

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Desarrollo de un módulo demostrativo de energía solar térmica  
empleando un disco Fresnel y un elemento caloportador

INGE - 2537

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecánica**

Presentado por:

Jefferson Brayan Cabezas Martínez

Byron Rubén Baque Lino

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Dedicatoria

---

Este proyecto lo dedico a mis padres  
y mi tía, Joffre, Carmen y Noriz  
quienes con sus virtudes y defectos  
han formado el ser humano que soy,  
que gracias a eso y a su apoyo he  
podido llegar hasta aquí.

Jefferson Cabezas

Dedico este proyecto a mis padres,  
Grace y Rubén, a mis hermanos  
Ayrton, Ashley y Seidy, a mis  
segundos padres, Ángel y Grace, a  
mi esposa Nahomi, y a un ser que  
está formándose, mi cuyeyo. A  
todos ellos, quienes me han guiado  
con sus palabras en más de una  
ocasión, nutriendo mi ser y siendo  
mi pilar, quienes me impulsan a  
seguir adelante.

Byron Baque

## Agradecimientos

---

Agradezco a Dios porque en su infinita misericordia ha sido bueno conmigo, porque fue él quien movió los hilos celestiales para que pueda ingresar a la universidad y he caminado de su mano, a mi manera, pero sin soltarla para poder culminar esta travesía. A mis familiares y amigos quienes no han cesado de darme fuerzas e impulsarme con sus acciones y palabras que no los nombro a cada uno porque no me lo permite el formato, a todos ellos, Gracias.

Jefferson Cabezas y Byron Baque

## Declaración Expresa

---

Nosotros Jefferson Brayan Cabezas Martínez y Byron Rubén Baque Lino acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 19 de mayo del 2024.

  
Jefferson Brayan

Cabezas Martínez

  
Byron Rubén

Baque Lino

## **Evaluadores**

---

**Dra. Emérita Delgado**

Profesor de Materia

---

**Dr. Juan Peralta**

Tutor de proyecto

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación se ocupa del diseño y la implementación de un módulo de energía solar que con un disco Fresnel. Este logra demostrar el fenómeno de transformación de energía solar a energía térmica. Se implementado un prototipo con materiales reutilizados, aquellos materiales provenientes de estructuras en desuso, a utilizarse por el CDTS en sus clases sobre energías renovables. Este proyecto surgió de la necesidad de contar con un equipo de este tipo para conectar conocimientos teóricos con conocimientos prácticos de los estudiantes de las clases antes mencionadas. Fue desarrollado a través de criterios ingenieriles de selección de materiales, diseño de forma, detalle y prácticas de manufactura sostenible. Además, ese utilizó software de elementos finitos en el proceso de diseño. Se Obtuvieron como resultados un prototipo de módulo demostrativo de 4 piezas, base, soporte principal, brazo del disco y anillo con planos respectivos y funcional.

Concluyendo que, fue factible diseñar e implementar un módulo de energía solar con criterios ingenieriles y conceptos de economía circular. Utilizando software de elementos finitos para las simulaciones. Generando los planos constructivos, la implementación del módulo y un manual de operación y mantenimiento. El módulo brinda un proceso de aprendizaje teórico experimental de manera práctica y sencilla.

**Palabras Clave:** Módulo de energía solar, Disco Fresnel, Brazo del disco, Distancia focal.

## ABSTRACT

This thesis deals with the design and implementation of a solar energy module with a Fresnel disk. This demonstrates the phenomenon of transformation of solar energy into thermal energy. A prototype was implemented with reused materials, those materials from disused structures, to be used by the CDTS in its classes on renewable energy. This project arose from the need to have such a team to connect theoretical knowledge with practical knowledge of the students of the aforementioned classes. It was developed through engineering criteria for material selection shape design, detail and sustainable manufacturing practices. In addition, finite element software was used in the design process. The results were a 4-piece demonstration module prototype, base, main support, disk arm and ring with respective plans. Concluding that, it was feasible to design and implement a solar energy module with engineering criteria and circular economy concepts. Using finite element software for simulations. Generating construction plans, module implementation and an operation and maintenance manual. The module provides an experimental theoretical learning process in a practical and simple way.

**Keywords:** Solar energy module, Fresnel disk, Disk arm, Focal distance

## Índice general

Resumen .....	I
Abstract .....	II
Índice general .....	III
Abreviaturas .....	VII
Simbología .....	VIII
Índice de figuras .....	IX
Índice de tablas .....	XI
Índice de planos .....	XII
Capítulo 1 .....	1
1.1 Introducción .....	2
1.2 Descripción del Problema .....	2
1.3 Justificación del Problema .....	3
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos .....	3
1.5 Marco teórico .....	4
1.5.1 Energía Solar .....	4
1.5.2 Energía Solar Térmica .....	5
1.5.3 Tipos de la energía solar térmica. ....	5
1.5.4 Radiación Solar.....	6



1.5.5 Tipos de radiación Solar .....	6
Radiación reflejada o de albedo. ....	6
1.5.6 Recurso solar .....	7
1.5.7 Dirección de la radiación .....	9
1.5.8 Mecanismo de seguimiento solar.....	10
1.5.9 Colectores de energía solar .....	12
1.5.10 Solidos caloportadores.....	12
1.5.11 Óptica: Aspectos Generales .....	12
1.5.12 Manufactura sostenible.....	14
Capítulo 2 .....	16
2. Metodología.....	17
2.1 Diagrama de flujo del proyecto.....	17
2.2 Requerimientos del diseño .....	19
2.2.1 Factores de Influencia.....	19
2.2.2 Matriz de evaluación por pares.....	20
2.2.3 Selección de criterios de selección .....	21
2.2.4 Ponderación final de los criterios de selección.....	22
2.3 Diseño de Forma .....	22
2.3.1 Síntesis y análisis del diseño.....	22
2.3.2 Alternativas de diseño.....	23
2.3.3 Matriz de decisión.....	27
2.4 Modelos matemáticos .....	27

2.4.1 Cálculos .....	27
2.4.1.1 Ecuaciones.....	28
2.4.2 Simulación .....	29
2.5 Diseño Detallado.....	35
2.5.1 Selección de materiales.....	35
2.5.2 Selección del disco .....	39
2.5.3 Diseño final.....	39
Capítulo 3.....	40
3. Resultados y análisis .....	41
3.1 Cálculos .....	41
3.2 Dimensionamiento del módulo solar .....	45
3.3 Implementación .....	47
3.4 Módulo de energía solar térmica implementado .....	49
3.5 Pruebas de funcionamiento.....	50
3.6 Simulación estructural .....	54
3.7 Estimación de costos.....	57
3.8 Manual de operación y mantenimiento.....	59
Capítulo 4.....	60
4.1 Conclusiones y recomendaciones .....	61
4.1.1 Conclusiones.....	61
4.1.2 Recomendaciones .....	62
Referencias .....	63

Apéndices A.....	65
Apéndices B.....	66
Apéndices C.....	69

**Abreviaturas**

CDTS Centro de Desarrollo Tecnológico Sostenible

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

**Simbología**

<i>cm</i>	Centímetro
<i>cm</i> <sup>3</sup>	Centímetro cubico
<i>g</i>	Gramos
<i>kg</i>	Kilogramo
<i>m</i>	Metro
<i>m</i> <sup>2</sup>	Metro cuadrado
<i>MPa</i>	Mega Pascal
<i>mm</i>	Milímetros
<i>N</i>	Newton
<i>s</i> <sup>2</sup>	Segundo cuadrado

## Índice de figuras

Figura 1.1. Interacción de la energía solar .....	4
Figura 1.2. Clasificación de la energía solar térmica .....	6
Figura 1.3. Distribución de la radiación solar en la superficie terrestre. ....	7
Figura 1.4. Geometría de la radiación del sol .....	8
Figura 1.5. Ángulos de la superficie captadora.....	9
Figura 1.6. Geometría de radiación solar en la superficie inclinada.....	10
Figura 1.7. Sistema de seguimiento solar de 2 ejes .....	11
Figura 2.1. Diagrama de flujo .....	18
Figura 2.2. D.C.L de la base .....	28
Figura 2.3 .D.C.L del soporte principal .....	28
Figura 2.4. D.C.L del brazo del disco .....	28
Figura 2.5. Base como viga simplemente apoyada .....	30
Figura 2.6. Soporte principal como columna esbelta.....	30
Figura 2.7. Vista alámbrica de Soporte Principal .....	30
Figura 2.8. Vista alámbrica de la Base.....	31
Figura 2.9. Idealización de elementos tipo de línea.....	31
Figura 2.10. Tipos de apoyos utilizados .....	32
Figura 2.11. Masa del soporte Principal .....	32
Figura 2.12. Masa del Brazo del Disco .....	33
Figura 2.13. Cargas .....	33
Figura 2.14. Mallado del Soporte.....	34

Figura 2.15. Mallado de la base .....	34
Figura 2.16. Estructura de perfil tipo “C” .....	36
Figura 2.17. Disco Fresnel A .....	36
Figura 2.18. Disco Fresnel B y C.....	37
Figura 2.19. Longitud de la distancia focal disco B y C.....	37
Figura 2.20. Altura de la distancia focal disco B y C .....	40
Figura 2.21. Distancia focal del disco Fresnel .....	40
Figura 2.22. Diseño final del módulo solar.....	39
Figura 3.1. Análisis para determinación de diámetro mínimo del pasador.....	44
Figura 3.2. Módulo de energía solar implementado .....	50
Figura 3.3. Pruebas de funcionamiento 1 .....	51
Figura 3.4. Prueba de funcionamiento 2 .....	51
Figura 3.5 Prueba de funcionamiento 3 .....	55
Figura 3.6 Prueba de funcionamiento 4 .....	55
Figura 3.7 Prueba de funcionamiento 5 .....	56
Figura 3.8 Prueba de funcionamiento 6 .....	56
Figura 3.9. Visualización de sección del soporte.....	54
Figura 3.10. Resultado de esfuerzos Soporte .....	55
Figura 3.11. Resultado de factor de seguridad del soporte .....	55
Figura 3.12. Visualización de sección de la base.....	56
Figura 3.13. Resultado de esfuerzos en la base.....	56
Figura 3.14. Resultados de los factores de seguridad en la base .....	60

## Índice de tablas

Tabla 2.1 Factores de influencia .....	19
Tabla 2.2 Matriz de comparación por pares con ponderación decimal .....	20
Tabla 2.3. Factores de influencia más importantes .....	21
Tabla 2.4. Criterios de selección .....	22
Tabla 2.5. Síntesis y análisis de forma del diseño .....	22
Tabla 2.6. Síntesis y análisis de la alternativa 1 .....	24
Tabla 2.7. Síntesis y análisis de la alternativa 2.....	25
Tabla 2.8. Síntesis y análisis de la alternativa 3.....	26
Tabla 2.9. Matriz de decisión.....	27
Tabla 2.10. Materiales disponibles .....	35
Tabla 3.1 Resultados de dimensionamiento del Módulo Solar.....	45
Tabla 3.2. Hoja de Ruta de Implementación.....	47
Tabla 3.3. Costos unitarios de materiales .....	58
Tabla 3.4. Costos totales de materiales .....	58
Tabla 3.5. Costos de mano de obra diario.....	62
Tabla 3.6. Costos totales de mano de obra.....	62



**Índice de planos**

PLANO 1 Base

PLANO 2 Soporte Principal

PLANO 3 Brazo del disco

PLANO 4 Anillo

PLANO 5 Perspectivas

PLANO 6 Vista explotada

# Capítulo 1

## ***1.1 Introducción***

En la actualidad, la importancia de las energías renovables ha adquirido un protagonismo esencial en el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático. Motivo por el cual la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), a través de su decanato de vinculación, ha propuesto varios proyectos enfocados en la enseñanza sobre energías renovables. Durante el proceso de enseñanza ha evidenciado que fortalecer los conocimientos teóricos con una parte práctica permite un mejor proceso de aprendizaje. Por eso se necesita un dispositivo que los alumnos a los que se dirige este proyecto puedan utilizar. Un equipo práctico para estudiantes de secundaria, y que sea económicamente factible. Sin embargo, a nivel de mercado interno no se ha encontrado equipos con estas características. En este contexto, se propone el desarrollo de un módulo demostrativo de energía solar térmica con disco Fresnel y un elemento caloportador que permita, mediante un mecanismo, fijar el disco Fresnel y permita los movimientos necesarios para enfocar los rayos solares y demostrar los conceptos teóricos enseñados.

## ***1.2 Descripción del Problema***

A nivel de laboratorio existe una necesidad permanente de contar con módulos formativo o demostrativo que permitan desarrollar actividades de enseñanza-aprendizaje en el marco de la energía renovable como fomento del desarrollo sostenible. Especial interés existe en módulos de energía solar térmica que se caracterizan por su alto grado complejidad y poca variedad de prototipos de venta a nivel comercial. En este sentido se propone un prototipo formativo de energía solar térmica, empleando un disco Fresnel y un elemento caloportador que permita generar un punto caliente que demuestre el fenómeno de transferencia de calor, utilizando materiales locales. El cual lo utilizará el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS). Este es una unidad de investigación de la ESPOL que se dedica al desarrollo de tecnologías sustentables aplicadas a la comunidad.

### ***1.3 Justificación del Problema***

La ESPOL ha venido estableciendo programas de enseñanza sobre energías renovables hacia estudiantes de nivel secundario. Estos programas son implementados a través de su decanato de vinculación. Uno de los proyectos del programa gestionado es: Desarrollo de Módulos Didácticos para Enseñanza de Energías Sostenible, que plantea la creación de prototipos educacionales para realizar pruebas piloto en estudiantes de colegio. Motivo por el cual se plantea el desarrollo de módulo demostrativo de energía solar térmica con disco Fresnel. Esto para inducir una enseñanza efectiva y de calidad que no solo quede en la teoría, sino que se gestiones más en la práctica. Dicho de otra manera, aprender haciendo.

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Desarrollar un módulo demostrativo de energía solar térmica empleando un disco Fresnel que permita la interacción de un punto caliente y un elemento caloportador empleando criterios de ingeniería y prácticas de manufactura de económica circular para el proceso de enseñanza sobre energía sostenible.

#### ***1.4.2 Objetivos específicos***

1. Diseñar el sistema mecánico de movimiento del disco mediante la aplicación de métodos de elementos finitos.
2. Desarrollar un módulo demostrativo empleando estrategias de económica circular en la selección de materiales locales y componentes mecánicos
3. Realizar el manual de operación y mantenimiento del módulo demostrativo estableciendo especificaciones técnicas para el funcionamiento del sistema para enseñanza en unidades educativas.

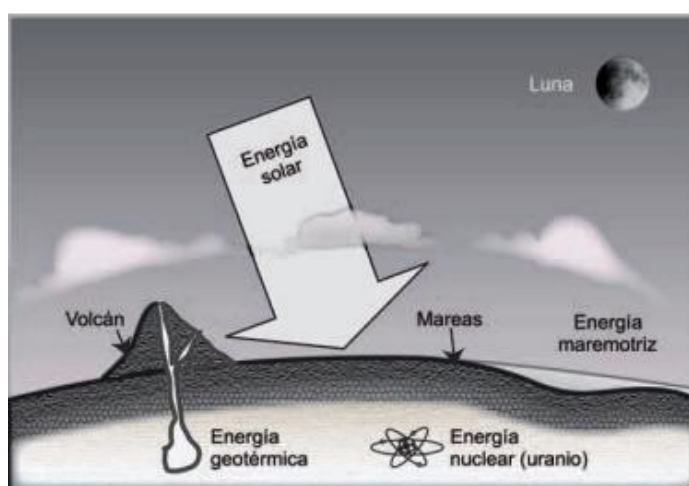
## 1.5 Marco teórico

### 1.5.1 Energía Solar

La energía solar es aquella que proviene del sol, y llega a la tierra en forma de radiación electromagnética. El sol irradia esta energía gracias a un proceso de fusión nuclear. (González, Pérez, Santos, & Gil, 2012). Después la energía liberada viaja a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas hasta llegar a la superficie terrestre. La tierra absorbe, refleja y emite la energía solar en diferentes proporciones. La cantidad de energía que llega a la superficie terrestre es, aproximadamente, 15000 veces más que la utilizada en la tierra por el periodo de un año. (González, Pérez, Santos, & Gil, 2012). Lo cual da una idea del potencial que tiene la energía solar. Cuando entra en contacto con la atmosfera esta energía, llamémosle primaria, se transforma en otras como: energía eólica, energía de los mares, energía de biomasa, energía química, energía solar térmica tal como se muestra la figura 1.1.

**Figura 1.1.**

*Interacción de la energía solar*



*Nota.* Adaptado de: Centrales de Energía Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables (p.26). 2012. Editorial Pearson. Por José Carta, Antonio Colmenar, Manuel Castro y Roque Calero.

### 1.5.2 Energía Solar Térmica

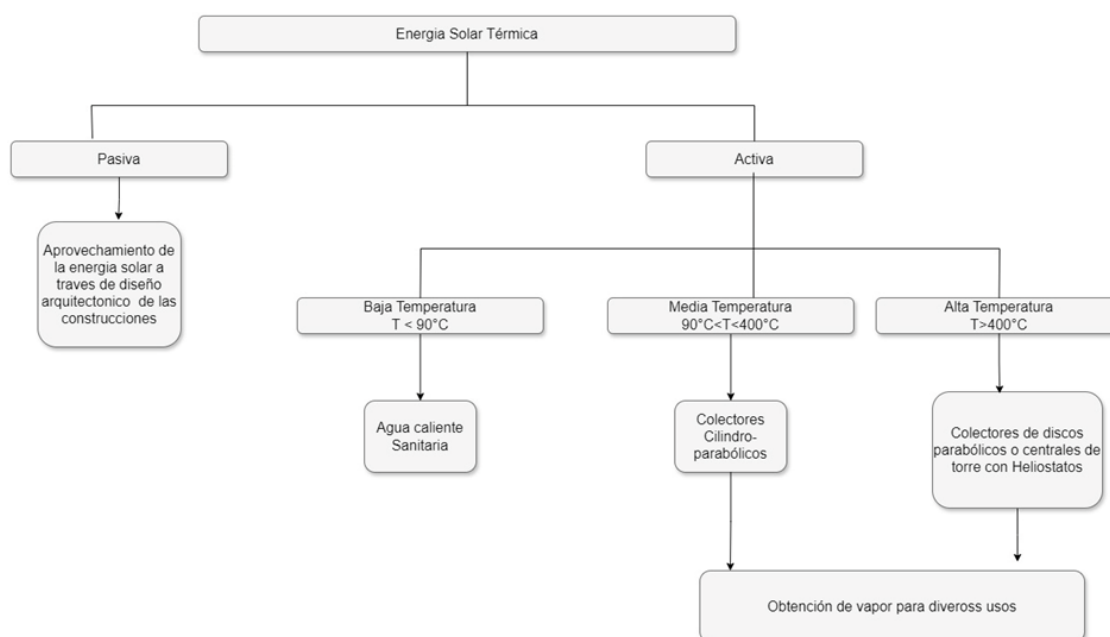
La energía solar térmica es el aprovechamiento de la energía del sol de la manera más directa posible. Al colocar un objeto bajo los rayos del sol durante un tiempo prolongado, debido a la transferencia de calor entre los rayos del sol y el objeto, aumentara su temperatura inicial. Cabe mencionar que el objeto debe tener buenas propiedades de conducción de calor.

