| 2.4.1 | Método Datum .....                                       | 30 |
| 2.4.2 | Método de Objetivos Ponderados .....                     | 32 |
| 2.5   | Evaluación y/o adecuación de metodologías de diseño..... | 33 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.6   | Propuesta de metodología para el diseño de un prototipo de horno solar transportable   | 35 |
| 2.7   | Definición y caracterización de mejoras e innovaciones   | 35 |
| 2.8   | Mejoras/innovación en el diseño de prototipos de hornos solares transportables   | 36 |
| 2.9   | Evaluación de una mejora y/o innovaciones para ser incorporadas en el diseño del prototipo de horno solar transportable          | 38 |
| 2.10  | Propuesta de valor para una mejora y/o innovaciones para ser incorporada en el diseño del prototipo de horno solar transportable | 39 |
| 3     | Capítulo 3: Diseño y fabricación   | 40 |
| 3.1   | Bocetos e ideas preliminares   | 40 |
| 3.2   | Diseño prototipo virtual   | 41 |
| 3.2.1 | Render   | 42 |
| 3.3   | Diseño prototipo físico  | 43 |
| 3.4   | Planos de fabricación y montaje  | 45 |
| 3.5   | Fotografías del funcionamiento virtual y físico  | 49 |
| 3.5.1 | Funcionamiento virtual   | 50 |
| 3.5.2 | Funcionamiento físico  | 51 |
| 3.6   | Materiales   | 52 |
| 3.6.1 | Corcho como aislante   | 52 |
| 3.6.2 | Montaje:   | 53 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4     | Capítulo 4: Evaluación del prototipo de horno solar transportable..... | 54 |
| 4.1   | Primera prueba.....  | 54 |
| 4.2   | Segunda prueba.....  | 57 |
| 4.2.1 | Comida a preparar.....   | 58 |
| 4.2.2 | Seguimiento segunda prueba .....                                       | 59 |
| 4.3   | Conclusiones.....  | 65 |
|       | Bibliografía.....  | 68 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 1</b>  | Esquema horno solar tipo caja.....  | 2  |
| <b>Figura 2</b>  | <i>Esquema que muestra las partes externas del horno solar tipo caja.....</i> | 6  |
| <b>Figura 3</b>  | <i>Modelo de horno All American SUN OVEN .....</i>                            | 8  |
| <b>Figura 4</b>  | <i>Modelo SOLMUE.....</i>   | 9  |
| <b>Figura 5</b>  | <i>Características generales y materialidad SunOK Suntaste Compact.....</i>   | 12 |
| <b>Figura 6</b>  | <i>Análisis FODA .....</i>  | 15 |
| <b>Figura 7</b>  | <i>Diagrama Ishikawa en relación con el horno solar tipo caja .....</i>       | 18 |
| <b>Figura 8</b>  | <i>Gráfico con datos correspondientes a la Tabla 1 .....</i>                  | 22 |
| <b>Figura 9</b>  | <i>Causa- Problema- Consecuencia.....</i>                                     | 23 |
| <b>Figura 10</b> | <i>Estudio DFMA.....</i>  | 28 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 11</b> <i>Adaptación de metodología DFMA al rediseño de un horno solar transportable</i> .....                                | 29 |
| <b>Figura 12</b> <i>Diagrama de flujo Datum</i> .....   | 30 |
| <b>Figura 13</b> <i>Adaptación de metodología Design Thinking y EHOBE al proyecto de rediseño de un horno solar transportable</i> ..... | 34 |
| <b>Figura 14</b> <i>Bocetos preliminares</i> .....  | 40 |
| <b>Figura 15</b> <i>Propuesta final</i> .....   | 41 |
| <b>Figura 16</b> <i>Renders del funcionamiento del horno</i> .....  | 42 |
| <b>Figura 17</b> <i>Prototipo terminado</i> .....   | 43 |
| <b>Figura 18</b> <i>Prototipo por dentro, sin y con placa absorbedor deslizadora</i> .....  | 44 |
| <b>Figura 19</b> <i>Diferentes ángulos</i> .....  | 50 |
| <b>Figura 20</b> <i>Diferentes ángulos</i> .....  | 51 |
| <b>Figura 21</b> <i>Medición temperatura</i> .....  | 54 |
| <b>Figura 22</b> <i>Comportamiento del agua al interior del horno solar</i> .....   | 56 |
| <b>Figura 23</b> <i>Comida con su respectiva temperatura inicial</i> .....  | 58 |
| <b>Figura 24</b> <i>Prototipo funcional: precalentar el horno</i> .....   | 59 |
| <b>Figura 25</b> <i>Prototipo funcional: correcta cocción</i> .....   | 60 |
| <b>Figura 26</b> <i>Prototipo funcional: Inclinación</i> .....  | 61 |
| <b>Figura 27</b> <i>Prototipo funcional: Cuarto paso</i> .....  | 62 |
| <b>Figura 28</b> <i>Fotografía plato terminado</i> .....  | 63 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Datos extraídos del análisis Ishikawa</i> .....                    | 21 |
| <b>Tabla 2</b> <i>Comparación de criterios según cada propuesta</i> .....            | 38 |
| <b>Tabla 3</b> <i>Registro de temperatura durante el periodo de ensayo 1</i> .....   | 55 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Tabla de temperatura interior mínima segura para cocinar</i> ..... | 57 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Registro de temperatura durante el periodo de ensayo 2</i> .....   | 64 |

## INTRODUCCIÓN

Las cocinas solares, como su nombre lo indica, tienen un denominador común y es el uso de la radiación solar para alcanzar altas temperatura de cocción, capaces de cocinar únicamente con la ayuda del sol como fuente de energía. En cuanto a los diseños de hornos solares, hay varias opciones disponibles en el mercado, ya que, dentro de la familia, se dividen en tres grandes grupos, siendo tres principales modelos los más desarrollados y con mayor uso en la actualidad, clasificados en cocina de acumulación u horno de caja, cocina de concentración o parabólica y la cocina de panel, más conocidas como Cookit (Megía, 2010).

Aunque los hornos solares transportables ofrecen beneficios significativos, también pueden presentar puntos débiles como el tamaño, su capacidad limitada, la inestabilidad que tiene en terrenos irregulares y su tiempo de cocción más prolongado.

Este estudio se focalizará en el horno solar tipo caja, el cual consiste en un diseño más simple y accesible, en una caja aislada, acompañada de una ventana de plástico o vidrio, la cual actúa como una trampa para retener el calor de la energía solar con el antes mencionado "Efecto Invernadero". La radiación solar pasa a través de la ventana e impide que la radiación se refleje en las paredes, calentando la placa negra, el aire y la olla negra que se encuentra en la cámara de cocción. Las paredes se revisten con papel aluminio, para reflejar la radiación hacia la olla pintada de negro. Se pinta una placa de metal de negro para llevar el calor de las ollas por medio de la conducción y para poder incrementar la radiación solar entrante (Muro et al., 2019).

## **1 Capítulo 1: Antecedentes**

Diagnóstico del mercado y del diseño de los hornos solares.

### **1.1 Cocinas solares**

Se tienen registros de cocinas solares desde el año 1767. Horace de Saussure, un naturalista suizo diseñó el primer colector plano para aprovechar el calor solar, el cual experimentó con el efecto físico del calentamiento de una caja negra con tapa de vidrio expuesta al sol. Sus experiencias fueron relevantes, ya que al exponer al sol las cajas, la temperatura aumentaba en el interior de cada una de ellas, hasta el punto de poder conseguir una temperatura de más de 85°C (Fundación Tierra, 2002).

Se puede definir que la cocina solar utiliza su energía para cocinar alimentos a través de la concentración y/o acumulación de energía solar.

#### **1.1.1 Cocina de concentración**

Están formadas por un disco cóncavo que enfoca la luz solar en un punto focal amplio logrando coincidir con el fondo de la olla. Esta cocina permite cocinar prácticamente como si fuese en una cocina convencional, pero esta requiere de una radiación solar directa, ya que se necesita reenfocar cada 20 o 30 minutos para mantener el punto focal bien orientado a la posición del sol. Los espejos cóncavos tienen una eficiencia de entre 40 y 60%, y en diámetros pequeños se puede obtener temperaturas entre 100 y 300 °C (Fundación Tierra, 2002).

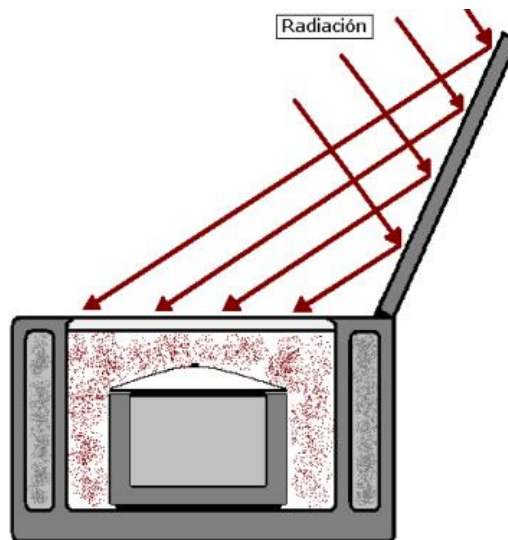
### 1.1.2 Cocina de acumulación

Estos modelos son capaces de capturar la radiación solar en espacios aislados y cerrados térmicamente, la acumulación de la energía solar es a través del efecto invernadero, produciendo calor útil a una temperatura lo suficientemente alta para cocinar (Gastronomía Solar, s.f.).

Como se puede ver en la Figura 1 la luz pasa fácilmente a través del cristal e incide sobre los materiales que se encuentran en su interior (Megía, 2010).

#### Figura 1

*Esquema horno solar tipo caja*



*Nota.* El esquema representa como los rayos se dirigen al interior del horno solar y el aire caliente queda acumulado en el mismo. Adaptado de CARACTERIZACIÓN DE UNA

COCINA SOLAR PARABÓLICA (p.56), por M. Megia, 2010, UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.

Un horno solar es un artefacto que transforma la luz solar en calor útil, el cual queda aislado térmicamente al interior de la cocina, de tal modo que permite cocinar alimentos a temperaturas más bajas que por métodos convencionales, logrando efectos beneficiosos en el sabor y en la calidad de las preparaciones (González Avilés & Servín Campuzano, 2014).

### **1.1.3 Efecto invernadero**

Siendo este uno de los principios básicos de la captación de radiación solar, se conoce como efecto invernadero, la conversión de la radiación solar en energía calorífica, a través de los rayos infrarrojos, logrando el aumento de la temperatura al interior de los objetos (Terra, s.f.).

## **1.2 Clasificación de hornos**

Se encuentra una gran variedad de modelos y formas en el mercado de las cocinas solares, los cuales estarán clasificados en tres grupos.

### **1.2.1 Cocina parabólica**

Este tipo de modelo de cocina es fácil de reconocer por su diseño característico, ya que su nombre hace honor a la forma de la parábola. Dicho dispositivo comparte una gran semejanza con las antenas parabólicas que se encargan de captar la señal de la televisión, ya que, al igual que estas antenas, la forma de parábola permite captar la mayor parte de ondas incidentes concentradas en un mismo punto, lo que es denominado como foco. Este modelo, puede ser menos manejable por su gran tamaño, pero lo compensa con su gran rendimiento

térmico, además de tener una gran superficie de captación que presenta un alto factor de reflexión de los materiales que lo recubren y gran concentración de rayos incidentes (Megía, 2010).

### **1.2.2 Cocina solar COOKIT**

Este es el tipo de cocina más simple desde el punto de vista de construcción y uso, ya que, no es necesario invertir ni dinero ni tiempo, pues su estructura se puede hacer de cartón y papel reflectante (papel aluminio). Su facilidad de plegado y su poco peso lo hacen una cocina fácil de guardar y transportar. La cocina COOKIT en comparación con los hornos solares, presentan tiempos de cocción muy lentos, teniendo que alcanzar temperaturas de hasta los 100°C (suficiente para obtener alimentos bien cocinados), además de tener una estructura frágil por su bajo peso, siendo su mayor enemigo los vientos relativamente fuertes o cualquier imprevisto meteorológico (Megía, 2010).

### 1.2.3 Horno solar tipo caja

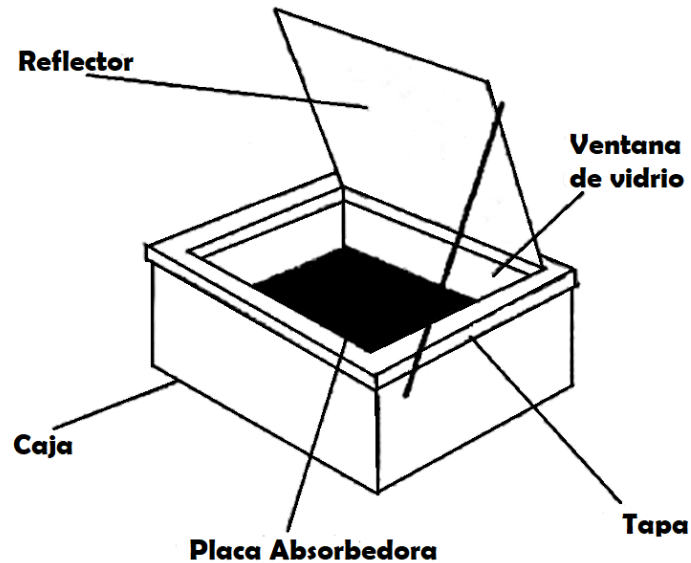
Una vez conocidos los principales modelos de cocinas solares, falta por enumerar el último de ellos y para este proyecto, es el más importante, ya que, es objeto del estudio: el HORNO SOLAR TIPO CAJA.

El horno solar tipo caja más simple y accesible consiste en una caja aislada, acompañada de una ventana de plástico o vidrio, la cual actúa como una trampa para retener el calor de la energía solar con el antes mencionado "Efecto Invernadero". La radiación solar pasa a través de la ventana e impide que la radiación se refleje en las paredes, calentando la placa negra, el aire y la olla negra que se encuentra en la cámara de cocción. Las paredes se revisten con papel aluminio, para reflejar la radiación hacia la olla pintada de negro. Se pinta una placa de metal de negro para llevar el calor de las ollas por medio de la conducción y para poder incrementar la radiación solar entrante, se pueden usar reflectores, los cuales se pueden ubicar para reflejar la radiación solar hacia el interior de la caja, recalcar que la caja debe estar bien aislada para restringir al usuario del flujo de aire caliente al exterior de la caja (Muro et al., 2019).

