

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE COCINA SOLAR DE USO DOMÉSTICO, EMPLEANDO MATERIALES SOSTENIBLES.

COMPONENTE B: SISTEMA DE RECOLECCIÓN SOLAR, ESTRUCTURA Y SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN DEL RECIPIENTE

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

EDISON DAVID MORALES PIEDRA

edison.morales02@epn.edu.ec

DIRECTOR: FIS. YÁNEZ SALCEDO MARCO VINICIO M. Sc.

marco.yanez@epn.edu.ec

DMQ, Julio 2022

CERTIFICACIONES

Yo, EDISON DAVID MORALES PIEDRA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



EDISON DAVID MORALES PIEDRA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por EDISON DAVID MORALES PIEDRA, bajo mi supervisión.



FIS. YÁNEZ SALCEDO MARCO VINICIO M. Sc.

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Edison David Morales Piedra

Fis. Yáñez Salcedo Marco Vinicio M. Sc.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi querida familia por su apoyo, enseñanza y educación. Al estar siempre a mi lado los valores impartidos reflejan la persona que soy, gracias a esto puedo cumplir un sueño más.

A los profesores y amigos que estuvieron junto a mí en el camino a lograr este objetivo, gracias por su enseñanza, ayuda y consejos. Esto me permiten lograr obtener el título de Ingeniero Mecánico, lo portaré con orgullo al ser un gran profesional en la vida.

Edison David Morales Piedra

AGRADECIMIENTO

A mis padres que desde el cielo me acompañan en cada decisión en la vida, mis hermanos Jose Luis y Janneth junto con mis tíos Carlos y Marlene por estar siempre conmigo y guiarme en todo momento.

A los profesores por impartirme su conocimiento a lo largo de mi carrera universitaria, necesario para desarrollar mi trabajo de titulación. Un agradecimiento especialmente al Fis. Marco Yáñez como director y guía en el desarrollo del Trabajo de Integración Curricular.

Edison David Morales Piedra

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------------------------------------|------|
| CERTIFICACIONES | I |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | II |
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTO | IV |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | VII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | VIII |
| RESUMEN..... | IX |
| ABSTRACT | X |
| 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO..... | 1 |
| 1.1 Objetivo general | 2 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 2 |
| 1.3 Alcance..... | 2 |
| 1.4 Marco teórico..... | 2 |
| Energía Solar..... | 2 |
| Mecanismos de transferencia de calor..... | 4 |
| Componentes de la radiación | 5 |
| Propiedades de la radiación sobre materiales | 6 |
| Cocinas solares | 7 |
| 2 METODOLOGÍA..... | 10 |
| 2.1 Parámetros de operación..... | 11 |
| Ubicación Geográfica..... | 11 |
| Entorno de operación y recurso solar | 11 |
| Seguridad alimenticia..... | 13 |
| Temperatura para la cocción de alimentos | 13 |
| 2.2 Diseño conceptual | 14 |
| Voz del usuario (requerimientos del usuario) | 14 |
| Voz del ingeniero (requerimientos técnicos) | 15 |
| Casa de la calidad | 15 |
| Especificaciones técnicas | 15 |
| Estructura Funcional..... | 16 |
| Análisis de alternativas | 17 |
| Solución virtual de la cocina solar de uso doméstico. | 21 |
| 2.3 Diseño térmico..... | 22 |
| Balance de energía en la Cubierta transparente..... | 22 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Energía absorbida por los reflectores | 23 |
| Cálculo de pérdidas de calor..... | 25 |
| Calor Útil que ingresa a la cámara de cocción | 28 |
| 2.4 Diseño mecánico | 28 |
| Dimensionamiento del eje..... | 28 |
| Diseño del eje | 30 |
| Estructura de la cocina solar..... | 33 |
| 2.5 Materiales seleccionados..... | 34 |
| 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 35 |
| 3.1 Análisis de resultados | 35 |
| Alternativas..... | 35 |
| Diseño térmico..... | 36 |
| Diseño mecánico | 38 |
| Modelo CAD de prototipo de cocina solar | 39 |
| Análisis de costo..... | 40 |
| 3.2 Conclusiones | 43 |
| 3.3 Recomendaciones | 44 |
| 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 45 |
| 5 ANEXOS..... | 48 |
| ANEXO I. Casa de la calidad | 49 |
| ANEXO II. Evaluación de criterios para módulo 1 | 50 |
| ANEXO III. Evaluación de criterios para módulo 2..... | 51 |
| ANEXO IV. Evaluación de criterios para módulo 3..... | 52 |
| ANEXO V. Figuras de tablas utilizadas en diseño térmico y mecánico | 53 |
| ANEXO VI. PLANOS | 56 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 Irradiación solar directa (DNI) anual | 3 |
| Figura 1.2 Componentes de la radiación..... | 6 |
| Figura 1.3 Efectos de la radiación en material semitransparente. | 6 |
| Figura 1.4 Cocina solar a vapor modelo GoSun Stove..... | 7 |
| Figura 1.5 Partes de horno solar | 8 |
| Figura 1.6 Cocina solar tipo caja..... | 9 |
| Figura 1.7 Cocina solar de paneles tipo abanico..... | 9 |
| Figura 2.1 Metodología para el diseño del prototipo de cocina solar..... | 10 |
| Figura 2.2 Función global, Nivel 0 | 16 |
| Figura 2.3 Diagrama funcional de la cocina solar, Nivel 1 | 17 |
| Figura 2.4 Solución virtual ensamblada en software CAD | 21 |
| Figura 2.5 Esquema balance de energía en la cubierta de vidrio | 23 |
| Figura 2.6 Diagrama de cuerpo libre del eje..... | 29 |
| Figura 2.7 Diagramas de Cortantes y Momentos en el eje..... | 29 |
| Figura 2.8 Estructura con cargas respectivas..... | 33 |
| Figura 3.1 Esfuerzos en la estructura..... | 38 |
| Figura 3.2 Desplazamiento de los elementos de la estructura | 38 |
| Figura 3.3 Factor de seguridad en la estructura | 39 |
| Figura 3.4 Diseño CAD definitivo del prototipo de cocina solar | 40 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2.1 Datos de ubicación geográfica..... | 11 |
| Tabla 2.2 Datos meteorológicos de NSRDB..... | 12 |
| Tabla 2.3 Temperatura recomendada de cocción para diferentes alimentos. | 13 |
| Tabla 2.4 Especificaciones técnicas de la cocina solar de uso doméstico..... | 16 |
| Tabla 2.5 Desarrollo de alternativas de solución módulo 1..... | 18 |
| Tabla 2.6 Conclusiones de evaluación de módulo 1..... | 19 |
| Tabla 2.7 Alternativas de solución módulo 2..... | 19 |
| Tabla 2.8 Conclusiones de evaluación para módulo 2..... | 20 |
| Tabla 2.9 Alternativas de solución módulo 3..... | 20 |
| Tabla 2.10 Conclusiones de evaluación para módulo 3..... | 21 |
| Tabla 2.11 Propiedades del aire a temperatura de película..... | 26 |
| Tabla 3.1 Alternativas seleccionadas de módulos..... | 35 |
| Tabla 3.2 Resultados del diseño térmico..... | 36 |
| Tabla 3.3 Calor útil (balance de energía)..... | 37 |
| Tabla 3.4 Costos de materia prima..... | 41 |
| Tabla 3.5 Costo de elementos normalizados..... | 41 |
| Tabla 3.6 Costo elementos consumibles..... | 41 |
| Tabla 3.7 Costo de equipos y mano de obra..... | 42 |
| Tabla 3.8 Costo total de prototipo de cocina solar..... | 42 |

RESUMEN

El documento presenta el diseño de un prototipo de cocina solar de uso doméstico, con locación de estudio en la ciudad de Quito-Ecuador, debido a su favorable ubicación geográfica y buenas prestaciones de irradiación solar, se propone un equipo ergonómico y eficiente como alternativa en la cocción de alimentos, mediante energía renovable. La utilización de materiales sostenibles en la construcción de la cocina solar favorece el desarrollo del concepto de economía circular y la optimización de recursos.

Los parámetros de funcionamiento se determinan a partir de la casa de calidad mediante los requisitos del usuario y las especificaciones técnicas. La mejor alternativa que cumple los objetivos de este trabajo se selecciona mediante un análisis de alternativas utilizando el método de criterios ponderados y aplicando el modelo de diseño conceptual.

Se realiza el diseño térmico y mecánico de los módulos: sistema de recolección solar, estructura y sistema de estabilización del recipiente, contemplados en este componente. Las piezas son dimensionadas en un software de diseño asistido por computadora (CAD), el mismo que presenta la alternativa para ensamblar el prototipo final y generar los planos de conjunto, subconjunto y de taller, como entregable al usuario para la elaboración del prototipo.

Por último, se realiza un análisis de costos para identificar la viabilidad del proyecto en la materialización del prototipo de cocina solar.

PALABRAS CLAVE: cocina sola, desarrollo, diseño, energía renovable.

ABSTRACT

The document presents the design of a prototype of a solar cooker for domestic use, with study location in the city of Quito-Ecuador, due to its favorable geographical location and good solar irradiation performance, the proposal is an ergonomic and efficient equipment as an alternative in the cooking of food using renewable energy. The use of sustainable materials in the construction of the solar cooker favors the development of the circular

The operating parameters are determined from the quality house by means of user requirements and technical specifications. The best alternative that meets the objectives of this work is selected through an analysis of alternatives using the weighted criteria method and applying the conceptual design model.

The thermal and mechanical designs are presented, corresponding to the modules: solar collection system, structure, and stabilization system of the vessel, contemplated in this component. The parts are dimensioned in a computer aided design (CAD) software, which presents the alternative to assemble the final prototype and generate the assembly, subassembly and workshop drawings, as a deliverable to the user in the development of the prototype.

Finally, a cost analysis is made to identify the feasibility of the project in the materialization of the solar stove prototype.

KEYWORDS: solar cooker, development, design, renewable energy.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Ecuador mantiene un aumento en la demanda de Gas licuado de petróleo (GLP) con un incremento promedio anualmente del 3.8% de consumo de GLP, del cual el sector doméstico abarca el 88.6% de la producción nacional y es destinado principalmente a la cocción de alimentos [1]. La combustión de GLP presenta pérdida energética y genera gases de efecto invernadero por su producción a partir de combustibles fósiles, por lo tanto, se desarrolla el diseño de una cocina solar de uso doméstico para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos mediante una alternativa adecuada al utilizar el potencial de energía solar que no genera efectos negativos al medio ambiente y por ser un recurso renovable que puede ser aprovechado indefinidamente.

Pese a que Ecuador tiene una favorable localización geográfica y cuenta con una consistencia del recurso solar anual adecuada para el progreso en proyectos energéticos con la utilización de la energía solar, el desarrollo de energías renovables del país es bajo, ya que solo el 5% de los avances en la demanda energética nacional corresponde a la implementación de tecnología solar térmica en la matriz energética [2]. El uso de las cocinas solares cumple las funciones de las cocinas tradicionales y tiene ventajas como la seguridad energética, bajo costo de construcción y el poder energético basto para realizar la cocción de alimentos, así como ser una forma práctica de utilizar los recursos con la utilización de materiales reciclables para su elaboración.

Se presenta el diseño de un prototipo de cocina solar de uso doméstico con la implementación de materiales sostenibles, la cual se llevará a cabo en función del método de diseño conceptual de los componentes que conforman el prototipo: sistema de recolección solar, estructura del colector solar y sistema de estabilización del recipiente interno.

El diseño a detalle se incorpora para obtener el modelo general, materiales que pueden ser utilizados como alternativa de construcción y planos de ensamblaje. El prototipo de cocina solar está direccionado a los sectores de bajos y medios recursos económicos con la necesidad de una alternativa para la cocción de alimentos y dejar atrás procesos tradicionales como cocinas a leña y cocinas a gas, el prototipo está orientado a ser construido en próximos trabajos de titulación con la finalidad de incrementar el interés en la tecnología solar y el desarrollo de modelos a gran escala.

1.1 Objetivo general

Diseñar un prototipo de cocina solar de uso doméstico, empleando materiales sostenibles.

1.2 Objetivos específicos

1. Determinar parámetros operacionales del concentrador solar acorde a investigación bibliográfica.
2. Analizar alternativas y seleccionar la mejor opción.
3. Realizar el diseño del prototipo de cocina solar.
4. Desarrollar configuraciones dimensionales del sistema de concentrador solar en programa de diseño asistido por computadora.
5. Elaborar planos de construcción del concentrador solar.
6. Elaborar un análisis de costos para determinar la viabilidad de la cocina solar.

1.3 Alcance

El presente trabajo de titulación comprende el diseño de un prototipo de cocina solar desde la especificación de parámetros operacionales y mediante el método de diseño conceptual se desarrollan los elementos constitutivos: sistema de recolección solar, estructura del colector solar y sistema de estabilización del contenedor de alimentos. Hasta la obtención de los planos de conjunto, subconjunto y taller. Además, se tiene un análisis de costos para determinar la viabilidad técnica económica del prototipo de cocina solar.

1.4 Marco teórico

Energía Solar

Llamada energía renovable por obtenerse de manera natural y ser una fuente inagotable para el ser humano, la energía solar es un recurso natural obtenido del Sol al emplear el potencial energético solar desde la captación por medio de la radiación y darle uso por diferentes métodos de transformación en energía térmica, fotovoltaica u otro tipo de aplicación [3].

Energía solar térmica y recurso solar en Ecuador

Por medio de la transformación de la energía emitida por el Sol se obtiene la energía solar térmica o calor, este potencial energético generalmente cumple un proceso de aprovechamiento térmico al calentar un fluido de trabajo y es empleado en procesos básicos del consumo humano [4]. La energía solar térmica puede ser útil en aplicaciones como: cocción de alimentos, calefacción y climatización de espacios, generación eléctrica doméstica, entre otros [5].

El planeta tierra capta 5.4×10^{24} [J] de energía solar anualmente del sol, al ser la fuente de energética que posee el sistema solar, representa 4500 veces la energía que consume el planeta en un año [6]. El potencial energético solar de Ecuador está en un rango entre 2.8 kWh/m^2 por día hasta los 6.4 kWh/m^2 por día, esta variación es por la presencia de diversos microclimas en el territorio que disminuyen el potencial energético solar, el 75% del territorio mantiene un valor promedio general para realizar análisis energético de 4.5 kWh/m^2 por día [7]. De la **Figura 1.1** muestra la irradiación directa normal (DNI) anual y se determina que la región sierra es idónea para la implementación de este tipo de concentradores de energía por su locación geográfica, por la cantidad de radiación incidente en la zona andina.

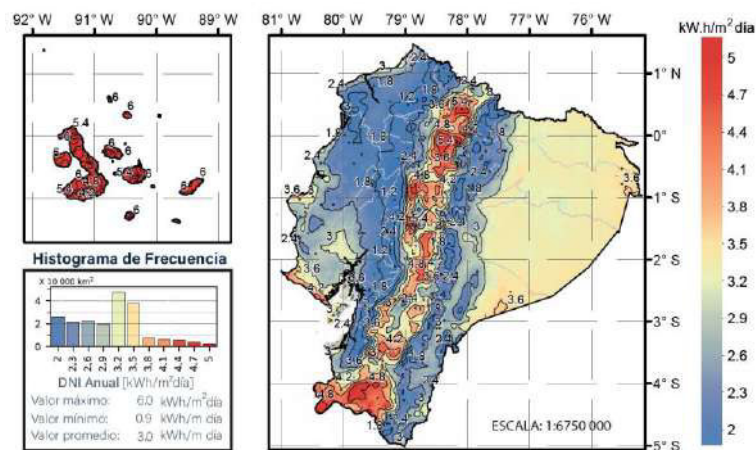


Figura 1.1 Irradiación solar directa (DNI) anual

Fuente: [7]

Sistemas Solares Térmicos Pasivos

Los sistemas de energía solar pasiva emplean la energía solar de manera directa sin la necesidad de incorporar un dispositivo mecánico u otro elemento externo al sistema de recolección solar para transferir el calor útil a un elemento caloportador, este a su vez no lo realiza en alguna forma de trabajo [8]. Este tipo de sistemas alcanzan bajas o medias

temperaturas operación y suponen una mejor alternativa para los procesos tradicionales, entre ellos se tienen: iluminación natural, invernaderos, acumuladores de calor para agua sanitaria en techos y para calefacción [4].

- **Sistemas Solares Térmicos Activos**

Son sistemas que aprovecha la energía solar de forma eficiente mediante la utilización de elementos constructivos o estructuras mecánicas específicas, para mejorar la transferencia de calor a un fluido de trabajo como lo son: colectores solares, hornos solares, concentradores parabólico, entre otros [3][4]. Los sistemas activos tienen mejores prestaciones que los sistemas pasivos al alcanzar un mayor rango de temperaturas altas y al estar optimizada su geometría y/o estructura esta ocupa un menor volumen.

Clasificación de los Sistemas Solares según su rango de temperatura.

Los sistemas solares térmicos se clasifican de acuerdo con el rango de temperatura que alcanzan para cumplir la función del sistema u operar un equipo, estos pueden ser divididos en tres grupos [9].

- **Sistema de baja Temperatura ($T < 100\text{ °C}$):** el fluido de trabajo normalmente es el agua y esta no debe llegar a su punto de ebullición. Los equipos con este tipo de sistemas son los colectores solares planos aplicados para el calentamiento de agua sanitaria doméstica.
- **Sistema de media Temperatura ($100\text{ °C} < T < 350\text{ °C}$):** Son los sistemas industriales más utilizados por su capacidad versatilidad, sus aplicaciones son en: concentradores solares para calefacción de piscinas, generación de vapor, cocina solar.
- **Sistema de alta Temperatura ($T > 350\text{ °C}$):** Elementos mecánicos como hornos y concentradores solares con mayor capacidad y rango de temperatura son utilizados en la generación eléctrica mediante vapor.

Mecanismos de transferencia de calor

La forma en que la energía se transfiere entre diferentes sistemas o medios, se denomina calor y los mecanismos de transferencia de energía son: conducción, convección y radiación, estos son estudiados para comprender como se llega al punto de equilibrio

térmico mediante la interacción de sistemas al evaluar los procesos que se desarrollan por el gradiente de temperaturas [10][11].

- **Conducción:** El mecanismo de transferencia de calor por conducción es el proceso de intercambio de calor en un medio o material de transmisión (sólido, líquido o gases) el cual tiene un gradiente de temperatura, el intercambio de calor se presenta de la región de mayor temperatura a la región de menor temperatura [11].
- **Convección:** La convección es el modo de transferencia de calor por el movimiento de fluido interactuando con una superficie y que exista un gradiente de temperatura entre los dos componentes [11].
- **Radiación:** La radiación es emitida por cualquier cuerpo que posee calor, no necesita de un medio para transferir energía, lo hace por ondas electromagnéticas y por este método de transferencia de calor el planeta tierra obtiene energía del sol que puede ser aprovechado en sistemas de captación solar [10].

Componentes de la radiación

La radiación al atravesar la atmosfera que incide al planeta tierra y dependiendo del medio con el que se encuentre esta será direccionada, al interactuar con diferentes factores en la trayectoria de la energía solar se originan los siguientes tipos de radiación: [7], su representación graficas se observa en la **Figura 1.2**

- **Radiación global horizontal (GHI):** establece la medida de radiación solar incidente y se obtiene de la suma de la Irradiación normal directa y la Irradiación horizontal difusa, como se observa en la **Figura 1.2**
- **Radiación normal directa (DNI):** la dirección de la irradiación es directa ya que no tiene alguna interacción al atravesar la atmosfera.
- **Radiación horizontal difusa (DHI):** se presenta cuando la irradiación tiene un cambio en la dirección de la energía solar o reflejado por la superficie terrestre.

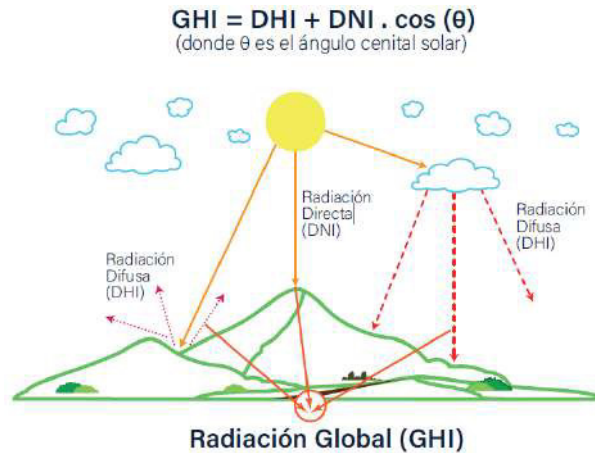


Figura 1.2 Componentes de la radiación

Fuente: [7]

Propiedades de la radiación sobre materiales

Al incidir la radiación solar sobre una superficie se tiene tres principales comportamientos de la energía en los materiales de esta, la energía puede ser transmitida, absorbida o reflejada como se observa en la Figura 1.3.

La transmisividad(τ) es la cantidad de energía transmitida y tiene la relación de radiación transmitida con respecto a la radiación incidente, la absorptividad(α) es la relación de la radiación absorbida y la relación incidente, por último, la reflectividad(ρ) es la relación de la radiación reflejada y la radiación incidente [12]. Cada una de las propiedades se encuentran en un rango de 0 a 1 y la sumatoria de los 3 coeficientes es igual a 1.

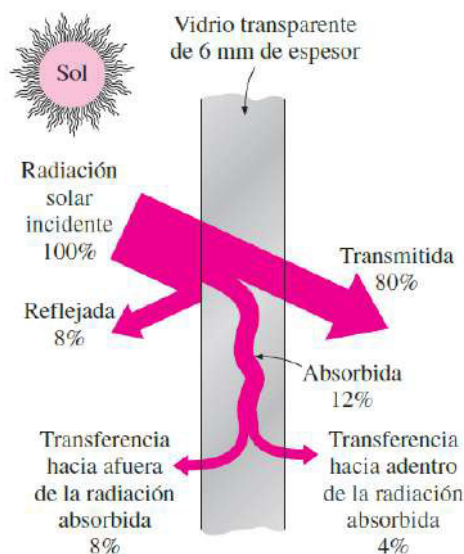


Figura 1.3 Efectos de la radiación en material semitransparente.

Fuente:[12]

Cocinas solares

Las cocinas solares transforman la energía solar en calor útil en un sistema de acumulación térmico para la cocción de alimentos, al utilizar la energía renovable del sol, como se observa en la **Figura 1.4**. Este tipo de cocina solar tienen ventajas como: disminuir el calentamiento global, brinda seguridad energética y tiene el valor agregado de ser de bajo valor económico [13]. Las cocinas solares mantienen un rango de temperaturas entre los 80°C y 125 °C óptimo para la cocción de los alimentos, mediante los reflectores se puede incrementar la energía térmica dentro de la cámara de cocción [14].



Figura 1.4 Cocina solar a vapor modelo GoSun Stove

Fuente: [15]

Los procesos de funcionamiento del equipo son: captación de los rayos solares en los reflectores y redireccionamiento de los mismo hacia la cubierta transparente, el almacenamiento de la energía térmica se genera por el efecto invernadero dentro de la cámara de cocción y transfiere la energía térmica para aumentar la temperatura de los alimentos por alguno de los métodos de cocción. La transferencia de calor se da por los principales mecanismos de transferencia de energía y se debe tener en cuenta las pérdidas de calor del proceso, como errores de diseño, dimensionamiento o motivos naturales [16].

Partes que componen la cocina solar [17]

- **Reflector:** El sistema de recolección solar se trata de la configuración más adecuada que puede tener el prototipo en la captación de los rayos solares y como estos son direccionados a un área específica.

- **Cubierta:** Debe ser transparente para transmitir la energía solar captada a la cámara de cocción, dentro se genera el efecto invernadero donde la energía térmica permanece atrapada.
- **Absorbedor:** La cámara de cocción es el hogar donde se realiza la transferencia de calor hacia el recipiente contenedor, para que los alimentos alcancen su punto de cocción adecuado.
- **Aislante:** Mantiene la energía térmica en la cámara cocción por medio de un material que aísla una sección del medio circundante, tiene buena resistencia a temperaturas altas.
- **Estructura:** La estructura se encarga de mantener estable el sistema y cumple con la función de sostener la estructura mediante elementos estructurales.



Figura 1.5 Partes de horno solar

Fuente: [18]

Desde el principio el desarrollo de modelos de cocinas solares presenta diferentes tipos con variabilidad en sus configuraciones, tamaños y capacidad de captación energética. Los componentes (**Figura 1.5**) y materiales que constituyen la cocina solar depende del individuo que la construye y en base a estos la cocina solar puede ser más eficiente y el tiempo de operación disminuir, por este motivo se fomenta la inserción de estos modelos en el sector doméstico y con visión en el sector industrial [19]. A continuación, se especifican dos cocinas solares en referencia al presente trabajo.

Cocina solar tipo caja

La **Figura 1.6** corresponde a un horno solar, estos equipos son dispositivos que acumulan y mantienen la energía calorífica para preparar los alimentos, la parte superior consta de paneles acorde a la dirección del sol para captar mayor radiación, la misma que es dirigida a la cubierta transparente, en la parte interior de la caja se genera el efecto invernadero al estar aislada con el medio externo y el elemento absorbedor al ser de color negro, se comporta como cuerpo negro que absorbe la energía solar térmica [20].

Las ventajas de este tipo de cocina son: funcionamiento en DHI, no es necesario un sistema, tiempo de cocción es lenta, al tener una cubierta no presenta riesgo de accidentes como quemaduras y opera sin la necesidad de controlarla en todo momento [21].



Figura 1.6 Cocina solar tipo caja

Fuente: [13]

Cocina solar de paneles

Su característica principal son los paneles reflectores que captan la radiación incidente y enfocan la energía radiante a una superficie específica, la temperatura de operación está por los 120°C [20]. La construcción es simple de bajo costo y conveniente para transportarla de un lugar a otro, observar **Figura 1.7**.



Figura 1.7 Cocina solar de paneles tipo abanico

Fuente:[15]

2 METODOLOGÍA

El diseño del prototipo de cocina de uso doméstico tiene un enfoque de investigación de tipo técnico- explicativo, por lo cual es importante establecer los parámetros operacionales y por medio del diseño conceptual se selecciona la mejor alternativa de modelo de cocina solar que se adapte a las condiciones de operación y localización.

La metodología por seguir se muestra de forma esquemática en la **Figura 2.1**. La técnica para la recopilación de información y desarrollo del diseño está definida por un análisis documental referido a los temas técnicos como: análisis térmico y mecánico. Para la elaboración del modelo se utilizará el programa CAD con el cual se obtiene los planos de elaboración del prototipo.

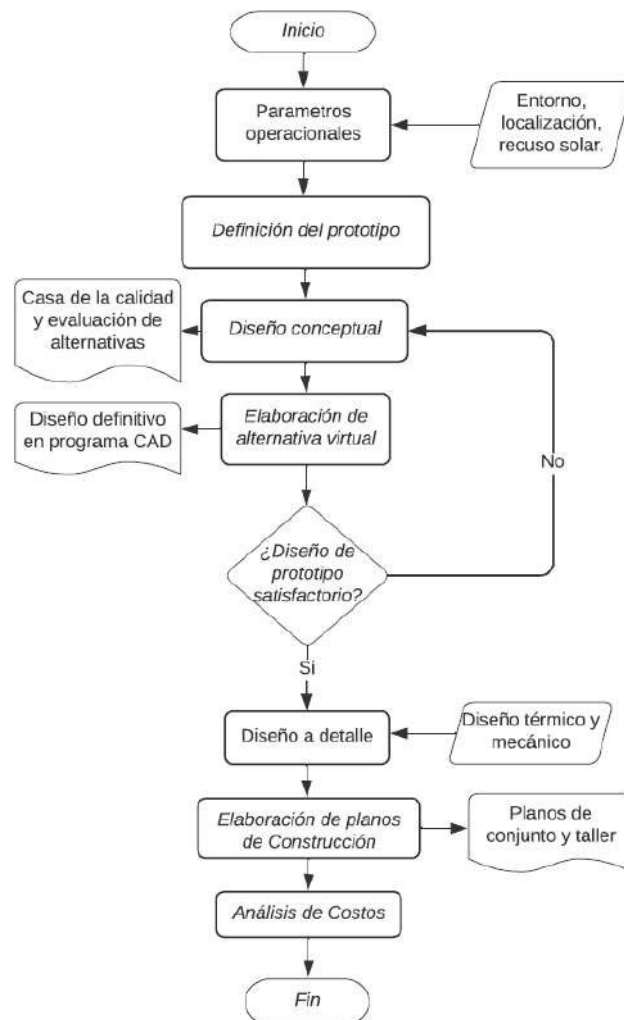


Figura 2.1 Metodología para el diseño del prototipo de cocina solar.

