



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE SISTEMA DE MOVIMIENTO CARTESIANO Y
PREPARACION DE MATERIAL DE IMPRESORA SOLAR 3D
ALIMENTADA POR ENERGÍA FOTOVOLTÁICA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

TOMÁS ERNESTO MORALES FONSECA

PROFESOR GUÍA:
JAVIER LARRONDO PIÑA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEONEL NUÑEZ LAZO
RUBÉN FERNÁNDEZ URRUTIA

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR

AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil Mecánico

POR: Tomás Ernesto Morales Fonseca.

FECHA: 04/08/2021

PROFESOR GUÍA: Javier Larrondo Piña

DISEÑO DE SISTEMA DE MOVIMIENTO CARTESIANO Y PREPARACION DE MATERIAL DE IMPRESORA SOLAR ALIMENTADA POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Este proyecto se desarrolla en el marco de los programas de memorias multidisciplinarias del programa "Beauchef Proyecta" de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM), de la Universidad de Chile. Se origina a partir de los esfuerzos que existen para obtener nuevos métodos de fabricación de materiales en el área de la ingeniería y arquitectura, aplicando una visión sustentable en el proceso. El equipo que trabajó en este proyecto estuvo compuesto de alumnos memoristas de la carrera de Arquitectura y de Ingeniería Civil Mecánica de la Universidad de Chile.

En el presente informe se da a conocer el proceso de obtención del diseño, tanto del sistema de movimiento cartesiano de la cama de polvo y el diseño del sistema fotovoltaico de alimentación. El sistema de movimiento cartesiano (X, Y, Z) tiene como objetivo el desplazamiento del sistema de cama de polvo, en cuya superficie se encuentra el punto focal del lente de Fresnel, que describe su movimiento en función del movimiento del sistema de concentración solar. Este punto focal en la superficie, después de un tiempo de exposición sinteriza el material, siendo el caso estudiado es arena, ocurre un proceso de vitrificación. La segunda parte del estudio consiste en el dimensionamiento y diseño de un sistema fotovoltaico para la alimentación eléctrica de la impresora solar, así dependiendo su funcionamiento completamente de la energía solar.

El desplazamiento en los ejes cartesianos del sistema de cama de polvo está dado por el accionamiento de motores paso a paso, de los cuales se transforma movimiento rotacional en lineal. El movimiento en X-Y de la cama de polvo está dado por un sistema de ruedas que se desplazan por sus respectivos perfiles de soporte, con una carrera suficiente para que se pueda abarcar el área de impresión máxima que entrega el lente (500X500 [mm]). Para el dimensionamiento de sistema fotovoltaico, se realizó un estudio de distintas bases de datos solares realizados en el territorio nacional, de los cuales se extrajeron: Irradiación [kW/h], Radiación [W/m²] y los ángulos solares. Esto permitió determinar la zona del país donde hay más recurso solar. También fue necesario un cálculo estimativo de la potencia de funcionamiento requerida por la impresora solar, para así poder calcular la capacidad de generación eléctrica del sistema fotovoltaico.

Si bien el trabajo original contemplaba también la construcción de este sistema, debido a la contingencia mundial, no se pudo realizar. Aun así, este proyecto dará pie como antecedente a futuros modelos de impresoras 3D que se basen en materiales no convencionales y que implementen energías renovables no convencionales en su funcionamiento.

Agradecimientos

Primero quisiera partir agradeciendo a Beauchef Proyecta por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y al equipo de trabajo involucrado. Quiero agradecer también a mi profesor guía Javier Larrondo por la guía, apoyo y comprensión durante el desarrollo de mi memoria. Fue un largo proceso, pero se pudo terminar de buena manera.

Especial mención a mi compañero de proyecto y amigo de la vida Ignacio Moya, con quien caminamos lado a lado durante la realización de este proyecto, además de haberme ayudado cuando lo necesité.

Agradezco la oportunidad de trabajar en este proyecto, ya que me permitió expandir mis conocimientos respecto de la implementación de energías renovables en áreas que aún están en desarrollo las cuales a futuro pueden cambiar el curso de la manufactura y como aprovechamos los recursos que la naturaleza nos provee.

Me quiero tomar un párrafo para agradecer a los que dicen que es la familia que uno elige, mis amigos y amigas. Tanto las personas que me acompañan desde mi época como escolar a la gente que conocí en la universidad, cada uno de ellos me ha aportado y me ha ayudado a crecer de maneras que no imaginan, y a pesar que hay gente que ha seguido su propio camino, siempre tendrán un lugar especial en mi corazón. Quiero destacar a dos amigos con los que comparto un vínculo muy especial y que considero como hermanos, Rodrigo Zúñiga y Vicente Silva.

No puedo dejar al pilar que sustenta lo que soy como persona, mi familia. Estoy muy agradecido por todo lo que me han entregado y a pesar que hemos pasado por momentos difíciles, nunca he dejado de amarlos. Mis hermanos, mis abuelos y en especial mi padre y madre, que junto con la crianza que me dieron, se han esforzado toda su vida para entregarme las herramientas para seguir el camino que estoy siguiendo. Estoy consciente del sacrificio que han hecho y espero poder devolverles la mano invitándolos a unas vacaciones en el futuro.

Si tuviera el espacio incluiría a muchas más personas que se merecen estar presentes en esta página, pero ellos saben cómo me siento al respecto, son parte muy importante en mi vida. Y a esa persona que conocí y que llegó a moverme el mundo, espero podamos seguir construyendo camino juntos.

Finalmente quiero agradecer a mi madre, por haberme entregado apoyo incondicional, por ser una persona brillante que admiro mucho y por ser una persona que se entrega a sus hijos sin dudar.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.2 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.2 Motivación	3
2. Metodología	4
2.1 Metodología de etapa de diseño conceptual	4
2.2 Metodología de etapa de ingeniería de detalle.....	5
2.3 Metodología de diseño de sistema fotovoltaico.....	6
3. Antecedentes.....	7
3.1 Programa Beauchef Proyecta	7
3.2 Impresora 3D	7
3.3 Impresora de Markus Kayser	8
3.4 Sinterizado	8
3.5 Energía Solar	9
3.5.1 Radiación Solar	10
3.5.2 Angulos solares.....	10
3.6 Lente Fresnel.....	11
3.6.1 Punto focal	12
3.7 CNC Coordenadas Cardinales.....	13
3.8 Sistemas fotovoltaicos Off grid	14
3.8.1 Tipos de celdas fotovoltaicas	14
3.9 Sistema de concentración solar	15
3.10.1 Módulo de pruebas	17
3.10 Identificación de sistemas y subsistemas	18
3.11 Parámetros de diseño.....	18
4. Resultados	20
4.1 Ingeniería conceptual	20
4.1.1 Marco de soporte de sistema de Concentración Solar.....	21
4.1.2 Sistema de movimiento cartesiano	22
4.1.3 Sistema de reposición de material	24
4.2 Ingeniería de Detalle	26
4.2.1 Memoria de Cálculo de Ingeniería de Detalle.....	27
4.2.1.1 Sistema de desplazamiento en los ejes X-Y.....	27
4.2.1.1.1 Justificación motor	27

4.2.1.1.2 Justificación piñón.....	29
4.2.1.1.3 Justificación soportes de ejes	30
4.2.1.1.4 Justificación de correa de transmisión.	31
4.2.1.1.5 Justificación de ruedas	31
4.2.1.1.6 Cálculo de torsión máxima en ejes	32
4.2.1.1.7 Análisis de esfuerzos en ejes.	33
4.2.1.2 Sistema de desplazamiento en el eje z	35
4.2.1.2.1 Justificación del husillo.....	36
4.2.1.2.2 Estudio de cargas axiales admisibles.....	37
4.2.1.2.3 Estudio de cargas en soporte en extremo superior del husillo	38
4.2.1.2.4 Análisis de esfuerzos en sistema de cama de polvo.....	39
4.2.1.2.5 Justificación motor	41
4.2.1.3 Sistema de movimiento reposición de material.....	42
4.2.1.3.1 Justificación motor	43
4.2.1.3.2 Justificación de rieles.....	43
4.2.1.3.2 Capa de material en cama de polvo.	45
4.2.1.4 Marco estático	46
4.2.1.4.1 Estudio de flexión máxima.....	48
4.2.1.4.2 Análisis de esfuerzos en cama de polvo.	48
4.3 Ensamble final.....	51
4.4 Sistema de alimentación fotovoltaico	52
4.4.1 Calculo de requerimiento eléctrico del sistema.....	52
4.4.1.1 Horas de Sol Equivalentes	52
4.4.1.2 Cantidad de módulos fotovoltaicos	53
4.4.1.3 Capacidad de Acumulación en Baterías.....	55
4.4.1.4 Capacidad de Acumulación real en Baterías	55
4.4.1.5 Calculo Regulador de Carga.....	56
4.4.1.6 Elección de inversor de carga	58
4.4.1.7 Esquema de funcionamiento de sistema de alimentación fotovoltaica	58
4.4.1.8 Modelo CAD de sistema de alimentación fotovoltaica	60
4.4.2 Evaluación de datos para el funcionamiento del sistema fotovoltaico	61
4.4.2.1 Análisis de datos de la II región en sistema de concentración solar	61
4.4.2.1 Simulación de cálculos para las celdas fotovoltaicas.....	62
4.5 Sistema de control y software de modelado e impresión.....	65
5. Conclusiones y recomendaciones	66
6. Bibliografía.....	69

6. Anexos	70
Anexo A	71
Anexo B	73
Anexo C	85

Índice de Tablas

Tabla 1 : Tipos de celdas fotovoltaicas de silicio. Elaboración propia	15
Tabla 2: Características del lente Fresnel. Elaboración propia.....	16
Tabla 3: Dimensiones del sistema de soporte de seguimiento solar. Elaboración propia.....	21
Tabla 4: Parámetros del sistema de desplazamiento en X-Y. Elaboración propia.....	27
Tabla 5: Dimensiones de ruedas de nylon seleccionadas. Elaboración propia.	31
Tabla 6: Propiedades mecánicas del acero ASTM 4340.....	32
Tabla 7: Características físicas del eje analizado.	33
Tabla 8: Propiedades mecánicas del eje analizado.....	33
Tabla 9: Propiedades mecánicas del eje analizado.....	34
Tabla 10.: Parámetros del sistema de desplazamiento en Z. Elaboración propia.	35
Tabla 11: Propiedades de la mesa de polvo.	40
Tabla 12: Resumen de esfuerzos aplicados en mesa de polvo.....	41
Tabla 13: Parámetros de motor para el desplazamiento del sistema de reposición. Elaboración propia.	43
Tabla 14: Propiedades mecánicas del marco estático. Elaboración propia.	49
Tabla 15: Propiedades físicas del marco estático. Elaboración propia.	49
Tabla 16: Propiedades físicas del marco estático. Elaboración propia.	49
Tabla 17: Demandas eléctricas de elementos electromecánicos. Elaboración propia.....	54
Tabla 18: Estudio de modelos de celdas solares. Elaboración propia.	54
Tabla 19: Número de celdas solares calculadas. Elaboración propia.	54
Tabla 20: Datos de radiación medidos por el otro estudiante memorista. [3].	61
Tabla 21: Datos ingresados en plataforma del explorador solar. Elaboración propia.....	63

Índice de ilustraciones

Figura 1: Metodología de etapa del diseño conceptual. Elaboración propia.....	4
Figura 2: Metodología de etapa de Ingeniería de detalle. Elaboración propia.	5
Figura 3: Metodología de diseño de sistema fotovoltaico. Elaboración propia.	6
Figura 4: Izquierda: Sinterizador solar de Markus Kayser; Derecha: Objeto sinterizado por Markus Kayser [5]	8
Figura 5: Izquierda: izquierda: Mediciones de radiación realizadas en 1974; Derecha: Mediciones realizadas en 2013 por CERES.....	9
Figura 6: Ángulos solares relevantes ajustados al Hemisferio Sur.	11
Figura 7: Funcionamiento de un lente de Fresnel	12
Figura 8: Sistema de posicionamiento cartesiano en lenguaje G.....	14
Figura 9: Gráfico de evolución de eficiencia de distintos tipos de celdas fotovoltaicas.[8].....	15
Figura 10: Sistema de concentración solar desarrollado por el otro alumno memorista. [3]	16
Figura 11: Resultados obtenidos con el módulo de pruebas. [3]	17

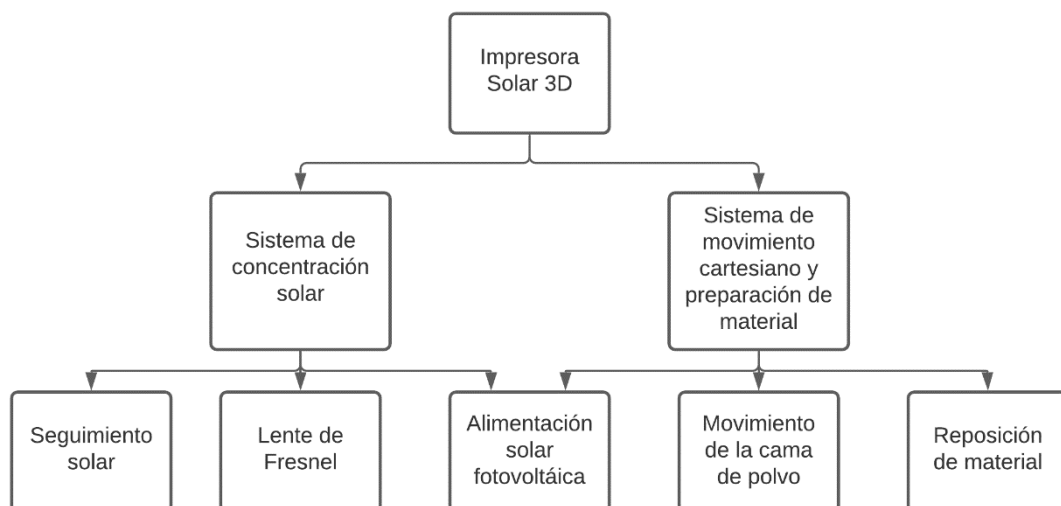
Figura 12: Modelo conjunto del sistema propuesto.....	21
Figura 13: Sistema de soporte para sistema de concentración solar. Elaboración propia.	22
Figura 14: Sistema de desplazamiento en Z de la cama de polvo. Elaboración propia.	23
Figura 15: Sistema de movimiento en los ejes X-Y. Elaboración propia.	24
Figura 16: Sistema de reposición de material. Elaboración propia	25
Figura 17: Sistema de movimiento cartesiano de impresora solar 3D. Elaboración propia.	26
Figura 18: Especificaciones técnicas del motor NEMA 34.....	28
Figura 19: Curva de torque de motor NEMA 34.	29
Figura 20: Especificaciones técnicas del soporte de eje.	31
Figura 21: Especificaciones técnicas de correa de transmisión.....	31
Figura 22: Tensión en XX y esfuerzos de Von Mises en el eje.	34
Figura 23: Esquema del sistema de movimiento en Z. Elaboración propia.	35
Figura 24: Especificaciones técnicas del soporte de husillo.....	39
Figura 25: Malla del análisis de esfuerzos de la cama de polvo. Elaboración propia.	40
Figura 26: Motor paso a paso 8700 Series 34.	41
Figura 27: Curvas de torque del motor 8700 Serie 34.	42
Figura 28: Esquema de sistema de reposición de material. Elaboración propia.....	42
Figura 29: Motor Nema 17	43
Figura 30: Malla de los rieles de movimiento con las fuerzas aplicadas en su soporte.....	44
Figura 31: Especificaciones técnicas del modelo de riel seleccionado.	44
Figura 32: Gráfico de velocidad crítica del eje lineal.	45
Figura 33: Esquema de reposición de material. Elaboración propia.	46
Figura 34: Esquema del marco estático. Elaboración propia.	47
Figura 35: Esquema del marco estático. Elaboración propia.	47
Figura 36: Malla del análisis de esfuerzos del marco estático. Elaboración propia.	50
Figura 37: Esfuerzos de Von Mises en marco estático. Elaboración propia.....	50
Figura 38: Ensamble final de la impresora solar 3D. Elaboración propia. [3]	51
Figura 39: Irradiación solar diaria promedio por región. Elaboración propia.	52
Figura 40: Horas de sol equivalente. Elaboración propia.....	53
Figura 41: Motor Monoblock C100 70A/h	55
Figura 42: Superior: Gráfico de tiempo de descarga del motor seleccionado. Inferior: Gráfico de descarga de motor seleccionado.	56
Figura 43: Esquema de conexión en serie de celdas solares. Elaboración propia.....	57
Figura 44: Inversor de carga seleccionado.	58
Figura 45: Inversor de carga seleccionado.	58
Figura 46: Esquema de instalación completa del sistema de alimentación fotovoltaico. Elaboración propia.....	59
Figura 47: Modelo 3D en CAD del sistema de alimentación fotovoltaica. Elaboración propia...60	60
Figura 48: Potencia del lente Fresnel en el mes de Enero según ángulos de inclinación y azimut. Elaboración propia.....	61
Figura 49: Potencia del lente Fresnel en el mes de Junio según ángulos de inclinación y azimut. Elaboración propia.....	62
Figura 50: Interfaz de explorador solar.[6].....	63
Figura 51: Resultados obtenidos de simulación con datos del sistema fotovoltaico calculado.[6]	64
Figura 52: Interfaz del usuario del software Fusion 360.	65

1. Introducción

A lo largo de las últimas décadas, ha habido una gran variedad de avances en distintas industrias en lo que respecta a nuevos métodos de manufactura y fabricación, dentro de los cuales se puede destacar por su avance y versatilidad, la impresión en 3D. Si bien el concepto de impresión 3D viene desde la década de los 80, es recién en el año 2005 cuando se promueve la iniciativa de generar una impresora 3D de código abierto y autor replicable, dando así paso a la masificación de esta tecnología, no solo en el ámbito profesional.

En el año 2010, preocupado por la escasez de materia prima y por los medios de producción de energía, el arquitecto alemán Markus Kayser desarrollo un experimento utilizando luz solar y arena del desierto, para producir objetos de vidrio mediante un proceso de impresión 3D. Este experimento ayudó a plantear a pregunta sobre el futuro de la fabricación aditiva de materiales mediante una la utilización del recurso energético más eficiente del cual dispone, el recurso solar.

En este trabajo de título se llevará a cabo el diseño del sistema de movimiento cartesiano, el cual estará implementado junto con un sistema de concentración solar para un lente de Fresnel y que en conjunto formarán una impresora a base de energía solar. Este sistema de movimiento tiene por finalidad desplazar el sistema de orientación solar en los 3 ejes cartesianos (X, Y, Z) y así poder cambiar la posiciones del punto focal sin alterar el ángulo en que se orienta este. En el diagrama de bloques a continuación se muestran los subsistemas dentro del proyecto de la impresora solar 3D.



1.1 Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo tanto general como específico asociado a este trabajo.

1.1.2 Objetivo General

Diseñar un sistema capaz de desplazar cartesianamente el sistema de concentración solar para el sinterizado de Materiales Granulados dentro del proyecto de Impresora Solar 3D que se alimente con energía fotovoltaica-

Los objetivos específicos son los siguientes:

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar la máxima dimensión de impresión con el fin de dimensionar el sistema a realizar.
- Determinar los requerimientos eléctricos de la impresora para definir capacidad de alimentación solar.
- Diseñar un sistema de reposición de material en la mesa de polvo, el cual otorgue el espesor de material deseado.
- Programación del movimiento cartesiano del sistema de desplazamiento de la mesa de polvo.
- Analizar datos solares para dimensionamiento de sistema fotovoltaico y diseñar el sistema de alimentación en base a los valores obtenidos del análisis solarimétrico.
- Entregar la planimetría en nivel de ingeniería de detalle del subsistema de desplazamiento y de reposición de material.
- Realizar la cubicación de los materiales estructurales y componentes electrónicos del sistema de desplazamiento y reposición de material.

1.2 Motivación

Una de las principales motivaciones para la realización de este proyecto es incorporar la energía solar como fuente de energía de un proceso de producción de material para su utilización en arquitectura e ingeniería. Este proceso de producción corresponde al sinterizado por concentración de calor mediante un lente de Fresnel, nicho de la energía solar que hoy en día no se encuentra ampliamente explorado.