Existen una variedad de modelo de hornos solares, como podemos ver en la Figura 2, en general todos tienen las siguientes partes:

## Figura 2

*Esquema que muestra las partes externas del horno solar tipo caja*



*Nota.* Adaptado de CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA COCINA/HORNO SOLAR TIPO CAJA (p.74), por H. Muro, C. Bravo, O. Cornejo y B. Taco, 2019, Ciencia & Desarrollo, 7.

**Zona de cocción o caja:** es un espacio recubierto de aislante térmico en las paredes laterales y es donde se acumula el calor para cocinar los alimentos (Gastronomía solar, Cocina con el sol, s.f.).

**Ventana de vidrio o cubierta transparente:** Esta tapa la zona de cocción y es por donde ingresa la radiación (Gastronomía solar, Cocina con el sol, s.f.).

**Placa absorbadora:** Es el elemento que transforma la energía lumínica en energía calórica por medio de los rayos del sol. Se aplican materiales que presentan un equilibrio

entre la emisión térmica y el coeficiente de absorción (Gastronomía solar, Cocina con el sol, s.f.).

**Reflector:** La finalidad de los reflectores es capturar más rayos del sol y aumentar la capacidad de generar calor (Gastronomía solar, Cocina con el sol, s.f.).

En resumen, el principio de funcionamiento de un horno solar se basa en la captación de energía solar, la concentración y acumulación para cocinar alimentos de una forma más eficiente. Los rayos del sol son captados por la placa absorbadora, transformándose en energía calórica. El calor se acumula en el interior del horno por medio del aislante térmico, logrando aumentar su concentración mediante reflectores. Ya con el calor concentrado en la zona de cocción, se puede cocinar los alimentos de forma gradual a temperaturas elevadas.

### **1.3 Hornos solares actuales en el mercado**

Se encuentra una gran variedad de modelos y formas en el mercado.

#### **1.3.1 All American SUN OVEN**

El Sun Oven es creado por Tom Burns y fabricado en Estados Unidos (Sun ovens international, s.f.).

Su precio es de \$449.00 USD, agregando una protección de envío de \$11,23 USD, con envíos a través de UPS dentro de los EE. UU (Sun Ovens International, Inc, s.f.).

**Figura 3**

*Modelo de horno All American SUN OVEN*



*Nota.* Adaptado de All American SUN OVEN [Fotografía], por Sun Ovens International, Inc, 2023, sunoven (<https://www.sunoven.com/product/all-american-sun-oven/>).

Características generales y materialidad:

- Termómetro integrado para el control de la temperatura de cocción.
- Reflector mono-pieza plegable integrado.
- Rack contra-derrames.
- Mirilla integrada para la orientación óptima de la cámara frente al sol.
- Soporte extensible integrado para inclinar el horno.
- Portátil: 9,5 [kg] con un asa de transporte.
- Dimensiones 55 x 50 x 30 [cm].
- Reflectores: aluminio anodizado (inoxidable).
- Carcasa exterior: Acrilonitrilo Butadieno Estireno, en adelante ABS.
- Faceta: madera de álamo (secado en horno).

- Caja interior: aluminio anodizado.
- Puerta: vidrio templado bajo en hierro.
- Aislamiento interior: fibra de vidrio de calidad alimentaria.

(Evergreen, s.f.)

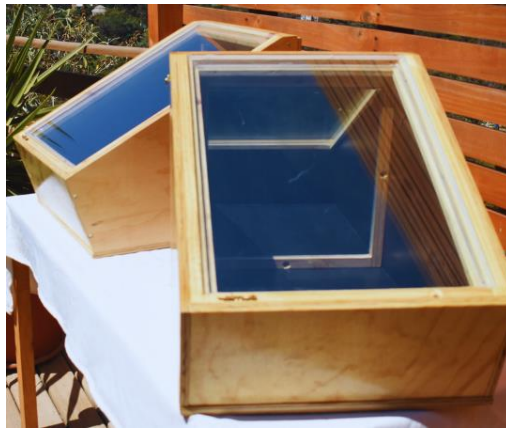
### 1.3.2 Horno Solar SOLMUE

Es una empresa chilena, situada en Olmué, la cual promueve el enfoque Low Tech, trabajando por la transición ecológica para que en un futuro los hogares emitan cero emisiones fabricando hornos solares sustentables (Linkedin, s.f.).

Su precio es de \$183.99 USD, sin contar el envío el cual solo es dentro de Chile (Payku, s.f.).

#### Figura 4

*Modelo SOLMUE*



*Nota. Adaptado de Horno Solar [Fotografía], por MUEBLERÍA SOLAR PEDRO SEGURA EIRL, s.f., payku(<https://app.payku.cl/botonpago/index?idboton=18310&verif=c02fac50>)*

Características generales y materialidad:

- Dimensiones 59 [cm] largo x 48 [cm] ancho x 48 [cm] alto.
- Llega a temperaturas de 90° a 130 °.
- Cubierta: Doble vidriado de 4mm que captura los rayos.
- Espejo Reflector: Unidades interna. Captura la luz solar para aumentar la capacidad de generar calor.
- Placa adsorbente: Cubierta de color negro que atrae la luz solar y la transforma en calor.
- Puerta trasera: Sellada térmicamente para conservar el calor.
- Zona de cocción: Espacio rectangular donde se produce el efecto invernadero. Sus dimensiones son 47 [cm] de largo, 39 [cm] de ancho y 40 [cm] de alto.

(Google Docs, s.f.)

### 1.3.3 Horno Solar SunOK Suntaste

Fabricado en Portugal. Su precio es de \$483.51 USD incluyendo impuestos (EnSol, s.f.).

Características generales y materialidad:

- Dimensiones externas 52x43x32[cm](cerrado) y 52x43x71[cm](abierto).
- Peso 9.5 [kg]
- Diseño compacto
- Asas que facilitan el transporte entre 1 a 2 personas.
- Placa inferior extraíble (permite una limpieza a fondo en caso de derrame)
- Bisagra de fricción permite un fácil ajuste del ángulo de la tapa reflectante
- Puerta trasera extraíble

(SunOk, s.f.)

**Figura 5**

*Características generales y materialidad SunOK Suntaste Compact*



*Nota. Adaptado de SunOK Suntaste Compact [Fotografía], por SunOk, 2023, suok.eu (<http://www.sunok.eu/home/products/suntaste>)*

#### **1.4 Materialidad de hornos solares**

En un horno solar tenemos, básicamente, **cuatro tipos de materiales**, los cuales tienen que ser resistentes a las altas temperaturas que llega a alcanzar en su interior hasta la humedad que emite los alimentos al evaporarse el agua (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A, 2007):

**Estructurales:** Garantizan la estabilidad estructural (cartón madera, plástico, cemento, etc.) (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A, 2007).

**Aislamiento:** Minimiza la pérdida térmica (Lana de vidrio, poliestireno expandido, papel de periódico) (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A, 2007).

**Transparentes:** Permite que se lleve a cabo el efecto invernadero dentro de la caja (Vidrio, plástico para altas temperaturas) (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A, 2007).

**Reflectantes:** Minimiza las pérdidas térmicas y concentra la radiación solar en el interior del horno (Papel aluminio) (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A, 2007).

Podemos destacar que el principal aislamiento térmico de la cocina solar se debe a los materiales de los cuales se compone. Evitando la pérdida del calor por las paredes y parte inferior (Muro et al., 2019).

#### **1.4.1 Corcho: Un excelente material**

El corcho es una materia prima extraída de la corteza del alcornoque (sin perjudicar el normal desarrollo de la especie y sin dañar el árbol), la cual es 100% reutilizable y reciclable, aparte de ser aprovechado en su mayoría. Este material puede volver a entrar al proceso de producción, por ejemplo, los tapones de corcho se pueden reciclar triturándolos y así lograr utilizarlos en otros productos, como zapatos, boyas de pesca y también en hornos solares (Realcork, 2022).

## **1.5 Empresas que se dedican al diseño y fabricación de hornos**

Información detalla de las empresas SunOk y Sun Ovens International, Inc.

### **1.5.1 SunOk**

Se fundo a fines de 2008 con el fin de brindar soluciones de energía descentralizadas, presentando por primera vez el horno solar Sun Cook en 2003. En SunOk brindan energía de manera eficiente, práctica y agradable, buscando soluciones y materiales que logren superarse con respecto a las expectativas de un mundo más exigente (SunOK solar cookers, s.f.).

Cuenta con redes de socios como, IPES, el Instituto Portugués de Energía Solar dirigido por el Prof. Collares Pereira, un destacado especialista en energía renovable y óptica avanzada (SunOK solar cookers, s.f.).

### **1.5.2 Sun Ovens International, Inc.**

Se fundó en 1986 por Tom Burns, incentivando a cocinar con energía más limpia y ecológica, fabricando hornos solares de calidad en Estados Unidos, siendo su producto estrella The All American Sun Oven (Sun Oven, s.f.).

## **1.6 Debilidades y/o problemas**

Los hornos solares tienden a tener carencias, las cuales limitan su uso, unas de las desventajas más relevantes, es el tiempo de cocción de la comida, ya que, comparado con las cocinas tradicionales, tienen una diferencia significativa en el tiempo de cocción. Otro factor que afecta a la temperatura es el clima, ya que se necesita de luz solar para el funcionamiento

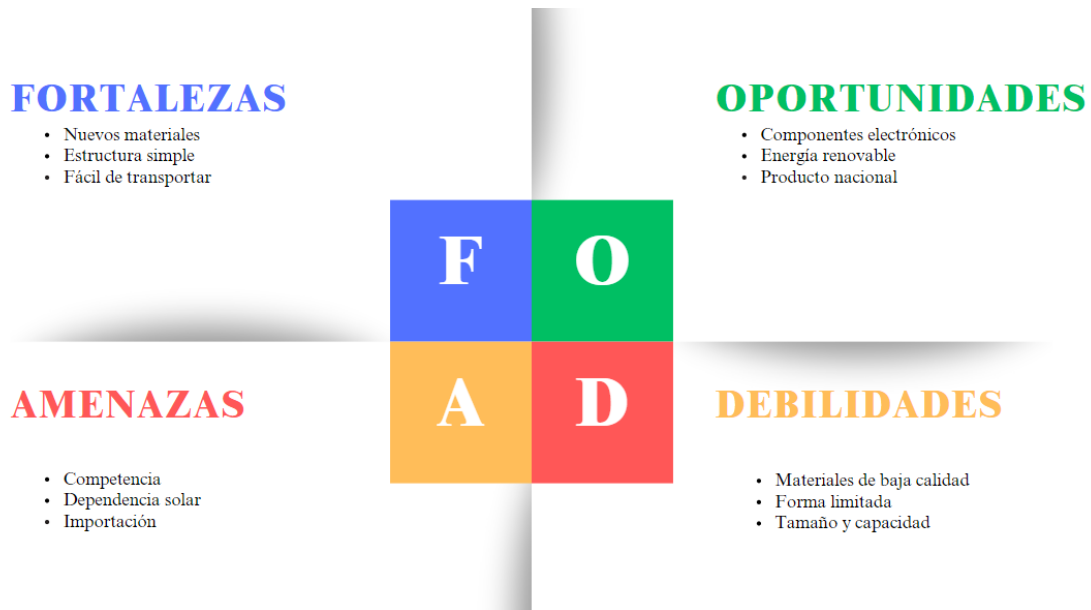
del horno, llegando a ser un proceso complicado en los meses de invierno y en días de lluvia, al no tener presencia de la energía solar (Orejuela y Villavicencio, 2018).

## 1.7 FODA

Ahora con toda la información presente en el informe podemos hacer el siguiente análisis FODA del horno solar tipo caja:

**Figura 6**

*Análisis FODA*



*Nota.* Elaboración propia

## FORTALEZAS

- Nuevos materiales: El uso de nuevos materiales amigables con el medio ambiente, como el ya mencionado corcho de alcornoque, permite la fabricación de hornos solares más ecológicos y eficientes.
- Estructura simple: Los hornos tipo caja, son portátiles, lo que permite poder transportarlos a diferentes ubicaciones. La simplicidad del diseño (forma de caja) lo hace fácilmente adaptable y modificable sin perder su funcionalidad.
- Fácil de transportar: La portabilidad y la capacidad de optimizar el diseño, enfocándose en la ergonomía del usuario, presenta ventajas al facilitar el transporte y la manipulación, como pueden ser la implementación de asas ergonómicas.

## DEBILIDADES

- Materiales de baja calidad: El uso de materiales de baja calidad en la fabricación de algunos hornos, como aislantes que contienen materiales no biodegradables o que requieran mucha energía para producir, puede generar residuos, lo que afecta a la durabilidad del producto.
- Forma limitada: La dificultad para alcanzar radiación directa del sol y la falta de estabilidad en terrenos irregulares, son limitaciones debidas al diseño.
- Tamaño y capacidad: El horno solar tipo caja transportable, suele tener limitaciones debido a su diseño grande, además de tener materiales pesados.

## OPORTUNIDADES

- Componentes electrónicos: La posibilidad de ocupar componentes electrónicos, abre la oportunidad para resaltar entre los otros modelos y destacarse en el mercado.
- Energía renovable: Al trabajar con energía solar, a diferencia de hornos comunes, no requiere de electricidad ni combustibles fósiles, lo que ayuda a preservar el medio ambiente y a reducir los costos de energía.
- Producto nacional: La fabricación local, disminuye las grandes distancias en el transporte, además de la huella de carbono, lo que puede ser un factor diferenciador en el mercado.