Fuente: propia

2.1 Parámetros de operación

A continuación, se presentan los parámetros que influyen en la operación del prototipo, así como ubicación geográfica para identificar las condiciones climatológicas y características de la zona, para establecer las especificaciones del prototipo y sus condiciones de operación.

Ubicación Geográfica

La locación de la cocina solar es la variable más importante en el diseño del prototipo, porque dependiendo de la radiación incidente en la ubicación geográfica de operación la misma presentará un rendimiento adecuado para la cocción de alimentos. El presente trabajo establece la región Sierra como locación de estudio, específicamente se toma como referencia la Facultad de Ingeniería Mecánica (FIM) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) por su ubicación céntrica en la ciudad y altas prestaciones de radiación presente, la ciudad de Quito mantiene un rango de 4.5 a 5.7 kWh/m² día [7]. Observar la **Tabla 2.1** con los datos importantes del punto a considerar para los análisis.

Tabla 2.1 Datos de ubicación geográfica

| Provincia | Pichincha | |
|-------------------------|----------------|-----------|
| Región | Sierra | |
| Cantón | Quito | |
| Longitud | 78°29'23.43" O | -78.4898° |
| Latitud | 0°12'33.33" S | -0.2093° |
| Horas de Sol (diario) | 6.53 [horas] | |
| Duración de luz del día | 11.1 [horas] | |
| Altitud | 2804 [m.s.n.m] | |
| Temperatura media | 16 °C | |

Fuente: [16][22]

Entorno de operación y recurso solar

Lo que define la cantidad de radiación incidente en un punto específico del planeta Tierra son los movimientos de rotación y distancia con respecto al sol, la Tierra sigue una trayectoria elíptica alrededor del sol, este movimiento es de traslación a una distancia promedio de 150 millones de km y está inclinada con respecto al plano ecuatorial un ángulo de declinación que está en el rango de $\pm 23.45^\circ$ [23][24], los rayos solares siguen una trayectoria perpendicular a la superficie del planeta a lo del tiempo hasta llegar a la atmósfera terrestre en la cual se obtiene la constante solar que es alrededor de

1367 [W/m²] [23]. Ecuador al estar situado preferencialmente en el plano ecuatorial adecua la disponibilidad de potencial solar y bajas variaciones de irradiación incidente.

La componente de la radiación global (GHI) que es analizada para el diseño de equipos de concentración solar es la radiación normal directa (DNI), ya que se puede identificar como es su trayectoria y como se redirecciona la trayectoria en el reflector de la cocina solar.

La página web de National Renewable Energy Laboratory (NREL) mantiene la base de datos nacionales de radiación solar (NSRDB) que es ocupada para realizar la

Tabla 2.2 con valores representativos de horas del día de mayor concentración solar y puede ser ocupado para las consideraciones de operación del prototipo de cocina solar.

Tabla 2.2 Datos meteorológicos de NSRDB

| Hora del día | DNI [W/m ²] | Temperatura ambiente [°C] |
|-----------------|-------------------------|---------------------------|
| 9:00 | 628.1 | 13.8 |
| 10:00 | 732.5 | 15.6 |
| 11:00 | 821.6 | 16.4 |
| 12:00 | 936.6 | 17.2 |
| 13:00 | 975.2 | 16.8 |
| 14:00 | 926.5 | 15.7 |
| 15:00 | 889.8 | 14.6 |
| 16:00 | 605.7 | 13.5 |
| Promedio | 814.5 | 15.45 |

Fuente: [25]

Los microclimas en las regiones de Ecuador establecen la diversidad de ambientes, pero el caso de estudio que es la región montañosa mantiene temperaturas entre 12°C y 20°C en un estándar diario de horas comunes de cocción, tomando como referencia la utilización de la cocina solar al medio día, la hora de mayor temperatura del aire es al medio día con un promedio de 16°C con mejores prestaciones climatológicas y de radiación solar.

La irradiancia es la medida de la potencia de la radiación solar que incide en la superficie del planeta. Glover y Mc. Culloch determinaron que se puede establecer la irradiancia o insolación teórica por medio de la siguiente expresión matemática [26].

$$I_{cal} = G_0 \left[0.29 \cos\phi + 0.52 \frac{n}{N} \right]$$

Ecuación 2.1 Insolación en ubicación Geográfica.

Donde:

I_{cal} : Irradiancia calculada [W/m^2]

$G_0 = 1367 W/m^2$: Constante solar

ϕ : Ángulo de latitud de ubicación geográfica, **Tabla 2.1** Datos de ubicación geográfica

n : Horas diarias con sol brillante [horas], **Tabla 2.1** Datos de ubicación geográfica

N : Horas de sol diario [horas], **Tabla 2.1** Datos de ubicación geográfica

Seguridad alimenticia

Se debe tener un adecuado control de la manipulación y cocción de alimentos para mantener los nutrientes de estos y asegurar la eliminación de agentes externos como microorganismos que contaminan los alimentos y puede generar malestar de los que lo consumen, por lo que se pretende llegar y superar el punto de ebullición del agua que es propiamente a la temperatura de 92°C en la región de estudio (región Sierra).

El principio para la cocción los alimentos es por la energía calorífica obtenida de la transferencia de calor captada por los rayos solares y retenida en la cámara de cocción, una variable importante es la temperatura que deben alcanzar los alimentos y el tiempo de cocción.

Temperatura para la cocción de alimentos

En la publicación del Departamento de salud de Rhode Island para precautelar la salud de los consumidores, se deben llegar a la temperatura interna adecuada para asegurar la cocción de los alimentos manteniendo los nutrientes, sin pasarse de cocción y que los alimentos sean consumibles [27]. La **Tabla 2.3** muestra la temperatura mínima de cocción de acuerdo con el alimento a cocinar.

Tabla 2.3 Temperatura recomendada de cocción para diferentes alimentos.

| Tipo de alimento | T mínima de cocción |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|
| Frutas y vegetales cocidos. | 58°C a 65 °C |
| Carne de res, cerdo, ternera. Animales de corral y Pescado. | 65°C a 75 °C |
| Embutidos, salchichas. Carne molida, desmenuzados. | 68°C a 80 °C |

Fuente: [27]

Las temperaturas de operación dimensiona la potencia de la cocina solar a ser eficiente en cuanto a tiempos de cocción y estabilidad térmica, el tiempo de cocción con procesos tradicionales es menor en comparación con concentradores y hornos solares, por lo cual se debe precautelar la disponibilidad de tiempo que tomará la preparación de los alimentos con el prototipo de cocina solar, se estima un tiempo de 45 a 60 minutos para la preparación de los alimentos, con la consideración que será destinado para una familia común de 3 personas .

2.2 Diseño conceptual

Para determinar las alternativas de los elementos que conforman el prototipo de cocina solar se establecen las principales necesidades para la operación conforme a los requerimientos de eficiencia de cocción en base a característica técnicas, las cuales se evalúan en la casa de la calidad. Para la determinación de las especificaciones técnicas se tomó como referencia el punto de vista de las personas que utilizan colectores solares comerciales y la percepción del futuro cambio energético.

Voz del usuario (requerimientos del usuario)

La voz del usuario manifiesta los requerimientos que el prototipo de cocina solar debe poseer para satisfacer las necesidades de los usuarios [28], por medio de la recopilación de información necesaria y documentos de actividades semejantes.

El prototipo debe poseer las siguientes características de acuerdo con el criterio del usuario.

- Ser fácil de movilizar
- Que no sea tan pesada
- Que se pueda ensamblar fácilmente
- Tiempo adecuado para la cocción de alimentos
- Que sea segura
- Amigable con el medio ambiente
- De precio asequible de fabricación
- Que funcione con energía solar

Voz del ingeniero (requerimientos técnicos)

Las características dadas por el usuario se interpretan como criterios ingenieriles por medio de la opinión del ingeniero. Finalmente se evalúan los criterios de mayor importancia y se especifican en un lenguaje técnico.

Una vez conocidos los requerimientos del usuario, se establecen las siguientes características técnicas.

- Diseño ergonómico
- Prototipo liviano <50 kilos
- Diseño modular
- Funcionalidad tiempo de cocción <1 hora
- Seguridad
- Materiales de fabricación
- Bajo costo
- Fuente de energía

Casa de la calidad

Al evaluar los requerimientos del usuario con los requerimientos del ingeniero, se determinan los principales aspectos de diseño que poseerá el prototipo, la casa de la calidad se puede apreciar en el ANEXO I. La comparativa de mercado se realiza respecto a los procesos de cocción tradicionales y una cocina solar comercial.

Especificaciones técnicas

Al realizar el análisis de la casa de la calidad y en base a los criterios de las necesidades técnicas se colocan en orden de prioridad las especificaciones técnicas en consideración al diseño de la cocina solar. Observar **Tabla 2.4**.

El prototipo de cocina solar se basa en una alternativa de cocción de alimentos por medio del uso de energía solar hasta alcanzar el rango de temperatura y tiempo adecuado, para la cantidad de porciones acorde a un grupo familiar. El apartado de materiales, peso, mantenimiento y regulable son aspectos suplementarios, para conformar la utilitaria de la cocina solar.

Tabla 2.4 Especificaciones técnicas de la cocina solar de uso doméstico

| Empresa cliente: Laboratorio de Energías Alternativas EPN | | Producto: Diseño de cocina solar de uso doméstico | | Fecha inicial: 26/04/2022 |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| Diseñadores: Guerrero Frank Morales Edison | | | | Ultima revisión: 14/07/2022 |
| | | | | Página: 1/1 |
| ESPECIFICACIONES | | | | |
| Concepto | Fecha | Propone | R/D | Descripción |
| Función | 14/07/22 | C | R | Cocción y calentamiento de alimentos. Rango de Temperatura 70-150 °C |
| Capacidad | 14/07/22 | I | D | Capacidad de cocción para 2.5 litros |
| Energía | 14/07/22 | C+I | R | Energía Solar |
| Tiempo | 14/07/22 | C+I | D | Tiempo de cocción, máximo en 60 minutos |
| Materiales | 14/07/22 | C+I | R | Materiales de bajo costo y seguros |
| Mantenimiento | 14/07/22 | I | R | Fácil montaje y desmontaje para su transporte |
| Peso | 14/07/22 | I | D | Peso menor a 50 kg |
| Regulable | 14/07/22 | I | R | Sistema rotacional para seguir perpendicularmente la radiación solar |
| Propone: C=Cliente, I=Ingeniería R/D: R=Requerimiento, D=Deseo | | | | |

Fuente: propia

Estructura Funcional

La estructura funcional se representa por medio de diagramas de flujos las entradas y salidas de un proceso de estructura modular, se derivan y especifican los módulos que conforman la función principal del equipo y esto permite encontrar la alternativa de solución [28]. Se establecen niveles funcionales para especificar los módulos del prototipo.

Nivel 0

Representa la función principal o global del prototipo.

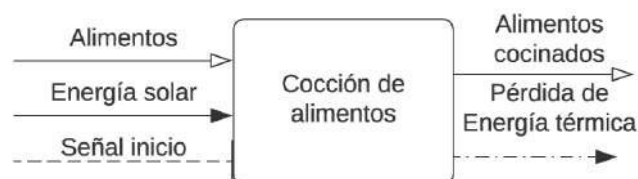


Figura 2.2 Función global, Nivel 0

Fuente: propia

Nivel 1

Como función secundaria del módulo principal se desglosan los módulos que conforman la constitución del prototipo de cocina solar como se observa en la **Figura 2.3**.

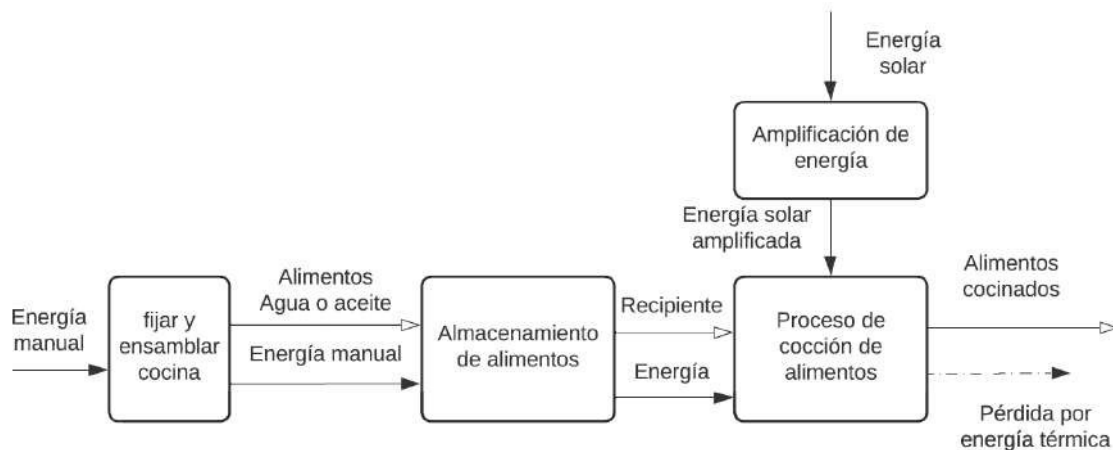


Figura 2.3 Diagrama funcional de la cocina solar, Nivel 1

Fuente: propia

Los módulos que cumplen las funciones del prototipo de cocina solar son desarrollados acorde a los componentes que abarca el proyecto de titulación, estos son:

- Módulo 1: Recolección y redireccionamiento de rayos solares (Amplificación de energía).
- Módulo 2: Estructura (Fijar y ensamblar cocina).
- Módulo 3: Sistema de estabilización del recipiente (Almacenamiento de alimentos).

El módulo 4: cocción de alimento y módulo 5: orientar concentrador son desarrollados en el componente A del proyecto de titulación.

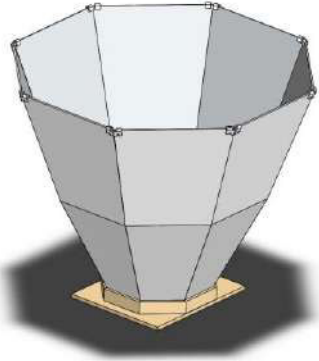
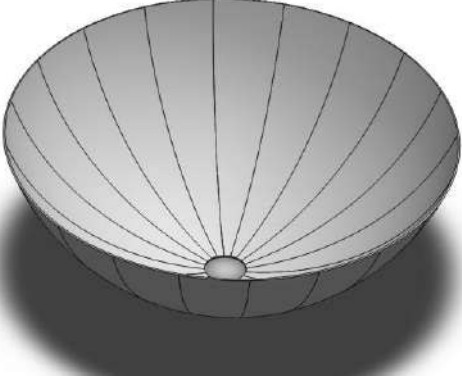
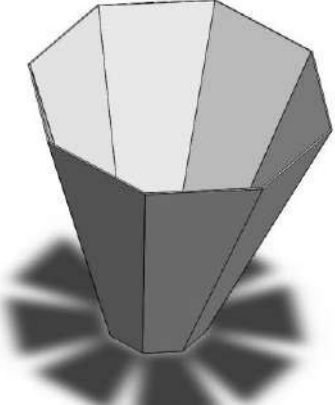
Análisis de alternativas

Se desarrollarán diferentes alternativas para cada módulo del prototipo aplicando el modelo de evaluación por medio de criterios ponderados [28]. Las alternativas de los componentes se analizan en función de su utilidad para seleccionar la mejor opción.

Módulo 1: Sistema de recolección solar

El sistema de recolección solar corresponde a la configuración de los reflectores, considerando el área de captación y volumen ocupado para la movilización del colector solar. Entre los aspectos más importantes es su practicidad de transportarlo y ensamblaje.

Tabla 2.5 Desarrollo de alternativas de solución módulo 1

| Alternativas | Características | Representación Gráfica |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Alternativa 1. Reflector de paneles individuales con doblez central</p> | <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fácil de transportar. - Mayor captación de energía solar. - Fácil ensamblaje. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anillo central para mantener fijo el sistema. - Soporte inferior de encaje de paneles reflectores. |  |
| <p>Alternativa 2. Reflector parabólico (único cuerpo)</p> | <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de alta concentración. - Admite recipientes de mayor diámetro. - Gran apertura de área de captación. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de un solo cuerpo. - Difícil de movilizar. - Compleja elaboración de curvatura. |  |
| <p>Alternativa 3. Reflector de paneles plegables</p> | <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fácil ensamblaje y transportar. - Geometría básica. - Amplia área de captación. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Complejidad de construcción. - Paneles extensos. - Bajo nivel de captación de energía. |  |

Fuente: propia

Los criterios de evaluación de alternativas para el módulo 1 son los siguientes: ensamblaje, transportabilidad, construcción y captación energética. El ANEXO II desarrolla la evaluación de criterios para el módulo 1 por medio del método de criterios ponderados. La conclusión se observa en la **Tabla 2.6** y se obtiene como resultado que la alternativa 1 es la mejor opción en la configuración de los reflectores.

Tabla 2.6 Conclusiones de evaluación de módulo 1

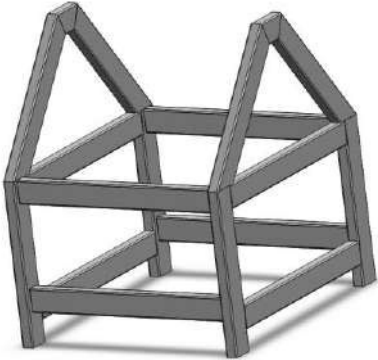

| Conclusión | Ensamblaje | Transportable | Construcción | Captación energética | Σ | Prioridad |
|---------------|------------|---------------|--------------|----------------------|----------|-----------|
| Alternativa 1 | 0.083 | 0.083 | 0.083 | 0.146 | 0.396 | 1 |
| Alternativa 2 | 0.083 | 0.033 | 0.033 | 0.146 | 0.296 | 3 |
| Alternativa 3 | 0.083 | 0.083 | 0.083 | 0.058 | 0.308 | 2 |
| Suma | | | | | 1 | |

Fuente: propia

Módulo 2: Estructura

La estructura es la base en la cual se sostiene el sistema de cámara de cocción y reflectores, soporta el peso neto que conforma la cocina solar por medio de elementos estructurales que proporcionan estabilidad y rigidez.

Tabla 2.7 Alternativas de solución módulo 2

| Alternativas | Características | Representación Gráfica |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Alternativa 1. Estructura de soporte fijo | <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema adaptativo modular. - Bajo costo. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de dos personas para movilizarlo. - Superficie totalmente plana. |  |
| Alternativa 2. Estructura de soporte semimóvil | <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fácil de movilizar. - Adaptabilidad a la superficie del terreno. - Sistema adaptativo modular. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ocupa mayor espacio. - Superficie totalmente plana. |  |

Fuente: propia

Los criterios de evaluación de alternativas para el módulo 2 son los siguientes: costo, movilidad, adaptación modular, Funcionalidad. El ANEXO III desarrolla la evaluación de criterios para el módulo 2 por medio del método de criterios ponderados.

Tabla 2.8 Conclusiones de evaluación para módulo 2

| Conclusión | Costo | Movilidad | Adaptación modular | Funcionalidad | Σ | Prioridad |
|---------------|-------|-----------|--------------------|---------------|----------|-----------|
| Alternativa 1 | 0.133 | 0.117 | 0.075 | 0.100 | 0.425 | 2 |
| Alternativa 2 | 0.067 | 0.233 | 0.075 | 0.200 | 0.575 | 1 |
| Suma | | | | | 1 | |



Fuente: propia

La **Tabla 2.8** muestra la conclusión del módulo 2 con mejor opción la alternativa 2 para la configuración de la estructura semimóvil.

Módulo 3: Sistema de estabilización del recipiente

El sistema de estabilización está enfocado a mantener horizontalmente el recipiente dentro de la cámara de cocción, sin dejar derramar los alimentos dentro de la olla, por el movimiento de rotación del eje central para direccionar perpendicularmente los rayos solares a la cámara de cocción. Las posibles soluciones se detallan en la **Tabla 2.9**.

Tabla 2.9 Alternativas de solución módulo 3

| Alternativas | Características | Representación Gráfica |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Alternativa 1. Soporte de contenedor fijo | <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema fijo no necesita de intervención externa. - Sistema estable y rígido. - Construcción. - Estabilidad. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensamblaje complejo. - Adaptabilidad de recipientes - Costo. |  |
| Alternativa 2. Soporte de contenedor tipo Bessel | <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Móvil para ingreso de recipiente. - Ensamblaje. - Construcción <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adaptabilidad de recipientes. - Estabilidad. - Costo. |  |

Fuente: propia

Los criterios de evaluación de alternativas para el módulo 3 son los siguientes: estabilidad, costo, construcción y ensamblaje. El ANEXO IV desarrolla la evaluación de criterios para el módulo 3 por medio del método de criterios ponderados para el sistema de estabilidad del recipiente. La conclusión se observa en la **Tabla 2.10**, lo cual se deduce que la alternativa 2 es la mejor opción para el sistema de estabilización del recipiente.

Tabla 2.10 Conclusiones de evaluación para módulo 3

| Conclusión | Estabilidad | Costo | Construcción | Ensamblaje | Σ | Prioridad |
|---------------|-------------|-------|--------------|------------|----------|-----------|
| Alternativa 1 | 0.125 | 0.067 | 0.067 | 0.175 | 0.433 | 2 |
| Alternativa 2 | 0.125 | 0.133 | 0.133 | 0.175 | 0.567 | 1 |
| | | | | Suma | 1 | |

Fuente: propia

Solución virtual de la cocina solar de uso doméstico.

Por medio de la evaluación de alternativas se determinaron las mejores configuraciones para los elementos que conforman la cocina solar y estos fueron modelados en software CAD, en la **Figura 2.4** se observa la solución virtual de la cocina solar.

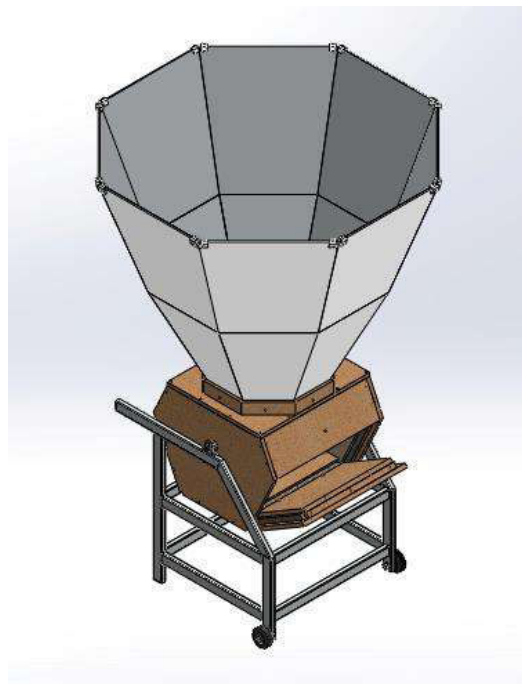


Figura 2.4 Solución virtual ensamblada en software CAD

Fuente: propia

2.3 Diseño térmico

Para definir el diseño virtual es necesario dimensionar los componentes elegidos de las alternativas propuestas, la parte fundamental es determinar el calor útil entregado por los reflectores a la superficie del vidrio y por medio de mecanismos de transferencia de calor alcance a elevar la temperatura del agua del recipiente.

Se debe tomar en cuenta las siguientes suposiciones y datos importantes para el análisis y procesamiento del estudio térmico, para determinar las condiciones de operación.

- La irradiación normal directa es estimada por las condiciones de un año típico meteorológico, **Tabla 2.2** [29].
- La dirección de incidencia de los rayos solares es de forma uniforme y paralela.
- Las propiedades de los materiales son estimadas en condiciones ideales.
- La superficie de los reflectores al ser compuesta de láminas de aluminio pulido posee una reflectividad y transmisividad constante, no depende de la temperatura.
- No existe sombra en el área de captación solar.

Balance de energía en la Cubierta transparente

Para determinar el calor ganado por parte de la radiación incidente hacia la cámara de cocción, se establece un balance de energía en la superficie de la cubierta de vidrio, **Ecuación 2.2** la cual determina las ganancias y pérdidas de calor en el sistema.

$$\Delta E_{sistema} = E_{in} - E_{out}$$

$$q_{\acute{u}til} = q_{abs} - (q_{conv} + q_{rad})$$

Ecuación 2.2 Balance de energía en la entrada a la cámara de cocción.

La **Figura 2.5** representa esquemáticamente el balance de energía en la cubierta de vidrio, representando: calor útil $q_{\acute{u}til}$ (incógnita), ganancia de calor q_{abs} y las pérdidas de calor.

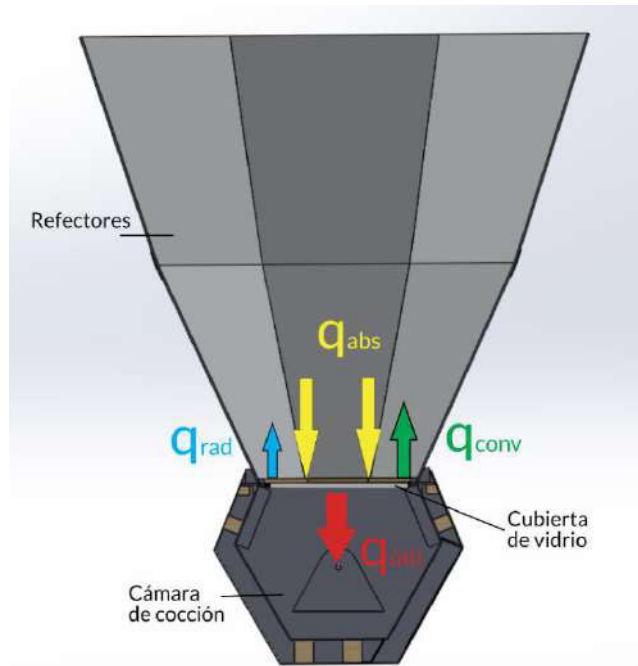


Figura 2.5 Esquema balance de energía en la cubierta de vidrio
Fuente: propia

Energía absorbida por los reflectores

Para la obtención de la ganancia de energía incidente por los reflectores se establece la **Ecuación 2.3** que, por medio de la irradiancia terrestre, área de apertura y un rendimiento óptico, se determina la energía absorbida en la superficie del vidrio.

$$q_{abs} = \eta_{or} * A_a * I$$

Ecuación 2.3 Energía recibida por la radiación del sol

Donde:

q_{abs} : Ganancia de energía por incidencia directa desde los reflectores [W]

η_{or} : rendimiento óptico de los reflectores

$A_a = 0.912 \text{ m}^2$: Área de apertura, calculado por software CAD

I : Irradiancia percibida para la cocina solar [W/m^2]

Para obtener el valor de Irradiación solar en la ubicación geográfica FIM se reemplaza los datos de la **Tabla 2.1** en la Ecuación 2.1

$$I_{cal} = 1367 \left[0.29 \cos(-0.21) + 0.52 \frac{6.53}{11.1} \right]$$

$$I_{cal} = 805.96 [W/m^2]$$

Se compara con la Irradiación promedio de la **Tabla 2.2** y se utiliza el valor de irradiación de $815 W/m^2$.