También se considera como punto importante la utilización y desarrollo de la aplicación de materia prima de alta disponibilidad y bajo costo, siendo posible incluso emplear material reciclado de la actividad humana, y el estudio de las características que se pueden obtener de estos materiales al aplicarle el sinterizado. Esto se puede extender a otros materiales, como los metales y polímeros.

2. Metodología

2.1 Metodología de etapa de diseño conceptual

Previo al comienzo de la etapa de ingeniería conceptual se debe tener en consideración el subsistema de concentración solar diseñado por el otro alumno memorista trabajando en el proyecto. Este punto es de vital importancia, ya que en el presente trabajo de memoria se debe diseñar un sistema el cual se pueda ensamblar de manera funcional al módulo ya diseñado. Se parte con un estudio bibliográfico de los sistemas de sinterizado con cama de polvos tales como: SLS (Selective Laser Sintering), SLA (Selective Laser Ablation), etc.

Mediante el análisis de estos sistemas se pueden comenzar a establecer los parámetros de diseño del sistema. Una vez determinados se comienzan a identificar los materiales y elementos mecánicos necesarios para el proyecto y ver si estos cumplen con los parámetros técnico económico. En esta etapa se definieron dos. Esta etapa culmina con la confección de un dibujo conceptual del sistema. En la figura 1, se presenta un diagrama que resume la metodología de la ingeniería conceptual:

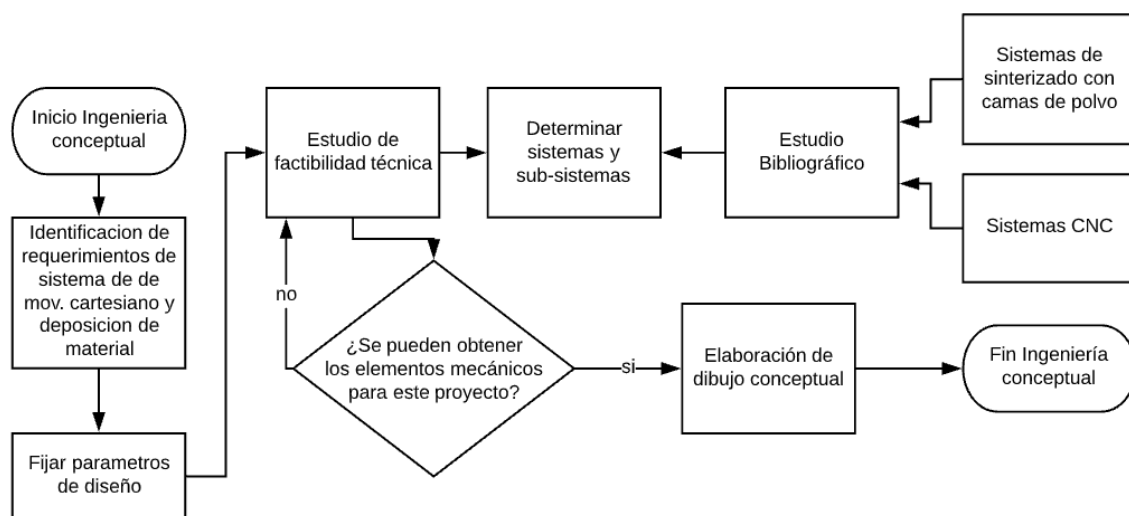


Figura 1: Metodología de etapa del diseño conceptual. Elaboración propia.

2.2 Metodología de etapa de ingeniería de detalle

Se inicia esta etapa con el diseño de cada pieza de cada uno de los sub-sistemas determinados en la etapa anterior mediante el software de modelamiento Solid Works. Se diseñaron los elementos identificados en el estudio de factibilidad técnica económica, también considerando como factor de diseño la restricción de tiempo, las herramientas disponibles en el taller para la fabricación y la accesibilidad a los materiales. Una vez modeladas las piezas por separado para el ensamblaje de estas y se revisa que no existan incongruencias geométricas, y en caso que así fuese se pasa al rediseño de las partes.

Una vez diseñado cada sub-sistema se pasa al montaje completo, pudiendo necesitarse nuevamente rediseño de partes, haciendo esta etapa de carácter iterativa. En la Figura 2 se muestra un diagrama que resume la metodología a seguir en la etapa de ingeniería de detalle:

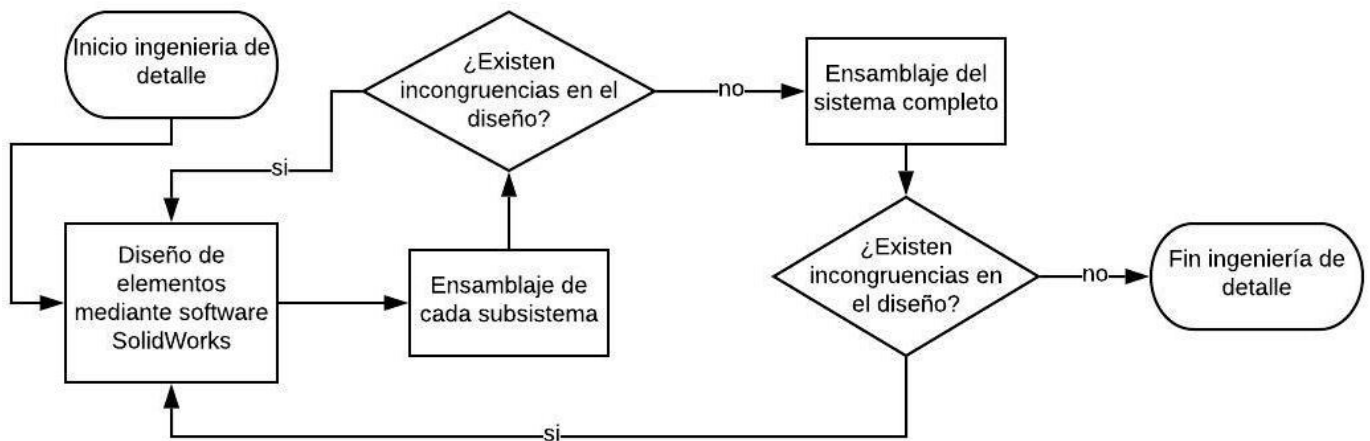


Figura 2: Metodología de etapa de Ingeniería de detalle. Elaboración propia.

2.3 Metodología de diseño de sistema fotovoltaico

Existen diversas metodologías de cálculo para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, en las cuales se pueden incluir distintos tipos de factores, ya sea perdida por distancia en los conductores, datos meteorológicos de la zona estudiada, o eficiencia de los componentes, entre otras.

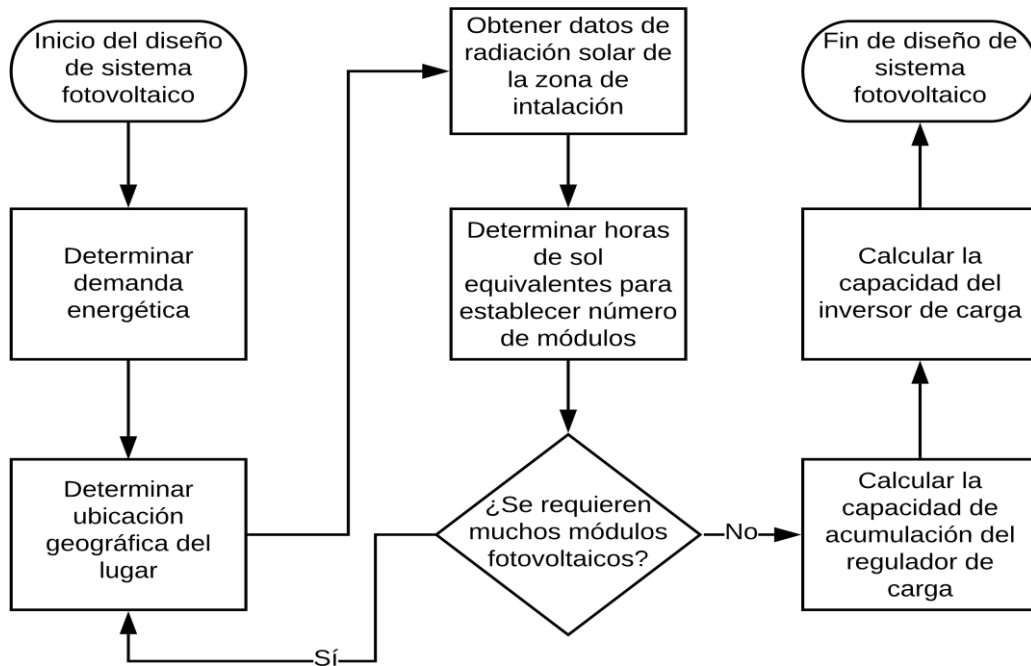


Figura 3: Metodología de diseño de sistema fotovoltaico. Elaboración propia.

Dado que se espera que este sistema funcione de manera independiente, se realizarán los cálculos para la instalación de un sistema fotovoltaico off-grid (sin conexión a la red). Para esto se debe determinar la demanda energética del equipo, vivienda o sistema al cual este implementado. Al no ser una instalación fotovoltaica de grandes dimensiones, no se considerarán las pérdidas por distancia de conductores, pero si se incluirán distintos valores según las condiciones atmosféricas de la zona estudiada. En la figura 3, se presenta un diagrama que resume la metodología de diseño de sistema fotovoltaico:

3. Antecedentes

3.1 Programa Beauchef Proyecta

Beauchef Proyecta, es la nueva Área de Proyectos Multidisciplinarios de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, iniciativa inserta dentro del proyecto "Una nueva Ingeniería para el 2030". Tiene por objetivo que los estudiantes participen en el desarrollo de proyectos de ingeniería multidisciplinarios desde su concepción hasta el producto final.

Los proyectos inmersos en esta área se desarrollan en distintas etapas desde la concepción, diseño, evaluación y construcción dentro de los ramos ya establecidos en las mallas curriculares de las distintas carreras, los que se conjugan de manera que luego de algunos semestres se obtiene un proyecto finalizado y de trabajo multidisciplinario.

3.2 Impresora 3D

Una impresora 3D es una máquina capaz de realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador, descargado de internet o recogido a partir de un escáner 3D. Comúnmente se ha utilizado en la prefabricación de piezas o componentes, en sectores como la arquitectura y el diseño industrial. En la actualidad se está extendiendo su uso en la fabricación de todo tipo de objetos, modelos para vaciado, piezas complicadas, alimentos, prótesis médicas (ya que la impresión 3D permite adaptar cada pieza fabricada a las características exactas de cada paciente), etc.

La impresión en 3D se define como a los procesos en los cuales se acumula secuencialmente material en una plataforma por diferentes métodos de fabricación, tales como polimerización, inyección de aporte, inyección de aglutinante, extrusión de material, cama de polvo, laminación de metal, depósito metálico.

Entre los modelos comerciales existen los que utilizan las siguientes técnicas:

- Sinterización láser: Un suministrador va depositando finas capas de polvo de diferentes metales (acero, aluminio, titanio, etc.) y un láser a continuación funde cada capa con la anterior.
- Estereolitografía: Resina fotosensible es curada con haces de luz ultravioleta, solidificándola.
- Compactación: Masa de polvo que se compacta por estratos.
- Adición o inyección: Material se añade por capas.

3.3 Impresora de Markus Kayser

El desarrollo del proyecto parte inspirado en la impresora 3D desarrollada por el arquitecto alemán Markus Kayser, la cual fue llevada a prueba el año 2010. Su diseño consistía en la utilización de un lente de Fresnel el cual concentra la energía solar y funde silicio presente en la arena que se transforma en vidrio una vez se enfría (proceso más conocido como sinterizado). En la figura 4 se puede observar el modelo desarrollado por Markus Kayser.

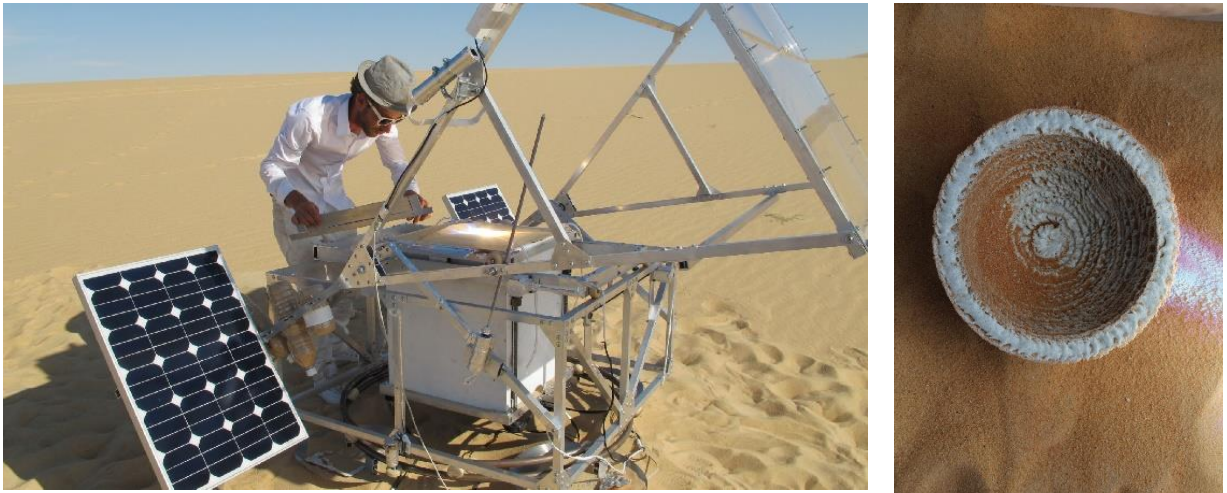


Figura 4: Izquierda: Sinterizador solar de Markus Kayser; Derecha: Objeto sinterizado por Markus Kayser [5]

3.4 Sinterizado

El proceso del sinterizado se utiliza para la fabricación de piezas sólidas moldeadas, el cual consiste en la compactación a altas presiones de polvos (metálicos y/o cerámicos) para luego realizar un tratamiento térmico de estos a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla. Este procedimiento de fabricación proporciona una alta cohesión entre los materiales utilizados en el polvo, mediante fuertes enlaces entre partículas formando un bloque con la forma determinada por el molde.

Con este proceso se consiguen piezas con características imposibles de conseguir mediante métodos tradicionales (gran parte de las características obtenidas a partir de la sinterización no se pueden obtener mediante el procedimiento de la fundición), se alcanzan formas de alta complejidad, que no pueden ser generadas basadas en el arranque de viruta, además de no producirse material sobrante (no hay viruta, ni otros desechos) por lo que se califica por algunas personas como un proceso de fabricación verde.

Las piezas generadas por sinterizado presentan porosidades las cuales permiten un eventual recubrimiento superficial resistente al desprendimiento y la posibilidad de ser

rellenados con elementos lubricantes, dado que dichos elementos quedan fijados gracias a las mismas porosidades. Estas piezas también son más ligeras (entre un 5% a 25% menos) que el mismo componente sin micro porosidades internas. [1][2][4]

En resumen, las ventajas asociadas al proceso de sinterizado son:

- Obtención de piezas a temperaturas relativamente bajas (ahorro energético)
- Permite la obtención de las piezas directamente con su forma definitiva (rápido procesamiento)
- No se generan residuos y las piezas al ser porosas pueden ser recubiertas con antioxidantes o lubricantes.

3.5 Energía Solar

La energía solar es una energía de carácter renovable, la cual se basa en el aprovechamiento de la radiación electromagnética proveniente del sol. Debido a la abundancia de esta energía, se calcula que la superficie terrestre recibe 120,000 [TW] de irradiación solar, lo que corresponde a la 20,000 veces más potencia de la necesaria en todo el planeta.

Para un punto dado en la superficie del planeta, la cantidad de radiación global u horizontal total que puede ser medida por un piranómetro de banda ancha es dependiente del estado particular del sol (variabilidad solar que se da en ciclos de 11 años) la configuración orbital actual (oblicuidad, excentricidad y precesión de los equinoccios), el ángulo solar cenital, y más importante el número de moléculas de aire a lo largo de la trayectoria (directamente relacionada con la presión superficial), vapor de agua, ozono, nubes y partículas). Solo recientemente debido al desarrollo en la tecnología satelital utilizada para las mediciones se ha podido obtener una distribución detallada en mapas de radiación global.

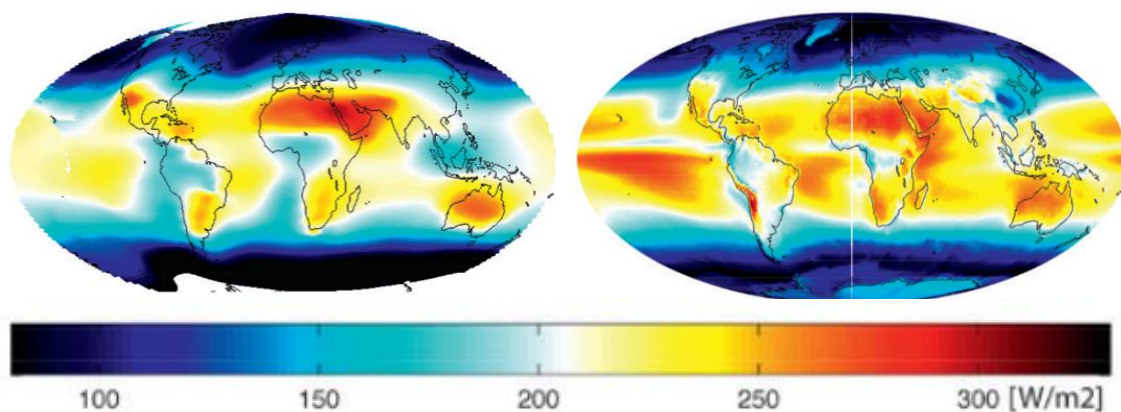


Figura 5: Izquierda: izquierda: Mediciones de radiación realizadas en 1974; Derecha: Mediciones realizadas en 2013 por CERES

En la figura 5 se muestra en la imagen de la izquierda la distribución global de radiación realizado con datos históricos realizado en el año 1974, en la derecha se observan las mediciones de un sistema de satélites de CERES realizado el año 2013.

Dentro de los valores atmosféricos medidos, en este informe hay 3 parámetros respecto a los efectos del sol en los que se aplicará un mayor enfoque: Radiación solar, Irradiancia Solar y ángulos solares.

3.5.1 Radiación Solar

Corresponde a la potencia por unidad de área recibida del sol [W/m²] en forma de radiación electromagnética. A menudo esta se integra en un período de tiempo para informar la energía radiante emitida en el entorno [J/m² o kW/m²]. Existen tipos de radiación o irradiancia solar:

- Radiación normal directa (DNI): Se mide en la superficie de la Tierra en un lugar determinado en una superficie perpendicular al Sol. La radiación directa es igual a la radiación extraterrestre sobre la atmósfera menos las pérdidas atmosféricas debidas a la absorción y dispersión.
- Radiación horizontal difusa (DHI): Es la radiación en la superficie dispersa por efectos de la atmósfera.
- Radiación horizontal global (GHI): Es la radiación total en una superficie horizontal y está definida como la suma de la radiación directa, corregida por el ángulo cenital (θ_z) y la radiación difusa.

$$GHI = DHI + DNI * \cos\theta_z \quad (1)$$

Existen diversas formas de definir la cantidad de energía que se dispone, pero es necesario aislar los factores que si tienen efecto que se puede aprovechar para la generación y concentración de energía. Por esto, la ecuación X relaciona la irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano ubicado al exterior de la atmósfera terrestre, G_0 (1,3 kW/m²), el ángulo cenital θ_z y el factor de transmisión de la atmósfera:

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

3.5.2 Ángulos solares

El ángulo cenital es el ángulo formado por la dirección Tierra-Sol y la vertical local del observador, variando entre $\pi/2$ (salido o puesta del Sol en terreno plano) y 0 a mediodía solar. Este ángulo se puede expresar en términos del ángulo horario, latitud y declinación solar.

$$\cos \theta_z = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos \omega \quad (3)$$

Donde \varnothing es la latitud del observador (negativa para el Hemisferio Sur y positiva para el Hemisferio Norte, ω es el ángulo horario que indica el desplazamiento angular aparente del sol de oeste a este y δ es la declinación solar del eje de rotación de la Tierra, que forma un ángulo constante de aproximadamente 23.45° .