## AMENAZAS

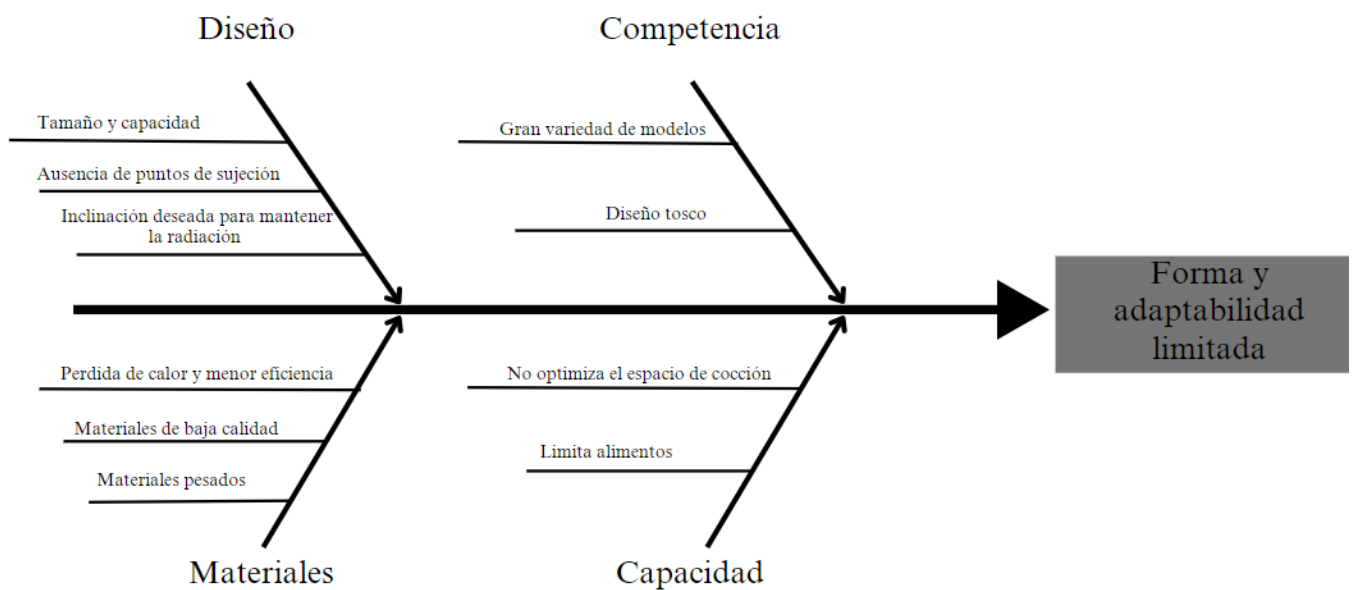
- Competencia: Se encuentra una gran variedad de modelos y formas en el mercado de las cocinas solares, por lo que puede afectar a la demanda del horno tipo caja.
- Dependencia solar: Al requerir de la luz solar para funcionar, limita su uso en condiciones climáticas adversas, afectando la eficiencia y el rendimiento del horno solar, lo que representa una debilidad en comparación a las cocinas comunes.
- Importación: Su valor inicial es bastante elevado, además el envío internacional puede ser una limitante al momento de comprar el producto.

## 1.8 Análisis Ishikawa

A continuación, se identifica la problemática principal “Forma y adaptabilidad limitada”, la cual aparece de la combinación de factores internos y externos, identificados anteriormente en el análisis FODA. En la parte interna, se presenta la limitación en el diseño y los materiales, mientras que la parte externa la competencia en el mercado, identificando las causas fundamentales de esta limitación.

**Figura 7**

*Diagrama Ishikawa en relación con el horno solar tipo caja*



*Nota. Elaboración propia*

## DISEÑO

- Tamaño y capacidad: Como podemos ver en los hornos solares tipo caja mencionados anteriormente, ponderan entre estos, 9 [kg] de peso, 55 [cm] de largo, 47 [cm] de ancho y 37 [cm] de alto, teniendo una forma no ergonómica al momento de tomar el horno y transportarlo.
- Ausencia de puntos de sujeción: Al no tener un punto de sujeción en el parte delantero y/o trasera, se limita la geometría cubica en terrenos irregulares, por lo que un sistema de sujeción como lo pueden ser patas puede brindar estabilidad.
- Inclinación: La presencia de solo un reflector, con un rango limitado, dificulta seguir el movimiento del sol, lo que limita la capacidad del horno para capturar la radiación solar directa a lo largo del día y según su ubicación.

## MATERIALES

- Perdida de calor y menor eficiencia: No hay una cifra exacta universal aplicable a la perdida de calor, ya que cada horno puede variar, dependiendo de diferentes factores como el aislamiento, el diseño del horno o la condición ambiental, por lo que no se puede cuantificar un valor exacto.
- Materiales de baja calidad: Al observar los diversos hornos solares tipo caja en el mercado, se puede evidenciar que la mayoría no considera materiales que sean respetuosos con el medio ambiente a la par de sostenibles, tomando en cuenta el fin de vida del producto.

- Materiales pesados: Los diversos materiales para la construcción de un horno solar (carcasa exterior e interior, reflectores, aislantes), contribuyen a su peso total, afectando su forma y la portabilidad esperada del horno, lo que dificulta el transporte y el manejo en entornos al aire libre.

## COMPETENCIA

- Gran variedad de modelos: Se encuentra una gran variedad de modelos y formas en el mercado de las cocinas solares, predominando diseños pequeños y cilíndricos, por lo que el horno solar tipo caja no siempre es la opción más llamativa.
- Diseño tosco: En comparación a otros modelos que presentan diseños más sofisticados y ergonómicos, la apariencia simple del horno solar tipo caja puede no resultar tan atractiva para el usuario.

## CAPACIDAD

- No optimiza el espacio de cocción: Debido a su diseño interior compacto, limita la preparación de alimentos que requieran recipientes de gran tamaño o de múltiples recipientes, dado que el espacio disponible no sea suficiente para acomodarlos adecuadamente.
- Limita alimentos: La estructura del horno solar tipo caja limita la preparación de ciertos alimentos, ya que solo permite el uso de recipientes, debido a que cocinar directamente sobre la placa absorbidora dificultaría la limpieza de los residuos de los alimentos dada la estructura del horno.

## 1.9 Diagrama de Pareto

Con los datos extraídos del Análisis Ishikawa, se realizará un diagrama de Pareto en donde se analizarán las causas identificadas y se enfocará en las más relevantes. Se ordenan de la más importante hasta la menos importante, basándose en el número de subcausas y su relevancia para el proyecto.

**Tabla 1**

*Datos extraídos del análisis Ishikawa*

| Nombre      | Cantidad | Frecuencia | F. Acumulada |
|-------------|----------|------------|--------------|
| Diseño      | 3        | 30%        | 30%          |
| Materiales  | 3        | 30%        | 60%          |
| Capacidad   | 2        | 20%        | 80%          |
| Competencia | 2        | 20%        | 100%         |
| Total       | 10       |            |              |

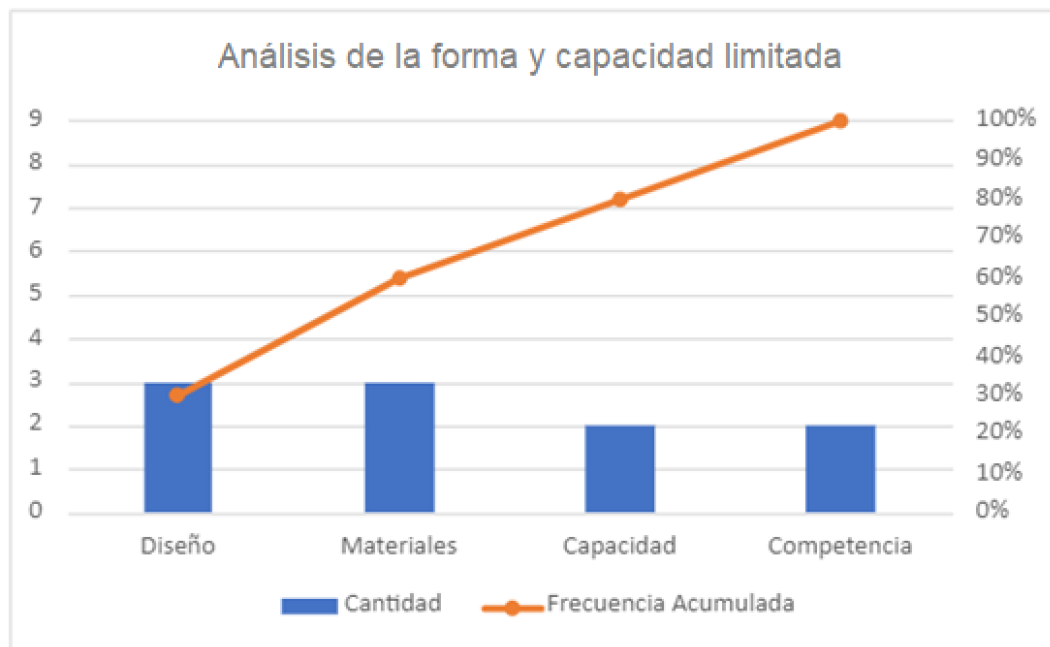
*Nota.* Elaboración propia

Cada una de las causas y subcausas identificadas, están directamente relacionadas con el problema a investigar. El diseño, puede limitar la capacidad para adaptarse a diferentes superficies y distintas condiciones climáticas. Los materiales contribuyen al peso, que afecta

a la forma y portabilidad dificultando su manejo, seguido por la capacidad que al no optimizar su espacio de cocción por su forma, limita la preparación de alimentos, terminando con la gran variedad de modelos y formas en el mercado de cocinas solares.

### Figura 8

Gráfico con datos correspondientes a la Tabla 1



*Nota.* Elaboración propia

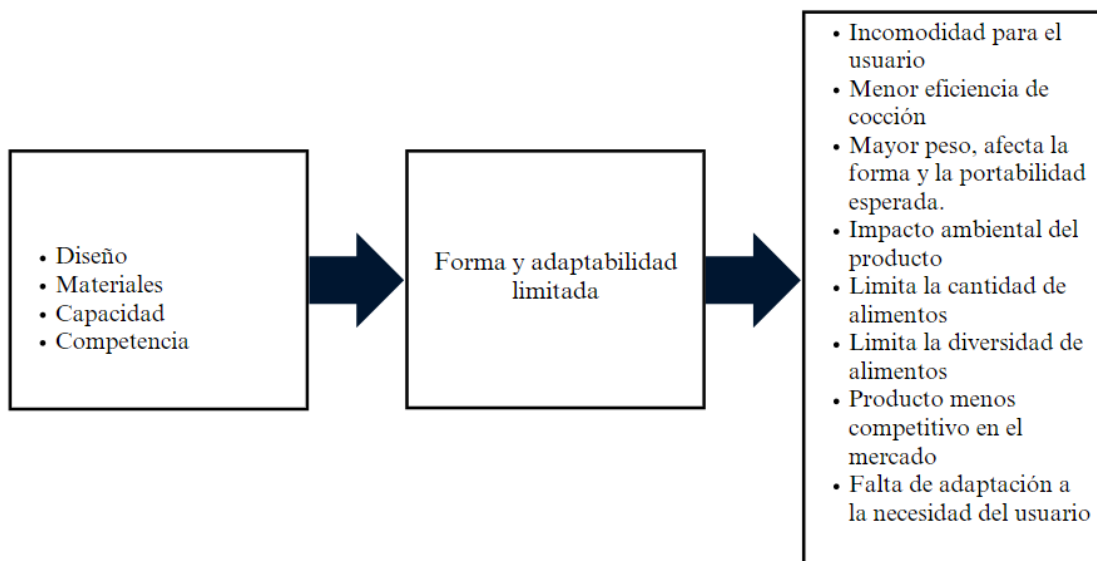
El Principio de Pareto establece que aproximadamente el 80% de los resultados provienen del 20% de las acciones (Laoyan, 2024). Ya con el cálculo realizado con los datos de la tabla 1, tomando en cuenta la columna de frecuencia acumulada, se puede concluir que el 80% de los problemas proviene de las tres primeras causas, ya que representan el 75% del total. Por lo que, las tres primeras causas (Diseño, Materiales y Capacidad) son las más críticas y donde se presentan los puntos de innovación del proyecto.

### 1.10 Causa – Problema – Consecuencia

Las causas indentificadas en el Análisis Ishikawa, surgieron como resultado de una revision detallada de los factores relacionados con la forma y adaptabilidad limitada del horno solar tipo caja. Estas causas reflejan desafios en las diferentes areas como el diseño del producto, la selección de materiales, la capacidad de producción y las condiciones del mercado, derivando a diversas consecuencias, las cuales se realizaron a partir de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del análisis FODA, en donde se evidenció la nesicidad de abordar estas áreas para mejorar el rendimiento y la efectividad del horno solar, determinando el impacto, además de los posibles puntos a abordar del proyecto en los siguientes capítulos.

#### Figura 9

##### *Causa- Problema- Consecuencia*



*Nota.* Elaboración propia

## 1.11 Objetivos

### **Objetivo general**

Diseñar física y virtualmente un prototipo de horno solar transportable

### **Objetivos específicos**

- Modelar virtualmente un prototipo de horno solar transportable incorporando una mejora o innovación
- Fabricar físicamente el prototipo de horno solar transportable diseñado
- Ejecutar pruebas que evalúen las condiciones de funcionamiento del prototipo del horno solar transportable diseñado
- Evaluar los costos del prototipo

Limitaciones:

No incluye un plan de comercialización en masa, ya que solo se realizará el prototipo.

Se realizará un prototipo con uso más limitado en comparación a un horno solar, ya que este tiene que ser compacto y lo más liviano al momento de transportar.

Alcance:

Una vez terminado mi trabajo de título, se entregará un documento escrito, además de un prototipo virtual y físico.

## 2 Capítulo 2: Evaluación de metodologías

Evaluación de diferentes metodologías de diseño, mejoras e innovación en hornos solares.

### 2.1 Metodologías para diseño en general

Para esta etapa se mencionarán diferentes tipos de metodologías de diseño, para posteriormente elegir qué metodología se adecua mejor al proyecto.

#### 2.1.1 Design Thinking

El Design Thinking o pensamiento de diseño es un método enfocado en resolver problemas, reduciendo riesgos y aumentando las posibilidades de éxito. Comienza centrándose en las necesidades humanas, para luego observar, crear prototipos y probarlos, buscando conectar conocimientos de diferentes disciplinas para llegar a una solución humanamente deseable, técnicamente viable y económicamente rentable (Ortega y Ceballos, 2015)

Esta no es lineal, ya que en cualquier momento se puede ir hacia atrás o hacia adelante si es oportuno, siendo en esencia cinco etapas las que la componen:

- Empatía: Profunda comprensión de las necesidades de los usuarios y de su entorno (*Lab UX USM*, s.f.).
- Definición: Se analiza las observaciones y se definen los problemas principales (*Lab UX USM*, s.f.).
- Ideación: En esta fase, las actividades favorecen el pensamiento y se eliminan los juicios de valor (*Lab UX USM*, s.f.).