### 1.5.3 Tipos de la energía solar térmica.

Los tipos de energía solar térmica se clasifican según la temperatura que pueden llegar a alcanzar. Véase la figura 1.2.

**Figura 1.2.**

*Clasificación de la energía solar térmica*



*Nota.* Adaptado de: Centrales de Energía Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables (p.165). 2009. Editorial Pearson. Por José Carta, Antonio Colmenar, Manuel Castro y Roque Calero.

#### ***1.5.4 Radiación Solar***

La radiación es un fenómeno de transferencia de calor que permite al sol transferir energía al sistema solar y es transmitida sin necesidad de un medio circundante, lo hace a través de ondas electromagnéticas. La radiación solar llega a la tierra en una tasa más o menos constante de uno  $1.367 \text{ KW}/\text{m}^2$  que al ingresar a la troposfera y luego a la atmosfera se ve disminuida por efectos de los diferentes cuerpos presentes durante su trayectoria, finalmente la cantidad de radiación solar disponible sobre la superficie terrestre es de aproximadamente  $900\text{W}/\text{m}^2$ . Los parámetros que pueden variar la radiación disponible son las condiciones meteorológicas, época del año, latitud del lugar y la orientación de la superficie receptora. (González, Pérez, Santos, & Gil, 2012).

#### ***1.5.5 Tipos de radiación Solar***

**Radiación directa.** Es aquella que incide directamente del sol, no ha tenido obstáculos que mermen su intensidad.

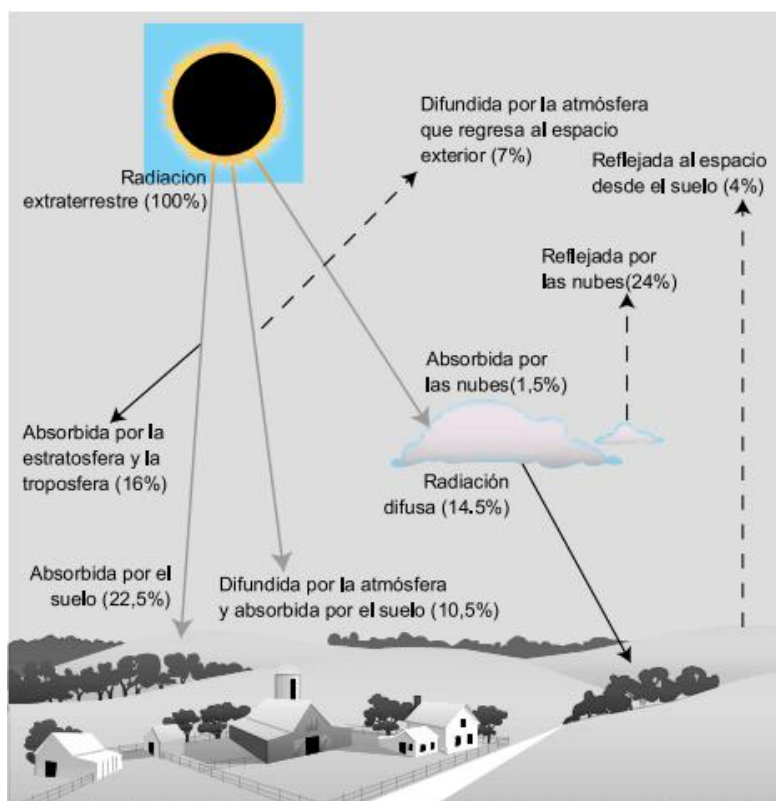
**Radicación difusa.** Es el tipo de radiación que durante su viaje por la atmosfera ha tenido que atravesar cuerpos y atravesarlos por lo que llegan con diferente intensidad.

**Radiación reflejada o de albedo.** Es el tipo de radiación que al incidir sobre determinados cuerpos se refleja en estos, debido a propiedades que estos cuerpos presentan, y siguen su camino, pero en diferente ángulo de incidencia.

Así como muestra la figura 1.3.

**Figura 1.3.**

*Distribución de la radiación solar en la superficie terrestre.*



*Nota.* incidencia de la radiación en sus respectivos porcentajes de los diferentes tipos de radiación dentro de la atmósfera. Adaptado de: Centrales de Energía Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables (p.153). 2009. Editorial Pearson. Por José Carta, Antonio Colmenar, Manuel Castro y Roque Calero.

### **1.5.6 Recurso solar**

Para estimar la ubicación del sol se realiza la suposición de que el sol es el que gira alrededor de la tierra pues es lo que se observa desde la tierra como marco de referencia cuando amanece y anoche, que es generalmente entre las 6 am y 6 pm. Además, se utilizan coordenadas polares porque permiten una ubicación más intuitiva de la ubicación. Para esto se definen los siguientes ángulos:

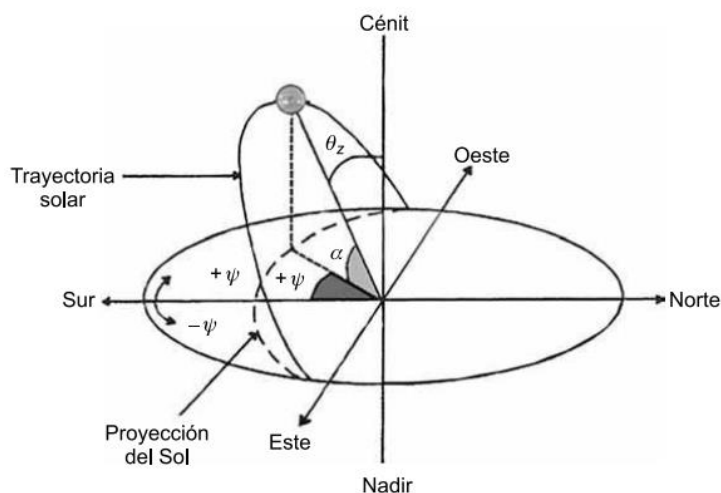


- Ángulo acimut: formado por la proyección del sol sobre la superficie de la tierra y el eje polar.
- Ángulo cenit: formado entre el cenit y la línea imaginaria sol-tierra
- Ángulo solar: formado entre la línea sol-tierra y el plano que contiene la superficie del lugar.
- Ángulo de inclinación de la superficie captadora: formado entre la superficie del lugar y la superficie captadora.
- Ángulo acimut de la superficie captadora: formado por el eje polar y la proyección de un eje perpendicular a la superficie captadora sobre el plano del lugar.

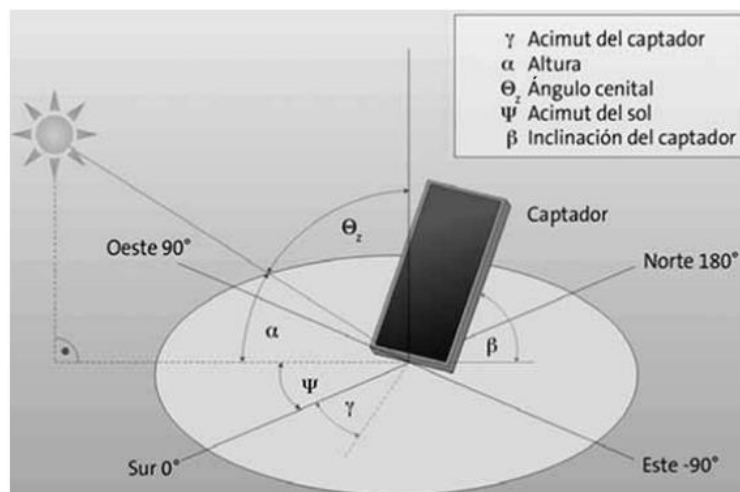
Se muestra un esquema en las figuras 1.4 y 1.5.

#### Figura 1.4.

##### *Geometría de la radiación del sol*



*Nota.* Adaptado de: Centrales de Energía Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables (p.158). 2009. Editorial Pearson. Por José Carta, Antonio Colmenar, Manuel Castro y Roque Calero.

**Figura 1.5.***Ángulos de la superficie captadora*

*Nota.* Adaptado de: Centrales de Energía Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables (p.159). 2009. Editorial Pearson. Por José Carta, Antonio Colmenar, Manuel Castro y Roque Calero.

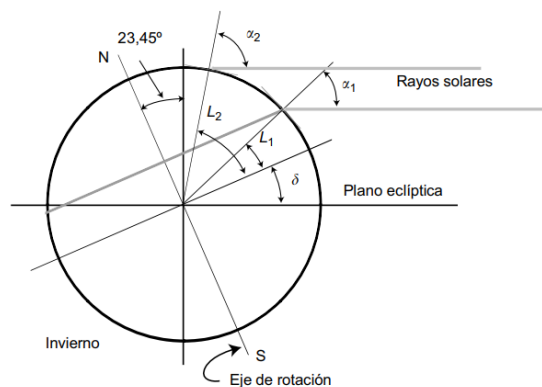
**1.5.7 Dirección de la radiación**

El curso solar es la variación que tiene la posición del sol con respecto a la tierra. Para determinar el curso solar se debe conocer que la tierra en su proceso de orbitar en torno al sol realiza una especie de elipse con el sol situado en uno de los focos. Esta trayectoria es conocida como plano de la elíptica. Además, la tierra posee una inclinación de  $23.45^\circ$  respecto del eje polar. En el transcurso del trayecto el ángulo que forma el plano ecuatorial con la línea imaginaria tierra sol, llamado declinación solar, varía desde  $-23.45^\circ$  a  $0^\circ$ , de  $0^\circ$  a  $23.45^\circ$ , de  $23.45$  a  $0$  y de  $0$  a  $-23.45^\circ$  de manera cíclica. Podemos destacar puntos de solsticios en el ángulo  $23.45^\circ$  en valor absoluto y los equinoccios en  $0^\circ$ . Como se muestra en la figura 1.6. Debido a la variación del ángulo de declinación solar los rayos que inciden en una superficie tangente a la tierra tendrán mayor incidencia en función de la latitud y de la época del año. A mayor latitud

menor ángulo de incidencia, típicamente en verano existe una mejor disposición para tener ángulos de incidencia óptimos. Este conjunto de factores hace que la tierra tenga las estaciones del año, que en determinadas regiones se tengan las 4 estaciones y en las zonas alrededor del ecuador solo se presenten 2 estaciones. (González, Pérez, Santos, & Gil, 2012)

**Figura 1.6.**

*Geometría de radiación solar en la superficie inclinada*



*Nota.* Adaptado de: Centrales de Energía Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables (p.156). 2009. Editorial Pearson. Por José Carta, Antonio Colmenar, Manuel Castro y Roque Calero.

**1.5.8 Mecanismo de seguimiento solar Mecanismos**

Los mecanismos son un conjunto de elementos mecánicos que permiten un movimiento relativo especificado por una necesidad de movimiento sea esta rotación, traslación o un movimiento complejo. Son caracterizados por las bajas fuerzas que transmiten y en efecto bajas potencia. (Norton R. , 2013).

***Tipos de movimiento***

Es necesario definir “Movilidad” para diversificar los tipos de movimiento usados en la construcción de movimientos. La movilidad se refiere al conjunto de movimientos necesarios para realizar un patrón específico de movimiento. Cada movimiento independiente se llama

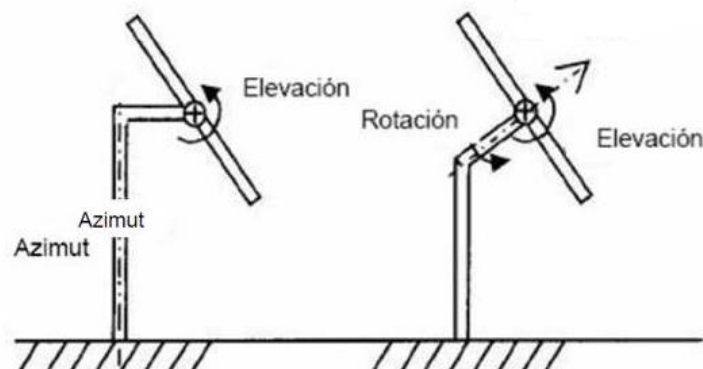
grado de libertad “GDL”, que son los parámetros necesarios para definir una ubicación única en espacio y tiempo. (Norton R. , 2013)

### *Seguidor solar*

Los mecanismos de seguimiento solar permiten que los captadores sigan el movimiento del sol. Asegurando que los rayos del sol incidan en  $90^\circ$  y ángulos próximos. Para este efecto, el ángulo que deber formar el captador con la horizontal debe estar entre  $20^\circ$  y  $90^\circ$ . (Anastacio Ricio, 2022) .Que son los ángulos tabulados para el solsticio de verano, el día de mayor duración de la luz del sol. Hay dos tipos principales de sistemas: los de un eje de rotación, que ofrecen un grado de libertad y rotan sobre un punto fijo respecto a una de las coordenadas de ubicación del sol. Y los de dos ejes de rotación, que brindan dos grados de libertad mediante rotaciones en dirección acimutal y la otra en dirección cenital, como muestra la figura 1.7, aumentado así la eficiencia del colector. (Polanco Reyes, 2021).

**Figura 1.7**

*Sistema de seguimiento solar de 2 ejes*



*Nota.* Adaptado de: Villeda, G., Castañeda, A., Vega, J. T., & Pineda, J. (2011). Seguidor Solar de Dos Ejes para un Horno Solar. *Información tecnológica*, 22(2), 95-106

### ***1.5.9 Colectores de energía solar***

Los colectores solares son cruciales en los sistemas de energía solar térmica, ya que recogen el calor mediante mecanismos de transferencia como la conducción y la convección. Captan la radiación solar y la transfieren como calor. Los colectores pueden ser sólidos o líquidos. Los líquidos son ventajosos porque permiten transportar la energía fácilmente mediante bombeo, lo que facilita su uso en el punto de operación. Tanto los líquidos como los sólidos deben tener varias características importantes para su funcionamiento eficiente tal como menciona el autor (Bravo, 2018). Las características son:

- Alto calor específico
- Alto calor latente de fusión
- Alta densidad
- Alta conductividad térmica
- Estabilidad térmica
- Estabilidad química

### ***1.5.10 Sólidos caloportadores***

***1.5.9.1 Metales y aleaciones.*** Los metales como es bien conocido poseen buenas características de conducción de calor altas características de calor de transición elevados y buena estabilidad térmica, gran capacidad de almacenamiento de energía, etc. (Bravo, 2018)

### ***1.5.11 Óptica: Aspectos Generales***

La óptica es una rama de la física que se dedica al estudio de la luz y de las interacciones de esta con la materia. Abarca un amplio espectro de fenómenos y aplicaciones, desde la reflexión y la refracción de la luz hasta la óptica cuántica y la óptica no lineal.

#### ***Naturaleza de la Luz***

La luz puede entenderse como una onda electromagnética que se propaga a través del espacio. James Clerk Maxwell desarrolló esta concepción, quien formuló las ecuaciones que describen las ondas electromagnéticas. Maxwell demostró que la luz visible es solo una pequeña parte del espectro electromagnético, que incluye otras formas de radiación como las ondas de radio, los rayos X y los rayos gamma (Hecht, 2017).

### ***Propiedades de la Luz***

***Reflexión:*** La reflexión es el cambio de dirección de un rayo de luz al chocar con una superficie. Se rige por la ley de la reflexión, que establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión (Pedrotti, Pedrotti, & Pedrotti, 2017)

***Refracción:*** La refracción es la desviación de la luz al pasar de un medio a otro con diferente densidad óptica. La ley de Snell describe este fenómeno y relaciona los ángulos de incidencia y refracción con los índices de refracción de los medios involucrados (Hecht, 2017)

***Difracción:*** La difracción es la desviación de la luz alrededor de los bordes de un obstáculo o a través de una apertura. Este fenómeno se explica mediante la teoría ondulatoria de la luz (Born, Wolf, & Bhatia, 1999).

### ***Disco de Fresnel***

El disco de Fresnel es un dispositivo óptico que se utiliza para enfocar o dispersar la luz. Fue inventado por el físico francés Agustín-Jean Fresnel en el siglo XIX. Este dispositivo es conocido por su diseño particular que permite una construcción más ligera y eficiente comparada con las lentes convencionales.

### ***Principio de Funcionamiento***

El disco de Fresnel consiste en una serie de anillos concéntricos de superficie esférica o esférica, tallados en un material transparente. Cada anillo actúa como una pequeña lente, y en

conjunto, los anillos concentran o dispersan la luz de manera similar a una lente convencional, pero con una reducción significativa en el grosor y el peso (Smith, 2007).

### ***Aplicaciones del Disco de Fresnel***

***Faros:*** Una de las aplicaciones más conocidas del disco de Fresnel es en los faros marítimos, donde se utiliza para proyectar un haz de luz fuerte y enfocado que puede ser visto desde largas distancias (Lamb, 2016)

***Iluminación y Proyección:*** Los discos de Fresnel también se usan en la industria cinematográfica y en proyectores para enfocar la luz de manera eficiente y uniforme (Hecht, 2017).

***Lentes de Aumento:*** Se utilizan en dispositivos portátiles como lupas y visores para aumentar la imagen con menor peso y volumen que las lentes tradicionales (Pedrotti, Pedrotti, & Pedrotti, 2017).

### ***1.5.12 Manufactura sostenible***

La manufactura sostenible es un enfoque de producción que busca minimizar el impacto ambiental, maximizar la eficiencia de los recursos y promover el bienestar social. Este enfoque implica la integración de prácticas ecológicas en todos los aspectos de la producción, desde el diseño del producto hasta su desecho final.

### ***Manufactura Sostenible***

La manufactura sostenible se basa en los principios de la sostenibilidad, que incluyen la reducción del consumo de recursos naturales, la minimización de residuos y emisiones, y la mejora de la eficiencia energética. Estos principios se implementan mediante diversas estrategias, como el ecodiseño, el uso de tecnologías limpias y la adopción de prácticas de economía circular (Bradley & Jawahir, 2016)

### ***Estrategias y Prácticas***

***Ecodiseño:*** Involucra la consideración de los impactos ambientales en la fase de diseño del producto, con el objetivo de reducir el uso de materiales tóxicos, aumentar la eficiencia energética y facilitar el reciclaje (Fiksel, 2009).

***Economía Circular:*** Se centra en mantener los productos, componentes y materiales en su máxima utilidad y valor, promoviendo la reutilización, reparación, refabricación y reciclaje (Geissdoerfer, Savaget, Bocken, & Hultink, 2017).

### ***Reutilización de Materiales***

La reutilización de materiales es un componente esencial de la gestión sostenible de residuos. Estas prácticas contribuyen a la reducción de la demanda de recursos naturales y a la disminución de los impactos ambientales asociados con la extracción y procesamiento de materias primas.

La reutilización implica el uso de productos o materiales en su forma original, con poca o ninguna modificación. Esto puede incluir la reparación de productos para extender su vida útil o la adaptación de materiales para nuevos usos.