- **Rendimiento óptico de los reflectores**

$$\eta_{or} = \alpha * \rho * \tau * F_f$$

Ecuación 2.4 Rendimiento óptico de los reflectores.

Donde:

η_{or} : Rendimiento óptico de los reflectores

$\alpha = 0.92$: Absortividad del absorbedor cuerpo negro [26][30]

$\rho = 0.88$: Reflectividad de los reflectores del papel de aluminio pulido [30]

$\tau = 0,8$: Transmisividad del vidrio [26][30]

F_f : Factor de forma

$$F_f = \frac{A_{ur}}{A_r}$$

Ecuación 2.5 Factor de forma de reflectores

Donde:

$A_{ur} = 2.25 m^2$: Área de útil de los reflectores sin sombra, calculado por software CAD

$A_r = 2.35 m^2$: Área de los reflectores, calculado por software CAD

$$F_f = \frac{2.25}{2.35} = 0.96$$

El cálculo del rendimiento óptico se expresa de la siguiente manera y si valor es del 69%

$$\eta_{or} = 0.92 * 0.88 * 0.80 * 0.96 = 0.62$$

Por lo tanto, la ganancia de calor solar por los reflectores, mediante la **Ecuación 2.3Ecuación 2.6** es:

$$q_{abs} = 0.62 * 0.91 * 815$$

$$q_{abs} = 460.92 [W]$$

Cálculo de pérdidas de calor

Las pérdidas se toman en cuenta como pérdida de calor por convección (q_{conv}) y pérdida de calor por radiación (q_{rad}), estas variables de valores de la **Ecuación 2.2** se definen por los mecanismos de transferencia de calor.

- **Pérdida de calor por Convección**

$$q_{conv} = h_{conv}A_s(T_s - T_{amb})$$

Ecuación 2.6 Ley de enfriamiento de Newton

Fuente: [11]

Dónde:

q_{conv} : tasa de transferencia de calor por convección [W]

$T_s = 80^{\circ}C$: temperatura superficial

$T_{amb} = 16^{\circ}C$: temperatura del ambiente promedio, **Tabla 2.2**

$A_s = 0.07 m^2$: área superficial del vidrio perpendicular al gradiente de temperatura, calculado por software CAD

h_{conv} : coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m²K]

Para simplificar cálculos se estima la temperatura superficial del vidrio en la parte exterior con trabajos experimentales con procesos de operación y diseño similares, este valor es proporcionado por el componente A del trabajo de titulación.

El coeficiente de transferencia de calor por convección entre el vidrio y el ambiente es expresado por las correlaciones para flujo natural externo, sobre una placa plana (vidrio). Las propiedades del fluido son calculadas con la temperatura de película

$$T_f = \frac{(T_s + T_{amb})}{2}$$

Ecuación 2.7 Temperatura de película

La **Tabla 2.11** se realizó mediante una interpolación de propiedades termo físicas de temperatura de película (321.15 K), por medio del ANEXO V [10].

Tabla 2.11 Propiedades del aire a temperatura de película

| Temperatura de película | Viscosidad cinemática (ν) | Conductividad térmica (k) | Número de Prandtl (Pr) | Difusividad (α_R) |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|
| 321.15 [K] | 1.802E-05 [m^2/s] | 0.028 [$W/m \cdot K$] | 0.704 | 2.563E-05 [m^2/s] |

Fuente: propia

El aire en el ambiente dentro de los reflectores se considera flujo natural, porque los reflectores cubren el flujo interno y cumple con el número de Reynolds (Re_L) $< 5 \cdot 10^5$, los cálculos se desarrollan por correlaciones empíricas para placa horizontal en el caso A donde se tiene aire en régimen laminar y la temperatura de la superficial del vidrio es mayor a la temperatura del fluido. El número de Rayleigh es:

$$R_{a,L} = \frac{g * \beta * (T_{amb} - T_s) * L_c^3}{\nu * \alpha}$$

Ecuación 2.8 Número de Rayleigh

Donde:

$R_{a,L}$: Número de Rayleigh

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$: Fuerza de gravedad

$L_c = 0.075 \text{ m}$: Longitud característica de vidrio

ν : Viscosidad cinemática [m^2/s], **Tabla 2.11**

α_R : Difusividad [m^2/s], **Tabla 2.11**

$\beta = 1/T$: Coeficiente de expansión volumétrica

$$R_{a,L} = \frac{9.81 * 0.00311 * (16 - 80) * 0.075^3}{1.802 \times 10^{-5} * 2.563 \times 10^{-5}} = 1.79 \times 10^6$$

La expresión que se adapta a estas consideraciones es la **Ecuación 2.9**, que sirve para calcular el Número de Nusselt.

$$Nu = 0.54 * Ra_{a,L}^{\frac{1}{4}} = \frac{h_{conv} * L_c}{k_f}$$

Ecuación 2.9 Ecuación de Nusselt

$$Nu = 0.54 * (1.79 * 10^6)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 19.74$$

Se despeja el coeficiente de convección de la **Ecuación 2.9**.

$$h_{conv} = \frac{Nu * k_f}{L_c}$$

$$h_{conv} = \frac{19.74 * 27.88 * 10^{-3}}{0.075}$$

$$h_{conv} = 7.33 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Por lo tanto, la pérdida de calor por convección entre el vidrio y el ambiente utilizando la **Ecuación 2.6** es:

$$q_{conv} = 7.33 * 0.071 * (80 - 16)$$

$$q_{conv} = 33.18 \text{ [W]}$$

- **Pérdida de calor por Radiación**

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{alr}^4)$$

Ecuación 2.10 Ley de Stefan-Boltzmann

Fuente: [11]

Dónde:

q_{rad} : tasa de transferencia de calor por radiación [W]

$\varepsilon = 0.9$: emisividad del vidrio, es la capacidad de un cuerpo de emitir energía térmica por la temperatura que posee, la emisividad tiene un rango $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

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

$A = 0.071 \text{ m}^2$: área superficial perpendicular al gradiente de temperatura [m^2]

$T_s = 353.15 \text{ K}$: temperatura absoluta superficial

$T_{alr} = 289.15 \text{ K}$: temperatura absoluta de los alrededores

$$q_{rad} = 0.9 * 5.67 \times 10^{-8} * 0.071(353.15^4 - 289.15^4)$$

$$q_{rad} = 30.89 \text{ [W]}$$

Calor Útil que ingresa a la cámara de cocción

$$q_{\text{útil}} = 460.92 - (33.18 - 30.89)$$

$$q_{\text{útil}} = 396.85 \text{ [W]}$$

El valor del calor útil de 397 [W] se proporciona al componente A relacionado con el Trabajo de Integración Curricular, para la realización del análisis térmico dentro de la cámara de cocción y así determinar la eficiencia de la cocina solar.

2.4 Diseño mecánico

Dimensionamiento del eje

De acuerdo con las partes diseñadas en el programa CAD, se realiza el análisis de los componentes que lo conforman para asegurar su vida útil y operatividad de la cocina solar.

El eje es de gran importancia, ya que sostiene el peso de la mayoría de los componentes y mantiene estable el sistema Bessel junto con el recipiente, para una mejor manipulación de los alimentos.

El material escogido es acero A36 por sus prestaciones mecánicas y su disponibilidad en el mercado. El acero A36 posee un límite de resistencia a la tracción $S_{ut} = 450 \text{ MPa}$ y límite de resistencia a la fluencia $S_y = 250 \text{ MPa}$ [31].

Diagrama de cuerpo libre (DCL)

La **Figura 2.6** muestra el diagrama de cuerpo libre del eje con las reacciones en los soportes fijos de los extremos y las cargas aplicadas del peso de los componentes acorde a las longitudes que corresponden.

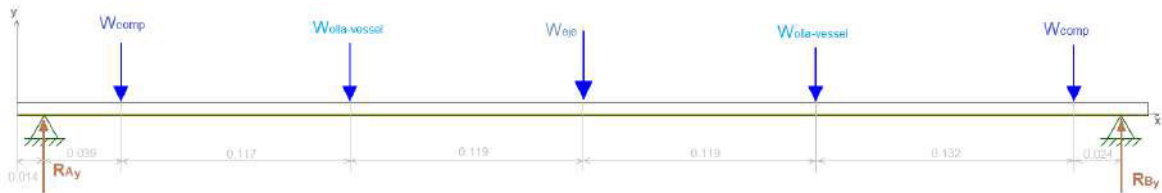


Figura 2.6 Diagrama de cuerpo libre del eje

Fuente: propia

Las piezas elaboradas en el programa CAD están definidas por el material escogido y por medio de las propiedades físicas de cada componente se identifica los pesos requeridos, los mismos que al ser calculados se obtiene las cargas respectivas, como se observa en la **Figura 2.7**. En el esquema de cargas se realiza un análisis de las cargas para el cálculo de las reacciones en los apoyos R_{Ay} y R_{By} . Además, se grafican los diagramas de fuerza cortante y momento flector.



Figura 2.7 Diagramas de Cortantes y Momentos en el eje.

Fuente: propia

Del diagrama de momento flector de la **Figura 2.7**, se obtiene el momento máximo a la distancia de 0.170 [m] con un valor de 11.42 [Nm]. Este valor interviene en el cálculo de diámetro óptimo para el eje, por lo cual se realiza el análisis de fatiga del eje.

Diseño del eje

El análisis de fatiga se cuantifica el efecto de las condiciones de operación del eje, así como factores específicos por medio de la ecuación del límite de resistencia a la fatiga [32].

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e$$

Ecuación 2.11 Límite de resistencia a la fatiga en punto específico.

Fuente:[32]

Los factores de modificación del límite de resistencia a la fatiga son los siguientes:

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Ecuación 2.12 Factor de acabado superficial

El factor de superficie está en función del acabado superficial que tiene el elemento a estudiar en este caso se considera que el eje es laminado den frío, por lo tanto, se tiene los valores de las variables “a” y “b” de la de parámetros en el facto de la condición superficial del Marín ANEXO V.

$$k_a = 4.51(450)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.89$$

El k_b corresponde al factor de tamaño, pero el eje al estar en un estado no rotativo, se calcula un diámetro equivalente ANEXO V en función del diámetro estimado del eje para los cálculos respectivos.

$$d_e = 0.370(16) = 5.92$$

$$k_b = 1.24d_e^{-0.107}$$

Ecuación 2.13 Factor de tamaño del eje

$$k_b = 1.24(5.92)^{-0.107} = 1.02$$

El eje trabaja a carga por flexión por lo tanto el factor de carga es 1.

$$k_c = 1$$

El factor de temperatura es considerado ya que el eje al atravesar la cámara de cocción está expuesto a la temperatura interna de 94°C, esta temperatura se referencia del componente A de este trabajo de titulación y como promedio de operación se estima que el eje estará a 100°C, el valor de k_b se extrae del ANEXO V del factor de temperatura.

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} = 1.020$$

El factor de confiabilidad se toma del ANEXO V con una confiabilidad del 90%

$$k_e = 0.897$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 0.5(450)$$

Ecuación 2.14 El límite de resistencia a la fatiga de la pieza.

$$S'_e = 225 [MPa]$$

Se remplazan las variables con los valores calculados en la **Ecuación 2.11**.

$$S_e = 0.89 * 1.02 * 1 * 1.02 * 0.897 * 225$$

$$S_e = 186.88 [MPa]$$

Los factores k_t y k_{ts} de concentrador de esfuerzo en un eje redondo con agujero transversal, se obtiene del ANEXO V. Se asume el valor del diámetro y por medio del análisis de las curvas se obtienen los valores correspondientes para cada factor de esfuerzos $k_t = 2$; $k_{ts} = 2.7$. Se considera $k_f = k_t$ y $k_{fs} = k_{ts}$. El factor de seguridad considerado para efectos de cálculos es $n = 2$.

Para determinar el diámetro del eje se utiliza la ecuación despejada de Goodman.

$$d_{eje} = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(k_f M_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

Ecuación 2.15 Diámetro del eje por medio de criterio de fatiga de Goodman

$$d_{eje} = \left(\frac{16 * 2}{\pi} \left\{ \frac{1}{186.88 \times 10^6} [4(2 * 11.42)^2]^{1/2} + \frac{1}{450} [3(2.7 * 0)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d_{eje} = 0.0135 \text{ [m]} = 13.5 \text{ [mm]}$$

El cálculo del diámetro se considera conservador al tener relación al diámetro estimado en las consideraciones principales, por lo tanto, se busca en el mercado un diámetro de eje comercial, el cual es de 15 [mm] para ejes de acero A36, ANEXO V.

Con el diámetro escogido se recalculan los factores de concentración a fatiga: $k_t = 1.9$; $k_{ts} = 2.5$.

$$k_f = 1 + 0.78(1.9 - 1) = 1.70$$

$$k_{fs} = 1 + 0.84(2.5 - 1) = 2.26$$

La mayoría de los factores se mantienen constantes $k_a = 0.89$; $k_c = 1$; $k_d = 1.02$; $k_e = 0.897$; $S'_e = 225 \text{ [MPa]}$. EL factor de tamaño debe ser recalculado.

$$k_b = 1.24(5.55)^{-0.107} = 1.03$$

Por lo tanto, el nuevo Limite de resistencia a la fatiga en el punto del agujero transversal es: **Ecuación 2.11**.

$$S_e = 0.89 * 1.03 * 1 * 1.02 * 0.897 * 225$$

$$S_e = 188.71 \text{ [MPa]}$$

Con este valor se determina el factor de seguridad del elemento, mediante el criterio de diseño de ASME-elíptica de la **Ecuación 2.16**.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}$$

Ecuación 2.16 Factor de seguridad de ASME-elíptica

$$\sigma'_a = \frac{32k_f M_a}{\pi d^3} = \frac{32 * 1.7 * 11.42}{\pi * 0.015^3} = 58.59 \text{ [MPa]}$$

$$n = \frac{S_e}{\sigma'_a} = \frac{188.71}{58.59}$$

$$n = 3.2$$

El factor de seguridad calculado es mayor al estimado, esto significa que el cálculo del nuevo diámetro del eje es efectivo y por su disponibilidad en el mercado es el escogido un eje de acero A36 de diámetro de 15 [mm].

Estructura de la cocina solar

La estructura es el componente de soporte de los demás elementos de la cocina solar, esta cumple con la función de mantener a una altura prudente para la manipulación del recipiente contenedor de alimentos y evitar que la cámara de cocción esté en contacto con el suelo.

La geometría de la estructura de la cocina solar está definida para brindar facilidades al usuario para poder transportar el prototipo y por facilidad de construcción de las piezas que conforman la misma, con cortes rectos y montaje simple.

Para identificar el comportamiento de la estructura se utiliza el software CAD-CAM en el apartado de simulación estática. El estudio se realiza en base al modelo de estructura, la adición de las cargas puntuales corresponde al peso de los componentes y son representadas por las reacciones en el eje Y del apartado de dimensionamiento del eje, como se observa en la **Figura 2.8**. La estructura consta de tubo rectangular de 20 x 40 x 1.5 [mm] de acero A36 comercial y utilizado en las metalmecánicas, por lo que se puede ocupar materiales reutilizados.

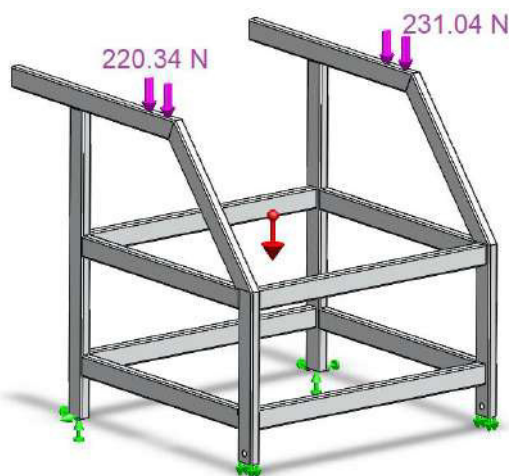


Figura 2.8 Estructura con cargas respectivas.

Fuente: propia

2.5 Materiales seleccionados

El enfoque de materiales sostenibles se describe en la utilización de materiales que pueden ser reutilizables o que son obtenidos de subprocesos, aprovechando la optimización de recursos y la metodología de la economía circular. Por lo cual, al tener establecido dimensiones y características operativas, se definen los siguientes materiales para la construcción del prototipo de cocina solar.

La madera ocupada en la tapa de la cámara de cocción y sistema de fijación de los reflectores es madera contrachapada. En similitud con el componente A del trabajo de titulación, se escoge este tipo de madera por ser considerada sostenible y de gran acceso. Al tener mejores prestaciones de durabilidad y resistencia para ser ocupada en exteriores, la facilidad de mecanizado es importante para la elaboración de las piezas constructivas [33].

Los reflectores constan de material sostenibles llamado PVC Sintra, básicamente es PVC expandido que tiene gran resistencia a la intemperie y a las rayaduras, los reflectores presentan un ligero doblez central y este producto se comporta bien para moldear al calor adquiriendo la forma adecuada [34]. Es ligero para poder ser transportado de forma sencilla y mantiene de forma adecuada los tonillos y pasadores. Los reflectores están recubiertos por láminas de aluminio altamente reflectivo.

En cuanto a los enganches de los reflectores se los realiza para mantener la forma adecuada de los reflectores y es del mismo material termo conformable de los reflectores (PVC Sintra).

La estructura es la unión de varios elementos estructurales que permiten sostener los módulos de la cocina solar, así como facilitar el transporte de todo el equipo en un solo conjunto. El material escogido para esta parte es acero ASTM A36 en la presentación de un tubo rectangular de 40 x 20 x 1.5 [mm] [35], este material se lo contempla en el eje y porta recipiente con un recubrimiento de pintura negra, por la factibilidad de stock a nivel nacional y como consulta es uno de los perfiles ocupados en aplicaciones estructurales en la metalmecánica.

Todos los materiales son comunes de encontrar en distintos sectores como rechazos y/o retazos de otros productos, además no se precisa los materiales específicos para la construcción del prototipo, se pueden cambiar con materiales accesibles con similares prestaciones.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

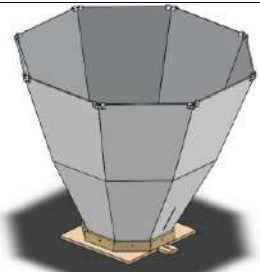


Por medio de un análisis de los tipos de cocinas solares, sus respectivos rangos de temperatura y configuraciones, se escogió un modelo combinado de horno y cocina solar de paneles. Esto permite determinar la configuración final basado en bocetos y parámetros de operación por medio del diseño térmico y mecánico, posteriormente se desarrolla un modelo CAD acorde a las especificaciones técnicas, para obtener los planos de construcción. Y por último se desarrolla un análisis de costos para contemplar el valor del prototipo de cocina solar.

3.1 Análisis de resultados

Alternativas

La casa de la calidad (ANEXO I) es un resultado del análisis de los deseos de la parte del cliente y evaluados con la parte ingenieril, que permite identifica los requerimientos del prototipo y los puntos de mejora del producto para satisfacer al cliente aportando un criterio técnico.

Tabla 3.1 Alternativas seleccionadas de módulos

| Módulo | Alternativa seleccionada | Representación gráfica |
|----------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Módulo 1 | Reflector de paneles individuales con doblez central |  |
| Módulo 2 | Estructura de soporte semimóvil |  |
| Módulo 3 | Soporte de contenedor tipo Bessel |  |

Fuente: propia

En la sección de seleccionar la mejor alternativa para los módulos de la cocina solar se evaluó los diseños preliminares por medio de sus ventajas, desventajas y prestaciones para cumplir el objetivo de las especificaciones técnicas. Por medio de la evaluación por criterios ponderados cada módulo tiene su análisis cuantitativo y cualitativo, los resultados de los tres módulos desarrollados se observan en la **Tabla 3.1**. Los módulos diseños cumplen con las funciones específicas en conjunto con los módulos del componente A del trabajo de titulación.

Diseño térmico

Los resultados del diseño térmico en base a los cálculos desarrollados en la metodología se presentan en la siguiente **Tabla 3.2**, en la cual se presenta los valores estimados para la determinación de los parámetros operacionales.

En el diseño térmico del prototipo de cocina solar se presentan los cálculos significativos para la parte energética dentro de un balance de energía, con ganancias y pérdidas de calor en la superficie de entrada de calor (vidrio).

Tabla 3.2 Resultados del diseño térmico

| Irradiación solar | | $I = 815 [W/m^2]$ |
|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eficiencia óptica de los reflectores | $\eta_{or} = 0.62$ | $\alpha = 0.92$ $\rho = 0.88$ $\tau = 0,8$ $F_f = 0.96$ |
| Número de Rayleigh | $R_{a,L} = 1.79 \times 10^6$ | $L_C = 0.075 \text{ m}$ $T_s = 80^\circ\text{C}$ $T_{amb} = 16^\circ\text{C}$ $\alpha_R = 1.802\text{E} - 05$ $\nu = 1.802 \times 10^{-5} [m^2/s]$ $\alpha_R = 2.563 \times 10^{-5} [m^2/s]$ |
| Nusselt | $Nu = 19.74$ | $R_{a,L} = 1.79 \times 10^6$ |
| Coefficiente de convección | $h_{conv} = 7.33 [W/m^2K]$ | $Nu = 19.74$ $k_f = 27.88 \times 10^{-3}$ $L_C = 0.075 \text{ m}$ |

Fuente: propia

La **Tabla 3.2** expone los valores calculados para la irradiación solar captada por los reflectores de $815 [W/m^2]$, comparado por los valores expuesto en el estudio de un año típico meteorológico en la **Tabla 2.2** se tiene una buena estimación del valor promedio. Las otras expresiones se calculan en función de las variables de la columna derecha y se obtienen de las estimaciones climatológicas de operación.

Por medio de un balance de energía específica el calor útil que ingresa en la cámara de cocción y es proporcionado al componente A del trabajo de titulación, para realizar el análisis térmico dentro de la cámara de cocción.

Tabla 3.3 Calor útil (balance de energía)
Balance de energía

| | | |
|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ganancia de energía | $q_{abs} = 460.92$ | $\eta_{or} = 0.62$ $A_a = 0.912 \text{ m}^2$ $I = 815 [W/m^2]$ |
| Perdida de calor por convección | $q_{conv} = 33.18 [W]$ | $T_s = 80^\circ C$ $T_{amb} = 16^\circ C$ $A_s = 0.07 \text{ m}^2$ v |
| Perdida de calor por radiación | $q_{rad} = 30.89 [W]$ | $\varepsilon = 0.9 \text{ (vidrio)}$ $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^2}$ $A = 0.071 \text{ m}^2$ $T_s = 353.15 \text{ K}$ $T_{atr} = 289.15 \text{ K}$ |
| Calor Útil | $q_{\acute{u}til} = 396.85 [W]$ | q_{abs} q_{conv} q_{rad} |

Fuente: propia

La eficiencia termodinámica de la cocina solar es del 40%, es un valor dentro de los estándares de la eficiencia de las cocinas solares comerciales, cumpliendo con un mejor rango de operación al disminuir el tiempo de cocción de alimentos con un tiempo calculado de 52 minutos, estos cálculos y resultados son expuestos por el análisis térmico del componente A.

Diseño mecánico

El apartado de la simulación de la estructura arroja los esfuerzos y deformaciones máximas en los puntos críticos de los miembros de la estructura, este estudio está enfocado en la aplicación de las cargas directas en los puntos de apoyo del equipo.

La **Figura 3.1** representa las tensiones en el eje Y de estudio y con una escala real de deformación, los valores de esfuerzos en los agujeros de los soportes son menores al límite elástico del material que lo conforma, los valores máximos y mínimos en la parte de unión con el perfil vertical corresponde a la sección crítica del componente con un valor máximo de 7.29 [MPa] y el resto de la estructura es suficientemente resistente que no compromete las secciones contiguas.

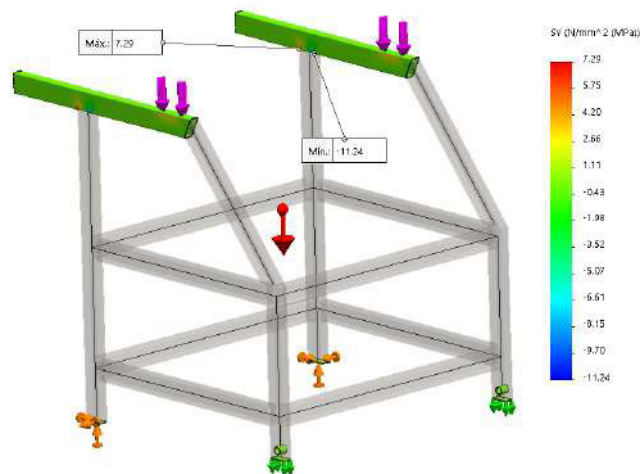


Figura 3.1 Esfuerzos en la estructura

Fuente: propia

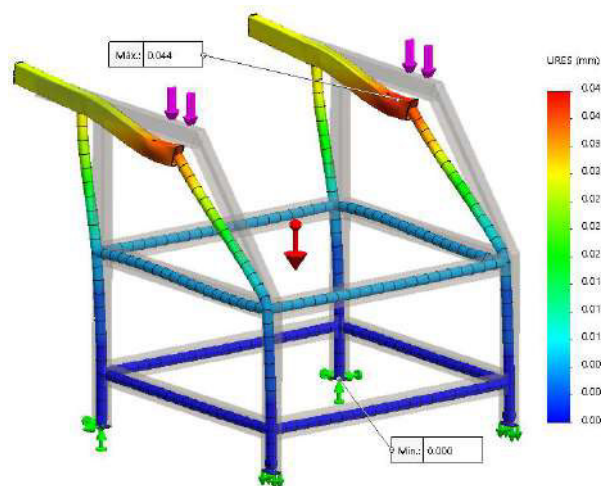


Figura 3.2 Desplazamiento de los elementos de la estructura

Fuente: propia

El desplazamiento de los elementos estructurales muestra la máxima deformación que puede producir las cargas puntuales en los puntos de apoyo, el máximo desplazamiento es de 0.044 [mm] en los apoyos del eje, la **Figura 3.2** muestra el comportamiento de las piezas de la estructura de forma escalar la deformación, para hacer significativo el desplazamiento en el eje Y. El elemento estructural vertical superior tiene mayor afectación, pero es resistente a las cargas, los desplazamientos calculados son permisibles, sin sufrir falla estructural.

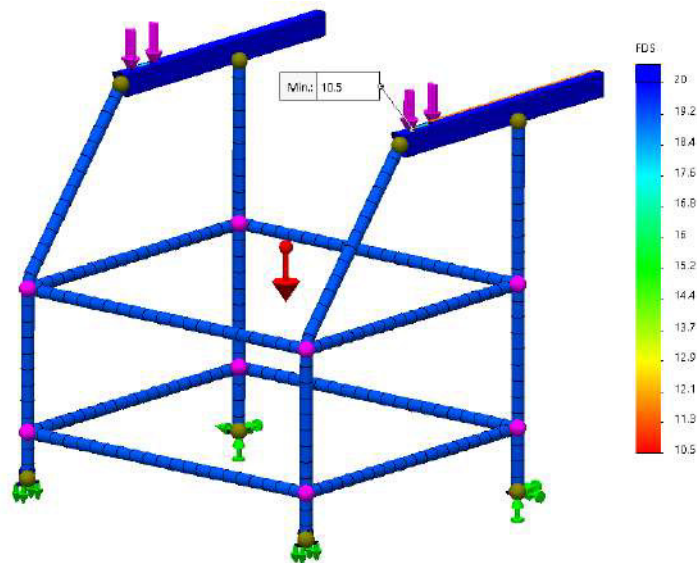


Figura 3.3 Factor de seguridad en la estructura

Fuente: propia

El factor de seguridad definido en la **Figura 3.3** es la resistencia que tendrá la estructura frente a la tendencia a fallar, el valor mínimo de factor de seguridad es de 10.5, esto quiere decir que trabaja en buenas condiciones y que por el criterio de resistencia mecánica se deduce que la estructura soporta las cargas aplicadas.