- Prototipado: Construir prototipos hace las ideas palpables y ayuda a visualizar las posibles soluciones (*Lab UX USM*, s.f.).
- Testeo: Prueban los prototipos con los usuarios (*Lab UX USM*, s.f.).

### **2.1.2 Metodología de Ulrich y Eppinger**

Esta metodología presenta en una forma clara y detallada un conjunto de métodos de desarrollo de productos destinados a unir las funciones de mercadotecnia, diseño y manufactura de en un proyecto (Ulrich, Eppinger,2013), este consta de 6 fases:

- Planeación (*Lab UX USM*, s.f.)
- Desarrollo del concepto (*Lab UX USM*, s.f.)
- Diseño en el nivel sistema (*Lab UX USM*, s.f.)
- Diseño de detalle (*Lab UX USM*, s.f.)
- Pruebas y Refinamiento (*Lab UX USM*, s.f.)
- Inicio de producción (*Lab UX USM*, s.f.)

### **2.1.3 Metodología IHOBE**

El manual establece 7 etapas para guiar la implementación del ecodiseño, con el objetivo de desarrollar productos y servicios con un reducido impacto ambiental (Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., 2000).

- Preparación del proyecto.
- Aspectos ambientales.
- Ideas de mejora.
- Desarrollar conceptos.
- Producto en detalle.
- Plan de acción.
- Evaluación.

(Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., 2000).

## **2.2 Metodología para diseño de prototipos**

Se investigará con respecto a las metodologías de diseño de prototipos y cuál es la más adecuada para este proyecto.

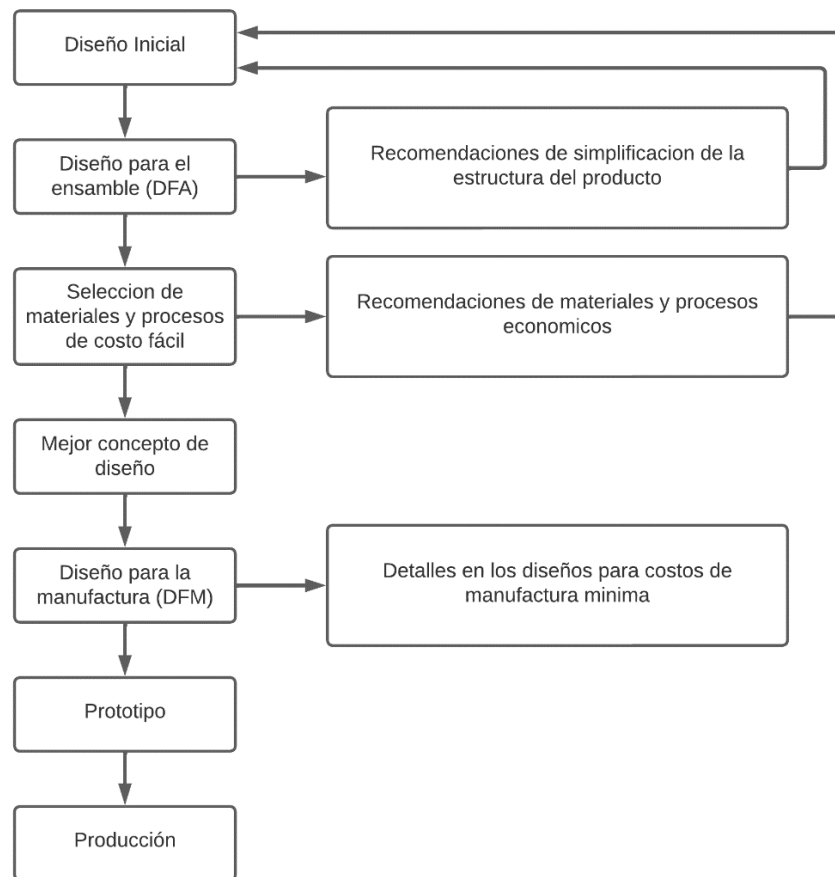
### **2.2.1 DFMA**

El diseño para manufactura y ensamble (DFMA) es una metodología que combina el diseño para el ensamble (DFA), con el diseño para la manufactura (DFM) para poder abordar problemas relacionados con la fabricación y ensamble de un producto en sus etapas iniciales del diseño. En aspectos generales, el DFA se enfoca en reducir los costos de mano de obra necesarios para fabricar un producto y el DFM se centra en optimizar las herramientas y

materiales utilizados en la producción a través de un análisis detallado de los componentes. Se busca la reducción de costos relacionados con el ensamblaje, piezas y los procesos de montaje, teniendo como objetivo general mejorar aspectos como el servicio, la confiabilidad y la calidad del producto final (Lewis, 2006).

## Figura 10

### Estudio DFMA



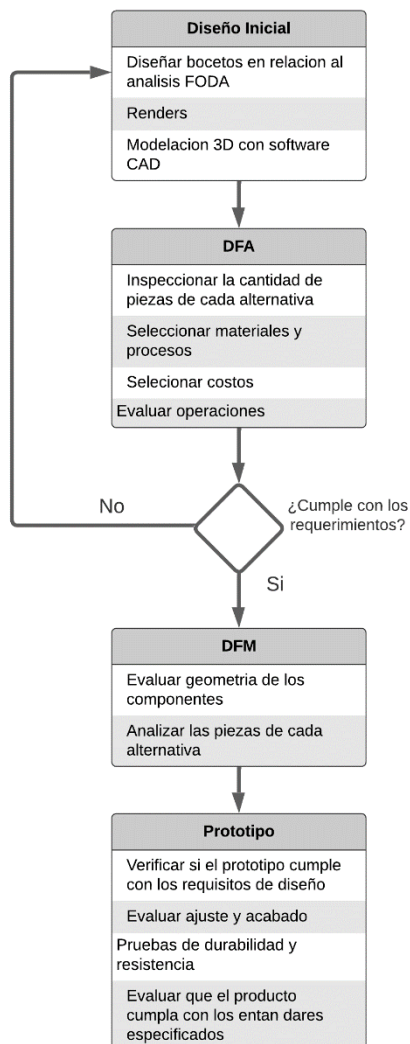
*Nota.* Adaptado de EVOLUCIÓN Y DESARROLLO ESTRATÉGICO ORGANIZACIONAL DEL DISEÑO PARA LA MANUFACTURA Y MONTAJE (DFMA): UNA REVISIÓN, por González, G., y Sánchez, E., 2021, Cuaderno Activa.

### 2.3 Metodología para diseño de prototipos de hornos

No existe una metodología dedicada específicamente al diseño de prototipos de hornos. En su lugar, se utilizará la metodología mencionada anteriormente y se adaptará para este proyecto.

**Figura 11**

*Adaptación de metodología DFMA al rediseño de un horno solar transportable*



Nota. Elaboración propia

## 2.4 Metodologías para evaluar diseños

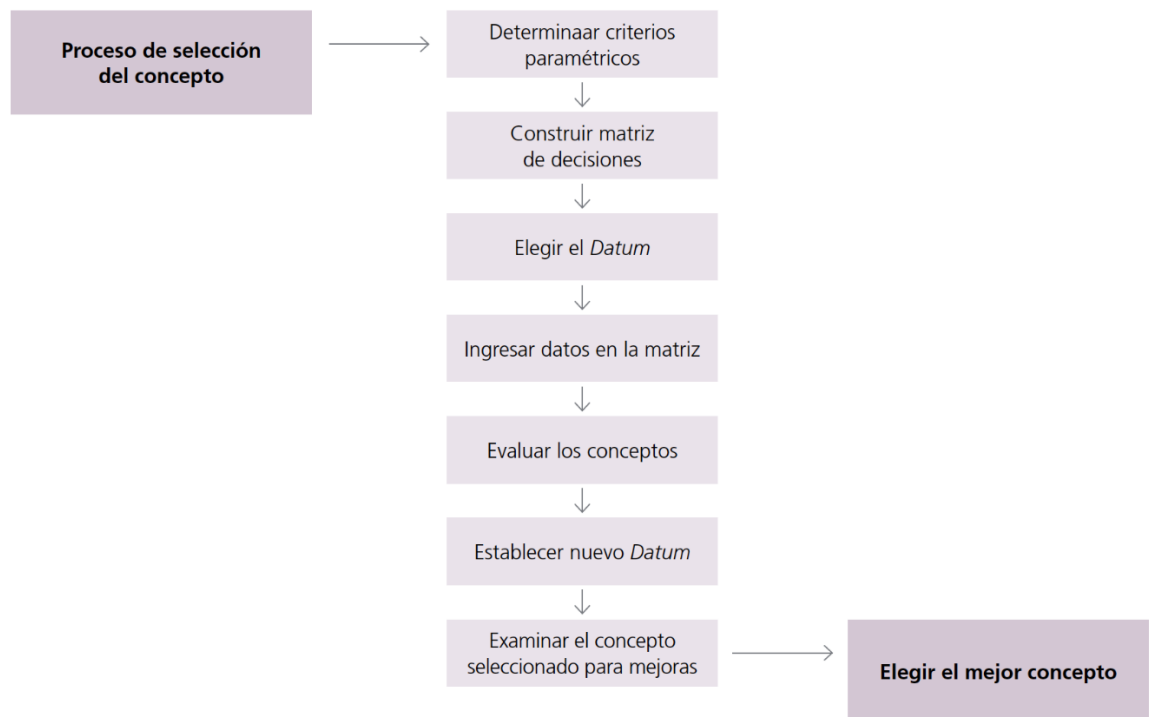
Al igual que en el punto anterior se analizarán metodologías para evaluar diseños y sus respectivas fases.

### 2.4.1 Método Datum

Este método se emplea para analizar y elegir alternativas de diseño generadas durante el proceso creativo (Aguayo y Soltero, 2003). Para llevar a cabo el proceso de evaluación utilizando el Método Datum se proponen una serie de pasos mediante un diagrama de flujo:

**Figura 12**

*Diagrama de flujo Datum*



*Nota.* Adaptado de Evaluando métodos de diseño con el modelo FAROUT (p. 104-140), por Barranco, C., Ramírez, R., y Morales, H., 2019, Economía Creativa, 12.

Pasos por seguir:

- Primer paso será la adecuada identificación de los criterios o características que deberá cumplir el nuevo producto de acuerdo con lo establecido en el brief.
- Segundo paso será elaborar la matriz de decisión donde se colocarán las alternativas o conceptos a evaluar.
- Tercer paso, se coloca en la matriz el datum o la referencia con la cual se comparará cada alternativa.
- Cuarto paso se realizará la asignación de un valor a partir de la siguiente escala:

“Mejor” (+), “igual” (=) o “peor” (-) en comparación con el datum. Para llevar a cabo la comparación según el método, se requiere construir una matriz que represente de forma visual las opciones de diseño. Cada opción debe exhibir un nivel de detalle similar para evitar discrepancias en características. A continuación, el equipo de diseño debe ubicar los criterios de evaluación previamente mencionados (las características a considerar) en la fila izquierda de la matriz. Luego, se asigna el calificativo “+” (mejor), “=” (igual) o “-” (peor) en las columnas correspondientes a las alternativas que se están comparando (Barranco et al., 2019).

### 2.4.2 Método de Objetivos Ponderados

La metodología de objetivos ponderados se vuelve útil cuando se requiere calcular el valor global de una propuesta en función de los objetivos de diseño, evaluar y comparar diferentes alternativas equiparando diversos criterios (Barranco et al., 2019).

Pasos:

- Se elabora una tabla donde las filas contienen los criterios de evaluación previamente basados en los objetivos de diseño y las columnas las propuestas de diseño.
- Se asignarán valores de pesos a cada criterio de acuerdo con el valor de su importancia, expresándose en percentiles para que al sumarlos de como resultado cien por ciento.
- Se evaluará cada alternativa, asignando un valor dentro de la escala de 1 al 4.
- Se evaluará cada criterio para cada alternativa a partir de la siguiente

formula: 
$$\frac{P(\text{Peso}) \times C(\text{Calificación})}{100}$$

- Se observarán los valores totales de la tabla de evaluación y se elige la alternativa con el valor más alto para el proceso de producción.