***Estrategias de Reutilización:*** Incluyen la reparación, la refabricación y la redestinación de productos y componentes. Estas estrategias prolongan la vida útil de los productos y reducen la demanda de nuevos recursos (Gregson, Crang, Fuller, & Holmes, 2015).

***Impacto Ambiental:*** La reutilización generalmente requiere menos energía y recursos en comparación con el reciclaje y la producción de nuevos materiales, lo que la convierte en una opción preferida desde el punto de vista ambiental (Allwood, Ashby, Gutowski, & Worrell, 2011).



## **Capítulo 2**

## **2. Metodología.**

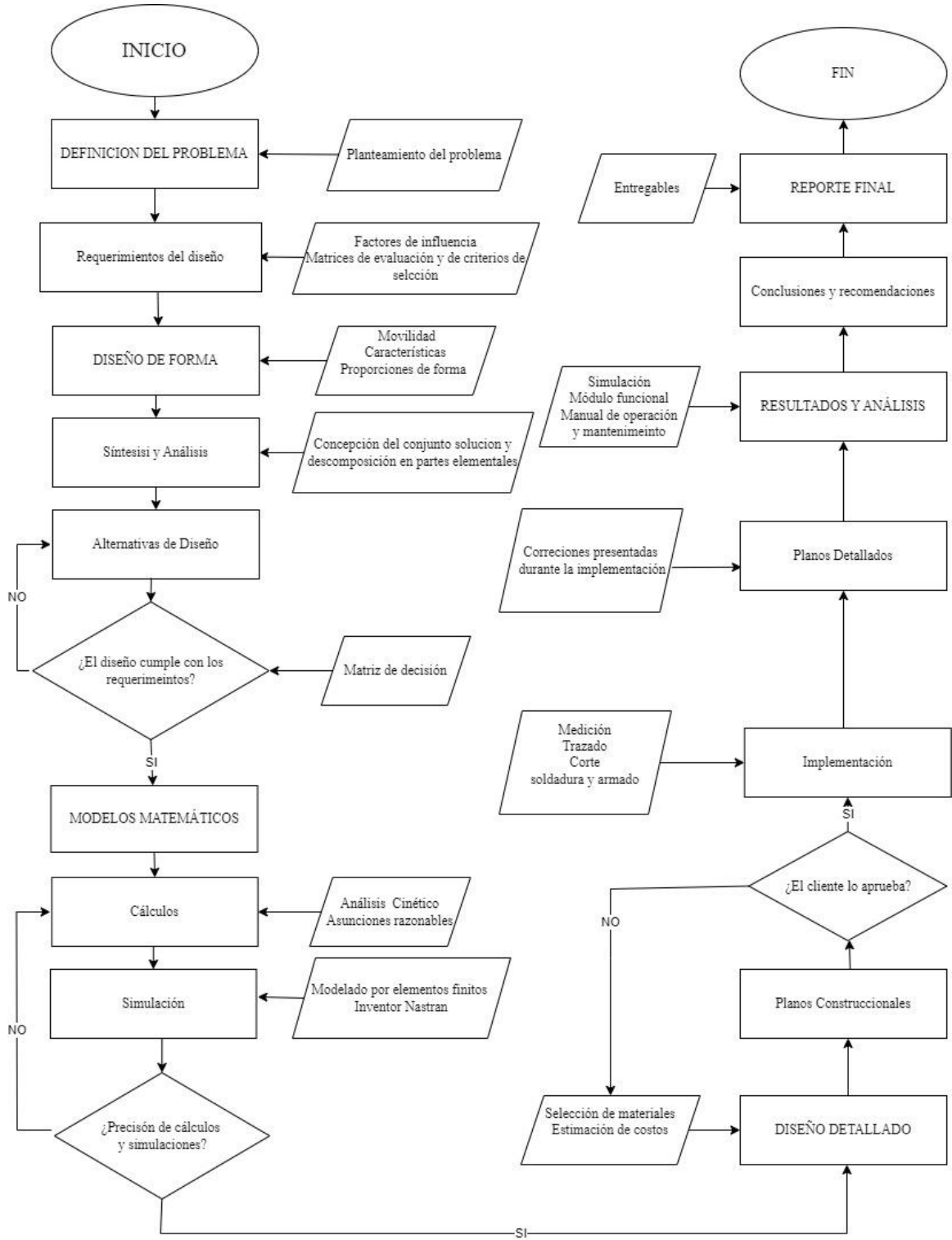
En el siguiente capítulo se presenta la metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto, esta metodología se basó en el proceso de diseño en la ingeniería mecánica. Para esto se abordaron fases como la definición de los requerimientos del proyecto, diseño de forma y diseño detallado donde cada fase fue sometida evaluada y retroalimentada por el cliente.

### **2.1 Diagrama de flujo del proyecto**

El diagrama de flujo, figura 2.1, permitió establecer una ruta durante el diseño de manera que se mantuvo el horizonte del proyecto, evitando tiempo perdido al alejarse del tema de estudio.

Figura 2.1.

Diagrama de flujo



Nota. Guía de la metodología del diseño propuesta

## 2.2 Requerimientos del diseño

El cliente indicó que para este proyecto se debería diseñar y, posteriormente, implementar un mecanismo que aloje un disco Fresnel. El mecanismo debe ajustar el disco para que se ubique en dirección al sol en cualquier época del año para concentrar los rayos del sol sobre un elemento caloportador. Además, es necesario construir el módulo con los materiales que tenga el CDTS en existencia. Fueron definidos por el cliente como parámetros necesarios de la solución: la seguridad del equipo, la capacidad de demostrar el fenómeno, es decir, “instructivo” y su practicidad. No necesariamente debe ser grande el equipo y debe construirse en su mayoría con los materiales que estén disponibles en el CDTS fomentando la economía circular.

### 2.2.1 Factores de Influencia

Los factores de influencia son los parámetros más importantes inmersos de en la resolución de la necesidad o problema. Estos factores se derivaron de los requerimientos del cliente. La tabla 2.1 muestra los principales factores de influencia que se derivaron de la interacción Diseñadores-Cliente.

**Tabla 2.1**

*Factores de influencia*

<b>Factores de influencia</b>	<b>Definición</b>
Operatividad	Que funcione sin ningún problema
Seguridad	Protección sobre el punto caliente, evitar posibles quemaduras
Estabilidad	Que no se vuelque durante la operación y fije el mecanismo
Precisión	Que logre ajustar foco sobre el elemento caloportador
Movilidad	Que brinde facilidades de traslado en cuanto a su forma y su peso
Espacio disponible	Que permita ubicarlo en espacio dentro del vehículo de traslado, (generalmente bus)
Costo	Análisis de costo, bajos costo

Instructivo	Que sea liviano para la fácil trasportación fuera de la universidad
Factibilidad de implementación	Si se utilizaran materiales locales o extranjeros.
Distancia de operación	Que tan fácil es implementar Distancia necesaria para enfocar los rayos solares sin problema
Practicidad	De funcionamiento sencillo
Mantenimiento	De fácil mantenimiento

*Nota.* Los factores de influencia más representativos del problema

### 2.2.2 Matriz de evaluación por pares

La matriz propuesta permitió evaluar los factores de influencia contrastándolos unos con otros y ordenarlos según su orden de importancia. Para este trabajo se decidió utilizar una ponderación decimal y posteriormente obtener los porcentajes respectivos, véase la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2**

*Matriz de comparación por pares con ponderación decimal*

Criterios de selección	Operatividad	Seguridad	Estabilidad	Precisión	Movilidad	Espacio disponible	Costo	Distancia de operación	Materiales disponibles	instructivo	Practicidad	Mantenimiento	Total	Porcentaje [%]
Operatividad	5	8	6	9	9	6	7	6	4	5	7	<b>72</b>	10,98	
Seguridad	5	6	8	7	7	5	9	6	6	5	7	<b>71</b>	10,82	
Estabilidad	2	4	7	8	8	4	7	7	4	5	6	<b>62</b>	9,45	
Precisión	4	2	3	9	9	3	9	6	4	7	7	<b>64</b>	9,76	
Movilidad	1	3	2	1	9	4	5	3	4	9	9	<b>50</b>	7,62	
Espacio disponible	1	3	2	1	1	6	7	7	4	3	3	<b>38</b>	5,79	
Factibilidad de implementación	4	5	6	7	6	4	5	6	8	5	7	<b>63</b>	9,60	
Distancia de operación	3	1	3	1	5	3	5	3	3	9	9	<b>45</b>	6,86	
Costos	4	4	3	4	7	3	4	2	6	6	5	<b>48</b>	7,32	

instructivo	6	4	6	6	6	6	2	7	4		4	4	<b>55</b>	8,38
Practicidad	5	5	5	3	1	7	5	1	4	6		7	<b>49</b>	7,47
Mantenimiento	3	3	4	3	1	7	3	1	5	6	3		<b>39</b>	5,95

*Nota.* Matriz de comparación por pares según la metodología propuesta por Pable Grech en el libro: Introducción a la Ingeniería Un Enfoque a través del Diseño. (p. 306).2013

### 2.2.3 Selección de criterios de selección

Luego de la reagrupación según el orden de importancia de los factores de influencia más relevantes se seleccionan de esos los criterios de selección. Se trazó un corte en la tabla jerarquizada de los factores de influencia según el impacto en el rendimiento del sistema. Para esto se realizó un análisis cualitativo de los factores. El proceso de corte constó en determinar la concatenación de los factores de influencia de modo que el cumplimiento de un factor de influencia lleva consigo el cumplimiento necesario de otro. Además, se utilizó la ayuda de una rubrica de asignación de importancia que fue propuesta por (Grech, 2013). Un ejemplo de concatenación de factores es: el cumplimiento del factor de operatividad lleva consigo el cumplimiento de distancia de operación y mantenimiento. Véase el resultado en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3.**

*Factores de influencia más importantes*

<b>Criterios</b>	<b>Importancia</b>
Operatividad	72
Seguridad	71
Precisión	64
Factibilidad de implementación	63
Estabilidad	62
Instructivo	55
Movilidad	50
Practicidad	49
Costos	48
Distancia de operación	45
Mantenimiento	39
Espacio disponible	38

*Nota.* Se seleccionaron los criterios de selección a través de métodos cualitativos como la concatenación de factores y la rúbrica de asignación de importancia propuesta por Pable Grech en el libro: Introducción a la Ingeniería Un Enfoque a través del Diseño. (p. 308).2013

### 2.2.4 Ponderación final de los criterios de selección

En la matriz de la tabla 4 se reevalúan los criterios más importantes para otorgarles una ponderación que será útil para seleccionar la mejor alternativa posible. Véase la tabla 2.4.

**Tabla 2.4.**

*Criterios de selección*

<b>Criterios</b>	<b>Importancia</b>	<b>Ponderación [%]</b>
Operatividad	72	18.60
Seguridad	71	18.35
Precisión	64	16.54
Factibilidad de implementación	63	16.28
Estabilidad	62	16.02
Instructivo	55	14.21
<b>Total</b>	<b>387</b>	<b>100</b>

*Nota.* Se calcularon las ponderaciones en base al total que sumaron las mejores ponderaciones.

## 2.3 Diseño de Forma

### 2.3.1 Síntesis y análisis del diseño

Para comenzar el proceso resolución primero se necesitó realizar el proceso de síntesis y análisis. La síntesis corresponde a la concepción de la posible solución como un todo para luego, mediante el análisis, descomponer parte a parte las piezas del conjunto propuesto en la solución.

Véase tabla 2.5.

**Tabla 2.5.**

*Síntesis y análisis de forma del diseño*

<b>Síntesis</b>
La solución debe permitir los grados de libertad necesarios para ajustar el disco Fresnel en dirección de los ángulos acimutal y cenital. Debe alojar el disco Fresnel y mantener el punto caliente que logra el disco sobre el elemento caloportador. Debe contar con una guarda de seguridad. Entonces, es intuitivo pensar en la solución como un conjunto que debería contar de Base o bancada, soporte principal, brazo del disco y elemento caloportador como elementos principales de la posible solución. Cabe recalcar

que el número de componentes mencionados puede disminuir o incrementar según surja la necesidad.

<b>Análisis</b>	
<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
Base o bancada	La base es lo suficientemente fuerte para soportar todo el sistema. De ser necesario contará con 1 GDL para ajustar el ángulo acimutal. Alberga al elemento caloportador y su longitud debe ser acorde al foco del disco que se seleccione.
Soporte principal	Anclado a la base, sostiene y fija al brazo del disco permitiéndole 1 GDL, rotación pura, de ser necesario. El mismo cuenta con 1 GDL ya sea rotación o traslación dependiendo de la necesidad. También puede ajustar el ángulo acimutal.
Brazo del Disco	Permite alojar el disco y asegurarlo. Permite ajustar el ángulo cenital mediante una rotación pura.
Elemento caloportador	Permite el intercambio de calor entre los rayos solares y el mismo para poder demostrar el fenómeno. Se encuentra fijo alojado en la bancada. Cuenta con un medio para evitar quemaduras en los espectadores y en el operador.
Sistema de seguridad	Garantiza la seguridad del operario y de los alumnos. Permite observar el funcionamiento sin problema.

### **2.3.2 Alternativas de diseño**

En las alternativas de diseño se realizó un previo diseño de forma de las posibles alternativas y se escogió aquellas que cumplieran con todas las funciones requisitos para la solución. Véase tabla 2.6, 2.7, 2.8.



Tabla 2.6.

*Síntesis y análisis de la alternativa 1*

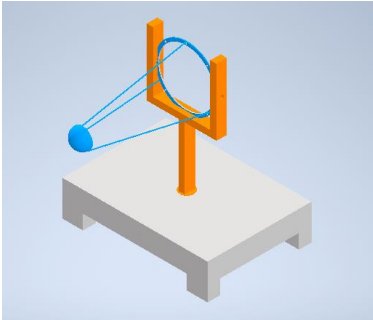
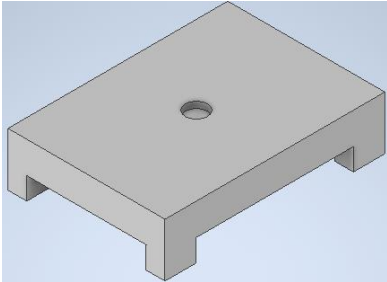
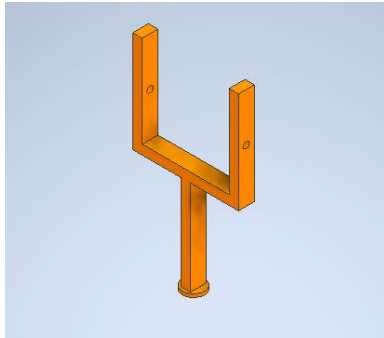
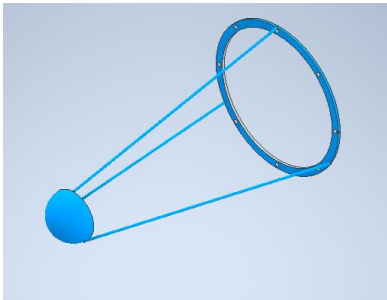
<b>Sistema</b>		
		
<b>Componente</b>	<b>Bosquejo</b>	<b>Características</b>
Base		<p>La base de esta alternativa presenta una forma cuadrada lo que le brinda gran estabilidad. Presenta una apariencia robusta capaz de soportar bien las cargas que se le impongan. Tiene una cavidad en el centro de la base donde aloja el Soporte principal con la finalidad de permitir 1 rotación para ajustar el ángulo acimutal.</p>
Soporte Principal		<p>El soporte principal tiene forma de orqueta y aloja en su centro al disco Fresnel permitiendo 1 GDL de rotación pura para ajustar el ángulo cenital. Por la parte inferior se inserta en la base añadiendo 1 GDL de rotación pura para así ajustar el ángulo acimutal. Estas rotaciones brindan al sistema la precisión y operatividad deseada.</p>
Brazo del disco y elemento caloportador		<p>La presente opción muestra el brazo del disco y el elemento caloportador como uno solo. Donde el elemento caloportador se fija al brazo que lleva el disco lo que mantiene siempre al elemento caloportador en el foco del disco dando la ventaja de no tener que implementar un mecanismo que mantenga la misma distancia focal entre el disco y el elemento caloportador. Una definición sería: punto caliente móvil.</p>

Tabla 2.7.

*Síntesis y análisis de la alternativa 2*

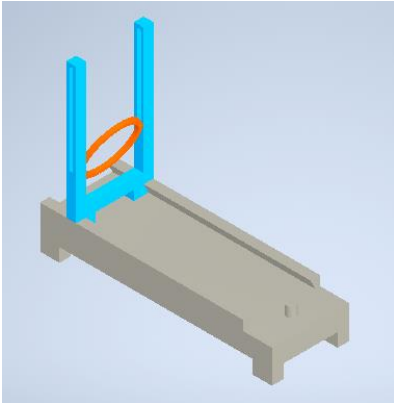
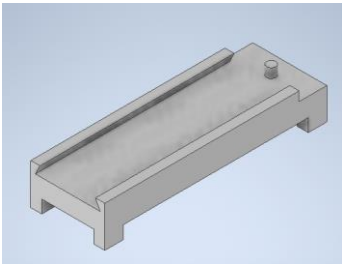
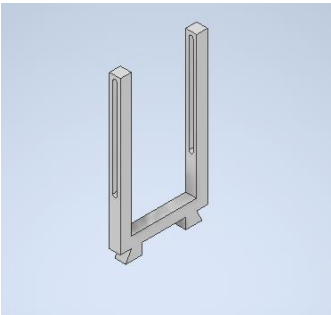
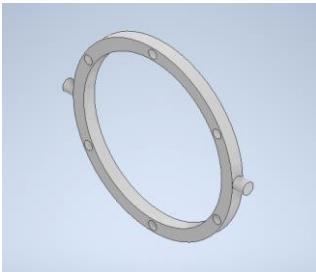
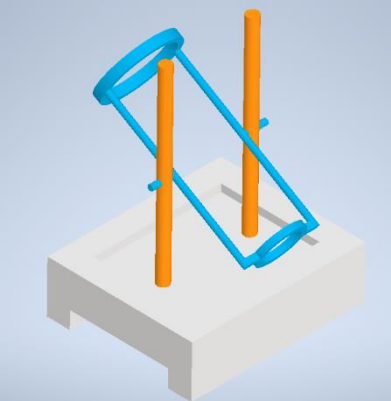
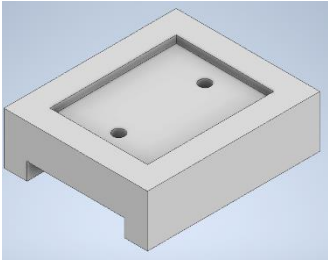
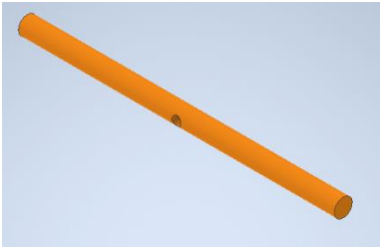
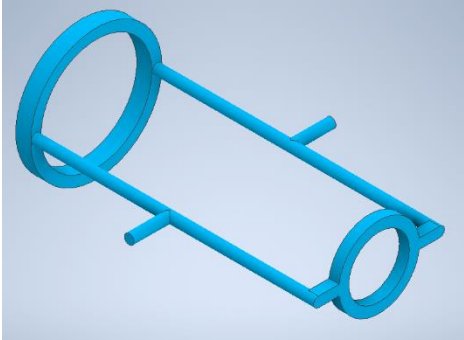
<b>Conjunto</b>		
		
<b>Componente</b>	<b>Bosquejo</b>	<b>características</b>
Base		<p>La base es rectangular con una pista longitudinal para deslizar el soporte principal, permitiendo ajustar la distancia focal del disco Fresnel. La base tiene ruedas en cada apoyo para ajustar el ángulo acimutal. El elemento caloportador está fijo a una altura adecuada para enfocar el disco Fresnel, especialmente durante las primeras horas del día cuando el ángulo entre la horizontal y el disco es cercano a <math>90^\circ</math>.</p>
Soporte principal		<p>Esta estructura permite el ajuste del ángulo cenital mediante una rotación y al mismo tiempo la distancia focal mediante un desplazamiento de la orqueta sobre la base.</p>
Brazo del disco		<p>El brazo del disco aloja al disco y permite la rotación necesaria para ajustar el ángulo cenital.</p>

Tabla 2.8.

