



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MECANISMO DE ORIENTACIÓN Y POSICIONAMIENTO DE LENTE DE FRESNEL PARA IMPRESORA SOLAR

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

IGNACIO ESTEBAN MOYA BAEZA

PROFESOR GUÍA:
JAVIER LARRONDO PIÑA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEONEL NÚÑEZ LAZO
RODRIGO PALMA HILLERNS

SANTIAGO DE CHILE
2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil
Mecánico.
POR: Ignacio Esteban Moya Baeza.
FECHA: 06-01-2020
PROFESOR GUÍA: Javier Larrondo P.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MECANISMO DE ORIENTACIÓN Y POSICIONAMIENTO DE LENTE DE FRESNEL PARA IMPRESORA SOLAR

Durante el último tiempo, tanto los métodos de manufactura aditiva como la búsqueda de nuevos materiales aptos para aplicaciones a gran escala como, por ejemplo, la arquitectura ha recibido una gran cantidad de atención. Este proyecto tiene como objetivo la construcción de un sistema que ayude en la obtención de materiales para construcción por medio de impresión 3D, a partir de energía solar concentrada por medio de un lente de Fresnel. Para esto, se emplea una metodología de trabajo enfocada en 4 etapas diferentes, ingeniería conceptual, memorias de cálculo, ingeniería de detalles y finalmente la construcción. Este proyecto se enmarca en el programa de memorias multidisciplinarias Beauchef Proyecta y que incluye alumnos memoristas de la carrera de Arquitectura y de la misma carrera de ingeniería civil mecánica de la universidad de Chile.

Este trabajo de título busca la obtención de un mecanismo capaz de manipular un lente de Fresnel. Esto, con el fin de aprovechar el efecto del calor concentrado sobre materiales que sea posible sintetizar por medio de su cambio de estado. Entre los materiales referidos destaca el caso de la arena, ya que esta al ser sometida a altas temperaturas, se logra su vitrificación. Sin embargo, luego de comprobar experimentalmente la capacidad del lente de Fresnel empleado en este proyecto, no se logró el efecto esperado sobre el material. Esto se debe principalmente a su capacidad de concentración para la potencia térmica, calculada en un valor cercano a los 640 [W] y el tamaño del área sobre la cual esta se aplica. Por otra parte, con la ayuda de un segundo lente, si se logró un cambio de estado en el material, comprobando así que es posible lograr un mecanismo que cumpla con este requerimiento.

El mecanismo diseñado, tiene como fin orientar el lente de Fresnel de forma perpendicular al sol, según su posición en función de los ángulos de altura y azimut (coordenadas esféricas). Esto se logra empleando movimientos de rotación y desplazamiento de los elementos del mecanismo que soportan al lente en un eje de rotación situado por sobre la ubicación del punto focal. Todo esto, dispuesto sobre una base que rota por medio de rodillos sobre dos anillos concéntricos centrados en el punto focal.

Por último, se dirá que el mecanismo obtenido cumple con la manipulación del lente como principal requerimiento, pero que no se cumplió con el objetivo de automatización propuesto. Sin embargo, se identifica a este como un prototipo, que servirá como antecedente para modelos futuros u otros proyectos asociados a este tipo de tecnologías, como mejoras de diseño o la optimización de su desempeño.

Agradecimientos

Quiero agradecer a varias personas que de alguna u otra manera fueron de mucha ayuda en el desarrollo de este trabajo.

En primer lugar, quiero agradecer a la gente directamente involucrada en el proyecto, partiendo por las personas que me plantearon este desafío. Matías Matamala, coordinador del programa Beauchef Proyecta. Por su ayuda con el manejo de los recursos que se necesitaron para trabajar y, por supuesto, la comprensión que mostró al ver mis recurrentes fallos. Luis Mosquera, estudiante de la FAU que se atrevió con este proyecto y trabajó sin descanso para que se pudiera llevar a cabo. Agradecer también a mis profesores, en especial, a don Javier Larrondo por guiar este trabajo, por escuchar lo que propuse y mostrarme lo que tenía que cambiar.

También quiero darles las gracias a todos en el taller mecánico del DIMEC, por enseñarme todo lo que no sabía hasta antes de comenzar, y por todo lo que contribuyeron a mejorar a lo largo de este último año. Por la paciencia que tuvieron con las equivocaciones que cometí y la muy buena disposición que mostraron cuando les pedí cualquier cosa y, por supuesto el excelente ambiente de trabajo que encontré aquí.

A mis amigos y compañeros, por darme un espacio que no tuviera que ver con trabajo y que se necesita de la misma manera. Por darme tiempo para relajarme, reírme o enojarme discutiendo algo polémico. Entre ellos, Tomi y Yiyo, probablemente las personas con la que más he conversado en los últimos 7 años. Por dejarme quedar en sus casas, cuando quedaba sin opciones para viajar, o simplemente para pedirles su opinión.

Por último, a mis padres por todo lo que me dieron desde siempre y hasta antes de llegar aquí, priorizando mi educación y bienestar por sobre todo lo demás. Por el apoyo, el cariño y todo lo demás. Todo lo soy ahora es primero por ustedes dos y esa persona me gusta como es, por lo tanto, GRACIAS.

Bueno, ya se que me faltaron muchas personas importantes, aun así, sé que lo comprenderán. Para tenerlos a todos tendría que hacer un listado gigante, ya que han sido 7 años y ha habido demasiada gente involucrada.

Tabla de contenido

1	Introducción	1
1.1	Motivación	2
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo General.....	3
1.2.2	Objetivos específicos.....	3
2	Metodología.....	4
2.1	Metodología en Ingeniería conceptual	4
2.2	Metodología de Memorias de cálculo.....	4
2.3	Metodología en Ingeniería de detalle	5
2.4	Metodología de Construcción	6
3	Antecedentes.....	8
3.1	Lentes de Fresnel.....	8
3.2	Recurso Solar.....	8
3.2.1	Radiación Solar	9
3.2.2	Ángulos Solares	9
3.3	Mecanismos Similares.....	9
3.3.1	Sistema de múltiples puntos focales con sistema de gimbal.....	9
3.3.2	Sujeción de lente enmarcado dispuesto sobre un centro de rotación	10
3.4	Solar Sinter by Markus Kayser.....	11
4	Resultados.....	12
4.1	Pruebas de desempeño del lente de Fresnel.....	12
4.1.1	Condiciones y parámetros de operación.....	13
4.1.2	Resultados	16
4.1.3	Hallazgos.....	16
4.2	Ingeniería Conceptual.....	18
4.2.1	Funcionamiento general	19
4.2.2	Subsistema de sujeción y rotación del lente:	19
4.2.3	Centro de rotación para sujetador del lente.	19
4.2.4	Mecanismo de desplazamiento:	19
4.2.5	Mecanismo del giro de la base:	20
4.3	Memorias de cálculo.....	21
4.3.1	Justificación de ejes de rotación	21
4.3.2	Justificación de rodamientos.....	23
4.3.3	Justificación cremallera	23
4.3.4	Análisis de tensiones subsistema de desplazamiento (perfil-cremallera)	25
4.3.5	Justificación rieles de corredera	31

4.3.6	Justificación motor paso a paso.....	31
4.3.7	Justificación piñón	34
4.4	Ingeniería de Detalle.....	36
4.4.1	Diseño definitivo	36
4.4.2	Modelo CAD	41
4.4.3	Selección de materiales.....	41
4.5	Etapas de Construcción y Ensamble	43
4.5.1	Fabricación de piezas.....	43
4.5.2	Fabricación de piezas.....	43
4.5.3	Ensamble	53
4.6	Pruebas.....	55
4.6.1	Prueba de funcionamiento del mecanismo	55
5	Conclusiones.....	57
	Bibliografía.....	59
	Anexos	1

Índice de Figuras

Figura 1-1: Modelo sólido obtenido mediante impresión 3D con lente de Fresnel. [1].....	2
Figura 2-1: Metodología ingeniería conceptual. Elaboración propia.	4
Figura 2-2: Metodología para obtención de memorias de cálculo. Elaboración propia.	5
Figura 2-3: Metodología de ingeniería de detalles. Elaboración propia.....	6
Figura 2-4: Metodología de la etapa de construcción y ensamble. Fuente: Elaboración propia.	7
Figura 3-1: Principio de funcionamiento de lente de Fresnel. [1].....	8
Figura 3-2: Ángulos solares. Obtenido de http://solete.nichese.com/	9
Figura 3-3: Arreglo de lentes de Fresnel con sistema de gimbal [1].....	10
Figura 3-4: Montaje de lente de Fresnel enmarcado [1].....	10
Figura 3-5: Solar Sinter de Markus Kayser, 2011 [3]	11
Figura 4-1: Marcos para soporte de lente de Fresnel. Elaboración propia.....	12
Figura 4-2: Rodamiento pivotante.	12
Figura 4-3: Banco de pruebas en funcionamiento. Elaboración propia.....	13
Figura 4-4: Gráfico de posición del sol en el lugar de las pruebas.[10].....	15
Figura 4-5: Tipo de prensa utilizada para fijar el lente.	17
Figura 4-6: Muestras de arena solidificada con seundo lente de Fresnel.	18
Figura 4-7: Concepto preliminar del mecanismo. Elaboración propia.....	18
Figura 4-8: Modelo utilizado para análisis de tensiones Inventor. Fuente: Elaboración propia.	22
Figura 4-9: relación geométrica para largo de la cremallera. Fuente: elaboración propia.	24
Figura 4-10: Geometría para simulación de conjunto perfil-cremallera. Elaboración propia.	26
Figura 4-11: Señalamiento de restricciones de pasador (verde) y empotramiento (rojo). (INVENTOR).....	27
Figura 4-12: Desplazamiento percibido por conjunto elemento de soporte. (INVENTOR).	29
Figura 4-13: Tercera tensión principal FS1 (INVENTOR)	29
Figura 4-14: Geometría y cargas propuestas para mejora de desempeño perfil-cremallera.....	30
Figura 4-15: Motor Paso A Paso Nema 34 Modelo Hs8040.	33
Figura 4-16: Gráfico de torque vs Velocidad para motor Nema 34.....	34
Figura 4-17: Vista isométrica del mecanismo. Fuente: Elaboración propia	36
Figura 4-18: Distribución de elementos sobre la base del mecanismo. Fuente: Elaboración propia	37
Figura 4-19: Modelo CAD para la base del mecanismo. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 4-20:Modelo CAD para soporte en la base	38
Figura 4-21: Fotografía del mecanismo de la base en construcción.	39
Figura 4-22: Conjunto cremallera-perfil angular para desplazamiento.....	40
Figura 4-23: Fotografía del extremo del elemento perfil.cremallera.....	40
Figura 4-24: CAD lente enmarcado (izquierda) y elemento construido (derecha).	41
Figura 4-25:Modelo CAD de diseño definitivo de mecanismo. Elaboración propia.....	41
Figura 4-26: Sección transversal perfil de aluminio utilizado.....	42
Figura 4-27: Corredera telescópica de acero laminado.	43
Figura 4-28: Lente de Fresnel enmarcado con pivotes colocados sobre rodamientos. Elaboración propia.	44
Figura 4-29: Base del sistema con brackets de rodillos soldados.....	45
Figura 4-30: Anillos para rotación montados sobre base con rodillos. Elaboración Propia.	45
Figura 4-31: Conjunto para soporte de subsistema de rotación. Elaboración propia.	46
Figura 4-32: Soporte para subsistema de rotación. Elaboración propia.	47

Figura 4-33: Gráfico de efectos de trabajo en frío y tratamiento sobre acero [8].....	48
Figura 4-34:mecanismo de fresado [8].....	49
Figura 4-35: Cremalleras instaladas antes de aplicar soldadura. Elaboración propia.....	50
Figura 4-36: Reducción de diámetros de elementos sólidos. [6].....	51
Figura 4-37: Piñón para sistema de desplazamiento. Elaboración propia.....	52
Figura 4-38: Soldadura MIG. Fuente: Elaboración Propia.....	53
Figura 4-39: Union soldada perfil-cremallera. Elaoración propia.....	53
Figura 4-40:Ensamble subsistema base. Elaboración propia	54
Figura 4-41:Ensamble subsistema de cremallera. Elaboración propia.....	54
Figura 4-42:Ensamble subsistemas de rotacion y desplazamiento. Elaboración propia ..	55
Figura 4-43: Lente montado sobre el mecanismo. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 4-44: Manipulación del mecanismo para ajuste del punto focal. Fuente: Elaboración propia.....	56

Índice de tablas

Tabla 4-1: Valores de radiación 5 de abril. datos explorador solar. [9].....	14
Tabla 4-2: Valores de radiación 17 de abril, datos explorador solar. [7].....	14
Tabla 4-3: Valores para orientación y posicionamiento del mecanismo. Elaboración propia.....	15
Tabla 4-4: Cálculo de valores extremos para largo de cremallera. Fuente: Elaboración propia	25
Tabla 4-5: Propiedades físicas conjunto cremallera/perfil angular. (INVENTOR)	27
Tabla 4-6:características del material utilizado en la cremallera y perfil (INVENTOR).....	28
Tabla 4-7: Fuerza y momento de reacción en restricciones FS1 (INVENTOR).....	28
Tabla 4-8: Valores críticos del ensayo FS1 (INVENTOR)..	28
Tabla 4-9: Fuerza y momento de reacción en restricciones FS4. (INVENTOR).....	29
Tabla 4-10: Resumen de resultados más importantes en ensayo FS4 (INVENTOR).....	30
Tabla 4-11: Coeficientes de roce para cálculos en sistema de desplazamiento. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 4-12: Estimaciones de diámetro primitivo para distintas condiciones de rozamiento. Fuente: Elaboración propia.....	35

1 Introducción

En el presente trabajo de título, se muestra como se lleva a cabo el diseño y posterior construcción de un sistema de orientación para un lente de Fresnel, que tiene como finalidad posicionar este elemento en dirección ortogonal al sol. Esto, con el fin de concentrar la radiación que incide en su superficie, en un único punto focal a una distancia fija de su centro. Con esto, y en adición a un sistema de desplazamiento del ente en los 3 cartesianos (X, Y y Z), cualquier movimiento realizado sobre la superficie en la que se dirige el punto focal, se traduce en un movimiento relativo de este punto, pudiendo controlarse el recorrido de este. El principio descrito aquí, se aprovecha al fijar el punto focal, sobre una superficie que contenga materiales granulares (por ejemplo, arena), con el fin de realizar un proceso de fabricación de una sólida sobre este. Una vez obtenido el mecanismo, se controlarán los movimientos de un segundo mecanismo, con el fin de replicar el funcionamiento de una impresora 3D convencional (por medio del uso de motores paso a paso).

Otro punto importante que considera este trabajo multidisciplinario es la utilización de esta máquina para la elaboración de diferentes materiales, ya que como se mostrará más adelante, fue concebido para la producción de piezas sólidas, principalmente a partir de arena (sílices). Esta, es capaz de llegar a un estado viscoso y relativamente uniforme, el cual al enfriarse se obtiene un material sólido con características cerámicas. A este proceso se le conoce como vitrificación. Es por esto, que se tratará de incluir el uso de materiales con propiedades similares y de desechos de actividades industriales, en particular del uso de relave minero. Adicionalmente, el fenómeno descrito anteriormente se puede extender a otros usos, como materiales metálicos y polímeros. Como ejemplo de ambos tipos, se encuentran el aluminio, como también varios tipos de plásticos, en los cuales se reconoce un valor adicional como materiales reciclables. Para los 3 casos señalados, existen varias ventajas asociadas a la naturaleza de cada uno como, por ejemplo, la alta disponibilidad de cada uno. En primer lugar, la arena al encontrarse en grandes cantidades en la naturaleza, y en el caso de los otros dos, como ya se dijo, es posible obtenerlos de forma simple por medio de la recolección de elementos descartados (reciclaje). La aplicación de este principio en otros materiales, al igual que el sistema de desplazamiento cartesiano estará a cargo de otros memoristas que participan de este proyecto.

Como ya se mencionó, el alcance de este trabajo incluye solamente el mecanismo encargado de posicionar el lente de Fresnel. Sin embargo, el diseño de este debe ser hecho en conjunto con el diseño del sistema de desplazamiento, lo cual implica otro trabajo pertinente a este mismo proyecto multidisciplinario del programa Beauchef Proyecto. Al acoplar ambos sistemas, deberá existir una compatibilidad entre ambos, y lograr un funcionamiento fluido del conjunto. La finalidad última de la llamada impresora solar será obtener elementos aplicables a la arquitectura, tal y como ladrillos, vigas, entre otros elementos estructurales. En la figura 1.1, se muestra un objeto, a modo de ejemplo, obtenido a partir del fenómeno descrito, utilizando arena como materia prima.



Figura 1-1: Modelo sólido obtenido mediante impresión 3D con lente de Fresnel. [1]

1.1 Motivación

La principal motivación para la realización de este proyecto se reconoce en el uso de la radiación solar como fuente de energía renovable. En este caso, el emplear dicha fuente de energía en la producción de materiales útiles en arquitectura e ingeniería, podría resultar beneficioso en ambas aristas. En primer lugar, de una aplicación de la energía solar poco explorada, como lo es la conformación de elementos sólidos por medio de calor en un punto de concentración de la luz del sol. Y por otra, el desarrollo de materiales útiles a partir de materia prima de bajo costo y alta disponibilidad, o incluso materiales descartados de otras actividades humanas (reciclados).

Es por lo anterior, que al ser capaz de obtener una máquina que relacione ambos principios, y se compruebe si su valor es considerable o no, es posible extrapolar el proyecto a otras escalas de aplicación. Por ejemplo, ver si es posible replicar este sistema y ver si se logra una producción de mayor volumen, o incluso si el mismo modelo se puede escalar y obtener elementos más grandes y resistentes.

Otro punto que se reconoce en el desarrollo de esta memoria es la ampliación al estudio del sinterizado de otros materiales, en distintos niveles de desempeño del equipo, como la cantidad de radiación que concentra el lente, o la velocidad con la que este se desplaza. Esto tomando en cuenta que otros materiales, como polímeros o metales, requieren de condiciones diferentes, y por supuesto, darán resultados diferentes, respecto a sus propiedades mecánicas.

1.2 Objetivos

A continuación, se señala el objetivo general, y los objetivos específicos que este trabajo requiere.

1.2.1 Objetivo General

Diseñar y construir un mecanismo capaz de dirigir el punto focal de un lente de Fresnel, para el sinterizado de determinados materiales.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un mecanismo prototipo que permita la alineación de un lente de Fresnel con la posición del sol.
- Realizar pruebas de desempeño del lente de Fresnel y determinar su capacidad de concentración solar.
- Gestionar construcción del prototipo mediante la elaboración de planos, compra de elementos comerciales y la fabricación de piezas.

2 Metodología

2.1 Metodología en Ingeniería conceptual

La figura 2.1 describe brevemente la manera en la que se plantea la realización de la ingeniería conceptual, y como esta termina con la obtención de un diseño conceptual del proyecto.

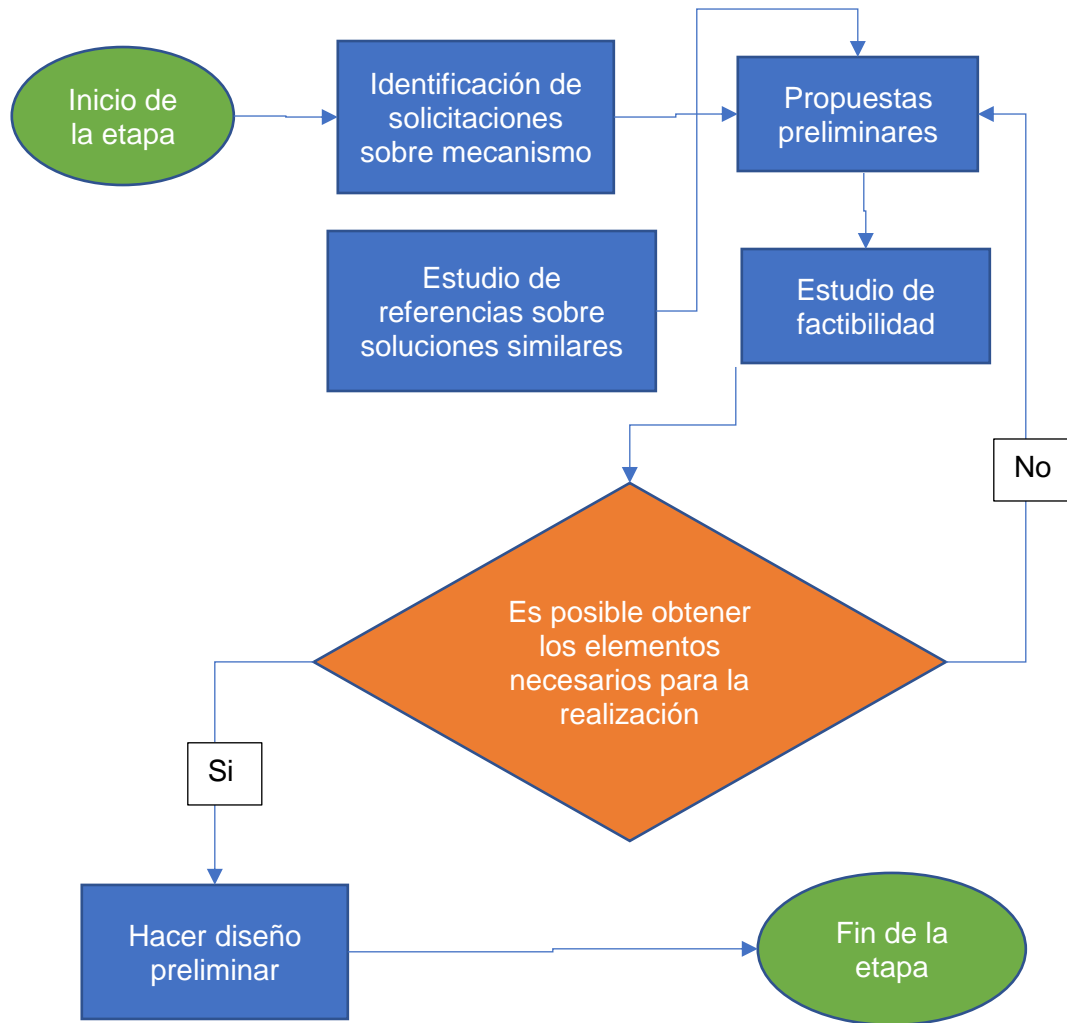


Figura 2-1: Metodología ingeniería conceptual. Elaboración propia.

2.2 Metodología de Memorias de cálculo

De la misma manera que en el punto anterior, la figura 2.2 muestra el procedimiento para la obtención de memorias de cálculo.

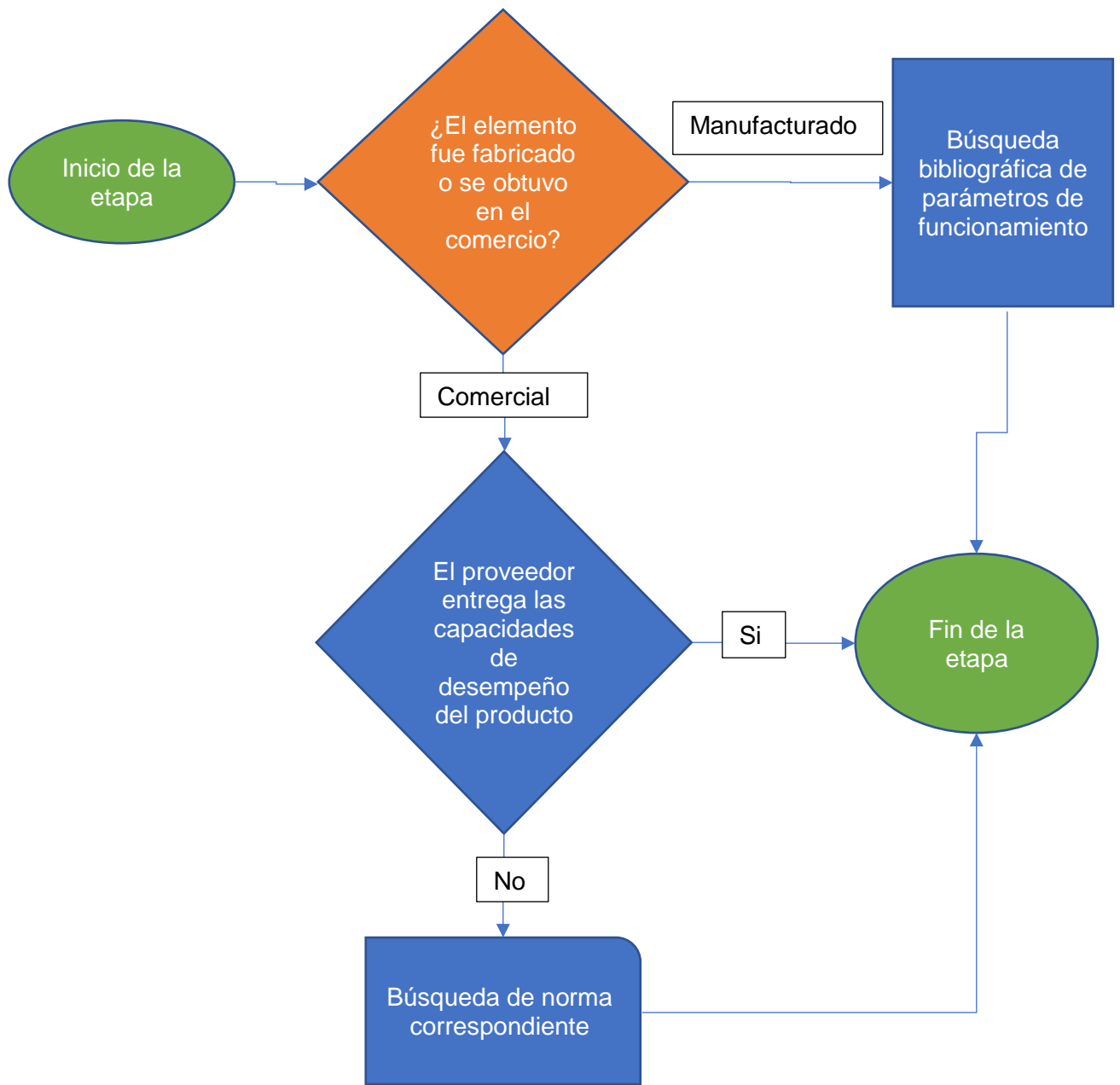


Figura 2-2: Metodología para obtención de memorias de cálculo. Elaboración propia.