En la figura 6 se muestran los ángulos relevantes para describir el movimiento aparente del Sol y la orientación de una superficie.

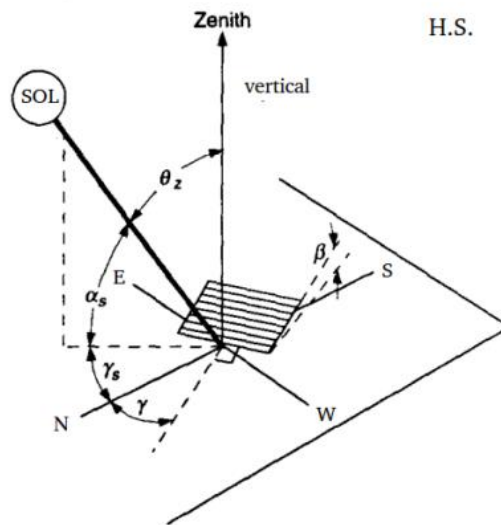


Figura 6: Ángulos solares relevantes ajustados al Hemisferio Sur.

3.6 Lente Fresnel

El lente Fresnel, que obtiene su nombre de su inventor, el físico francés Augustin-Jean Fresnel, es un diseño que puede presentar dimensiones elevadas para una corta distancia focal y gran apertura. A diferencia de los lentes convencionales, para grandes tamaños el lente Fresnel presenta un peso y volumen considerablemente menor. Esto se logra manteniendo los radios de curvatura de los lentes, además de separarlos entre si concéntricamente, dándole así un aspecto de escalonamiento al lente

Dentro de las distintas clasificaciones que existen de los lentes Fresnel, se encuentran los lentes ópticos anidólicos (también llamados lentes ópticos sin imagen) que se relacionan con la transferencia óptima de radiación de luz entre una fuente y un objeto. Dentro de los beneficios que tiene la utilización de este tipo de lentes en sistemas de concentración solar se encuentran:

- Ángulos de aceptación más amplios que dan como resultado tolerancias más altas y por lo tanto eficiencias más altas. Esta mayor tolerancia permite que los

sistemas puedan presentar imperfecciones de manufactura y ensamblaje y el seguimiento solar sea más impreciso, sin afectar sustancialmente la radiación solar a captar

- Mayor cantidad de concentración solar, resultando en la disminución de las pérdidas térmicas y aumento de las temperaturas alcanzadas.
- Posibilidad de una iluminación uniforme del receptor, mejorando la transferencia de calor.

En la figura 7 se puede observar el funcionamiento de un lente Fresnel:

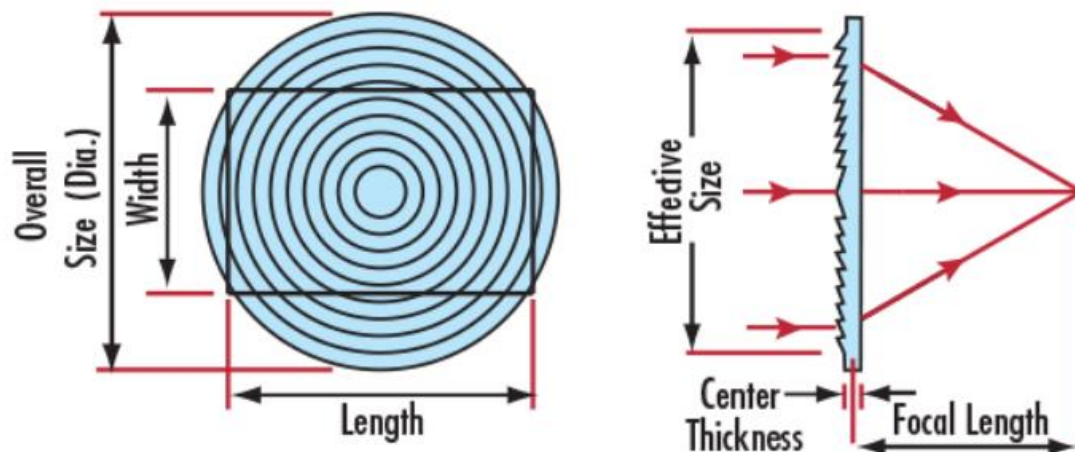


Figura 7: Funcionamiento de un lente de Fresnel

3.6.1 Punto focal

En cada lado de una lente de distancia focal positiva, en la que se enfoca la luz se llaman “conjugados”. Los lentes Fresnel en su mayoría utilizan el conjugado de distancia focal e infinito, con el lado acanalado hacia el conjunto infinito. Los valores de los conjugados para una distancia focal dada (f) se pueden determinar por la ecuación a continuación:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o} \quad (4)$$

Donde:

- i = Distancia de la imagen
- o = Distancia del objeto

La mayoría de los lentes son correctos para conjugados en la proporción 3:1, con el lado acanalado hacia el conjugado más largo. Aunque un lente puede estar diseñado para conjugados en alguna proporción en alguna proporción en particular también se puede usar en otras relaciones conjugadas finitas. El error introducido es generalmente razonablemente pequeño.

3.7 CNC Coordenadas Cardinales

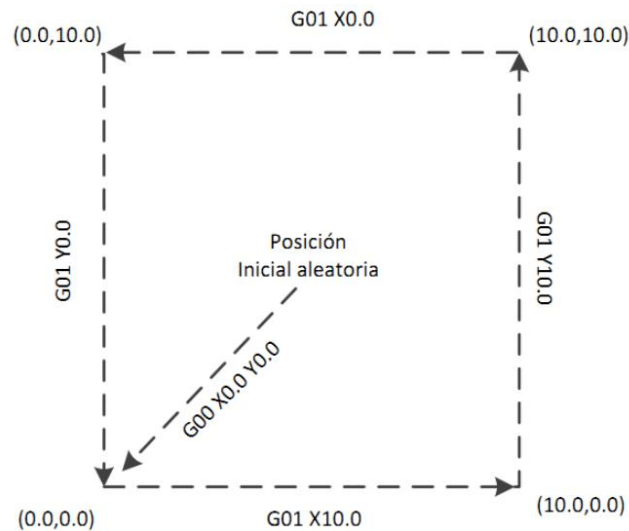
El sistema de coordenadas cartesiano es el sistema fundamental utilizado para describir el movimiento de la herramienta y la pieza de trabajo dentro de un espacio tridimensional. Las máquinas CNC utilizan números para ubicar un punto particular a lo largo de los ejes X, Y, Z. Realizan una serie de instrucciones, una tras otra, para mecanizar piezas y/o crear piezas de dimensiones muy precisas.

Las máquinas CNC utilizan coordenadas incrementales o absolutas para moverse de una ubicación a otra. Con coordenadas incrementales, la posición actual actúa como el origen para la siguiente posición. Con las coordenadas absolutas, el origen permanece en una ubicación fija, y cada nueva ubicación se calcula a partir de esa posición fija. La mayoría de las máquinas CNC pueden moverse a lo largo de varios ejes a la vez para realizar operaciones de contorno. Los ejes en cualquier máquina CNC están determinados por los estándares establecidos. El eje Z es siempre paralelo al husillo de la máquina. En un centro de mecanizado, el husillo sujeta la herramienta de corte. En un centro de giro, el eje sostiene la pieza de trabajo giratoria. Hoy en día, las máquinas CNC pueden crear formas complejas como círculos, curvas y conos.

3.7.1 Sistemas CAD y código G.

En el sistema de CAD se utiliza el modelamiento 3D de las piezas que se desea maquinar, mediante herramientas de dibujo y modelado de sólidos. Para la fabricación aditiva 3D se utilizan principalmente archivos con la extensión STL. ("STereo Lithography"). Actualmente los equipos CNC utilizan lenguajes conversacionales junto a los sistemas CAD para producir piezas con mucha mayor rapidez y calidad.

El código G es un formato de texto que se puede realizar manualmente o generarse por un script. El código G describe el movimiento y las diferentes operaciones que una máquina CNC puede realizar para fabricar un objeto, pudiéndose así especificar la posición en los ejes cardinales (X, Y, Z). En la figura 8 se puede observar el sistema de códigos y de posicionamiento que utiliza el código G.



<code>G90 G71</code>	(cotas absolutas referidas al punto 0,0; Programación en mm)
<code>G00 X0.0 Y0.0</code>	(posicionamiento rápido lineal al punto 0,0 del plano XY)
<code>G01 X10.0</code>	(movimiento lineal de 10mm en la dirección X positiva)
<code>G01 Y10.0</code>	(movimiento lineal de 10mm en la dirección Y positiva)
<code>G01 X0.0</code>	(movimiento lineal de 10mm en la dirección X negativa)
<code>G01 Y0.0</code>	(movimiento lineal de 10mm en la dirección Y negativa)

Figura 8: Sistema de posicionamiento cartesiano en lenguaje G.

3.8 Sistemas fotovoltaicos Off grid

Sistema de energía solar fuera de la red, conocido también como sistema de energía independiente (sus siglas en inglés, SAPS). Su funcionamiento se basa en la generación de energía fotovoltaica a partir de celdas solares, las cuales entregan carga a una batería a través de un controlador. Para la utilización de la electricidad se utiliza un inversor de corriente, el cual transforma la corriente continua generada a corriente alterna.

3.8.1 Tipos de celdas fotovoltaicas

Las celdas solares basan su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico, donde se transforman los fotones emitidos por el Sol a energía lumínica dado por un flujo de electrones libres. Producto del desarrollo tecnológico se ha podido fabricar distintos tipos de celdas solares fotovoltaicas, siendo la mayoría hechas de silicio. Estas se pueden clasificar en: amorfas, policristalinas y monocristalinas.

Tabla 1 : Tipos de celdas fotovoltaicas de silicio. Elaboración propia

Tipos de Celda	Eficiencia	Pureza	Costo	Usos
Amorfa	5-7%	Bruto (material sin pulir)	Alto, debido a la baja demanda	Equipos con bajo requerimiento eléctrico
Policristalina	14-16%	Con impurezas	5-7% menos costas que monocristalinas	Sistemas fotovoltaicos
Monocristalina	20-22%	Sin impurezas	Costo medio/alto	Sistemas fotovoltaicos

Las celdas de silicio se consideran dentro de la primera generación de celdas, pero ya se cuenta con una segunda y tercera generación, donde cada vez se busca un mayor rango de materiales de fabricación (telurio de cadmio, silicio microamorfo, CIGS), distintos métodos de manufactura y mayores eficiencias. El laboratorio nacional de energías renovables (NREL) mantiene un gráfico de las celdas con mayor tasa de conversión de energía fotovoltaica desde el año 1976 al presente, donde se tiene que el record de eficiencia es de 45%.

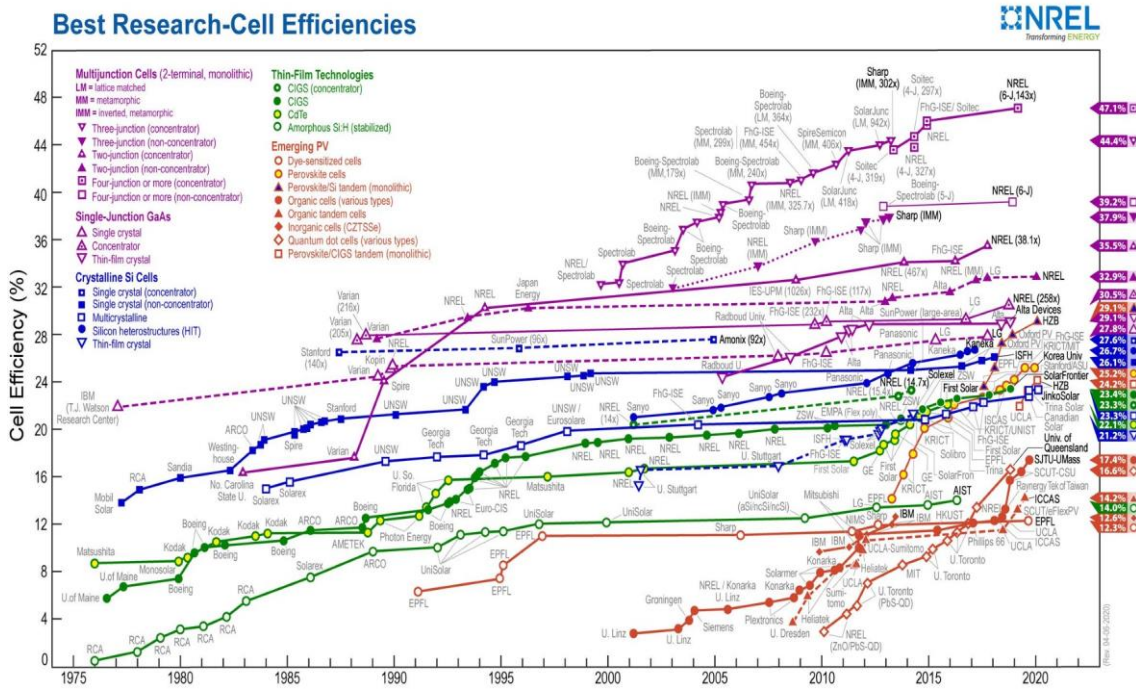


Figura 9: Gráfico de evolución de eficiencia de distintos tipos de celdas fotovoltaicas. [8]

3.9 Sistema de concentración solar

En la Figura 10 se muestra el sistema de concentración solar desarrollado por el otro memorista que trabajó en el proyecto. Como se puede observar esta cuenta con una base metálica rectangular la cual será ensamblada al sub-sistema referido en este informe como base de soporte.



Figura 10: Sistema de concentración solar desarrollado por el otro alumno memorista. [3]

El funcionamiento de este sistema es similar al del heliostato, cuyo principio de funcionamiento es el movimiento de un conjunto de espejos que en este caso corresponde a un lente, sobre dos ejes que permite mantener el reflejo de los haces de luz en un punto focal. El lente se mantiene perpendicular a la posición del sol y a una distancia fija del punto focal.

Este mecanismo cuenta con dos movimientos diferentes, dos de estos permiten el control de la inclinación del lente dependiendo del ángulo de altura, la dirección a la que apunta según los puntos cardinales (azimut) y por último el movimiento para controlar la distancia de la superficie al punto focal. Este punto focal estará ubicado en la superficie del sistema de cama de polvo.

En la tabla 2 se encuentran las dimensiones y características del lente que se utilizó en el sistema de concentración solar:

Tabla 2: Características del lente Fresnel. Elaboración propia.

Características del Lente	
Dimensiones	1,000x1,000x5 [mm ³]
Distancia focal	1,300 [mm]
Masa	7 [kg]
Material	PMMA (metacrilato)

3.10.1 Módulo de pruebas

Se verificó la capacidad del lente de Fresnel, donde se determinó que no se llegó a las condiciones de operación requeridos para la vitrificación del material de prueba. Esto debido a problemas de manipulación del lente, ya que no se logró dejarlo perpendicular al sol, quedando un punto focal no restringido a la zona circular mostrando un grado de dispersión. Esto se traduce como pérdidas energéticas, impidiéndose así que se logre un sinterizado del material.

Una vez realizada las pruebas con el lente utilizado en el sistema de concentración solar, se procedió a utilizar un lente de distintas dimensiones (600×900 [mm²]). Este lente está hecho de un material más flexible, menor espesor y un diámetro focal de aproximadamente 5 [mm], cinco veces más pequeño que el otro lente. De esta prueba si se pudieron obtener cambios de estado en el material, en este caso arena de distintas procedencias. En la figura 11 se pueden observar las muestras que se pudieron cambiar de fase, organizadas según el tipo de arena y tiempo de exposición. Cabe destacar que estas pruebas fueron obtenidas por el trabajo de los demás participantes del proyecto.



Figura 11: Resultados obtenidos con el módulo de pruebas. [3]

3.10 Identificación de sistemas y subsistemas

Se lograron identificar los siguientes sistemas y subsistemas:

1. Arquitectura estructural.
 - Módulo de soporte de sistema de seguimiento solar
 - Marco estático
 - Cama de polvo
 - Soporte celda fotovoltaica
2. Elementos estructurales
 - Elementos de fijación
 - Aislación de sistemas eléctricos
3. Sistemas de desplazamiento de cama de polvo.
 - Desplazamiento en X-Y
 - Desplazamiento en Z.
4. Manejo de material.
 - Reposición de material
 - Almacenamiento de material removido
5. Control electromecánico
 - Motores paso a paso
 - Micro controladores
 - Fuente de poder fotovoltaica
 - Hardware y Firmware

3.11 Parámetros de diseño

- Módulo de soporte de sistema de seguimiento solar:
 - Masa a soportar: 120 [kg]
 - Material constructivo: Acero ASTM A36
 - Alto: 1,500 [mm]
 - Largo: 2,100 [mm]
 - Ancho: 2,500 [mm]
- Cama de polvo:
 - Velocidad de movimiento en X: 10 [mm/s]
 - Velocidad de movimiento en Y: 10 [mm/s]
 - Velocidad de movimiento en Z: 5 [mm/s]
 - Precisión: 5 [mm]
 - Masa máxima: 250 [kg]
 - Área de impresión: 400x400 [mm²]
 - Material estructural: Acero ASTM A36
 - Material cintas de transmisión: Caucho

- Sistema de movimiento X-Y:
 - Material constructivo: Acero ASTM A36
 - Carrera en X: 250 [mm]
 - Carrera en Y: 250 [mm]
 - Masa del sistema: 15 [kg]
 - Material ruedas de movimiento: Vinyl

- Sistema de reposición de material:
 - Material constructivo: Aluminio
 - Masa del sistema (max.): 7 [kg]

4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de cada una de las etapas asociadas al proyecto, las cuales se dividen en: Ingeniería conceptual, Ingeniería de detalle y dimensionamiento de sistema fotovoltaico.

4.1 Ingeniería conceptual

Como se muestra en la sección de metodología de la ingeniería conceptual, existe una etapa en la cual se realizó el estudio de factibilidad técnica del diseño a realizar. Como primer parámetro, se debió considerar las características técnicas del modelo de concentración solar realizado por el otro memorista (dimensiones, masa, materiales). Una vez identificados estos parámetros que se encuentran en la subsección final de la sección de antecedentes, se identificaron los subsistemas existentes y se elaboraron bosquejos de estos sistemas. Otro parámetro de decisión, era la cohesión estética que habría con el sistema de concentración solar, por lo que se tomaron decisiones de diseño en pos de estos factores visuales de la impresora en su totalidad.

Dado que originalmente el proyecto contaba con la construcción de este sistema, al momento de tomar la decisión de elaborar una pieza en base a un diseño, se tomó en consideración la maquinaria disponible en el taller del departamento de ingeniería mecánica de la FCFM y las limitaciones que presenta este. Por esto las piezas diseñadas no presentan un alto nivel de complejidad de elaboración.

Finalmente un parámetro de decisión de gran importancia que se realiza junto con el equipo de trabajo del proyecto, es dejar el punto focal fijo en la mesa de polvo y que la mesa se mueva en función de su posición. Esto dado que si se considera los movimientos de ajuste en función de la posición del sol que debe realizar el lente, sumarle el movimiento del punto focal en la mesa de polvo agregaba una mayor complejidad al sistema completo. Esta decisión estuvo soportada también por los antecedentes que el sistema desarrollado por Markus Kayser se basaba en el mismo principio de funcionamiento.

Como se menciona anteriormente, se dividió el sistema en 3 sub-sistemas: Base soporte sistema de concentración solar, sistema de movimiento cartesiano de la cama de polvo (dividido en dos sistemas de accionamiento distintos), sistema de reposición de material y alimentación mediante el módulo fotovoltaico.

En la figura 12 se puede observar el conjunto del modelo propuesto para el sistema de movimiento de cama de polvo y soporte del sistema de concentración solar.