*Síntesis y análisis de la alternativa 3*

<b>Conjunto</b>		
		
<b>Componente</b>	<b>Bosquejo</b>	<b>características</b>
Base		<p>La base es rectangular con un par de orificios que permitan colocar y ajustar el soporte principal donde se colocara el disco Fresnel. La base tiene ruedas en cada apoyo para ajustar el ángulo acimutal. El elemento caloportador y el disco Fresnel están a una distancia fija, garantizando la distancia focal.</p>
Soporte principal		<p>Esta estructura es fija que permite el colocar el brazo del disco y al mismo tiempo el ajuste del ángulo cenital mediante una rotación.</p>
Brazo del disco		<p>El brazo del disco aloja al disco y al elemento caloportador, además permite la rotación necesaria para ajustar el ángulo cenital.</p>

### 2.3.3 Matriz de decisión

La matriz de decisión se elaboró para seleccionar la mejor solución de la manera más objetiva posible. La herramienta permitió contrastar alternativas vs criterios de selección. El método propuesto por (Grech, 2013) consistió en asignar un puntaje, entre 0 y 10, según si la alternativa satisface cada criterio, luego se multiplicó el puntaje con la ponderación obtenida en la tabla 2.9, posteriormente se obtuvo la calificación final de la alternativa y se procedió a seleccionar la mejor puntuación.

**Tabla 2.9.**

*Matriz de decisión*

Soluciones	Criterios						TOTAL
	Operatividad $p = 0,186$	Seguridad $p = 0,1835$	Precisión $p = 0,1654$	Factibilidad de implementación $p = 0,1628$	Estabilidad $p = 0,1602$	Instructivo $p = 0,1421$	
Alternativa 1	7	8	8	8	10	10	8,4186
Alternativa 2	9	9	7	7	10	10	8,6459
Alternativa 3	9	8	9	9	10	10	9,1188

## 2.4 Modelos matemáticos

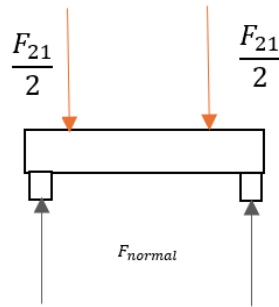
### 2.4.1 Cálculos

Los cálculos necesarios para este sistema se basaron un análisis estático. Las fuerzas inerciales fueron despreciables porque hubo muy bajas aceleraciones. Entonces, se desarrollaron los diagramas de cuerpo libre (D.C.L) de cada pieza como se muestra en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4 planteando las ecuaciones 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 según las leyes de Newton y se obtienen las

fuerzas, esfuerzos, factores de seguridad pertinentes para cada pieza, el diámetro del eje roscado y el torque necesario para apretar la tuerca del eje.

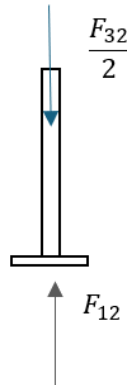
**Figura 2.2.**

*D.C.L de la base*



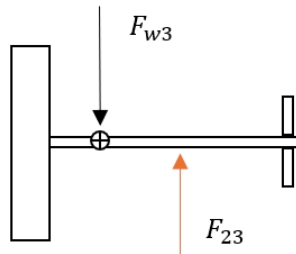
**Figura 2.3.**

*D.C.L del soporte principal*



**Figura 2.4.**

*D.C.L del brazo del disco*



#### 2.4.1.1 Ecuaciones.

$$\sum F_y = 0 \quad (2.1)$$

$$T = r F_W \quad (2.2)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

$$F = m * g \quad (2.4)$$

$$m = \rho * V \quad (2.5)$$

$$F.S = \frac{S_y}{\sigma} \quad (2.6)$$

### 2.4.2 Simulación

La simulación se realizó mediante análisis estático aproximando cada una de las piezas de la alternativa seleccionada a vigas sometidas a cargas específicas según la necesidad. Entonces, La base se trató como viga con un apoyo fijo y un apoyo móvil y el soporte principal como columna esbelta, para el brazo del disco no correspondió realizar simulación porque solo soporta su propio peso. La simulación se llevó a cabo en la interfaz de Inventor Nastran, Se utilizaron varias idealizaciones durante el proceso como considerar las estructuras como alámbricas y otras idealizaciones de apoyos y cargas para simplificar el proceso de cálculo. Según se indica desde la Figura 2.5 hasta la 2.15.

**Figura 2.5.**

*Base como viga simplemente apoyada*



*Nota:* figura obtenida de la calculadora de vigas SkyCiv. <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>

**Figura 2.6.**

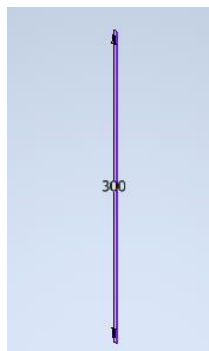
*Soporte principal como columna esbelta*



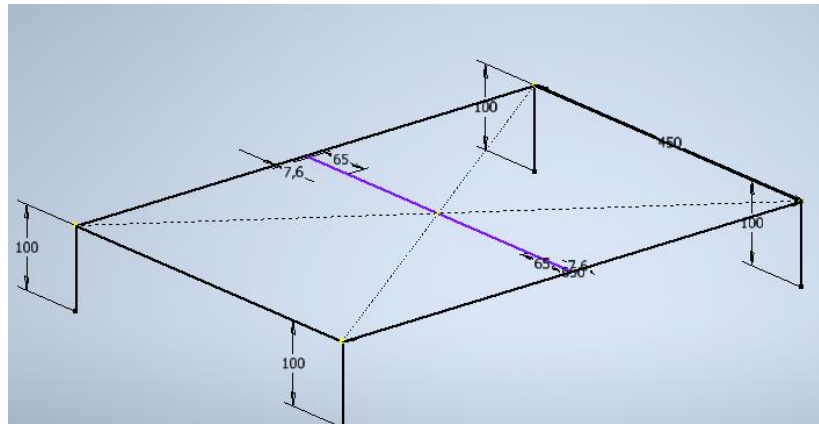
*Nota.* Adaptado de: Mecánica de materiales (p.666). 2017. Editorial Pearson. Por R. C. Hebbeler

**Figura 2.7.**

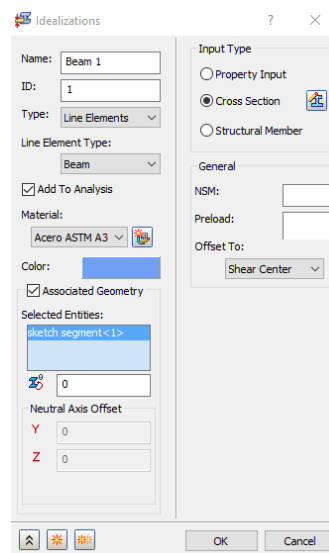
*Vista alámbrica de Soporte Principal*



*Nota.* Se toma la longitud del soporte que va a soportar peso, 300 mm, para la simulación.

**Figura 2.8.***Vista alámbrica de la Base*

*Nota.* Las secciones de 65 mm definen donde va a soportar la carga la base según lo establecido en el diseño

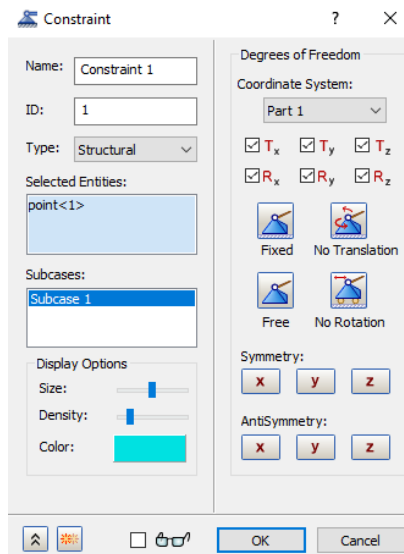
**Figura 2.9.***Idealización de elementos tipo de línea*

*Nota.* Las líneas representaron a los miembros estructurales del objeto estudio.



Figura 2.10.

*Tipos de apoyos estáticos utilizados*



*Nota.* Se definieron para la base apoyos simples y fijos y para el soporte un apoyo fijo con otro extremo libre.

Figura 2.11.

*Masa del soporte Principal*

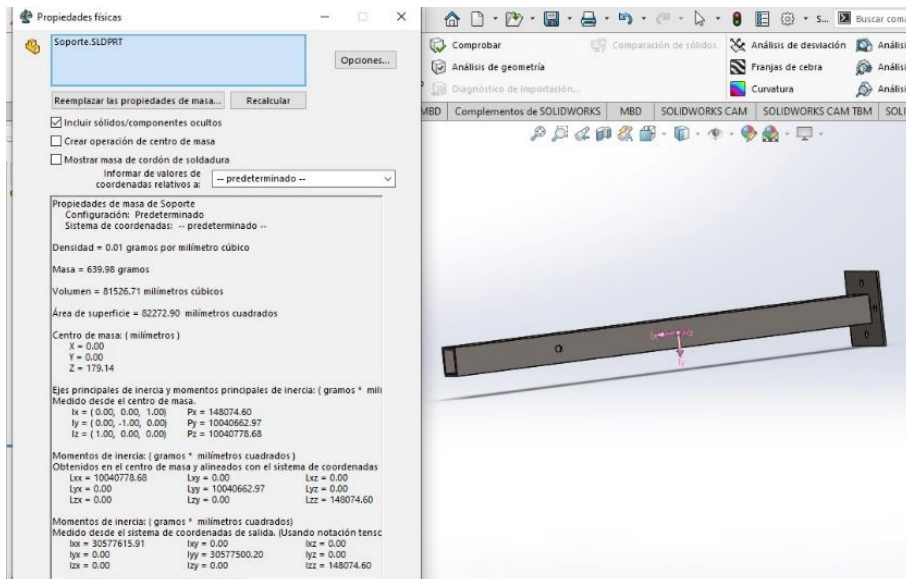


Figura 2.12.

## Masa del Brazo del Disco

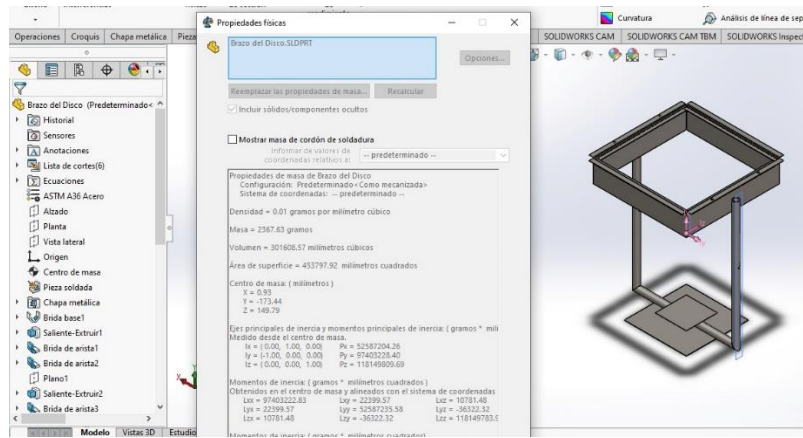
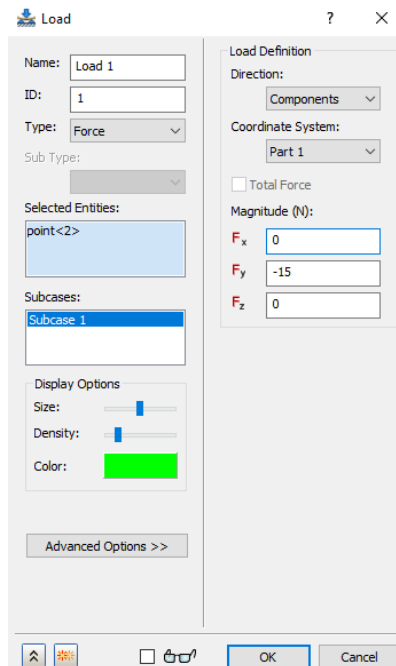
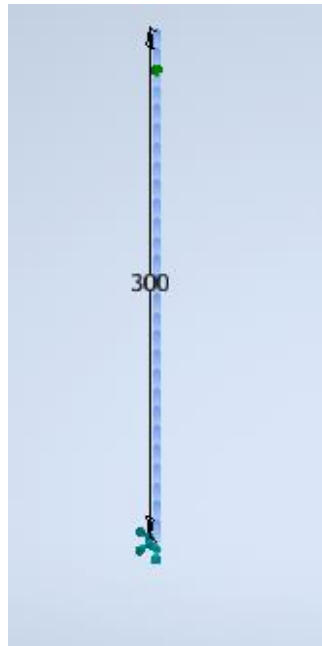


Figura 2.13.

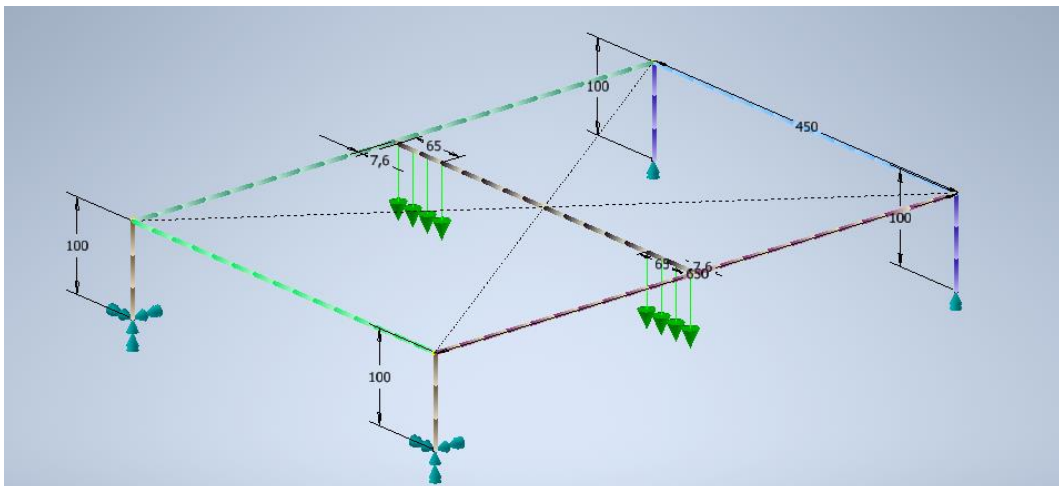
## Cargas



*Nota.* Las cargas fueron obtenidas mediante el peso del brazo del disco y el soporte.

**Figura 2.14.***Mallado del Soporte*

*Nota.* Se dejó el mallado por defecto debido a que sencillez de cálculo.

**Figura 2.15.***Mallado de la base*

*Nota.* Mallado por defecto debido a la sencillez del cálculo.

## 2.5 Diseño Detallado

### 2.5.1 Selección de materiales

Se realizó un listado de los materiales útiles para la elaboración del módulo que estaban en disposición del CDTs, véase figura 2.16, catalogando y especificando sus características como muestra la tabla 2.10, se eligió el material que mejor se ajustó a la forma de las características del módulo solar.

**Tabla 2.10.**

*Materiales disponibles*

N°	Materiales	Observación	Dimensiones	Especificación
1	Tubos cuadrados	Disponibles en estructuras antiguas, Gran cantidad en existencia	(30 x 2) mm	ASTM A 366
2	Tubos cuadrados	Disponible en estructuras antiguas, más de 5000 mm disponibles	(28.55 x 2)	ASTM A 366
3	Ángulos	Disponibles en estructuras antiguas, más de 5000 mm disponibles	(25 x 3) mm	ASTM A 36
4	Ángulos	Disponible en estructuras antiguas, más de 5000 mm	(30 x 4.5) mm	ASTM A 36
5	Tubo redondo	900 mm de longitud disponibles	(31.75x 3.175) mm	ASTM A 366
6	Tubo redondo	Reciclado de tuberías de agua, más de 6000 mm	(26.7 x 2.87) mm	ASTM A 366
7	Tubo redondo	reciclados de instalaciones eléctricas, mas 5000 mm disponibles	(19.05 x 1.5) mm	ASTM A 1008
8	Platinas	17 piezas iguales de 300 de longitud en existencia	(25.4 x 3.175) mm	ASTM A 36
9	Platinas	10 piezas iguales de 300 mm de longitud en existencia	(43 x 3.175) mm	ASTM A 36
10	Planchas	7 piezas en existencia	(650 x 860 x 1.5) mm	ASTM A 36
11	Planchas	6 piezas en existencia	(690 x 290 x 1.5) mm	ASTM A 36
12	Estructura	Estructura formada por diferentes perfiles	(1940 x 650) mm	ASTM A 36
13	Disco Fresnel A	Foco de 450 mm	(300 x2) mm	PMMA
14	Disco Fresnel B	Foco de 1000 mm	(250 x 2) mm	PMMA
15	Disco Fresnel C	Foco de 1000 mm	(250x2) mm	PMMA

*Nota.* Dentro de toda la gran variedad de materiales que existían solo se catalogó los que eran más representativos para el proyecto. Para esto se utilizó el catálogo de DIPAC S.A

**Figura 2.16.**

*Estructura de perfil tipo "C"*



**Figura 2.17.**

*Disco Fresnel A*



*Nota: diámetro de 300 mm*

**Figura 2.18.**

*Disco Fresnel B y C*



*Nota:* diámetro de 250 mm

**Figura 2.19.**

*Longitud de la distancia focal disco B y C*



**Figura 2.20.**

*Altura de la distancia focal disco B y C*



*Nota:* distancia focal de 1000 mm. Aproximada mediante el teorema de Pitágoras.