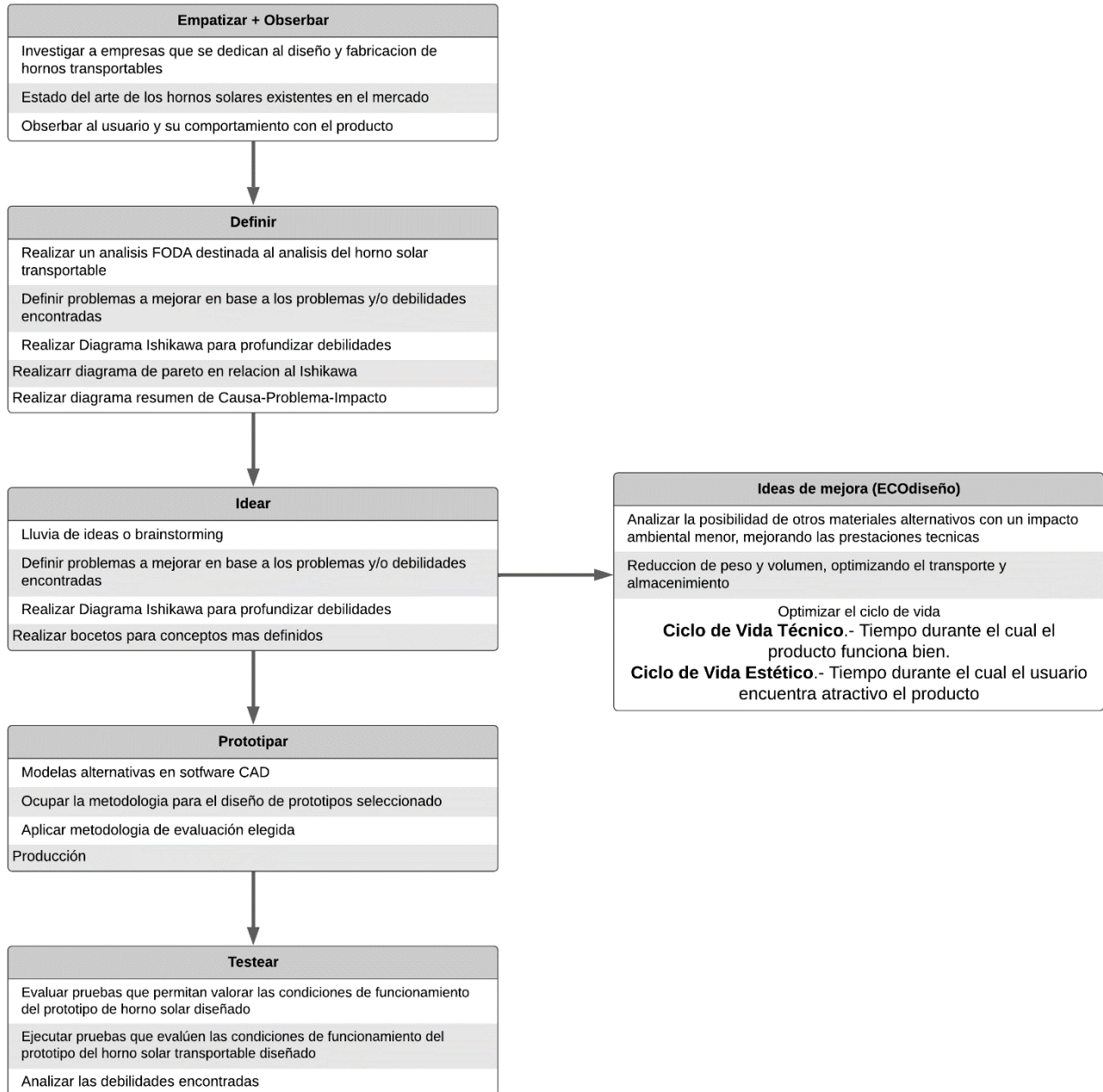
(Barranco et al., 2019)

## **2.5 Evaluación y/o adecuación de metodologías de diseño**

Luego de realizar las adaptaciones necesarias a las metodologías de diseño según las necesidades del proyecto, se procedió a elegir las más adecuadas, se utilizaron dos metodologías que se complementan entre sí. Por una parte, el Design Thinking, ya que aporta claridad en cada aspecto que se debe abordar, siendo el más indicado para usarlo como base o estructura de la metodología y por otra parte se ocupará la metodología IHOBÉ, ya que esta última solo incluye aspectos ambientales sin abordar actividades del diseño tradicional, 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 aprovechar algún material que represente un desperdicio a nivel local.

**Figura 13**

*Adaptación de metodología Design Thinking y EHOBE al proyecto de rediseño de un horno solar transportable*



*Nota.* Elaboración propia

## **2.6 Propuesta de metodología para el diseño de un prototipo de horno solar transportable**

Como ya se mencionó se utilizara el diseño para manufactura y ensamble (DFMA), la cual combina el diseño para el ensamble (DFA), con el diseño para la manufactura (DFM) para poder abordar problemas relacionados con la fabricación y ensamble de un producto en sus etapas iniciales del diseño(Lewis, 2006), ya que este proyecto tiene como objetivo en las parte del prototipado el reducir los gastos asociados con la materia prima y las operaciones necesarias, además de optimizar el proceso de fabricación de piezas.

## **2.7 Definición y caracterización de mejoras e innovaciones**

En el primer capítulo, se realizó un análisis detallado de las debilidades identificadas a través del análisis FODA presente en la Figura 6. Este análisis ayudó a identificar los problemas generales que requerirán mejoras, los cuales se detallarán a continuación:

- Al trabajar sólo con la energía solar a diferencia de hornos comunes no requiere ni de electricidad ni combustibles fósiles, lo que ayuda al medio ambiente y a reducir los costos de energía.
- Los hornos tipo caja son ligeros y portátiles, lo que permite poder transportarlos a diferentes ubicaciones al aire libre en general. Además, al tener una forma sencilla (Caja), se puede modificar sin alterar el interior del producto.
- Al ser un diseño compacto se pueden considerar características enfocadas a la ergonomía del usuario, como asas ergonómicas, desmontajes más rápidos optimizando el diseño para que ocupe menor espacio durante el transporte.

- Al ver todos los hornos actuales en el mercado y ser un producto que trabaja con energía renovable, da pie a utilizar nuevos materiales, que sean amigables con el medio ambiente.

## **2.8 Mejoras/innovación en el diseño de prototipos de hornos solares transportables**

Luego de analizar el diagrama de Ishikawa (Figura 7), se logró obtener las principales causas para una posible innovación (Diseño, Materiales, Capacidad, Competencia). Al emplear el diagrama Causa-Problema-Impacto (Figura 9), se llegó a unas conclusiones específicas, con relación a la cual se implementaron mejoras.

### 1. Diseño:

- Realizar un estudio sobre el usuario, la forma ergonómica del horno y su usabilidad para diseñar una forma más práctica y funcional, agregando un sistema de orientación el cual pueda ayudar al usuario a alinear los reflectores con el sol.
- Integrar un sistema de soportes, los cuales se puedan ajustar a la base del horno solar tipo caja. Este sistema enfocándose en patas entendibles o soportes ajustables que permitan nivelar y estabilizar nuestro producto en terrenos irregulares, llegando a adaptarse a diferentes tipos de suelos, además de ser fáciles de ajustar, favoreciendo la comodidad del usuario.

### 2. Materiales

- Utilizar materiales sostenibles o reciclados en respuesta a la necesidad de aprovechar algún material que represente un desperdicio o pueda ayudar al

medio ambiente, en este caso el mencionado corcho del alcornoque para el aislamiento.

- Utilizar materiales ligeros que permitan una forma más adaptable.

### 3. Capacidad

- Rediseñar el interior para poder aprovechar mejor el espacio de las diferentes fuentes u ollas que se utilizarán para el momento de cocinar.
- La posibilidad de incorporar compartimientos adicionales para poder acomodar diferentes tipos de fuentes u ollas.

### 4. Competencia

- Realizar un diseño atractivo, pero manteniendo un diseño clásico creando una relación producto- usuario, logrando ser más atrayente que otros tipos de modelo.

## 2.9 Evaluación de una mejora y/o innovaciones para ser incorporadas en el diseño del prototipo de horno solar transportable

Después de presentar las posibles mejoras/innovaciones, se procederá a desarrollar una tabla realizada en base al Método de Objetivos Ponderados que enlistará los beneficios asociados a cada propuesta. Cada opción será evaluada y se le asignará puntos a favor de cada ventaja. Al concluir, la alternativa con la puntuación mayor será la elegida para su ejecución.

**Tabla 2**

*Comparación de criterios según cada propuesta*

| Criterios    | Peso | Calificación | Evaluación Ponderada |
|--------------|------|--------------|----------------------|
| Diseño       | 35%  | 4            | 1,4                  |
| Materiales   | 35%  | 4            | 1,4                  |
| Capacidad    | 20%  | 3            | 0,6                  |
| Competencias | 10%  | 2            | 0,002                |

*Nota.* Elaboración propia

Ya con las mejoras puntuadas, se eligieron las alternativas con el valor más alto, en este caso la parte del diseño y la materialidad del horno, teniendo las ponderaciones más altas.

### **2.10 Propuesta de valor para una mejora y/o innovaciones para ser incorporada en el diseño del prototipo de horno solar transportable**

Luego de analizar la tabla 2, se ha concluido que la mejora seleccionada para abordar la problemática de este proyecto implica integrar un sistema de soportes, los cuales se puedan ajustar a la base del horno solar tipo caja permitiendo nivelar y estabilizar nuestro producto en terrenos irregulares, realizando un estudio sobre el usuario, la forma ergonómica del horno y su usabilidad. Se utilizarán materiales sostenibles/reciclados y ligeros que permitan una forma más adaptable, en respuesta a la necesidad de aprovechar algún material que represente un desperdicio o pueda ayudar al medio ambiente, en este caso el mencionado corcho del alcornoque para el aislamiento.

### 3 Capítulo 3: Diseño y fabricación

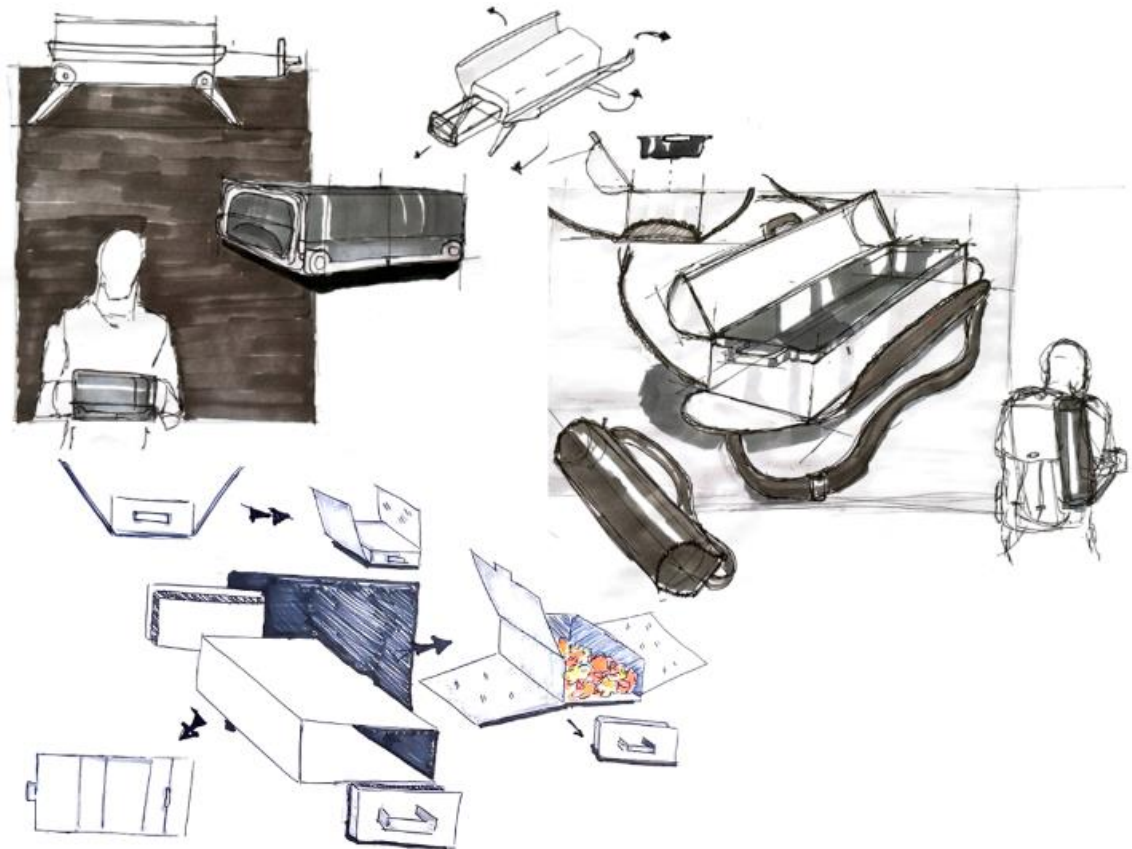
Diseño y fabricación del prototipo del horno solar transportable con la innovación incorporada.

#### 3.1 Bocetos e ideas preliminares

Se realizó una lluvia de ideas, abordando la problemática del proyecto, realizando diferente sketch, con el objetivo de acercarse a las mejoras ya planteadas en el capítulo 2.

**Figura 14**

*Bocetos preliminares*



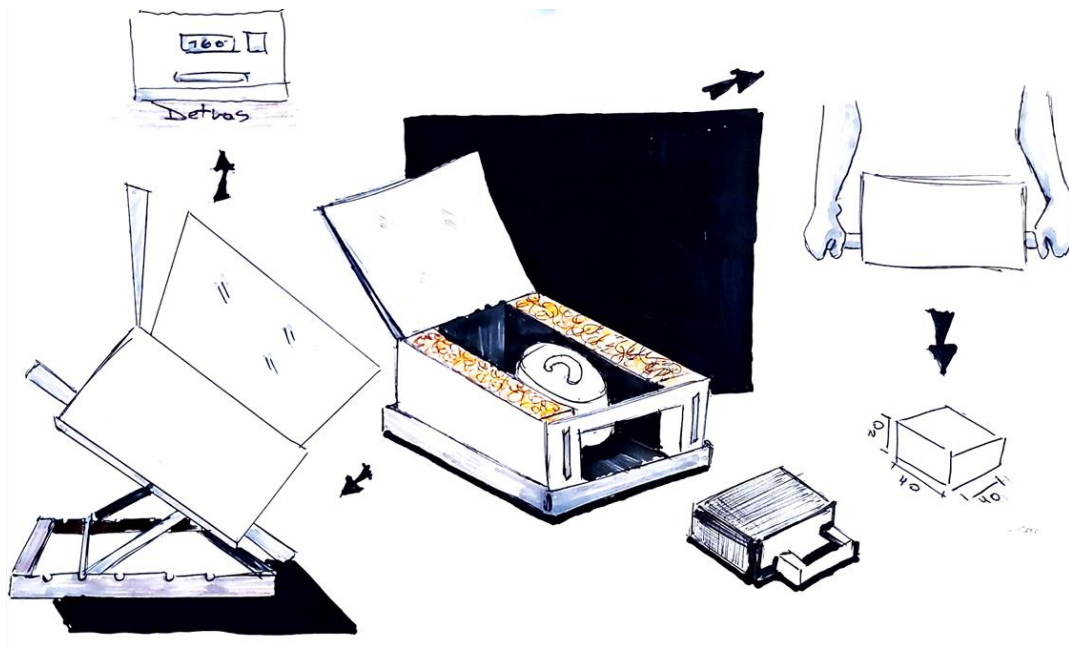
*Nota.* Elaboración propia

### 3.2 Diseño prototipo virtual

Luego de haber realizado diferentes propuestas, nos quedamos con las alternativas que mejor se integran a las problemáticas del proyecto.