2.3 Metodología en Ingeniería de detalle

Una vez decidido el diseño preliminar, se procede a la búsqueda de un diseño final mediante la continua evaluación de viabilidad, tanto técnica como económica, mediante la comparación del modelo actual y posibles mejoras. La metodología de esta etapa se muestra en la figura 2.3.

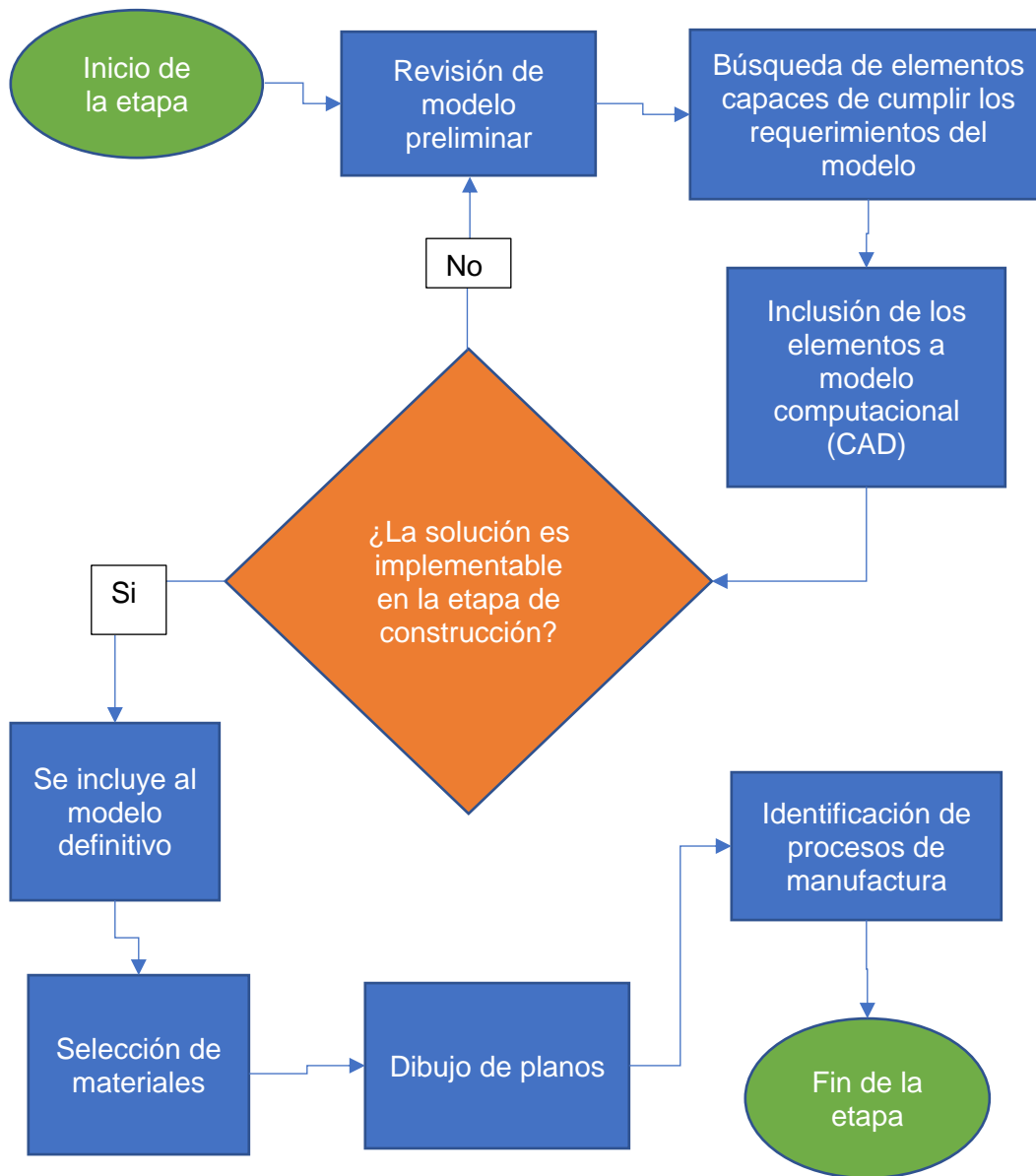


Figura 2-3: Metodología de ingeniería de detalles. Elaboración propia.

2.4 Metodología de Construcción

La metodología seguida durante la etapa de construcción se puede ver en el diagrama mostrado en la figura 2.4.

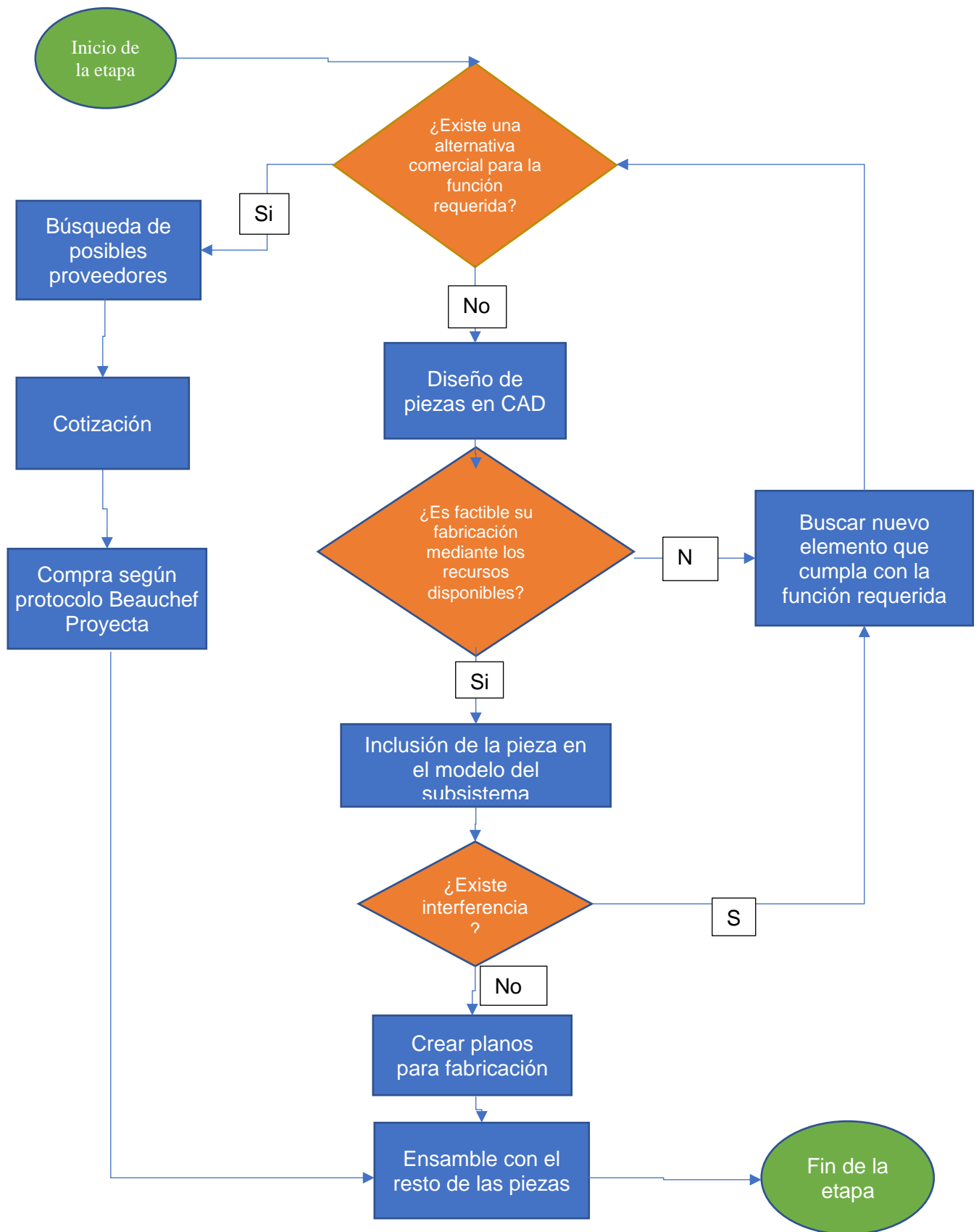


Figura 2-4: Metodología de la etapa de construcción y ensamble. Fuente: Elaboración propia.

3 Antecedentes

3.1 Lentes de Fresnel

Un lente de Fresnel consiste en un diseño de lentes de grandes dimensiones, pero de una corta distancia focal, que tiene como fin concentrar la luz en una pequeña zona definida (punto focal). Este diseño permite la obtención de lentes de mucho menos peso y volumen que en lentes convencionales. Esto se logra, manteniendo los radios de curvatura de los lentes, separándolos en anillos concéntricos diferentes entre sí, dándoles un aspecto escalonado, como se muestra en la figura 3.1. Existen 2 clasificaciones generales para este tipo de lentes, los que producen imagen nítida (imaging lens) que pueden ser esféricos o cilíndricos y los que no producen imágenes (non-imaging), que pueden concentrar la radiación de forma puntual o lineal.

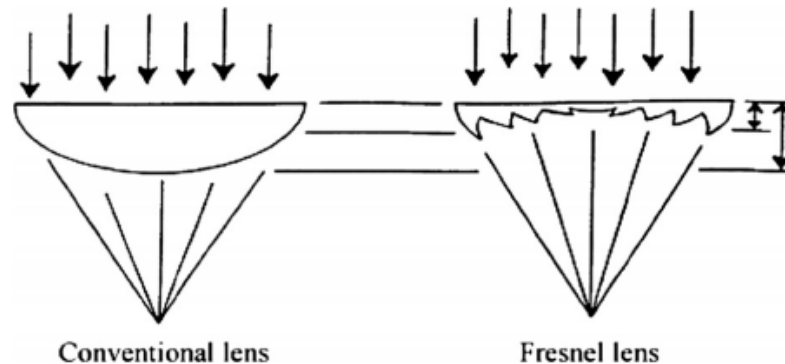


Figura 3-1: Principio de funcionamiento de lente de Fresnel. [1]

En base a lo anterior, es posible señalar que el lente de Fresnel puede considerarse un arreglo de prismas, los cuales se encargan de refractar la radiación solar al punto focal. Debido a esto último, es posible aprovechar la energía solar térmica en este, con una gran variedad de aplicaciones. Algunas de estas incluyen el uso en colectores solares, generación fotovoltaica concentrada, generación de hidrógeno, entre otras. Evidentemente, el uso del tipo de lente más apropiado para cada aplicación dependerá del método que se utilice para aprovechar la energía. A modo de ejemplo, existen estudios sobre el uso (teórico) de lentes de concentración lineales en colectores para generación termoeléctrica solar [1]. Es decir, se aprovecha energía en la zona (línea) de concentración para hacer uso de ella en un ciclo termodinámico y generar energía eléctrica.

3.2 Recurso Solar

Evidentemente, como se trabaja con un sistema que se encarga de aprovechar la energía solar es necesario conocer los parámetros más importantes de esta, por lo tanto, se pondrá atención a las dos variables más determinantes de esta, como lo son la radiación y los ángulos que definen la posición del sol.

3.2.1 Radiación Solar

Lo primero que se tiene que tener en consideración cuando se aplica el uso de energía solar, es la cantidad de energía con la que se dispone. Debido a lo anterior, es importante diferenciar cuales son los efectos que determinan la cantidad de radiación que se puede aprovechar para efectos de concentración. La siguiente ecuación relaciona la densidad de radiación en una superficie “G” en función de la densidad de radiación fuera de la atmosfera G_0 , el ángulo cenital (θ) y el factor de transmisión de la atmosfera T_a (efecto de atenuación).

$$G = G_0 * \cos(\theta) * T_a \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

3.2.2 Ángulos Solares

Por otra parte, también es muy importante conocer cómo se puede parametrizar la posición del sol, para así replicar los valores que la definen y así ajustar la posición de trabajo del mecanismo. Típicamente, para entender el sistema empleado en la mayoría de los casos, se utiliza el sistema de coordenadas esféricas, ignorando las componentes radiales, teniendo así un vector unitario cuya orientación queda definida por 2 ángulos principales. A estos ángulos se les conocen como ángulos de altura (o elevación) solar y ángulo azimutal. Para facilitar esta comprensión, en la figura 3.2 se ilustran ambos ángulos.

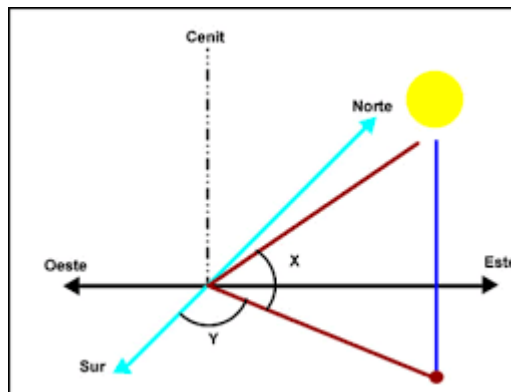


Figura 3-2: Ángulos solares. Obtenido de <http://solete.nichese.com/>

3.3 Mecanismos Similares

Como se dijo anteriormente, la cantidad de aplicaciones de los lentes de Fresnel es muy variada por lo que, en esta sección, se incluyen a modo de ejemplo, algunos mecanismos de características similares que servirán tanto de antecedentes como de inspiración para el diseño definitivo de este proyecto.

3.3.1 Sistema de múltiples puntos focales con sistema de gimbal

En la figura 3.3 a continuación se muestra un arreglo de varios lentes dispuestos sobre un sistema con varios ejes de rotación, a este tipo de mecanismo se les conoce como gimbal y

permiten el ajuste de ambos ángulos solares en cualquier posición, sin embargo, dificulta la regulación de la distancia focal a la zona en la cual se aplica la concentración.



Figura 3-3: Arreglo de lentes de Fresnel con sistema de gimbal [1].

3.3.2 Sujeción de lente enmarcado dispuesto sobre un centro de rotación

En este caso, se dispuso un lente sobre una estructura que lo soporta capaz de soportarlo por medio de elementos de sujeción conectados a un marco. Esta configuración en particular es muy similar al problema que se presenta en este proyecto, ya que la estructura se dispone de forma radial en dirección al punto focal. En la figura 3.4 se puede ver un mecanismo capaz de ajustar sus ángulos de trabajo y que mantiene una distancia fija, presumiblemente igual a la distancia focal del centro de rotación.



Figura 3-4: Montaje de lente de Fresnel enmarcado [1].

3.4 Solar Sinter by Markus Kayser

En 2011, el diseñador industrial alemán Markus Kayser, ideó una máquina capaz de utilizar un lente de Fresnel para dirigir su punto focal a un espacio de trabajo en el cual se dispuso un material (arena) con el fin de ser sinterizado. Esta máquina (figura 3.5) tiene la particularidad que ese espacio de trabajo permitía una libertad de movimiento en los 3 ejes cartesianos (x, y & z), con lo cual, la posición relativa del punto focal del lente podía ser controlada. Con lo anterior, fue posible sinterizar piezas sólidas a través de capas, como lo hace una impresora 3 convencional.

La temperatura del punto focal era de entre 1400 y 1600 °C, es decir, lo suficiente como para sinterizar sílices [2].

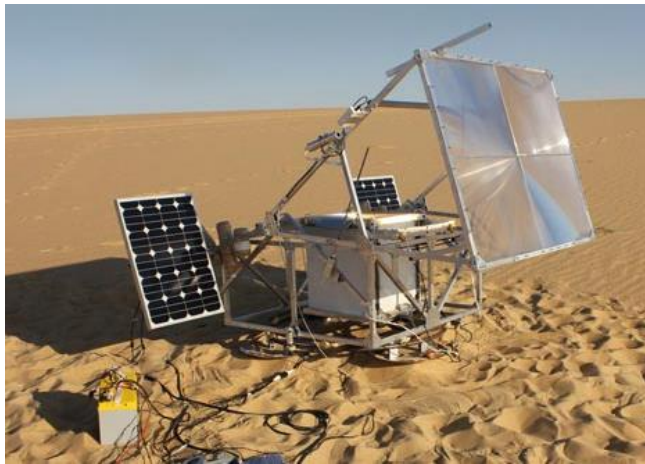


Figura 3-5: Solar Sinter de Markus Kayser, 2011 [3]

4 Resultados

4.1 Pruebas de desempeño del lente de Fresnel

Para comprobar el correcto funcionamiento del lente de Fresnel, se construyó un soporte para este, con el fin de suspenderlo a una altura mínima del nivel del suelo. Dicho soporte consiste en dos estructuras metálicas (figura 4.1), construidas a partir de tres tramos de perfiles de acero de 50x50 mm unidos por soldadura MIG en ángulos de 90° y dos tramos horizontales más cortos en los extremos para estabilidad.



Figura 4-1: Marcos para soporte de lente de Fresnel. Elaboración propia

El lente cuenta con un marco exterior de aluminio con el fin de entregarle una mayor rigidez y evitar que este se deforme (afectando el punto focal). Además, este marco se encuentra unido por medio de pernos a una segunda estructura hecha con perfiles de plástico reforzado con fibra de vidrio (en adelante FRP). En esta segunda estructura, en dos de sus lados opuestos se instaló un pivote, el cual se puede ver en la figura 4.2, también por medio de pernos. Este pivote consta de una parte con un pequeño eje de 12mm. de diámetro, unido al segundo marco de FRP, y una pieza con un agujero del mismo diámetro. Lo anterior es con el fin de permitir la rotación del lente y hacer coincidir el ángulo de inclinación de este, sea el mismo ángulo en el que se encuentra el sol respecto al nivel del piso, es decir, la altura solar.



Figura 4-2: Rodamiento pivotante.

El montaje del banco de pruebas consiste en disponer los soportes de acero a cada lado de donde se suspenderá el lente (los mismos donde se instalaron los pivotes) y sobre estos, dos trozos pequeños de FRP, en los que se dispuso de manera provisoria las piezas para encajar los ejes de los pivotes. Los trozos pequeños de FRP fueron sujetos por medio de prensas para aumentar la estabilidad y luego de eso, se procedió a colocar el lente entre los soportes, quedando suspendido. Cabe destacar que como solo es posible ajustar el ángulo de altura mediante la rotación que permiten los pivotes, el ángulo azimutal (respecto a la vertical), fue ajustado de manera manual. Para esto, se orientaron los soportes de manera que la sombra producida por ambos perfiles verticales coincidiera, ya que de esta manera se comprueba que el perfil horizontal (travesaño) se encuentra en línea recta con respecto al sol. En la figura 4.3 se puede ver el montaje completo del banco de pruebas y una superficie de madera sobre la cual se hizo coincidir el punto focal, para así comprobar algunos parámetros como, por ejemplo, las dimensiones y distancia del punto focal, y también el efecto que la concentración del calor produce en algunos materiales (los cuales se detallarán más adelante).



Figura 4-3: Banco de pruebas en funcionamiento. Elaboración propia.

4.1.1 Condiciones y parámetros de operación

Como se mencionó en el punto anterior, el banco de pruebas fue hecho con el fin de comprobar el desempeño del lente. Por lo tanto, es importante conocer las condiciones externas bajo las cuales las pruebas se llevaron a cabo.

En primer lugar, se dirá que el banco de pruebas fue montado en 2 ocasiones diferentes, la primera de ellas el día 5 de abril del año 2019 y la segunda el 17 del mismo mes, ambas ocurrieron entre las 14:30 y las 15:30. A partir de esto, se procedió a buscar la radiación solar registrada en el lugar para estas fechas, a la hora especificada. En las tablas 4.1 y

4.2, se muestra el gráfico con la radiación solar, tanto global como directa registrada durante los días señalados. Ambos gráficos fueron obtenidos del explorador solar (herramienta para el manejo de datos de radiación del ministerio de energía).

Tabla 4-1: Valores de radiación 5 de abril. datos explorador solar. [9]

Hora	Radiación global [W/m ²]	Radiación directa [W/m ²]	Radiación difusa [W/m ²]
14:00	831.41	691.51	131.16
15:00	713.07	588.82	116.86
16:00	534.78	434.20	95.19

Tabla 4-2: Valores de radiación 17 de abril, datos explorador solar. [7]

Hora	Radiación global [W/m ²]	Radiación directa [W/m ²]	Radiación difusa [W/m ²]
14:00	794.08	665.54	120.55
15:00	672.59	559.33	106.63
16:00	491.86	401.96	85.25

Como se puede ver, el valor de radiación estimado, a la hora de las pruebas es cercano a los **700 [W/m²]** (considerando la radiación a las 15:00 horas), que sumado al supuesto de que el lente cuenta con un coeficiente de transmisión de 92% (entregado por el fabricante) entrega como resultado que el lente alcanza una potencia cercana a los **640 [W]**.

Además de los valores de radiación, también es fundamental conocer los datos que definen la posición del sol al momento de estar trabajando con el lente. Esto es con el fin de mover el mecanismo a las posiciones requeridas y que el Fresnel quede en posición perpendicular al sol, y a una distancia igual al punto focal entre el centro del lente y el lugar donde se quiera concentrar el calor.

A continuación, se muestran a modo de ejemplo, los valores para los ángulos de altura y azimut, durante el periodo comprendido entre las 14:30 y 15:30 horas, para el día 5 de abril, es decir, el periodo durante el cual se realizaron los primeros ensayos en el banco de pruebas. Estos valores fueron obtenidos a través de la herramienta online SunEarthTools.com [9], la cual entrega el gráfico que se puede ver en la figura 3.4, que también incluye ambos valores requeridos según las coordenadas del lugar de la prueba (taller DIMEC, Unión Latinoamericana 659, Santiago).

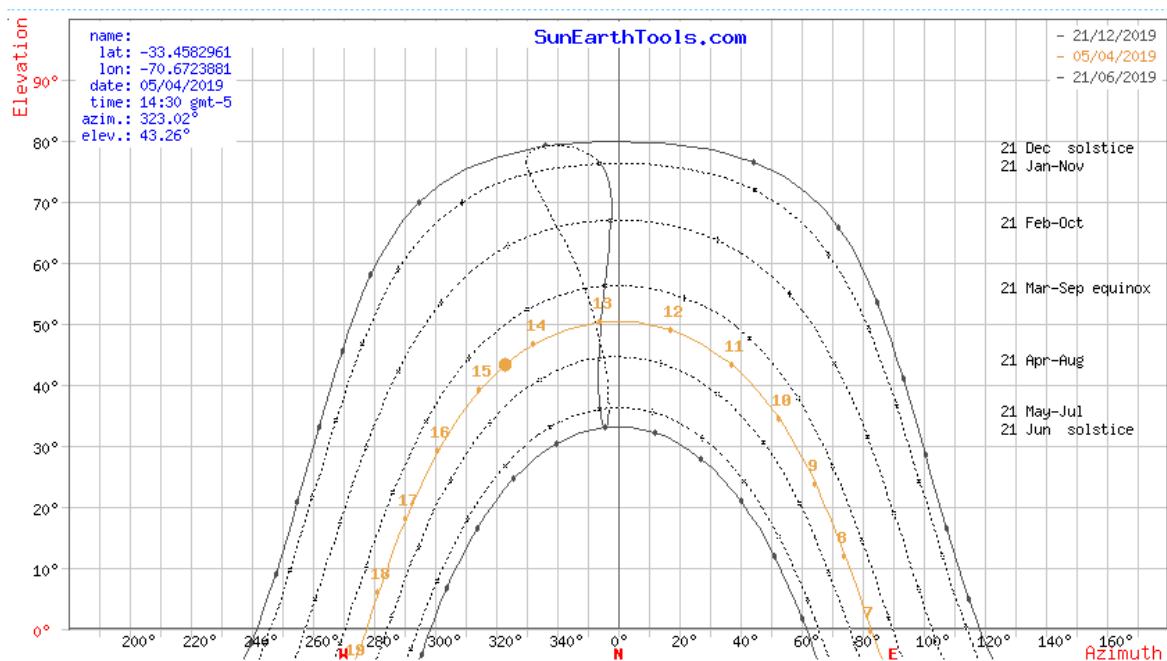


Figura 4-4: Gráfico de posición del sol en el lugar de las pruebas.[10]

Como se muestra en el gráfico, ambos ángulos varían en función de la fecha (y obviamente de la hora del día) en que se haga la medición. En particular se tiene que durante los meses de verano el ángulo de elevación (altura) aumenta, es decir, tiende a valores más cercanos a los 90°. El azimut por su parte, durante este mismo periodo tiene un rango de valores más amplio, llegando a su máximo en el solsticio del 21 de diciembre, aproximadamente entre los 240°W y los 120°E, lo que significa que hay una variación cercana a los 240° durante el periodo de horas de sol.