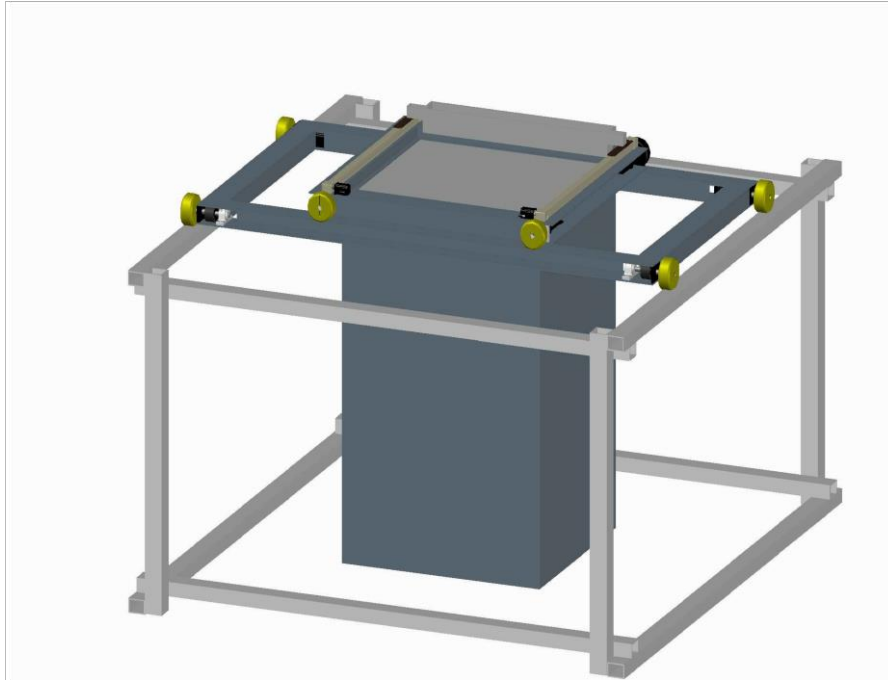


Figura 12: Modelo conjunto del sistema propuesto

4.1.1 Marco de soporte de sistema de Concentración Solar

Para la realización de este sub-sistema, se consideraron las dimensiones de la base del sistema de concentración solar con el fin que el ensamble entre estas no presente dificultades y también para que el sistema completo no quede sobredimensionado. Se identificó una estructura de las siguientes características:

Tabla 3: Dimensiones del sistema de soporte de seguimiento solar. Elaboración propia

Viga	Longitud [mm]	Dimensiones de sección [mm]	Material
X	2,100	70x30x5	ASTM A36
Y	94	70x30x5	ASTM A36
Z	1,550	70x70x5	ASTM A36

En la Figura 12 se puede ver el resultado del modelo en CAD realizado del sistema de soporte base, en el cual no se incluyen los elementos de sujeción los cuales serán mencionados en la etapa de memoria de cálculo. Este sistema de soporte se diseñó en base a las dimensiones y material del marco en el cual está montado el sistema de concentración solar.

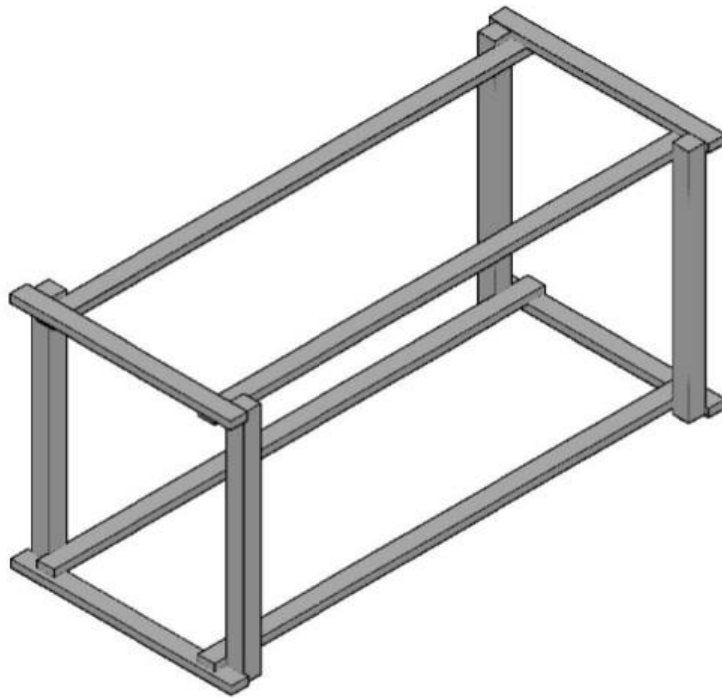


Figura 13: Sistema de soporte para sistema de concentración solar. Elaboración propia.

Una vez realizado el diseño se debe pasar al análisis de los esfuerzos a los cuales estará sometida la estructura, producto de las considerables dimensiones y peso que presenta el sistema de concentración solar. Por esto el análisis de esfuerzos es una parte fundamental del diseño, ya que errores en los cálculos pueden llevar a que este sub-sistema no pueda soportarlo y el conjunto falle. Dentro de las decisiones de diseño que se tomaron se consideró agregar una plataforma removible en la parte inferior del sistema de soporte cuya función es contener el material que cae de la mesa de polvo, para así poder reutilizarlo en la impresión. Esta plataforma se puede ver con más detalle en la imagen 38 de la memoria de cálculo del marco estático, en donde se detallan los esfuerzos a los cuales está sometido este sistema.

4.1.2 Sistema de movimiento cartesiano

Al contrario del sistema anterior, en esta etapa solo se ha realizado un diseño conceptual del sistema de movimiento cartesiano. En la Figura 14 se puede observar el sistema de cama de polvo. En la parte superior se observa la superficie en la cual se encuentra el material de impresión. En su base se tienen 4 guías lineales que le entregan estabilidad al sistema, además de un husillo en su centro, el cual transforma el movimiento rotacional en movimiento lineal. El diseño contempla que tanto la placa superior como la que le sigue vayan dentro de la estructura de mayor tamaño. Para poder mostrarlo se presenta un explosionado del modelo en 3D.

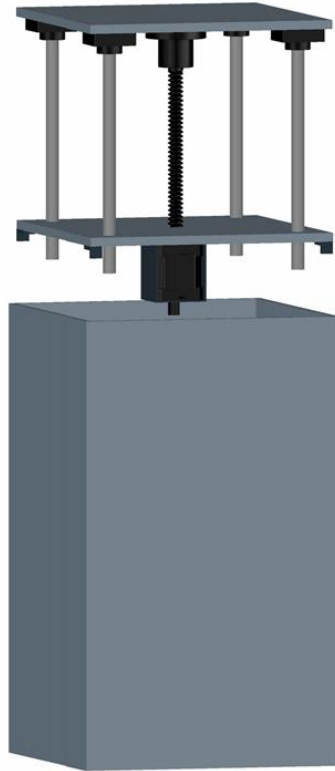


Figura 14: Sistema de desplazamiento en Z de la cama de polvo. Elaboración propia.

La plataforma inferior se mantiene estática a una distancia de 500 [mm], que corresponde al largo total de carrera del husillo y por lo tanto largo total de carrera de cama de polvo. Para fijar esta plataforma se utilizaron cuatro topes los cuales se fijarán a la estructura lateral de la cama de polvo. Para la transmisión de movimiento se seleccionó un actuador lineal híbrido, el cual permite el paso del husillo por su centro. Este actuador cuenta con ranuras para los elementos de fijación. Cabe destacar que el sistema de transmisión de movimiento se encuentra aislado del material, evitando así que componentes eléctricos presenten mal funcionamiento y que se desgasten los elementos mecánicos de igual manera.

El sistema de movimiento en X-Y consiste en un sistema de ruedas en la parte superior del sistema de movimiento, tal como se muestra en la Figura 15. El sistema de cama de polvo va anexo al sistema de ejes con rueda interior, el cual le otorga el movimiento en el eje X, y los ejes con ruedas exteriores le otorgan el movimiento en el eje Y.

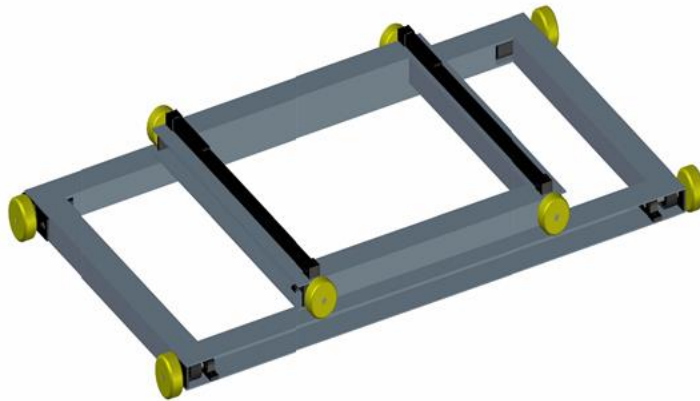


Figura 15: Sistema de movimiento en los ejes X-Y. Elaboración propia.

Estos ejes realizan el desplazamiento en X-Y, pero el movimiento lineal viene de un sub-sistema compuesto por correas de transmisión, piñones y motores (dos por cada movimiento), los cuales transforman el movimiento rotacional en movimiento lineal. Para llegar a este sistema se tomó como referencia la impresora solar desarrollada por Markus Kayser. Se utilizaron dos tipos de perfil:

- Perfil Rectangular: Se encuentra paralelo al movimiento de las ruedas; por este pasa la correa de transmisión.
- Perfil en C: Se encuentra perpendicular al movimiento de las ruedas; en este se encuentran los motores de transmisión de movimiento junto con los soportes rotatorios de los ejes de soporte de ruedas en donde no hay motor ni pion de transmisión.

Los elementos de transmisión se encuentran fuera del alcance del material utilizado para sinterizar, por lo que no bloquearía o dificultaría su funcionamiento.

4.1.3 Sistema de reposición de material

El sistema de reposición de material está compuesto por dos guías en cada extremo del contenedor de material, las cuales le entregan el movimiento a lo largo de la mesa de polvo. Estas son accionadas mediante la utilización de un motor en cada uno de sus extremos, como se observa en la figura 16.

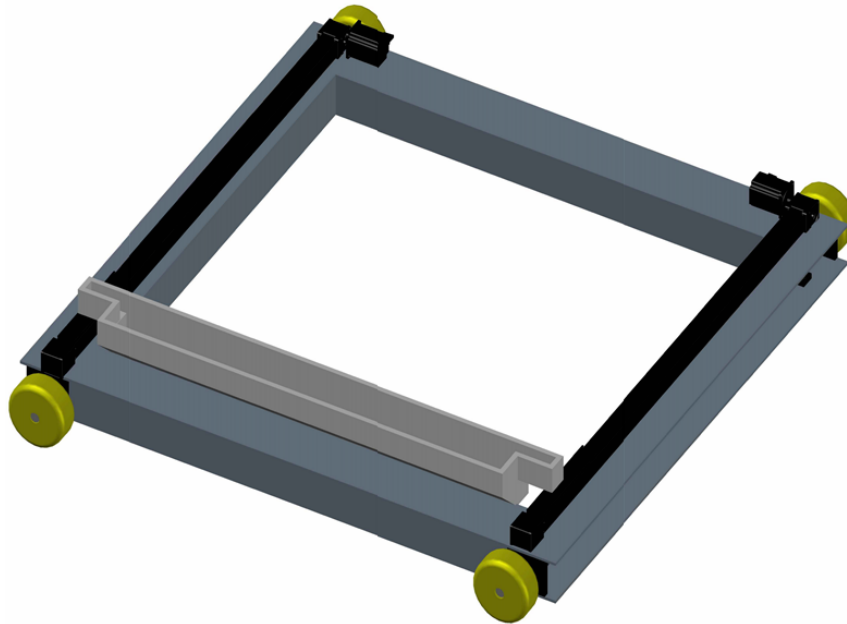


Figura 16: Sistema de reposición de material. Elaboración propia

La deposición de material que se encuentra dentro del contenedor está basada en el efecto del flujo del material por acción de la gravedad, dado que la parte superior de esta se encuentra expuesta para ir agregando material a medida que este se utiliza. El control del grosor de esta capa de material está dado por la distancia que existe entre la cama de polvo y la parte inferior del sistema de deposición de material.

Producto de la geometría que tiene el sistema, los bordes inferiores actúan como niveladores de la capa de material, permitiendo así que al momento de sinterizar con el sistema de concentración solar se pueda obtener un resultado homogéneo en el mismo tiempo de exposición al foco. Al ir barriendo y nivelando el material, habrá una cantidad que será arrastrada por defecto, depositándose en la viga rectangular que forma el conjunto de movimiento en X-Y. Este material puede ser fácilmente removido con la posibilidad de reingresarlo para rellenar nuevamente el material. Para esto se consideró una estructura en forma de bandeja en la parte inferior de la impresora, para que al momento de caer material por el mismo movimiento del sistema de reposición de material, este se pueda reutilizar en el proceso de impresión.

Finalmente, para la reposición de material se consideró la opción de automatizarla, pero al considerar la masa extra que implica la inclusión de esos mecanismos y por consiguiente hacer que los motores de desplazamiento en X-Y tengan que necesitar mayor torque para el movimiento de este subsistema. Por esto se toma la decisión de realizar la reposición de material de manera manual, tomándose en consideración al momento de diseñar el contenedor de material dejando un mayor espacio en su parte superior, facilitando así la deposición de nuevo material para imprimir.

4.2 Ingeniería de Detalle

En la presente sección se presentan las memorias de cálculo asociadas a los elementos mecánicos seleccionados para formar parte del sistema de movimiento cartesiano, reposición de material y alimentación mediante módulos fotovoltaicos.

En primer lugar presenta la memoria de cálculo del sistema de movimiento de la cama de polvo, el cual está compuesto de 4 subsistemas principales, como se mencionó en la sección de antecedentes, los cuales se pueden ver en la figura 17:

1. Desplazamiento en X-Y
2. Desplazamiento en Z
3. Reposición de material
4. Marco estático

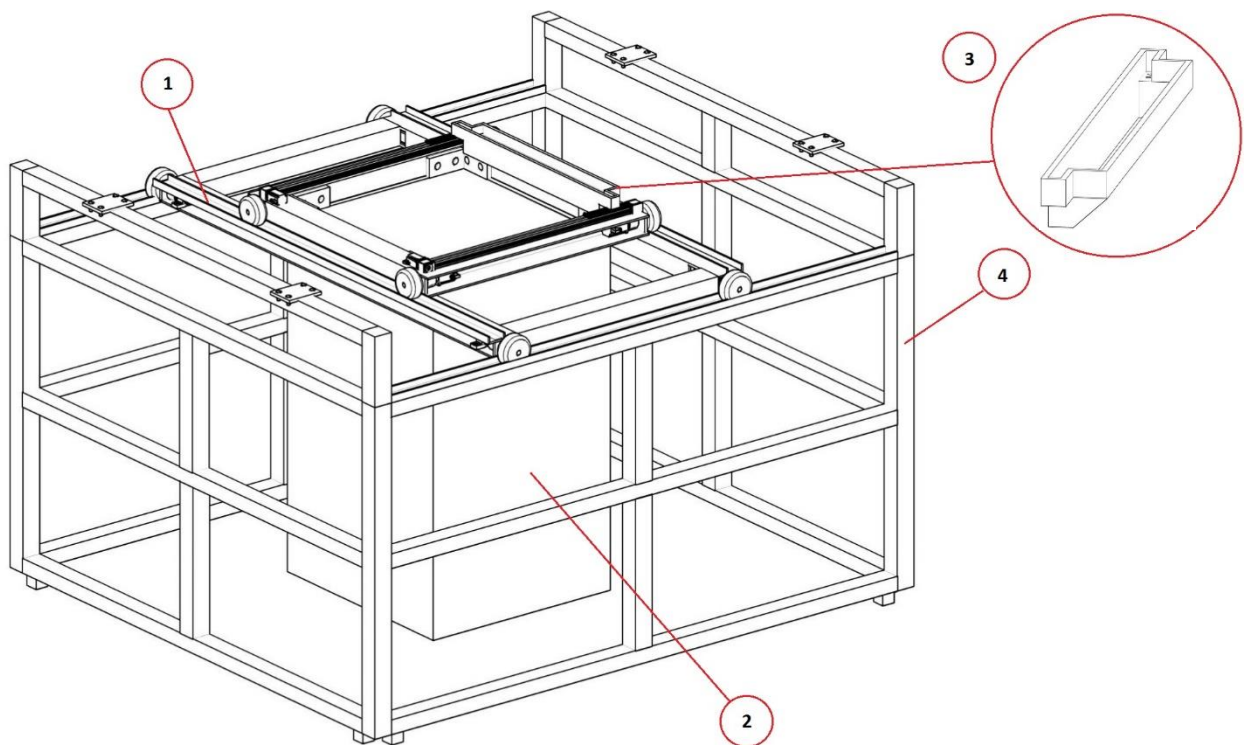


Figura 17: Sistema de movimiento cartesiano de impresora solar 3D. Elaboración propia.

4.2.1 Memoria de Cálculo de Ingeniería de Detalle

4.2.1.1 Sistema de desplazamiento en los ejes X-Y

Tabla 4: Parámetros del sistema de desplazamiento en X-Y. Elaboración propia.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Masa del sistema	M	250	[kg]
Largo de carrera X	L_X	400	[mm]
Largo de carrera Y	L_Y	400	[mm]
Precisión	-	5	[mm]

4.2.1.1.1 Justificación motor

Los motores utilizados para todos los sistemas corresponden a motores “stepper” o motores paso a paso, los cuales se caracterizan por ser controlados digitalmente como parte de un sistema de circuito abierto para aplicaciones de retención y posicionamiento. Estos funcionan con desplazamientos angulares discretos, los cuales dependen de su entrada en el sistema de control. Uno de los parámetros importantes para poder decidir los motores del sistema de desplazamiento, es el torque que éste entrega. El motor que se utilizará para el desplazamiento en X-Y será un motor Nema 34.

1. Velocidad de rotación:

La velocidad angular del motor determinara directamente la velocidad de rotación de la correa de transmisión (V_c), la cual será la velocidad lineal con la que se desplazará el sistema en su respectivo eje.

$$\omega_p = \frac{\omega_m}{r_v} \quad (5)$$

Para este caso, dado que no hay no hay reducción para el piñón, la velocidad angular se mantiene.

$$\begin{aligned} V_c &= \omega_m * \frac{Dp_p}{2} \quad (6) \\ &= 250 * \frac{0,05}{2} = 6.25[m/s] \end{aligned}$$

Donde:

- V_c : Velocidad de desplazamiento de correa de transmisión

- ω_p : Velocidad angular del piñón
- Dp_p : Diámetro primitivo del piñón
- ω_m : Velocidad angular del motor
- r_v : Relación de velocidades

2. Holding torque

$$F_c = T_p * \frac{Dp_p}{2} \quad (7)$$

$$= 5 * \frac{50}{2} = 125[N]$$

Donde:

- T_p : Torque aplicado sobre piñón
- F_c : Fuerza tangencial en correa de transmisión

Debido a que la masa a desplazar es de gran magnitud, se decidió la utilización de un motor paso a paso NEMA 34. En la figura 18 se observan las especificaciones técnicas y dimensionales del motor seleccionado.

NEMA	Size	Current/Phase	Resistance/Phase	Inductivity/Phase	AWG	max. voltage	Mechanical characteristics					Dimensions in mm														
							Holding torque	Detent torque	Rotor mass inertia	Bearing load		Mass	A ⁽¹⁾	B1 ⁽¹⁾	D	E	F1 ⁽³⁾	F2 ⁽⁴⁾	G ⁽²⁾	K ⁽⁷⁾	L ⁽⁴⁾	M	N	U ⁽²⁾	U1 ⁽³⁾	Z
										axial ⁽¹⁾	radial															
34	86-1	5.0	0.48	4.5	18	72	3800	90	0.95	65/155	220	1.6	86	67.5	1.25	10	31.7	19.05	9.52	86	73	69.6	6.5	12.7	-	22

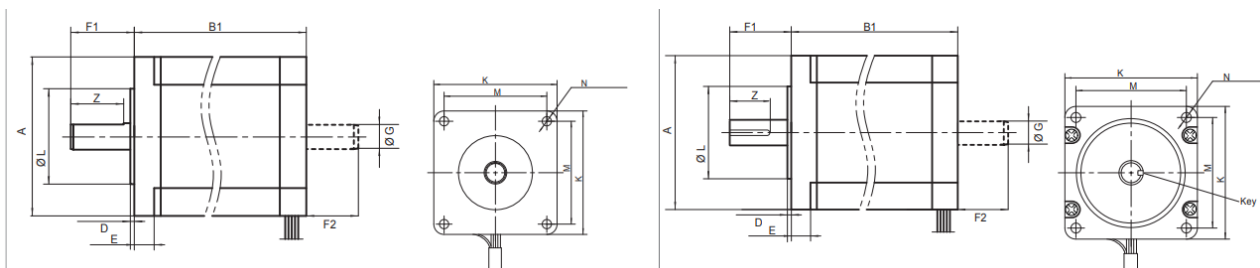


Figura 18: Especificaciones técnicas del motor NEMA 34.