**Figura 15**

*Propuesta final*



Nota. Elaboración propia

### 3.2.1 Render

**Figura 16**

*Renders del funcionamiento del horno*



Nota. Elaboración propia hecha en software Fusion 360

### 3.3 Diseño prototipo físico

**Figura 17**

*Prototipo terminado*



Características generales:

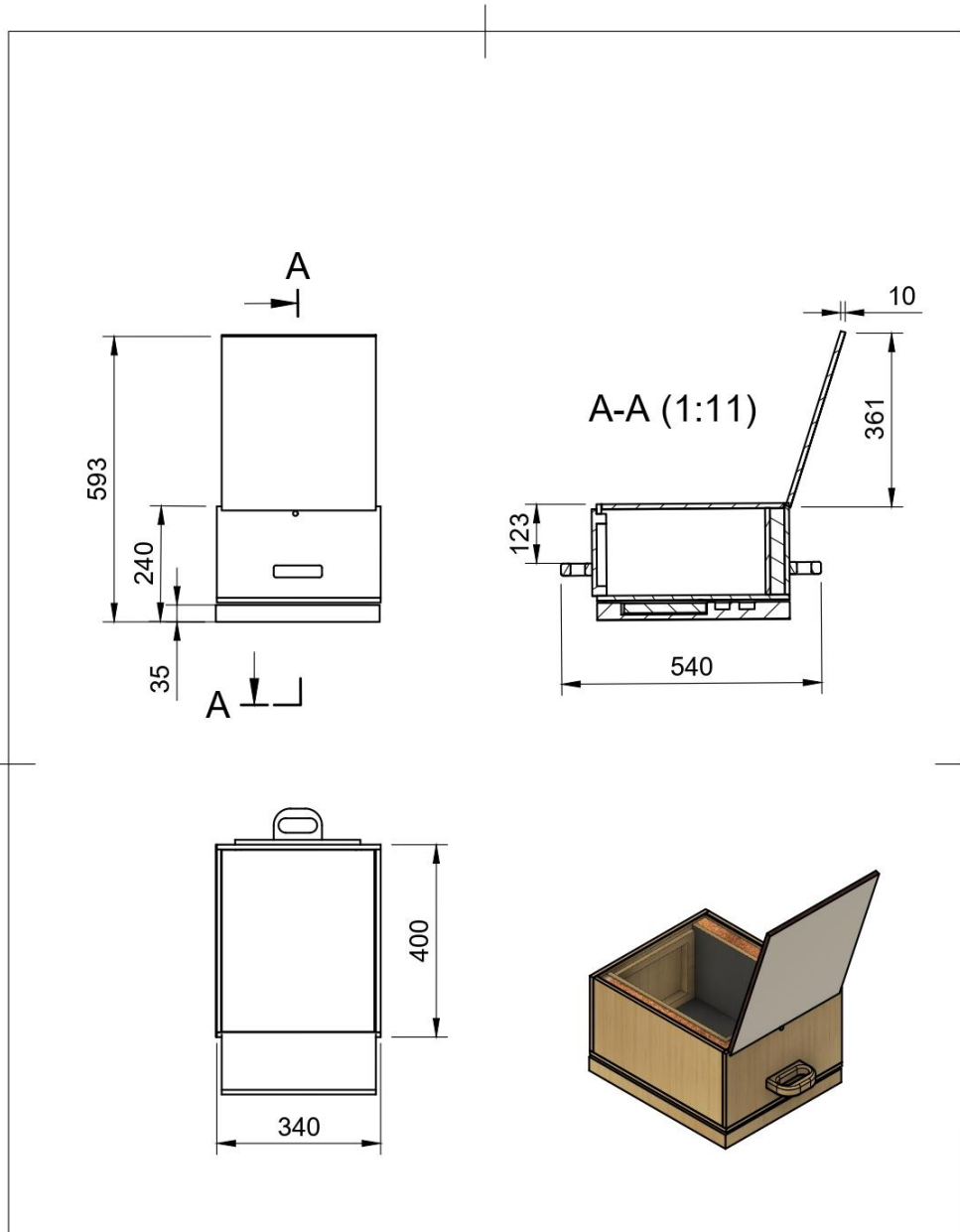
- 48 [cm] de largo x 34 [cm] de ancho x 24 [cm] de alto
- Peso 6.25 [kg]


**Figura 18**

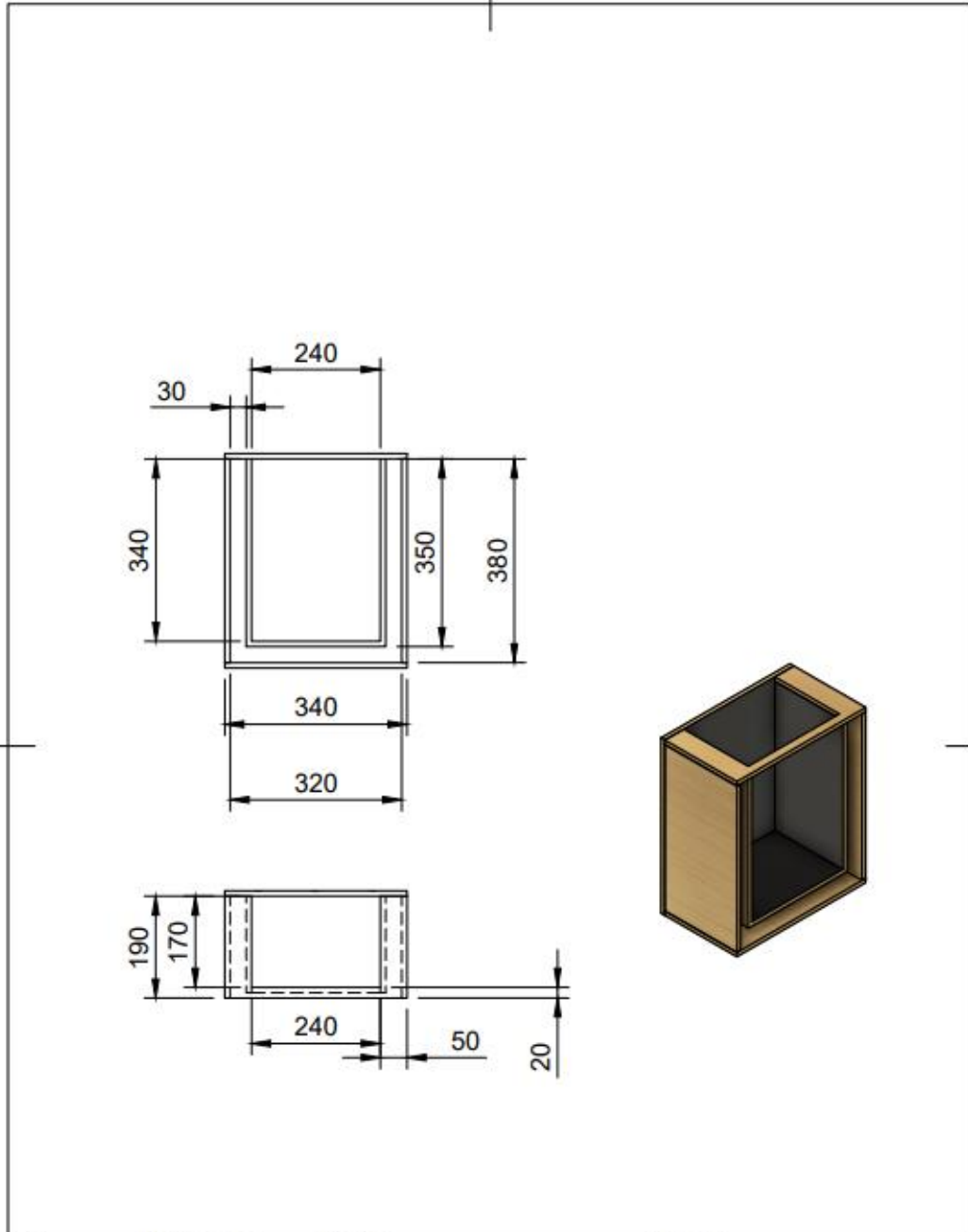
*Prototipo por dentro, sin y con placa absorbedor deslizadora*



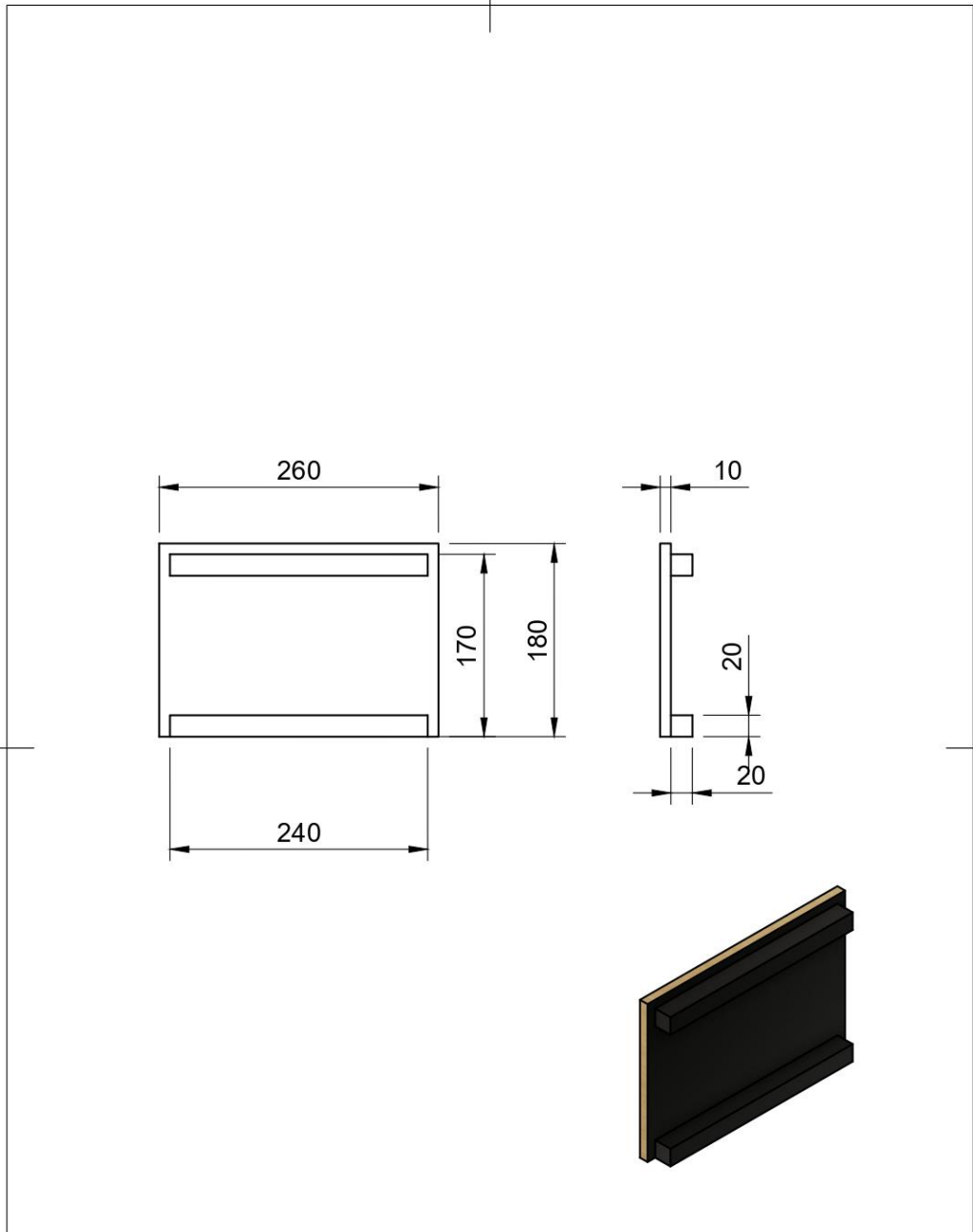
3.4 Planos de fabricación y montaje




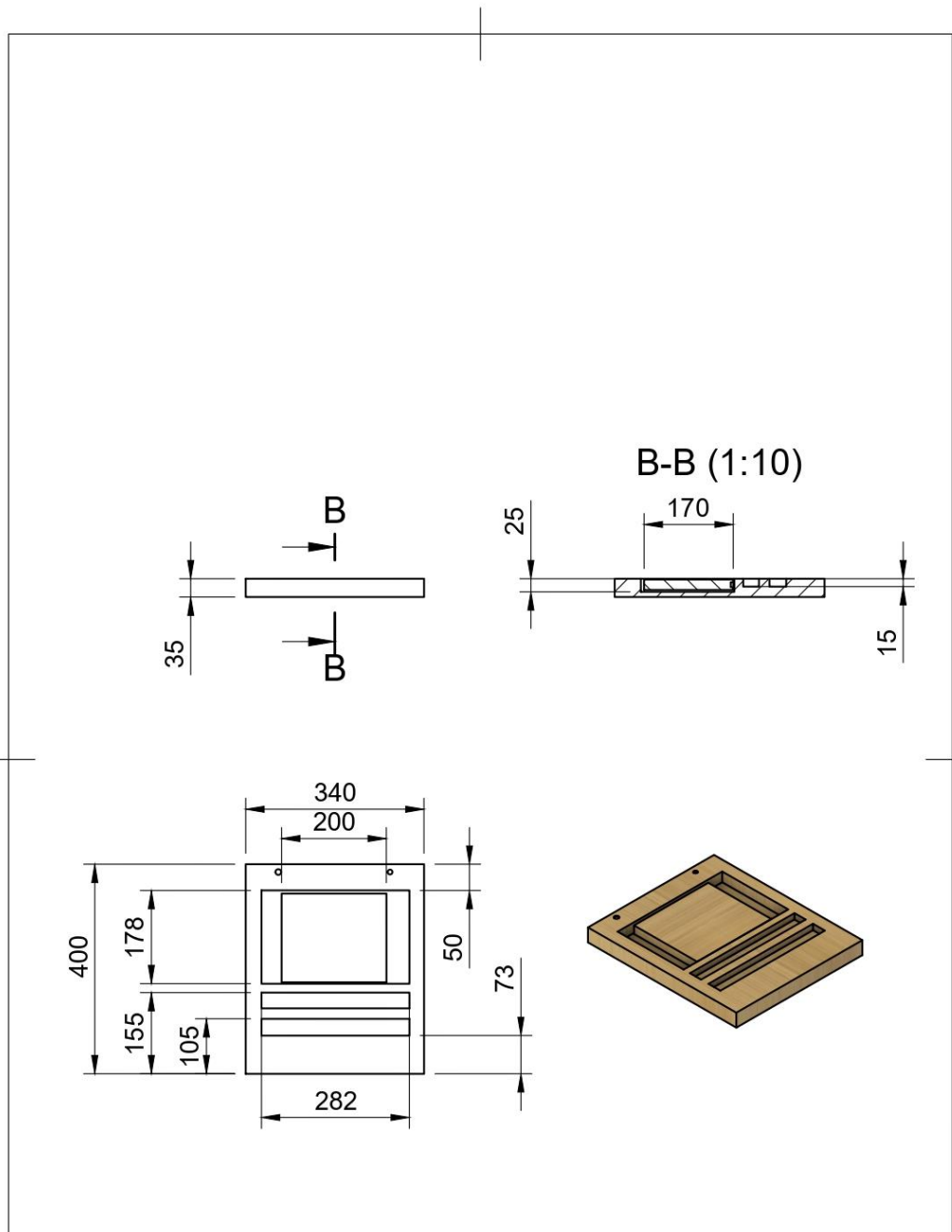
|   |                     |  |                 |                     |
|---|---------------------|--|-----------------|---------------------|
| Dept.   | Technical reference | Created by<br><b>Juan Cabrera</b> 14/11/2023 | Approved by     |                     |
|  |                     | Document type                                | Document status |                     |
|   |                     | Title<br><b>Horno solar tipo caja</b>        | DWG No.         |                     |
|   |                     | Rev.   | Date of issue   | Sheet<br><b>1/6</b> |