A continuación, en la tabla 4.12, se muestran los valores particulares para los ángulos de la posición del sol y la orientación de los elementos que se requieren para posicionar el lente de Fresnel.

Tabla 4-3: Valores para orientación y posicionamiento del mecanismo. Elaboración propia.

Hora	Ángulo Azimutal [°]	Orientación Base [°]	Altura solar (h) [°]	Orientación Lente (aL) [°]	Orientación Codo (aC) [°]	Largo Cremallera (LC) [cm]
14:30	323,02	323,02	43,26	133,26	5,48	95,1
14:45	318,75	318,75	41,28	131,28	3,37	97,8
15:00	314,75	314,75	39,13	129,13	1,15	100,8
15:15	311,02	311,02	36,83	126,83	-1,15	104,1
15:30	307,54	307,54	34,41	124,41	-3,49	107,4

Como se puede ver en los valores mostrados, el ángulo para la base simplemente se iguala con el ángulo azimutal, por lo que los otros 3 movimientos solo se requieren para poder posicionar el lente cuando este se encuentra alineado con el azimut.

Para los cálculos de los 3 elementos restantes, se utilizarán las relaciones que se muestran en las ecuaciones 4.1, 4.2, y 4.3. donde, h es el ángulo de elevación del sol, α_C es la inclinación del “codo” respecto a la horizontal, α_L es el ángulo del lente, también con respecto a la horizontal, y LC es el largo de la cremallera en esa posición (distancia entre el centro de rotación y el Fresnel).

4.1.2 Resultados

Luego de realizar el ensayo descrito en la parte anterior, se pudo observar que al momento de localizar el punto focal en una superficie sobre la que se colocó una muestra de arena, esta no fue capaz de alcanzar el cambio de estado necesario para la conformación de un sólido. Sin embargo, si se pudo observar un ligero cambio en el color de la arena, haciéndose más oscura.

También, para probar la acción del lente en otro material, se colocó una lata de aluminio en el punto focal, la cual efectivamente fue derretida en el lugar de concentración de la luz, atravesando incluso el material. Este efecto se consiguió manteniendo el punto focal en el aluminio durante un tiempo aproximado de 3 segundos. Cabe destacar que, aunque no fue posible determinar la temperatura alcanzada por el material, se sabe que el punto de fusión del aluminio es cercano a los $660\text{ }^{\circ}\text{C}$. Además, se sabe que el aluminio tiene un calor específico $0,89\text{ [J/g}^{\circ}\text{C]}$, el cual es bastante cercano al de la arena, $0,83\text{ [J/g}^{\circ}\text{C]}$.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede asumir que la transferencia de calor entre ambos materiales se da bajo las mismas condiciones, pero también se debe tomar en cuenta que el punto de fusión de la arena (dióxido de silicio, SiO_2) se encuentra cerca de los $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Por lo tanto, se puede asumir que, para lograr un correcto desempeño de lente, es necesario que este trabaje con valores de radiación aún mayores a los de las pruebas.

Es decir, utilizarlo durante los meses de mayor radiación o también, en latitudes más cercanas al ecuador, por ejemplo, el norte de Chile (desierto).

4.1.3 Hallazgos

Luego de verificar la capacidad del lente de Fresnel, y comprobar que lamentablemente no logra su objetivo con las condiciones de operación dadas, se descubrió, entre otras cosas, algunos problemas con la manipulación del lente. En particular, se destaca que al momento de apuntar el lente y dejarlo perpendicular al sol, el punto focal no queda perfectamente restringido a una sola zona circular. Sino que también, se percibe un grado de dispersión en el punto focal haciendo que este se deforme levemente y se genere una concentración por el borde del punto focal. Lo anterior se traduce en que exista una pérdida de energía, que se fue incapaz de medir y que claramente dificulta que se logre el fenómeno de cambio de estado que se quiere lograr.

Otra de las observaciones que se hizo luego de realizar la prueba es que, debido a las grandes dimensiones de lente, fue muy difícil mantener la estabilidad de este en una posición determinada. Es decir, una vez fijada la orientación de este, al dejarlo sin ningún apoyo externo, este cambiaba su posición, haciendo que el punto focal saliera de la zona a la cual se estaba dirigido. Esto fue aún más notorio producto del efecto del viento ya que, al tratarse de una superficie plana, se genera una resistencia y por lo mismo un efecto de inestabilidad sobre el mismo. Por lo tanto, fue necesario utilizar prensas tipo "C", del tipo que se ve en la figura 4.5 para mantener la posición del lente fija.



Figura 4-5: Tipo de prensa utilizada para fijar el lente.

Una vez realizadas las pruebas sobre el lente a utilizar, se decidió también realizar pruebas sobre un segundo lente de Fresnel, el cual se obtuvo por medio del trabajo en conjunto con los demás participantes de este proyecto multidisciplinario. El lente en cuestión difiere en algunas características con el original. En primer lugar, sus dimensiones son de 60x90 cm. y está hecho de un material mucho más flexible, también a diferencia del primer lente, tiene un espesor mucho menos, en torno a los 2 mm. Además, cuenta con un punto focal mucho más pequeño, con un diámetro cercano a los 5 mm., es decir, casi 5 veces más pequeño que el otro, lo que supone una concentración de radiación por unidad de superficie mucho mayor (aproximadamente 25 veces) al primero. Lo más destacable de esta segunda prueba, es que efectivamente si se pudo lograr cambiar el estado de la arena y solidificarla. Al dirigir el punto focal a un recipiente con distintos tipos de arena, esta cambiaba su composición a un material viscoso, para posteriormente solidificarse. A continuación, en la figura 4.6, se puede apreciar varias de las muestras que se logró solidificar, y que se encuentran organizadas según los tipos de arena utilizados, y los tiempos de exposición de estas. En la mayoría de los casos, se logró un material con características cerámicas y de color oscuro.



Figura 4-6: Muestras de arena solidificada con seundo lente de Fresnel.

4.2 Ingeniería Conceptual

En esta etapa, se desarrollaron las primeras definiciones básicas del proyecto, en particular el principio de funcionamiento de este. En el esquema a continuación (figura 4.7), se indican los principales elementos encargados de realizar los movimientos que necesitará efectuar el mecanismo, para lograr la tarea de orientar el lente de Fresnel en dirección perpendicular al sol. Para facilitar la comprensión de la figura, más adelante se detallan los 4 subsistemas encargados de cada uno de los movimientos mencionados.

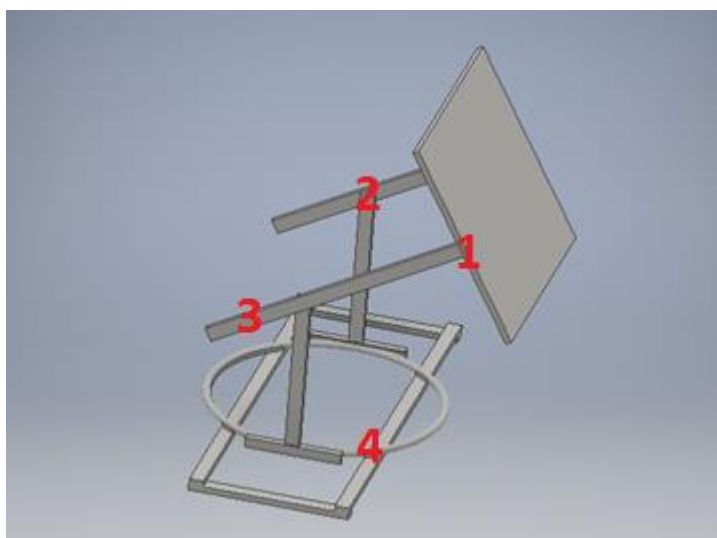


Figura 4-7: Concepto preliminar del mecanismo. Elaboración propia.

Numeración:

- 1) Subsistema de sujeción y rotación del lente.
- 2) Centro de rotación para sujetador del lente.
- 3) Mecanismo de desplazamiento lineal.
- 4) Mecanismo del giro de la base

4.2.1 Funcionamiento general

En primer lugar, se dirá que la idea básica del funcionamiento del mecanismo es similar al de un heliostato, el que se define como un conjunto de espejos que se mueven sobre dos ejes que permite mantener el reflejo de los rayos solares en un punto. Sin embargo, como el elemento a desplazar corresponde a un lente y no un espejo, al momento de orientar el lente, perpendicular al sol, este también debe mantenerse perpendicular y a una distancia fija del punto focal.

Este mecanismo, deberá poder mantener 4 movimientos diferentes, 2 de los cuales le permitirán controlar la inclinación del lente (según el ángulo de altura que se tenga), la dirección a la que este apunta según los puntos cardinales (azimut), y finalmente 1 movimiento para controlar la distancia de la superficie del lente al punto focal (movimiento lineal).

Como este mecanismo fue diseñado con la intención de trabajar en conjunto con un sistema para replicar el funcionamiento de una impresora 3D, es necesario que cuente con el espacio suficiente y una geometría adecuada para evitar interferir con este.

4.2.2 Subsistema de sujeción y rotación del lente:

Se necesita de elementos capaces de sujetar el borde del lente, y que permita la rotación de este, con el fin de ajustar la superficie del este de forma perpendicular al sol.

Los elementos que serán capaces de cumplir esta función son los siguientes:

- Pivote.
- Rodamientos radiales.

4.2.3 Centro de rotación para sujetador del lente.

En este caso, es necesario controlar la inclinación del subsistema de sujeción y rotación del lente (1), para así poder ajustar la posición de este, a medida que el ángulo de altura solar cambia durante el funcionamiento del mecanismo. Se compondrá de:

- Eje.
- Rodamientos radiales.

4.2.4 Mecanismo de desplazamiento:

En este subsistema, se requerirá de un conjunto capaz de controlar la distancia entre el punto de sujeción y rotación del lente (1), y el centro de rotación del brazo que sostiene a este último (2). Mediante la combinación de estos últimos movimientos, será posible ajustar la posición del punto focal del lente, en la base del mecanismo, siempre y

cuando la orientación del ángulo azimutal del sol coincida con la dirección entre el punto focal y el centro del lente.

Para lograr este movimiento, se necesitará de:

- Cremallera.
- Piñón.

4.2.5 Mecanismo del giro de la base:

Se requiere para este movimiento para ajustar el ángulo azimutal. Consta de los siguientes componentes:

- Conjunto de rodillos montados en brackets.
- Anillos concéntricos centrados en el punto focal.

4.3 Memorias de cálculo

Esta sección, tiene como objetivo, mostrar los cálculos que se realizaron para la justificación de los elementos empleados en la construcción del mecanismo. Entre estos, se destaca el uso de normas para algunos de los elementos más estandarizados, como es el caso de rodamientos.

4.3.1 Justificación de ejes de rotación

Los ejes de rotación del mecanismo son unos de los elementos más críticos de este, tomando en cuenta que se encuentran presentes en 3 de los 4 mecanismos, y en dos de ellos, son los que soportan la mayor parte de los esfuerzos. Dichos ejes se encuentran en los mecanismos de sujeción del lente (inclinación), el centro de rotación de los soportes y el piñón que se encarga de desplazar la cremallera.

Es por esto, que es necesario estimar algunos de los principales esfuerzos a los cuales estos estarán sometidos. Por lo tanto, se deben identificar algunas de las características [4] que influyen en el desempeño de estos. En particular, los ejes utilizados en cada subsistema son:

Eje de rotación en el marco del lente (pivote)

- Diámetro: 12 [mm]
- Largo: 70 [mm]
- Material: Acero inoxidable
 - Módulo de elasticidad (E): 190 [GPa]
 - Módulo de rigidez (G): 73,1 [GPa]
 - Peso unitario [w]: 70 [kN/m]

Eje de rotación en sistema de desplazamiento

- Diámetro: 16 [mm]
- Largo: 350 [mm]
- Material: Acero inoxidable
 - Módulo de elasticidad (E): 190 [GPa]
 - Módulo de rigidez (G): 73,1 [GPa]
 - Peso unitario [w]: 70 [kN/m]

Eje del piñón de cremallera

- Diámetro: 12 [mm]
- Largo: 150 [mm]
- Material: Acero inoxidable
 - Módulo de elasticidad (E): 190 [GPa]
 - Módulo de rigidez (G): 73,1 [GPa]
 - Peso unitario [w]: 70 [kN/m]

4.3.1.1 Análisis de tensiones subsistema de rotación

Como ya se definieron los ejes tanto del movimiento del Fresnel como de la articulación que rota el soporte del sistema de desplazamiento, es necesario estudiar los esfuerzos que actúan sobre estos elementos. Para esto, se hará un análisis de tensión para el más crítico de estos ejes, es decir aquel que se encuentre sometido a las cargas más importantes entre estos. Los ejes que cumplen con esta condición son los del mecanismo de rotación del soporte.

Para la realización de este análisis, se empleará el modelo del mecanismo hecho en el software *Autodesk Inventor*, el cual cuenta con la herramienta análisis de tensiones, la cual realiza dicho análisis por medio de métodos de elementos finitos. Para esto, se debe definir primero la geometría, condiciones de borde (restricción de pasador, empotramiento, etc) y por supuesto, las cargas (puntuales, de área) que actúan sobre los elementos de interés.

En la figura siguiente (4.8), se muestra el modelo sobre el cual se decidió hacer el análisis, la cual representa la estructura de soporte que sostiene los ejes que se buscan analizar.

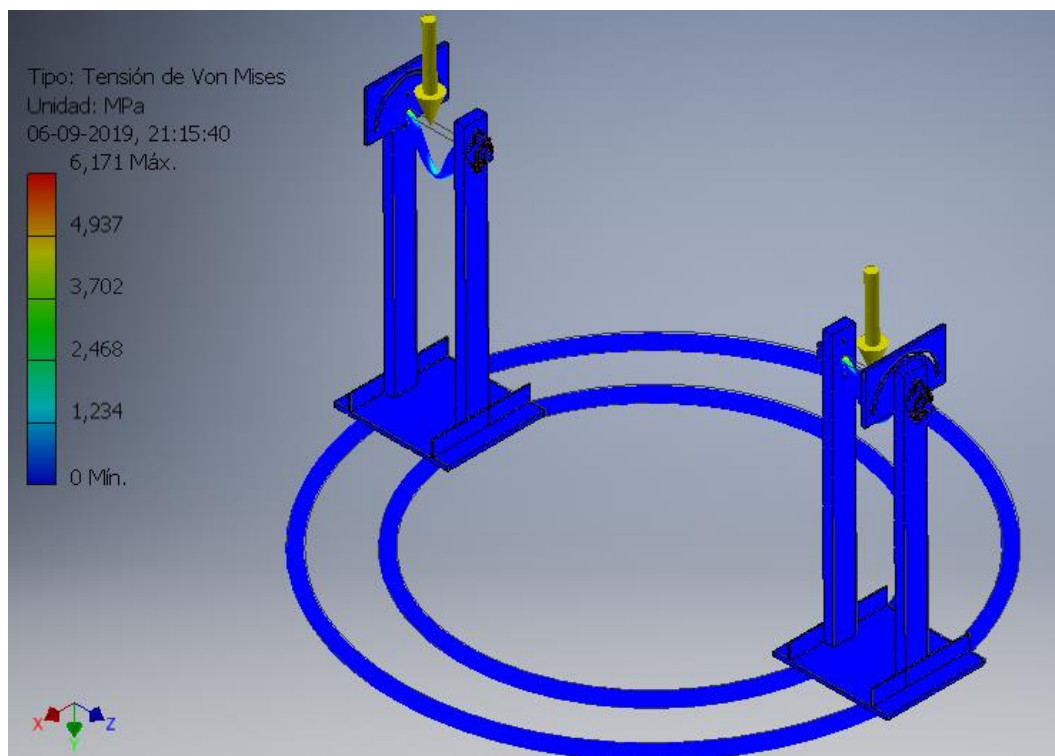


Figura 4-8: Modelo utilizado para análisis de tensiones Inventor. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen, también se pueden identificar dos flechas amarillas, las cuales representan el efecto del peso del resto de los componentes. Las fuerzas resultantes fueron estimadas de la siguiente manera:

- Se considera la masa de los elementos que son soportados en el eje (algunos de los valores están sobreestimados por seguridad).
 - Lente enmarcado con los perfiles de FRP: 21 kg.
 - Conjunto perfil angular-cremallera: 15,2 kg.
 - Canal de base con rodamientos, correderas y piñón 16,2 kg.
 - Contrapeso para anulación de momento en extremo opuesto al lente (35 cm del centro del eje): 60 kg.

Así la fuerza total del peso estimada (con $g = 9,8 \text{ m/s}^2$) y las fuerzas individuales en cada soporte son de:

- $F_t = 1101,5 \text{ [N]}$
- $F_1 = F_2 = 550,8 \text{ [N]}$

Otro punto que es importante destacar es el hecho de que los esfuerzos entregados por la simulación son extremadamente bajos, comparativamente a los valores de límite de fluencia de los aceros de este tipo. Como se muestra, el máximo valor alcanzado por la tensión de von Mises es cercana a los 6,2 MPa, mientras que el límite de fluencia (indicador de peligro de falla) para el acero inoxidable es en torno a los 200 MPa. Por lo tanto, se concluye del análisis que existe un margen de operación muy alto y el riesgo de falla de este elemento es prácticamente nulo. Finalmente, se concluye que el diámetro propuesto para los ejes es adecuado, y por lo tanto, se procede a emplearlos en el ensamble del mecanismo.

4.3.2 Justificación de rodamientos

Como los rodamientos se definen principalmente, a partir del diámetro del eje sobre el cual están instalados, basta con seleccionar aquellos con un valor de diámetro coincidente con el de estos mismos ejes, es decir 12 y 16 mm.

4.3.3 Justificación cremallera

Lo primero que se debe determinar de la cremallera es su largo, evidentemente este valor se obtiene a partir de la distancia que deberá recorrer el conjunto de desplazamiento lineal. Esto se obtiene mediante la siguiente relación geométrica entre la distancia focal del lente utilizado de 130 cm. y la altura del centro de rotación del sistema de desplazamiento a la ubicación del punto focal, que es de 80 cm. (ver figura 4.9).

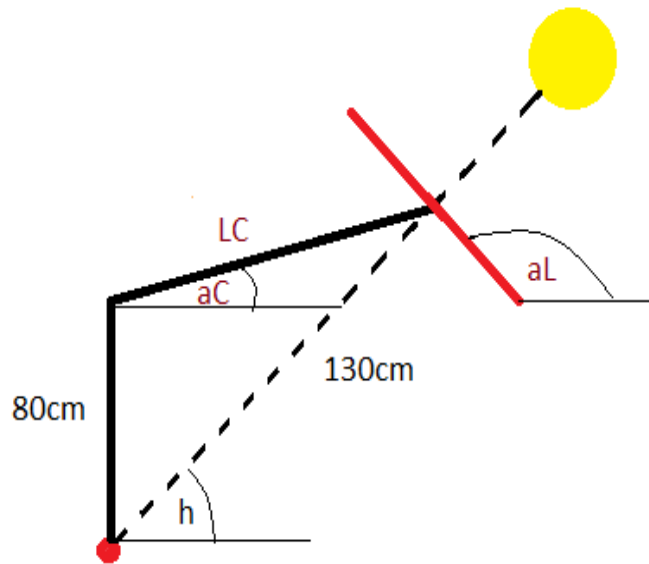


Figura 4-9: relación geométrica para largo de la cremallera. Fuente: elaboración propia.

Donde:

- LC corresponde al largo del elemento de desplazamiento (cremallera).
- aL corresponde al ángulo de inclinación del lente.
- aC corresponde al ángulo de inclinación de la cremallera.
- h es el ángulo de altura para la posición del sol.

A partir del esquema, los valores de aL, h y aC se relacionan de la siguiente manera:

$$aL = h + 90 \text{ [}^\circ\text{]} \quad (4.1)$$

$$aC = \text{arcTAN}\left(\frac{130 \cdot \text{sen}(h) - 80}{130 \cdot \text{cos}(h)}\right) \quad (4.2)$$

Con esto, y aplicando el teorema del seno, la expresión para calcular el valor del largo de la cremallera:

$$LC = \frac{130 \cdot \text{sen}(90 - h)}{\text{sen}(90 + aC)} \quad (4.3)$$

De esta manera, se obtienen los valores extremos para el conjunto de desplazamiento, es decir, el valor máximo y mínimo que alcanza LC. Por lo tanto, el valor del largo que deberá tener la cremallera es igual a la diferencia entre estos dos, ya que esta representa el valor que se debe desplazar el conjunto en su totalidad. Es claro que, para resolver estos valores se deben realizar los cálculos fijando la posición de la cremallera de manera paralela a la horizontal definida por el piso (largo máximo) y de forma vertical a la misma, es decir, para valores de 0° y 90° para aC respectivamente.

Tabla 4-4: Cálculo de valores extremos para largo de cremallera. Fuente: Elaboración propia

Medida de LC	Valor [cm]
LC máximo (aC = 0)	102,5
LC mínimo (aC = 90)	50
Diferencia	52,5

Así, se concluye que la cremallera deberá tener un largo no inferior a los 52,5 cm. para poder ubicar el lente en las posiciones extremas que pueda adoptar el mecanismo. Sin embargo, para obtener un margen de seguridad y facilitar la instalación del elemento en el resto del subsistema, se decide especificar el largo mínimo de esta de 55 cm.

Como consideración adicional, es necesario remarcar que la cremallera será mecanizada con un valor de módulo 2,5 (m) para sus dientes. Por lo tanto, el paso de la cremallera (p_c) se calcula como:

$$p_c = m * \pi = 7,85 \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

También, el número de dientes (n) con el que deberá contar, se obtiene utilizando la función parte entera de la siguiente relación (ya que el número de dientes que se puede maquinar puede solo corresponder a un número entero.:

$$n = \left\lfloor \frac{LC}{p_c} \right\rfloor = 70 \text{ [dientes]} \quad (4.5)$$

4.3.4 Análisis de tensiones subsistema de desplazamiento (perfil-cremallera)

De la misma manera que se hizo con el eje de rotación, se deberá realizar un estudio de las tensiones para el elemento conformado por la cremallera y el perfil angular que soporta el lente. Se comenzará diciendo que el modelo que se decidió implementar en la simulación está compuesto por una cremallera de 1 metro de largo y que soporta el perfil angular sobre su pare superior. También se realizarán 2 con la aplicación de 2 cargas distintas. La configuración de la simulación se muestra en la figura 4.10.

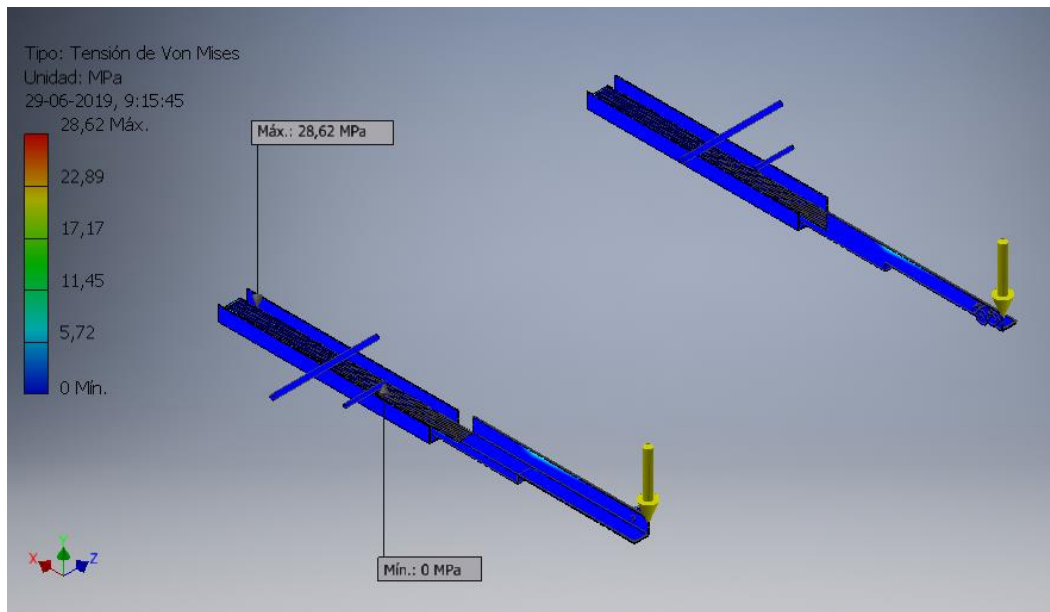


Figura 4-10: Geometría para simulación de conjunto perfil-cremallera. Elaboración propia.