Modelo CAD de prototipo de cocina solar

Definidos los diseños térmico y mecánico, se dimensionan los elementos que rarifican la validez del prototipo de cocina solar, al modelarlo en el software CAD y establecer las condiciones de operación.

Se obtuvo el modelo final del prototipo de cocina solar con dimensiones adecuadas para su montaje y movilización, las dimensiones son: 0.57 x 0.5 x 1.71 [m] y posee un peso

aproximado de 55 [kg], la parte del recipiente contenedor está estructurado para una capacidad de 2.5 [L], abastece la preparación de 4 porciones de alimentos, que representa a un núcleo familiar. Consolidados los módulos apropiados se realiza el ensamble general de todos los elementos de cada módulo con sus restricciones y configuración de ensamblaje. La **Figura 3.4** representa el ensamble total del prototipo de cocina solar.

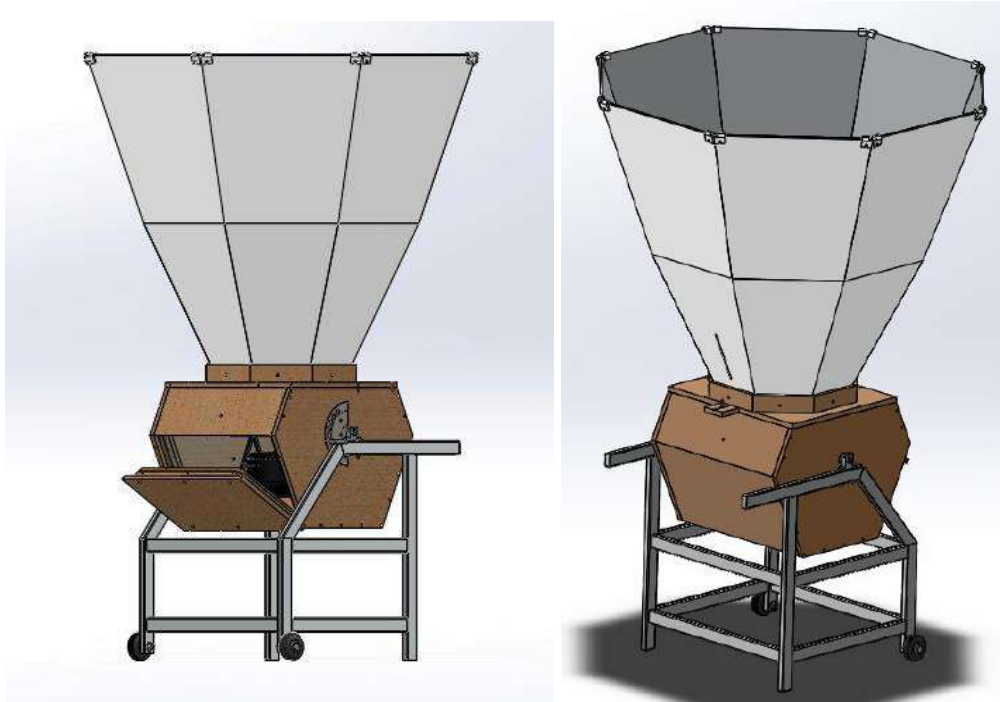


Figura 3.4 Diseño CAD definitivo del prototipo de cocina solar

Fuente: propia

Los componentes dimensionados y desarrollados en el software CAD son base para la creación de los planos de conjunto, subconjunto y de taller. Se muestran los planos en el ANEXO VI.

Análisis de costo

El análisis de costos contempla todos los materiales, equipos, mano de obra e implementos necesarios para la construcción de la cocina solar, en base a los valores referenciales conseguidos por proformas y salarios referenciados de manufactura en el Ecuador, en cada ámbito laboral [36].

La **Tabla 3.4** detalla la materia prima, cantidad necesaria y costos de los productos, para especificar cual es costo general de los materiales del componente B del trabajo de titulación.

Tabla 3.4 Costos de materia prima

| Elemento/Especificación | Cantidad | Costo unitario [USD] | Costo total [USD] |
|--------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Rueda PGL de 80mm x ϕ 12mm | 2 | \$ 1.40 | \$ 2.80 |
| Vidrio transparente ϕ 300 x 4mm | 1 | \$ 4.50 | \$ 4.50 |
| Tubo rectangular 40x20x1.5 a36 | 7.45 [m] | \$ 2.30 | \$ 17.14 |
| Varilla cuadrada 8mm | 2.15 [m] | \$ 0.90 | \$ 1.94 |
| Eje de ϕ 15mm ASTM A36 | 0.58 [m] | \$ 1.90 | \$ 1.10 |
| Plancha PVC Sintra | 1 | \$ 25.80 | \$ 25.80 |
| Papel aluminio adhesivo | 4 | \$ 3.50 | \$ 14.00 |
| Cinta adhesiva de aluminio 50mm x20m | 1 | \$ 8.00 | \$ 8.00 |
| Madera reciclada | 1 | \$ 3.00 | \$ 3.00 |
| | | TOTAL | \$ 78.27 |

Fuente: propia

Los elementos normalizados se especifican en la **Tabla 3.5** y los elementos consumibles en la **Tabla 3.6**, son seleccionados conforme a las especificaciones del diseño CAD y que ensamblan de forma correcta con los equipos de elaboración.

Tabla 3.5 Costo de elementos normalizados

| Elemento/Especificación | Cantidad | Costo unitario [USD] | Costo total [USD] |
|-------------------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Pin pasador dividido 3.2x25mm | 2 | \$ 0.35 | \$ 0.70 |
| Perno hexagonal M12 x 3" (tuerca-arandela) | 2 | \$ 0.90 | \$ 1.80 |
| Perno hexagonal 1/4" x 2-1/2" (tuerca-arandela) | 4 | \$ 0.30 | \$ 1.20 |
| Tornillo aglomerado N8 1-1/4" | 13 | \$ 0.03 | \$ 0.39 |
| Tornillo aglomerado N8 1" | 24 | \$ 0.02 | \$ 0.48 |
| Rodamiento de bolas 15-35-14 | 2 | \$ 3.98 | \$ 7.96 |
| Soporte fijo para eje | 2 | \$ 2.40 | \$ 4.80 |
| Pasador cabeza plana m5 x 1/2" | 16 | \$ 0.35 | \$ 5.60 |
| | | TOTAL | \$ 22.93 |

Fuente: propia

Tabla 3.6 Costo elementos consumibles

| Elemento/Especificación | Cantidad | Costo unitario [USD] | Costo total [USD] |
|-------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Electrodo E6011 | 1 | \$ 4.60 | \$ 4.60 |
| Disco de corte | 1 | \$ 1.50 | \$ 1.50 |
| Disco de desbaste | 1 | \$ 2.00 | \$ 2.00 |
| Broca 1/2" metal | 1 | \$ 5.00 | \$ 5.00 |
| Broca 1/4" metal | 1 | \$ 2.70 | \$ 2.70 |
| Lija de madera | 1 | \$ 0.50 | \$ 0.50 |
| | | TOTAL | \$ 16.30 |

Fuente: propia

Los costos de equipos y mano de obra están determinados por un promedio de salarios sectoriales por actividad y operación, como se observa en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Costo de equipos y mano de obra

| Operación | Unidad | Cantidad [h] | Costo unitario [USD] | Costo total [USD] |
|---------------------|--------|--------------|----------------------|-------------------|
| Corte (amoladora) | hora | 1.5 | \$ 10.00 | \$ 15.00 |
| Taladrado (taladro) | hora | 0.5 | \$ 4.00 | \$ 2.00 |
| Doblado (dobladora) | hora | 0.5 | \$ 8.00 | \$ 4.00 |
| Soldadura (SMAW) | hora | 3 | \$ 10.00 | \$ 30.00 |
| | | | TOTAL | \$ 51.00 |

Fuente: propia

La **Tabla 3.8** expone el costo de construcción de la cocina solar, considerando los valores de los dos componentes del trabajo de titulación (resaltado en color naranja) con un valor de \$292.64. Por el tiempo invertido y la parte ingenieril se añade un valor de costo de diseño de acuerdo con las consideraciones tomadas y aproximación de los diseñadores con un valor total aproximado de \$1,100.00 por todo el trabajo de titulación.

Tabla 3.8 Costo total de prototipo de cocina solar

| | |
|-------------------------------------------------|--------------------|
| Materia prima | \$ 78.27 |
| Elementos normalizados | \$ 22.93 |
| Materiales consumibles | \$ 16.30 |
| Mano de obra y equipos | \$ 51.00 |
| SUBTOTAL costo componente B | \$ 168.50 |
| Costo componente A | \$ 124.14 |
| COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE COCINA SOLAR | \$ 292.64 |
| Costo de Diseño | \$ 800.00 |
| COSTO TOTAL DE PROTOTIPO DE COCINA SOLAR | \$ 1,092.64 |

Fuente: propia

En la actualidad el desarrollo de este tipo de cocinas solares es muy bajo a nivel nacional y no se cuenta con competidores directos para la realización de este tipo de proyectos para ser comparados en precios, pero se tiene un estimado de \$170 a \$250 como valor de cocinas solares con similares parámetros operativos de otros países. El valor conseguido de \$300 es adaptativo dentro del rango y mantiene la mejora en la utilización de materiales reutilizables y de origen sostenible se pueden abaratar costos, añadiéndole el beneficio de realizar el proceso de cocción de alimentos con la utilización de recursos energéticos renovables.

3.2 Conclusiones

Se diseñó un prototipo de cocina solar de uso domestico conforme a las especificaciones técnicas y utilidad para los usuarios, se propone un modelo combinado de horno solar con una cocina solar de paneles reflectores para incrementar la eficiencia en cuanto a captación y acumulación de energía. El prototipo tiene un peso de 55 kg, con medidas: 0.57 x 0.5 x 1.71 m, el transporte y ensamble lo puede realizar una persona. La capacidad de cocción de alimentos está dimensionada para cuatro porciones en una olla de 2.5 litros y como objetivo se propuso alcanzar la cocción de papas en un tiempo menor a 1 hora.

El trabajo de integración curricular es desarrollado como una alternativa de fuente de energía para la cocción de alimentos, aprovechando las ventajas en condiciones de operación que presenta la región sierra, en específico la ciudad Quito-Ecuador por su alto nivel de irradiación (850 W/m^2 al medio día) en condiciones favorables, validado por la recopilación bibliográfica y aproximación de cálculo.

Se evalúa las alternativas de los módulos por medio de criterios ponderados del modelo de diseño conceptual, para seleccionar la alternativa de diseño que englobe las necesidades del usuario y la parte técnica. Simplificando la necesidad de muchos sistemas, tomando en consideración los materiales a ser utilizados y los costos que tiene en el mercado.

Se realizó el estudio de diseño térmico de la recolección solar, donde se calcula la ganancia y pérdida de calor por medio de la configuración y dimensionamiento del arreglo de reflectores hacia el receptor (vidrio). El diseño mecánico caracteriza el comportamiento de la estructura y eje que soportan las cargas de los elementos que conforman la cocina solar, asegurando el propósito de los elementos estructurales con factores de seguridad superiores a 2.

Se utilizó software CAD para modelar los elementos que constituyen al equipo, al realizar el dimensionamiento de las partes y establecer las propiedades de materiales, permite visualizar una la solución virtual. Además, por ser una herramienta tecnológica permite trabajar de forma individual para posteriormente generar un ensamble general.

Al tener desarrollado el modelo definitivo del prototipo de cocina solar en el software CAD, se elabora 1 plano conjunto, 3 planos de taller y 9 planos de subconjunto. Correspondientes a los sistemas de: recolección solar, estructura y sistema de estabilización del recipiente desarrollados en presente componente, de acuerdo con los formatos de la facultad y al código de dibujo mecánico

Se elabora un análisis de costos, con un costo de construcción del prototipo de cocina solar de \$ 292.64. Tiene la ventaja de ser una sola inversión y que la energía requerida para la cocción de alimentos es indefinida, en comparación a procesos de cocción con GLP o electricidad. Es asequible en comparación con sus competidores, pero tiene un valor no atractivo para los usuarios, por lo cual es un producto viable en optimización y desarrollo de la energía renovable en procesos de cocción de alimentos.

El enfoque de economía circular y la utilización de materiales sostenibles en la elaboración de la cocina solar fomenta la utilización de materiales reciclados y contribuye al medio ambiente al disminuir el impacto ambiental. Se seleccionan los materiales accesibles para todo usuario y que se puede obtener de subprocesos o rechazos de otras actividades.

3.3 Recomendaciones

Implementar un mecanismo de seguimiento solar automatizado, para independizar el proceso de cocción de la necesidad de ajuste o direccionamiento manual del operario.

Considerar la locación de operación del equipo, que no tenga obstáculos en el recorrido solar y que las condiciones ambientales sean óptimas.

La superficie interna de los reflectores debe ser lo suficientemente lisa para asegurar la reflexión de los rayos solares acorde al diseño óptico y que el enfoque del arreglo de reflectores esté totalmente direccionado a la posición del sol.

Se recomienda realizar un proceso de mantenimiento de los elementos de forma sencilla, para proteger la eficiencia de la cocina solar, acorde a la utilización y por la operación del equipo en la intemperie.

Los materiales propuestos son adecuados para cumplir con los requerimientos técnicos, pero el diseño es adaptativo a los recursos del usuario y puede intercambiar los materiales de los elementos con propiedades similares.

Para disminuir el tiempo de cocción se puede realizar el estudio de un sistema adaptado en las paredes del recipiente que añada energía de otra fuente de forma directa.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Petroecuador, “EP Petroecuador despachó 1.198’800.060 kilogramos de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en 2019 – EP PETROECUADOR”, *Empresa Pública Petroecuador*, 2020. <https://www.eppetroecuador.ec/?p=7991> (consultado ene. 17, 2022).
- [2] L. Urdiales, J. L. Espinoza, F. Vasquez, y M. García, *Energía solar en el Ecuador*, núm. January. 2015.
- [3] Y. Goswami, *Principles of Solar Engineering*, Third Edit. Boca Ratón FL: CRC Press, 2015.
- [4] L. C. Monsalvo L. y O. H. Zamora Z., “Diseño de una cocina solar para actividades de camping o afines”, *Univ. EAFIT*, 2009.
- [5] E. Castro y M. Messina, “Diseño de una Planta Solar Térmica con concentrador tipo fresnel para la generación de energía eléctrica”, Arica: Universidad de Tarapacá., 2010.
- [6] J. Martinez, G. Abal, y P. Franco, *Manual Técnico de Energía Solar Térmica*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República, 2013.
- [7] D. Vaca y F. Ordóñez, “Mapa solar del Ecuador 2019”, *Scinergy*, vol. 1, p. 30, 2019.
- [8] Gevorkian y Peter, *Endorsements for Solar Power in Building Design*. New York: McGraw-Hill, 2008.
- [9] M. Yáñez, “Fuentes Renovables de Energía, LEAEE”, 2020.
- [10] T. L. Bergman, F. P. Incropera, A. S. Lavine, y D. P. Dewitt, *Introduction to heat transfer, sixth edition*. 2009.
- [11] Y. Cengel y M. Boles, *Termodinámica*. Fundamentos y aplicaciones, 2007.
- [12] Y. Cengel y A. Ghajar, “Transferencia de calor y masa”, *Fundam. y Apl.*, p. 945, 2011.
- [13] ARQ y Clarín, “La cocina solar se consolida en el norte del país”, 2016. https://www.clarin.com/disenio/cocina-solar_0_rJmg4nOPme.html (consultado ene. 16, 2022).
- [14] V. C. Nelson y K. L. Starcher, “Concentrating Solar Power”, *Introd. to Renew. Energy*, núm. January 2004, pp. 174–195, 2020, doi: 10.1201/b19621-13.

- [15] Ecoinventos, “Cocina solar, la forma ecológica de cocinar con el sol”, 2021. <https://ecoinventos.com/cocina-solar-elige-la-tuya-entre-diferentes-modelos/> (consultado ene. 15, 2022).
- [16] E. B. G. Paredes, “Diseño y construcción de una cocina solar con proyección a un sistema auxiliar de inducción”, *Tesis*, vol. 1, p. 17, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [17] A. Macía, D. Estrada, F. Chejne, H. Velázquez, y R. Rengifo, “Metodología para el diseño conceptual de cocinas solares”, *Dyna*, vol. 72, núm. 146, pp. 65–88, 2005.
- [18] Dreamstime, “Partes De Una Cocina Solar En Caja Con La Tapa De Vidrio Abierta Y Reflectores Metálicos”, *Ilustración de solar*, 2020. https://es.dreamstime.com/el-gráfico-muestra-las-partes-de-una-cocina-solar-en-caja-con-la-tapa-vidrio-abierta-y-reflectores-metálicos-sobre-un-fondo-image198054769#_ (consultado jun. 20, 2022).
- [19] O. Carrillo, “La cocina solar, su conceptualización, diseño y construcción a bajo costo para la zona rural del valle de Toluca.”, *Univ. Autónoma del Estado México*, p. 209, 2013.
- [20] C. Uyaguari, “Diseño, Construcción Y Análisis Funcional-Experimental De Una Cocina Solar Combinada (Parvati – Tipo Caja) Para El Laboratorio De Energías Renovables De La Ciem – Unl”, 2014.
- [21] A. Menayo, “Caracterización de la cocina solar Primrose”, Madrid, 2010. Consultado: abr. 20, 2022. [En línea]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/9477/PFC_Ana_Pizarro_Menayo.pdf;jsessionid=5BC4FB1C40EE5CEF2EB6E2A7596BF034?sequence=2.
- [22] T. Hoffmann, “Curso del sol: amanecer, atardecer, longitud de la sombra, eclipse solar, posición del sol, fase del sol, altura del sol, calculadora solar, elevación, sistema fotovoltaico, fotovoltaico”. <https://www.sonnenverlauf.de/#!/-0.2093,-78.4898,16/2022.05.25/21:39/1/3> (consultado may 25, 2022).
- [23] A. Tejeda Martínez y G. Gómez-Azpeitia, *Prontuario Solar de México*. 2015.
- [24] F. K. Lutgens y E. J. Tarbuck, *The atmosphere an introducciton to meteorology*, vol. 193, núm. 3. 1955.
- [25] NREL Tranforming Energy, “NSRDB”, *National Solar Radiation Database (NSRDB)*. <https://nsrdb.nrel.gov/> (consultado may 26, 2022).

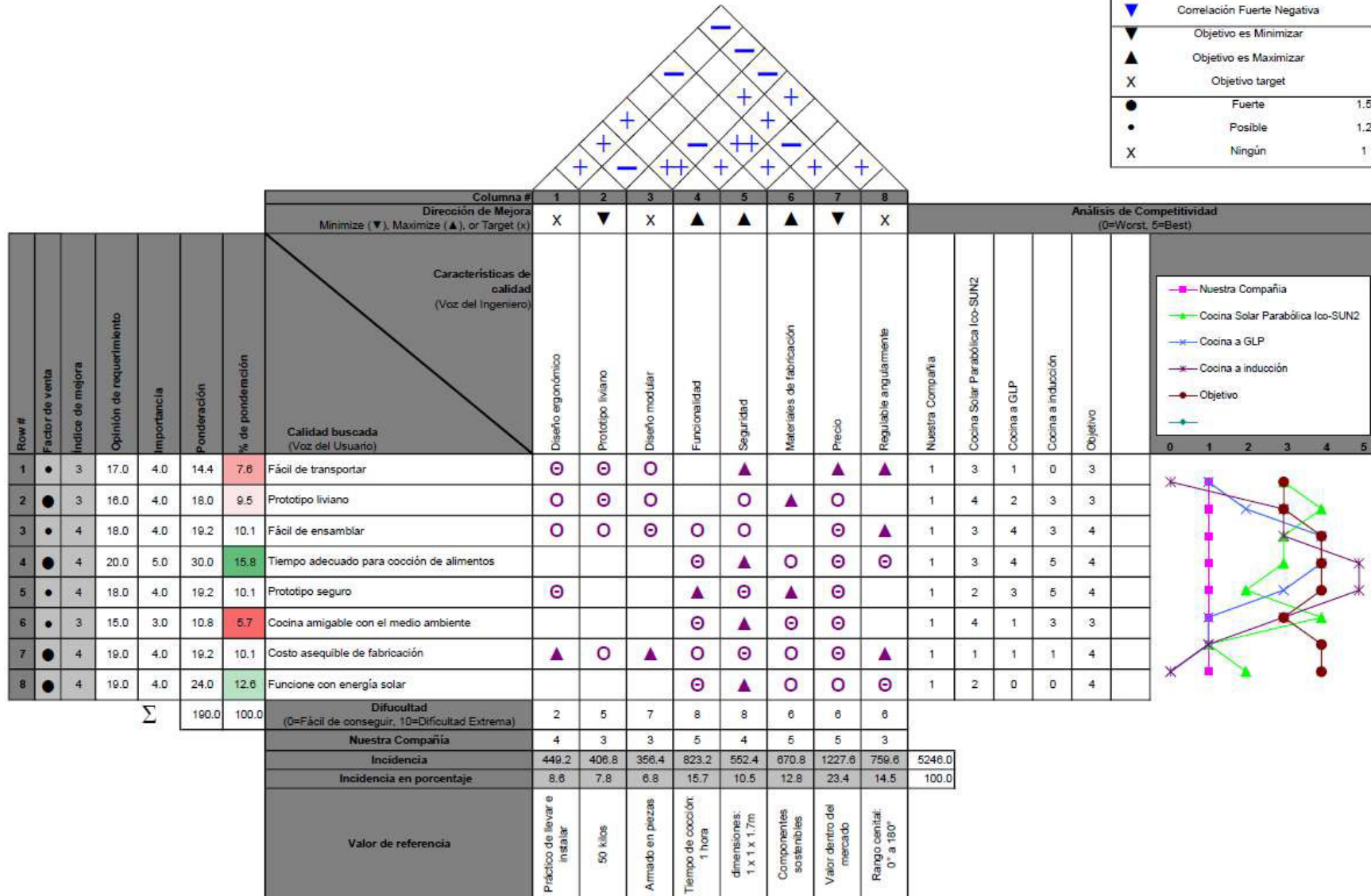
- [26] V. F. Resabala Lara, “Trabajo de titulación”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.
- [27] R.I. Department of health, “Temperaturas seguras de cocción Ficha descriptiva”, *Off. Food Prot.*, p. 165, 2015.
- [28] C. Riba Romeva, *Diseño concurrente*. 2002.
- [29] M. A. B. Revelo, “Diseño y simulación de un colector solar lineal de Fresnel para la producción de vapor en base a las condiciones climáticas de la ciudad de Quito”, p. 158, 2015.
- [30] L. Rosales, “Propiedades de materiales y cerramientos, Asignatura Clima Y Diseño”, *FAU/UCV*, pp. 1–12, 2015.
- [31] A. Manrique, “Acero Estructural A36”, *Pengaruh Harga Disk. Dan Persepsi Prod. Terhadap Nilai Belanja Serta Perilaku Pembelian Konsum.*, vol. 7, núm. 9, pp. 27–44, 2015, [En línea]. Disponible en: <http://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf>.
- [32] G. R. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, vol. 9na edición, núm. December. 2008.
- [33] Puuinfo, “Madera contrachapada”, 2020. <https://puuinfo.fi/puutiето/tablas-de-madera/madera-contrachapada/?lang=es> (consultado jul. 27, 2022).
- [34] 3A Composites, “The superior expanded PVC board engineered to go beyond”, núm. February, p. 3365, 2021.
- [35] DIPAC, “Perfiles Laminados IPN-Varilla redonda lisa”, p. 47, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://www.dipacmanta.com/vigas-ipn>.
- [36] Asamblea Nacional del Ecuador, “Sueldos, Salarios Mínimos Sectoriales Y Tarifas Para El Sector Privado Por Ramas De Actividad, Que Abarcan Las Diferentes Comisiones Sectoriales”, núm. 000370, pp. 1–18, 2020.