**Figura 2.21.**

*Distancia focal del disco Fresnel*



*Nota:* distancia focal de 450 mm. Aproximada median el teorema de Pitágoras

### 2.5.2 Selección del disco

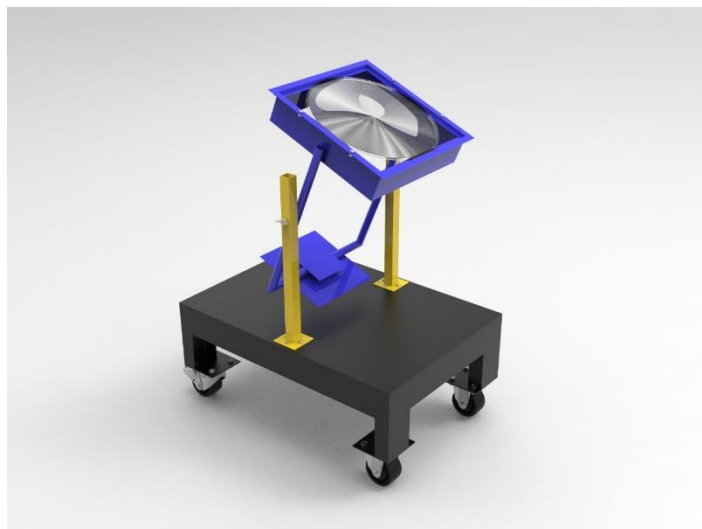
El CDTS tenía en existencia 3 discos Fresnel con diferentes diámetros y focos. El parámetro de selección fue la facilidad con la que se puede obtener el punto caliente. Es decir que tan rápido o con que facilidad se puede obtener el foco del disco. Se realizaron pruebas y mediciones con los diferentes discos. Pruebas de la longitud del foco y de la facilidad de enfoque como se puede observar en las figuras 2.17, hasta la figura 2.21. Motivo por el cual se seleccionó el disco A.

### 2.5.3 Diseño final

Se realizó el diseño final eligiendo con qué materiales se iba a construir cada elemento del módulo, procurando seleccionar los elementos más livianos posibles porque no se soportarán cargas representativas. El dibujo CAD del diseño final como se muestra en la figura 2.22 cumplió con todas las restricciones de movilidades necesarias y con los criterios de factibilidad de implementación y operatividad, etc. que se establecieron en la sección 2.2 Requerimientos del diseño.

**Figura 2.22.**

*Diseño final del módulo solar*



*Nota.* Imagen renderizada del archivo CAD 3D



## **Capítulo 3**

### 3. Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del proceso de diseño presentado en el capítulo 2. Ya que serán estos los que validen todos los métodos, técnicas y criterios ingenieriles planteados durante la metodología. Estos resultados muestran el curso del proyecto permitiendo evidenciarlo y contrastarlo en caso de ser necesario. Además, ellos permitirán determinar el cumplimiento de los objetivos.

#### 3.1 Cálculos

Se empieza con el cálculo de la masa el disco Fresnel, aproximándolo con la densidad del polimetilmetacrilato ( $\rho_{Polimetilmetacrilato} = 1.19 \text{ g/cm}^3$ ) y considerando el mayor diámetro de disco Fresnel que es de 30 cm.

Se tiene que el Volumen para un disco sigue la ecuación  $V = \pi r^2 h$ , reemplazando los datos se tiene que:

$$V_1 = \pi(15)^2 * 0.2 = 45\pi \text{ cm}^3 \cong 141.3717 \text{ cm}^3$$

De la relación  $m = \rho * V$  se despaña la masa aproximada del disco Fresnel:

$$m_{Disco} = \rho_{Polimetilmetacrilato} * V_1 = 168.2323 \text{ g}$$

Ahora se requiere la masa del tubo cilíndrico, aproximando la densidad del acero ASTM A 1008 ( $\rho_{ASTM A 1008} = 8 \text{ g/cm}^3$ ) y conociendo que el diámetro del tubo cilíndrico es de 1.905 cm con un espesor de 0.15 cm.

Se tiene que el Volumen para un cilindro hueco sigue la ecuación  $V = \pi h * (R^2 - r^2)$ , donde “R” es el radio exterior del cilindro y “r” es el radio interior del cilindro, reemplazando los datos se tiene que:

$$V_{2.1} = \pi * 45 * (0.9525^2 - 0.8025^2) \cong 37.2161 \text{ cm}^3$$

Recordando que para el tubo cilíndrico se tiene tres pedazos, 2 pedazos de 45 cm y uno de 30.19 cm es por ello que el volumen del otro extremo tendrá el mismo valor, es decir:

$$V_{2.2} = V_{2.1} = 37.2161 \text{ cm}^3$$

Y para la parte inferior que corresponde al tubo cilíndrico de 30.19 cm, se tiene que:

$$V_{2.3} = \pi * 30.19 * (0.9525^2 - 0.8025^2) \cong 24.9679 \text{ cm}^3$$

De la relación  $m = \rho * V$  se despeja la masa aproximada del disco Fresnel:

$$m_{\text{tubo Cilindrico}} = \rho_{ASTM A 1008} * V_2$$

Donde  $V_2 = V_{2.1} + V_{2.2} + V_{2.3} = 99.4001 \text{ cm}^3$

$$m_{\text{tubo Cilindrico}} = \rho_{ASTM A 1008} * V_2 = 795.2008 \text{ g}$$

Adicional se requiere la masa de las planchas para el elemento caloportador y su sobre base, aproximando la densidad del acero ASTM A 36 ( $\rho_{ASTM A 36} = 7.85 \text{ g/cm}^3$ ) y conociendo que las dimensiones de las planchas son de:

Elemento caloportador 10 x 10 x 0.1 cm

Sobre base 20 x 20 x 0.2 cm

Se tiene que el Volumen para un prisma rectangular sigue la ecuación  $V = l * a * e$ , donde “l” es el largo, la “a” es el ancho y “e” es el espesor de la plancha, reemplazando los datos se tiene que:

$$V_{3.1} = 10 * 10 * 0.1 = 10 \text{ cm}^3 ; \text{ Elemento caloportador}$$

$$V_{3.2} = 20 * 20 * 0.2 = 80 \text{ cm}^3 ; \text{ Sobre base}$$

De la relación  $m = \rho * V$  se despeja la masa aproximada del disco Fresnel:

$$m_{\text{Planchas}} = \rho_{ASTM A 36} * V_3$$

Donde  $V_3 = V_{3.1} + V_{3.2} = 90 \text{ cm}^3$

$$m_{\text{Planchas}} = \rho_{ASTM A 36} * V_3 = 706.5 \text{ g}$$

Adicional se requiere la masa de las planchas que soportan el disco Fresnel, aproximando la densidad del acero ASTM A 36 y conociendo que las dimensiones de las planchas son de 30.5 x 7 x 0.1 cm

Se tiene que el Volumen para un prisma rectangular sigue la ecuación  $V = l * a * e$ , donde “ $l$ ” es el largo, la “ $a$ ” es el ancho y “ $e$ ” es el espesor de la plancha, reemplazando los datos se tiene que:

$$V_{4.1} = 30.5 * 7 * 0.1 = 21.35 \text{ cm}^3$$

Pero esta es una cara del soporte por ende el volumen total es 4 veces el valor del Volumen  $V_{4.1}$

$$V_4 = 4 * V_{4.1} = 4 * 21.35 = 85.4 \text{ cm}^3$$

De la relación  $m = \rho * V$  se despaaja la masa aproximada del disco Fresnel:

$$m_{Planchas} = \rho_{ASTM A 36} * V_4 = 670.39 \text{ g}$$

Teniendo en consideración las masas calculadas se tiene que a masa aproximada del brazo es la suma de las masas del disco Fresnel, tubo cilíndrico, plancha y soporte del disco Fresnel, dando un valor de 2340.3231 g.

Para calcular la fuerza que soportan los soportes principales del módulo, se toma la fuerza que ejerce el peso del brazo del disco y el elemento caloportador. Utilizando la ecuación 2.3 del Capítulo 2. Se tiene que la fuerza es producto de la masa por la aceleración de la gravedad terrestre.

$$m_{brazo} = 2340.3231 \text{ g} = 2.3403 \text{ kg}$$

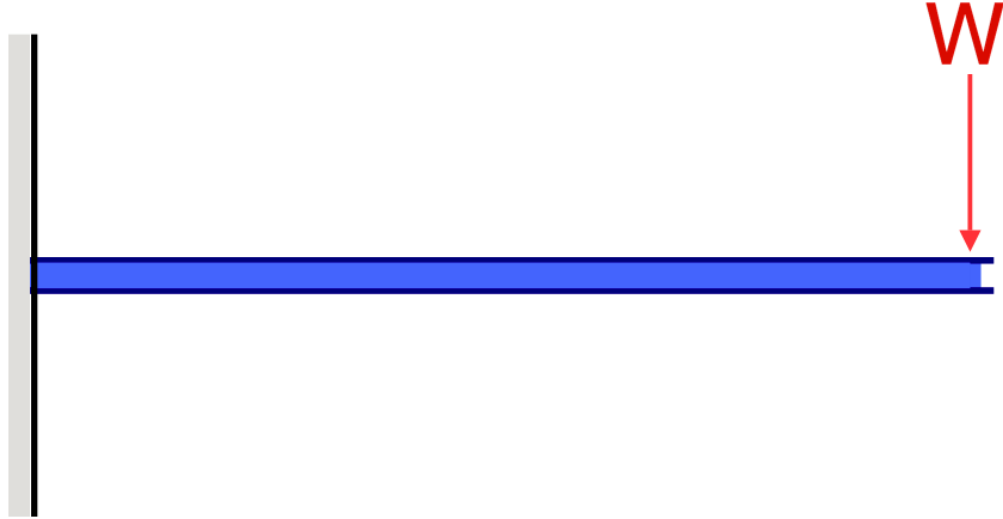
$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Se tiene por ende que la fuerza que soportan los soportes principales es de 22.9583 N

Para el cálculo del diámetro mínimo del pasador que sostendrá el brazo del disco, se realizará un análisis de una viga en voladizo.

**Figura 3.1.**

*Análisis para determinación de diámetro mínimo del pasador*



Siguiendo la representación de la Figura 29 el valor de “W” es la mitad del valor del peso del brazo, es decir  $W = 11.47915 \text{ N}$ .

Utilizando la ecuación 2.2 del Capítulo 2. Se tiene que el esfuerzo es la división de la fuerza sobre el área transversal del pasador, y el área transversal del pasador sigue la fórmula del área de un círculo. Se conoce que, por sumatoria de fuerzas, la fuerza que experimenta el pasador tiene la misma magnitud que “W”, adicional se calcula el diámetro del pasador teniendo en consideración un Factor de Seguridad de 4 y el material del pasador es un acero ASTM A 36 ( $S_{y \text{ ASTM A 36}} = 250 \text{ MPa}$ ). Utilizando la ecuación 2.6 del Capítulo 2. Se tiene el esfuerzo es la división del esfuerzo de fluencia sobre el factor de seguridad.

$$\sigma = \frac{W}{A} = \frac{S_{y \text{ ASTM A 36}}}{F.S.}$$

$$\frac{W}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{S_{y \text{ ASTM A 36}}}{F.S.} \rightarrow \frac{4W}{\pi D^2} = \frac{S_{y \text{ ASTM A 36}}}{F.S.} \rightarrow D^2 = \frac{4 * W * F.S.}{\pi * S_{y \text{ ASTM A 36}}}$$

$$D^2 = \frac{4 * 11.47915 * 4}{\pi * 250 \times 10^6} = 0.00000023385 \text{ m}^2$$

$$D = 0.00048358176 \text{ m} = 0.4836 \text{ mm}$$

Es decir que un pasador con un diámetro menor a 1 mm soportaría bien la estructura.

Conociendo que se ha seleccionado pasadores con un diámetro de 5.5 mm, se procede al calcular su factor de Seguridad.

$$\frac{4W}{\pi D^2} = \frac{S_{y \text{ ASTM A 36}}}{F.S.}$$

$$F.S. = \frac{S_{y \text{ ASTM A 36}} * \pi * D^2}{4 * W} = \frac{\pi * 250 \times 10^6 * (5.5 \times 10^{-3})^2}{4 * 11.47915} = 518$$

### 3.2 Dimensionamiento del módulo solar

En el dimensionamiento del módulo solar se utilizaron diferentes criterios de diseño como el uso de modelos matemáticos y mediciones directas de parámetros preestablecidos por el cliente. En la tabla 11 se presentan los resultados de la característica del disco Fresnel y las ecuaciones presentadas en el capítulo 2 en la sección modelos matemáticos. cómo fueron las ecuaciones de la primera ley de Newton, esfuerzos, factores de seguridad y relaciones trigonométricas. Todo eso para generar los planos constructivos presentados en Apéndices A.

**Tabla 3.1.**

*Resultados de dimensionamiento del Módulo Solar*

Pieza	Característica o elemento a dimensionar	Parámetro definitorio	Dimensión	Descripción
Brazo del disco	Bandeja del disco Fresnel	Disco Fresnel	Lados de 280 mm x 56 mm de altura	Se determinó la dimensión del lado de la bandeja cuadrada de modo que la bandeja permita pasar los rayos solares y apoyar al disco al mismo tiempo. Apoyando al disco en sus puntos de tangencia. Generando un apoyo en cada punto. De esta manera

				va a tener un diámetro de captación de 280 mm
	Longitud del brazo del disco	Distancia focal	450 mm	Se dimensionó la distancia del brazo según la distancia focal que posee el disco, ubicando el disco y el elemento caloportador de modo que la distancia entre ambos sea la longitud del foco del disco Fresnel. Para cumplir con la caracteriza del diseño seleccionado: punto caliente móvil a distancia fija del disco (5mm)
	Ubicación del agujero pivote	Radio de giro del brazo del disco	300 mm	Se ubicó el agujero del brazo de modo que al girar no choque con la base del módulo, para esto se tuvieron en cuenta los ángulos de salida, de altura máxima del sol y la dimensión de la placa caloportadora para calcular la distancia mínima permitida mediante una relación de triángulos semejantes.
	Dimensión del elemento caloportador	Corona circular de luz formada por el disco	10 cm	Se determinó la dimensión del elemento caloportador mediante la medición directa del haz de luz que se forma cuando se enfoca el disco.
Soporte	Longitud	Radio de giro del brazo del disco	40 cm	Se determinó la longitud del brazo del disco de modo que el radio de giro garantizando que no exista choque entre la base y el brazo

Anillo	Largo y ancho	Bandeja del disco		Se seleccionaron las dimensiones del anillo de tal modo permita asegurar el disco en la bandeja.
Base	Superficie y altura	Ancho y largo del brazo del disco	650 x450x10 mm	Se determinaron las medidas de la base en función de las dimensiones del brazo del disco y las dimensiones de las estructuras disponibles.

### 3.3 Implementación

Para la implementación se elaboró una hoja de ruta, véase tabla 3.2, que muestra el proceso de implementación del módulo solar detallando paso a paso el proceso de construcción de cada elemento del módulo solar y finalmente muestra el proceso de montaje, según los planos del módulo solar, Véase los planos en apéndices A.

**Tabla 3.2.**

#### *Hoja de Ruta de Implementación*

<b>Materiales</b>	Chapa de acero de 1 mm, plancha de acero de 2 mm, tubo redondo de 19 mm, estructura de canal "U", tubo cuadrado de 25 mm, ruedas basculantes y fijas de 50mm de diámetro		
<b>Insumos</b>	Discos de corte, disco de pulir, tiza, soldadura E-6011, pintura, diluyente, hoja de sierra		
<b>Herramientas</b>	Escuadra metálica, arco y sierra, tijera para hojalata, rayador metálico, flexómetro, martillo, prensa "c", tornillo de banco, broca de 6 mm, granete, compás.		
<b>Máquinas</b>	Amoladora, pulidora, taladro, dobladora, máquina de soldar, compresor		
<b>Proceso</b>	<b>Elemento</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Descripción</b>
Medición y corte	Base	2	De la estructura de canal "U" se elige el cuadrante más conveniente, 650 x 450 mm, midiéndolo con el flexómetro, y cortándolo con arco y sierra. De ese mismo perfil se cortan las patas de la base, a 100 mm. De las chapas de acero de 1 mm, se mide una superficie de 650x500 mm y se traza desde el lado más largo una sección de 50 mm, después de las planchas



			de 2 mm, se cortan 4 placas de 100 x 100 mm que. Se trazan, en las placas con un compás, circunferencias de 31 mm y en su periferia se marcan, con un granete, los centros equidistantemente para las perforaciones. Así mismo en la superficie de la base a la mitad del nervio principal si traza una circunferencia de 65 mm y equidistantemente se granetea 4 centros para perforar. Se realizan las perforaciones con brocas de 6 mm.
	Soporte	0.5	Se miden tubos cuadrados de 25 mm a 300 mm de longitud realizando un trazo perpendicularmente con una escuadra, luego se corta con arco y sierra. Después se miden y se cortan dos planchas cuadradas de 65x65 mm. Se trazan los centros de los agujeros y se granetea y se realizan las perforaciones con brocas de 6 mm.
	Brazo del disco	2	En la chapa de acero de 1 mm se miden y trazan 4 caras de 300 x 90 mm y se cortan con tijeras de hojalata. Se trazan dos secciones desde el lado más largo de 20mm y 70 mm. Se miden y cortan los asientos del disco a 280 x 22 mm, las superficies de los asientos se dividen por el lado más angostos en 10 mm, 2 mm y 10 mm en orden para trazar 3 secciones. Se miden y cortan 2 tubos redondos de 19 mm, con uno de sus extremos 45°, a 415 mm luego, se marca a 300 mm el centro y graneteado para una perforación con broca de 6 mm. Un tercer tubo se corta a 377 mm con sus extremos a 45°. Se cortan chapas de 100 x 100 mm y otra de 200 x 200 mm.
	Anillo	0.5	De la chapa de 1 mm se cortan 4 tiras. 2 tiras de 30x 300 mm y 2 de 30 x 260 mm.
Doblado	Base	0.5	Se dobla a 90° la sección de 50 mm marcada en la superficie de la estructura en la dobladora
	Brazo del disco	0.5	De las tiras de 20x90 mm se doblan las secciones de 20 mm de ancho de las 4 caras. De las 4 tiras de 280 x 22 se doblan a 90° las sesiones de 10 mm.
	Base	2	Al cuadrante de 650 x 450 en cada esquina se le puntean con soldadura E-6011 las patas poniéndolas a 90° con una escuadra, luego se ponte la superficie sobre el cuadrante, después se puntea las planchas de 100 x 100 mm controlado que queden niveladas finalmente se realizan cordones de soldadura.
Presentación y soldeo	Soporte	0.5	Se coloca el tubo de 25 mm en el centro de la placa de 65 mm para puntear con soldadura,

			luego se verifica con una escuadra y se realizan cordones de soldadura.
Brazo del disco	3		Se puntean en las esquinas con soldadura las caras de 90 x 300 mm a 90°, una con respecto a la otra, formando un cuadrante poniendo el dobléz en la parte externa del cuadrante, los asientos se colocan por dentro procurando que quedan 5 mm debajo del dobléz de las caras del cuadrante, se lo puntea por dentro y se procede a verificar con escuadra para realizar cordones de soldadura. Por la mitad del cuadrante formado por las caras de 90 x 300 mm se colocan, por puntos de soldadura, los tubos de 19 mm, desde el borde de ángulo recto, después, se puntea a los anteriores, el tubo que tiene los 2 extremos a 45° para cerrar la estructura del brazo, finalmente se ponen cordones de soldadura. En el centro del tubo de 377 mm por la parte interna se suelda la chapa de 100 x 100 mm y por la parte externa la chapa de 200 x 200 mm
Acabado	todos	72	Se pulen las soldaduras, se limpia cada parte y se pinta con colores diferenciadores cuidando la estética del módulo.
Ensamble	Conjunto	1	Se instalan las ruedas, dos basculantes con freno y dos fijas, el soporte en la base, el anillo en la bandeja del brazo mediante pernos de 6 mm de diámetro con arandelas planas y de presión. Se monta el brazo del disco mediante un eje roscado y una tuerca mariposa en las perforaciones del brazo y el soporte.
<b>Tiempo total</b>			84.5 horas

### ***3.4 Módulo de energía solar térmica implementado***

El módulo de energía solar térmica con disco Fresnel que se puede observar en la figura 3.2 es un prototipo de enseñanza que permite a profesores instruir conocimientos de energía solar de térmica mediante un componente de aprendizaje práctico a estudiantes de nivel básico o secundario con entre 10-17 años. El profesor podría evaluar el nivel de aprehensión de los estudiantes sobre los temas presentados en clase, concretamente el proceso de conversión de

energía solar a energía térmica mediante el mecanismo de transferencia de calor conocido como radiación.