Los informes entregados por INVENTOR contienen las especificaciones de algunos supuestos, como materiales, cargas y las 2 restricciones del problema modelado (pasador en el punto de rotación del eje y empotramiento en el extremo posterior). Ambos informes se diferencian por la magnitud de la carga aplicada, ya que en uno de ellos se aplicó la carga real calculada por el peso del lente (113 [N]) y en el otro se utilizó una carga de 450 [N] (aproximadamente 4 veces mayor) para comprobar un factor de seguridad mayor a 1. En este último, la simulación se realizó sobre el conjunto completo (incluido la base), por lo que resultó ser más extenso que el primero (FS1, que se simuló sobre los elementos que se ven en la figura 4.4). Estos supuestos ayudan con el cálculo tanto de las reacciones, como el de deformaciones y esfuerzos a lo largo de los elementos. Los valores de las reacciones en los apoyos serán importantes más adelante, para trasladarlas a las simulaciones en el resto de los elementos, como las nuevas cargas aplicadas sobre los mismos.

Los informes también incluyen estimaciones de volumen y masa (cubicación) las cuales no son precisas respecto al modelo real ya que algunos elementos como los perfiles estructurales de la base fueron extruidos como sólidos macizos y no huecos, lo cual será corregido en el modelo, pero que para efectos de este análisis no afectan los resultados obtenidos. Como ya se comentó, las estimaciones de masa en el informe con FS4, son mayores a las reales, ya que incluyen los elementos que debieran ser tubulares (huecos) y, además, se seleccionó un solo tipo de material (acero al carbono) para dar simplicidad), por lo que los elementos que no son de este material les corresponden otras propiedades físicas.

Resultados FS1

A continuación, se presentan los valores más significativos del análisis de esfuerzos en el informe Entregado por el software, en este caso, para el análisis de carga igual al valor real (factor de seguridad 1).

Tabla 4-5: Propiedades físicas conjunto cremallera/perfil angular. (INVENTOR)

Propiedades físicas

Masa	29,1995 kg
Área	1201400 mm ²
Volumen	3719680 mm ³
Centro de gravedad	x=-72,9275 mm y=621,326 mm z=1,20247 mm

Como se dijo anteriormente, las propiedades anteriores corresponden únicamente a las de la cremallera unida a los perfiles angulares (soldadura), y al eje que permite la rotación del elemento, junto con el pasador que permite su fijación. El análisis fue modelado a través de 2 restricciones de movimientos, como se puede ver en la figura 4.11 a continuación. La primera de estas restricciones corresponde a un pasador, en el lugar del eje de rotación (ya que este elemento permite precisamente el giro de elemento) demarcada con círculos verdes en la figura. La segunda, por otra parte, es un empotramiento en la parte posterior de la cremallera, para dejar a ésta en una posición fija y posteriormente estudiar las reacciones que se generan en esta.

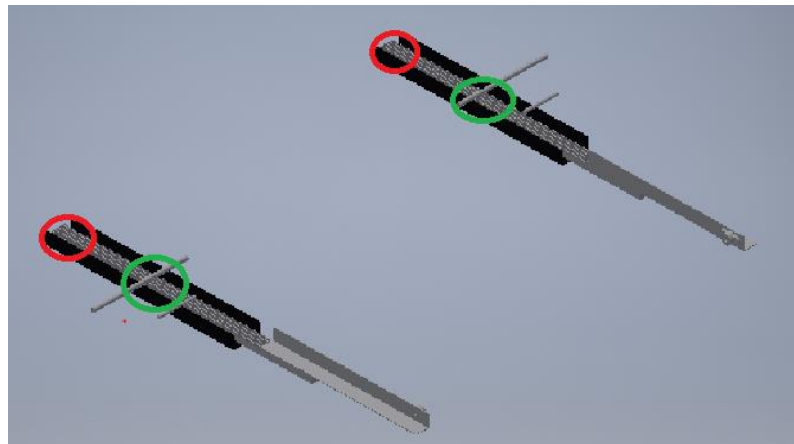


Figura 4-11: Señalamiento de restricciones de pasador (verde) y empotramiento (rojo). (INVENTOR)

Por simplicidad del modelo, se optó por utilizar un único material para todo el elemento del ensamblaje, acero al carbono, cuyas propiedades se muestran en la tabla 4.3 a continuación.

Tabla 4-6: Características del material utilizado en la cremallera y perfil (INVENTOR)

Material(es)		
Nombre	Acero, carbono	
General	Densidad de masa	7.85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	350 MPa
	Resistencia máxima a tracción	420 MPa
Tensión	Módulo de Young	200 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.29 su
	Módulo cortante	77,5194 GPa
Nombre(s) de pieza	cremalleraCON	

Los resultados para las reacciones producidas por la aplicación de la carga se muestran en la tabla 4.4, se debe notar que la fuerza de reacción (73,09 N) solo tiene una componente vertical o “Y”, pero en sentido contrario al de la carga. Notar que la fuerza y el momento solo se registran en el lugar del empotramiento. El valor del momento (-124,16 Nm) se encuentra en la dirección “Z” que representa la misma en la que se extiende el largo de la cremallera y el perfil.

Tabla 4-7: Fuerza y momento de reacción en restricciones FS1 (INVENTOR).

Fuerza y pares de reacción en restricciones				
Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción de pasador:1	0 N	0 N	0 N m	0 N m
		0 N		0 N m
		0 N		0 N m
		0 N		0 N m
Restricción fija:1	73,0897 N	73,0897 N	124,162 N m	0 N m
		0 N		-124,162 N m
		0 N		

Finalmente, otros resultados de interés, como tensiones (Von Mises y principales), además de la deformación (desplazamiento) máximo se pueden ver en la tabla 4.5.

Tabla 4-8: Valores críticos del ensayo FS1 (INVENTOR)..

Resumen de resultados		
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	3719680 mm ³	
Masa	29,1995 kg	
Tensión de Von Mises	0 MPa	28,6175 MPa
Primera tensión principal	-5,88795 MPa	34,6204 MPa
Tercera tensión principal	-19,1438 MPa	6,61042 MPa
Desplazamiento	0 mm	5,71022 mm
Coefficiente de seguridad	12,2303 su	15 su

Las figuras siguientes (4.12 y 4.13) se muestran algunas de las zonas de importancia para los parámetros de la tabla anterior. Como se esperaba los mayores efectos de la carga se presentan en las zonas cercanas a la aplicación de esta, es decir, el extremo del ángulo.

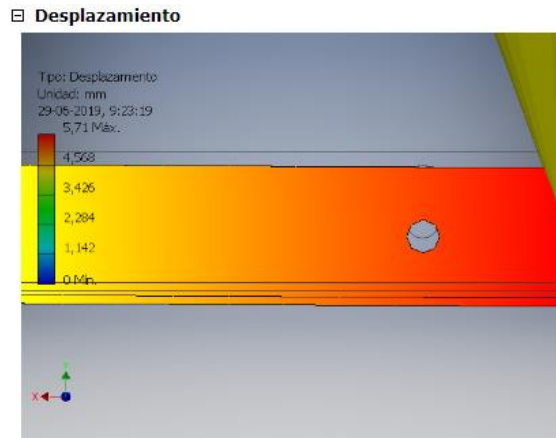


Figura 4-12: Desplazamiento percibido por conjunto elemento de soporte. (INVENTOR).

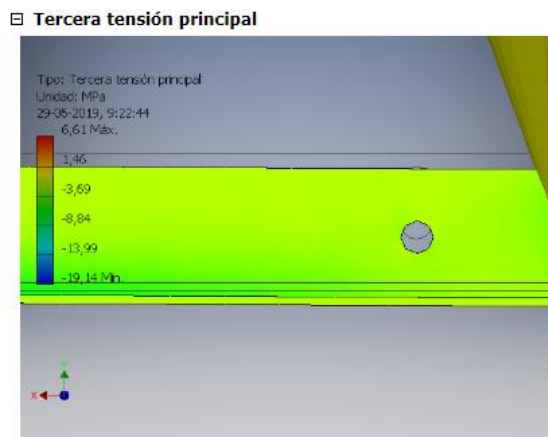


Figura 4-13: Tercera tensión principal FS1 (INVENTOR)

Resultados FS4

De manera similar a los resultados anteriores, para el ensayo realizado para una carga 4 veces mayor (450 N), es decir, un factor de seguridad de 4, se obtuvieron las siguientes tablas de valores (4.6 y 4.7). Se omiten las propiedades físicas y materiales).

Tabla 4-9: Fuerza y momento de reacción en restricciones FS4. (INVENTOR)

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción de pasador:1	0 N	0 N	0 N m	0 N m
		0 N		0 N m
		0 N		0 N m
		0 N		0 N m
Restricción fija:1	443,184 N	443,184 N	624,271 N m	0 N m
		0 N		-624,271 N m
		0 N		

Tabla 4-10: Resumen de resultados más importantes en ensayo FS4 (INVENTOR).

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	42033200 mm ³	
Masa	329,96 kg	
Tensión de Von Mises	0 MPa	142,431 MPa
Primera tensión principal	-29,5367 MPa	171,329 MPa
Tercera tensión principal	-96,0458 MPa	33,167 MPa
Desplazamiento	0 mm	27,2302 mm
Coefficiente de seguridad	2,45734 su	15 su
Tensión XX	-92,6641 MPa	170,159 MPa
Tensión XY	-24,8101 MPa	34,6875 MPa
Tensión XZ	-21,0486 MPa	19,5501 MPa
Tensión YY	-29,9738 MPa	34,2419 MPa
Tensión YZ	-7,86379 MPa	8,72435 MPa
Tensión ZZ	-35,7176 MPa	45,0533 MPa
Desplazamiento X	-1,71379 mm	0,26581 mm
Desplazamiento Y	-27,1951 mm	0,000394958 mm
Desplazamiento Z	-0,384652 mm	0,387447 mm
Deformación equivalente	0 su	0,000653702 su
Primera deformación principal	0 su	0,000770329 su
Tercera deformación principal	-0,000440724 su	0 su
Deformación XX	-0,000440403 su	0,00075932 su
Deformación XY	-0,000160025 su	0,000223734 su
Deformación XZ	-0,000135764 su	0,000126098 su
Deformación YY	-0,000193833 su	0,000151693 su
Deformación YZ	-0,0000507214 su	0,0000562721 su
Deformación ZZ	-0,00013064 su	0,00012349 su
Presión de contacto	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto X	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto Y	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto Z	0 MPa	0 MPa

En base a ambos ensayos, se concluye que si bien no se perciben valores de esfuerzos y deformaciones que sugieran una falla del elemento, queda claro que la configuración propuesta tiene varias oportunidades de mejora. Por lo tanto, se propone utilizar una cremallera más corta, del largo mínimo requerido de 550 mm, y esta vez con un perfil angular más largo (910 mm) pero soldado por debajo (ver figura 4.14).

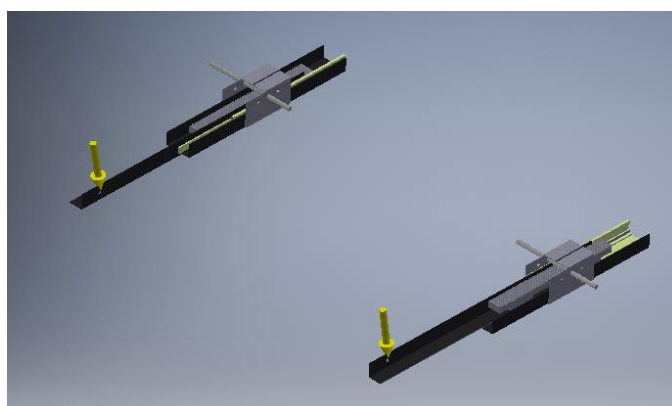


Figura 4-14: Geometría y cargas propuestas para mejora de desempeño perfil-cremallera.

4.3.5 Justificación rieles de corredera

Como los rieles de corredera se tratan de elementos comerciales, los parámetros de desempeño más importantes se obtienen por medio de la información entregada por el proveedor [4]. Revisar Anexo C.

4.3.6 Justificación motor paso a paso

En primer lugar, cabe destacar que mecanismo que se presenta en este trabajo no fue motorizado con el fin de obtener un sistema automatizado, es decir se opta por un mecanismo manual, principalmente por limitaciones de carácter económico. Sin embargo, se incluye el cálculo de los valores más importantes a considerar para la selección de un motor paso a paso que permita controlar el movimiento del piñón que desplaza la cremallera encargada de desplazar el lente de Fresnel en el mismo sentido en la que esta se encuentra.

4.3.6.1 Velocidad de rotación

La velocidad con la cual gira el motor (ω_m) determinará también la velocidad con la que se desplaza la cremallera (V_c), la cual a su vez coincidirá con la velocidad lineal con la que el centro del lente de Fresnel se acerca o aleja del centro de rotación de este subsistema.

Esta relación viene determinada directamente por el diámetro primitivo del piñón (Dp_p) que se conecta con la cremallera (V_c), y con la velocidad de rotación de este (ω_p).

Así mismo, la velocidad de rotación del piñón estará determinada por la velocidad de giro del motor paso a paso, modificada a través de la relación de velocidades (r_v) del motorreductor incluido, cuya entrada está acoplada al motor y salida al piñón en cuestión.

$$V_c = \omega_p * \frac{Dp_p}{2} \quad (4.6)$$

$$\omega_p = \frac{\omega_m}{r_v} \quad (4.7)$$

4.3.6.2 Torques requeridos

Holding Torque

En esta parte, se estudiará el valor del torque que deberá entregar el motor (holding torque) que se encarga de desplazar la cremallera con el lente de Fresnel en su extremo, y por lo mismo de desplazar el mismo lente. El torque resultante aplicado sobre el piñón (T_p), conectado a la salida del motorreductor se traduce como una fuerza tangencial que actúa sobre la parte superior de la cremallera (F_c), provocando una aceleración (movimiento lineal) sobre esta y desplazándola.

$$F_c = T_p * \frac{Dp_p}{2} \quad (4.8)$$

Para esto, se modelará el movimiento de la cremallera como una masa a desplazar sobre una superficie horizontal con un coeficiente de roce para caracterizar dicha superficie. Con respecto a esto último, queda claro que la condición horizontal de la superficie se da únicamente cuando la cremallera se encuentra en dicha posición, es decir, paralela al nivel del suelo. Sin embargo, resulta evidente que esta no es la posición en la que se encontrará permanentemente, ya que durante la operación del mecanismo, y por la variación de la posición del sol, se deberá inclinar gradualmente. Incluso, será necesario estudiar también el caso límite de encontrarse completamente vertical, es decir, perpendicular al piso.

Con los supuestos descritos anteriormente, y utilizando algunas de las variables involucradas en el modelo, será posible determinar los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del conjunto. Las variables que ya están definidas son las siguientes:

- Masa total por desplazar M_t (2 cremalleras más lente enmarcado): 45,5 [kg]
- Masa por desplazar por cada cremallera, M_c (1/2 de masa total): 22,75 [kg]
- Aceleración lineal propuesta para cremallera a_c : 0,05 [m/s^2]
- Posibles torques entregado por motor (holding torque), T : 2,4 [Nm]; 3 [Nm]; 4,2 [Nm]

Adicionalmente, se utilizará el valor del coeficiente de roce para 4 casos diferentes, con el fin de determinar el valor del diámetro primitivo del piñón conectado con la cremallera D_p . Estos 4 valores del coeficiente de roce servirán para caracterizar la resistencia al movimiento de la cremallera que efectúa la corredera dispuesta por debajo de esta, y que son los siguientes:

Tabla 4-11: Coeficientes de roce para cálculos en sistema de desplazamiento. Fuente: Elaboración propia.

Coeficiente de roce (μ)	
Materiales involucrados	Acero sobre acero
Roce estático (μ_s)	0,74
Roce cinético (μ_k)	0,54
Caso sin roce ($\mu = 0$)	0
Caso crítico ($\mu = 1$)	1

Cabe destacar que, en este último caso, la fuerza necesaria para desplazar el piñón será igual a la fuerza necesaria para mover la cremallera verticalmente (igual a la fuerza normal y al peso), es decir, la misma fuerza que se requerirá al momento de desplazar la cremallera cuando esta se encuentre perpendicular al suelo.

Detent torque

Por otra parte, también es necesario tener en cuenta el valor del torque que “devuelve” el sistema al motor, es decir, en la posición en descanso (posición fija del

lente). Este valor es muy importante ya que, de esta manera, se conocerá la resistencia (en torque) que debe tener el motor. Esto, para evitar que este gire de manera indeseada en sentido contrario, sacando la cremallera de su posición y desplazando el punto focal del lugar requerido.

Es importante señalar que, a diferencia del torque referenciado en el punto anterior, (holding torque), este valor en los motores de los catálogos disponibles es mucho menor, encontrándose un máximo de 6,5 [Ncm], lo cual es muy inferior al torque producido por el peso propio de la cremallera. Es por esto último que, como requisito adicional para el subsistema de desplazamiento de la cremallera, el torque efectuado por este fenómeno sobre el piñón no sea transmitido a través del motorreductor, para así evitar que el motor gire. Para esto se necesitará que el motorreductor en cuestión tenga la característica de ser autoblocante, es decir, que solo transmita el torque en el sentido de giro que requiera el motor.

4.3.6.3 Selección de motor

Como se infiere de las ecuaciones mostradas en esta sección, la mayor parte de las variables calculadas, dependen de algunas características de otros elementos ajenas al motor. Sin embargo, uno de los parámetros más importantes que definen la elección del motor a emplear en el mecanismo de desplazamiento, es el torque que este sea capaz de entregar. En base a las estimaciones realizadas, se sugiere el uso de un motor paso a paso Nema 34 Modelo Hs8040, el cual es capaz de entregar un torque de 4,2 Nm. En la figura 4.9, a continuación, se puede ver el dicho motor. Más adelante (figura 4.16), se puede ver un gráfico con los valores de torque aplicado (en onzas-pulgadas) en función de la velocidad de rotación (en rpm).

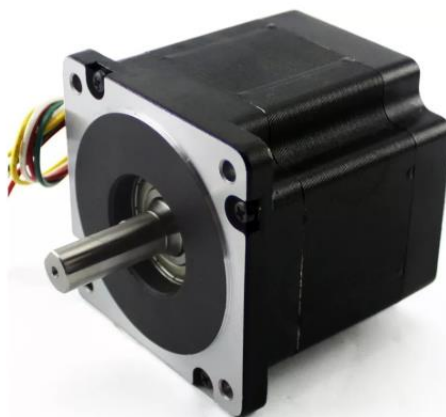


Figura 4-15: Motor Paso A Paso Nema 34 Modelo Hs8040.

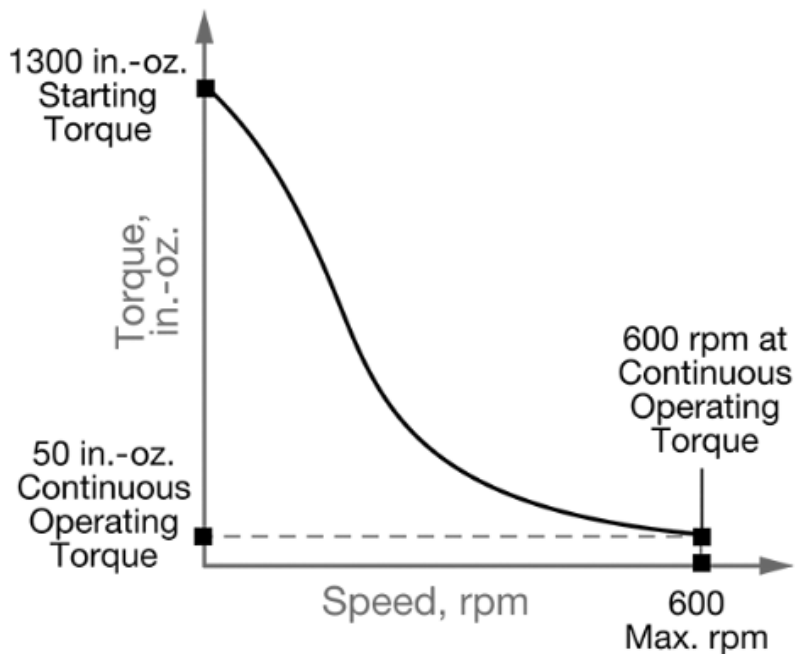


Figura 4-16: Gráfico de torque vs Velocidad para motor Nema 34.

4.3.7 Justificación piñón

Como se señala en el punto anterior, los valores de torque y de fuerza que actúan en el subsistema de desplazamiento, están estrechamente relacionadas con los otros elementos de este. En particular en el conjunto de piñón cremallera, las dimensiones del piñón determinan la relación entre el torque que recibe el mismo y que es transmitido por el motor (ecuación 4.5). Por lo tanto, es importante encontrar un método para poder determinar un diámetro primitivo del piñón, en función de los parámetros que resultan más significativos para su análisis.

Para lograr esto, se aplicarán los valores sugeridos para el coeficiente de roce entre las superficies (acero), para luego utilizar el valor de torque (T) propuesto por el motor sugerido, es decir, 4,2 Nm. Luego, se tiene que la ecuación que define el diámetro (D_p) primitivo del piñón, con los supuestos antes mencionados es:

$$D_p = \frac{2T}{M \cdot g \cdot \mu + a} \quad (4.9)$$

Donde:

- M representa la masa total a desplazar por el elemento, igual a 22,75 [kg].
- g es el valor de la aceleración de gravedad, igual a 9,8 [m/s²].
- μ es el coeficiente de roce, que depende de cada caso señalado en la tabla 4.2.
- a es la aceleración con la que se moverá la cremallera al desplazarse por el piñón. Valor razonable propuesto de 0,05 [m/s²].

Por lo tanto, las estimaciones para el diámetro primitivo, según el procedimiento anterior, se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4-12: Estimaciones de diámetro primitivo para distintas condiciones de rozamiento. Fuente: Elaboración propia.

Diámetro del piñón [m]	
$\mu = 0$	168
$\mu = 1$	0,038
$\mu = 0,54$	0,070
$\mu = 0,74$	0,051

Es claro que para el caso sin roce, debido a la forma de la ecuación, esta alcanza valores poco razonables, y por lo mismo no sugiere un valor útil del diámetro. Por otra parte, la condición de roce entre 2 superficies de acero propone una cota adecuada para este. Cabe mencionar que los valores de la tabla representan el **diámetro máximo** que debe tener el piñón para lograr convertir correctamente el torque entregado en la fuerza necesaria para mover la cremallera. También es importante destacar que las condiciones reales de roce en el conjunto de desplazamiento son determinadas por las correderas ubicadas en la parte inferior de este, y que claramente suponen condiciones de deslizamiento mucho menores a las de la tabla.

Por lo tanto, se elige utilizar un diámetro que cumpla con las condiciones descritas en la tabla y que con mayor razón cumpla con las condiciones reales del mecanismo. En particular, se opta por utilizar un diámetro primitivo de 50 mm.

Finalmente, con este valor, será posible determinar todos los demás parámetros que se necesitan para la construcción del piñón [5]. Se debe tener en cuenta que el módulo a utilizar debe de ser el mismo que el de la cremallera, es decir 2,5. Además, el ángulo de contacto para el tipo de dientes utilizado es de 20°. Es importante señalar que los cálculos de los parámetros para engranajes de dientes rectos se encuentran ampliamente estandarizados en la literatura (Dudley 1974, capítulo 4)

- Número de dientes (Z):

$$Z = \frac{D_p}{z} = 20 \text{ [dientes]} \quad (4.10)$$

- Diámetro exterior (D_e):

$$D_e = D_p + 2 * M = 55 \text{ [mm]} \quad (4.10)$$

- Diámetro interior (D_i):

$$D_i = D_p - 1,25 * M = 46,9 \text{ [mm]} \quad (4.11)$$

- Paso circular (P_c):

$$P_c = M * \pi = 7,85 [mm] \quad (4.11)$$

- Radio de entalle (r):

$$r = \frac{P_c}{12} = 0,7 [mm] \quad (4.12)$$

4.4 Ingeniería de Detalle

4.4.1 Diseño definitivo

Luego de considerar algunos de los resultados obtenidos en la memoria de cálculo, se realizaron algunas modificaciones al diseño preliminar mostrado en la sección de ingeniería conceptual. Estas modificaciones pueden verse claramente en la figura 4.17, la cual muestra una vista general del mecanismo diseñado.