5 ANEXOS

ANEXO I. Casa de la calidad

| |
|----------------------------------------------|
| ESCUELA POLITECNICA NACIONAL |
| ANEXO I: Casa de la Calidad |
| Cocina solar de uso doméstico |
| Diseñado por: Guerrero Frank, Morales Edison |

| Legenda | | |
|---------|-----------------------------|-----|
| ⊗ | Relación Fuerte | 9 |
| ○ | Relación Moderada | 3 |
| ▲ | Relación pobre | 1 |
| ++ | Correlación Fuerte Positiva | |
| + | Correlación Positiva | |
| - | Correlación Negativa | |
| ▼ | Correlación Fuerte Negativa | |
| ▼ | Objetivo es Minimizar | |
| ▲ | Objetivo es Maximizar | |
| X | Objetivo target | |
| ● | Fuerte | 1.5 |
| • | Posible | 1.2 |
| X | Ningún | 1 |



ANEXO II. Evaluación de criterios para módulo 1

| Ponderación | Criterios |
|-------------|----------------------------------------------------------------|
| 1 | Si el criterio de la fila es superior al de al de las columnas |
| 0.5 | Si el criterio de la fila es igual al de al de las columnas |
| 0 | Si el criterio de la fila es inferior al de al de las columnas |

Evaluación de alternativas para módulo 1

| Criterio | Ensamblaje | Transportable | Construcción | Captación energética | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|----------------------|------------|---------------|--------------|----------------------|------------|-------------|
| Ensamblaje | | 0.5 | 1 | 0 | 2.5 | 0.25 |
| Transportable | 0.5 | | 0.5 | 0 | 2 | 0.20 |
| Construcción | 0 | 0.5 | | 0.5 | 2 | 0.20 |
| Captación energética | 1 | 1 | 0.5 | | 3.5 | 0.35 |
| | | | | Suma | 10 | 1 |

Captación energética > Ensamblaje > Transportabilidad = Construcción

| Ensamblaje | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 1 | 0 | 2 | 0.333 |
| Alternativa 2 | 0 | | 1 | 2 | 0.333 |
| Alternativa 3 | 1 | 0 | | 2 | 0.333 |
| | | | Suma | 6 | 1 |

| Transportable | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 1 | 0.5 | 2.5 | 0.417 |
| Alternativa 2 | 0 | | 0 | 1 | 0.167 |
| Alternativa 3 | 0.5 | 1 | | 2.5 | 0.417 |
| | | | Suma | 6 | 1 |

| Construcción | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 1 | 0.5 | 2.5 | 0.417 |
| Alternativa 2 | 0 | | 0 | 1 | 0.167 |
| Alternativa 3 | 0.5 | 1 | | 2.5 | 0.417 |
| | | | Suma | 6 | 1 |

| Captación energética | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 0.5 | 1 | 2.5 | 0.417 |
| Alternativa 2 | 0.5 | | 1 | 2.5 | 0.417 |
| Alternativa 3 | 0 | 0 | | 1 | 0.167 |
| | | | Suma | 6 | 1 |

Conclusión del módulo 1

| Conclusión | Ensamblaje | Transportable | Construcción | Captación energética | Σ | Prioridad |
|---------------|------------|---------------|--------------|----------------------|----------|-----------|
| Alternativa 1 | 0.083 | 0.083 | 0.083 | 0.146 | 0.396 | 1 |
| Alternativa 2 | 0.083 | 0.033 | 0.033 | 0.146 | 0.296 | 3 |
| Alternativa 3 | 0.083 | 0.083 | 0.083 | 0.058 | 0.308 | 2 |
| | | | | Suma | 1 | |

ANEXO III. Evaluación de criterios para módulo 2

Evaluación de alternativas para módulo 2

| Criterio | Costo | Movilidad | Adaptación modular | Función | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------------------------------------------|-------|-----------|--------------------|---------|------------|-------------|
| Costo | | 0 | 1 | 0 | 2 | 0.20 |
| Movilidad | 1 | | 1 | 0.5 | 3.5 | 0.35 |
| Adaptación modular | 0 | 0 | | 0.5 | 1.5 | 0.15 |
| Funcionalidad | 1 | 0.5 | 0.5 | | 3 | 0.30 |
| Suma | | | | | 10 | 1 |
| Movilidad > Funcionalidad > Costo > Adaptación modular | | | | | | |

| Costo | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 1 | 2 | 0.667 |
| Alternativa 2 | 0 | | 1 | 0.333 |
| Suma | | | 3 | 1 |

| Movilidad | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 0 | 1 | 0.333 |
| Alternativa 2 | 1 | | 2 | 0.667 |
| Suma | | | 3 | 1 |

| Adaptación modular | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 0.5 | 1.5 | 0.500 |
| Alternativa 2 | 0.5 | | 1.5 | 0.500 |
| Suma | | | 3 | 1 |

| Funcionalidad | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 0 | 1 | 0.333 |
| Alternativa 2 | 1 | | 2 | 0.667 |
| Suma | | | 3 | 1 |

Conclusión del módulo 2

| Conclusión | Costo | Movilidad | Adaptación modular | Funcionalidad | Σ | Prioridad |
|---------------|-------|-----------|--------------------|---------------|----------|-----------|
| Alternativa 1 | 0.133 | 0.117 | 0.075 | 0.100 | 0.425 | 2 |
| Alternativa 2 | 0.067 | 0.233 | 0.075 | 0.200 | 0.575 | 1 |
| Suma | | | | | 1 | |

ANEXO IV. Evaluación de criterios para módulo 3

Evaluación de alternativas para módulo 3

| Criterio | Estabilidad | Costo | Construcción | Ensamblaje | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-------------------------------------------------|-------------|-------|--------------|------------|------------|-------------|
| Estabilidad | | 1 | 0.5 | 1 | 3.5 | 0.350 |
| Costo | 0 | | 1 | 0 | 2 | 0.200 |
| Construcción | 0.5 | 0 | | 0 | 1.5 | 0.150 |
| Ensamblaje | 0 | 1 | 1 | | 3 | 0.300 |
| | | | | Suma | 10 | 1 |
| Estabilidad > Ensamblaje > Costo > Construcción | | | | | | |

| Estabilidad | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 0.5 | 1.5 | 0.500 |
| Alternativa 2 | 0.5 | | 1.5 | 0.500 |
| | | Suma | 3 | 1 |

| Costo | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 0 | 1 | 0.333 |
| Alternativa 2 | 1 | | 2 | 0.667 |
| | | Suma | 3 | 1 |

| Construcción | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 0 | 1 | 0.333 |
| Alternativa 2 | 1 | | 2 | 0.667 |
| | | Suma | 3 | 1 |

| Ensamblaje | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa 1 | | 0.5 | 1.5 | 0.500 |
| Alternativa 2 | 0.5 | | 1.5 | 0.500 |
| | | Suma | 3 | 1 |

Conclusión del módulo 3

| Conclusión | Estabilidad | Costo | Construcción | Ensamblaje | Σ | Prioridad |
|---------------|-------------|-------|--------------|------------|----------|-----------|
| Alternativa 1 | 0.125 | 0.067 | 0.067 | 0.175 | 0.433 | 2 |
| Alternativa 2 | 0.125 | 0.133 | 0.133 | 0.175 | 0.567 | 1 |
| | | | | | Suma | 1 |

ANEXO V. Figuras de tablas utilizadas en diseño térmico y mecánico

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

| T (K) | ρ (kg/m ³) | c_p (kJ/kg·K) | $\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²) | $\nu \cdot 10^6$ (m ² /s) | $k \cdot 10^3$ (W/m·K) | $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s) | Pr |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-------|
| Air, $M = 28.97$ kg/kmol | | | | | | | |
| 100 | 3.5562 | 1.032 | 71.1 | 2.00 | 9.34 | 2.54 | 0.786 |
| 150 | 2.3364 | 1.012 | 103.4 | 4.426 | 13.8 | 5.84 | 0.758 |
| 200 | 1.7458 | 1.007 | 132.5 | 7.590 | 18.1 | 10.3 | 0.737 |
| 250 | 1.3947 | 1.006 | 159.6 | 11.44 | 22.3 | 15.9 | 0.720 |
| 300 | 1.1614 | 1.007 | 184.6 | 15.89 | 26.3 | 22.5 | 0.707 |
| 350 | 0.9950 | 1.009 | 208.2 | 20.92 | 30.0 | 29.9 | 0.700 |
| 400 | 0.8711 | 1.014 | 230.1 | 26.41 | 33.8 | 38.3 | 0.690 |
| 450 | 0.7740 | 1.021 | 250.7 | 32.39 | 37.3 | 47.2 | 0.686 |
| 500 | 0.6964 | 1.030 | 270.1 | 38.79 | 40.7 | 56.7 | 0.684 |
| 550 | 0.6329 | 1.040 | 288.4 | 45.57 | 43.9 | 66.7 | 0.683 |

Propiedades termo física de gases a presión atmosférica [10]

Tabla 6-2

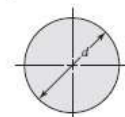
Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín, ecuación (6-19)

| Acabado superficial | Factor a | | Exponente b |
|------------------------------|-----------------|----------------|-------------|
| | S_{ut} , kpsi | S_{ut} , MPa | |
| Esmerilado | 1.34 | 1.58 | -0.085 |
| Maquinado o laminado en frío | 2.70 | 4.51 | -0.265 |
| Laminado en caliente | 14.4 | 57.7 | -0.718 |
| Como sale de la forja | 39.9 | 272. | -0.995 |

Parámetros en el factor de condición superficial de Marín, cálculo de k_a [32]

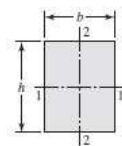
Tabla 6-3

Áreas $A_{0.95\sigma}$ de perfiles estructurales no rotativos.



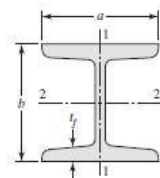
$$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$$

$$d_e = 0.370d$$

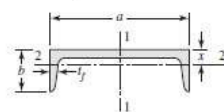


$$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$$

$$d_e = 0.808\sqrt{hb}$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \text{eje 1-1} \\ 0.05ba & \text{eje 2-2} \end{cases} \quad t_f > 0.025a$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.05ab & \text{eje 1-1} \\ 0.052xa + 0.1t_f(b-x) & \text{eje 2-2} \end{cases}$$

Área de perfiles estructurales no rotativos, cálculo de k_b [32]

Tabla 6-4

Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.*
 (S_T = resistencia a la tensión a la temperatura de operación, S_{RT} = resistencia a la tensión a temperatura ambiente; $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$)

| Temperatura, °C | S_T/S_{RT} | Temperatura, °F | S_T/S_{RT} |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| 20 | 1.000 | 70 | 1.000 |
| 50 | 1.010 | 100 | 1.008 |
| 100 | 1.020 | 200 | 1.020 |
| 150 | 1.025 | 300 | 1.024 |
| 200 | 1.020 | 400 | 1.018 |
| 250 | 1.000 | 500 | 0.995 |
| 300 | 0.975 | 600 | 0.963 |
| 350 | 0.943 | 700 | 0.927 |
| 400 | 0.900 | 800 | 0.872 |
| 450 | 0.843 | 900 | 0.797 |
| 500 | 0.768 | 1 000 | 0.698 |
| 550 | 0.672 | 1 100 | 0.567 |
| 600 | 0.549 | | |

Factor de temperatura, cálculo de k_d [32]

Tabla 6-5

Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga.

| Confiabilidad, % | Variación de transformación z_e | Factor de confiabilidad k_e |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 50 | 0 | 1.000 |
| 90 | 1.288 | 0.897 |
| 95 | 1.645 | 0.868 |
| 99 | 2.326 | 0.814 |
| 99.9 | 3.091 | 0.753 |
| 99.99 | 3.719 | 0.702 |
| 99.999 | 4.265 | 0.659 |
| 99.9999 | 4.753 | 0.620 |

Factor de confiabilidad, cálculo de k_e [32]

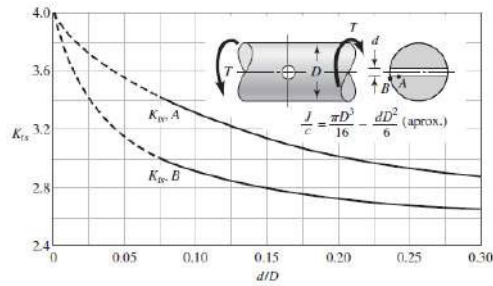


Figura A-15-10

Eje redondo en torsión con agujero transversal.

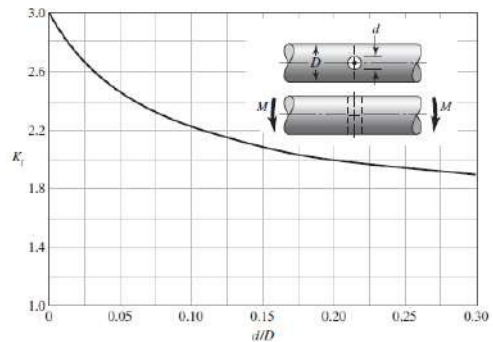


Figura A-15-11

Eje redondo en flexión con un agujero transversal.
 $\sigma_0 = M[(\pi D^3/32) - (dD^2/6)]$, aproximadamente.

Factor k_t y k_{ts} para eje redondo en flexión con agujero transversal [32].

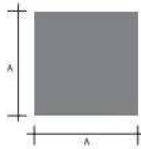


Especificaciones Generales:

| | |
|---------------|-------------|
| Calidad: | ASTM A36 |
| Largo Normal: | 6.00m |
| Acabado: | Acero negro |

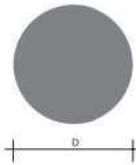
*Otras calidades, otros largos y otros acabados previa consulta

VARILLA CUADRADA LISA



| Denominación | Lado | | Peso | | Área |
|--------------|------|------|-------|------|------|
| | A | kg/m | kg/6m | cm2 | |
| VCU 5/16 | 8,0 | 0,57 | 3,41 | 0,72 | |
| VCU 3/8 | 9,0 | 0,64 | 3,83 | 0,81 | |
| VCU 1/2 | 11,0 | 0,95 | 5,70 | 1,21 | |
| VCU 5/8 | 15,0 | 1,77 | 10,60 | 2,25 | |
| VCU 3/4 | 18,0 | 2,54 | 15,26 | 3,24 | |
| VCU 24,5 | 24,5 | 4,72 | 28,30 | 6,00 | |

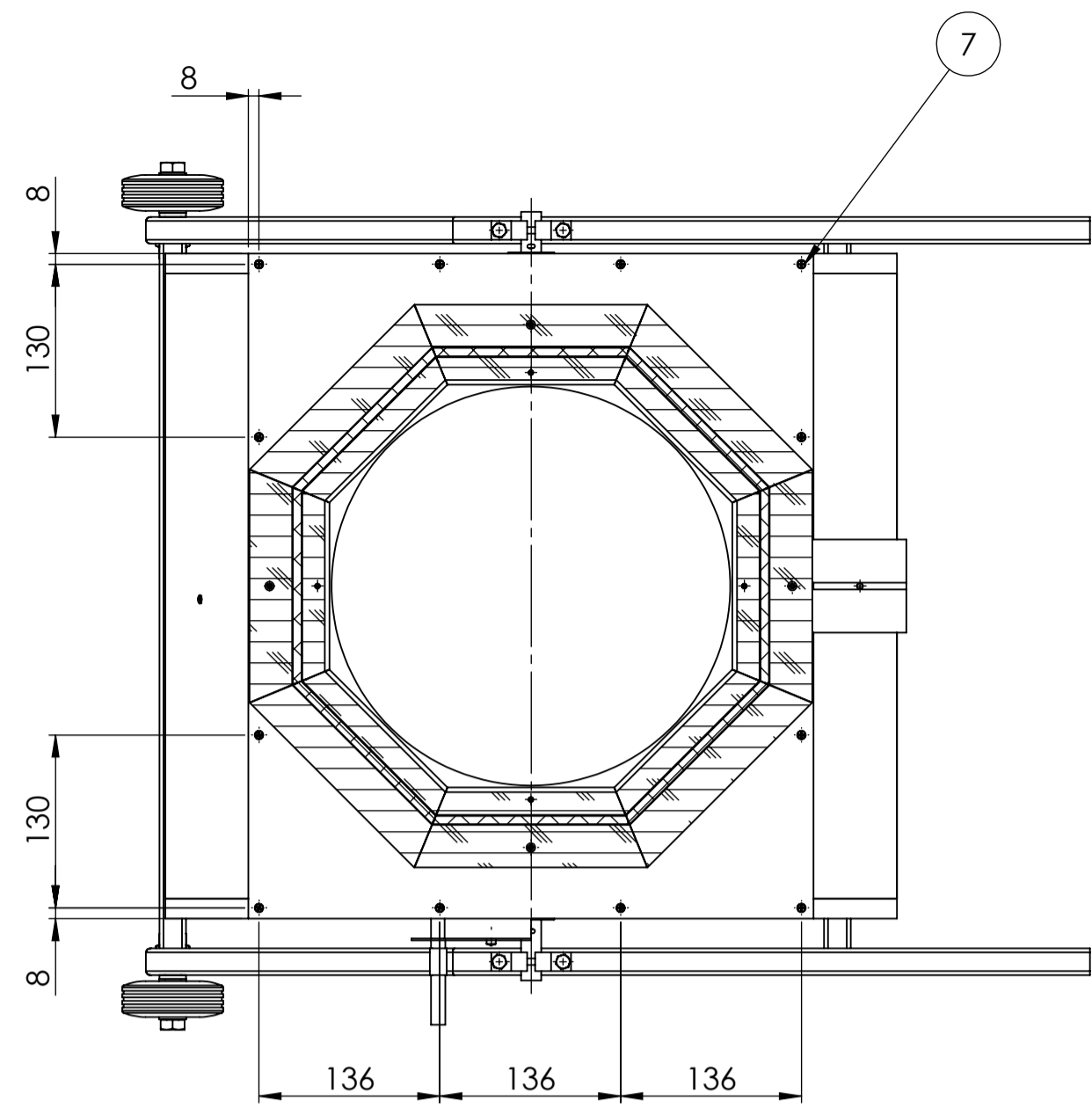
VARILLA REDONDA LISA



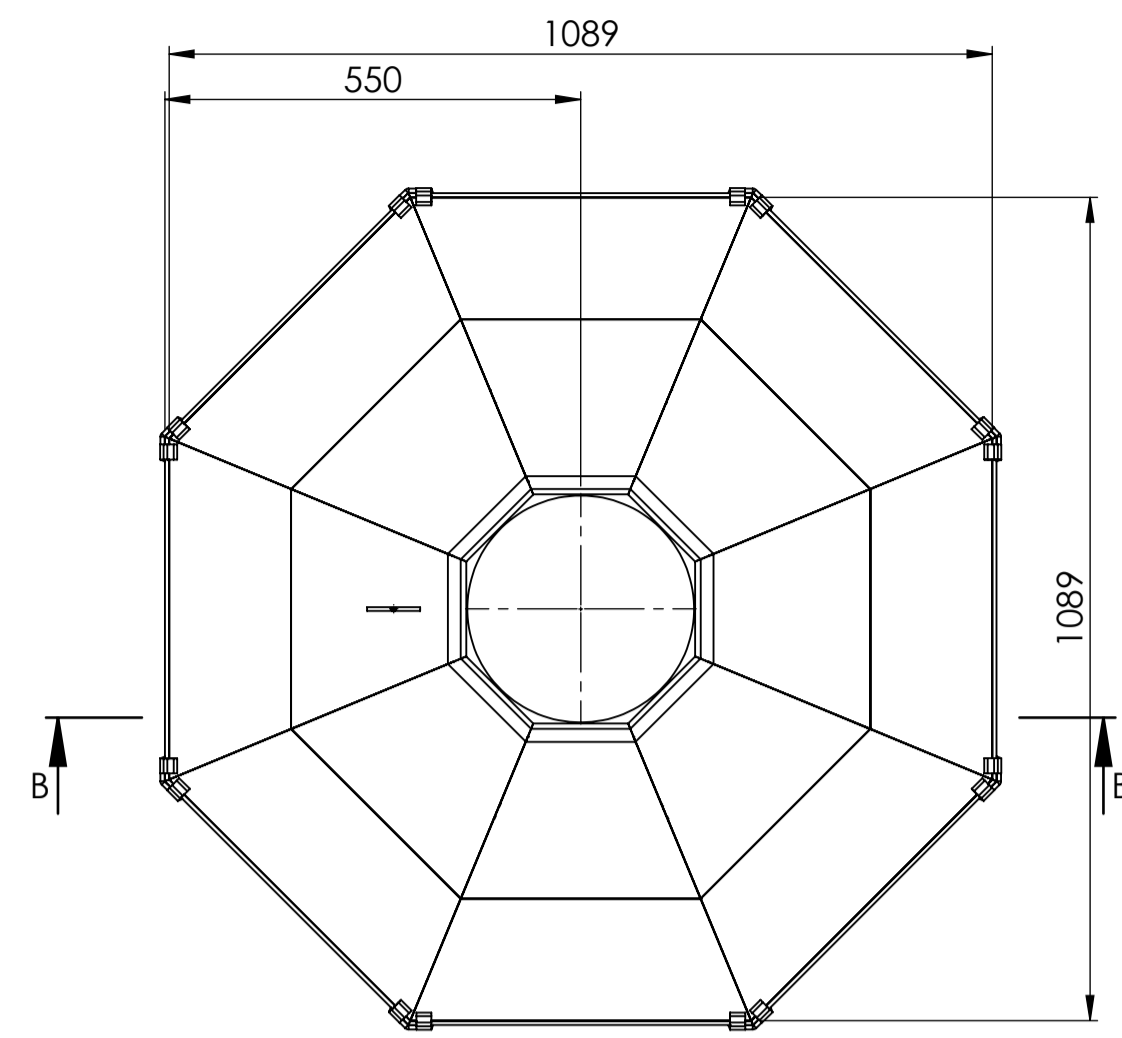
| Denominación | Diámetro | | Peso | | Área |
|--------------|----------|------|-------|------|------|
| | D | kg/m | kg/6m | cm2 | |
| VRL 5,5 | 5,5 | 0,34 | 2,04 | 0,43 | |
| VRL 8 | 8,0 | 0,50 | 2,96 | 0,63 | |
| VRL 10 | 10,0 | 0,62 | 3,70 | 0,79 | |
| VRL 12 | 12,0 | 0,89 | 5,33 | 1,13 | |
| VRL 15 | 15,0 | 1,39 | 8,32 | 1,77 | |
| VRL 18 | 18,0 | 2,00 | 11,98 | 2,55 | |
| VRL 22 | 22,0 | 2,98 | 17,90 | 3,80 | |
| VRL 24,5 | 24,0 | 3,70 | 22,20 | 4,71 | |

Catálogo varilla redonda lisa acero A36 [35]

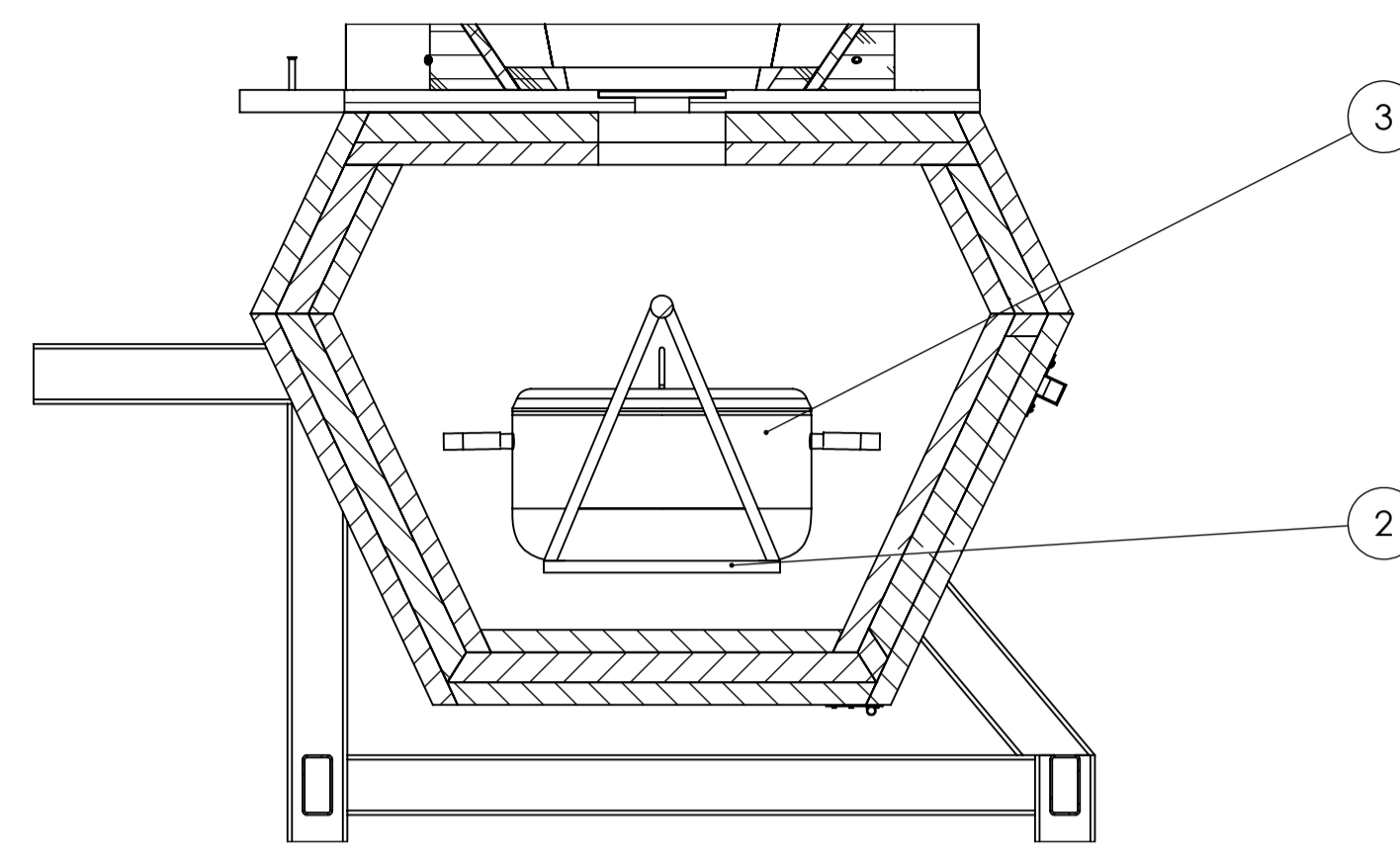
ANEXO VI. PLANOS



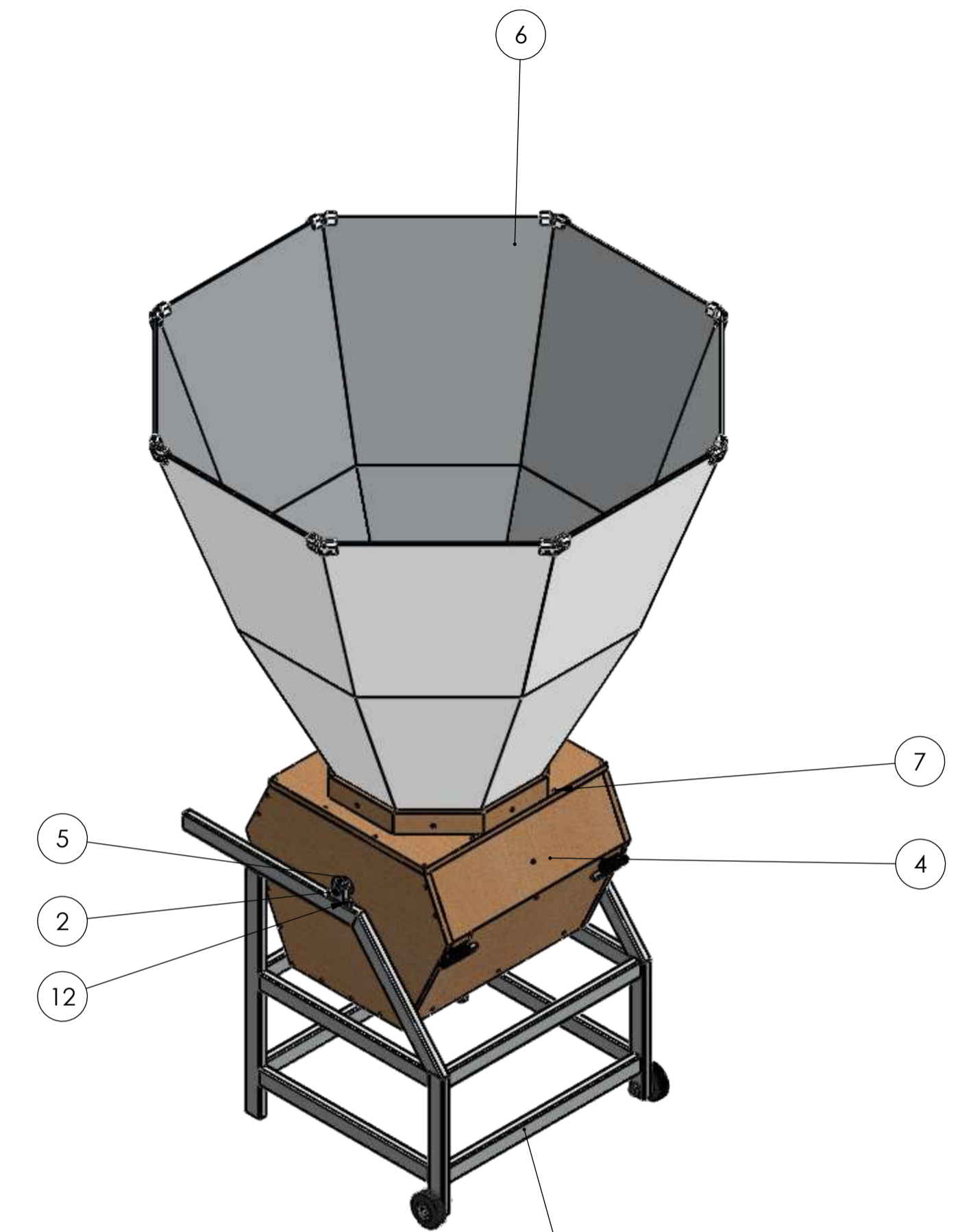
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5