En la figura 19 se observa la curva de torque en función de la velocidad angular:

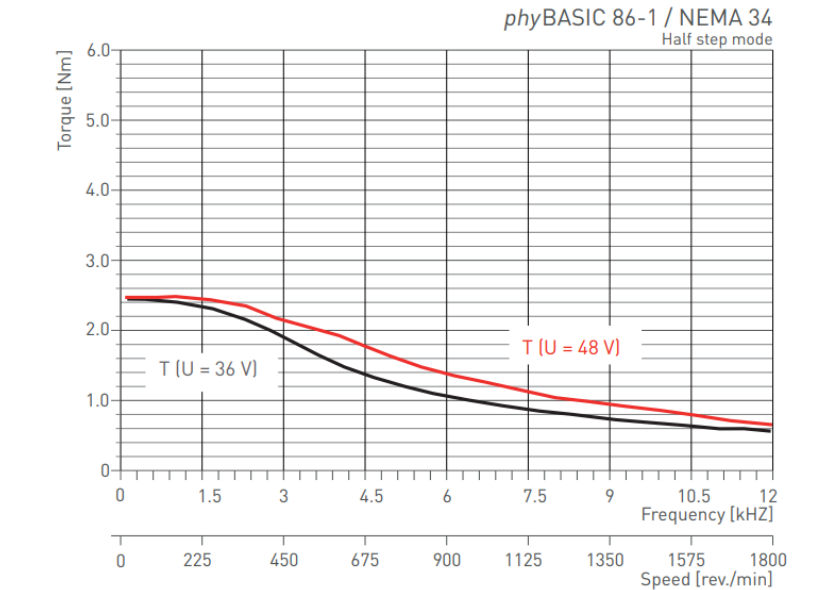


Figura 19: Curva de torque de motor NEMA 34.

4.2.1.1.2 Justificación piñón

Una vez determinados los las fuerzas que actúan en el sistema de desplazamiento en los ejes X-Y, se requiere determinar las relaciones de los elementos de transmisión de movimiento. La transmisión de movimiento para el piñón que no está anexado a un motor, si no a un soporte de eje, se da por acción de una correa de distribución de neopreno, con miembros de tensión de fibra de vidrio y dientes recubiertos de nylon. El paso de la correa está definido por el paso de a calcular de los engranajes, pero para temas de cálculos se utilizará un paso obtenido de un catálogo de correas $M=1/5$ [in] (5 [mm]). El coeficiente de roce del nylon es $\mu=0,3$. [1][2]

$$D_p = \frac{2T}{M * g * \mu + a} \quad (8)$$

$$= \frac{2 * 7,2}{125 * 9,8 * 0,3 + 0,06} = 40 \text{ [mm]}$$

Donde:

- M : masa total del sistema (kg)
- g : Aceleración gravitatoria ($9.8 \text{ } \left[\frac{m}{s^2}\right]$)
- μ : Coeficiente de roce del material
- a : Aceleración de la cremallera en desplazamiento

1. Número de dientes (Z):

$$Z = \frac{D_p}{z} \quad (9)$$

$$= \frac{40}{2} = 20[\text{dientes}]$$

2. Diámetro exterior (D_e):

$$D_e = D_p + 2 * M \quad (10)$$

$$= 40 + 2 * 5 = 50[\text{mm}]$$

3. Diámetro interior (D_i):

$$D_i = D_p - 1,25 * 5 \quad (11)$$

$$= 40 - 1,25 * 5 = 33.75[\text{mm}]$$

4. Paso circular (P_c):

$$P_c = M * \pi \quad (12)$$

$$= 5 * \pi = 15.7[\text{mm}]$$

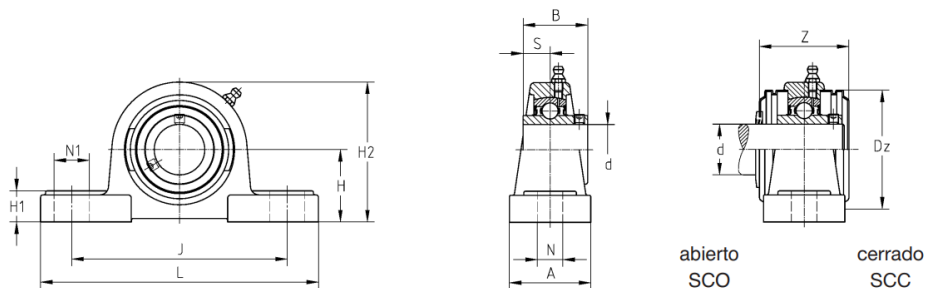
5. Radio de entalle (r):

$$r = \frac{P_c}{12} \quad (13)$$

$$= \frac{15,7}{12} = 1.3[\text{mm}]$$

4.2.1.1.3 Justificación soportes de ejes

Los soportes de los ejes los cuales no tienen transmisión de movimiento directa (no anexo a motor), están soportados por soportes con rodamiento, que le permite libertad de giro al eje pero lo mantiene en el mismo nivel del sistema de transmisión piñón - correa de transmisión. En la figura 20 se observan las especificaciones técnicas del soporte de eje.



d [mm]	d [pulg.]		L	J	B	H	H1	H2	S	A	N	N1	Z _{max}	Dz			
20		SUCP204	126	95	31	33,3	15	65	12,7	38	13	19	45,6	54	SUC204	SP204	0,82

Figura 20: Especificaciones técnicas del soporte de eje.

4.2.1.1.4 Justificación de correa de transmisión.

Como se mencionó en la sección de justificación del piñón, se utilizó un paso basado en un valor obtenido de un catálogo. Con un paso y dimensión del piñón, el siguiente paso es determinar las propiedades de la correa de transmisión. Se utilizará una correa ligera de transmisión (definida por tener un paso de 5 [mm]). En la figura 21 se pueden observar las especificaciones técnicas de la correa de transmisión.

código correa perfil longitud y Pitch	No. Dientes	Ancho		
		025(1/4")	031(5/16")	037(3/8")
		Peso Aprox. (lbs.)	Peso Aprox. (lbs.)	Peso Aprox. (lbs.)
320XL	160	.032	.041	.049
434XL	217	.043	.054	.064

Figura 21: Especificaciones técnicas de correa de transmisión.

Se presentan dos largos distintos de correa con el mismo paso, esto debido a que la segunda correa corresponde al movimiento en Y, donde el sistema tiene un mayor desplazamiento sobre el perfil del sistema de marco estático.

4.2.1.1.5 Justificación de ruedas

La selección de ruedas se seleccionó de un catálogo de ruedas de manutención monobloque de nylon con rodamiento de montaje. Este tipo de material se seleccionó debido a su amplio uso en la industria y alta resistencia. En la tabla 5 se presentan las dimensiones de la rueda seleccionada:

Tabla 5: Dimensiones de ruedas de nylon seleccionadas. Elaboración propia.

Modelo	D_{ext} [mm]	$D_{montaje}$ [mm]	Ancho [mm]	Masa máxima trabajo [kg]	Masa [kg]
080x050 NYB	80	20	50	600	0.39

Como cada rueda tendrá que soportar una masa menor y por lo tanto un esfuerzo menor, la probabilidad que falle es bastante baja.

4.2.1.1.6 Cálculo de torsión máxima en ejes

Primero se calcula el momento polar de inercia de los ejes, el cual describe la cantidad de resistencia a la deformación torsional en el cilindro con una sección transversal invariante.

1. Momento polar de inercia

$$J = \frac{D^4 * \pi}{32} \quad (14)$$

$$= \frac{0.02^4 * \pi}{32} = 1.57 * 10^{-4} [m^4]$$

2. Torsión radial y axial máxima

$$\tau_{max} = \frac{T * D}{2 * J} \quad (15)$$

$$\tau_{radial\ max} = \frac{220 * 0.02}{2 * 1,57 * 10^{-4}} = 140 [MPa]$$

$$\tau_{axial\ max} = \frac{155 * 0.02}{2 * 1,57 * 10^{-4}} = 97.77 [MPa]$$

En la tabla 6 se observan las propiedades mecánicas del acero ASTM 4340, acero del cual están fabricados los ejes de acero.

Tabla 6: Propiedades mecánicas del acero ASTM 4340

Propiedades mecánicas del acero ASTM 4340	
Resistencia a la tracción	745 [MPa]
Esfuerzo de fluencia	470 [MPa]
Módulo de volumen	140 [GPa]
Módulo de corte	80 [GPa]
Módulo de elasticidad	190 – 210 [GPa]

Como se observa en las propiedades mecánicas del acero utilizado en los ejes, que están claramente sobre los esfuerzos a los cuales está sometido el eje, por lo que no se corre el riesgo de que el sistema falle. Este tipo de ejes es especial para impresoras 3D ya que cuenta con una alta resistencia a la torsión, tracción, flexión, impactos y fatiga mecánica.

4.2.1.1.7 Análisis de esfuerzos en ejes.

Para realizar este análisis de esfuerzos, se utilizarán el software Autodesk Inventor. Se parte definiendo los parámetros los cuales cuenta el elemento analizado, que en este caso es el eje que soporta el sistema de ruedas que le otorga el movimiento a la cama de polvo en X-Y. En la tabla 7 se observan las características físicas del elemento analizado.

Tabla 7: Características físicas del eje analizado.

Características físicas del eje	
Densidad	1 g/cm ³
Masa	0.0314 kg
Área	0.0069115 m ²
Volumen	3.1415e-5 m ³
Centro de gravedad	X= 1157.95 mm Y= 1100.93 mm Z= 5.889

En la tabla 8 se observan las características mecánicas de los ejes de soporte.

Tabla 8: Propiedades mecánicas del eje analizado.

Nombre	Acero inoxidable	
General	Densidad de masa	8 g/cm ³
	Límite de elasticidad	250 MPa
	Resistencia máxima a tracción	540 MPa
Tensión	Módulo de Young	193 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	74,2308 GPa

Para realizar en análisis se utilizó una carga radial en el eje. Dado que los elementos que van anexados a el eje ya se han definido, falta identificar su comportamiento a los esfuerzos aplicados en sus extremos, uno como consecuencia del soporte del eje y el otro como consecuencia de la rueda a la que se une. Para este análisis se realizaron estimaciones de la masa total del sistema completo, dejando un leve margen hacia arriba, así asegurando que se eviten las fallas por sobrecarga. La masa del sistema de cama de polvo que se debe desplazar se estima de un total de 250 [kg], por lo que se estarían aplicando de manera distribuida en cada eje una masa de 62.5 [kg]. Esto llevado a esfuerzos sería de un total de 612.5 [N].

Los resultados de los esfuerzos analizados en el eje se observan en la tabla 9:

Tabla 9: Propiedades mecánicas del eje analizado.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	31415,9 mm ³	
Masa	0,251327 kg	
Tensión de Von Mises	0,264535 MPa	5,52175 MPa
Primera tensión principal	-2,61534 MPa	8,24703 MPa
Tercera tensión principal	-8,30023 MPa	2,5555 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0014043 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-7,76707 MPa	7,64766 MPa
Tensión XY	-1,65484 MPa	1,74367 MPa
Tensión XZ	-0,698959 MPa	0,806027 MPa
Tensión YY	-3,22248 MPa	3,16479 MPa
Tensión YZ	-0,307391 MPa	0,281535 MPa
Tensión ZZ	-3,1655 MPa	3,13846 MPa
Desplazamiento X	-0,000320881 mm	0,000320795 mm
Desplazamiento Y	-0,0013995 mm	0 mm
Desplazamiento Z	-0,0000190809 mm	0,000146526 mm
Deformación equivalente	0,00000125325 su	0,0000282582 su
Primera deformación principal	0,000000632971 su	0,0000340445 su
Tercera deformación principal	-0,0000343439 su	-0,000000649617 su

En la figura 22 se observa a la izquierda la tensión en XX y a la derecha los esfuerzos de Von Mises en el eje.

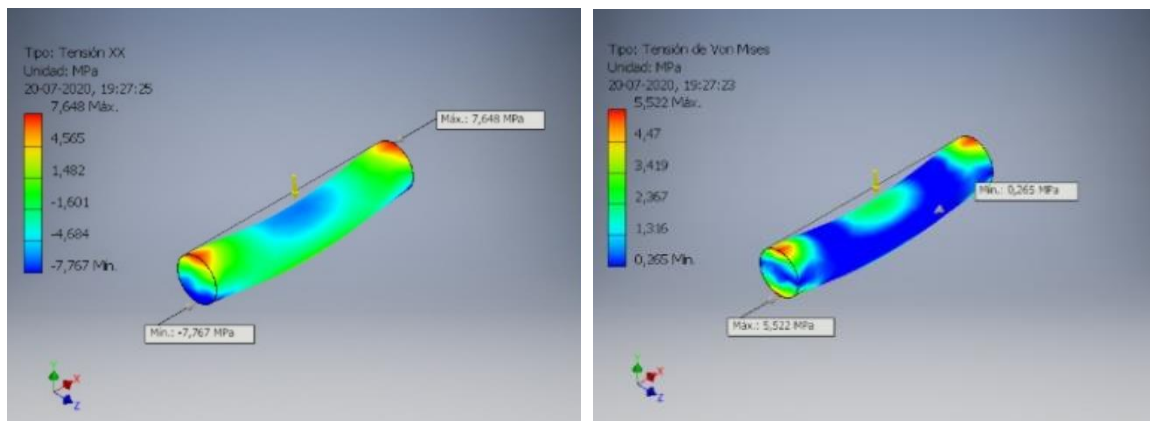


Figura 22: Tensión en XX y esfuerzos de Von Mises en el eje.

4.2.1.2 Sistema de desplazamiento en el eje z

Tabla 10.: Parámetros del sistema de desplazamiento en Z. Elaboración propia.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Masa del sistema	m_t	[4,220]	[kg]
Largo de carrera	L_z	500	[mm]
Precisión	p	0.05	[mm]
Coefficiente de roce guías lineales	f	20	[N]

Cabe destacar que se presenta un rango de valores del sistema, el cual corresponde a los rangos de masa en que se moverá el sistema a medida que se vaya agregando material de impresión. El valor inicial consiste en la masa del sistema sin material añadido y la masa final es corresponde a la cama de polvo en su máxima capacidad. Para el cálculo de estas masas se utilizó la densidad de arena seca, con un valor $\rho_{arena} = 1,600 [kg/m^3]$. En cálculos siguientes, se utilizará la masa máxima, para así estudiar el comportamiento de los componentes para los esfuerzos de mayor magnitud.

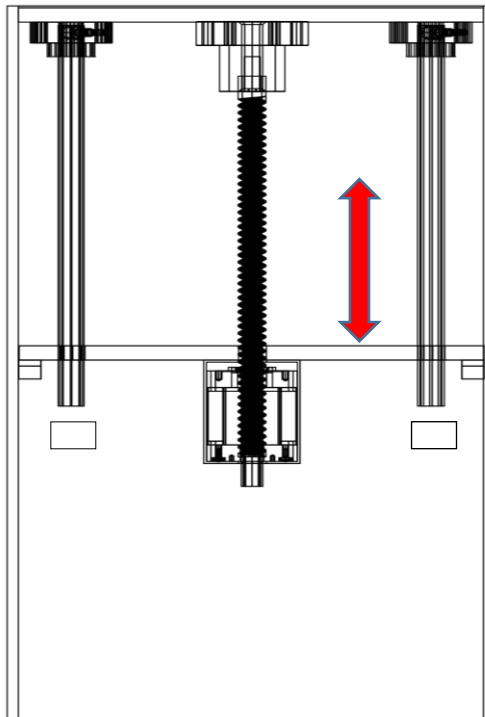


Figura 23: Esquema del sistema de movimiento en Z. Elaboración propia.

En la figura 23 se presenta el subsistema analizado en esta sección. En este sistema corresponde el subsistema de la cama de polvo en la que se dará el sinterizado. Este consiste en un husillo ubicado en la parte central de la mesa, y 4 rieles lineales que le entregan estabilidad al sistema. La transmisión de potencia será por medio de un motor paso a paso ubicado en la base inferior del sistema de movimiento.

Considerando el largo de la carrera de la cama de polvo que se puede observar en la tabla 4.2, se optará por un largo de husillo de las mismas dimensiones. Su instalación corresponde a una configuración de montaje del tipo fijo-libre en sus extremos. Uno de los extremos estará fijo en la base superior del sistema, el cual se moverá en Z junto con la cama de polvo. Se estudió la opción de usar un sistema de engranajes para el funcionamiento, pero se descartó debido a su complejidad estructural.

4.2.1.2.1 Justificación del husillo

1. Carga crítica de pandeo en el husillo:

La fórmula de Euler calcula la carga crítica (P_{crit}) que produce pandeo en elementos de características comprimidas y esbeltas, y está dada por:

$$P_{crit} = \frac{n\pi^2 EI}{L_z^2} \quad (16)$$

$$= \frac{2\pi^2 \frac{\pi 15,88^4}{64} 2,06 \times 10^5}{500^2} = 50,772,534 [N]$$

Donde:

- E : Módulo de Young ($2,06 \times 10^5 [\frac{N}{mm^2}]$)
- I : Segundo momento de área de husillo ($\frac{\pi d^4}{64}$)
- $n = 2$ (condición de borde fijo apoyado)

2. Cargas de Tracción/Compresión admisibles para el husillo

Para que el husillo no falle por fluencia, se calcula la carga límite a la cual puede estar sometida. El diámetro del husillo (D) es de 15,88 [mm] y es el límite de fluencia del material (σ_{cr}) de 147 [N/m^2] obteniéndose:

$$P_2 = \sigma_{cr} \frac{\pi D^2}{4} \quad (17)$$

$$= \frac{147\pi 15,88^2}{4} = 29,114.42[N]$$

De los cálculos de carga crítica de pandeo y la carga admisible del husillo, están sobre la carga máxima necesaria en el desplazamiento en Z de la cama de polvo.

4.2.1.2.2 Estudio de cargas axiales admisibles

Para obtener un estudio completo de los tipos de fuerzas axiales, se debe considerar si el sistema de cama de polvo se está moviendo hacia arriba o hacia abajo. Dado que este movimiento puede ser en aceleración, desaceleración o movimiento uniforme, se cuenta con un total de 6 fuerzas axiales a analizar.

Para esto hay que determinar la aceleración en base a los parámetros de diseño impuesto, donde se tiene que la resistencia superficial de las cuatro guías lineales con un módulo $f = 20[N]$ y un tiempo de aceleración del sistema $t_s = 0,1 [s]$ y una velocidad máxima $v_{max} = 0,127 [m/s]$.

$$\alpha = \frac{v_{max}}{t_s} \quad (18)$$

$$= \frac{0,127}{0,1} = 1,27 [m/s^2]$$

Para analizar de mejor manera las fuerzas, se utilizará el caso en que el sistema de cama de polvo se encuentra lleno de material de impresión, siendo este el caso en el que se estarían aplicando los esfuerzos axiales de mayor dimensión.