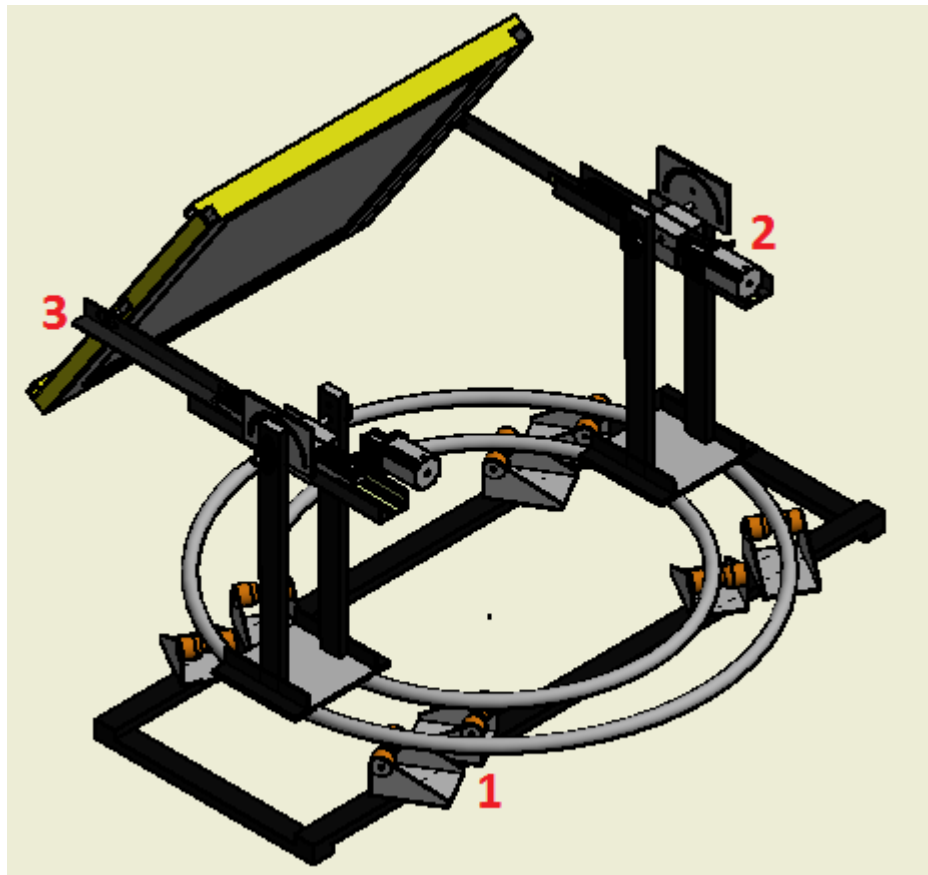


Figura 4-17: Vista isométrica del mecanismo. Fuente: Elaboración propia

4.4.1.1 Base

La base corresponde a una de las partes más importantes del mecanismo, ya que esta soporta la mayor parte de la carga producida por el peso de todos los demás elementos de este. Además, de esta depende uno de los movimientos más importante del mecanismo, es decir la rotación de esta con respecto al eje vertical, ya que es este movimiento el que permitirá posteriormente orientar el lente en el mismo ángulo azimutal que se requiera para la posición del sol.

A continuación, en la figura 4.18 se mostrará el modelo computacional (CAD), obtenido a partir del programa Autodesk Inventor Professional 2016. En esta, se puede ver una estructura rectangular de 2100x800 mm, construida a partir de perfiles de acero tubulares-rectangulares (70x30 mm). La unión de dichos perfiles fue realizada por medio de 16 pernos de 8 mm de diámetro (4 pernos en cada esquina). Además, sobre estos se incluirán 2 conjuntos de 4 rodillos en V cada uno, los cuales se dispondrán sobre el contorno de 2 circunferencias de diámetros 1200 y 1600 mm. Dichos rodillos se encuentran colocados sobre una estructura rectangular, unidos por medio de pernos de 12mm de diámetro. En la figura 4.19. se puede ver la distribución para los soportes de los rodillos (denominados comercialmente por su nombre en inglés, “brackets”) los que se orientarán de manera paralela a la línea tangente de ambas circunferencias, y centradas en el punto medio del sujetador, es decir en el centro de la curvatura del rodillo.

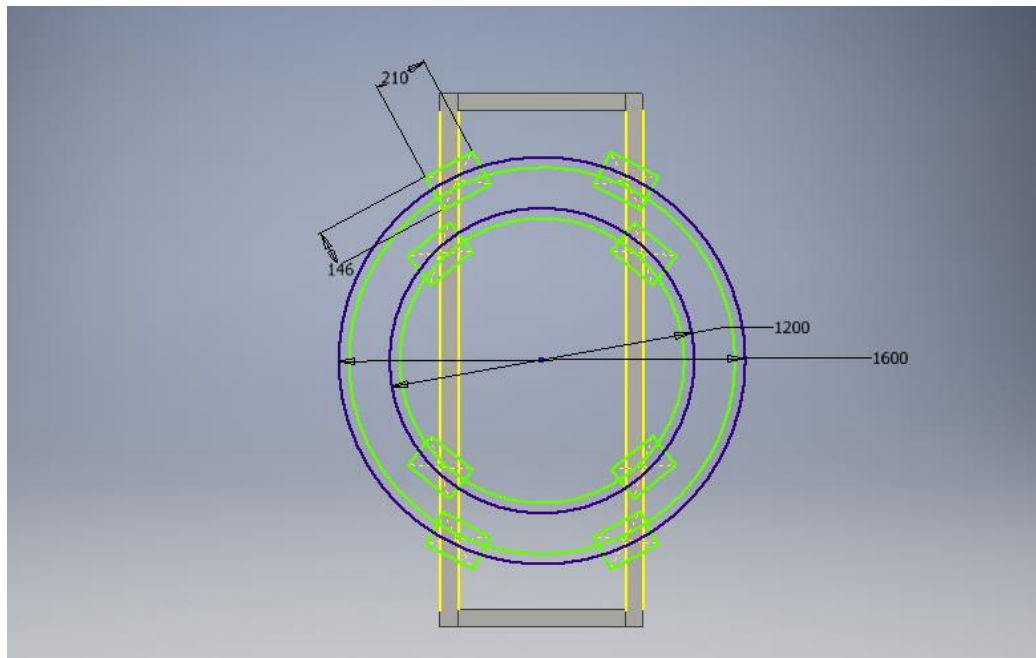


Figura 4-18: Distribución de elementos sobre la base del mecanismo. Fuente: Elaboración propia

A partir de la imagen anterior, se procede a modelar la base mediante la instalación de los conjuntos compuestos por los rodillos y sus soportes correspondientes (“brackets”). Este

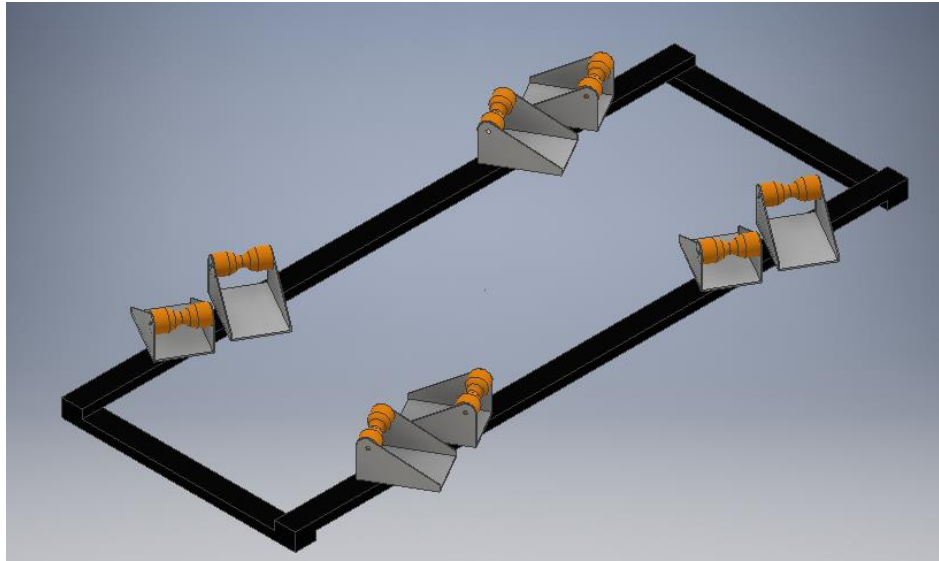


Figura 4-19: Modelo CAD para la base del mecanismo. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, en los lados opuestos de cada toroide se colocarán tramos de perfil angular en 90° de (50x50x3 mm) con el fin de disponer soportes verticales sobre estos (ver figura 4.20) y así obtener una superficie adecuada para vincular el siguiente elemento del mecanismo.

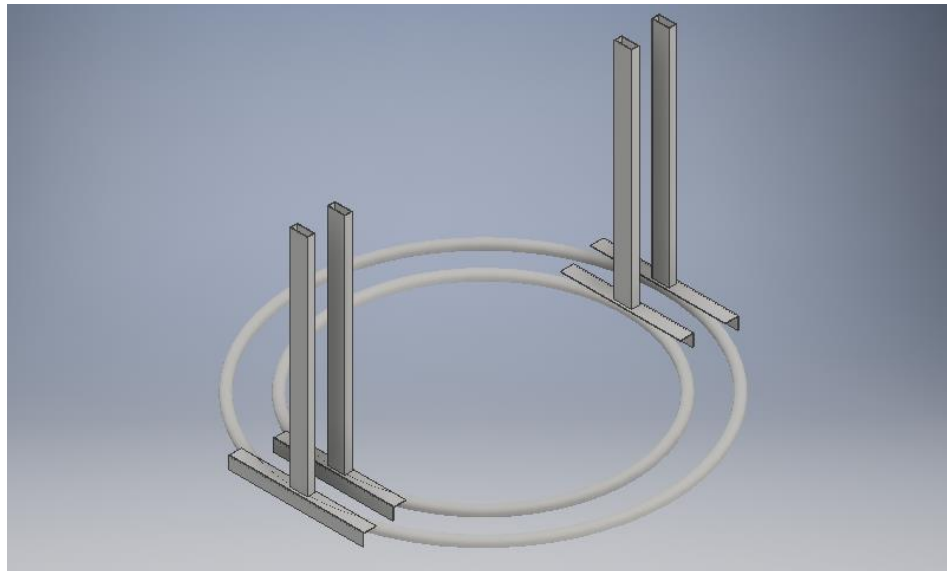


Figura 4-20: Modelo CAD para soporte en la base

A continuación, en la figura 4.21 se muestra el mecanismo para la base con los rodillos dispuestos para uno de los anillos (interior de 1200 mm de diámetro). Cabe destacar que en la imagen los *brackets* no se encuentran emperrados (ni centrados sobre la base)



Figura 4-21: Fotografía del mecanismo de la base en construcción.

4.4.1.2 Cremallera y articulación de rotación

Otra de las partes fundamentales que componen el mecanismo, es sin duda la articulación que se encuentra en la parte media del mismo, es decir, inmediatamente por encima de la base, y por debajo del lente que este debe sujetar. Esta parte del mecanismo estará compuesta por un perfil en “C”, de dimensiones 100x50 mm. y 3mm de espesor. Este se encontrará soportado por un eje transversal, el cual a su vez se encontrará unido a los soportes conectados a la base, señalados anteriormente.

En particular, el correcto funcionamiento del sistema de orientación y posicionamiento para el lente requiere que este conjunto tenga la capacidad de generar un movimiento de rotación, con la ayuda del eje transversal que se mencionó. Por otro lado, también se necesita de un elemento que entregue un movimiento lineal, en la misma dirección que el perfil en “C” que contiene este elemento. Para esto, se optó por diseñar una cremallera (con su engrane correspondiente) a partir de una barra de acero al carbono de 50x50 mm, de 1 metro de largo, la cual fue reducida a dimensiones de 50x25 mm, y que además cuenta con dientes de módulo 2.5 en hasta los 80 primeros centímetros de la barra. También, se unirá a la cremallera, un tramo de perfil angular, en cuyo extremo será perforado con el fin de colocar los soportes para los rodamientos correspondientes que se conectarán finamente al pivote que sujetará el marco exterior del lente de Fresnel.

En la figura 4.22 se muestra el diseño para el elemento compuesto por la cremallera y el perfil angular sobre el cuál se dispondrán los rodamientos para la sujeción del Lente, utilizando el pivote como punto de sujeción. Más abajo, en la figura 4.23 se encuentra el conjunto descrito con los rodamientos instalados y conectados a los sujetadores del lente.

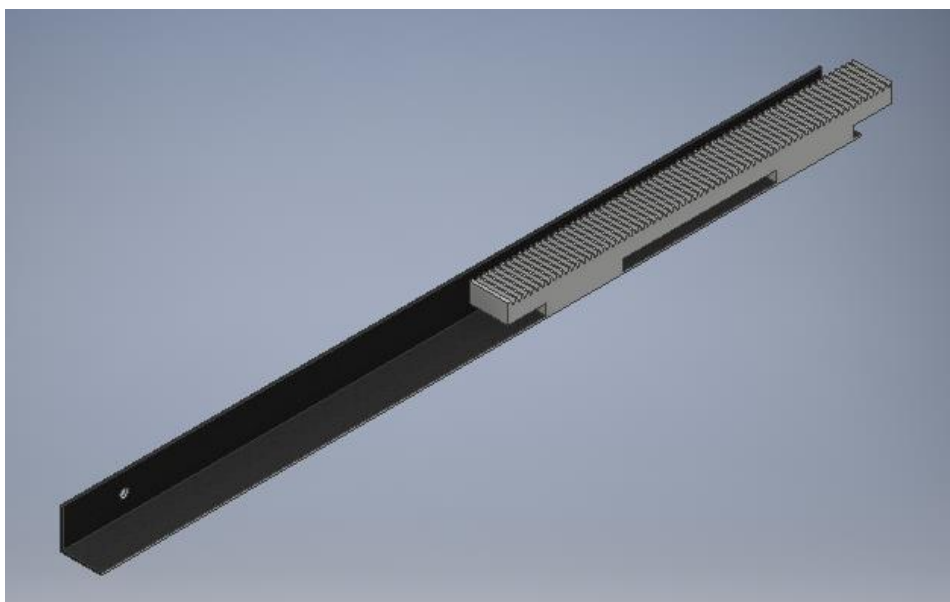


Figura 4-22: Conjunto cremallera-perfil angular para desplazamiento

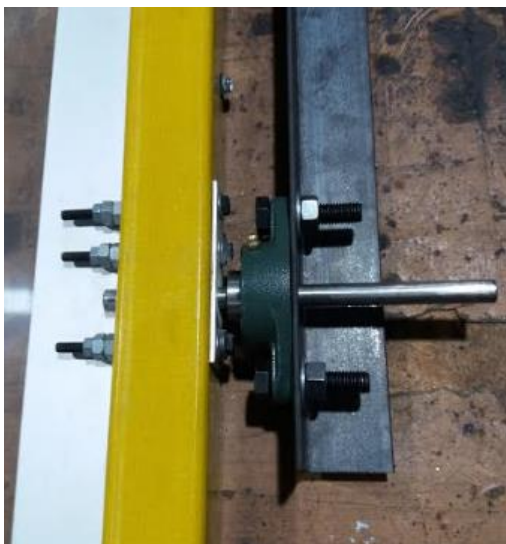


Figura 4-23: Fotografía del extremo del elemento perfil.cremallera.

4.4.1.3 Pivote

Como se dijo con anterioridad, el lente de Fresnel que será empleado en este proyecto se encuentra enmarcado con perfiles de aluminio (pierna, línea 25).

Además, en el exterior de dicho marco, se construyó un segundo marco, a partir de FRP, en el cual se colocó en 2 de sus extremos opuestos un pequeño pivote, del cual sobresale un pequeño eje de 12 mm. Es en este elemento, en el cual se conectarán los rodamientos colocados en el perfil angular del conjunto descrito antes, permitiendo a su vez, el movimiento de rotación sobre el plano del mismo lente.

En la figura 4.24, se puede ver tanto el modelo CAD del lente enmarcado, correspondiente (izquierda), como una foto del mismo elemento, construido en el taller, con los elementos de sujeción.

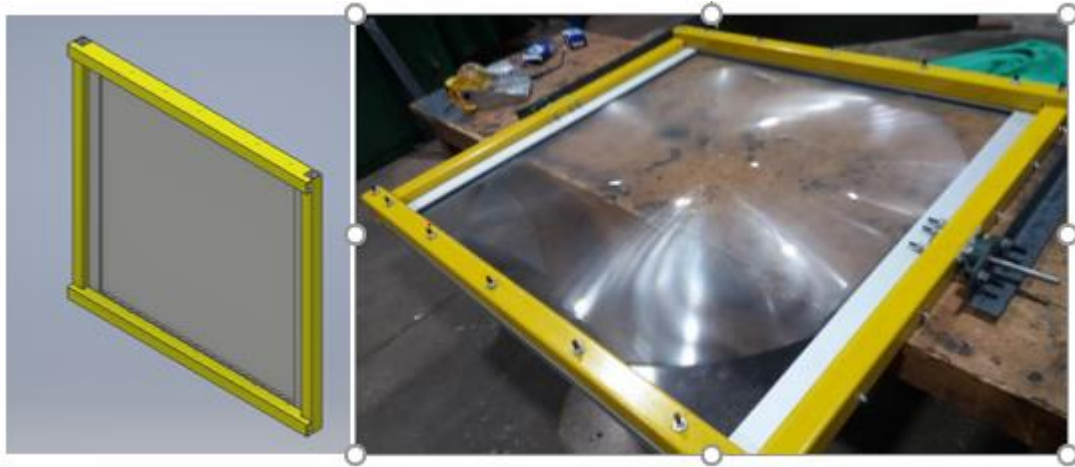


Figura 4-24: CAD lente enmarcado (izquierda) y elemento construido (derecha).

4.4.2 Modelo CAD

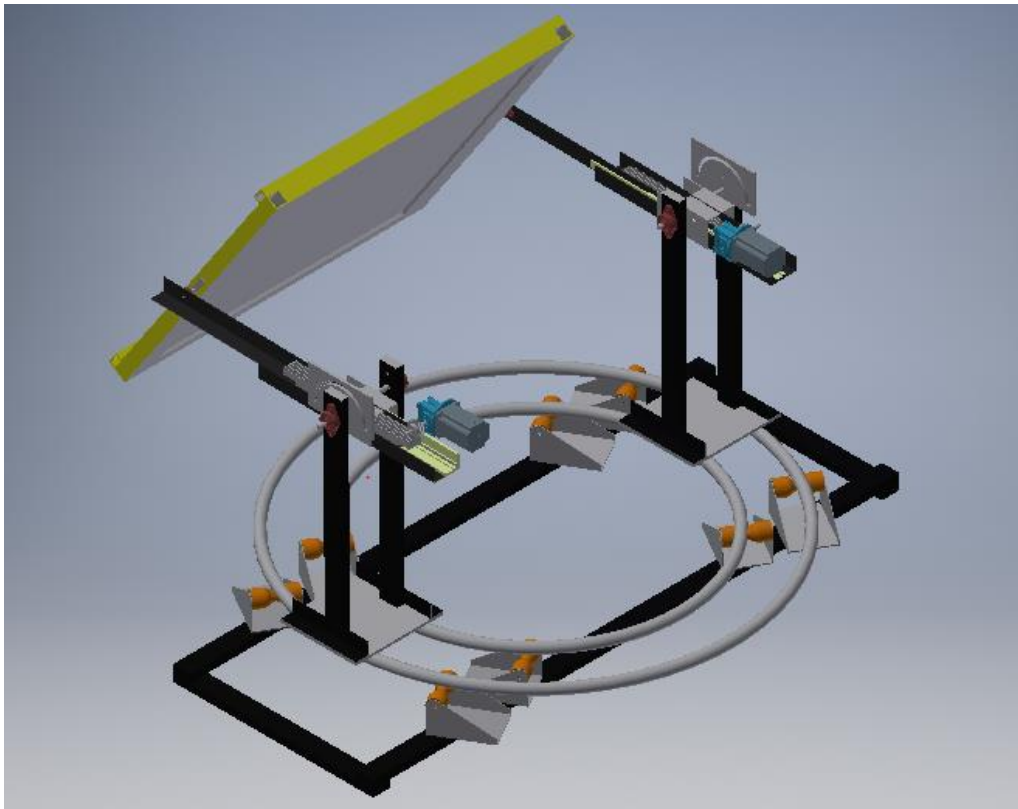


Figura 4-25:Modelo CAD de diseño definitivo de mecanismo. Elaboración propia.

4.4.3 Selección de materiales

En base a los requerimientos, se eligen los materiales de cada componente, en función de sus propiedades mecánicas, y se comparan las distintas opciones según el costo y la disponibilidad de cada formato.

- Para la mayoría de los elementos estructurales (perfiles y tubos) se optó por utilizar principalmente, **acero ASTM a36**, estos elementos son:
 - Perfiles 70x30x3 mm para la base.
 - Perfiles 70x30x2 mm para soportes verticales del mecanismo de rotación.
 - Perfil tipo canal 100x50x2 mm para soporte de cremallera.
 - Perfiles angulares 50x50x3 mm para sujeción de soportes y rodamientos en lente.
 - Tubos de $\varphi=1,5$ in. x 3mm. para toroides sobre rodillos.
- Para los elementos sometidos a mecanizado (fresa y torno), se seleccionó **acero al carbono 1045**.
 - Barra de sección cuadrada 50x50 mm para cremallera.
 - Barra sección circular $\varphi = 60$ mm para piñones de cremallera.
- Para el marco “interior” del lente de Fresnel, se utilizó un perfil de aluminio, de la llamada “línea 25”, el cual tienen como nombre comercial “pierna”. Esto es, debido a las bajas exigencias de esfuerzos que este elemento requiere, y la baja densidad de este. La sección transversal de este perfil se muestra a continuación en la figura 4.26, junto con una estimación de su densidad lineal (0,47 kg/m).

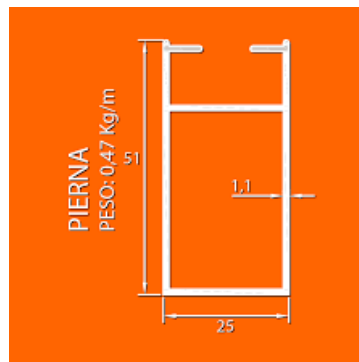


Figura 4-26: Sección transversal perfil de aluminio utilizado

- Para el marco exterior, por razones similares al anterior, se decidió utilizar plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) de dimensiones 50x50x5. Este cuenta con una resistencia significativamente mayor al aluminio, pero con un peso mayor, aunque comparativamente bajo en comparación al acero.
- Los rodillos que fueron utilizados para el movimiento de rotación de la base son de un material polimérico derivado de la polimerización del cloruro de vinilo (nombre comercial Vinyl).
- Otro elemento importante en el desempeño del mecanismo, son los rieles de corredera, las cuales son instaladas por debajo y en los bordes de la cremallera (2 pares de rieles) y que, por lo tanto, deberán soportar el peso de todo el subsistema

de desplazamiento, incluido el lente. Por lo mismo, se necesita un material resistente y que permita una unión con el resto de los elementos de acero. Por esto, se opta por utilizar un riel de corredera de fabricado acero laminado, la cual se muestra en la figura 4.27, a este elemento se le conoce como corredera telescópica.



Figura 4-27: Corredera telescópica de acero laminado.

Adicionalmente, se destaca el hecho que el sistema de desplazamiento tiene un tercer riel de corredera, el cual es del mismo material anterior, pero que cuenta con una terminación superficial conocida como cincado brillante. Las especificaciones de ambos rieles pueden ser encontrados en el Anexo C.

4.5 Etapas de Construcción y Ensamble

4.5.1 Fabricación de piezas

En esta sección se reporta el procedimiento que se realizó en este trabajo, con el fin de obtener los elementos de cada subsistema, para su posterior ensamble.

4.5.2 Fabricación de piezas

Para la fabricación de las piezas que componen el mecanismo, obviamente se necesita obtener el material a partir del cual se construirá en el formato que corresponda. Posteriormente se aplican los diferentes métodos manufactura con los que se disponen en espacio de trabajo (taller mecánico DIMEC). A continuación, se darán a conocer las diferentes piezas que fueron fabricadas, así como los procesos de manufactura involucrados en la obtención de cada una.

4.5.2.1 Sistema de pivote para el lente

Para esta parte del mecanismo, la construcción del marco de FRP y la instalación de los pivotes utilizados para el banco de pruebas, son utilizadas de la misma manera en el mecanismo, según el diseño definitivo de este. En la figura 4.28 se puede ver como esta se monta sobre el mecanismo.

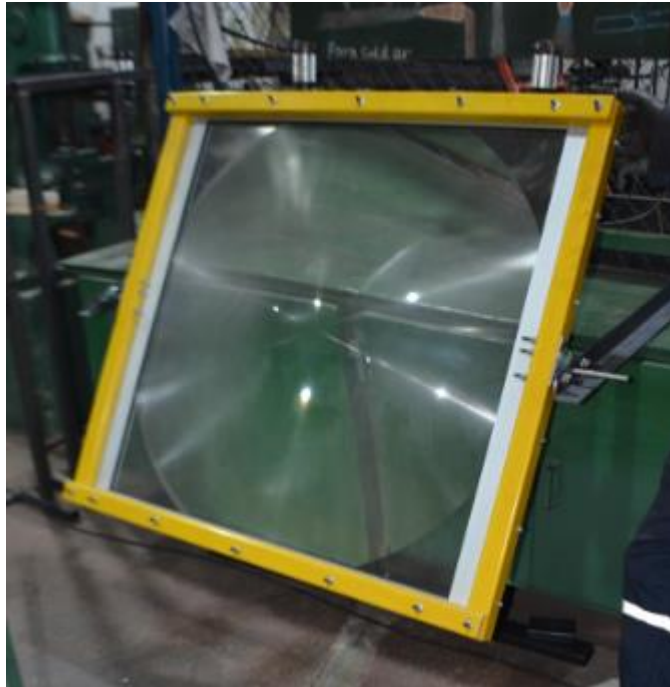


Figura 4-28: Lente de Fresnel enmarcado con pivotes colocados sobre rodamientos. Elaboración propia.

4.5.2.2 Base rectangular

Como se muestra anteriormente, el mecanismo se encuentra dispuesto sobre una base rectangular de dimensiones de 210 cm. de largo por 80 cm. de ancho. Esta base se construyó a partir de perfiles estructurales de acero ASTM a36, de 70x30 mm. y de 3 mm. de espesor.