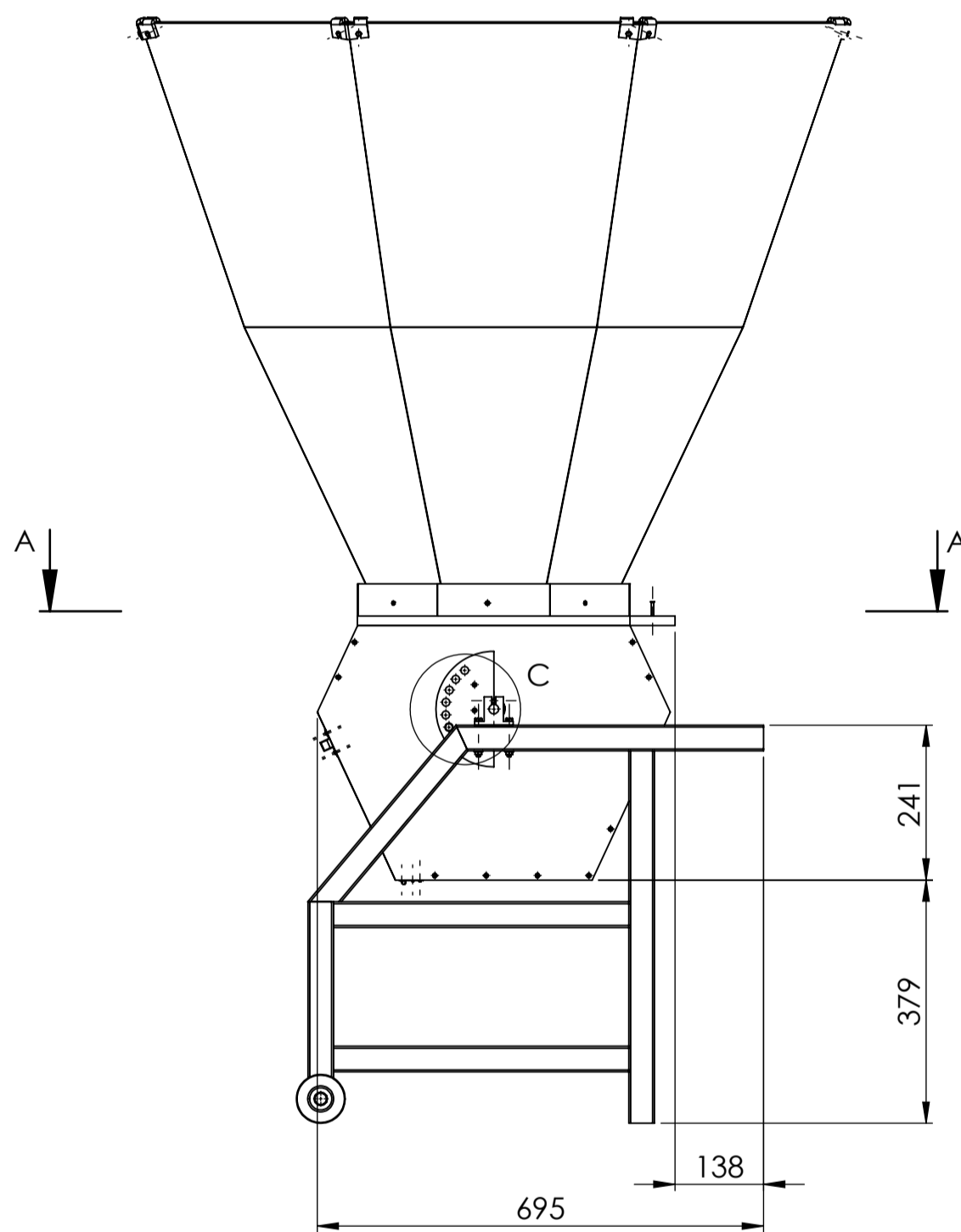
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5



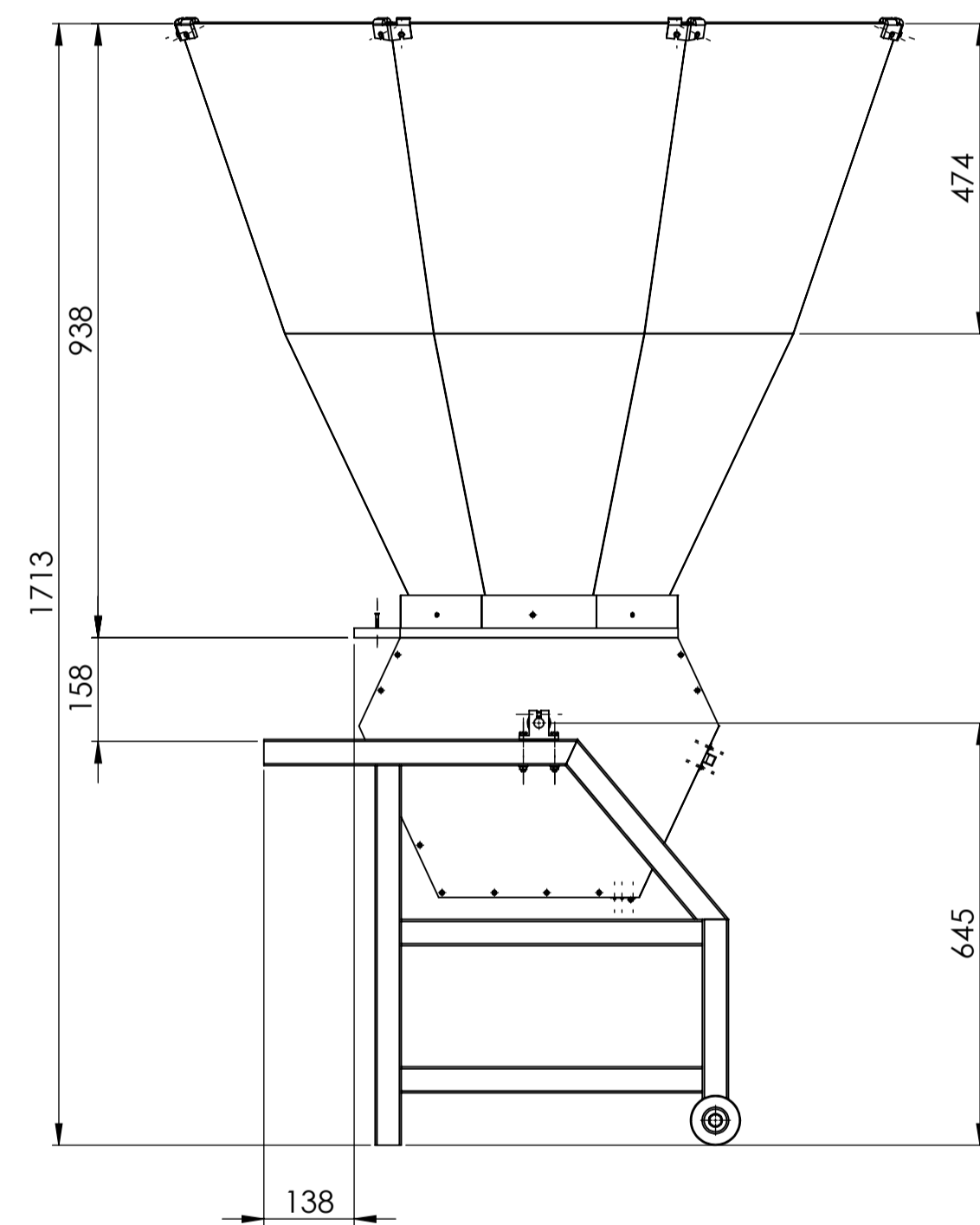
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5



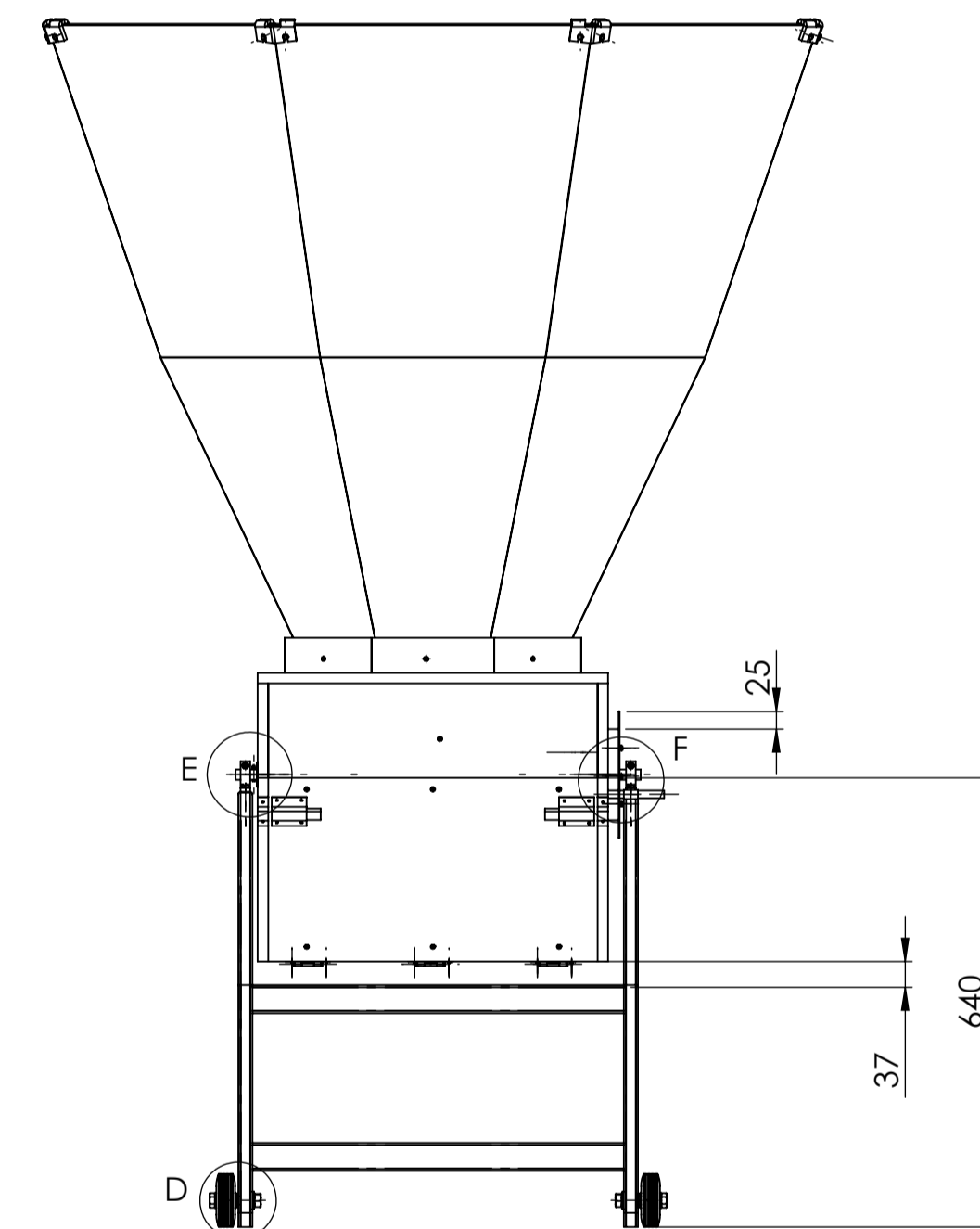
VISTA ISOMÉTRICA



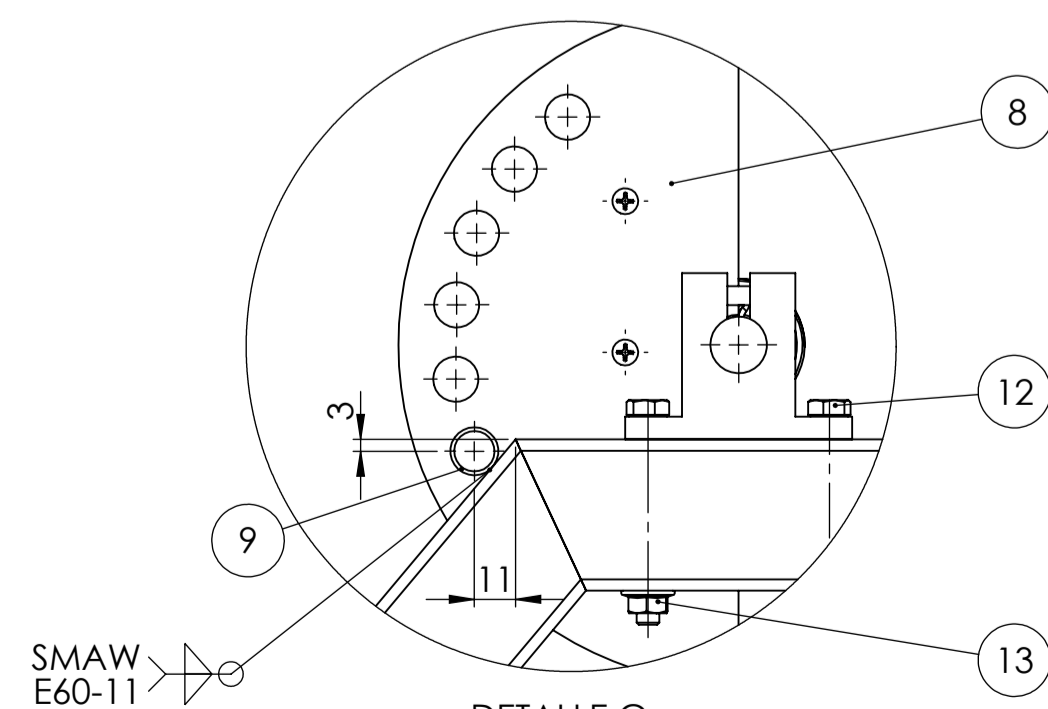
DETALLE C
ESCALA 1 : 2



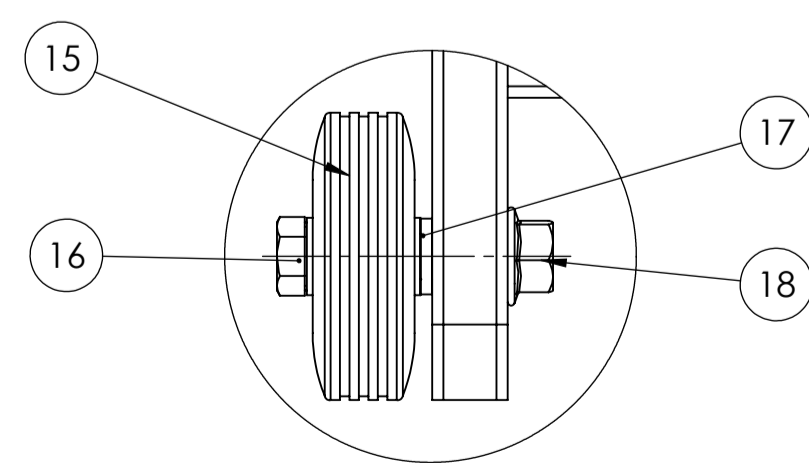
DETALLE D
ESCALA 1 : 2



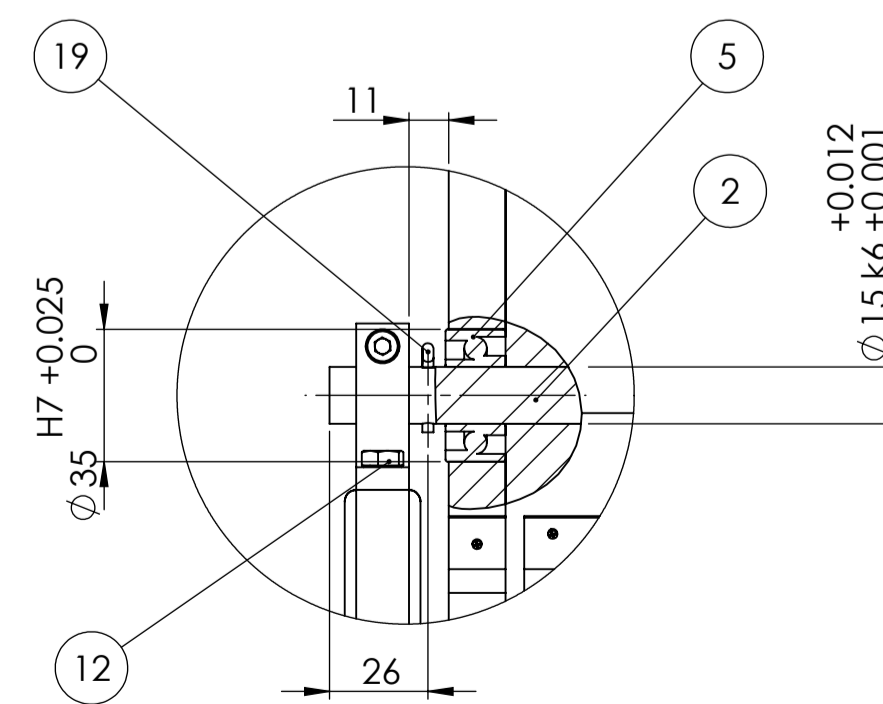
DETALLE E
ESCALA 1 : 2



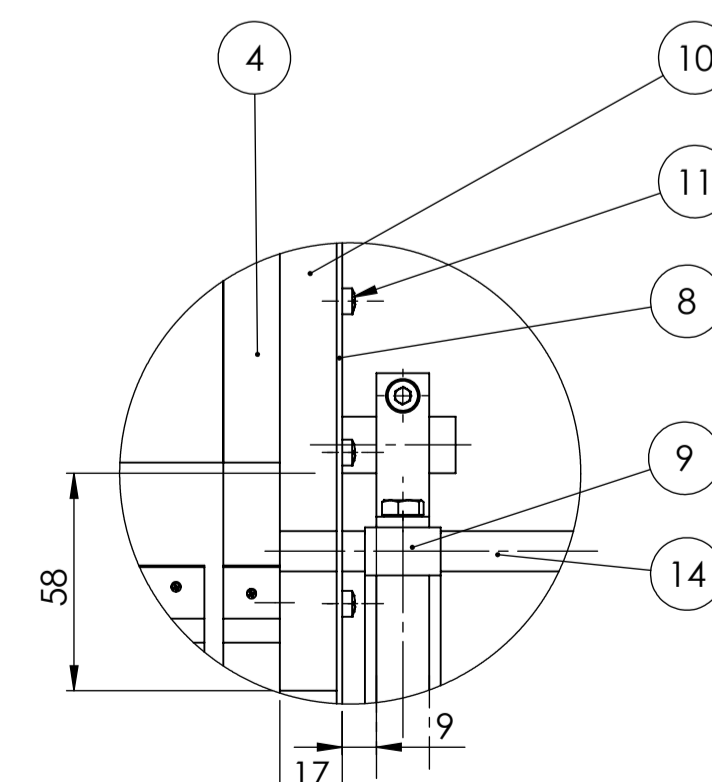
DETALLE C
ESCALA 1 : 2



DETALLE D
ESCALA 1 : 2



DETALLE E
ESCALA 1 : 2



DETALLE F
ESCALA 1 : 2

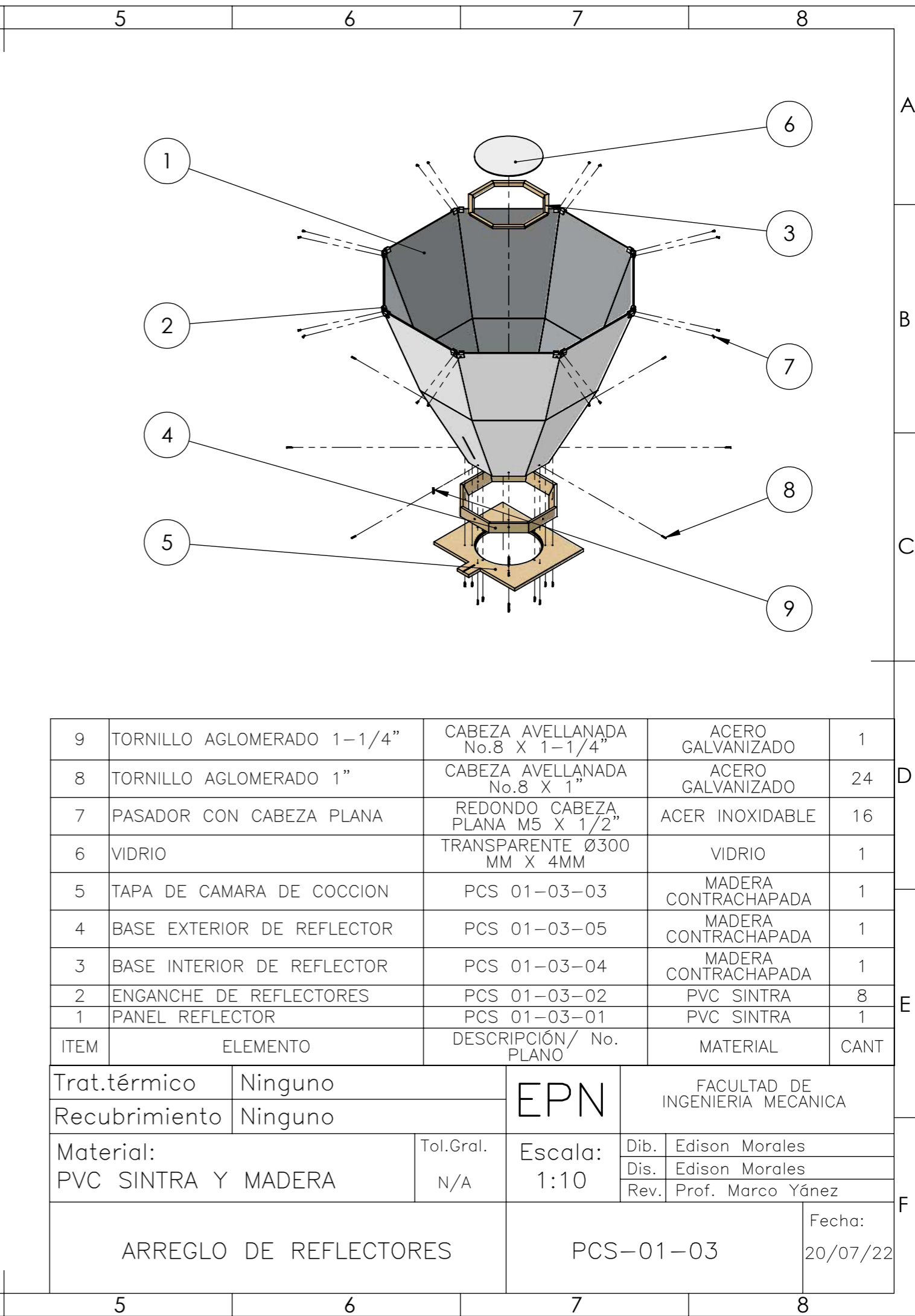
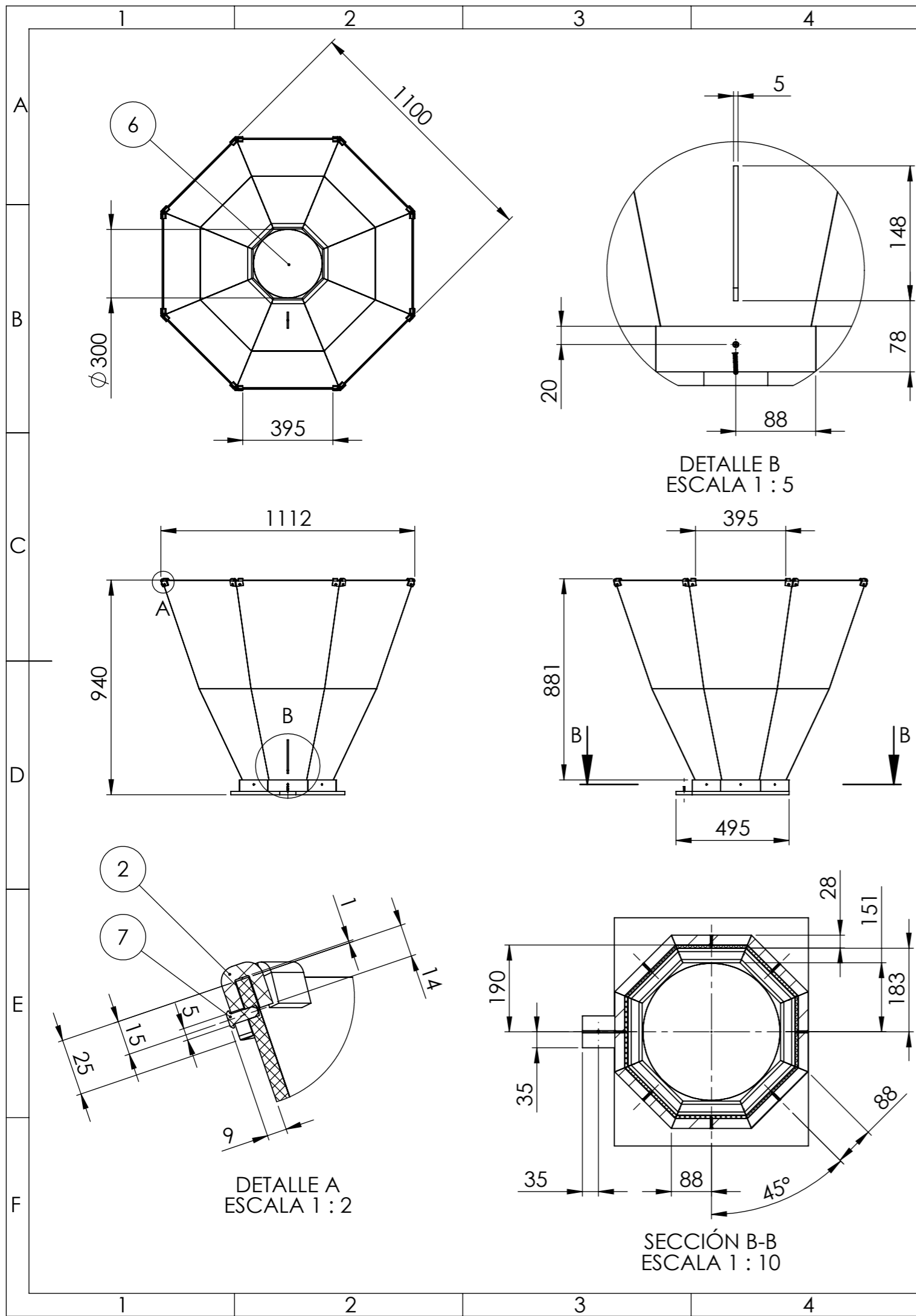
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

PRÓTOTIPO COCINA SOLAR
Masa: 55 kg
Capacidad de cocción: 2.5 L

NOTA:
EL ÍTEM 7 CORRESPONDE A PERNOS AGLOMERADOS COLOCADOS
SEGÚN MEDIDAS DE LA SECCIÓN A-A.

| ÍTEM | ELEMENTO | DESCRIPCIÓN/No. | PLANO | MATERIAL | CANT. |
|------|-----------------------------|-------------------------------|-------|----------------------|-------|
| 19 | PIN PASADOR | PASADOR DIVIDIDO 3.2X25MM | | AISI 304 | 2 |
| 18 | TUERCA DE RUEDA | TUERCA HERXAGONAL M12 | | ACERO NEGRO | 2 |
| 17 | ARANDELA DE RUEDA | ARANDELA DE PRESIÓN 1/2" | | ACERO NEGRO | 2 |
| 16 | PERNO DE RUEDA | PERNO HERXAGONAL M12 X 3" | | ACERO NEGRO | 2 |
| 15 | RUEDA | RUEDA MACIZA DE 80 MM | | ACERO Y CAUCHO | 2 |
| 14 | PASADOR SISTEMA DE ROTACION | PCS-01-02 | | ACERO NEGRO | 1 |
| 13 | TUERCA SOPORTE | TUERCA HEXAGONAL 1/4" | | GALVANIZADO | 4 |
| 12 | PERNO SOPORTE | PERNO HEXAGONAL 1/4" X 2-1/2" | | GALVANIZADO | 4 |
| 11 | TORNILLO AGLOMERADO 1-1/4" | CABEZA PLANA N8 X 1-1/4" | | ACERO NEGRO | 3 |
| 10 | MADERA SISTEMA DE ROTACION | PCS-01-02 | | MADERA CONTRACHAPADA | 1 |
| 9 | TUBO | PCS-01-02 | | ACERO NEGRO | 1 |
| 8 | PLACA SISTEMA DE ROTACION | PCS-01-02 | | ACERO NEGRO | 1 |
| 7 | TORNILLO AGLOMERADO 1-1/4" | CABEZA AVELLANADA No.8x1-1/4" | | ACERO NEGRO | 12 |
| 6 | ARRÉGLO DE REFLECTORES | PCS-01-03 | | VARIOS | 1 |
| 5 | RODAMIENTO DE BOLAS | AUTOALINEABLES 15-35-14 | | ACERO INOXIDABLE | 2 |
| 4 | CAMARA DE COCCION | PCS-01-01 | | VARIOS | 1 |
| 3 | RECIPIENTE-OLLA | CALDERO MILANO 7230 UMCO | | ALUMINIO NEGRO MATE | 1 |
| 2 | SOPORTE DE RECIPIENTE | PCS-01-05 | | ACERO ASTM A36 | 1 |
| 1 | ESTRUCTURA | PCS-01-04 | | ACERO ASTM A36 | 1 |
| | ELEMENTO | DESCRIPCIÓN/No. | PLANO | MATERIAL | CANT. |

| | | | | |
|------------------------|---------|---------------|---------------------------------|---------------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Escala: 1:10 | Dib. F.Guerrero-E.Morales |
| Material: | VARIOS | Tol.Gral. N/A | Dis. F.Guerrero-E.Morales | Rev. Marco Yñez |
| PROTOTIPO COCINA SOLAR | | | PCS-01 | Fecha: 20/07/22 |