El diseño se desarrolló de la forma presentada en cuanto forma y movilidad por la sencillez necesaria con la que debe contar un equipo que manipularán niños y adolescentes.

### **Figura 3.2.**

#### *Módulo de energía solar implementado*



*Nota.* Imagen real del módulo implementado

### **3.5 Pruebas de funcionamiento**

Para probar el módulo de energía solar se procedió a montar el Disco Fresnel y ubicar empíricamente la ubicación del sol. Para esta prueba fue necesario esperar un día soleado y poco nublado. Las pruebas comenzaron a las 9:00 am de la mañana y duraron 1 hora aproximadamente. Véase figura 3.3 y 3.4. Adicionalmente se tomaron imágenes con una cámara termográfica para observar la temperatura alcanzada por cada elemento del conjunto, véase desde la figura 3.5 hasta la 3.8.

**Figura 2.3.**

*Prueba de funcionamiento 1*



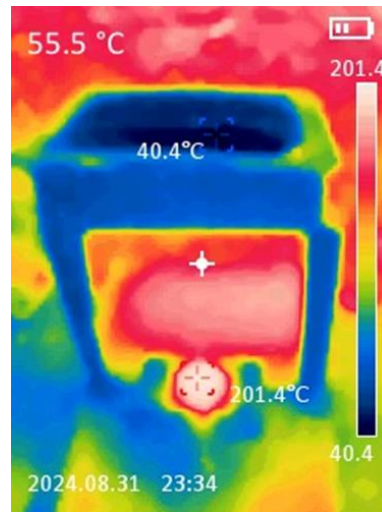
*Nota.* Prueba con termopar ,417°C a las 9:15 M

**Figura 3.4.**

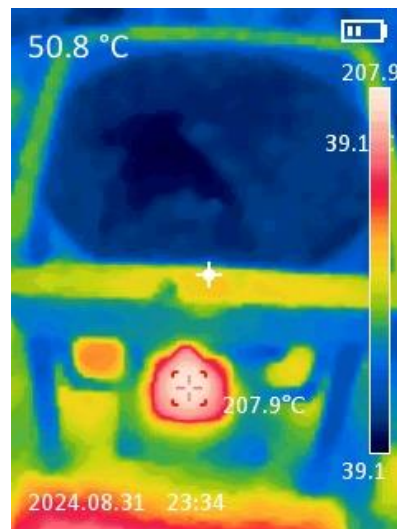
*Prueba de funcionamiento 2*



*Nota.* Prueba con termopar, 419°C a las 9: 35 am

**Figura 3.5.***Prueba de funcionamiento 3*

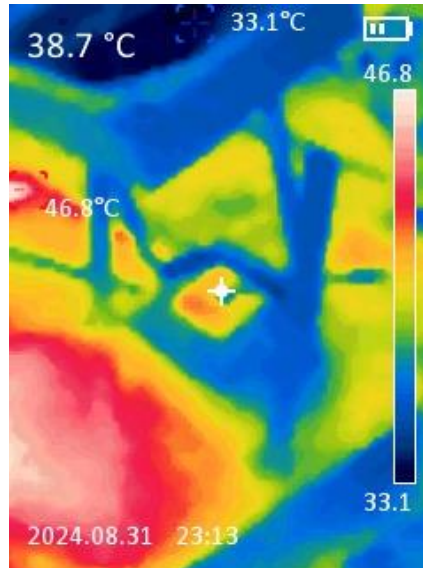
*Nota.* Imágenes de cámara termográfica. Punto caliente a 201.4 °C, disco Fresnel a 40.4°C.

**Figura 3.6***Prueba de funcionamiento 4*

*Nota.* Imágenes de cámara termográfica. Punto caliente a 207.9°C, marco del brazo del disco a 50.8°C.

**Figura 3.7**

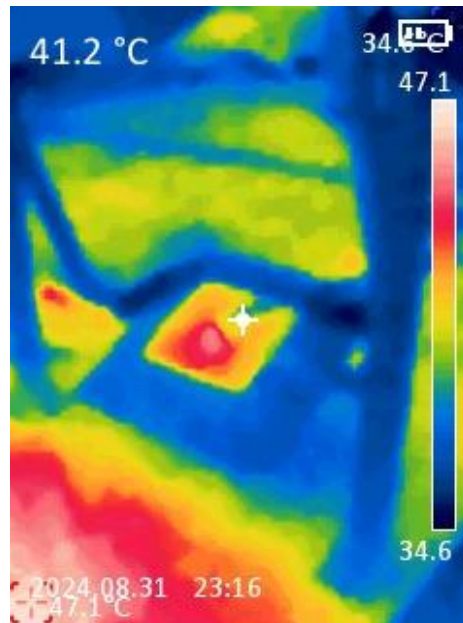
*Prueba de funcionamiento 5*



*Nota.* Imágenes de cámara termográfica con disco Fresnel a 38.7°C, brazo del disco a 33.1 y base a 46.8°C.

**Figura 3.8**

*Prueba de funcionamiento 6*



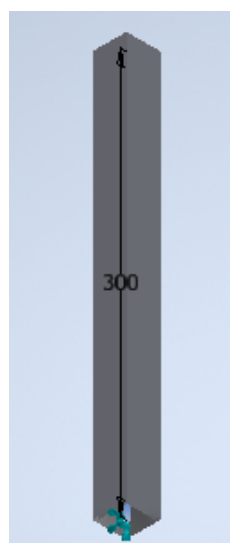
*Nota.* Imágenes de cámara termográfica. Base a 47.1 °C y brazo del disco a 41.2°C.

### 3.6 Simulación estructural

La simulación se realizó mediante métodos computacionales de elementos finitos utilizando el software Inventor Nastran. Para este fin se tomaron dos piezas del módulo, la base y el soporte principal, para las cuales se realizó la configuración del software y así se obtuvo los resultados de esfuerzos y factores de seguridad visibles en las figuras posteriores, véase figura 3.9 y 3.12. En la figura 3.10 se muestra que el esfuerzo es constante a lo largo del soporte, en la figura 37 se muestra que el factor de seguridad es el mismo para todo el elemento, cuyos valores son: 82 KPa y 3044 respectivamente. Para la base se puede observar que los puntos más críticos son las patas de la base donde van los apoyos fijos y en la sección media de la estructura porque allí es donde recibe la carga la estructura con esfuerzos máximos de 1.45 MPa como indica la figura 3.13 y factor de seguridad mínimo de 171 como indica la figura 3.14. En conclusión, los resultados arrojan esfuerzos tolerables por la estructura, tanto así que el factor de seguridad mínimo es de 171 y dado que un factor superior de la unidad se considera evaluable en ingeniería, la estructura cumple con su objetivo.

#### **Figura 3.9.**

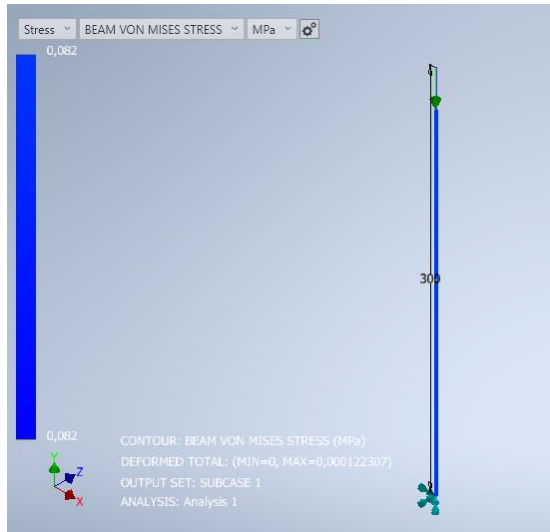
*Visualización de sección del soporte*



*Nota.* Visualización obtenida después del mallado

**Figura 3.10.**

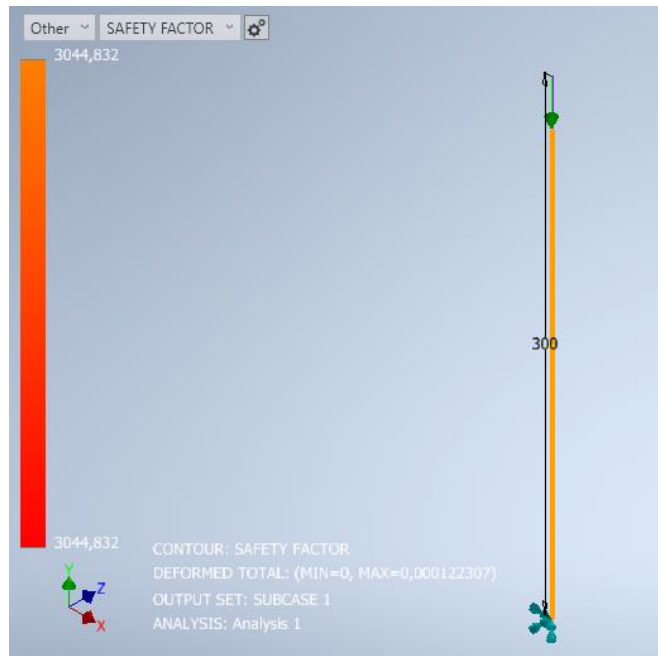
*Resultado de esfuerzos Soporte*



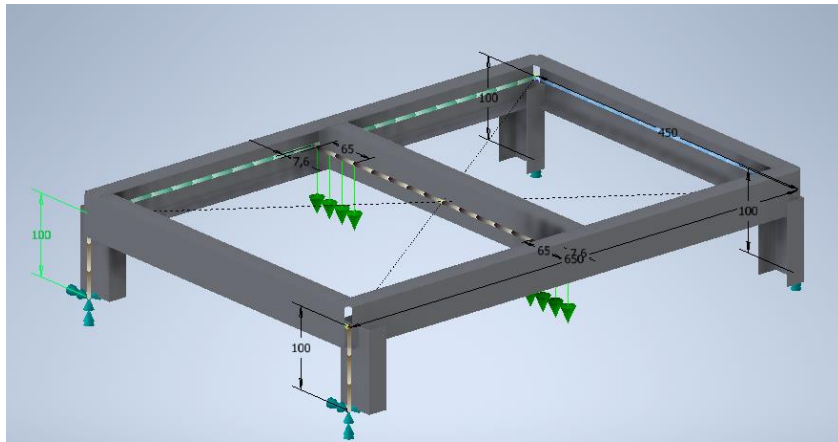
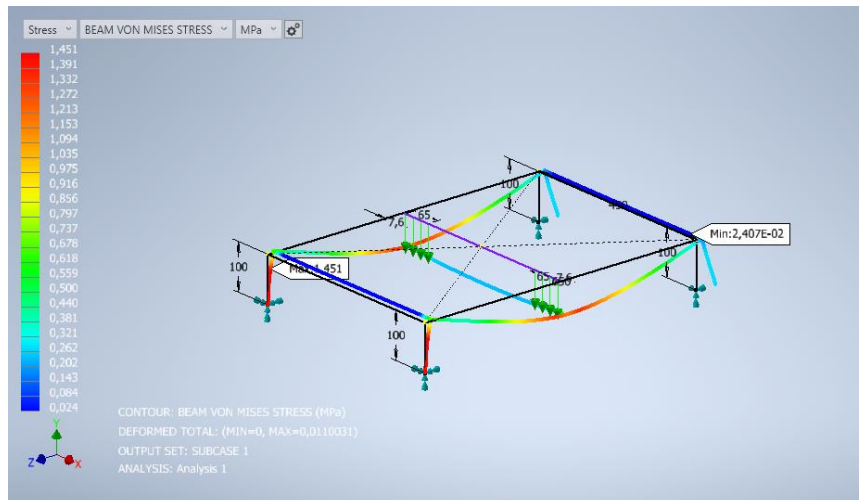
*Nota. Esfuerzos de Von Mises*

**Figura 3.11.**

*Resultado de factor de seguridad del soporte*



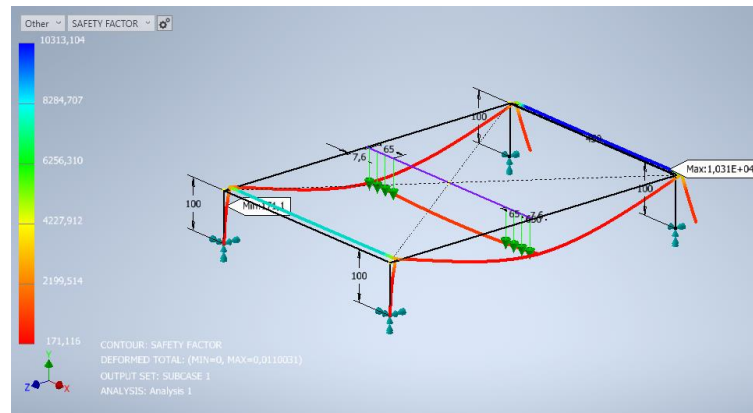


**Figura 3.12.***Visualización de sección de la base**Nota.* Visualización después del mallado**Figura 3.13.***Resultado de esfuerzos en la base*

*Nota.* Esfuerzos con Von Mises, exagerando la deflexión en la estructura para una mejor apreciación de la deflexión

**Figura 3.14.**

*Resultados de los factores de seguridad en la base*



### 3.7 Estimación de costos

Se realiza una estimación de costos en función de los precios de los perfiles de casas comerciales reconocidas en Guayaquil, en este caso se aproximaron los precios con Mega Metales, Ferrisariato. Adicional, los valores referenciales de manos de obra para los diferentes trabajos y procesos de manufactura para la implementación del módulo demostrativo.

En las Tablas 3.3 y 3.4 se ve el detalle de los materiales, dimensiones, precio unitario y cantidades de unidades que utilizaron. Mientras que en las Tablas 3.5 y 3.6 muestran el costo del día por la mano de obra del personal, para realizar la implementación del módulo demostrativo.

**Tabla 3.3.**

Costos unitarios de materiales

N°	Materiales	Dimensiones	Precio
1	Tubos cuadrados	6000 x 25 x 1.80/2 mm	\$ 11.50
2	Tubo redondo	6000 x 20 x 1.10 mm	\$ 4.95
3	Planchas	1220 x 2440 x 1.1 mm	\$ 31.65
4	Ángulos	6000 x 38-40 x 3 mm	\$ 15.00
5	Electrodo revestido 6011	1 kg de 1/8 in	\$ 7.15
6	Pintura Spray Evans Brillante SE39	400 ml	\$ 2.15
7	Pintura Esmalte Unidas Supremo	1 L	\$ 4.95
8	Pernos	5u de 1.5 x 5/32 in	\$ 0.70
9	Arandelas	5u de 5/32 in	\$ 0.40
10	Tuercas	5u de 5/32 in	\$ 0.40
11	Disco de Corte	115 x 1.6 x 22.23 mm	\$ 1.30
12	Disco de Desbaste	115 x 6.4 x 22.23 mm	\$ 1.70
13	Masilla epoxica	35 g	\$ 2.60
14	Ruedas	2 in de Diámetro	\$ 1.40
15	Disco Fresnel	300 mm	\$ 40.00

Nota. Estos son valores de precio de venta unitario tomados del mercado nacional.

**Tabla 3.4**

Costos totales de materiales

N°	Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Tubos cuadrados	1	\$ 11.50	\$ 11.50
2	Tubo redondo	1	\$ 4.95	\$ 4.95
3	Planchas	1	\$ 31.65	\$ 31.65
4	Ángulos	1	\$ 15.00	\$ 15.00
5	Electrodo revestido 6011	1	\$ 7.15	\$ 7.15
6	Pintura Spray Evans Brillante SE39	2	\$ 2.15	\$ 4.30
7	Pintura Esmalte Unidas Supremo	1	\$ 4.95	\$ 4.95
8	Pernos	6	\$ 0.70	\$ 4.20
9	Arandelas	6	\$ 0.40	\$ 2.40
10	Tuercas	6	\$ 0.40	\$ 2.40
11	Disco de Corte	1	\$ 1.30	\$ 1.30
12	Disco de Desbaste	1	\$ 1.70	\$ 1.70
13	Masilla epoxica	1	\$ 2.60	\$ 2.60
14	Ruedas	4	\$ 1.40	\$ 1.40
15	Disco Fresnel	1	\$ 40.00	\$ 40.00
				\$ 135.50

**Tabla 3.5**

Costos de mano de obra diario

<b>N°</b>	<b>Mano de obra por concepto de</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Precio</b>
1	Técnico	El día	\$ 25.00
3	Ingeniero	El día	\$ 30.00

**Tabla 3.6**

Costos totales de mano de obra

<b>N°</b>	<b>Materiales</b>	<b>Días</b>	<b>Precio Diario</b>	<b>Cantidad de personal</b>	<b>Total</b>
1	Técnico	10	\$ 25.00	1	\$ 250.00
3	Ingeniero	10	\$ 30.00	1	\$ 300.00
					\$ 550.00

Tomando los valores totales de las Tablas 3.4 y 3.6 se tiene que el costo en mano de obra y materiales suman \$ 685.50, este valor sería el costo estimado por la implementación del módulo demostrativo.

### 3.8 Manual de operación y mantenimiento

El manual de operación y mantenimiento se crea con el propósito de proporcionar una guía clara y detallada para el uso seguro y eficiente del módulo demostrativo, así como para garantizar su mantenimiento a lo largo del tiempo. Siendo la finalidad de este manual instruir a los usuarios en el uso adecuado del módulo demostrativo, garantizar la seguridad al prevenir accidentes y daños, prolongar la vida útil mediante el mantenimiento adecuado, establecer protocolos claros para el mantenimiento preventivo y correctivo, facilitar las reparaciones en caso de averías, cumplir con normativas y estándares de calidad, y optimizar el rendimiento del módulo asegurando que funcione de manera eficiente. Este manual se centra en las tareas relacionadas con la instalación, ajustes, mantenimiento y seguridad de la estructura que sostiene el disco de Fresnel. Esto se lo puede visualizar de mejor manera en la sección de Anexos, Apéndice C.