Debido a que se tiene la necesidad de lograr un sistema capaz de ser de ser desensamblado de manera eficiente, se opta por unir los perfiles que componen la base por medio de uniones empernadas. Para esto, se utilizaron 4 pernos de 8 mm. de diámetro en las 4 esquinas de la base. Para estas perforaciones se utilizó un taladro de pedestal, utilizando 2 brocas de 5 y 8 mm. de diámetro, esto con el fin de que facilitar la perforación de los agujeros de mayor diámetro. Lo anterior se debe a que, al utilizar una broca de un diámetro muy alto, es más complicado controlar el punto en que ingresa la broca, producto de las vibraciones que se generan en el material. Además, esto ayuda a reducir la cantidad excesiva de calor que se produce al remover mayores cantidades de material de una sola vez.

Adicionalmente, se destaca que, sobre esta misma base, es necesario colocar los rodillos sobre los cuales se ubicarán los anillos que permiten el movimiento rotatorio del resto del sistema, haciendo que este pueda cambiar su posición, alineándolo con el ángulo azimutal de la posición del sol. Para lograr esto, se decidió aplicar soldadura MIG (soldadura al arco con gas inerte) en los brackets sobre los que se colocan los rodillos.



Figura 4-29: Base del sistema con brackets de rodillos soldados.

4.5.2.3 Anillos para rotación azimuthal

Junto con los rodillos que fueron soldados a la base rectangular, para lograr que el sistema pueda girar en el mismo plano del piso (para igualar el ángulo azimuthal en el lente) se requiere que estos, funcionen en conjunto con un par de aros dispuestos sobre estos. De esta manera, mientras estos anillos concéntricos giran sobre si mismos, los rodillos permiten el desplazamiento tangencial sobre su punto de contacto. De esta manera, es posible controlar el ángulo, respecto a un plano paralelo al piso, en el que se encuentran todos los elementos del sistema que se encuentran conectados a estos anillos.

Para fabricar estos elementos, se utilizaron 2 tubos de acero ASTM a36, de 1.5 pulgadas de diámetro exterior, con 3 mm. de espesor. Luego, estos tubos fueron doblados en circunferencias. Los diámetros de cada circunferencia son de 1,2 y 1,6 metros. Este procedimiento es conocido como cilindrado, y fue realizado por una empresa externa a la que fue adquirido el material. A continuación, en la figura siguiente, se puede ver ambos anillos colocados sobre la base, preparados para colocar el resto de los elementos sobre ellos y permitir la rotación del mecanismo.



Figura 4-30: Anillos para rotación montados sobre base con rodillos. Elaboración Propia.

4.5.2.4 Placas y estructura de soporte para subsistema de rotación

Luego de ubicar los anillos en el lugar correspondiente, se continuo con los elementos que servirán de soporte para los elementos que permitirán el movimiento de rotación de del lente, en el ajuste del ángulo de altura solar. Para esto, se utilizaron dos placas rectangulares de acero AST a36 de 350x300 mm. y de 10 mm de espesor.

Dichas placas, están unidas a los anillos por medio de abrazaderas con el mismo diámetro que la sección transversal del tubo utilizado en los anillos, es decir 1,5 pulgadas. También, para fijar las abrazaderas a las placas de acero, se realizaron perforaciones en estas últimas del mismo diámetro de la sección transversal de las abrazaderas (8 mm.). Estas perforaciones fueron realizadas mediante el uso de una máquina fresador, ya que el taladro utilizado en el resto de los elementos no permitía trabajar con elementos de las dimensiones de las placas. En cada placa se utilizaron dos abrazaderas para sujetar cada uno de los anillos, por lo que fueron requeridas 4 de estas en cada placa, y por lo mismo, se realizaron 8 perforaciones de 8 mm. en cada placa.

Adicionalmente, sobre las placas se colocaron tramos de perfiles angular del mismo material (acero ASTM a36) dispuestos horizontalmente y soldados (por medio de soldadura MIG) a perfiles estructurales de las mismas dimensiones que los utilizados en la base. Estos últimos se instalaron de manera vertical, y los perfiles angulares se unieron a la placa por medio de pernos de 6 mm. de diámetro. Tanto en los perfiles angulares como en ambas placas se realizaron 10 perforaciones a cada lado del mecanismo. Por otra parte, los soportes verticales fueron perforados en el extremo superior, con el fin de instalar rodamientos para un eje de 16 mm. de diámetro, y los pernos que sujetan los mismos, por lo que se realizaron perforaciones de 12 mm. para estos. En la figura 4.31, se muestra el conjunto descrito.



Figura 4-31: Conjunto para soporte de subsistema de rotación. Elaboración propia.

4.5.2.5 Soportes para sistema de rotación para ángulo de altura

Una vez se comienza a construir el sistema de rotación del ángulo de altura, fue necesario comenzar con las partes que sirven como soporte para todos los elementos que cuenten con algún grado de movimiento. En este caso, se decidió utilizar un perfil de “canal” de acero ASTM a36 de dimensiones 100x50 mm. de 3 mm. de espesor. Para esto, se cortó por medio de una sierra, dos tramos de 700 mm. de largo, con el fin de ser utilizados para contener el sistema de desplazamiento lineal (piñón-cremallera).

Además de lo anterior, en cada soporte se unieron por medio de soldadura, 2 tramos más cortos del mismo perfil, pero dispuestos de manera perpendicular al primero. En estos dos tramos adicionales, se realizaron perforaciones por medio de un taladro de pedestal con el fin de instalar los rodamientos y, por supuesto pasar el eje encargado de permitir el movimiento de rotación. En la figura 4.32 se muestra el conjunto antes de aplicar la soldadura entre los perfiles de canal, y con los rodamientos mencionados ya instalados.



Figura 4-32: Soporte para subsistema de rotación. Elaboración propia.

4.5.2.6 Cremallera

Para trabajar en conjunto con el piñón del diseño, se fabricaron dos cremalleras, para lograr un mecanismo de desplazamiento lineal. Para esto, se utilizó una barra de sección cuadrada del mismo material que el piñón, de dimensiones 50x50 mm. y 550 mm. de largo.

Para la confección de las cremalleras del sistema de desplazamiento del mecanismo, es necesario mecanizar una barra de acero al carbono 1045, obtenida de un proceso de trefilado. Sin embargo, esta al someterse a dicho trabajo de mecanizado, producto del proceso de trefilado, es posible que se deforme por culpa de los esfuerzos residuales de este. Es por esto, que ambas barras deben ser sometidas a un tratamiento térmico de recocido, con el fin de aliviar estas tensiones residuales, ablandando el material y facilitando su mecanizado.

Por lo general, este tratamiento se realiza a temperaturas por debajo de la línea crítica inferior (573.33 a 684.44°C), por lo que en la literatura por lo general se le llama recocido subcrítico [7] (Askeland, .2010 capítulo 8). En la figura 4.33, se pueden ver los efectos que tienen sobre las propiedades del acero, tanto el proceso de recocido (annealing) en función de su temperatura, como el de trabajo en frío (como lo es el trefilado) según su porcentaje de deformación.

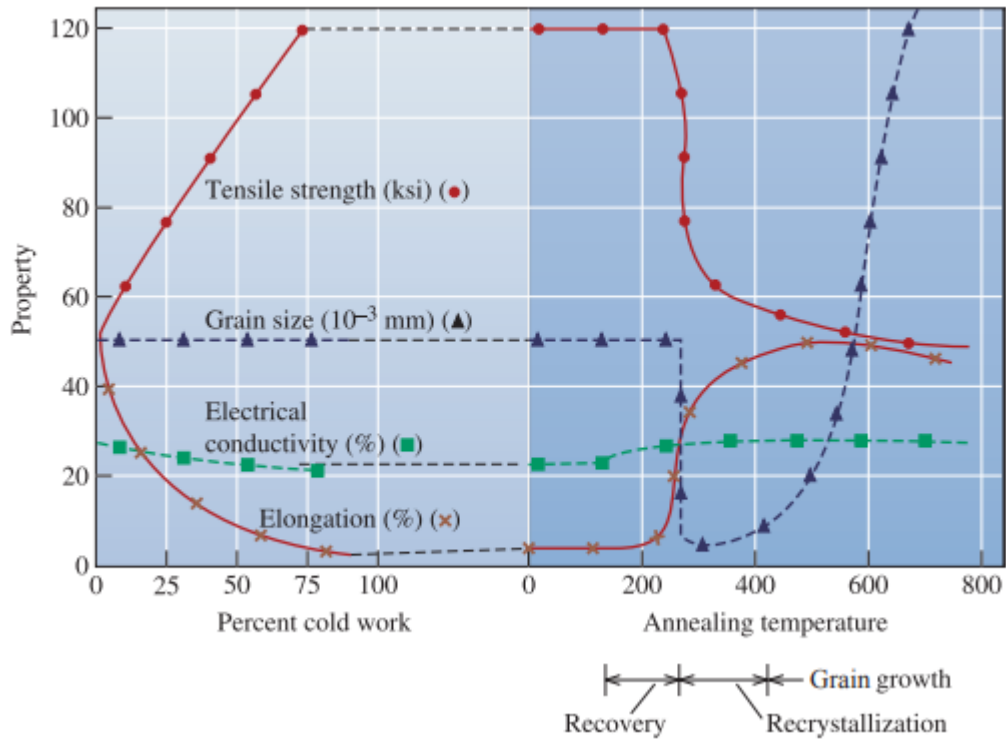


Figura 4-33: Gráfico de efectos de trabajo en frío y tratamiento sobre acero [8].

Otro de los métodos de mecanizado que se emplearon en este trabajo es el fresado, el cual consiste en remover material mediante una herramienta plana capaz de desplazarse en los 3 ejes cartesianos. Este fue aplicado de 2 maneras diferentes, la primera de estas consiste en el refrentado, es decir el paso de la herramienta rotatoria plana por una de las caras de cuerpo que se encuentra mecanizando, logrando una reducción de la altura de la dirección en la cual se remueve el material. En la figura 4.34 se explica cómo funciona este proceso.

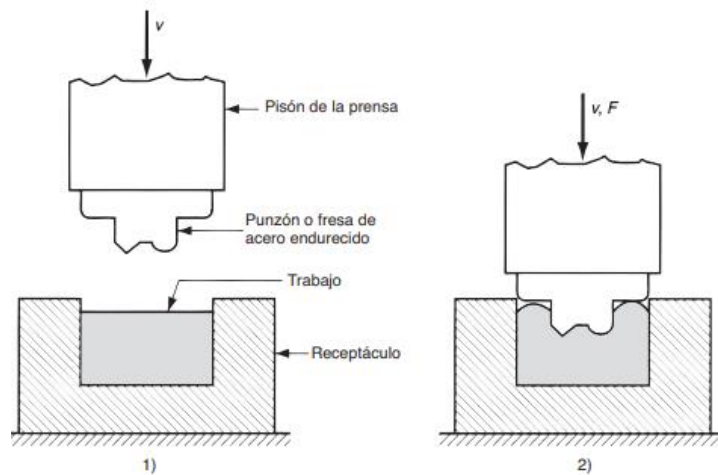


Figura 4-34:mecanismo de fresado [8]

La otra operación de fresado corresponde al uso de un cabezal para remover un patrón predeterminado de material repetidamente (copiado), esto para dar la forma de los dientes de la cremallera que se utilizarán en el subsistema de desplazamiento. Las piezas que fueron sometidas a estas operaciones son las siguientes:

Cremalleras

- Refrentado de una de las caras para reducir el ancho de 50 mm a 25 mm.
- Mecanizado de 70 dientes a lo largo de cada una.

En la figura siguiente (4.35) se muestra el resultado final de la fabricación de la cremallera, incluyendo el mecanizado de los dientes rectos. Cabe destacar que en la imagen se muestra además la inclusión de algunos elementos que sirven como complemento de este subsistema, en particular, correderas telescópicas instaladas por debajo y a uno de los lados de la cremallera con el fin de facilitar su desplazamiento en el soporte.



Figura 4-35: Cremalleras instaladas antes de aplicar soldadura. Elaboración propia.

4.5.2.7 Piñón

Como se dijo anteriormente, el mecanismo cuenta con un subsistema de desplazamiento lineal para los elementos que sujetan el lente. Esto con el fin de acercar o alejar el centro del lente y el centro de rotación para el ángulo de altura e igualar la distancia focal al punto sobre el cual se quiere aplicar el calor. Para esto, se optó por utilizar un sistema de piñón-cremallera, el cual se instaló sobre el soporte mostrado en el punto anterior.

El piñón utilizado se fabricó a partir de una barra de acero al carbono 1045 de 60 mm. de diámetro. Sin embargo, el piñón que se diseñó para el mecanismo cuenta con un diámetro exterior de 55 mm. y un diámetro primitivo de 50 mm. Además de esto, el piñón se diseñó con un módulo de 2,5 y 20 dientes. Se utilizó un torno con el fin de mecanizar esta pieza, en particular para un proceso de cilindrado. El cálculo para la cantidad de material que se remueve se hace mediante la siguiente ecuación (4.16).

$$V_r = \pi * (r_f^2 - r_i^2) \quad (4.16)$$

El torneado, se clasifica como un proceso de mecanizado, y al igual que otros trabajos, como por ejemplo el fresado y el taladrado, corresponde a un método de manufactura sustractiva, es decir se elimina el material sobrante de la pieza con el uso de una herramienta de corte. Específicamente, se disminuye gradualmente el diámetro del material hasta que se llega a las dimensiones deseadas, en las cuales se pueden lograr una precisión con tolerancias de 0,025 mm como se menciona en Groover 2007

(capítulo 21). Típicamente, se sugiere utilizar una profundidad de entre 0,75-2 mm por cada uno de los pasos del torno [6]. Lo anterior se puede visualizar en la figura 4.35.

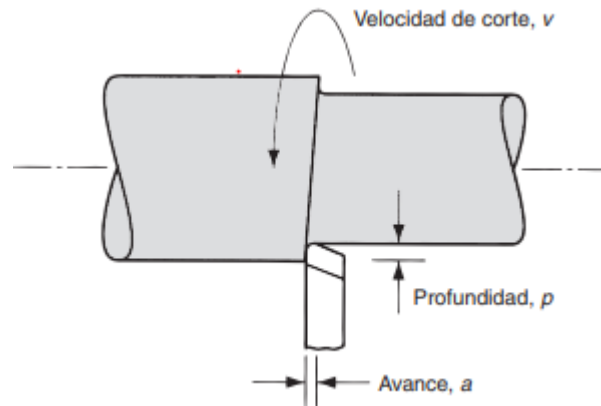


Figura 4-36: Reducción de diámetros de elementos sólidos. [6]

Las consideraciones sobre el proceso de fabricación del piñón son las siguientes.

- Se compraron dos segmentos de barras de acero al carbono 1045 de sección circular de 60mm de diámetro, por 45 mm de largo.
- A estos segmentos se les remueve una capa exterior del material hasta obtener un diámetro igual al diámetro exterior del piñón que se quiere. Como el diámetro exterior del piñón diseñado es de 55 mm es necesario quitar un total de 5 mm, lo cual se traduce en un volumen de 1806 mm³. de material.
- Como la diferencia entre los diámetros inicial y final es de 5 mm (profundidad de 2,5 mm), se decide hacer 2 operaciones de 1,5 y 1 mm cada una, dejando así al piñón con el diámetro exterior requerido.

Finalmente, para poder hacer los dientes del piñón se utilizó una máquina fresadora con una herramienta con la misma forma de los dientes rectos del piñón y que se repite por todo el contorno de la barra, al igual que el caso de la cremallera. El resultado final se muestra en la figura 4.37.



Figura 4-37: Piñón para sistema de desplazamiento. Elaboración propia.

4.5.2.8 Elementos de sujeción

En este caso, las partes fabricadas corresponden a elementos de sujeción para el marco de FRP adherido al lente de Fresnel. En este caso, como el método de sujeción incluyó un pivote, muy similar a los ejes de sujeción del sistema de rotación del brazo, se decidió utilizar una pieza alargada y resistente. En particular, se optó por perfiles angulares iguales a los empleados sobre las placas en los anillos para mantener los soportes verticales. Es decir, se usaron dos perfiles anulares de 50x50 mm. y de 3 mm. de espeso y de 900 mm. de largo.

La fabricación de estos elementos consistió simplemente en realizar las perforaciones sobre cada uno de estos para instalar los rodamientos que se unirán con los pivotes el marco en el lente. Coincidentemente el diámetro de los pivotes es el mismo al de los pernos que se colocan en los descansos para sujetarlos (12 mm.).

Adicionalmente, estas piezas debieron ser soldadas a la cremallera para trabajar en conjunto, para que así el desplazamiento lineal que sufra la cremallera sea realizado de la misma manera por los sujetadores y, por lo tanto, el lente. En las figuras 4.38 se muestra el proceso de soldadura realizado y en la siguiente (figura 4.39) se muestran ambos elementos ya unidos y listos para ensamblarse.



Figura 4-38: Soldadura MIG. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4-39: Union soldada perfil-cremallera. Elaoración propia.

4.5.3 Ensamble

Luego de haber fabricado las piezas de cada subconjunto, se procede a ensamblar cada uno de estos individualmente, para luego utilizarlos en el armado del mecanismo completo. A continuación, en las figuras 4.40, 4.41 y 4.42, se observan respectivamente los subsistemas de la base, sistema de desplazamiento, y la unión de ambos por medio de los soportes.



Figura 4-40:Ensamble subsistema base. Elaboración propia



Figura 4-41:Ensamble subsistema de cremallera. Elaboración propia



Figura 4-42:Ensamble subsistemas de rotacion y desplazamiento. Elaboración propia

4.6 Pruebas

Las pruebas que se realizaron a lo largo de este proyecto se dividieron en 2. En primer lugar, una prueba de desempeño y capacidad del lente de Fresnel y, en segundo lugar, una prueba de funcionamiento del mecanismo.

4.6.1 Prueba de funcionamiento del mecanismo

Una vez ensamblada la mayor parte del mecanismo, se procede a comprobar si los subconjuntos cumplen con las exigencias de operación. La figura 4.43 muestra el montaje del mecanismo con el lente dispuesto sobre los soportes con rodamientos correspondientes que permiten el movimiento para controlar la inclinación de este. Además, también muestra todas las uniones empernadas, junto con los subsistemas encargados de cada uno de los otros 3 movimientos.



Figura 4-43: Lente montado sobre el mecanismo. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la figura 4.44, también se puede ver el mecanismo, pero siendo manipulado de manera manual con el fin de dirigir el punto focal de este a algún lugar al nivel del suelo.



Figura 4-44: Manipulación del mecanismo para ajuste del punto focal. Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que, en ausencia de luz solar, al momento de la prueba no se pudo dirigir el punto focal hacia un objetivo con el fin de calentar algún material. Sin embargo, se comprobó que los soportes del lente pueden girar con la libertad necesaria para buscar cualquier ángulo que se requiera para posicionar el punto focal.

5 Conclusiones

A partir de este trabajo de memoria se pueden obtener las siguientes conclusiones

Como primer punto, se dirá que la primera parte del objetivo, diseñar el mecanismo fue realizado con éxito, ya que se logró llegar a un resultado final, el cual sirvió como guía para la posterior construcción y obtención de este. En particular, se dirá que el sistema obtenido es más bien un prototipo, el cual servirá como referencia para futuros proyectos similares, o incluso modificaciones sobre este mismo. El proceso de diseño para un mecanismo de esta naturaleza corresponde más bien a un proceso iterativo en el cual se debe ir buscando mejorar continuamente. Tomando como ejemplo las notables diferencias entre el diseño preliminar y el definitivo, el primero de ellos cuenta con una gran cantidad de carencias, pero que sin embargo no se identificaron hasta una vez realizados primeros intentos para el diseño final. Un ejemplo de lo anterior es la elección de los elementos necesarios para permitir el movimiento concéntrico entre los dos anillos de acero de la base, es decir, el movimiento que permite ajustar el ángulo azimutal de esta. Esto fue producto de que una vez se decidió emplear dichos anillos como elemento móvil, se limitó inmediatamente el número de posibilidades para los posibles elementos que se requieren para permitir el deslizamiento de estos anillos, llegando finalmente a la propuesta de los rodillos. Cabe destacar que otro elemento importante en el proceso de diseño, son las herramientas de cálculo que ayudan con la validación de cualquier diseño y que afectan al resultado final, por ejemplo, en la selección de los elementos de máquina correspondiente. En particular, en este trabajo se rescata la aplicación de algunas de estas herramientas de carácter computacional que se aplicaron sobre el modelo, de las que se obtuvieron los análisis de tensiones en los puntos más críticos del mecanismo.

Por otro lado, con respecto a la otra parte del objetivo, es decir, el proceso de construir el mecanismo para manipular el lente de Fresnel y fijar su punto focal, fue parcialmente cumplido. Esto por el no cumplimiento del objetivo de automatizar sus movimientos por medio del uso de los motores paso a paso, dada la imposibilidad de comprar dichos motores, entre otros elementos que se requieren para lograr dicha automatización. Entre estos últimos destacan los motorreductores y drivers para regular el movimiento que se quiera del motor. En esta problemática se logran identificar algunos factores de importancia. El más importante de estos factores es de carácter económico, ya que, debido a la naturaleza del proyecto, y lo amplio del espectro de soluciones para un mismo problema y decisiones que se pueden tomar respecto a estos, se termina por alejar se quiera o no de la solución óptima. Esto se aprecia claramente al comprobar la gran cantidad de recursos que se gastaron durante la etapa de construcción, que fue de un valor cercano a los 700.000 CLP sin considerar la compra del lente. Por esta razón se complica la realización de las intenciones originales de este proyecto que sea muy difícil conseguir los elementos para la motorización sin comprometer los recursos (principalmente capital) necesarios para el desarrollo del resto de los sistemas que abarca este proyecto multidisciplinario (impresora 3D solar).

En segundo lugar, con respecto a las pruebas de desempeño realizadas sobre el lente de Fresnel, se concluye que su utilidad se traduce en la verificación del principio con el cual opera el mecanismo. En este caso particular, al realizar las pruebas sobre lente se obtuvo que, dadas las condiciones de radiación al momento de realizar las

pruebas, no se logró el objetivo de cambiar el estado de la arena. Sin embargo, se pudo descubrir algunos puntos interesantes como, por ejemplo, el hecho de como afecta a la concentración de la radiación las características propias del lente como, por ejemplo, el tamaño del punto focal. Lo anterior quedó aún más en evidencia luego de comprobar el desempeño de un segundo lente de Fresnel, de tamaño menor y fabricado con métodos distintos, aún más cuando se observa que al tener un punto focal mucho más pequeño, efectivamente se logra un cambio de estado en el material. También, estas pruebas sirvieron para determinar algunos parámetros con los cuales operaría el mecanismo una vez terminado como, por ejemplo, la potencia térmica de este, cálculo fijado en torno a los 640 [W].

Respecto a los procesos de obtención de cada una de las partes que conforman este proyecto como, por ejemplo, elaboración de planos, compra de materiales y piezas comerciales o también, selección de procesos de manufactura, se concluye que su influencia repercute en el proyecto completo, dada su naturaleza irreversible. Especialmente la gestión de la compra de materiales y piezas comerciales, las principales complicaciones encontradas tienen que ver con la propia falta de experiencia de quien suscribe. Principalmente en relación con las etapas que tienen que ver con la adquisición de materiales tal y como cotizaciones, compras y traslados de estos. El caso más representativo de este caso es el de la barra de acero al carbono a partir de la cual se fabricaron las cremalleras. Y es que, a pesar de que no hubo complicaciones para encontrar el material disponible en una gran variedad de formatos, el proceso de fresado generó una gran cantidad de desperdicio, haciendo que gran parte de material se perdiera sin poder ser aprovechado. Este mismo ejemplo es aún más claro si se toma en cuenta que luego de realizar el análisis de tensiones correspondiente a la cremallera, se llegó a la conclusión que la mejor opción para mejorar el desempeño del mecanismo era acortar la misma. Finalmente, ambas cremalleras que consistían en una barra de sección cuadrada de 50x50x1000 mm, fueron reducidas a 2 cuerpos rectangulares de cerca de 25x50x60 mm, generando un importante gasto que se pudo haber evitado en caso de haber previsto el caso con anterioridad.