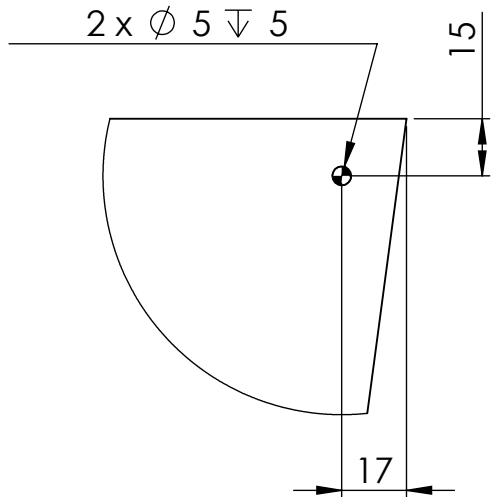


| | | | | |
|------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|------|
| 9 | TORNILLO AGLOMERADO 1-1/4" | CABEZA AVELLANADA No.8 X 1-1/4" | ACERO GALVANIZADO | 1 |
| 8 | TORNILLO AGLOMERADO 1" | CABEZA AVELLANADA No.8 X 1" | ACERO GALVANIZADO | 24 |
| 7 | PASADOR CON CABEZA PLANA | REDONDO CABEZA PLANA M5 X 1/2" | ACER INOXIDABLE | 16 |
| 6 | VIDRIO | TRANSPARENTE Ø300 MM X 4MM | VIDRIO | 1 |
| 5 | TAPA DE CAMARA DE COCCION | PCS 01-03-03 | MADERA CONTRACHAPADA | 1 |
| 4 | BASE EXTERIOR DE REFLECTOR | PCS 01-03-05 | MADERA CONTRACHAPADA | 1 |
| 3 | BASE INTERIOR DE REFLECTOR | PCS 01-03-04 | MADERA CONTRACHAPADA | 1 |
| 2 | ENGANCHE DE REFLECTORES | PCS 01-03-02 | PVC SINTRA | 8 |
| 1 | PANEL REFLECTOR | PCS 01-03-01 | PVC SINTRA | 1 |
| ITEM | ELEMENTO | DESCRIPCIÓN/ No. PLANO | MATERIAL | CANT |

| | | | | | |
|------------------------|---------------------|-----------|---------------------------------|----------------|-------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales | |
| Material: | PVC SINTRA Y MADERA | Tol.Gral. | Escala: | Dis. | Edison Morales |
| | | N/A | 1:10 | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| ARREGLO DE REFLECTORES | | PCS-01-03 | | Fecha: | |
| | | | | 20/07/22 | |

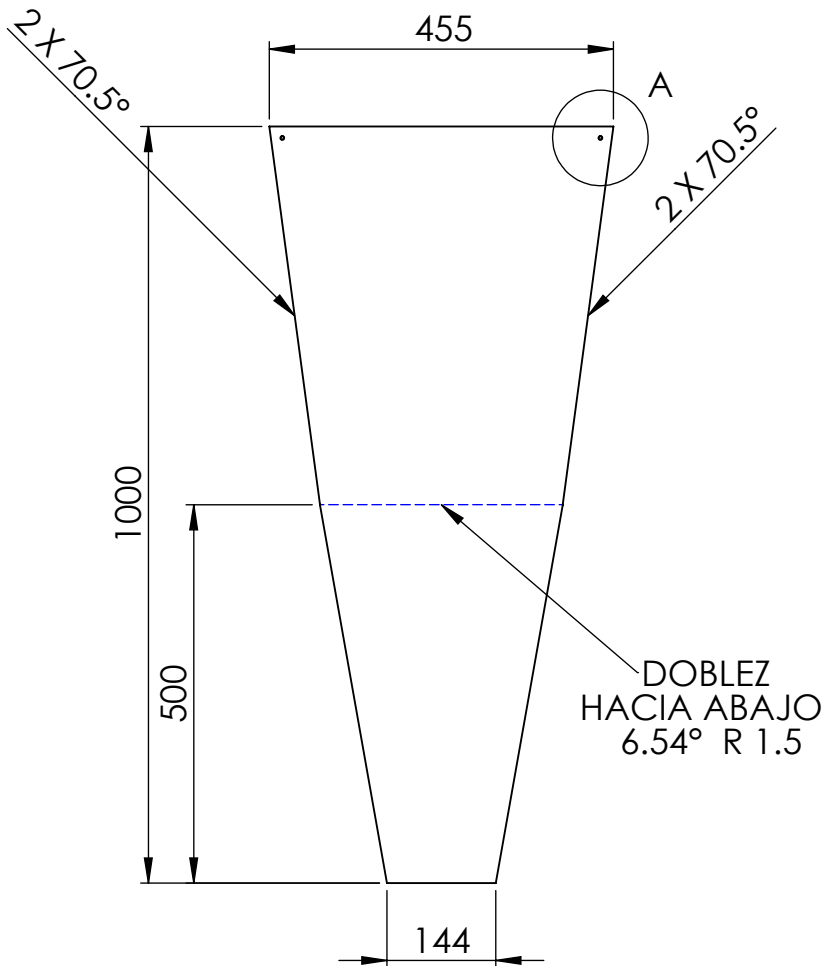
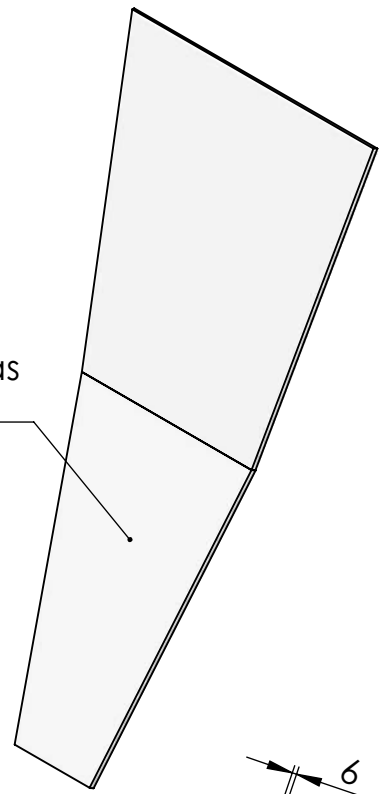
TALADRO POSTERIOR

2 x $\varnothing 5 \nabla 5$

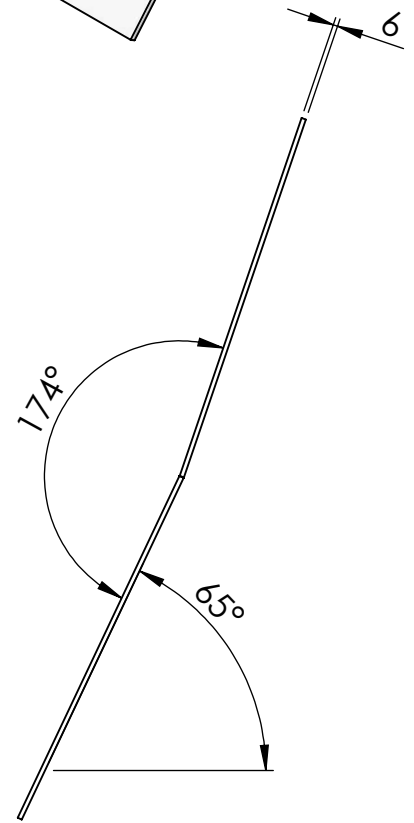


DETALLE A
ESCALA 1 : 2

La parte frontal es recubierta por láminas de aluminio adhesivo

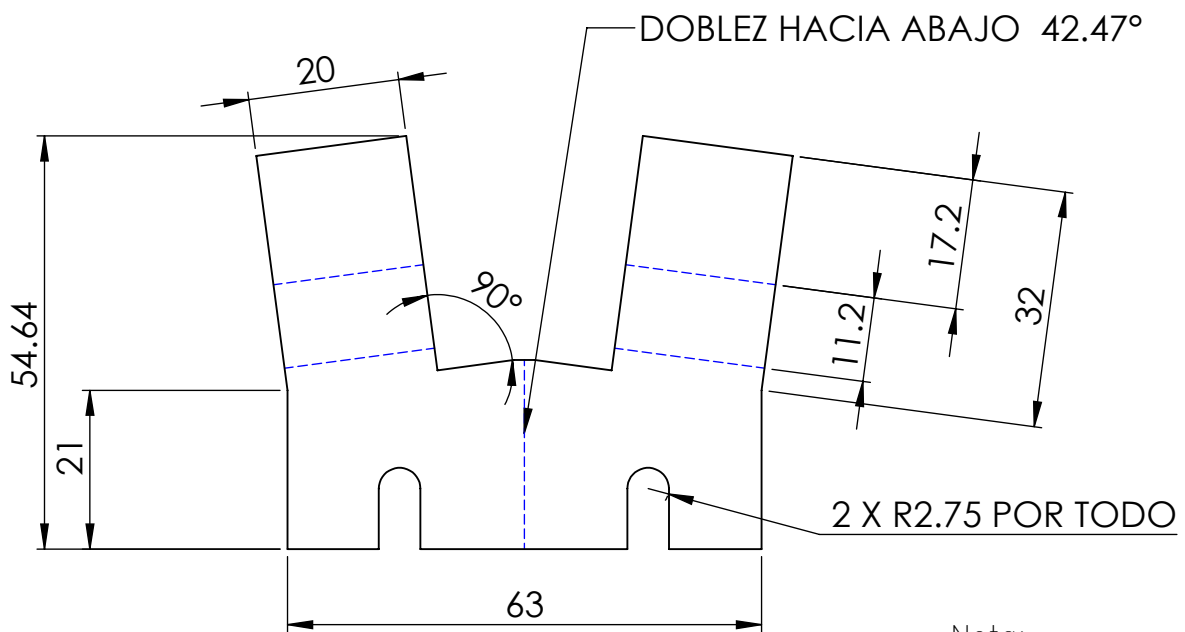
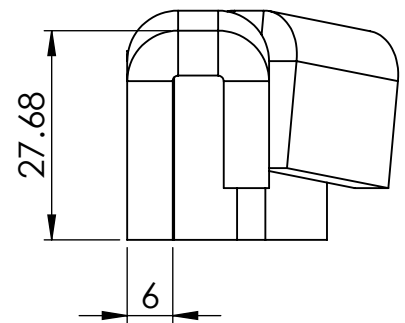
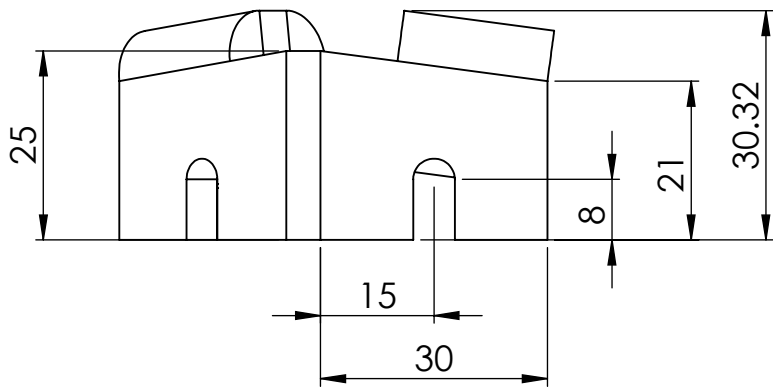
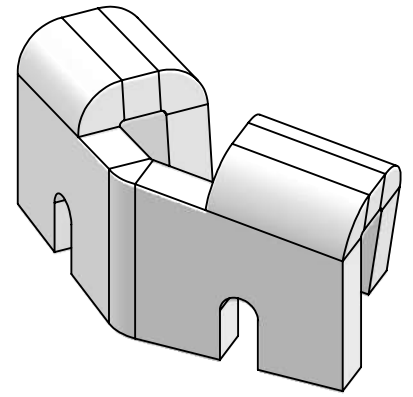
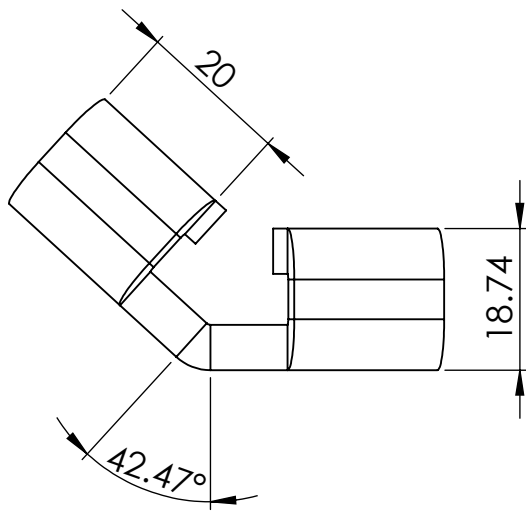


PLANCHA REFLECTOR DESPLEGADO



PLANCHA REFLECTOR PLEGADO

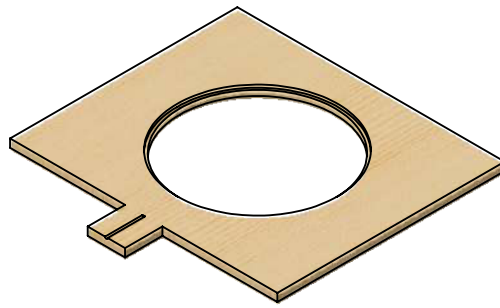
| | | | | |
|-------------------------|---------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Frontal de aluminio | | Dib. | Edison Morales |
| Material: PVC SINTRA | Tol.Gral. N/A | Escala: 1:10 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| REFLECTOR | | PCS-01-03-01 | | Fecha: 20/07/22 |



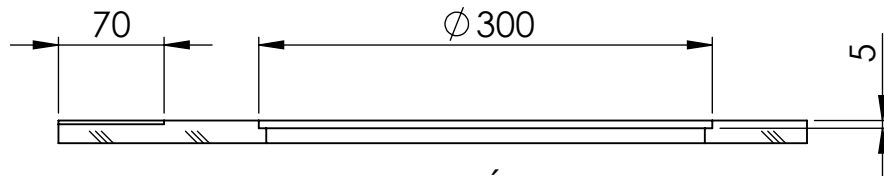
PLANCHA ENGANCHE DESPLEGADO

Nota:
Todos los dobleces son a 90°, hacia abajo

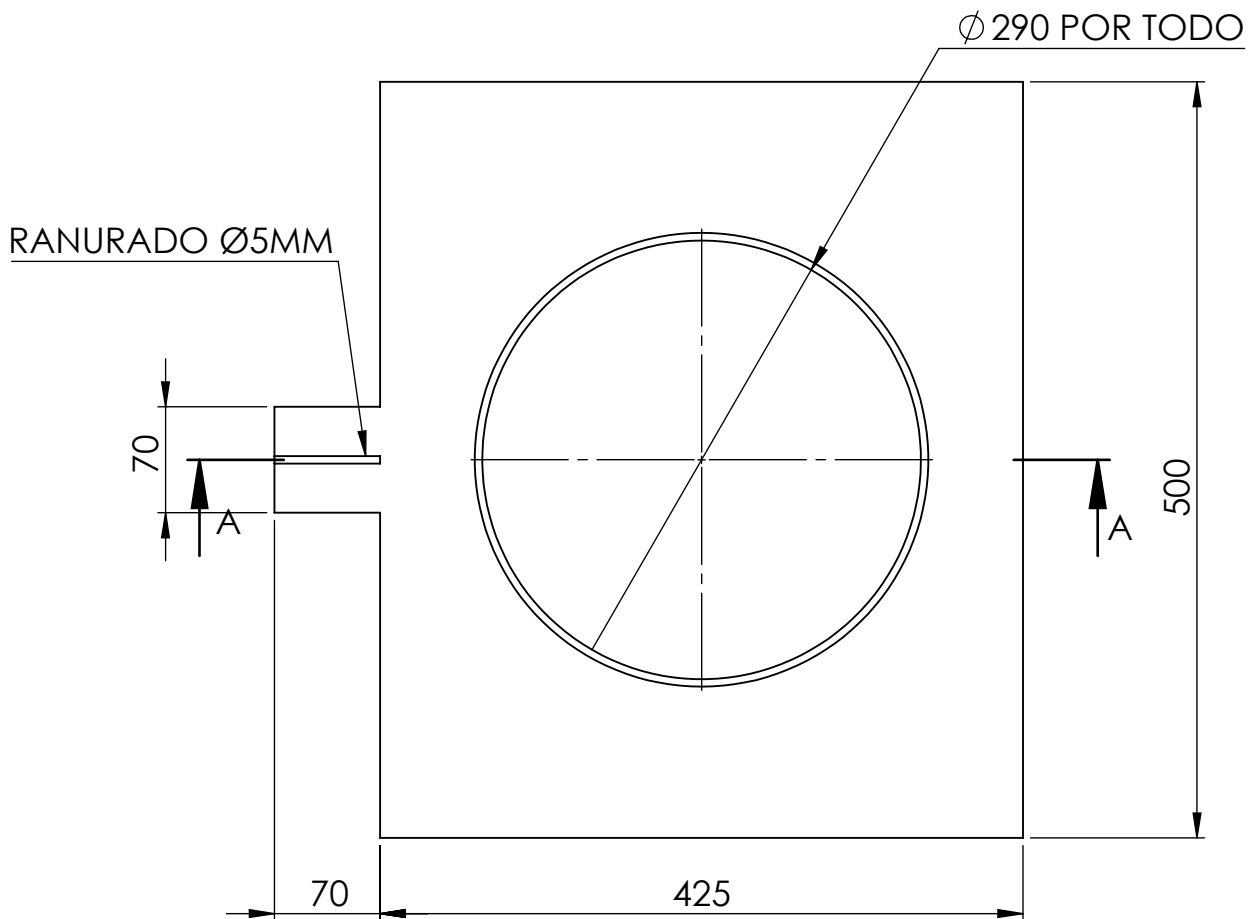
| | | | | |
|-------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|--------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales |
| Material: PVC SINTRA | Tol.Gral. ±0.1 | Escala: 1:1 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| ENGANCHE | | PCS-01-03-02 | | Fecha: 20/07/22 |



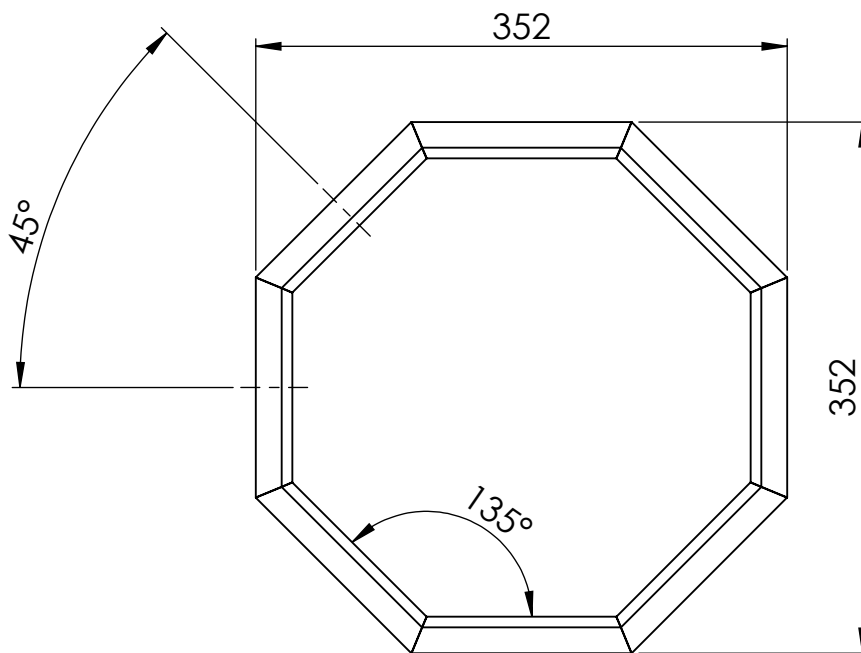
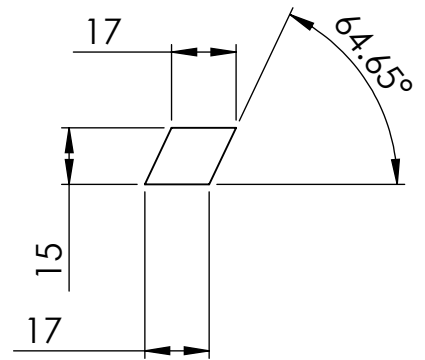
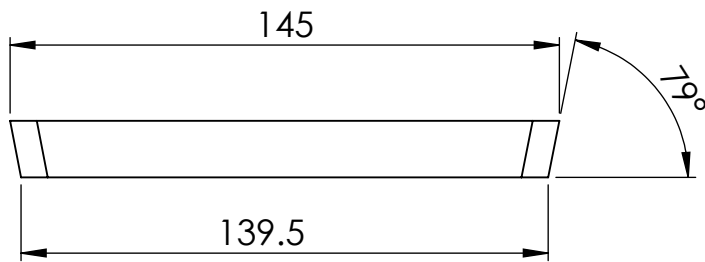
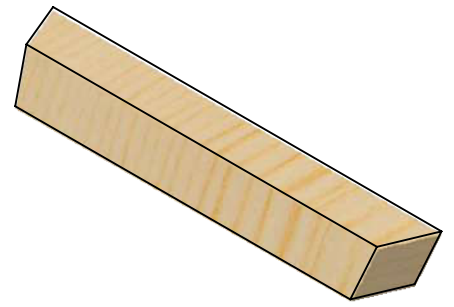
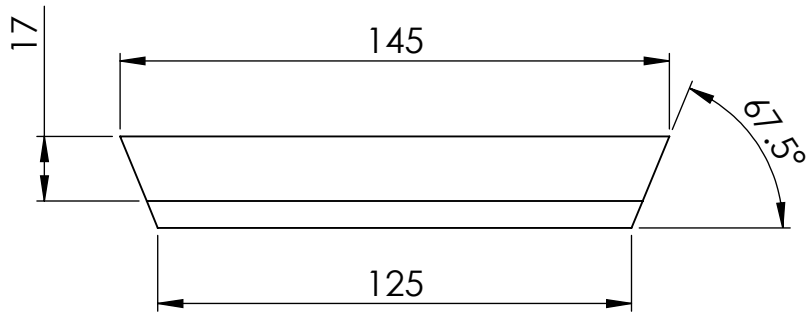
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:10



SECCIÓN A-A

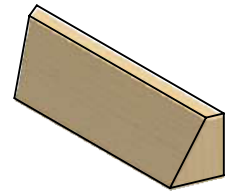
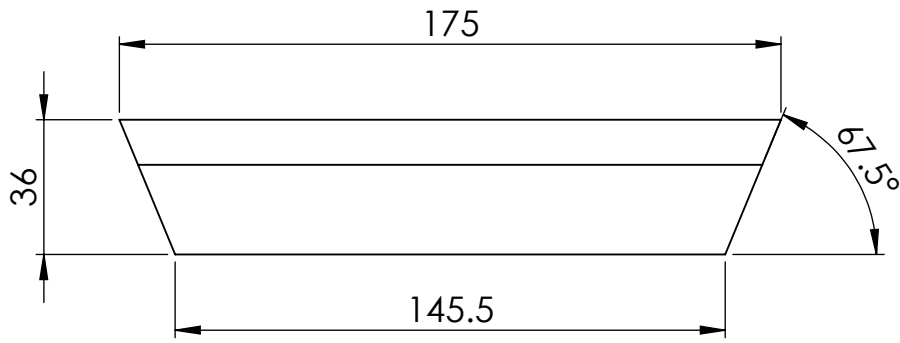


| | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales |
| Material: MADERA CONTRACHAPADA | Tol.Gral. ±0.1 | Escala: 1:5 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| TAPA DE CÁMARA DE COCCIÓN | | PCS-01-03-03 | Fecha: 20/07/22 | |

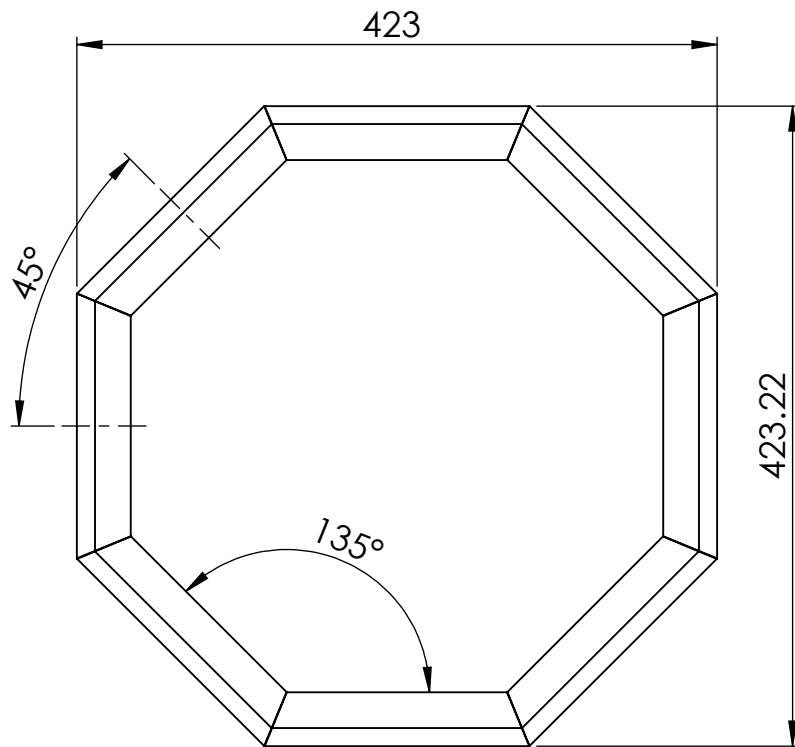
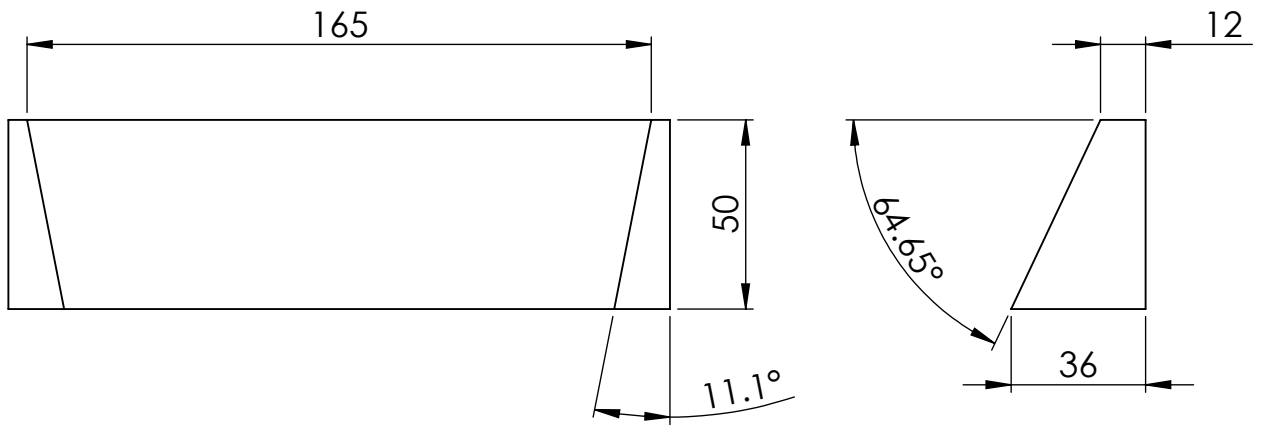