|   |                     |  |                 |                     |
|---|---------------------|--|-----------------|---------------------|
| Dept.   | Technical reference | Created by<br><b>Juan Cabrera 14/11/2023</b>       | Approved by     |                     |
|  |                     | Document type                                      | Document status |                     |
|   |                     | Title<br><b>Carcasa<br/>Lamina MDF 10mm grosor</b> | DWG No.         |                     |
|   |                     | Rev.   | Date of issue   | Sheet<br><b>2/6</b> |



|   |                     |  |                 |                     |
|---|---------------------|--|-----------------|---------------------|
| Dept.   | Technical reference | Created by<br><b>Juan Cabrera</b> 14/11/2023 | Approved by     |                     |
|  |                     | Document type                                | Document status |                     |
|   |                     | Title<br><b>Puerta</b>                       | DWG No.         |                     |
|   |                     | Rev.   | Date of issue   | Sheet<br><b>3/6</b> |



|       |                                       |  |                     |
|-------|---------------------------------------|--|---------------------|
| Dept. | Technical reference                   | Created by<br><b>Juan Cabrera</b> 14/11/2023 | Approved by         |
|       | Document type                         | Document status                              |                     |
|       | Title<br><b>Base para inclinación</b> | DWG No.                                      |                     |
|       | Rev.                                  | Date of issue                                | Sheet<br><b>4/6</b> |

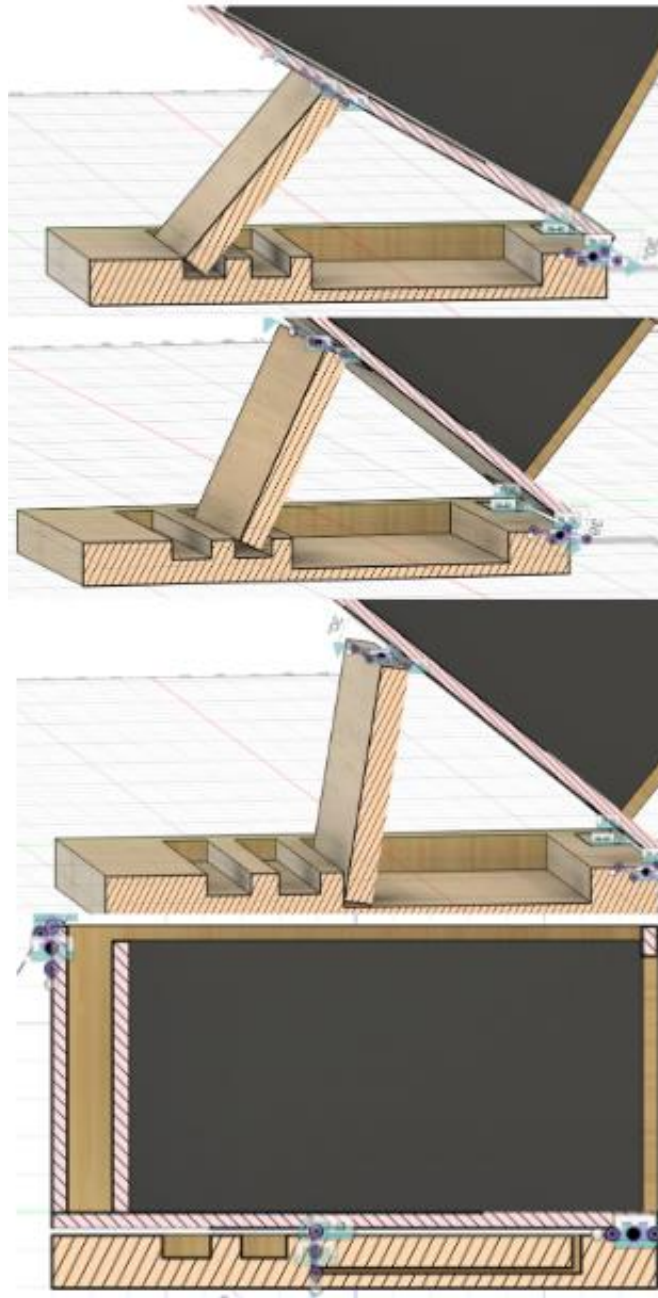
### **3.5 Fotografías del funcionamiento virtual y físico**

Al introducir un mecanismo, en cual puede seguir el sol por medio de diferentes ángulos ( $30^\circ$ ,  $40^\circ$  y  $50^\circ$ ), permite que el horno pueda maximizar la cantidad de radiación solar capturada, solucionando la limitada capacidad del horno tipo caja común.

### 3.5.1 Funcionamiento virtual

**Figura 19**

*Diferentes ángulos*



*Nota.* Elaboración propia hecha en software Fusion 360

### 3.5.2 Funcionamiento físico

**Figura 20**

*Diferentes ángulos*



### 3.6 Materiales

- Placa Trupan – MDF (Liso) 2440 x 1520 x 3 [mm].
- Placa Master mueblería – Pino Radiata (Liso) 2440 x 1220 x 9 [mm].
- Pino dimensionado verde 1 x 2 [mm].
- 2 manillas ABS blanco brillo 96 [mm].
- Tapones de corcho de vino 140 unidades.
- Papel de aluminio o papel espejo adhesivo.
- 17 tornillos para madera.
- Pintura Spray uso general negra.
- Acrílico Dimensionado 350 x 240 x 3 [mm].
- 5 bisagras L22 1” Bronceado.
- Adhesivo multiuso topex.
- Bandeja, utilizada como placa absorbedora.

#### 3.6.1 Corcho como aislante

Como aislamiento comúnmente se ocupa; lana de vidrio, poliestireno expandido, papel de periódico (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A, 2007).

En respuesta a la necesidad de aprovechar algún material que represente un desperdicio o pueda ayudar al medio ambiente, se seleccionó en este caso el mencionado corcho de las botellas de vino.

Se trata de una materia prima 100% natural, 100% reutilizable y 100% reciclable, extraída de los alcornoques sin perjudicar el normal desarrollo de la especie y sin dañar el árbol. El

corcho extraído está 100% aprovechado. Una vez transformado, por ejemplo, en tapones, el corcho también puede volver a entrar en el proceso de producción. Los tapones de corcho se pueden reciclar triturándolos (Realcork, 2022).

Según Realcork (2022) dentro de sus propiedades:

- Sobresaliente aislante térmico (absorber el calor y lo retiene durante un largo período de tiempo).
- Liviano (50% de su volumen es aire).
- Impermeable a líquidos y gases.
- Elástico y comprimible (se adapta a la presión y la temperatura).
- Combustión lenta (retardante natural del fuego y no emite gases tóxicos durante la combustión).
- Antiestático y antialérgico (no absorbe polvo y evita la aparición de parásitos y bacterias)

### **3.6.2 Montaje:**

La carcasa principal se formó cortando la placa de MDF en siete caras con una sierra circular y uniéndolas con tornillos para madera, además la puerta de la carcasa incluyó una manilla de ABS fijada con tornillos. El contenedor interior, hecho con Pino Radiata fue cortada en seis caras, uniéndolo con adhesivo y pintado con spray negro. El reflector se cubrió con papel aluminio y se rayó corcho entre la carcasa exterior y el contenedor interior para hacer el aislante. El acrílico se cortó con maquinaria láser y se insertó en la parte superior de la carcasa. La base inclinada fue hecha cortando el pino dimensionado verde en seis partes con sierra circular, para finalmente unirlo con la carcasa y el reflector mediante bisagras.

## 4 Capítulo 4: Evaluación del prototipo de horno solar transportable

Para la evaluación del prototipo se realizarán dos tipos de pruebas.

### 4.1 Primera prueba

Como primer estudio se evaluará el rendimiento térmico del horno solar tipo caja, involucrando la medición de temperatura de la placa absorbente, la temperatura del agua a lo largo de un periodo de exposición y la temperatura ambiente, considerando para todo el experimento 1 kg de agua como carga, tomando en cuenta el Protocolo de Ensayos de la Red RICSA (Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos), en donde para la medición de temperatura máxima, fueron utilizados dos tipos de termómetro; termómetro digital para medir la masas del agua y análogo el interior del horno como se observa en la Figura 21. Los parámetros fueron registrados en intervalos de 30 minutos, con una reorientación del horno cada 15 minutos, logrando alcanzar su temperatura máxima (Esteves, 2003).

### Figura 21

*Medición temperatura*



**Tabla 3***Registro de temperatura durante el periodo de ensayo 1*

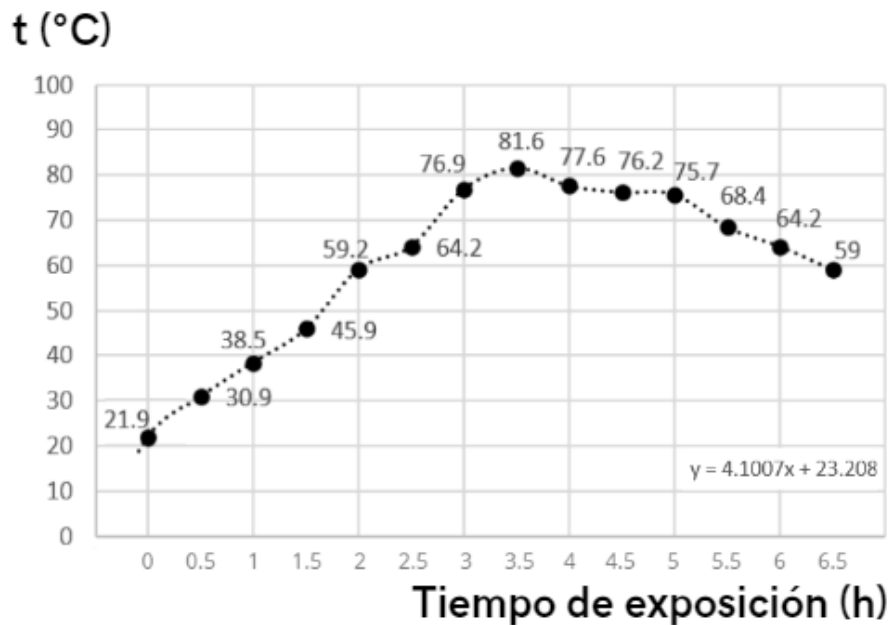
| Temperatura del agua (C°) | Temperatura placa absorbente (C°) | Temperatura ambiente (C°) | Tiempo de exposición (Horas) | Hora  |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------|
| 21,9                      | 0                                 | 26                        | 0                            | 01:00 |
| 30,9                      | 62                                | 26                        | 0,5                          | 01:30 |
| 38,5                      | 76                                | 27                        | 1                            | 02:00 |
| 45,9                      | 81                                | 27                        | 1,5                          | 02:30 |
| 59,2                      | 89                                | 27                        | 2                            | 03:00 |
| 64,2                      | 95                                | 27                        | 2,5                          | 03:30 |
| 76,9                      | 103                               | 27                        | 3                            | 04:00 |
| 81,6                      | 110                               | 28                        | 3,5                          | 04:30 |
| 77,6                      | 96                                | 27                        | 4                            | 05:00 |
| 76,2                      | 88                                | 27                        | 4,5                          | 05:30 |
| 75,7                      | 79                                | 26                        | 5                            | 06:00 |
| 68,4                      | 67                                | 26                        | 5,5                          | 06:30 |
| 64,2                      | 70                                | 25                        | 6                            | 07:00 |
| 59                        | 55                                | 24                        | 6,5                          | 07:30 |

Nota. Elaboración propia

El estudio se realizó el 22 de enero del 2024 desde las 1:00 PM hasta las 7:30 p.m., en la Región de Valparaíso, Comuna de Quillota, ubicada específicamente en las coordenadas 32°52'45"S 71°15'14"W, elevación 130.74 m sobre el nivel del mar y recalcar que, para las 7 p.m., el horno solar se inclinó para aprovechar la poca altura del sol logrando aumentar 3 grados en la placa absorbente.

## Figura 22

*Comportamiento del agua al interior del horno solar*



Nota.Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos en la tabla 3, podemos obtener el comportamiento de la temperatura al interior de nuestro horno. Podemos observar que partir de las 3 horas de exposición al sol se obtienen las temperaturas más elevadas, con una caída relativamente leve a partir de las cinco horas y media, teniendo que la tarde entre 3:30 y 6:00 p.m. es la mejor hora para cocinar con nuestro horno.

## 4.2 Segunda prueba

Para el segundo estudio, se evaluará el tiempo necesario para cocinar ciertos alimentos, considerando la temperatura interior mínima segura para su correcta cocción. Este análisis tiene como premisa basarse en los resultados que nos entregó el primer estudio y cocinar en un período óptimo para la preparación de la comida entre las 3:00 y 6:00 p.m.