1. Movimiento uniforme en ascenso:

$$F_{a1} = m_t g + 4f \quad (19)$$

$$= 220 * 9,8 + 80 = 2,236[N]$$

2. Movimiento acelerado en ascenso:

$$F_{a2} = m_t g + m_t \alpha + 4f \quad (20)$$

$$= 220 * 9,8 + 220 * 1,27 + 80 = 2,515.4[N]$$

3. Movimiento desacelerado en ascenso:

$$F_{a3} = m_t g - m_t \alpha + 4f \quad (21)$$

$$= 220 * 9,8 - 220 * 1,27 + 80 = 1956,6[N]$$

4. Movimiento uniforme en descenso:

$$\begin{aligned}
 F_{d1} &= m_t g - 4f \\
 &= 220 * 9,8 - 80 = 2076[N]
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

5. Movimiento acelerado en descenso:

$$\begin{aligned}
 F_{d2} &= m_t g - m_t \alpha - 4f \\
 &= 220 * 9,8 - 220 * 1,27 - 80 = 1796,6[N]
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

6. Movimiento desacelerado en descenso:

$$\begin{aligned}
 F_{d3} &= m_t g + m_t \alpha - 4f \\
 &= 220 * 9,8 + 220 * 1,27 - 80 = 2355,4[N]
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

Se tiene que el máximo esfuerzo axial se da para el caso de movimiento acelerado en ascenso, con un módulo igual a $F_{a2} = 2515,4 [N]$. Este valor está muy bajo por el valor obtenido de carga de pandeo y para carga crítica para su falla en fluencia. De esto se puede concluir que el husillo puede operar sin problemas. Cabe destacar que el valor de carga axial se encuentra por sobre el valor de fuerza máxima que puede entregar el motor. Por esto es recomendado que al momento de estar operando y la cama de polvo haya alcanzado su carga máxima, vaciar parte del material que no se haya sinterizado para reducir la carga total.

4.2.1.2.3 Estudio de cargas en soporte en extremo superior del husillo

Se realizó un estudio de distintos catálogos de soportes rotatorios y se llegó al modelo FK15. En la figura 24 se pueden observar las características y propiedades de este soporte, que se utilizaron para determinar las cargas axiales a las cuales puede estar sometido el soporte. Para esto se utilizó un factor de seguridad $f_s = 2$.

$$\begin{aligned}
 F_{max} &= \frac{C_0 a}{f_s} \\
 &= \frac{24,000}{2} = 12,000[N]
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

Se determinó que la carga axial admisible es muy superior a la carga axial aplicada, que como se calculó en la sección anterior tiene un valor máximo de $F_{max} = 12000[N]$. Para el soporte del husillo en su extremo superior fijo, se define un soporte de husillo de bola a presión de diámetro $d_0 = 15 [mm]$. Este soporta una carga axial dinámica $F_{axial} = 7500 [N]$, valor que supera con holgura el valor de carga axial máxima obtenido.

Tipo Type	Dimensiones - Dimensions												
	d_0	D_1	D_2	D_3	L_1	L_2	L_3	L_4	A	B	S_1	S_2	S_3
	mm												
FK 5	5	34	26	20	18,5	3,5	6	10,5	26	5	6,5	3,4	4
FK 6	6	36	28	22	22	3,5	7	13	28	5	6,5	3,4	4
FK 8	8	43	35	26	26	4	9	14	35	6,5	6,5	3,4	4
FK 10	10	52	42	34	29	5	11	17	42	8	8	4,5	5
FK 12	12	54	44	36	29,5	5	11	17	44	8	8	4,5	5
FK 15	15	63	50	40	33	6	15	17	52	8	9,5	5,5	6
FK 20	20	85	70	57	48	10	22	30	68	10	11	6,6	10
FK 25	25	98	80	63	57	10	27	30	79	10	14	9	11
FK 30	30	117	95	75	60	11	30	32	93	12	17,5	11	13

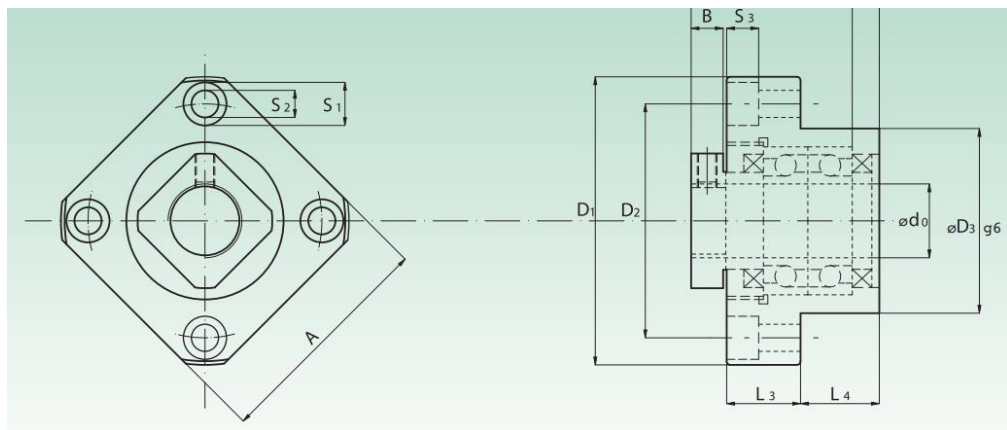


Figura 24: Especificaciones técnicas del soporte de husillo.

4.2.1.2.4 Análisis de esfuerzos en sistema de cama de polvo.

Ya realizado el análisis del movimiento de la cama de polvo, es necesario realizar el análisis de la carga en la superficie superior de esta, que se puede observar en la figura 25. Para esto se utilizó una fuerza distribuida de manera uniforme en la superficie, esto para que la impresión de material sea regular. El módulo de la masa máxima aplicada del sistema es de 220 [kg], resultando en una carga máxima de 2,156 [kg].

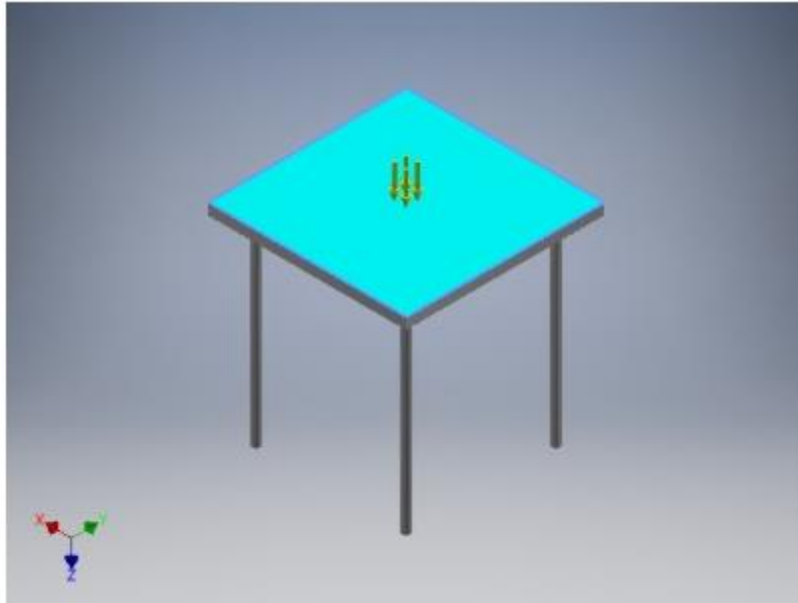


Figura 25: Malla del análisis de esfuerzos de la cama de polvo. Elaboración propia.

En la tabla 11 se observan las características mecánicas de la mesa de polvo

Tabla 11: Propiedades de la mesa de polvo.

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

En la tabla 12 se observa la tabla resumen de los esfuerzos que se aplicaron en el análisis.

Tabla 12: Resumen de esfuerzos aplicados en mesa de polvo.

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0.0305 MPa	6.8118 MPa
Primera tensión principal	0.6802	1.17 MPa
Tercera tensión principal	MPa	0.0932 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.0921 mm
Coficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	2.0527 MPa	1.169 MPa
Tensión XY	0.273 MPa	0.02748 MPa
Tensión XZ	2.8046 MPa	1.7932 MPa
Tensión YY	2.149 MPa	1.1688 MPa
Tensión YZ	3.1546 MPa	2.9324 MPa
Tensión ZZ	5.3235 MPa	0.32815 MPa
Desplazamiento X	0.00234 mm	0.02537 mm
Desplazamiento Y	0.0236 mm	0.025223 mm
Desplazamiento Z	0.00416 mm	0.092120 mm
Deformación equivalente	0.000000133 su	0.0000306 su
Primera deformación principal	0.0000001 su	0,0000153 su
Tercera deformación principal	0.0000346 su	0.000011527 su

Se ve de los resultados obtenidos que las cargas aplicadas a la mesa de polvo con su carga máxima, no genera fallas en el sistema.

4.2.1.2.5 Justificación motor

En base a los cálculos realizados y a estimaciones de la carga a la cual está sometida el sistema, el motor a utilizar consiste en el motor 8700 Series 34 con eje no cautivo, lo que permite el movimiento del husillo a lo largo del eje. Este motor tiene un torque máximo de 2,224 [N], lo cual se estima que puede cumplir con los requerimientos necesarios para mover el sistema sin problemas.



Figura 26: Motor paso a paso 8700 Series 34.

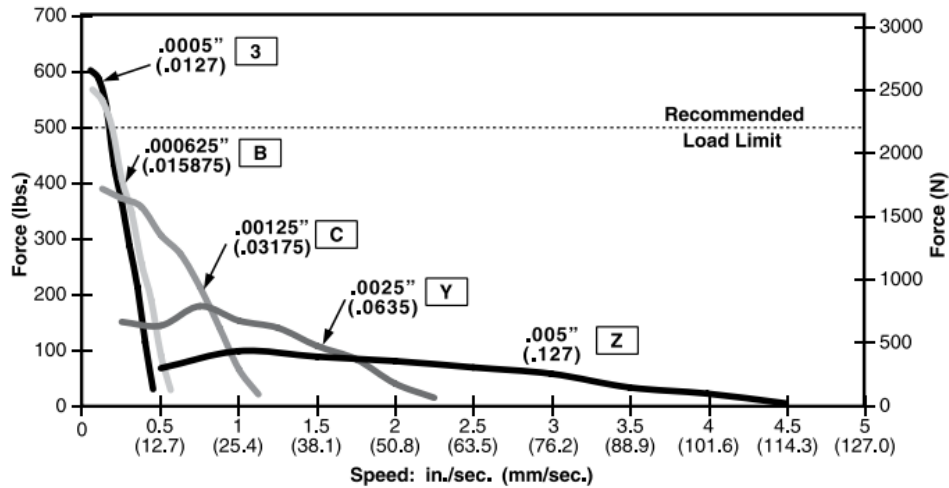


Figura 27: Curvas de torque del motor 8700 Serie 34.

4.2.1.3 Sistema de movimiento reposición de material

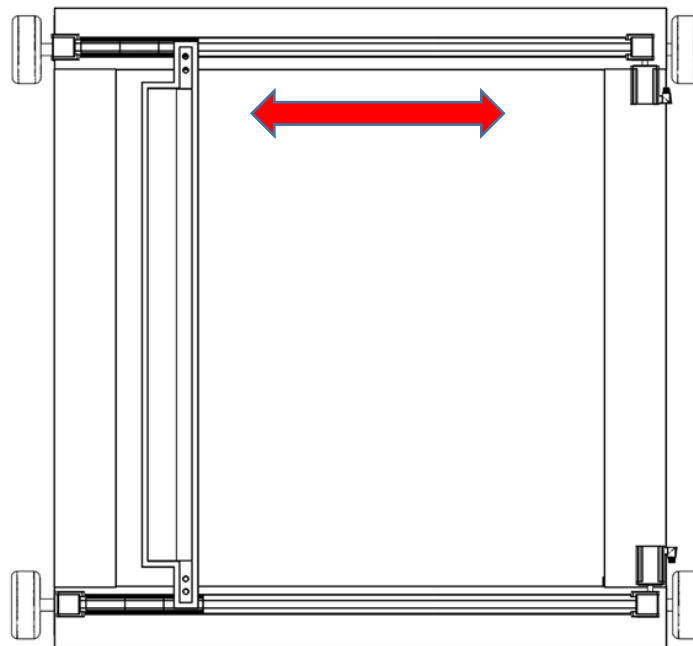


Figura 28: Esquema de sistema de reposición de material. Elaboración propia.

Dada las dimensiones de este sistema, se determinó que la masa estimada a la cual puede estar sometida es de un total de 8 [kg], considerando la masa del contenedor de material y el material cuando este está a un 50% de su capacidad lleno de material. Con esto se calcula que se aplica una fuerza total de 78.4 [N]. En la figura 28 se observa el esquema del sistema de reposición de material.

4.2.1.3.1 Justificación motor

Se calculó la fuerza máxima a la cual están sometido los rieles, dato con el cual se puede realizar una estimación de la capacidad requerida de los motores de accionamiento. El modelo a elección en un motor Nema 17 de modelo 42BYGH48P130. Las características de este motor se pueden observar en la tabla 13.

Tabla 13: Parámetros de motor para el desplazamiento del sistema de reposición. Elaboración propia.

Modelo	Step Angle (°)	Largo motor [mm]	Holding Torque [Nm]	Detent Torque [Nm]	Momento Inercia [kgm ²]	Peso [kg]
42BYGH48P130	1.8	48	0.52	0.026	6.8×10^{-6}	0.4

En la figura 29 se observa el modelo del motor NEMA 17 seleccionado para el sistema de reposición de material.



Figura 29: Motor Nema 17

4.2.1.3.2 Justificación de rieles

Como se puede observar en la figura 30, los rieles están sometidos a dos fuerzas, que consisten en la carga aplicada por el sistema de reposición de material. Si bien estas fuerzas se ven aplicadas en los extremos, la carga varía en su posición en función de la posición en la que se encuentra el sistema. Se estima que la carga aplicada en cada uno de los rieles es de 40 [N], valor que sale de la estimación de masa que tiene el sistema a un 75% de su capacidad, que es de 8 [kg].

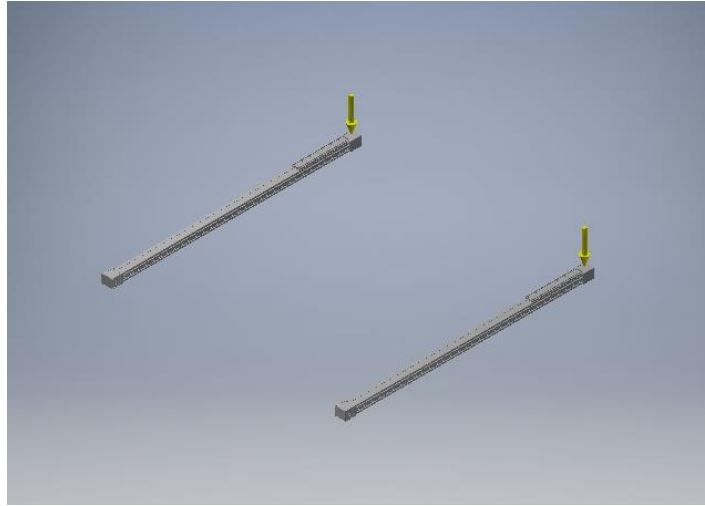


Figura 30: Malla de los rieles de movimiento con las fuerzas aplicadas en su soporte.

El modelo que cumple con los requerimientos dimensionales y de carga seleccionado es WM40S, que cuenta con un tornillo, una guía y tuerca de bola simple. Esta unidad lineal es accionada en uno de sus extremos por el motor seleccionado previamente. En la figura 31 se puede observar el modelo de rieles seleccionados, junto con sus especificaciones técnicas:

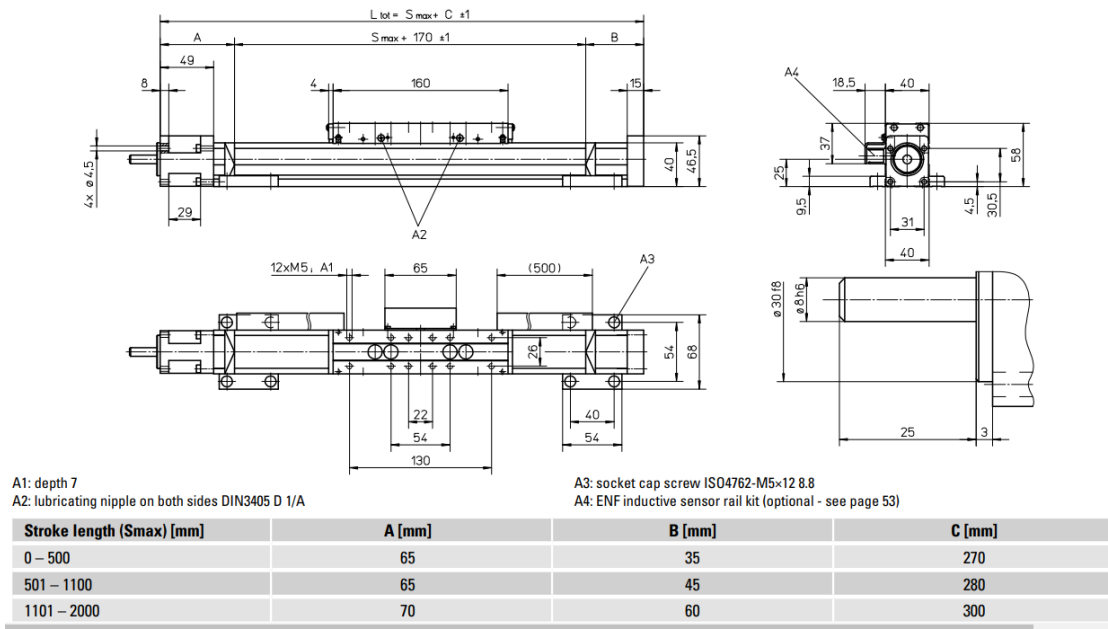


Figura 31: Especificaciones técnicas del modelo de riel seleccionado.

Este riel cuenta con distintos largos de carrera, obteniéndose del catálogo que la opción que mejor cumple con los requerimientos del sistema de reposición de material es el largo de carrera entre 501 – 1,100 [mm]. Si bien el diseño original contemplaba que la transmisión de movimiento estuviera en perpendicular al sistema, dada las dimensiones del motor seleccionado, este se puede instalar como lo requiere esta guía lineal.

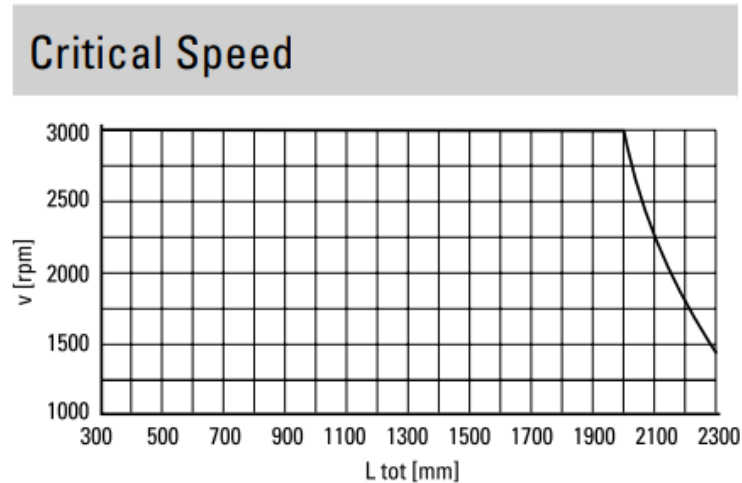


Figura 32: Gráfico de velocidad crítica del eje lineal.

En gráfico de velocidades máximas que se puede alcanzar en esta guía se puede observar en la figura 32. Dado que el largo de carrera seleccionado es de 800 [mm], la velocidad crítica se encuentra en un rango elevado, al cual no se llegará en este sistema.

4.2.1.3.2 Capa de material en cama de polvo.

En la figura 33 se puede observar el esquema de la desposición de material en la cama de polvo. El ancho está determinado por la profundidad de sinterizado que se determinó en el módulo de pruebas. Esta profundidad es de un valor de 10 [mm]. Un elemento clave para la regulación de esta profundidad es el paso y la precisión de movimiento de la cama de polvo, ligado principalmente al husillo que se dispone. A medida que mayor masa se vaya depositando, el husillo será sometido a mayores tensiones, pero como entregó el estudio de esfuerzos y el modelo del motor no se presentan problemas a medida que más capas de polvo se depositan. Otro factor que le da precisión al sistema, son los softwares y hardwares utilizados para la programación de los sistemas electromecánicos, especificados más adelante. Estos permiten el control de la velocidad del motor y por consiguiente de la mesa de polvo. Esta velocidad de movimiento no es de gran magnitud debido al tiempo que demora en sinterizar el material particulado sobre la mesa de polvo.