Bibliografía

- [1] W.T. Xie, Y.J. Dai, R.Z. Wang, K. Sumathy. (2011). Concentrated solar energy applications using Fresnel lenses: A review. ELSEVIER, Vol. 15, 2588-2606.
- [2] J. KLEIN, M. STERN, G. FRANCHIN. M. KAYSER, C. INAMURA, S. DAVE, J. WEABER, P. HOUK, P. COLOMBO, M. YANG, N. OXMAN, 2015. "Additive Manufacturing of Optically Transparent Glass"
- [3] dezeen Magazine, 2011. Sitio web. <http://www.dezeen.com/2011/06/28/the-solar-sinter-by-markuskayser/>
- [4] Ducasse, septiembre 2019. Sitio web. <http://www.ducasseindustrial.com/sistemas-corredizos-para-cajones.html>
- [5] R. Budynas, J. Nisbett. (2008). SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN. Nueva York, Estados Unidos: McGraw Hill.
- [6] M. Groover. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. Nueva York, Estados Unidos: McGraw Hill.
- [7] D. Askeland, P. Fulay, W. Wright. (2010). The Science & Engineering of Materials. Boston, United States: Cengage.
- [8] Darle W. Dudley. Manual de Engranajes. Diseño, Manufactura y Aplicación de Engranajes. Primera Edición 1973.
- [9] <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/> Explorador solar, Ministerio de Energía, Chile.
- [10] https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es

Anexos

Anexo A: Cubicación

Item	Cant.	Descripción	Ancho / Diámetro [mm]	Alto [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]	Material	Especificaciones	Costo unitario [CLP]	Costo total [CLP]
1		Base de mecanismo	-		-	-	-			
1.1	2	Perfil base 70x30x3, 2.1m	70	30	2100	3	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	19045	38090
1.2	2	Perfil base 70x30x3, 0.8m	70	30	800	3	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	-	-
1.3	8	Rodillo de vinyl	-	-	-	-	Comercial	Rodillo de policloruro de vinilo	7050	56400
1.4	8	Bracket para rodillo	-	-	-	-	Comercial	Bracket de acero laminado	13500	108000
1.5	8	Pasador para bracket 12x150	-	-	-	-	Comercial	Pernería	1470	11760
2		Soporte sistema de desplazamiento								
2.1	1	Anillo tubo de acero doblado D1,6m	38	-	5026	3	Acero ASTM a36	Tubo modificado en máquina dobladora	32990	32990
2.2	1	Anillo tubo de acero doblado D1,2m	38	-	3770	3	Acero ASTM a36	Tubo modificado en máquina dobladora	32990	32990
2.3	2	Placas para soporte de anillos y pilares	10	300	350	-	Acero ASTM a36	Planchas de acero cortadas y perforadas	6560	13120
2.4	4	Perfil para soporte 70x30x2, 0.65m	70	30	650	2	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	19045	38090
2.5	2	Perfil angular 50x50x3, 0.35m	50	50	350	3	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	14505	14505
2.6	4	Perfil angular 50x50x3, 0.25m	50	50	250	3	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	-	-
2.7	2	Perfil angular 50x50x3, 0.1m	50	50	100	3	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	-	-

Item	Cant.	Descripción	Ancho / Diámetro [mm]	Alto [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]	Material	Especificaciones	Costo unitario [CLP]	Costo total [CLP]
3		Sistema de rotación								
3.1	2	eje de acero Inox. D16mm, 0.4m	16	-	400	-	Acero inoxidable	Corte con sierra de cinta y cilindrado	21990	21990
3.2	2	Canal para soporte de rotación 100x50x2	100	50	700	2	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	16800	16800
3.3	4	Canal para sujeción de rodamientos 100x50x2	100	50	25	2	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	-	-
3.4	8	Rodamiento de bolas D16mm UCG	-	-	-	-	Comercial	Incluída la compra del descanso	5900	47200
3.5	10	Descanso rodamiento de bolas FL204	-	-	-	-	Comercial		-	-
4		Sistema de desplazamiento lineal								
4.1	2	Cremallera 0,55m M2.5	25	50	550	-	Acero al carbono 1045	Maquinado con Fresadora	51753	103506
4.2	2	Piñón de cremallera Dp50mm, M2.5	55	-	45	-	Acero al carbono 1045	Cilindrado entorno y maquinado en fresadora	3390	6780
4.3	4	Corredera telescópica	-	-	-	-	Comercial	Acero laminado	5370	21480
4.4	2	corredera oculta	-	-	-	-	Comercial	Acero laminado con cincado brillante	17890	35780
4.5	2	Pefil angular 50x50x3, 0.9m	50	50	900	3	Acero ASTM a36	Dimensionado mediante sierra de cinta	-	-

Item	Cant.	Descripción	Ancho / Diámetro [mm]	Alto [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]	Material	Especificaciones	Costo unitario [CLP]	Costo total [CLP]
5		Sujeción del lente								
5.1	2	Eje de acero Inox. D12mm, 0.2m	12	-	200	-	Acero inoxidable	Dimensionado mediante sierra de cinta	15990	15990
5.2	2	Placa para pivote para eje de 12mm.	-	-	-	-	Comercial		6190	6190
5.3	4	Perfil FRP 50x50x5, 1.2m	50	50	1200	5	Pástico ref. f. de vidrio	Dimensionado mediante sierra de cinta	54642	54642
5.4	2	rodamiento de bolas D12mm UCG	-	-	-	-	Comercial		5000	10000
5.5	4	Perfil de aluminio, priena línea 25	-	-	-	-	Comercial		25579	25579
6		Elementos para sujeción								
6.1	16	Perno Hex. 8x80 (Fijación de la Base)	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.2	20	Perno Hex. 6x40 (Fijación de placas a anillos)	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.3	8	Abrazaderas 1.5"	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.4	8	Perno Hex. 12x60 (Fijación de rodamientos)	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.5	12	Perno Hex. 12x30 (Fijación de rodamientos)	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.6	14	Perno Hex. 6x80 (unión FRP/lente)	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.7	4	Perno Hex. 8x100 (Union FRP/FRP)	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.8	12	Pernos autopercorantes 6x70	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.9	20	Golilla plana D12mm	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-

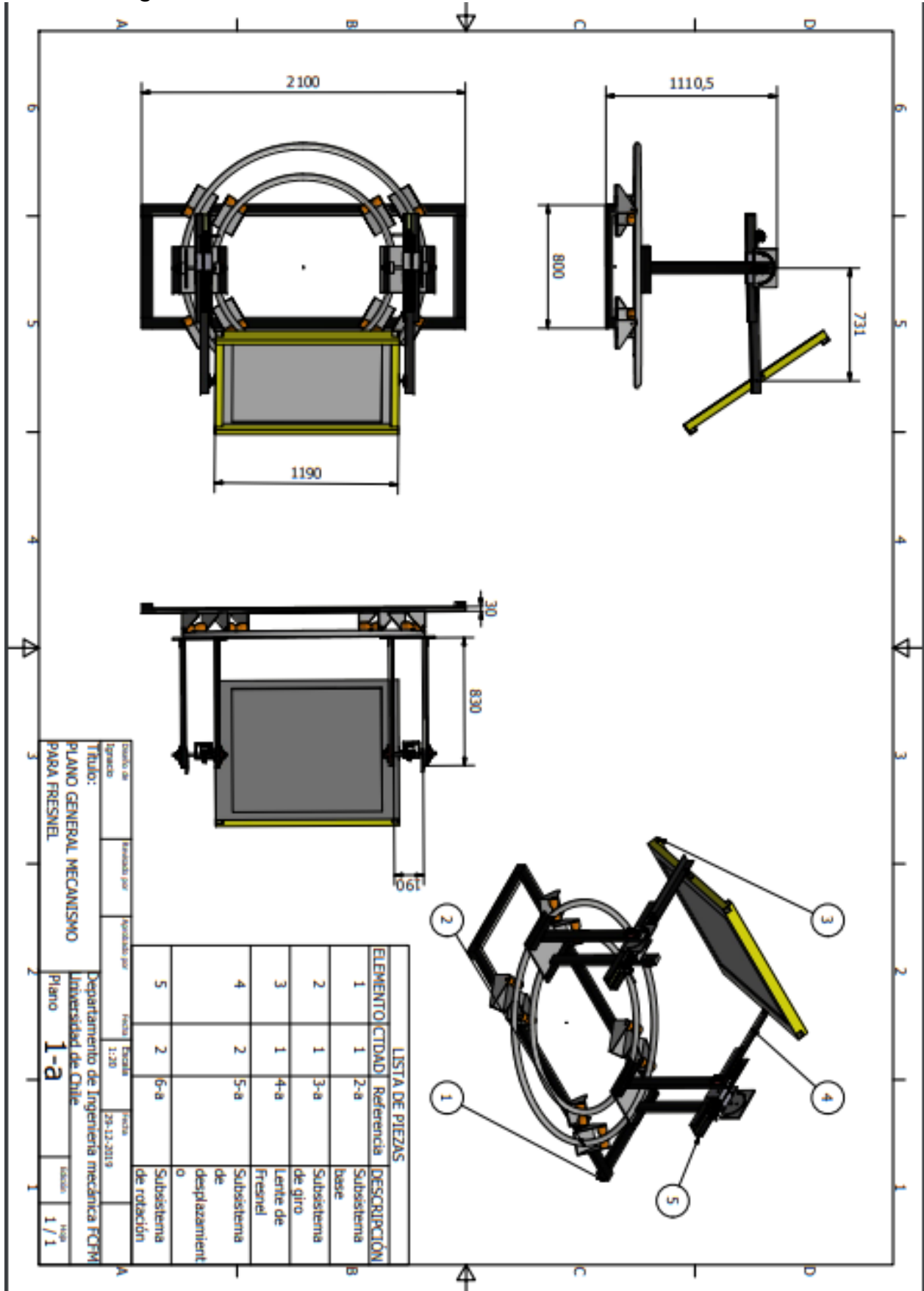
Item	Cant.	Descripción	Ancho / Diámetro [mm]	Alto [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]	Material	Especificaciones	Costo unitario [CLP]	Costo total [CLP]
6.10	40	Golilla plana D8mm	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.11	48	Golilla plana D6mm	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
6.12	20	Tuerca hex. D12mm	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
5.13	20	Tuerca hex. D8mm	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-
5.15	34	Tuerca hex. D6mm	-	-	-	-	Comercial	Pernería	-	-

Anexo B: Planos de fabricación

Listado de planos

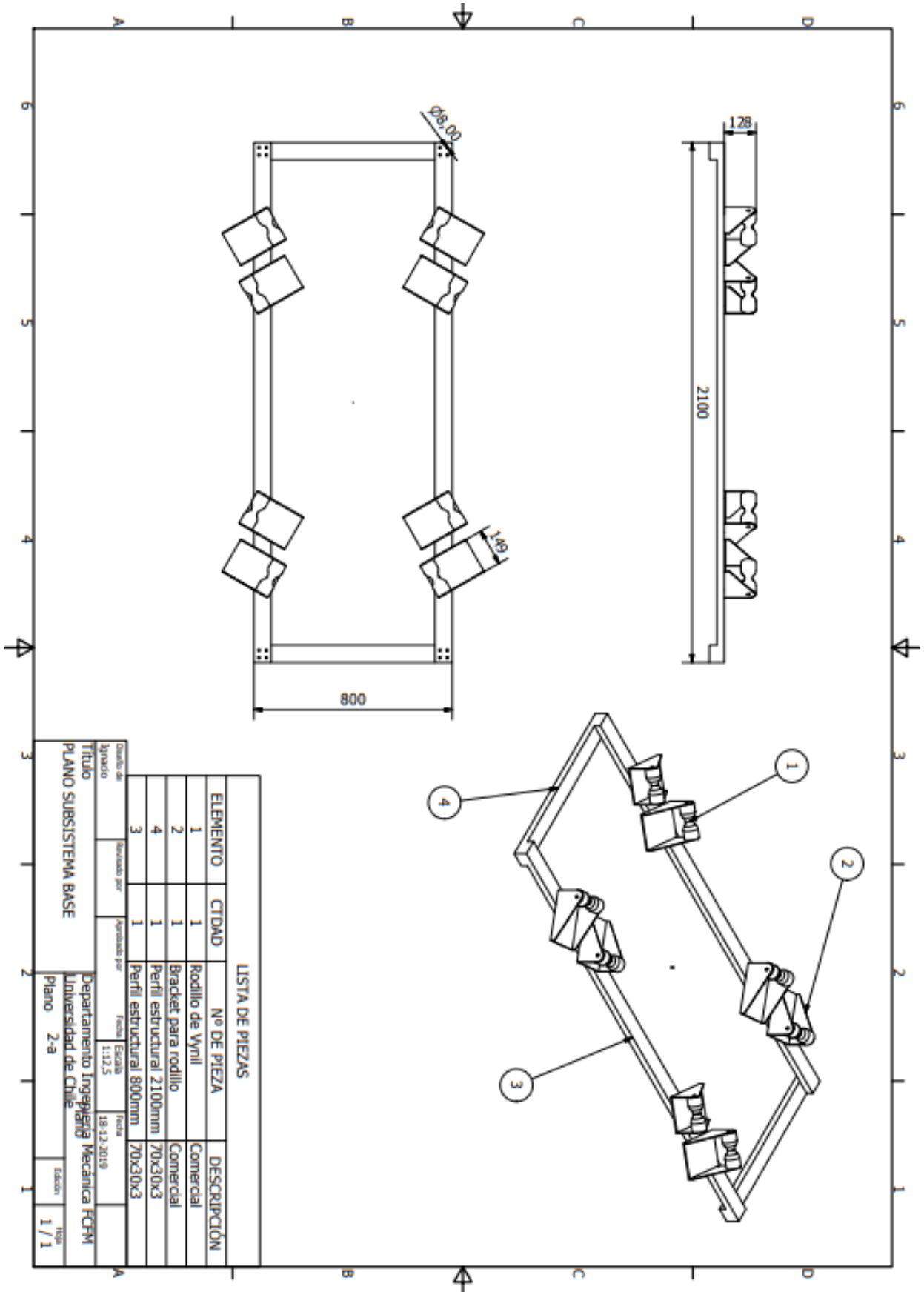
1. 1-a: Plano general de mecanismo de orientación de lente de Fresnel.
2. 2-a: Plano de subsistema base.
3. 3-a: Plano de subsistema giro.
4. 4-a: Plano de conjunto lente/marco.
5. 5-a: Plano de subsistema de desplazamiento.
6. 5-b: Plano para cremallera
7. 5-c: Plano para piñón
8. 6-a: Plano de subsistema de rotación
9. 6-b: Planos para piezas subsistema de rotación.
- 10.7-a: Planos rodamientos empleados.

1-a: Plano general de mecanismo de orientación de lente de Fresnel.

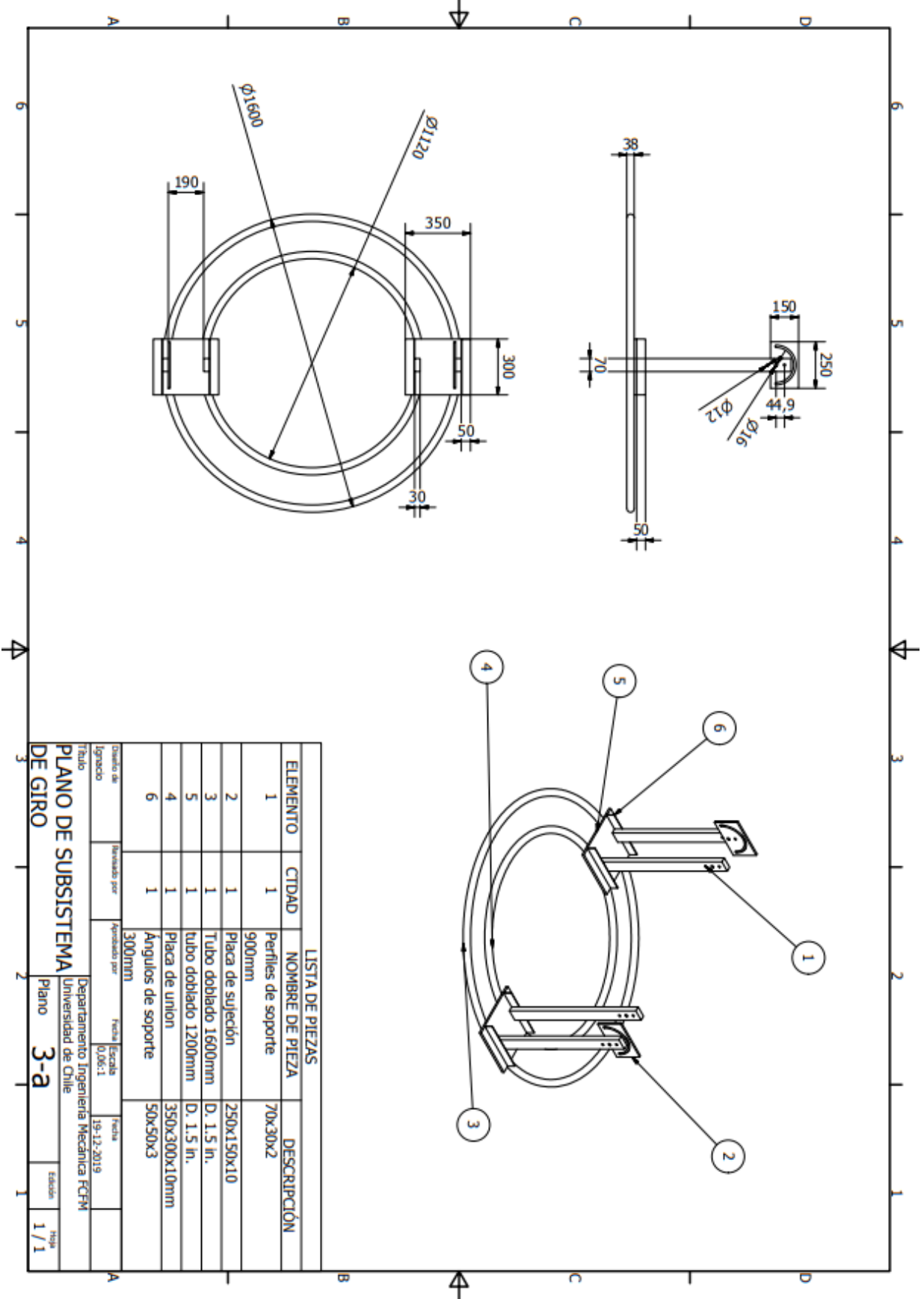


Trabajo	Trabajado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Fecha
			1-20	29-12-2019	
Título: PLANO GENERAL MECANISMO PARA FRESNEL			Departamento de Ingeniería mecánica FCMI Universidad de Chile		
Plano 1-a			Hoja 1 / 1		

2-a: Plano de subsistema "base".



3-a: Plano de subsistema giro.



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTIDAD	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Perfiles de soporte 900mm	70x30x2
2	1	Placa de sujeción	250x150x10
3	1	Tubo doblado 1600mm	D. 1.5 in.
5	1	tubo doblado 1200mm	D. 1.5 in.
4	1	Placa de union	350x300x10mm
6	1	Angulos de soporte 300mm	50x50x3

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Escala	Fecha
Ignacio			0,06:1	19-12-2019	

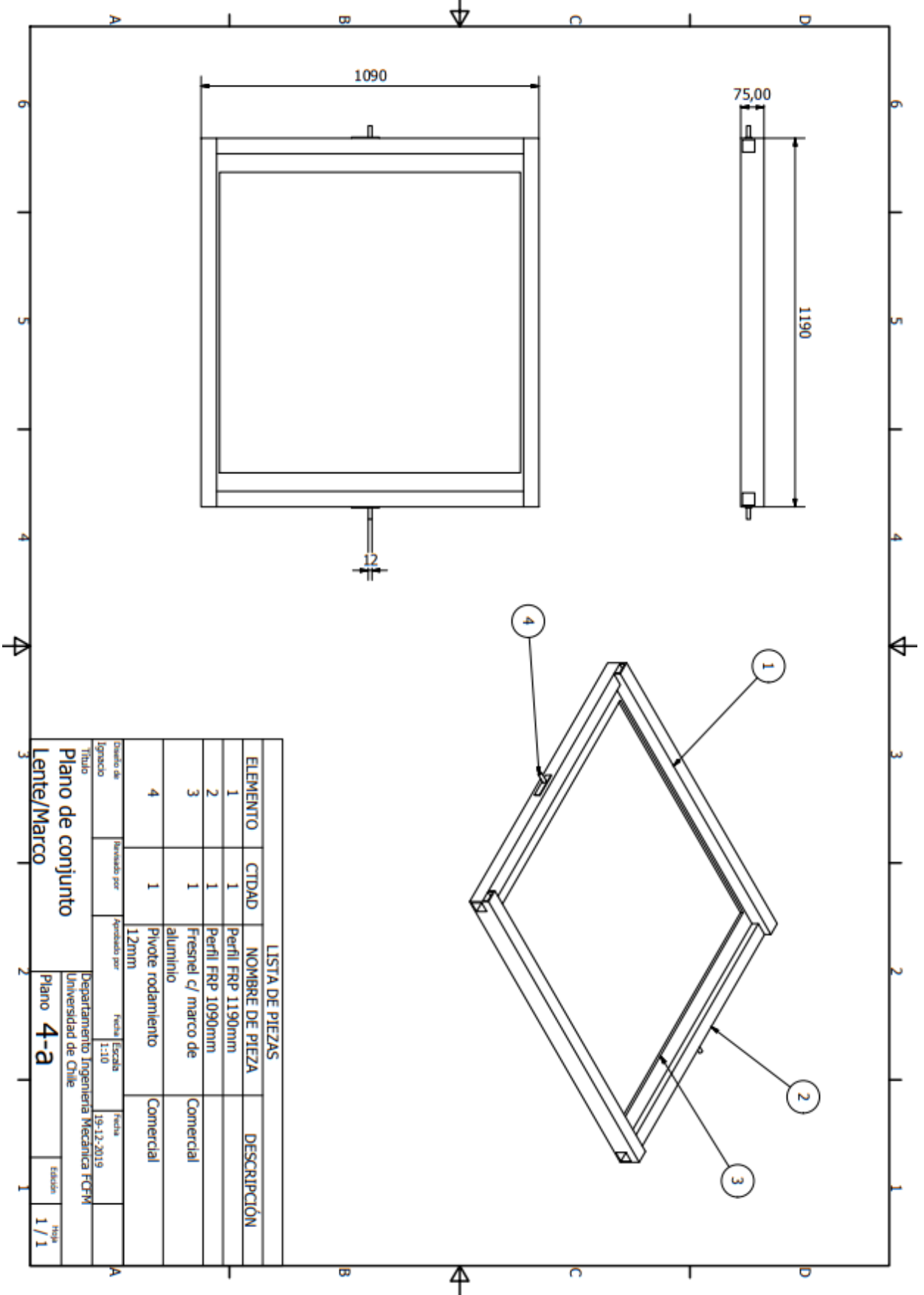
Título: **PLANO DE SUBSISTEMA DE GIRO**

Departamento Ingeniería Mecánica FCFM
Universidad de Chile

Plano **3-a**

Estado **1/1**

4-a: Plano de conjunto lente/marco.