## Capítulo 4

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

Como conclusión general, el desarrollo del sistema mecánico y el módulo de energía solar fue exitoso, cumpliendo con los objetivos técnicos y pedagógicos planteados. Además, la fabricación del módulo de energía solar se alineó con principios de economía circular, aprovechando materiales locales y procesos sostenibles, resultando en un dispositivo funcional y seguro. De manera específica se puede concluir que:

- El sistema mecánico de movimiento del disco fue diseñado mediante la aplicación de métodos de elementos finitos computacionales. Dado el enfoque del módulo, este trabajara puntualmente por lo que el análisis de su movimiento se simplificó en un análisis estático. Donde se obtuvieron como resultados que el factor de seguridad mínimo de la estructura fue de 171 y el esfuerzo máximo fue de 1.45 MPa con lo cual se corrobora el correcto funcionamiento del mecanismo.
- El módulo de energía solar fue desarrollado mediante estrategias de economía circular en la selección de materiales locales y los componentes mecánicos a través de un proceso de listado de materiales disponibles y posterior selección de los materiales. Delimitados siempre por los criterios de selección establecidos durante el proceso de diseño. Teniendo como resultado un módulo fabricado en las instalaciones del CDTS, funcional, seguro, preciso, estable e instructivo.
- Se logró elaborar el manual de operación y mantenimiento del módulo demostrativo, centrado en el diseño específico del sistema. Este manual establece claramente las especificaciones técnicas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del módulo, convirtiéndose en una herramienta clave para su uso en la enseñanza dentro de las unidades educativas. A través de su implementación, se asegura que el sistema

cumpla con los objetivos pedagógicos, permitiendo un manejo eficiente y seguro por parte de los estudiantes y docentes.

#### ***4.1.2 Recomendaciones***

Finalizadas todas las fases de este proyecto es menester dar a conocer las recomendaciones que han surgido en el transcurso de este proyecto que por temas de tiempo y factibilidad no se pudieron cristalizar, las cuales son:

- El presente trabajo no abordó el tema de automatización, en cuanto a la localización del sol a través de un sistema, sea por sensores o por otros medios dejando la puerta abierta hacia una posible optimización de la obtención del punto caliente mediante los sistemas ya mencionados.
- Al comprobar la utilidad del módulo solar se puede transmutar su uso desde enseñanza sobre energías hacia generación de energía mediante la utilización del punto caliente como fuente de calor para un motor de ciclo termodinámico con vapor.
- Las dimensiones del módulo de energía solar fueron hechas en base a la condición de seguridad del equipo por lo que se buscó mantener la distancia entre el módulo y los observadores, aunque podría ser reducido en sus dimensiones para mejorar su eficacia en cuanto a movilidad, puesto que la base tiene espacio considerable en su longitud que puede ser llevada a cabo posteriormente como trabajo de prácticas comunitarias.

## Referencias

- Born, M., Wolf, E., & Bhatia, A. B. (1999). *Principios de óptica: teoría electromagnética de propagación, interferencia y difracción de la luz* (Septima ed.). Cambridge, Cambridgeshire, Reino Unido: Cambridge University Press. Recuperado el 4 de Junio de 2024
- Bradley, R., & Jawahir, I. S. (19 de Febrero de 2016). Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. *Procedia CIRP*, 40, 103-108. doi:10.1016/j.procir.2016.01.067
- Bravo, D. (2018). Una Revisión sobre Materiales para Almacenamiento de Energía Solar Térmica. *Ingeniería*, vol. 23, no. 2, pp. 144-165.  
doi:<https://doi.org/10.14483/23448393.12510>
- Fiksel, J. (2009). *Design for Environment: A Guide to Sustainable Product Development* (Segunda ed.). New York, New York, United States: McGraw-Hill. Recuperado el 5 de Junio de 2024
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. J. (1 de Febrero de 2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 147, 757-768. doi:10.1016/j.jclepro.2016.12.048
- González, J. A., Pérez, R. C., Santos, A. C., & Gil, M.-A. C. (2012). *Centrales Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables*. Madrid: Pearson Educacion.
- Grech, P. (2013). *Introducción a la Ingeniería: Un enfoque a través del diseño*. Colombia: Pearson Educación.



Gregson, N., Crang, M., Fuller, S., & Holmes, H. (25 de Abril de 2015). Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 44, 218-243. doi:10.1080/03085147.2015.1013353

Hebbeler, R. (2017). *Mecánica de materiales*. Pearson Educación.

Hecht, E. (2017). *Optics* (Quinta ed.). (I. Pearson Education, Ed.) Harlow, Essex, Eengland: Pearson Education Limited. Recuperado el 3 de Junio de 2024

Lamb, W. K. (2016). *Fresnel's Lighthouse Lenses*. Stevenage: The IET. Recuperado el 5 de Junio de 2024

Norton, R. (2013). *Diseño de maquinaria: Síntesis y Análisis de mecanismos y máquinas*. McGraw-Hill.

Norton, R. L. (2019). *Diseño de Máquinas: Un enfoque integrado*. Pearson Educación.

Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. M., & Pedrotti, L. S. (2017). *Introduction to Optics* (Tercera ed.). Cambridge, Cambridgeshire, Reino Unido: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108552493

Polanco Reyes, A. (2021). *Diseño, análisis y validación de un sistema de seguimiento solar*. de los Andes Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/56568>

Smith, W. J. (2007). *Modern Optical Engineering* (Cuarta ed.). New York, New York, United States: McGraw Hill. Recuperado el Junio de 2024

Villeda, G., Castañeda, A., Vega, J., & Pineda, J. (2011). Seguidor Solar de Dos Ejes para un Horno Solar. *Información Tecnológica*, 22(2), 95-106.

## **Apéndices A**

4

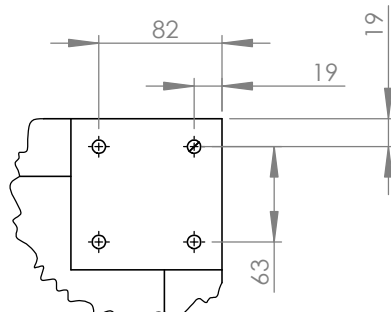
3

2

1

F

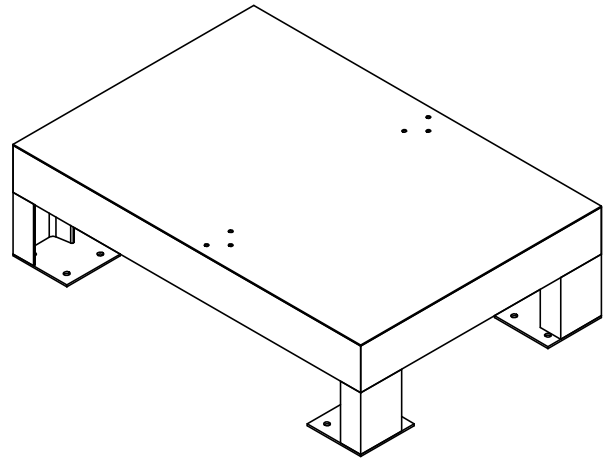
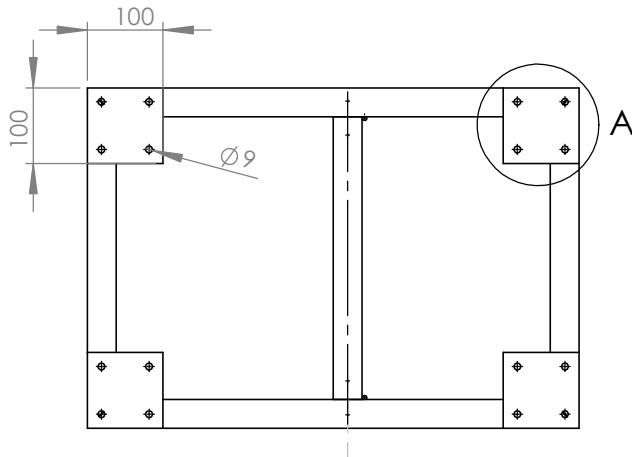
F



Detalle A

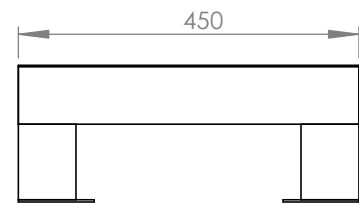
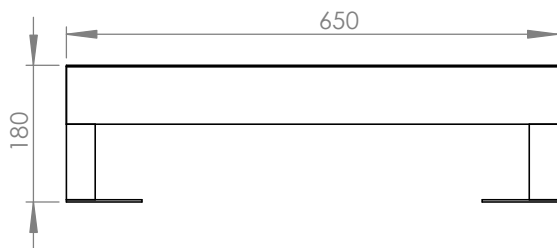
E

E



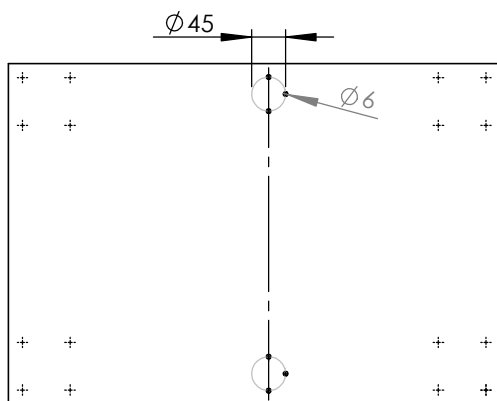
D

D



C

C



B

B

N°	Materiales
1	Perfil estructural canal "U" 50X25X25X1
2	Plancha de Acero negro 1 mm
3	Plancha de Acero negro de 2 mm

A

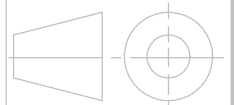
A

ESPOL

Título del conjunto:

Módulo de Energía Solar con Disco Fresnel

Materia Integradora Mecánica



Fecha:

12/Ago/2024

Título del Plano:

Base

Hoja:

A4

Escala:

1:10

Dibujado por:

Jefferson Cabezas ; Byron Baque

Revisado por:

Msc. Galo Durazno;  
Msc. José Martínez

Unidades:

mm

Página:

1/6

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

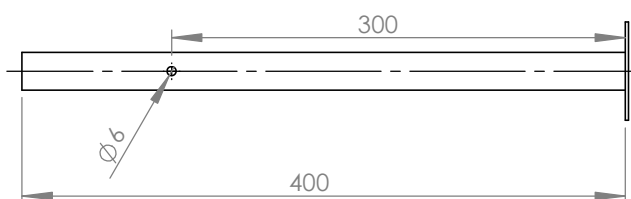
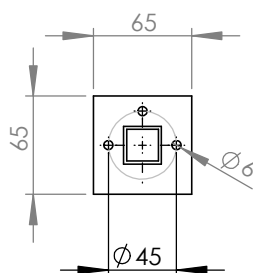
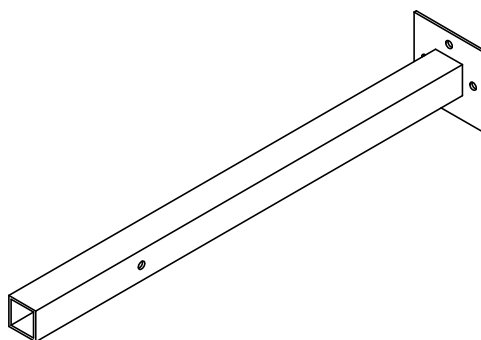
C

B

B

A

A



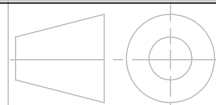
N°	Materiales
1	Tubo Cuadrado de 25x2 mm
2	Plancha de Acero negro de 2 mm

**ESPOL**

Título del conjunto:

Módulo de Energía Solar con Disco Fresnel

Materia Integradora Mecánica



Fecha:

12/Ago/2024

Título del Plano:

Soporte Principal

Hoja:

A4

Escala:

1:5

Dibujado por :

Jefferson Cabezas ; Byron Baque

Revisado por:

Msc. Galo Durazno;  
Msc. José Martínez

Unidades:

mm

Página:

2/6

4

3

2

1

4

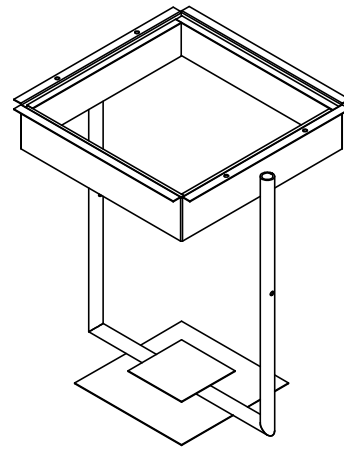
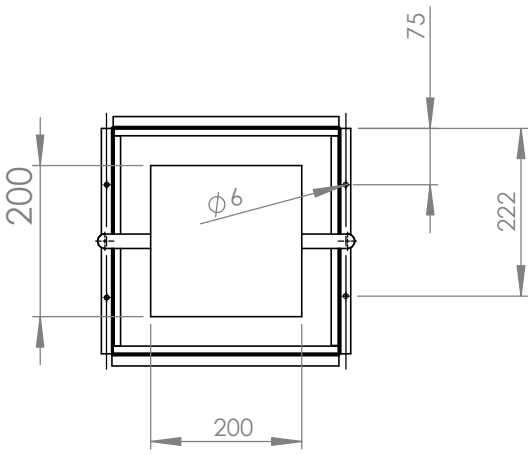
3

2

1

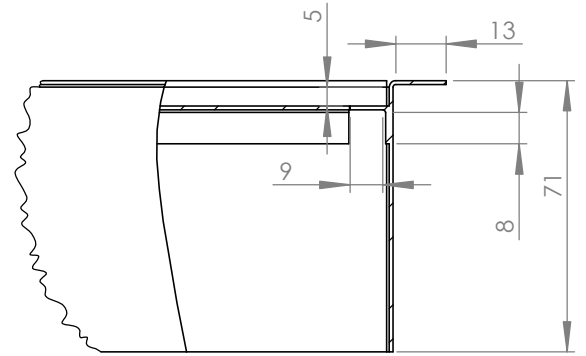
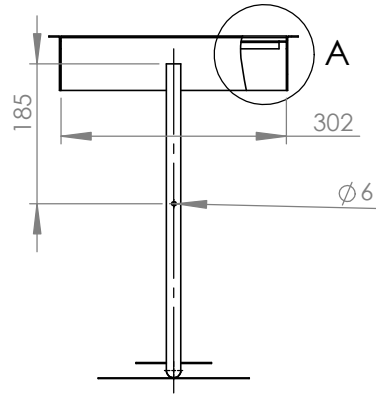
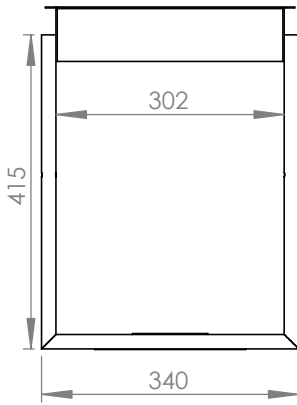
F

F



E

E



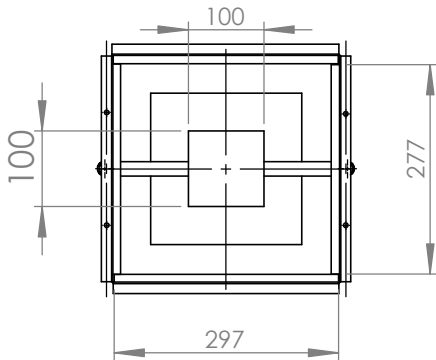
Detalle A

D

D

C

C



B

B

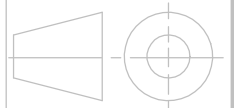
N°	Materiales
1	Plancha de Acero negro de 1 mm
2	Tubo redondo de 19 mmx1.5 mm

**ESPOL**

Título del conjunto:

Módulo de Energía Solar con Disco Fresnel

Materia Integradora Mecánica



Fecha:

12/Ago/2024

Título del Plano:

Brazo del Disco

Hoja:

A4

Escala:

1:10

Dibujado por:

Jefferson Cabezas ; Byron Baque

Revisado por:

Msc. Galo Durazno;  
Msc. José Martínez

Unidades:

mm

Página:

3/6

A

A

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

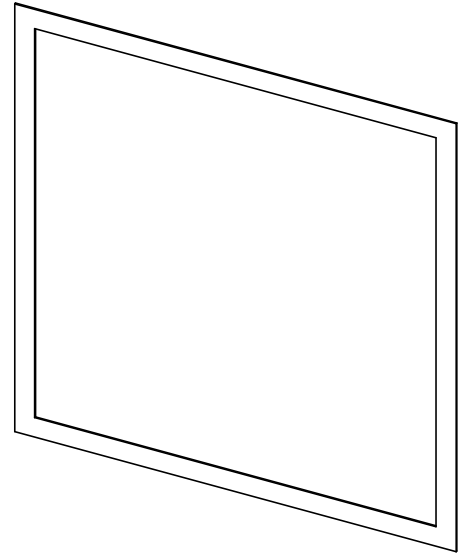
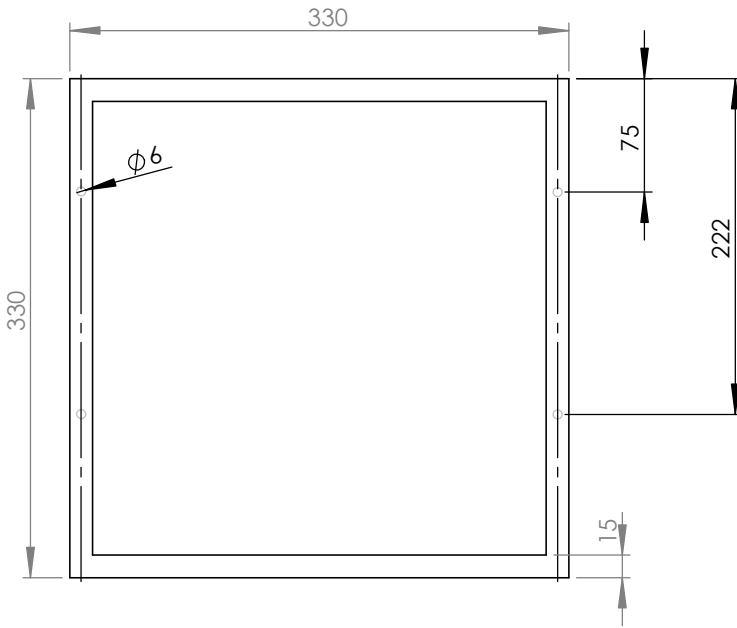
C

B

B

A

A

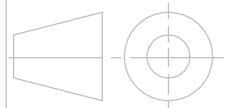


**ESPOL**

Título del conjunto:

Módulo de Energía Solar con Disco Fresnel

Materia Integradora Mecánica



Fecha:

12/Ago/2024

Título del Plano:

Anillo

Hoja:

A4

Escala:

1:2

Dibujado por :

Jefferson Cabezas ; Byron Baque

Revisado por:

Msc. Galo Durazno;  
Msc. José Martínez

Unidades:

mm

Página:

4/6

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

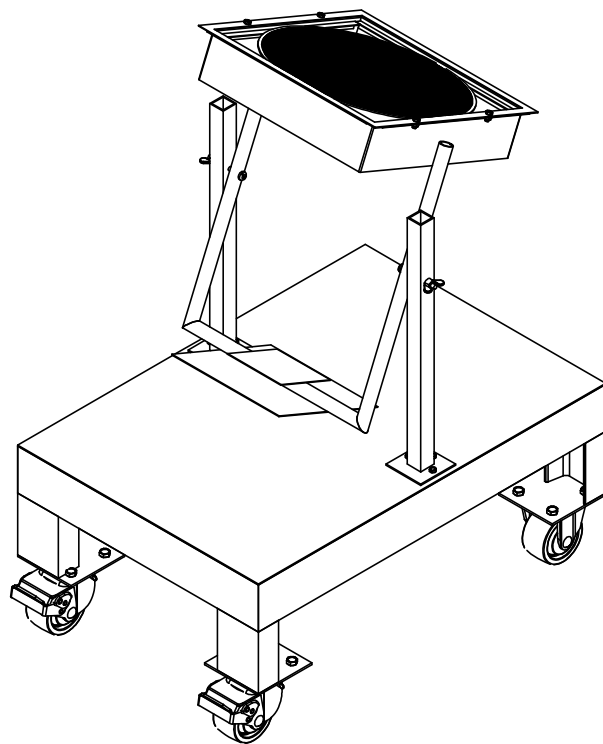
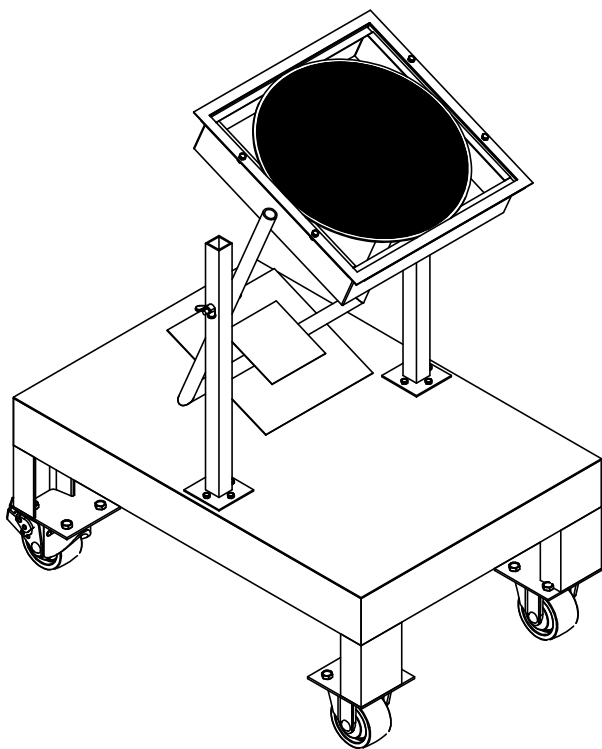
D

C

C

B

B



ESPOL

Título del conjunto:  
Módulo de Energía Solar con Disco Fresnel

Materia Integradora Mecánica



Fecha:  
12/Ago/2024

Título del Plano:  
Perspectivas

Hoja:  
A4

Escala:  
1:10

Dibujado por:  
Jefferson Cabezas ; Byron Baque

Revisado por:  
Msc. Galo Durazno;  
Msc. José Martínez

Unidades:  
mm

Página:  
5/6

4

3

2

1

A

A

4

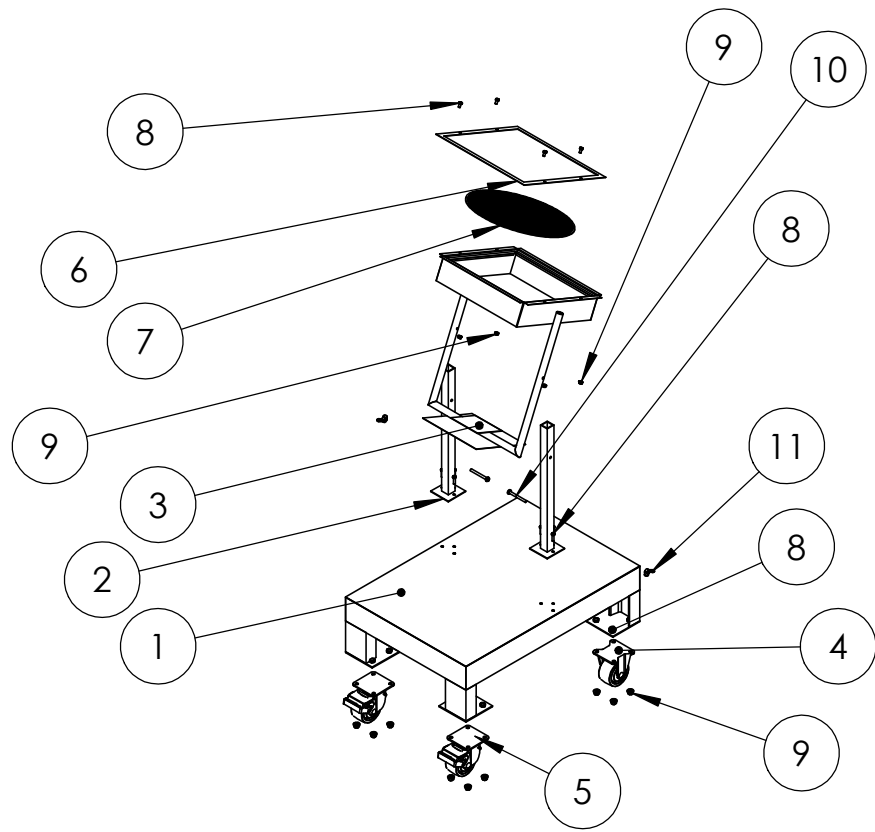
3

2

1

F

F



E

E

D

D

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base		1
2	Soporte		2
3	Brazo del Disco		1
4	Rueda fija	Rueda de 2 pulg diámetro	2
5	Rueda basculante	Rueda de 2 pulg de diámetro	2
6	Anillo		1
7	Disco Fresnel	Disco de 300 mm de diámetro	1
8	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M5 x 0.8 x 10 --10WN	Pernos Hexagonales	26
9	B18.2.2.4M - Hex flange nut, M5 x 0.8 -- N	Tuercas Hexagonales	26
10	B18.6.7M - M6 x 1.0 x 60 Slotted PHMS --38N	Perno de cabeza plana	2
11	DIN 315-M6-GT-C-N	Tuerca Mariposa	2

C

C

B

B

ESPOL

Título del conjunto:

Módulo de Energía Solar con Disco Fresnel

Materia Integradora Mecánica



Fecha:

12/Ago/2024

Título del Plano:

Ensamble Explotado

Hoja:

A4

Escala:

1:20

Dibujado por:

Jefferson Cabezas ; Byron Baque

Revisado por:

Msc. Galo Durazno;  
Msc. José Martínez

Unidades:

mm

Página:

6/6

A

A

4

3

2

1



## **Apéndices B**

## PERFILES ESTRUCTURALES CANAL "U"

### Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 1623
Calidad:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Espesores:	Desde 2mm - 12mm
Acabado:	Acero negro y galvanizado



## PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

### Especificaciones Generales:

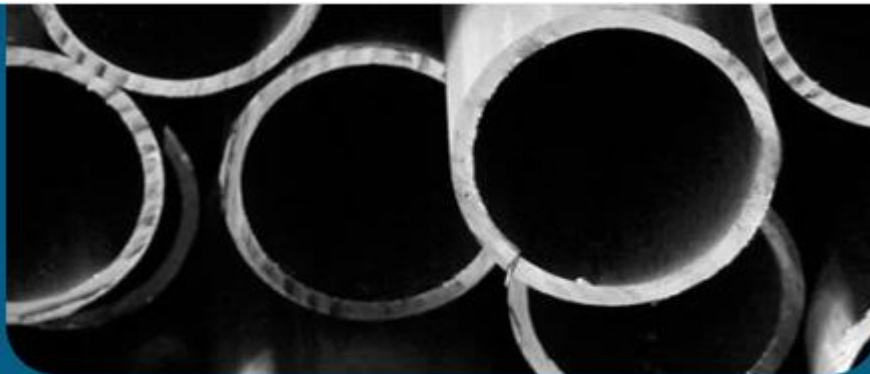
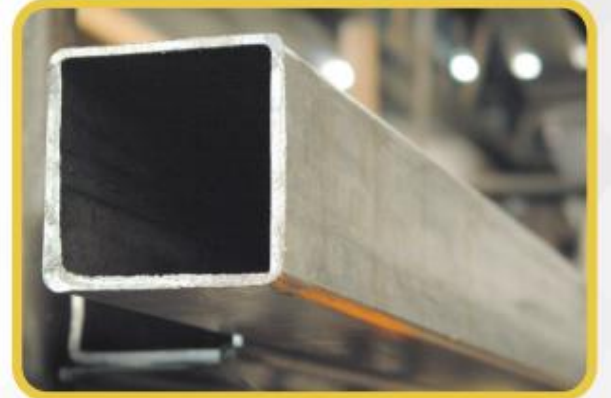
Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Espesores:	2mm a 12mm
Rollos:	Ancho 1000, 1220, 1500mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero Negro



# TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

## Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 2415
<b>Calidad:</b>	SAE J 403 1008
<b>Acabado:</b>	Acero negro o Galvanizado
<b>Largo Normal:</b>	6.00m y medidas especiales
<b>Dimensiones:</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesores:</b>	Desde 1,20mm a 5,00mm



## Especificaciones Generales:

**Norma:** NTE INEN 2415

**Calidad:** JIS 3141 SPCC SD

**Acabado:** Acero negro y galvanizado

**Largo Normal:** 6.00m y medidas especiales

**Dimensiones:** Desde 1/2" a 2 1/2"

**Espesor:** Desde 0.80mm a 1.50mm

## **Apéndices C**

# **Manual de Operación y Mantenimiento de la Estructura del Disco de Fresnel**

Versión 1.0

Fecha de emisión: 1 de septiembre 2024

Elaborado por:

Jefferson Brayan Cabezas Martínez

Byron Rubén Baque Lino

## **Índice**

1. Introducción
2. Descripción de la Estructura
3. Operación
4. Mantenimiento Preventivo
5. Mantenimiento Correctivo
6. Seguridad
7. Registro de Mantenimiento
8. Contacto
9. Anexos

## **1. Introducción**

### **Propósito del Manual**

Este manual proporciona instrucciones detalladas para la operación y el mantenimiento adecuados de la estructura que sostiene el disco de Fresnel. Está diseñado para ser utilizado por técnicos y personal encargado de la instalación y mantenimiento de la estructura.

### **Alcance**

El manual cubre exclusivamente las tareas relacionadas con la instalación, ajustes, mantenimiento preventivo y correctivo de la estructura. No abarca el sistema óptico ni otros componentes del disco de Fresnel.

### **Usuarios Destinatarios**

Este manual está dirigido a técnicos responsables de la instalación y mantenimiento de la estructura del disco de Fresnel. Se asume que los usuarios cuentan con conocimientos básicos en mecánica y estructuras.

### **Precauciones Generales**

- Asegúrese de que la estructura esté correctamente anclada antes de operar el sistema.
- Usar equipo de protección personal (EPP) durante la manipulación de la estructura.
- No realizar ajustes estructurales mientras el sistema está en operación.

## **2. Descripción de la Estructura**

### **Estructura de Soporte**

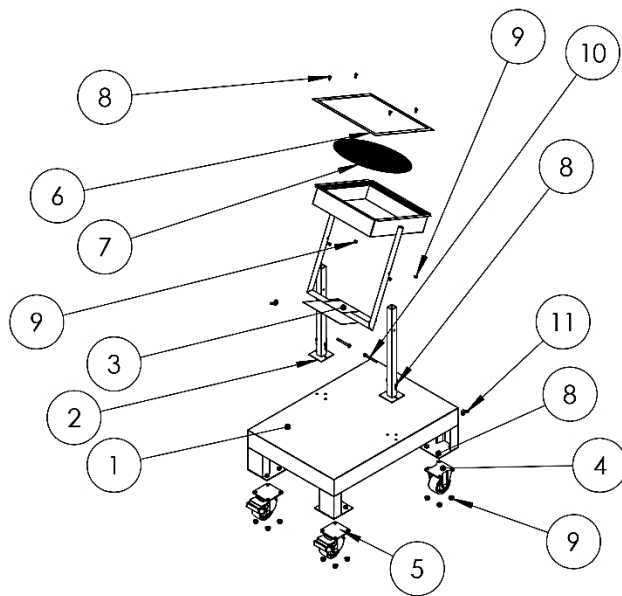
La estructura del disco de Fresnel consiste en un marco de soporte rígido diseñado para sostener el disco y permitir su orientación. Está fabricada generalmente en materiales resistentes a la intemperie como acero inoxidable o aluminio.

### **Componentes Principales**

- **Brazo del disco y Soporte principal:** Estructura principal que sostiene el disco y elemento caloportador, que permite la rotación para enfocar el disco Fresnel en dirección a los rayos solares.
- **Bases:** Parte baja que permite la fijación de la estructura al suelo.
- **Pivotes y Bisagras:** Permiten el ajuste de la inclinación y rotación de la estructura.
- **Elementos de Fijación:** Tornillos, tuercas y abrazaderas que aseguran la unión entre los componentes estructurales.

Diagrama de la Estructura





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base		1
2	Soporte		2
3	Brazo del Disco		1
4	Rueda fija	Rueda de 2 pulg diámetro	2
5	Rueda basculante	Rueda de 2 pulg de diámetro	2
6	Anillo		1
7	Disco Fresnel	Disco de 300 mm de diámetro	1
8	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M5 x 0.8 x 10 --10WN	Pernos Hexagonales	26
9	B18.2.2.4M - Hex flange nut, M5 x 0.8 --N	Tuercas Hexagonales	26
10	B18.6.7M - M6 x 1.0 x 60 Slotted PHMS --38N	Perno de cabeza plana	2
11	DIN 315-M6-GT-C-N	Tuerca Mariposa	2

### **3. Operación**

#### **Procedimientos de Operación**

##### **1. Instalación Inicial:**

- Verifique que la base donde se montará la estructura sea firme y nivelada.
- Fije la estructura de manera segura utilizando las bases de anclaje.  
Asegúrese de que todos los elementos de fijación estén correctamente apretados.
- Realice una prueba de estabilidad, asegurándose de que no haya movimientos o vibraciones indebidas.

##### **2. Ajustes de Orientación:**

- Utilice los pivotes y bisagras para ajustar la inclinación y la orientación de la estructura.
- Asegúrese de que los mecanismos de ajuste estén en buenas condiciones y que los ángulos se mantengan firmes una vez realizados los ajustes.

##### **3. Verificaciones durante la Operación:**

- Durante la operación, inspeccione visualmente la estructura para asegurarse de que no haya signos de desgaste o aflojamiento de los elementos de fijación.
- Evite realizar ajustes mientras la estructura está sometida a carga o en uso intensivo.

#### **Recomendaciones de Seguridad**

- No manipular la estructura mientras esté en operación o con carga.
- Mantener una distancia segura durante los ajustes para evitar atrapamientos en los mecanismos de rotación y pivote.

## **4. Mantenimiento Preventivo**

### **Calendario de Mantenimiento**

- **Diario:** Inspección visual de la estructura y los puntos de fijación.
- **Semanal:** Revisión de las bisagras y mecanismos de pivote, incluyendo ajustes si es necesario.
- **Mensual:** Lubricación de los mecanismos móviles y ajuste de tornillos y tuercas.
- **Anual:** Inspección detallada de la estructura, incluidas las bases de anclaje, y reemplazo de piezas desgastadas.

### **Inspecciones Visuales**

- Verificar que no haya corrosión o daños en los componentes de la estructura.
- Inspeccionar que las bases de anclaje y las fijaciones no presenten desgaste o aflojamiento.

### **Lubricación y Ajustes**

- Aplicar lubricante a las bisagras y pivotes para asegurar un movimiento suave y evitar el desgaste prematuro.
- Ajustar cualquier elemento de fijación que presente aflojamiento, asegurando que la estructura permanezca firme y estable.

### **Limpieza de la Estructura**

- Limpiar la estructura periódicamente para remover suciedad y polvo acumulado, lo que podría interferir en el funcionamiento de los mecanismos de ajuste.
- Usar un paño suave y, si es necesario, una solución de agua y jabón suave. Evitar productos corrosivos.

## **5. Mantenimiento Correctivo**

### **Identificación de Problemas Comunes**

- Aflojamiento de Fijaciones: Puede ocurrir debido a vibraciones o exposición a la intemperie.
- Corrosión en Componentes Metálicos: Especialmente en ambientes húmedos o salinos.
- Desgaste en Bisagras y Pivotes: Por uso prolongado o falta de lubricación.

### **Procedimientos de Reparación**

#### **1. Ajuste de Fijaciones:**

Si algún tornillo o tuerca se ha aflojado, utilice las herramientas adecuadas para reajustarlos. Verifique que no haya daño en las roscas.

#### **2. Reparación de la Estructura:**

- En caso de corrosión, lije el área afectada y aplique una capa de pintura o recubrimiento anticorrosivo.
- Si algún componente estructural presenta daños graves, como grietas o deformaciones, reemplácelo inmediatamente.

### **Reparaciones Mayores**

Para reparaciones complejas, como la sustitución de múltiples componentes o el desmontaje de la estructura, es recomendable contactar al fabricante o a un especialista en estructuras metálicas.

## **6. Seguridad**

### **Normas de Seguridad**

- Siempre utilizar equipo de protección personal adecuado, incluyendo guantes y gafas protectoras.
- Nunca realizar ajustes mientras la estructura está sometida a carga o en movimiento.
- Asegúrese de que la estructura esté bien anclada para evitar cualquier tipo de desplazamiento inesperado.

### **Advertencias sobre Peligros Potenciales**

- Riesgo de Desplome: Si la estructura no está correctamente anclada, existe el riesgo de que se desplome bajo la carga o durante la operación.
- Riesgo de Atrapamiento: Durante los ajustes de orientación, mantener las manos alejadas de los puntos de pivote y las bisagras para evitar lesiones.

**7. Registro de Mantenimiento**

Formato de Registro

Fecha DD/MM/AAAA	Tipo De Mantenimiento Preventivo (P) /Correctivo (C)	Descripción de la Tarea	Técnico Responsable	Observaciones

## **8. Contacto**

### Soporte Técnico

Para asistencia técnica o consultas sobre piezas de repuesto, comuníquese a los números:

+593 99 220 4684 / jefbcabe@espol.edu.ec

+593 98 801 4713 / brbaque@espol.edu.ec

## **9. Anexos**

### **Especificaciones Técnicas de la Estructura**

- Materiales de construcción: Acero ASTM A 36, Acero ASTM A 1008, PMMA.
- Dimensiones de la estructura: 650 x 450 x 865 mm

### Lista de Herramientas Recomendadas

- Llave ajustable.
- Destornilladores (plano y de estrella).
- Lubricante.
- Paños para limpieza.