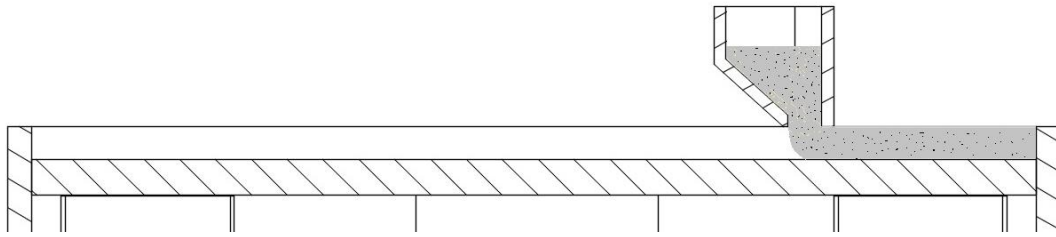


Figura 33: Esquema de reposición de material. Elaboración propia.

A medida que se sinteriza una capa del diseño que se haya utilizado, el sistema se desplaza en Z, permitiendo así la deposición de una nueva capa de material. Ya que el sistema de reposición de material arrastrará material para obtener una terminación superficial sobre la mesa lo más uniforme posible, habrá parte de este material que será expulsado afuera de la mesa de polvo. Este material caerá sobre una plancha ubicada en la parte inferior del marco estático para así poder reutilizarse nuevamente.

4.2.1.4 Marco estático

El análisis de los esfuerzos aplicados en el marco estático se realiza considerando los puntos en los cuales se apoya el conjunto de mecanismos que otorga el movimiento en los ejes cartesianos, que se observa en la imagen 34 y los puntos en los cuales se apoya el sistema de concentración solar, que se observa en la imagen 35.

Estos esfuerzos representan los puntos de apoyo del sistema de movimiento en los ejes cartesianos. Al presentarse 4 puntos de apoyo, la masa máxima aproximada de 600 [kg] (que se determinó considerando una densidad de arena de 1600 [kg/cm³]) que considera una carga total por punto de 1470 [N].

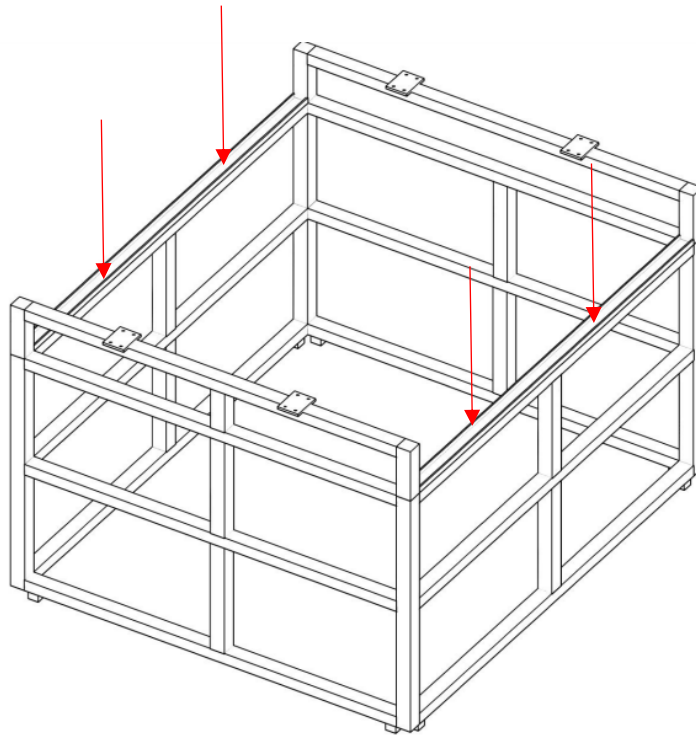


Figura 34: Esquema del marco estático. Elaboración propia.

En la figura 35 se observan los esfuerzos aplicados por efecto del sistema de posicionamiento del lente, que tiene una masa estimada de 120 [kg]. Esto al estar dividido en 4 puntos de apoyo al igual que en el caso anterior, entrega un máximo de 294 [N].

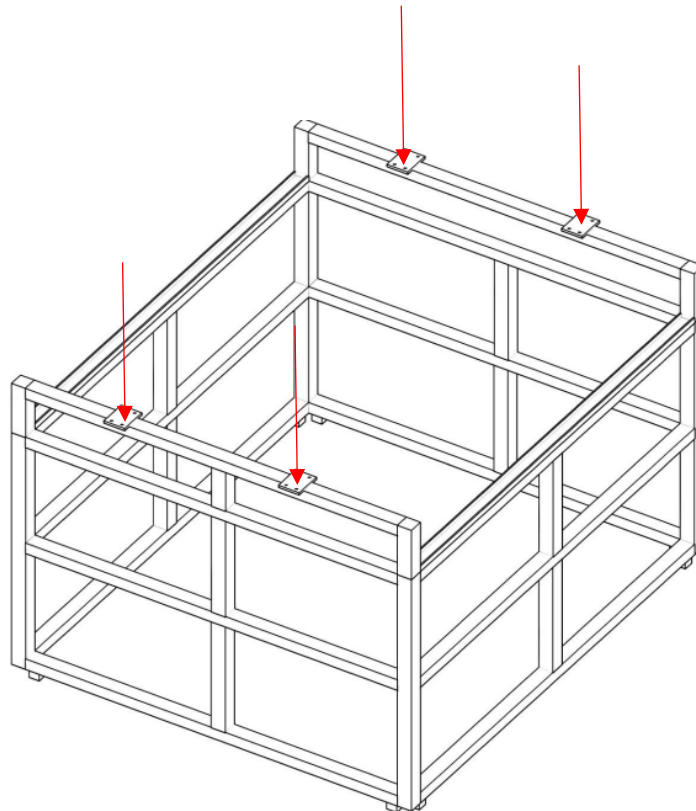


Figura 35: Esquema del marco estático. Elaboración propia.

4.2.1.4.1 Estudio de flexión máxima

Para el estudio de flexión máxima en las vigas del marco estático en las cuales está apoyado el sistema de movimiento en el eje X-Y se calcula el momento de inercia de la viga, dado por la ecuación:

$$I_t = \frac{b * h^3}{12} - \frac{b' * h'^3}{12} \quad (26)$$
$$I_t = \frac{0.07 * 0.03^3}{12} - \frac{0.064 * 0.024^3}{12}$$
$$= 8.378 * 10^{-8} [m^4]$$

Con el momento de inercia determinado, mediante el estudio de fuerzas aplicadas en la viga, se determinó el módulo de la flexión máxima a la cual puede estar sometida la viga mediante la ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * y_{max}}{I_t} \quad (27)$$
$$= \frac{294 * 0.015}{8.378 * 10^{-8}} = 52.688 [MPa]$$

El valor determinado para la flexión máxima se encuentra por debajo de las características mecánicas del acero ASTM A36 que componen las vigas, por lo que no debería estar sujeto a fallas.

4.2.1.4.2 Análisis de esfuerzos en cama de polvo.

En la tabla 14 se observan las propiedades mecánicas del marco estático utilizados para analizar los esfuerzos aplicados.

Tabla 14: Propiedades mecánicas del marco estático. Elaboración propia.

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

Para realizar el análisis se tuvieron que establecer las condiciones de borde, que consistieron en el empotramiento de las cuatro esquinas inferiores del marco estático. Para la simulación se obtuvo un total de 249,527 nodos y 36,580 elementos.

En la tabla 15 se observan las propiedades físicas que se obtuvieron de los parámetros utilizados para el análisis de esfuerzos.

Tabla 15: Propiedades físicas del marco estático. Elaboración propia.

Características mecánicas	
Material	Acero, carbono
Densidad	7.85 g/cm ³
Masa	1400 kg
Área superficial total	3.812 m ²
Volumen	0.5005 m ³
Centro de volumen	X= 2198.2 mm
	Y= 2944.9 mm
	Z= 287.78 mm
Momento principal y eje	0.048 m ⁵ (1,0,0)
Momento principal y eje	0.0518 m ⁵ (0,1,0)
Momento principal y eje	0.0625 m ⁵ (0,0,1)

En la tabla 16 se observa la tabla resumen de los esfuerzos aplicados en el marco estático, de lo que se concluye que el sistema no fallará con las cargas que se aplican en los cuatro puntos de apoyo.

Tabla 16: Propiedades físicas del marco estático. Elaboración propia.

Nombre	Mínimo	Máximo
Deformación Total	0 mm	1.0807 mm
Tensión de Von Mises	0.0111 MPa	108.02 MPa

En las figuras 36 y 37 a continuación se pueden observar la malla de la simulación de esfuerzos para la deformación total y para la tensión de Von Mises. En el caso de la deformación se observa que las zonas rojas presentan una deformación mínima que garantiza que la estructura no colapsará. En el caso de la tensión de Von Mises se encuentra muy por debajo de los valores asociados a las propiedades mecánicas, por lo que estructuralmente el marco estático tiene la solidez suficiente para poder sostener el sistema de movimiento y el sistema de seguimiento solar.

B: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1

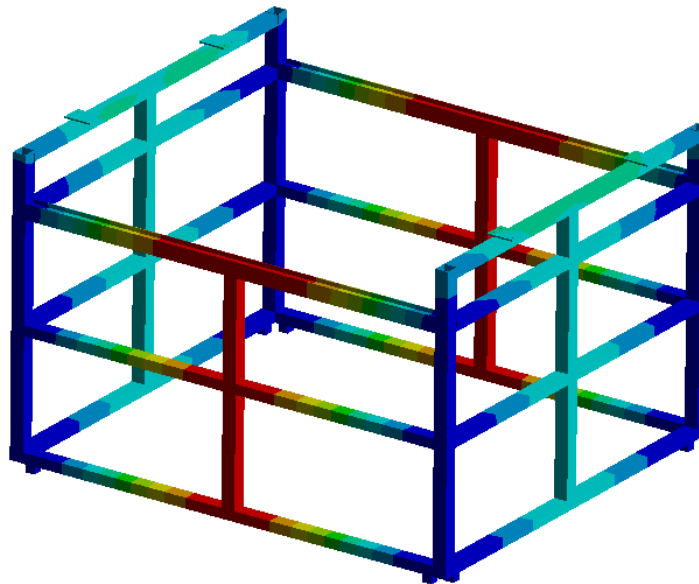
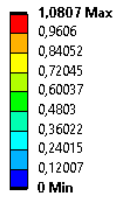


Figura 36: Malla del análisis de esfuerzos del marco estático. Elaboración propia.

B: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1

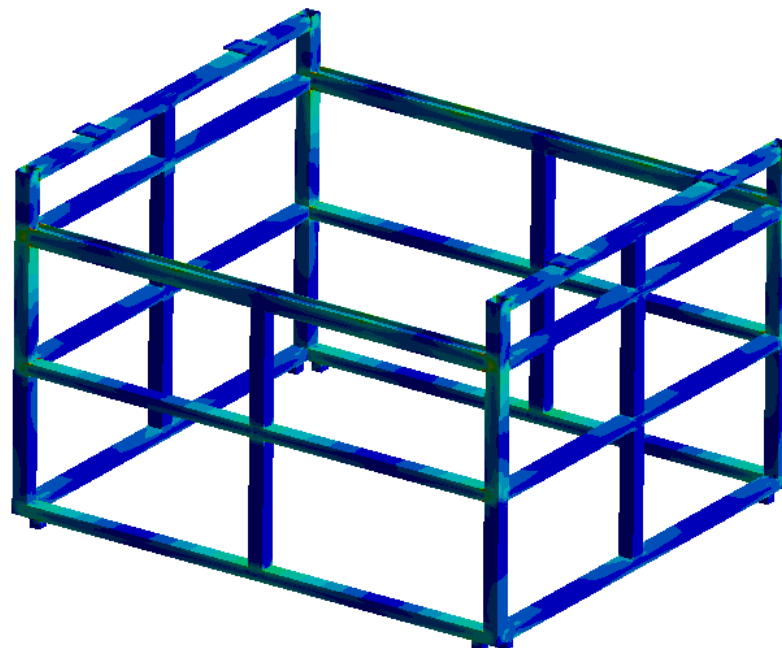
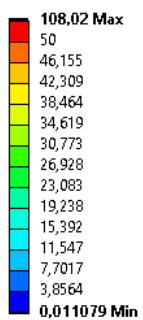


Figura 37: Esfuerzos de Von Mises en marco estático. Elaboración propia.

4.3 Ensamble final

Una vez definido todos los sistemas y realizada la memoria de cálculo correspondiente a estos, se precede a realizar en ensamble final junto con el sistema de concentración solar desarrollado por el otro memorista trabajando en el proyecto. Como se observa en la imagen 43, el sistema de concentración solar se encuentra montado sobre el marco estático. El montaje físico se realizaría mediante tornillos hexagonales y sus correspondientes golillas. Este tipo de unión entre sistemas, le permite a la impresora ser de carácter modular, facilitando así el ensamble y desensamble para su eventual transporte. Dada las dimensiones de la impresora, es importante que sea así, ya que en caso de no serlo perdería parte de su propósito que es poder movilizarla a zonas con mayor cantidad de radiación diaria.

El lugar de montaje en el marco estático tiene una altura de un metro y diez centímetros. Por lo que el manejo manual del lente está dado a una altura aproximada de un metro y 70 centímetros. En la figura 38 se observa el montaje completo de la impresora solar 3D, siendo la parte superior el sistema de concentración y movilización del lente, y la parte inferior el sistema de movimiento cartesiano de la cama de polvo y marco estático de soporte.

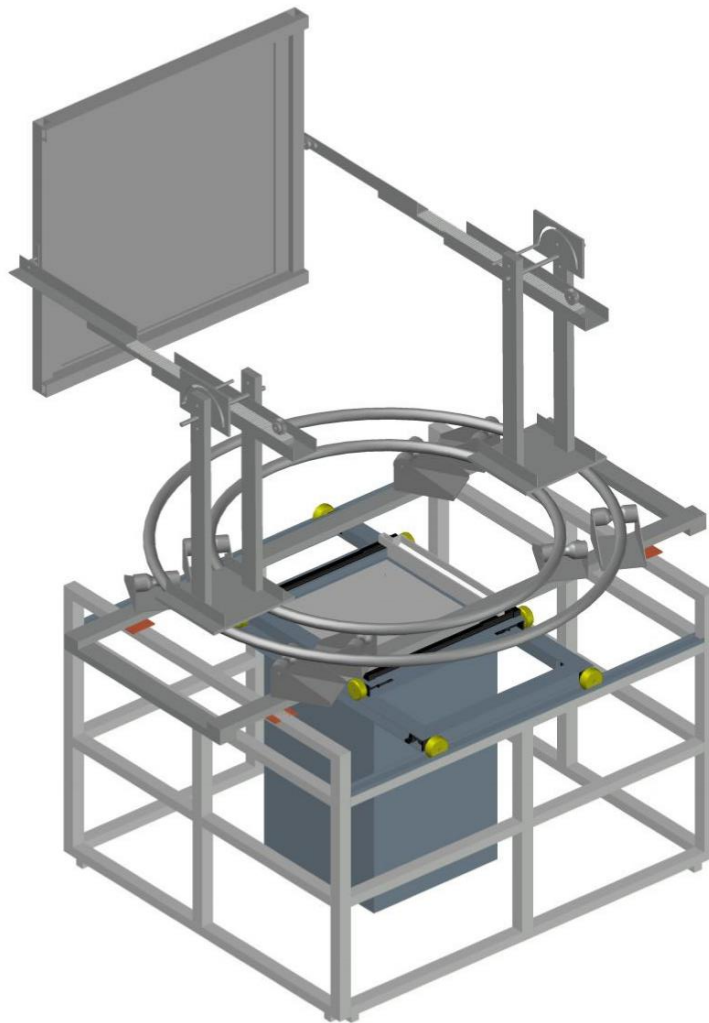


Figura 38: Ensamble final de la impresora solar 3D. Elaboración propia. [3]

4.4 Sistema de alimentación fotovoltaico

4.4.1 Calculo de requerimiento eléctrico del sistema

Una vez determinados los índices de radiación de la zona del país con mayor exposición, se pasó a evaluar los datos para el cálculo del sistema de alimentación fotovoltaica.

4.4.1.1 Horas de Sol Equivalentes

La irradiación solar cambia a lo largo del día en función de la posición que se encuentra, así como en las primeras horas del día ésta es muy baja en comparación a los valores que alcanza al medio día cuando los rayos están perpendicular al módulo. Por esto se agrupa la cantidad de horas en las cuales el sol es un aporte energético, definidas como horas de sol equivalente (HSE). Una hora de sol equivalente corresponde a la cantidad de horas en el día que se dispone de una irradiancia de $1 [kW/m^2]$, valor considerado como irradiancia en condiciones estándar de prueba (STC).

Cálculo Radiación solar global media diaria:

$$RGm\ diaria = \frac{Radiacion\ solar\ global\ media\ mes}{n_{días\ mes}} [kWh/m^2] \quad (28)$$

Como resultado se obtuvieron promedios diarios de irradiación solar para cada estación del mes en distintas regiones del país, valores de los cuales se obtuvo el gráfico de la figura 39. En éste se puede observar la línea naranja, que corresponde a la región de Antofagasta y de Atacama, que presenta los valores mensuales mayores el 66% del año.

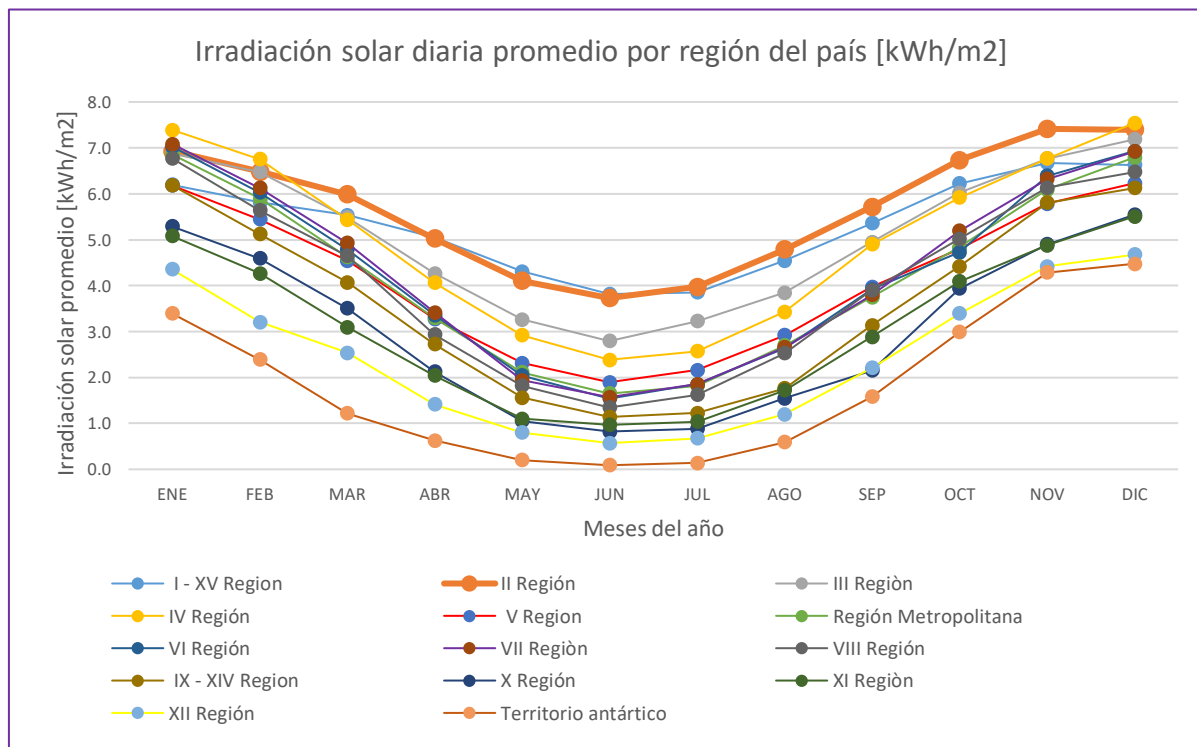


Figura 39: Irradiación solar diaria promedio por región. Elaboración propia.