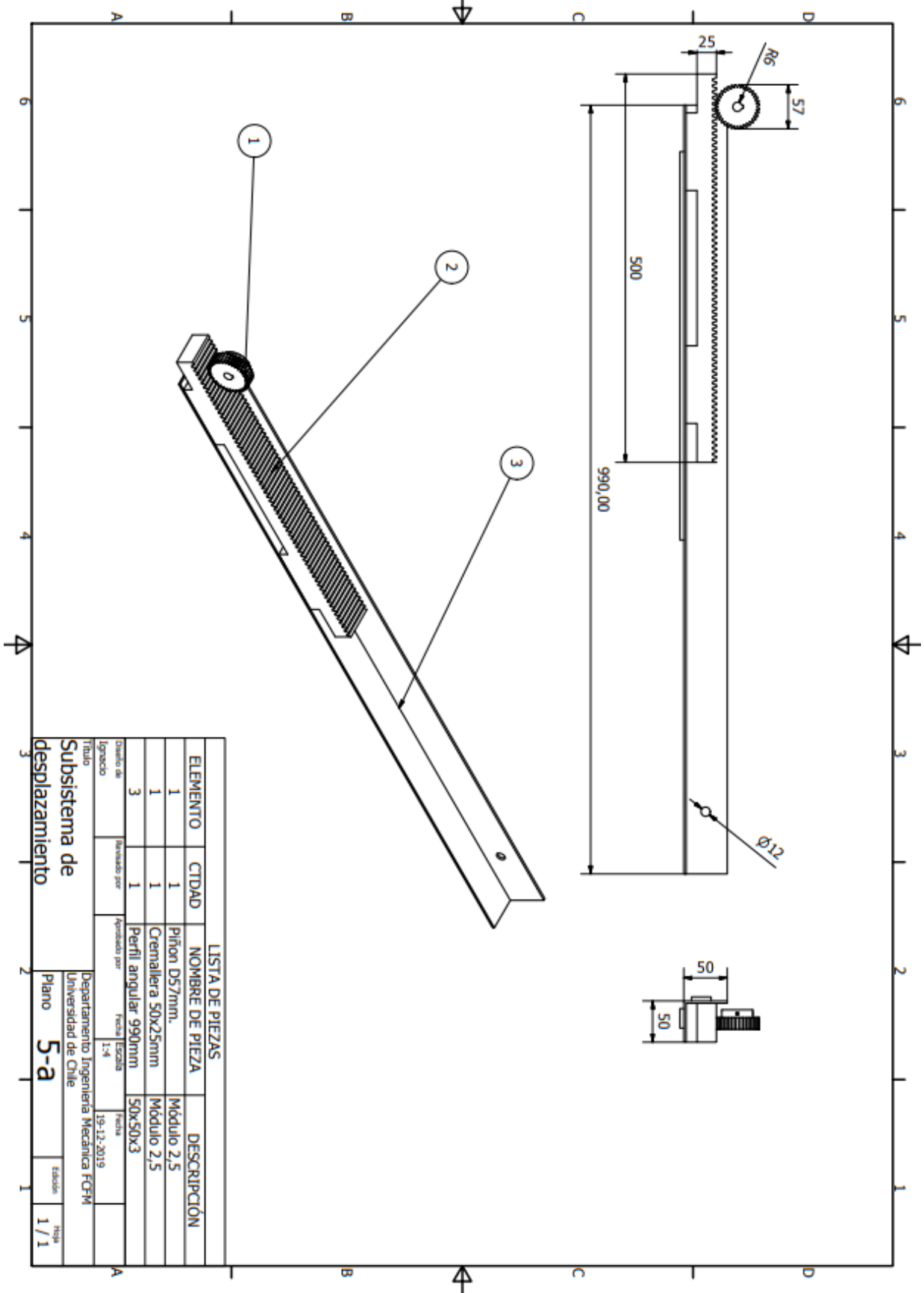


LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Perfil FRP 1190mm	
2	1	Perfil FRP 1090mm	
3	1	Fresnel c/ marco de aluminio	Comercial
4	1	Pivote rodamiento 12mm	Comercial

Autorizado por: Ignacio	Autorizado por: Ignacio	Fecha: 15-12-2019	Escala: 1:10
Título: Plano de conjunto Lente/Marco		Fecha: 15-12-2019	
Departamento: Ingeniería Mecánica FORM		Universidad de Chile	
Plano 4-a		Estado: 1 / 1	Hoja: 1 / 1

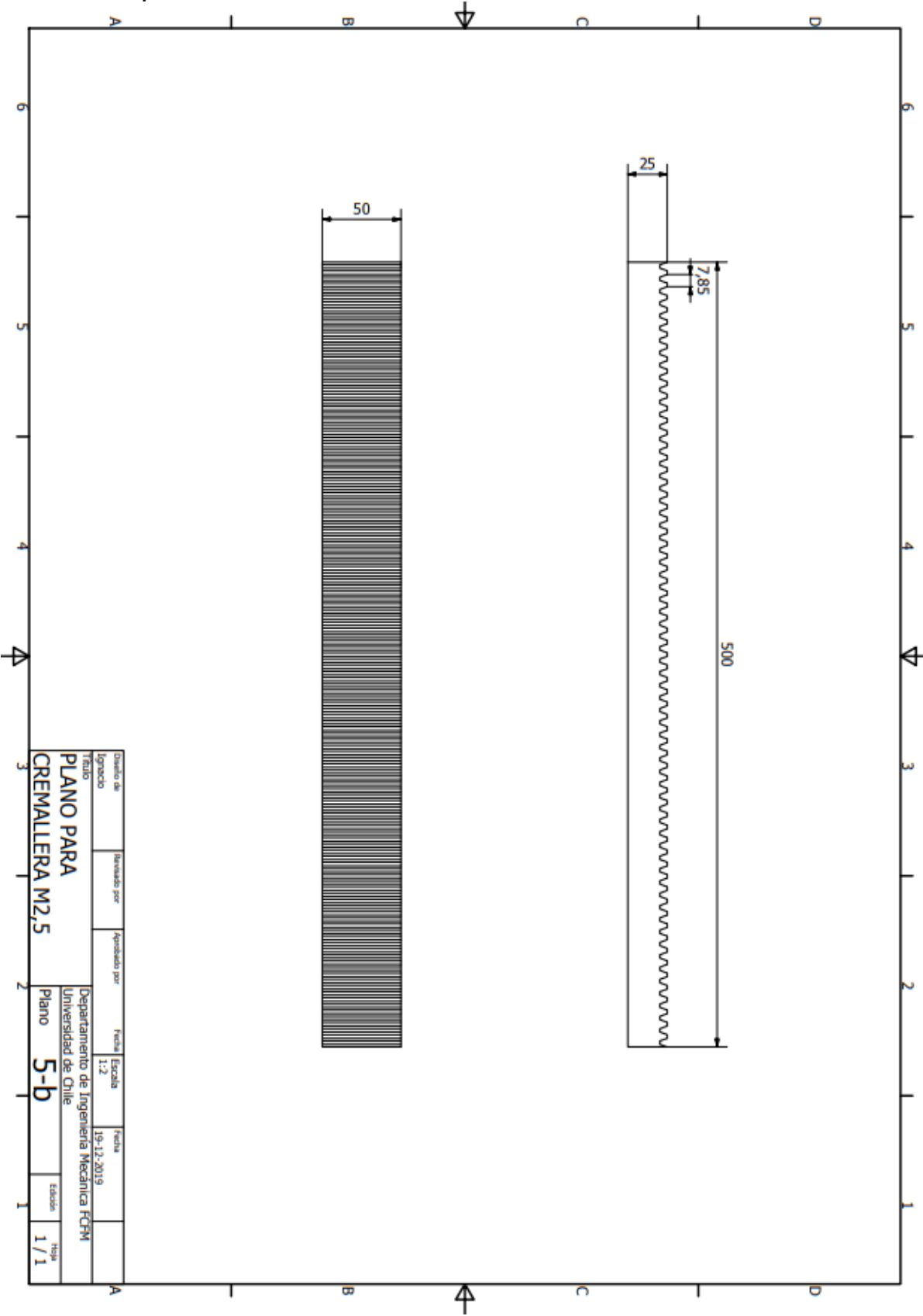
5- a: Plano de subsistema de desplazamiento.



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTIDAD	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCION
1	1	Piñon D57mm.	Módulo 2,5
1	1	Cremallera 50x25mm	Módulo 2,5
3	1	Perfil angular 990mm	50x50x3

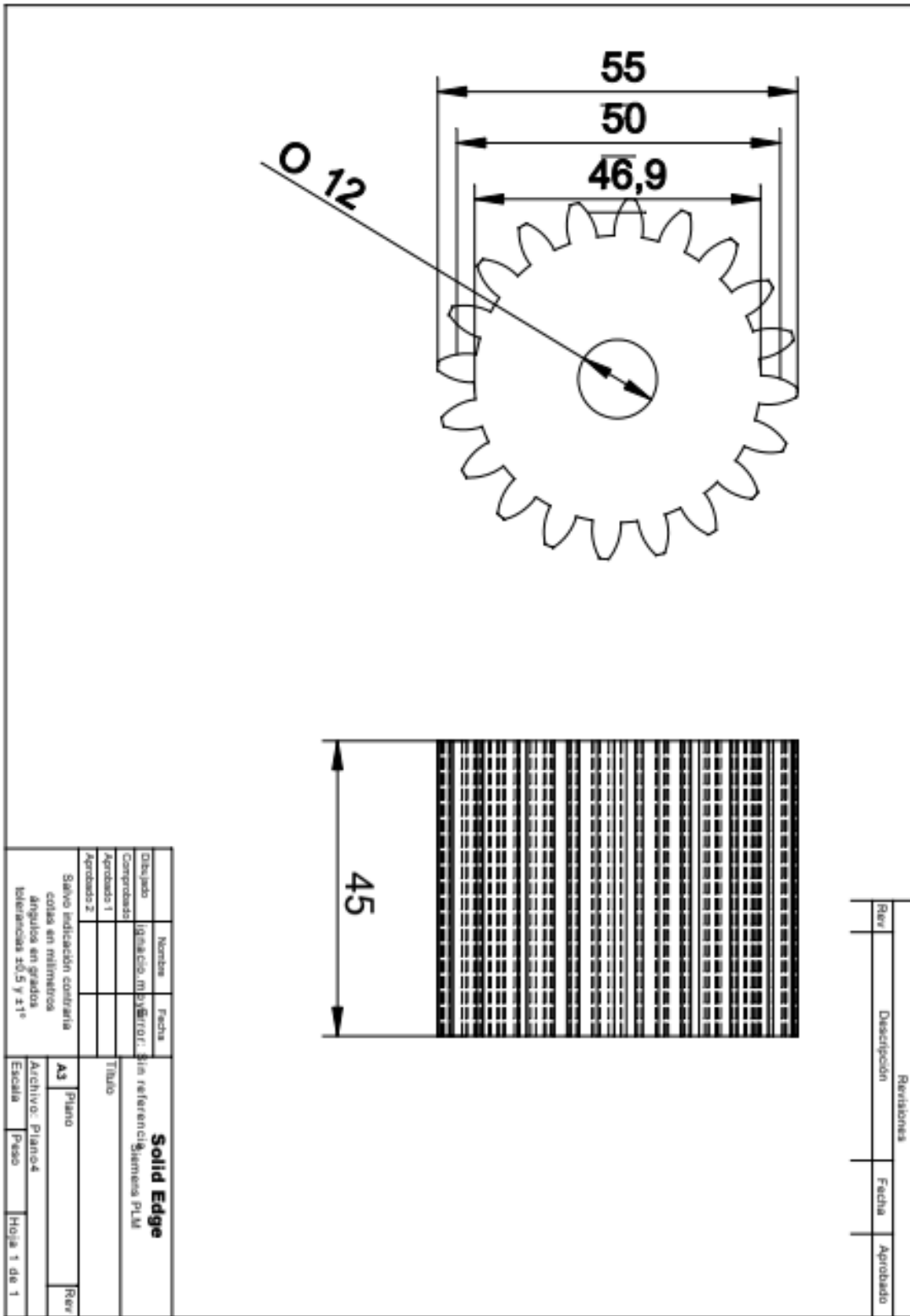
Diseño de Tiquaco	Revisado por []	Aprobado por []	Fecha 1-4	Fecha 19-12-2019
Título Subsistema de desplazamiento			Departamento Ingeniería Mecánica FCFM Universidad de Chile	
Plano 5-a			Escala 1 / 1	Hoja 1 / 1

5-b: Plano para Cremallera

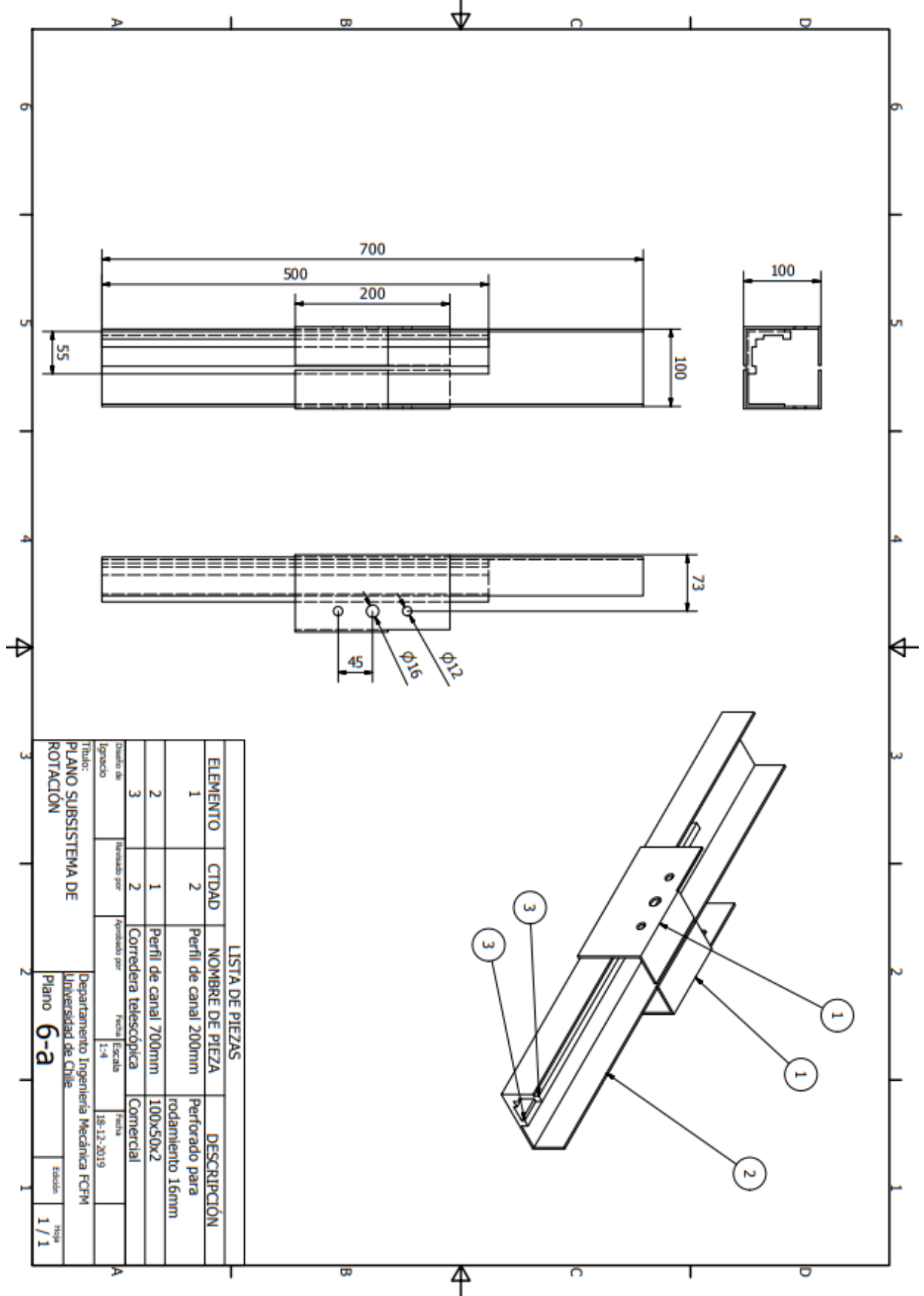


Curso de	Elaborado por	Aprobado por	Fecha	Escala	Fecha	Edición	Hoja
Ignacio			1:2	19-12-2019		1 / 1	
PLANO PARA CREMALLERA M2,5			Departamento de Ingeniería Mecánica FCFM Universidad de Chile		Plano 5-b		

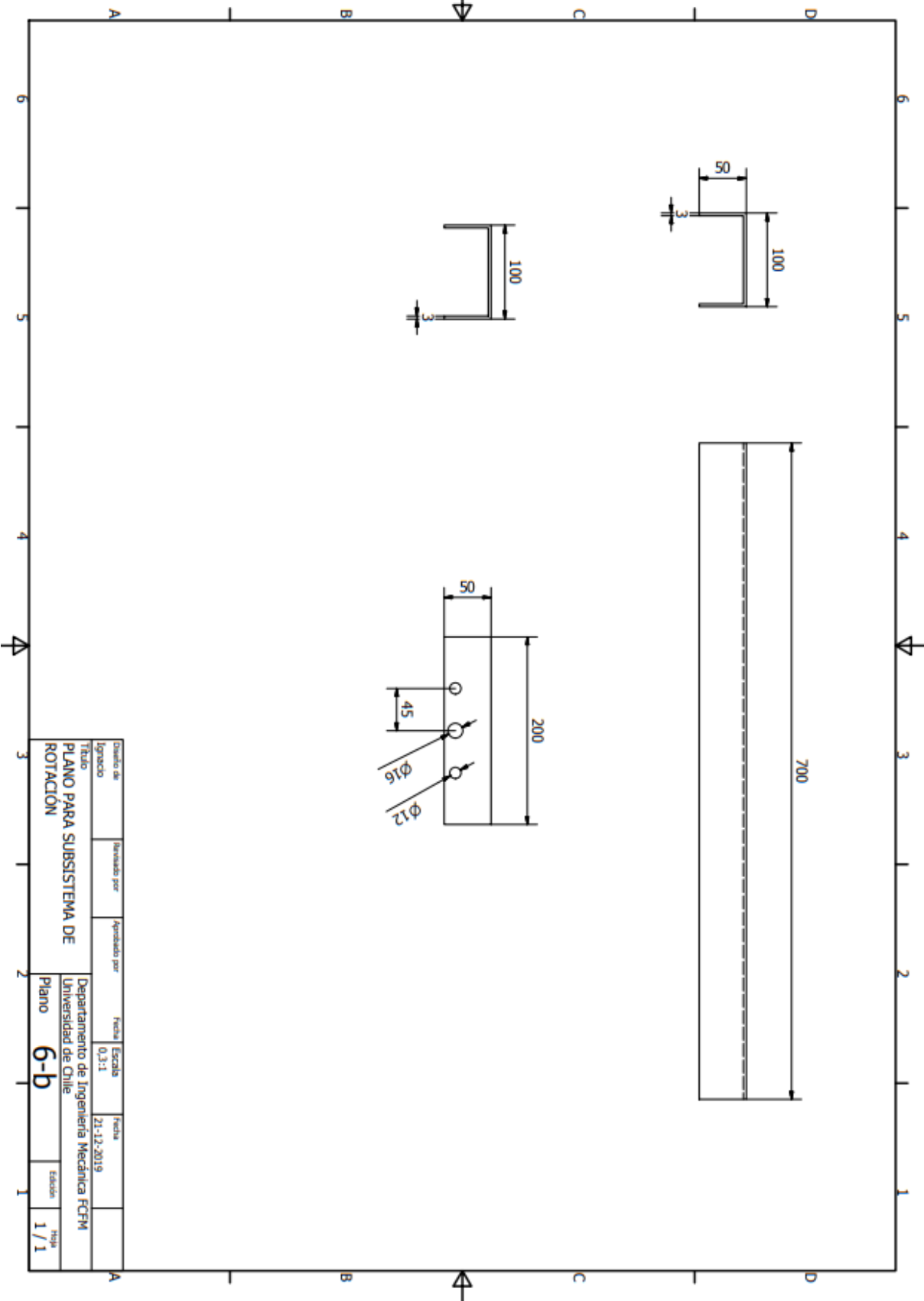
5-c: Plano para Piñón



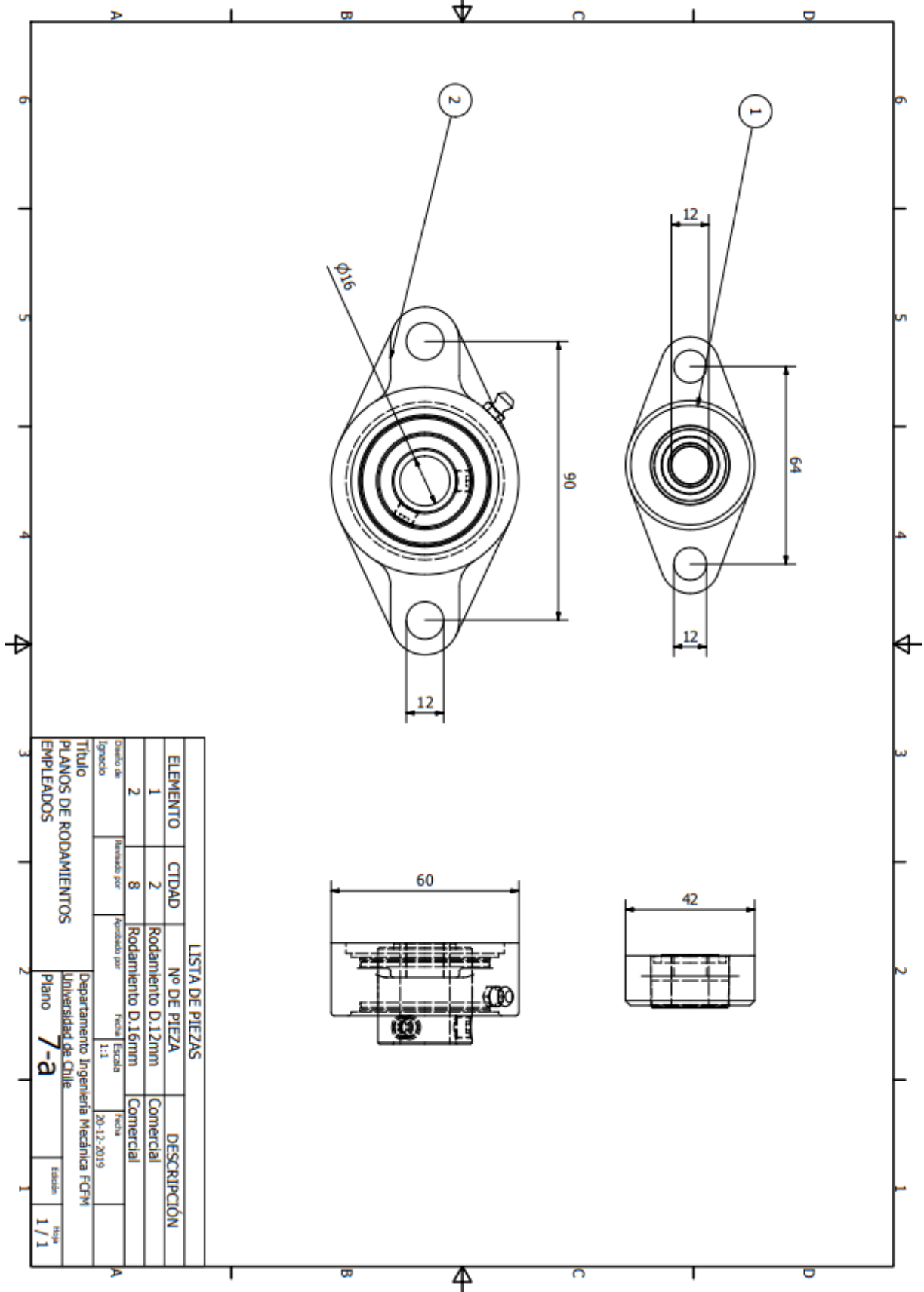
6-a: Plano de subsistema de rotación.



6-b: Planos para piezas subsistema de rotación



7-a: Planos para rodamientos empleados.



Anexo C: Especificaciones técnicas elementos comerciales

Certificado de calidad corredera oculta



CERTIFICADO DE CALIDAD

El Centro de Investigación e Ingeniería de Productos de Ducasse Industrial S.A. declara que la corredera Oculta CS perteneciente a la línea MOBILE, cumple con los requerimientos de durabilidad establecido por las norma UNE-EN 15338 para correderas de cajón y resistencia a la corrosión establecido por la norma UNE-EN 1670



Información de la prueba:

Clasificación: UNE-EN 15338 GRADO 3
Peso Cajón: 35 Kg
Durabilidad: 60.000 ciclos
Realizado en: Laboratorio del Centro de Investigación e Ingeniería de Productos

Información adicional:

Terminación superficial: Cincado brillante
Resistencia a la corrosión moderada ,48 horas en cámara de niebla salina (ASTM-B117-02)
Clasificación UNE-EN 1640 Grado 2 – Utilización en interiores donde pueda producirse condensación.

Raul Cisterna Burgos

Centro de Investigación e Ingeniería de Productos



CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA DE PRODUCTOS

Certificado nº

PL-MB-06-V01_0319

Marzo 2019

Ducasse Industrial S.A.
Nueva las Industrias 201, Quilicura, Santiago, Chile
Tel.: +56 2 4773200
www.ducasseindustrial.com

Ficha de producto corredera telescópica.



CORREDERA TELESCÓPICA CIERRE SUAVE

SISTEMA PARA CAJONES

VENTAS

-  CAPACIDAD hasta 35 Kg.
-  PERFIL U PROFILADO
-  CIERRE SUAVE
-  SISTEMA 33
-  TELESCÓPICA



CORREDERA TL CIERRE SUAVE



CUALIDADES

- | Soletas metálicas en acero laminado 1,2 mm en perfil exterior e intermedio y 1,5 en el interior.
- | Evita golpes y que el cajón quede abierto accidentalmente.
- | Permite la extracción total del cajón.
- | Cierre suave asistido por un sistema de resorte y pistón fricción que retiene el cajón una vez cerrado.
- | Desmontaje con sistema clip.
- | Sistema 33.
- | Tratado y garantizado en 50.000 ciclos de uso.

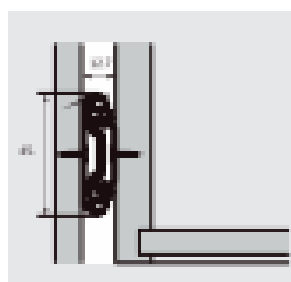
USOS
| Cajones

ventas@ducasseindustrial.cl

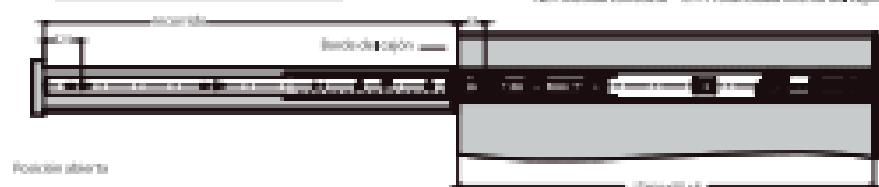
Datos de dimensiones corredera telescópica

CORREDERAS DE
CAJÓN

**CORREDERA
TELESCÓPICA
CIERRE SUAVE**

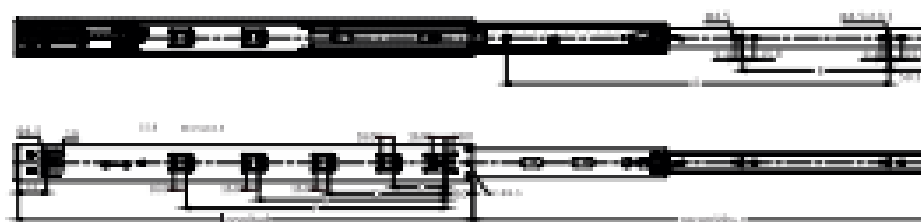


PL = Manilla corredera LT = Profundidad interna del cajón



Posición abierta

Instalación



LONGITUD	RECORRIDO	A	B	C	D	E	F
350	114.7	256	96	64	128		
400	160	320	128	64	128	192	
450	205	384	160	64	128	224	
500	250	448	192	64	128	256	
550	295	512	224	64	128	224	120