ARREGLO DE BASE INTERNA
ESCALA 1:5

| | | | | |
|-------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales |
| Material: MADERA RECICLADA | Tol.Gral. ±0.1 | Escala: 1:2 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| | | | Fecha: 20/07/22 | |
| BASE INTERIOR DE REFLECTOR | | PCS-01-03-04 | | |



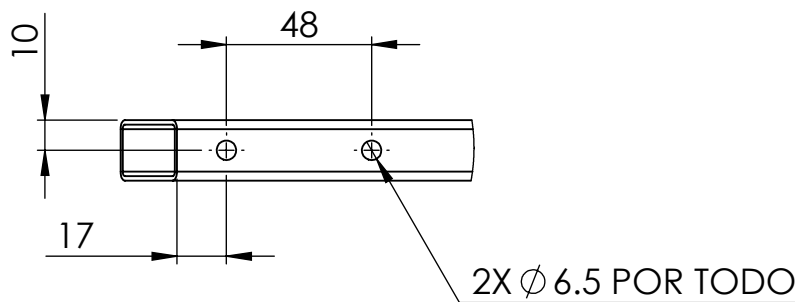
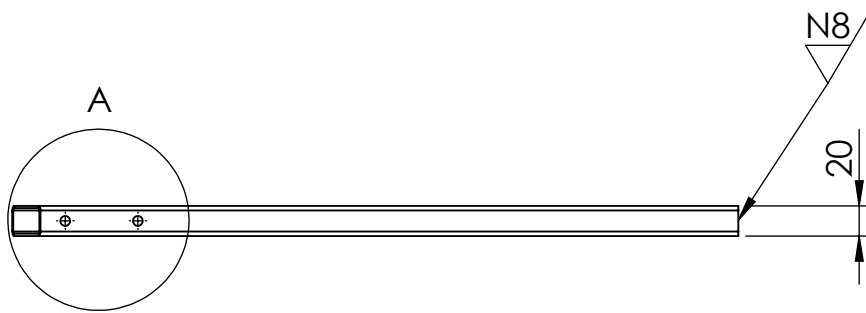
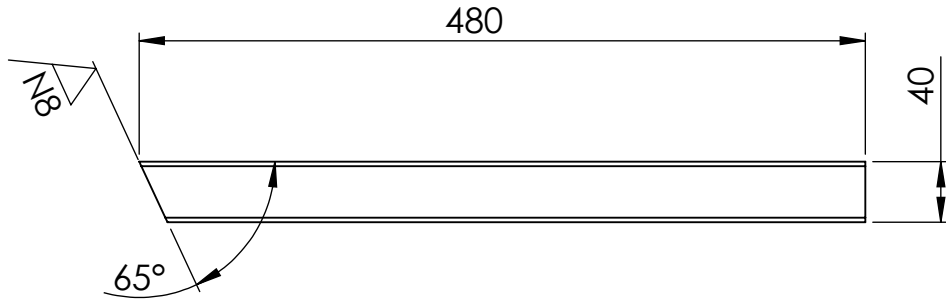
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:5



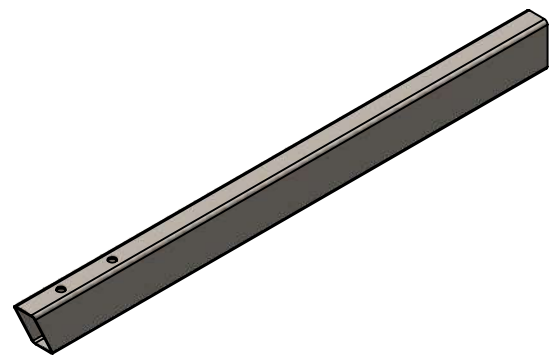
ARREGLO DE BASE EXTERNA
ESCALA 1:5

| | | | | |
|-------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales |
| Material: MADERA RECICLADA | Tol.Gral. ±0.1 | Escala: 1:2 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| BASE EXTERIOR DE REFLECTOR | | PCS-01-03-05 | Fecha: 20/07/22 | |

N8 / (N9 /)



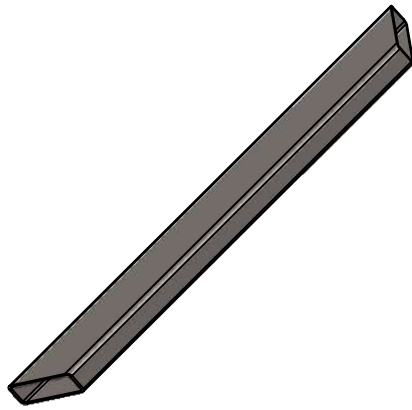
DETALLE A
ESCALA 2 : 5



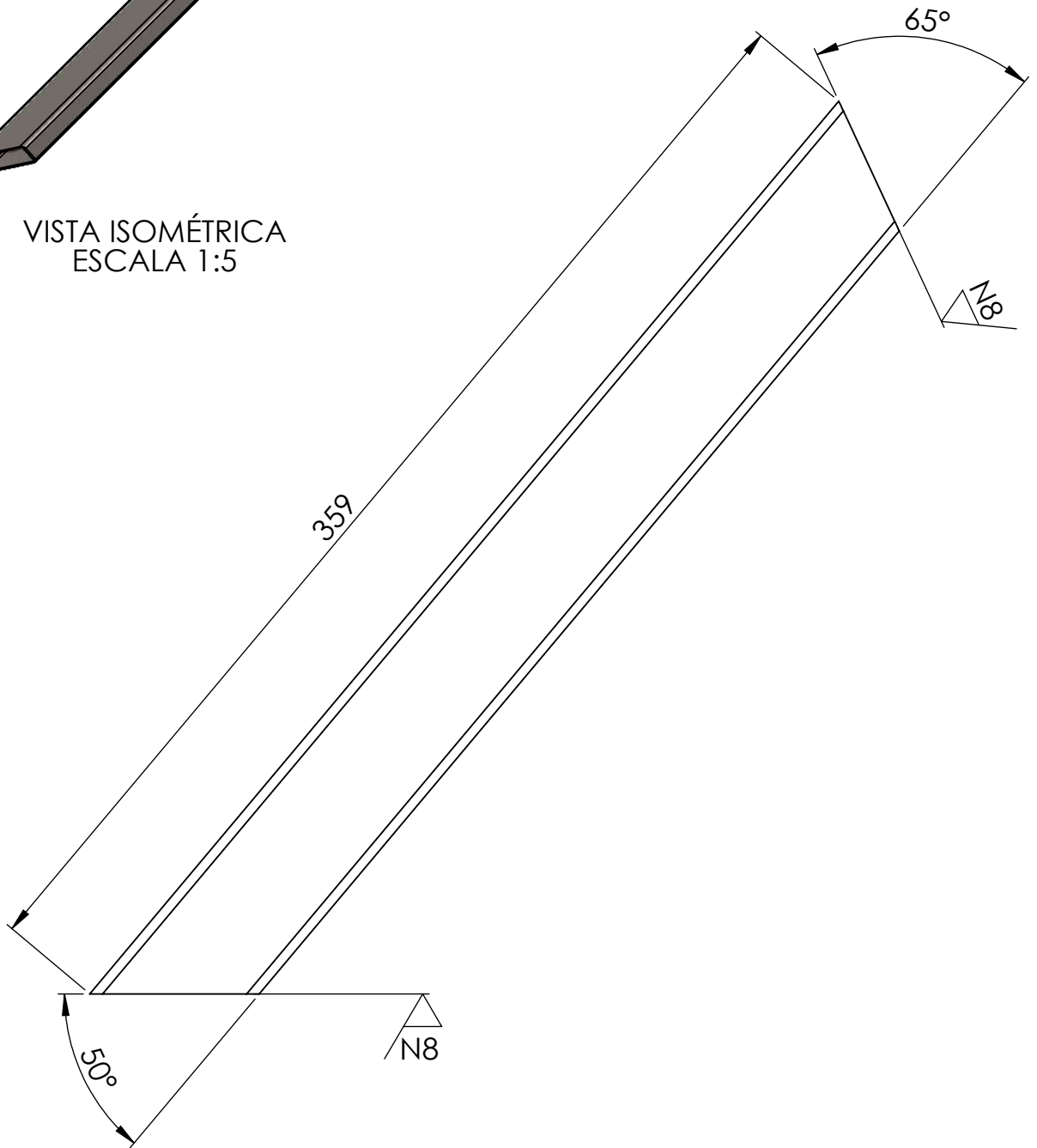
NOTA:
TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5MM

| | | | | |
|-----------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales |
| Material: ACERO ASTM A36 | Tol.Gral. ±0.1 | Escala: 1:5 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| TRAVESAÑO LATERAL PRINCIPAL | | PCS-01-04-01 | Fecha: 20/07/22 | |

N8 / (N9 /)

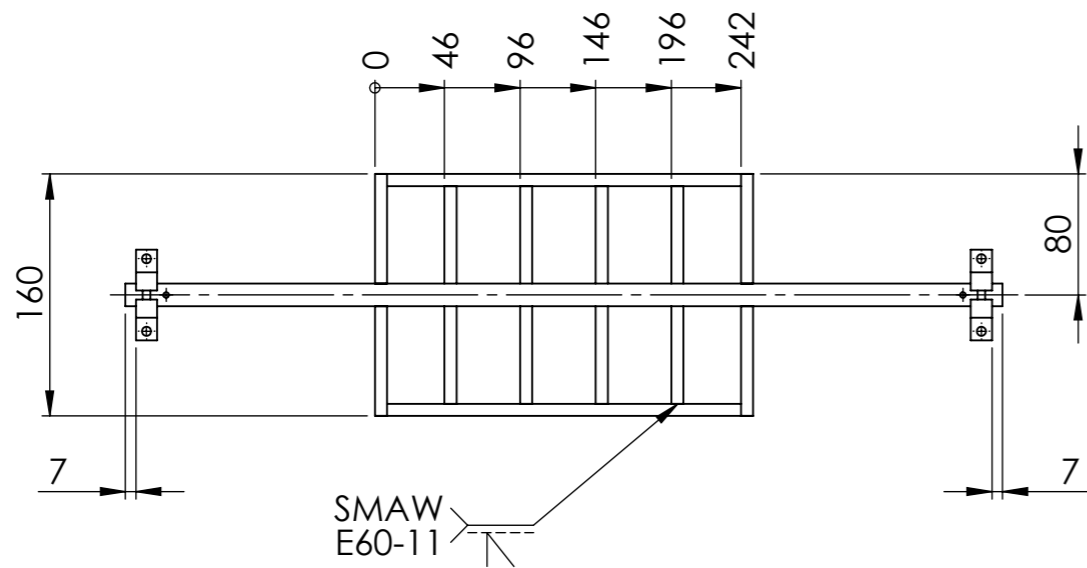


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:5



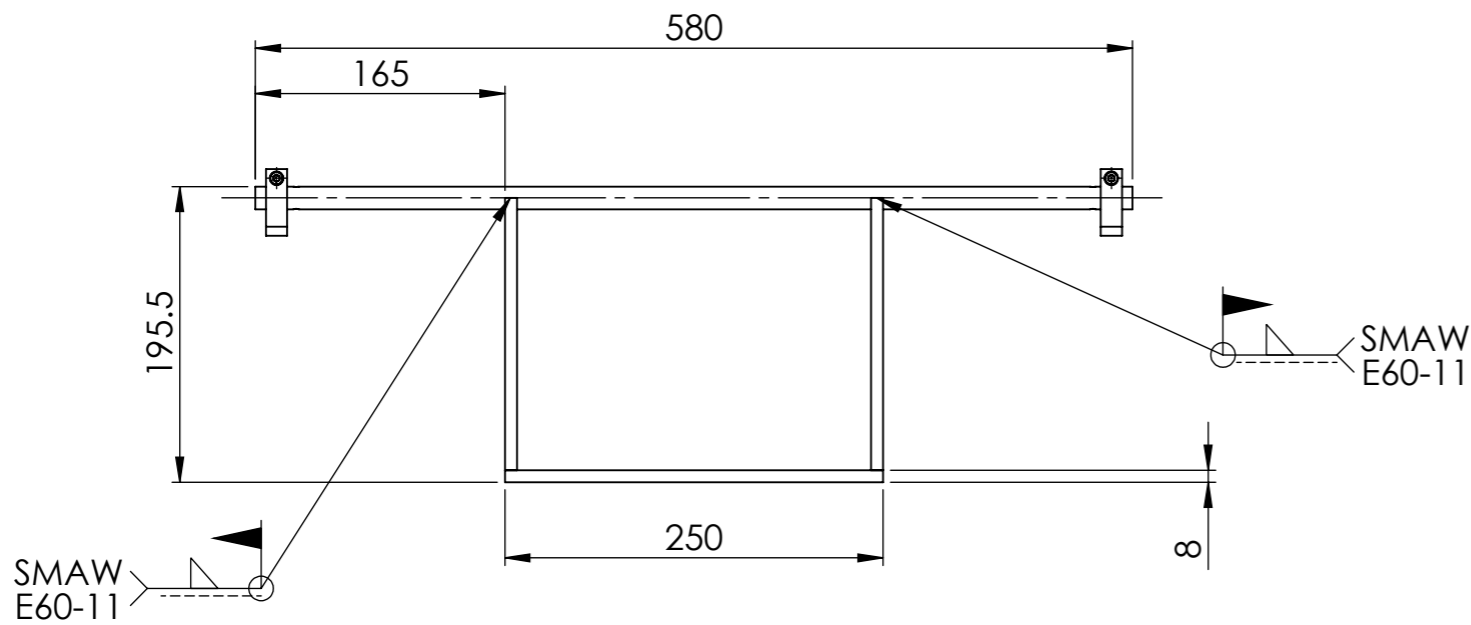
NOTA:
TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5MM

| | | | | |
|-----------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales |
| Material: ACERO ASTM A36 | Tol.Gral. ±0.1 | Escala: 1:2 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| TRAVESAÑO INCLINADO | | PCS-01-04-02 | Fecha: 20/07/22 | |



Nota:

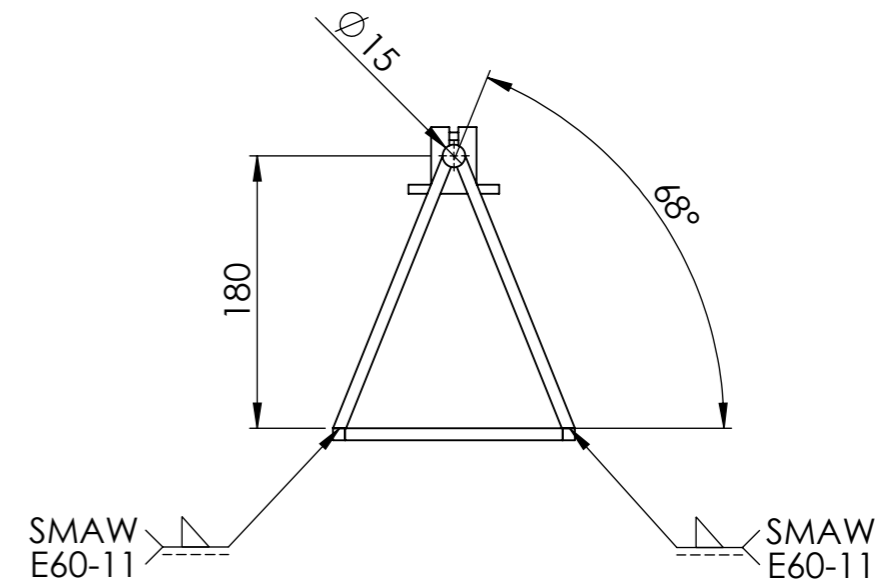
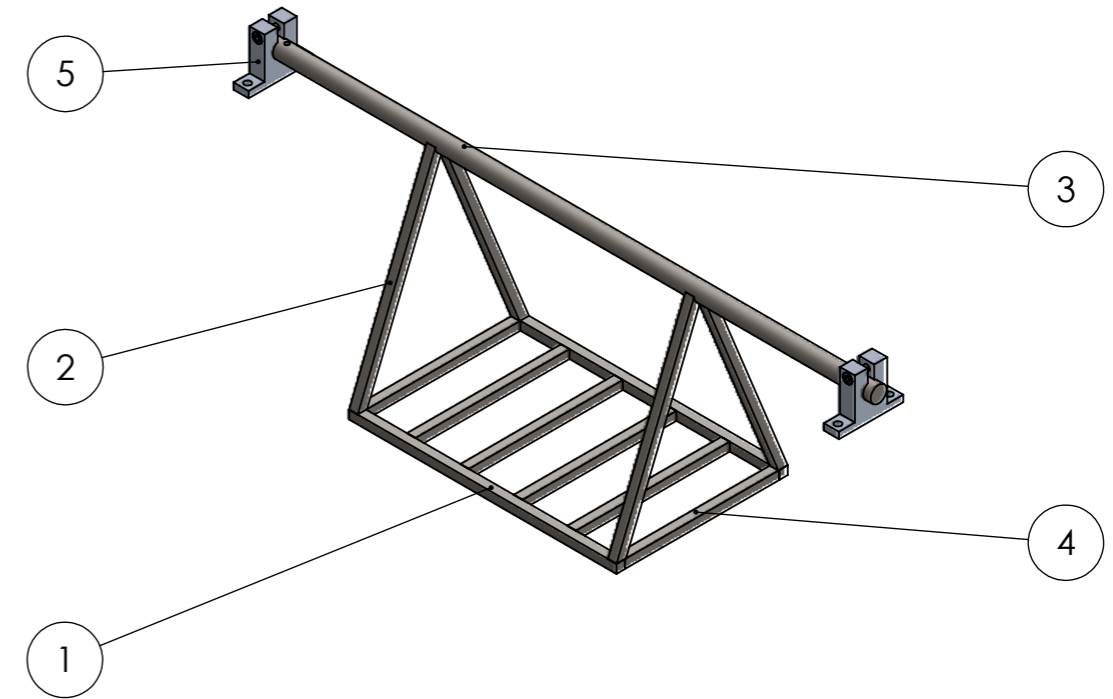
Todas las uniones de varillas son soldadas con SMAW E60-11 por el exterior y con bisel único.



Nota:

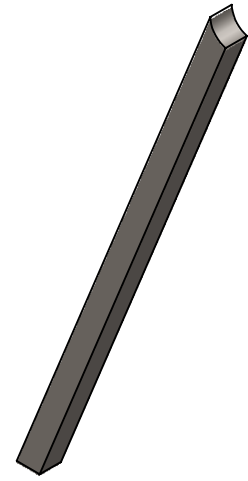
Se detalla item: 1 y 4 con logitud de las varillas con cortes rectos para su elaboración.

| ITEM | ELEMENTO | DESCRIPCIÓN / No. PLANO | MATERIAL | CANT |
|------|----------------------|----------------------------------|----------|------|
| 5 | SOPORTE EJE | SOPORTE FIJO PARA EJE LINEAL SK8 | ACERO | 2 |
| 4 | VARILLA TRANSVERSAL | VARILLA CUADRADA 8MM | ASTM A36 | 6 |
| 3 | EJE | PCS-01-05-02 | ASTM A36 | 1 |
| 2 | VARILLA INCLINADA | PCS-01-05-01 | ASTM A36 | 4 |
| 1 | VARILLA LONGITUDINAL | VARILLA CUADRADA 8MM | ASTM A36 | 2 |

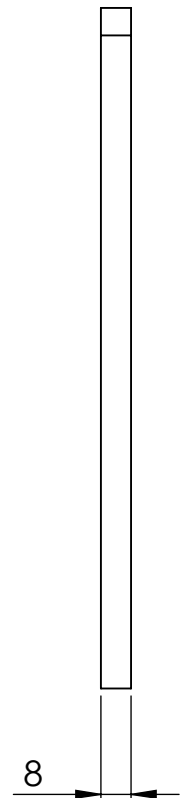
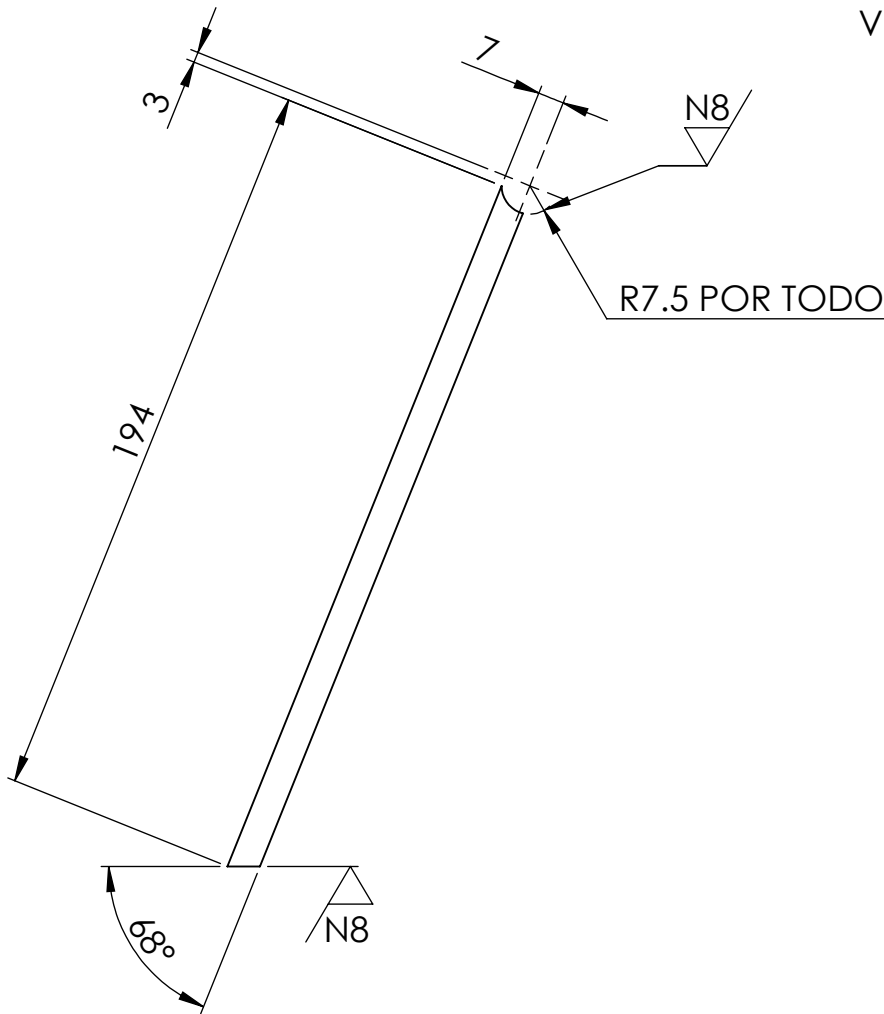


| | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|-----------|---------------------------------|----------------|-------------------|----------|----------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | | | | |
| Recubrimiento | Pintura | | Dib. | Edison Morales | | | |
| Material: | ACERO ASTM A36 | Tol.Gral. | ±0.1 | Escala: | 1:10 | Dis. | Edison Morales |
| | | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez | Fecha: | |
| SOPORTE DE RECIPIENTE | | | | PCS-01-05 | | 20/07/22 | |

N8 / (N9 /)



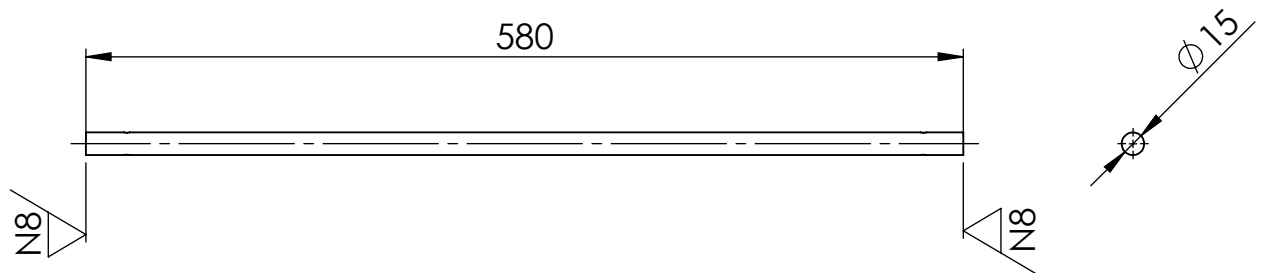
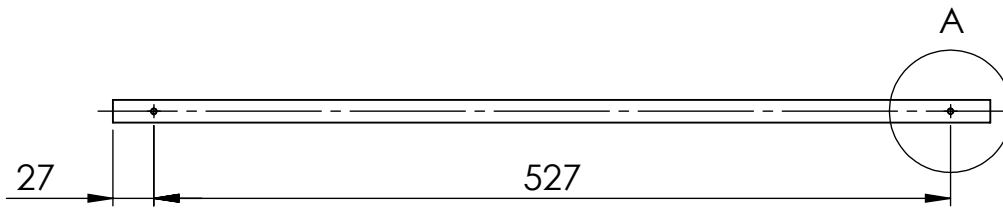
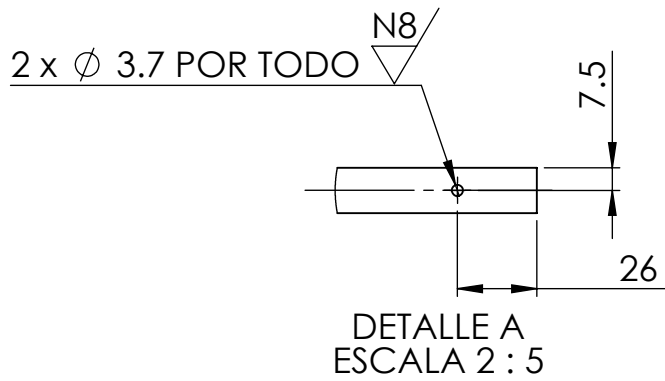
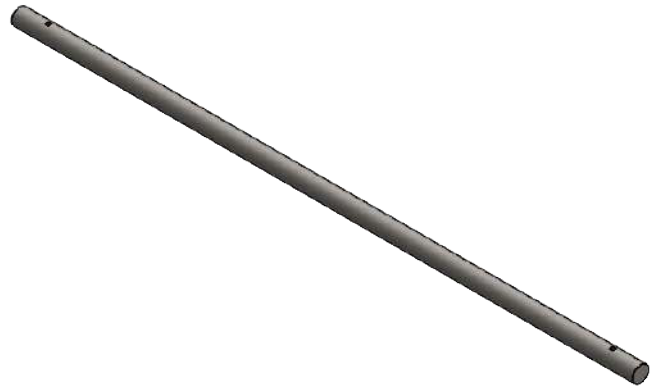
VISTA ISOMÉTRICA



NOTA:
VARILLA CUADRADA 8MM

| | | | | |
|------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales |
| Material: ACERO ASTMA A36 | Tol.Gral. ±0.1 | Escala: 1:2 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| VARILLA INCLINADA | | PCS-01-05-01 | Fecha: 20/07/22 | |

N8 / (N9 /)



| | | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| Trat.térmico | Ninguno | EPN | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | |
| Recubrimiento | Ninguno | | Dib. | Edison Morales |
| Material: ACERO ASTM A36 | Tol.Gral. ± 0.1 | Escala: 1:5 | Dis. | Edison Morales |
| | | | Rev. | Prof. Marco Yáñez |
| EJE | | PCS-01-05-02 | Fecha: 20/07/22 | |