**Tabla 4**

*Tabla de temperatura interior mínima segura para cocinar*

| Alimentos                          | Tipo   | Temperatura interna (°C)                        |
|------------------------------------|--|---|
| Pollo, pavo y otras aves de corral | Todo: Ave entera, pechuga y relleno dentro del ave de corral | 74 (°C)   |
| Huevos                             | Huevo crudo  | Cocinar hasta que la yema y la clara este firme |
| Jamón                              | Jamón precocido  | 60 (°C)   |

*Nota.* Adaptado de (Food Safety and Inspection Service (FSIS), 2024)

El estudio se realizó el 23 de enero de 2024 a las 3:00 p.m., hasta las 4:45 p.m. Toda la prueba se realizó con una temperatura ambiente de 25 (°C), en la Región de Valparaíso, Comuna de Quillota, ubicada específicamente en las coordenadas 32°52'45"S 71°15'14"W, elevación 130.74 m sobre el nivel del mar.

#### 4.2.1 Comida a preparar

La comida que se consideró para este experimento fue  $\frac{1}{4}$  de pechuga de pollo condimentada y pimentón relleno con jamón, queso y huevo.

#### Figura 23

*Comida con su respectiva temperatura inicial*



## 4.2.2 Seguimiento segunda prueba

### 4.2.2.1 Primero

En mi primer lugar solo cocinamos la presa de pollo, ya que es la que se va a tardar más tiempo, la prueba comienza a las 3:00 p.m. y la revisaremos cada 15 minutos.

### Figura 24

*Prototipo funcional: precalentar el horno*



#### 4.2.2.2 Segundo

Luego de 50 minutos, la pechuga ya cumple con la temperatura interior mínima segura para su correcta cocción, llegando la placa a los 100 °C, pero la dejamos 15 minutos más para que se genere una costra con el condimento.

#### **Figura 25**

*Prototipo funcional: correcta cocción*



#### 4.2.2.3 Tercero

Empezamos a cocinar el pimentón a las 3:50 p.m. Para las 4:20 p.m., el horno ya generaba su propia sombra en su interior, por lo que se inclinó a un ángulo de 30°, logrando pasar de 88 °C a 91 °C, en un rango de 10 minutos.

#### **Figura 26**

*Prototipo funcional: Inclinación*



#### 4.2.2.4 Cuarto

Luego de 55 minutos que se introdujo el pimentón en el horno y con 86 °C de la placa absorbente, retiramos el pimentón para emplatar.

### Figura 27

*Prototipo funcional: Cuarto paso*



#### 4.2.2.5 Quinto

Finalmente se realiza un tiempo de reposo de 3 minutos. Se emplata luego de una hora cuarenta y cinco minutos. Hay que recalcar, que el huevo se tardó más tiempo en cocinarse, ya que la clara y la yema tenían que quedar firmes.

**Figura 28**

*Fotografía plato terminado*



Video Explicativo del funcionamiento del prototipo: [Enlace a Youtube](#)

**Tabla 5***Registro de temperatura durante el periodo de ensayo 2*

| Tiempo de exposición (Hora) | Temperatura interior horno (°C) |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 03:00                       | 0                               |
| 03:15                       | 89                              |
| 03:30                       | 93                              |
| 03:45                       | 99                              |
| 04:00                       | 107                             |
| 04:15                       | 88                              |
| 04:30                       | 91                              |
| 04:45                       | 86                              |

---

Nota. Elaboración propia

### 4.3 Conclusiones

A partir de la investigación y análisis realizados en este proyecto, se han explorado los diseños de hornos solares disponibles en el mercado y su funcionamiento, además de metodologías enfocadas a la mejora e innovación, ofreciendo una base sólida para comprender y proporcionar una visión profunda sobre el horno solar transportable. Desde el Análisis FODA hasta el análisis detallado de Ishikawa, seguido por el Diagrama de Pareto y el Método de Causa-Problema-Consecuencia, se identificaron puntos clave para la mejora del producto y se establecieron las prioridades que se abordaron en el proyecto. Se investigaron y consideraron diferentes metodologías para asegurar la implementación efectiva de las mejoras propuestas. Los métodos seleccionados fueron los que mejor se alinearon con los requisitos y objetivos planteados, desde la comprensión inicial de los problemas adaptando la metodología Design Thinkin, DFMA e IHOBE hasta la implementación de las soluciones con el Método de Objetivos Ponderados.

Para abordar adecuadamente los resultados, fue primordial mantener presente el objetivo de diseñar un prototipo de horno solar transportable, tanto física como virtualmente. Este objetivo general fue esencial para poder desarrollar y evaluar los objetivos específicos del prototipo.

Como podemos ver en los hornos solares tipo caja mencionados en el capítulo 1, estos ponderan; 9 [kg] de peso, 55 [cm] de largo, 47 [cm] de ancho y 37 [cm] de alto, teniendo una forma no ergonómica al momento de tomar el horno y transportarlo.

Nuestro prototipo, tomando en cuenta estas medidas y el peso que puede cargar una persona, sin comprometer el tamaño del interior del horno, tiene como características generales; 6.5 [kg] de peso, 48 [cm] de largo, 34 [cm] de ancho y 24 [cm] de alto. Logrando ser más compacto y liviano al momento de transportar, con relación al horno solar tipo caja estándar en el mercado.

Se diseñó y se modeló un prototipo virtual mediante el software CAD Fusion 360. El modelo virtual presentó las primeras aproximaciones del diseño físico y se integró la mejora enfocada al mecanismo de seguimiento solar mediante ángulos de inclinación.

Se logró la fabricación del prototipo físico, que implicó la selección rigurosa de materiales adecuados y resistentes para soportar las pruebas realizadas, empleando técnicas de construcción, mediante herramientas precisas para garantizar la funcionalidad y durabilidad del horno.

Tras realizar la ejecución de pruebas y analizar los objetivos y debilidades abordadas en esta investigación, comprobamos que incorporar una base con distintos ángulos de inclinación fue acertada, ajustándose a la necesidad del usuario, logrando abordar con éxito diferentes momentos del día en que el sol está en ángulos poco accesibles o con una altura muy baja. La capacidad de ajustar el ángulo de inclinación, según sea la necesidad de la persona o la posición solar, ha demostrado ser de gran importancia, solucionando la variación del sol a lo largo del día. Durante la primera prueba, se confirmó la utilidad de esta mejora, resolviendo el ajuste del ángulo y la distribución

del calor al interior del horno, solucionando el sombreado interno que se generaba en el interior del horno, debido a que el sol, al estar a baja altura o tan cerca del horizonte no llega a proporcionar los rayos solares necesarios para una exposición directa, un problema identificado en las dos pruebas previas. Además, resaltar la oportunidad de emplear el corcho molido como aislante térmico, manteniéndose a la altura de las expectativas por su desempeño, ya que el primer estudio, Figura 22, se observa una caída gradual luego de cinco horas y media de bitácora, manteniendo niveles superiores a los 60°C cuando el sol ya no está visible a la altura del cielo, especialmente cerca del atardecer. Este material no solo cumplió su función como aislante térmico, sino que también demostró ser ligero, logrando reducir peso al prototipo final terminado, siendo crucial para el diseño portátil del horno, finalizando como una respuesta a la necesidad de aprovechar algún material que represente un desperdicio o pueda ayudar al medio ambiente, reduciendo la cantidad de residuos en vertederos.

Finalmente, se realizó la evaluación de costos del prototipo, en donde se buscó en diferentes ferreterías para comparar precios y la calidad de los materiales, además como se ocupó un material reciclado para el aislante térmico, se logró tener un prototipo a la altura, sin tener que gastar una cantidad de dinero alto.

## Bibliografía

Torres Muro, H., Polo Bravo, C., López Cornejo, O., y Milla Taco, B. (2019).  
 CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA COCINA/HORNO SOLAR TIPO  
 CAJA. *Ciencia & Desarrollo*, (7), 70–79.  
<https://doi.org/10.33326/26176033.2003.7.133>

Megía, M. (2010). CARACTERIZACIÓN DE UNA COCINA SOLAR PARABÓLICA  
 [Tesis de licenciatura, UNIVERSIDAD CARLOSIII DE MADRID].  
<http://hdl.handle.net/10016/10799>

Fundación Tierra (2002). Cocina solar. *Perspectiva Ambiental*, (25), 2-34

Orejuela Suarez, J., y Villavicencio Bravo, D. (2018). EVALUACIÓN DE LA  
 INCIDENCIA DE LOS DIFERENTES MATERIALES REFLECTANTES EN LA  
 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN HORNO SOLAR, ESPAM MFL. [Tesis de  
 licenciatura, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE  
 MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ].

Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2007). Guía didáctica de Energía Solar. Recuperado  
 de  
[https://www.academia.edu/31379430/Gu%C3%ADa\\_did%C3%A1ctica\\_de\\_Energ%C3%ADa\\_Solar](https://www.academia.edu/31379430/Gu%C3%ADa_did%C3%A1ctica_de_Energ%C3%ADa_Solar)

González Avilés, M., y Servín Campuzano, H. (2014). Modelo térmico para estimar la potencia de cocción estandarizada de cocinas solares. *Nova Scientia*, 7 (13), 48–65.  
<https://doi.org/10.21640/ns.v7i13.3>

Sun ovens international. (s.f.). *About Us*. <https://www.sunoven.com/about-us/>

Sun Ovens International, Inc. (s.f.). *All American Sun Oven*. sunoven. Recuperado el 28 de noviembre de 2023 de <https://www.sunoven.com/products/all-american-sun-oven>

Evergreen. (s.f.). *Horno solar All American SUN OVEN*. Recuperado el 30 de junio de 2023 de <https://evergreen.eco/es/products/all-american-sun-oven%C2%AE>

Linkedin. (s.f.). *Low Tech Chile*. Recuperado el 28 de noviembre de 2023 de <https://www.linkedin.com/company/hornosolarlowtech/about/>

Payku. (s.f.). *Horno solar. 952100402*. Recuperado el 28 de noviembre de 2023 de <https://app.payku.cl/botonpago/index?idboton=18310&verif=c02fac50>

Google Docs. (s.f.). *Ficha técnica Horno Solar Slowcooking*. Recuperado el 28 de noviembre de 2023 de [https://drive.google.com/file/d/1OMr84N-hFG0eoBt1FObIKtNmAen0Lrp\\_/view](https://drive.google.com/file/d/1OMr84N-hFG0eoBt1FObIKtNmAen0Lrp_/view)

EnSol. (s.f.). *SunOK Suntaste Compact*. <https://ensol.es/es/sunok-suntaste-compact-horno-solar.html>

SunOk. (s.f.). *Suntaste - SunOK solar cookers*. Recuperado el 28 de junio de 2023 de <http://www.sunok.eu/home/products/suntaste>

Realcork. (2022). Apcor.Pt. Recuperado el 30 de junio de 2023 de <https://www.apcor.pt/en/>

What is it? (s.f.). Apcor.Pt. Recuperado el 30 de junio de 2023 de <https://www.apcor.pt/en/cork/what-is-it/>

SunOK solar cookers. (s.f.). *About Us*. Sunok.Eu. Recuperado el 30 de junio de 2023 de <http://www.sunok.eu/home/about-us>

Sun Oven. (s.f.). *About us*. <https://www.sunoven.com/about-us/>

Gastronomía solar, Cocina con el sol. (s.f.). *Horno solar – Funcionamiento, temperaturas, tiempos de cocción*. Gastronomiasolar. <https://gastronomiasolar.com/horno-solar-funcionamiento-temperatura/>

Ortega, M., y Ceballos, P. (2015). *Design thinking Lidera el presente. Crea el futuro*. ESIC

Ulrich, K. T., y Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y Desarrollo de Productos (5ª edición)*. McGraw Hill.

Lewis, G. (2006). Product Design for Manufacturing and Assembly (DFM&A). *Mechanical Engineers' Handbook: Manufacturing and Management*, (3).

González, G., y Sánchez, E. (2021). EVOLUCIÓN Y DESARROLLO ESTRATÉGICO ORGANIZACIONAL DEL DISEÑO PARA LA MANUFACTURA Y MONTAJE (DFMA): UNA REVISIÓN. Cuaderno Activa.

Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A. (2000). *Manual Práctico de Ecodiseño. Operativa de Implantación en 7 pasos*. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente.

Aguayo, F., y Soltero, V. (2003). *Metodología del Diseño Industrial: Un enfoque desde la Ingeniería Concurrente*. Ra-Ma.

Barranco, C., Ramírez, R., y Morales, H. (2019). Evaluando métodos de diseño con el modelo FAROUT. *Economía Creativa*, (12), 104–140.  
<https://doi.org/10.46840/ec.2019.12.05>

Lab UX USM. (s.f.). Utfsm.Cl. Recuperado el 27 de septiembre de 2023 de <https://labux.inf.utfsm.cl/metodologia>

Esteves, A. (2003). *Las cocinas solares de Iberoamérica*. INENCO.  
[https://www.researchgate.net/publication/321293020\\_Las\\_Cocinas\\_Solares\\_de\\_Iberoamerica\\_-\\_editores\\_Roberto\\_Roman\\_y\\_Alfredo\\_Esteves](https://www.researchgate.net/publication/321293020_Las_Cocinas_Solares_de_Iberoamerica_-_editores_Roberto_Roman_y_Alfredo_Esteves)

Food Safety and Inspection Service (FSIS). (2024). *Tablas de seguridad alimentaria: Temperaturas internas mínimas y seguras*. Recuperado el 10 de abril de 2024 de <https://espanol.foodsafety.gov/tablas-de-seguridad-alimentaria-nl7i/temperaturas-internas-m%C3%ADnimas-y-seguras>

Terra. (s.f.). *Hornos solares de acumulación*. Recuperado el 12 de abril de 2024 de <https://www.terra.org/categorias/comunidad-cocina-solar/hornos-solares-de-acumulacion>

Gastronomía Solar. (s.f.). *Cocina solar parabólica*. Recuperado el 12 de abril de 2024 de <https://gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/>

Laoyan, S. (2024). Qué es el principio de Pareto o la regla 80/20. Asana. <https://asana.com/es/resources/pareto-principle-80-20-rule>