Cálculo Horas de Sol Equivalentes:

De los valores obtenidos de irradiación solar establecidos en el cálculo anterior, se tomaron los datos de las regiones con registros más altos y la región metropolitana como referencia para el cálculo de las horas de sol equivalentes con las cuales contaría el módulo fotovoltaico.

$$HSE = \frac{\text{Radiación solar global media diaria}}{STC} [kWh/m^2] \quad (29)$$

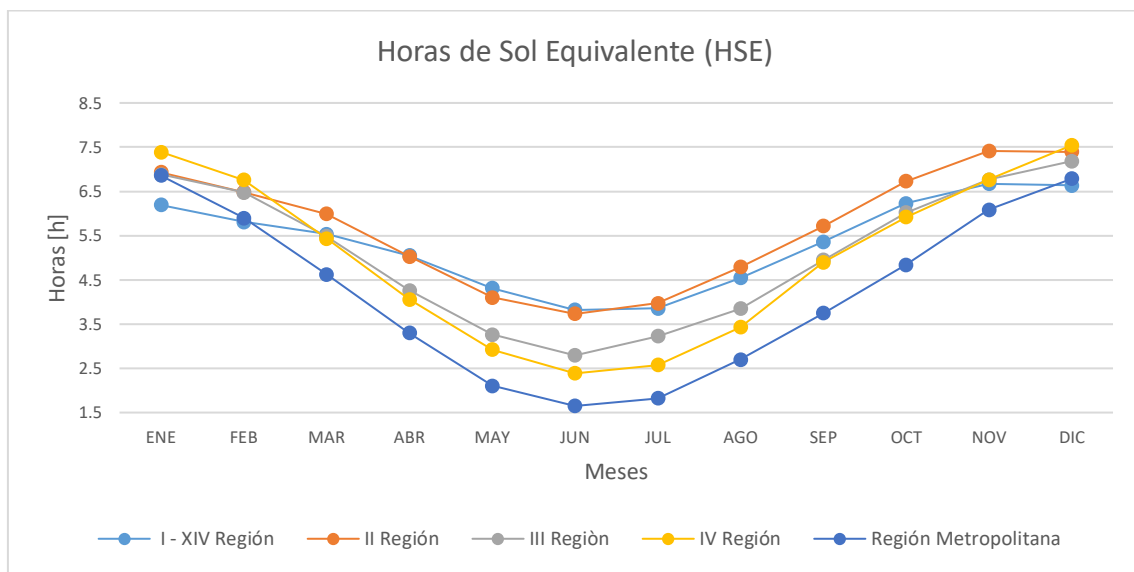


Figura 40: Horas de sol equivalente. Elaboración propia.

Para el correcto dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, se debe utilizar el mes de menor radiación, ya que, si se llega a cumplir la demanda energética necesaria con el valor más bajo, se asegura que para los demás meses no haya escases de electricidad.

4.4.1.2 Cantidad de módulos fotovoltaicos

Para poder determinar la cantidad de paneles, primero se requirió determinar la demanda energética de cada componente eléctrico del sistema de concentración solar y el sistema de reposición de material. Para esto se hizo la suposición que durante su periodo de operación, el tiempo total que funcionaría por día sería de 3 horas, tomando en consideración que los equipos no están funcionando en todo momento y el tiempo que se requiere para poder sinterizar el material. En la tabla 17 se pueden observar las demandas obtenidas.

Tabla 17: Demandas eléctricas de elementos electromecánicos. Elaboración propia.

Elementos	Potencia [W]	Cantidad	Energía Total [W/h]
Motor Nema 34	16,8	2	100,8
Motor 8700 Serie 34	9,69	1	29,07
Motor Nema 17	11,4	2	68,4
Motor Nema 23	12,16	4	145,92
Controlador CNC	0,1	1	0,3
Controlador Carga	50	1	150
Demanda Total			494,4

También se requirió realizar un estudio de distintos tipos de celdas que se encuentran en el mercado. Se encontraba la opción de un módulo solar, pero estos quedaban sobredimensionados respecto a la cantidad de energía demandada. Se decidió utilizar el modelo Mono-156.75-4BB, modelo de celda con potencia máxima mayor, resultando así en un menor número total de celdas.

Tabla 18: Estudio de modelos de celdas solares. Elaboración propia.

Modelo de celda fotovoltaica	Eficiencia [%]	Potencia máxima [W]	Tecnología celular	Isc [A]
M156B5	21.6	5.38	PERC	9.32
M2 Mono 5BB	21.6	5.27	PERC	9.77
SSC - 156.75M	19.8	4.48	Monocristalina	9.77
JS156B5	18.5	4.55	Policristalina	8.89
Mono-156.75-4BB	21.7	5.28	PERC	9.66
156.75-POLY-5BB-PID	19	4.64	Policristalina	9

$$N^{\circ} \text{ celdas} = \frac{\text{Demanda energética del sistema}}{\text{Potencia máxima} * \text{HSE}} \quad (30)$$

Finalmente se obtuvo el número de celdas para la II Región y para la Región Metropolitana durante el año, sin embargo, al momento de diseñar un se debe usar el caso con menor irradiación, siendo en ambos casos el mes de Junio.

Tabla 19: Número de celdas solares calculadas. Elaboración propia.

Localidad	Enero	Junio	Diciembre
II Región	13.3	24.6	12.4
Región Metropolitana	13.4	55.7	13.5

4.4.1.3 Capacidad de Acumulación en Baterías

Se decidió el tipo de batería Monoblock dado que este tipo de batería está destinada a instalaciones fotovoltaicas de uso esporádico y de pequeños consumos, donde la relación calidad-precio debe estar equilibrada.

(31)

$$\begin{aligned} \text{Capacidad de acumulación} &= \frac{\text{Demanda energética}}{\text{Tensión de baterías}} \\ &= \frac{494.49}{12} = 41.21 \text{ [A/h]} \end{aligned}$$

4.4.1.4 Capacidad de Acumulación real en Baterías

Para el cálculo de la capacidad de acumulación real se debe utilizar una cantidad de días hipotética de días en que el sistema puede tener autonomía, en otras palabras, son los días que no se dispondría del recurso solar y el sistema funciona con la carga de las baterías. Por efectos de cálculo, se dispondrá de un valor de 1.5 días de autonomía pero en la práctica, dado que es un sistema que funciona completamente con energía solar, no funcionaría en días sin recurso solar.

El cálculo de la profundidad de descarga se hace en base a la capacidad de descarga de la batería, que en este caso siendo la batería a utilizar una batería Monobloc de capacidad C100, tiene un valor de 70 [A/h] y al compararlo con el valor de capacidad de acumulación calculado anteriormente entrega el valor de 0.586.



Figura 41: Motor Monoblock C100 70A/h

$$\text{Capacidad de acumulación real} = \frac{\text{Capacidad de acumulación} * \text{Días autonomía}}{\text{Profundidad de descarga}} \quad (32)$$

$$= \frac{41.1 * 1.5}{0.586} = 105.53 \left[\frac{A}{h/día} \right]$$

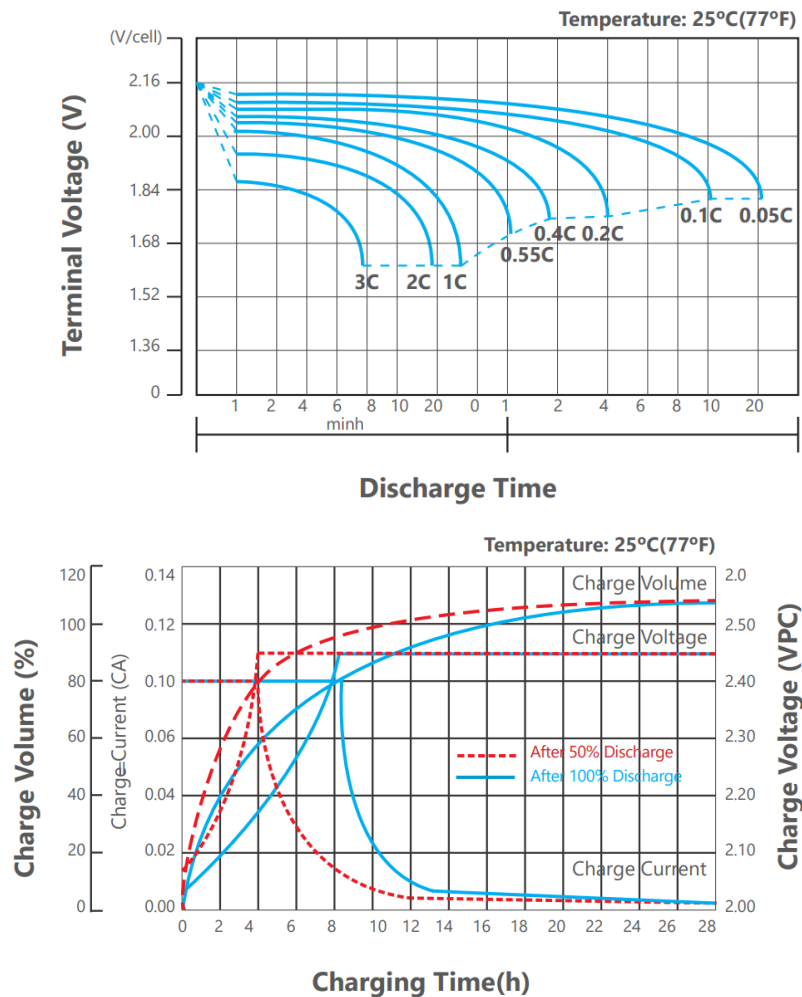


Figura 42: Superior: Gráfico de tiempo de descarga del motor seleccionado.
Inferior: Gráfico de descarga de motor seleccionado.

4.4.1.5 Calculo Regulador de Carga

Para definir el regulador de carga primero se debe considerar la configuración que tendrán las celdas que se utilizarán. Como se mencionó anteriormente, se quiere evaluar el caso de la región con irradiación promedio diaria mayor, y para poder dimensionar de manera correcta se debe utilizar el mes con menos cantidad. Esto entrega un total de 24,6 celdas solares, número que será redondeado a 25. Con el número de celdas

determinado se decidió utilizar una configuración de 5X5, donde cada celda tiene una dimensión de 156.7x156.7 [mm].

En la figura 43 se puede observar un esquema del arreglo por filas que conformaría el conjunto módulo fotovoltaico. Cabe destacar que las conexiones de cada fila al regulador de carga se deben hacer en serie, para así poder cumplir con los requerimientos de carga de la materia y por consiguiente la demanda de la impresora 3D.

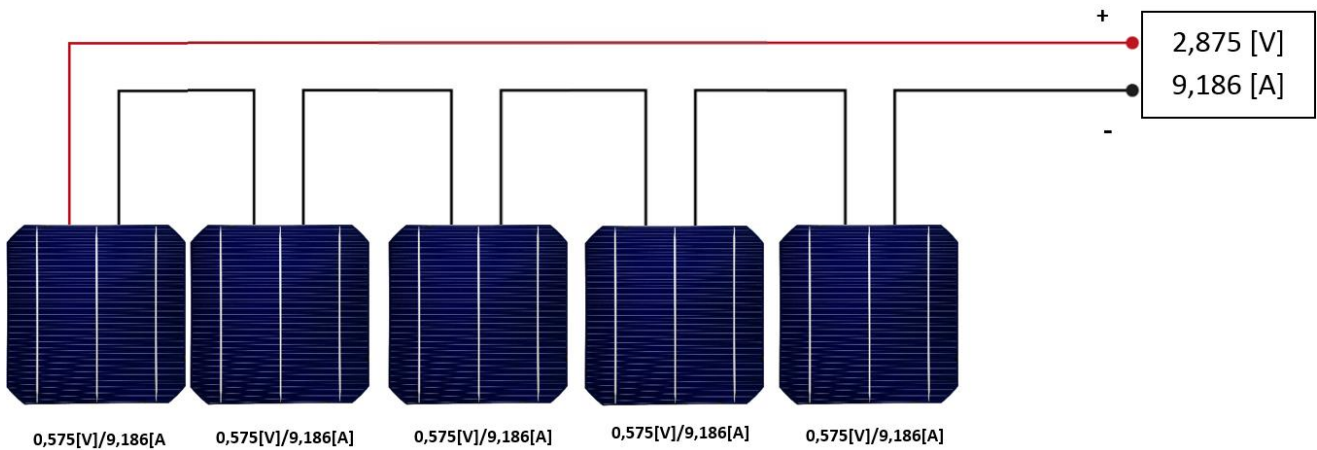


Figura 43: Esquema de conexión en serie de celdas solares. Elaboración propia.

Dado que todo los módulos se conectan en serie, el valor de nº de módulo en paralelo es igual a uno, obteniendo así:

$$\begin{aligned} \text{Regulador de carga} &= \text{ISC módulo } f_v * n^{\circ} \text{modulos en paralelo} * 1.25 \quad (33) \\ &= 9.32 * 1.25 = 11.65 \text{ [A]} \end{aligned}$$

El valor 1,25 es consiste en un coeficiente de corrección el cual considera un margen para una posible sobre intensidad de correinte de entrada al regulador de 11.64 [A]. En el mercado se encuentran reguladores para materias de 12 [V] de 10 y 20 [A], por lo que se deberá optar por esta última opción. Se realizó una búsqueda de distintos tipos de reguladores, y se decidió por el modelo Solar 20 [A] PWM VS2024AU, que se observa en la figura 44:



Figura 44: Inversor de carga seleccionado.

4.4.1.6 Elección de inversor de carga

Una vez obtenidos los datos para el sistema fotovoltaico, se debe seleccionar el inversor de corriente, para así poder utilizar la electricidad en la impresora solar. Se determinó que la potencia requerida era de un total de 495 [W/h], obteniendo como resultado la elección de inversor de modelo Xantrex 500 [W], de corriente 12 VCC. En la sección de anexos se observan las especificaciones técnicas del inversor seleccionado. En la figura 45 se observa el modelo de inversor seleccionado.



Figura 45: Inversor de carga seleccionado.

4.4.1.7 Esquema de funcionamiento de sistema de alimentación fotovoltaica

Para finalizar el sistema fotovoltaico se presenta su esquema de instalación, con cada componente seleccionado en las secciones anteriores. En la figura 52 se observa el esquema de la instalación del sistema fotovoltaico. Cabe destacar que el regulador de

carga presenta múltiples entradas por lo que se puede realizar una conexión en serie que se observa en la figura 46, así alcanzando la potencia requerida por el sistema. Tomando en consideración los espacios que habría entre celdas y los demás equipos, se definió un área de panel fotovoltaico de 850X850 [mm].

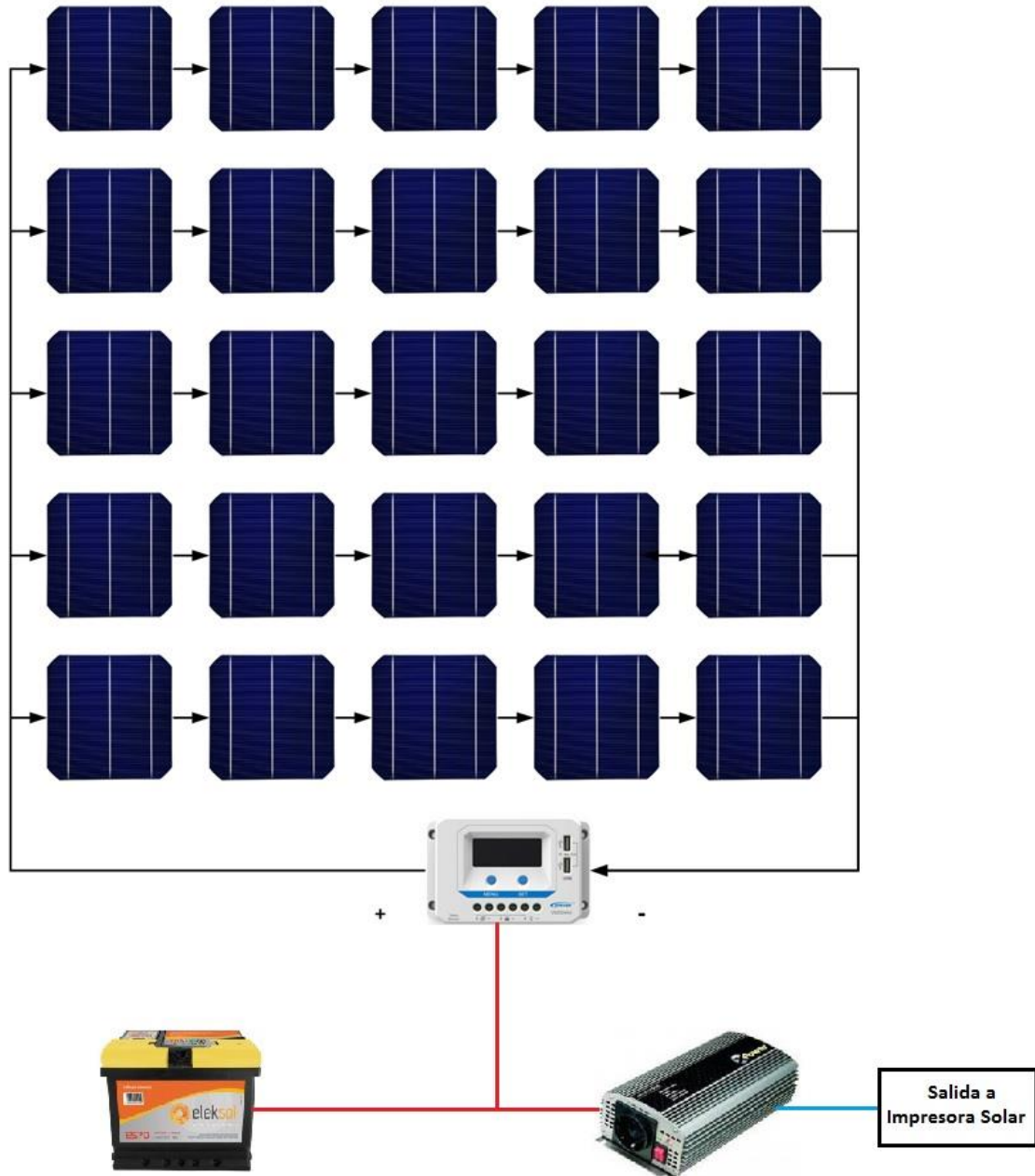


Figura 46: Esquema de instalación completa del sistema de alimentación fotovoltaico. Elaboración propia.

4.4.1.8 Modelo CAD de sistema de alimentación fotovoltaica

Una vez dimensionado el sistema fotovoltaico y determinado los elementos que lo componen, se realizó el modelamiento 3D de este. Para poder modificar su posición en función a donde más radiación solar, se diseñó un modelo que se encuentra separado de la impresora solar 3D, que se encuentra conectado a los sistemas electromecánicos mediante un cableado proveniente del de la batería. Como el sistema se dimensionó para no presentar resistencia por transmisión de energía, el cableado no superaría los 2 [m] de distancia entre el sistema de alimentación fotovoltaica y la impresora solar.



Figura 47: Modelo 3D en CAD del sistema de alimentación fotovoltaica.
Elaboración propia.

En la figura 47 se observa el sistema modelado, donde se incluyen los componentes seleccionados en la sección anterior. La superficie superior cuenta con un área de 850×850 [mm²] y los perfiles de aluminio de soporte tienen una altura de 1,100 [mm]. Las uniones entre estos perfiles y los perfiles base de la superficie del panel es mediante pernos hexagonales y sus respectivas golillas. El detalle de los elementos que componen el sistema de alimentación fotovoltaica se encuentra en la sección de anexos C.

4.4.2 Evaluación de datos para el funcionamiento del sistema fotovoltaico

4.4.2.1 Análisis de datos de la II región en sistema de concentración solar

A continuación, se utilizan los datos de radiación obtenidos por el estudiante que desarrolló y construyó el sistema de concentración solar. Estos datos corresponden a la radiación obtenida en el mes de Abril del año 2019, en la región metropolitana, extraídos desde la plataforma del explorador solar. En la tabla 20 se pueden observar los datos que se utilizaron para simular el funcionamiento del lente de Fresnel.

Tabla 20: Datos de radiación medidos por el otro estudiante memorista. [3].

Fecha	Hora	Radiación global [W/m ²]	Radiación directa [W/m ²]	Radiación difusa [W/m ²]
05/04/19	14:00	831,41	691,51	131,16
	15:00	713,07	588,2	116,86
	16:00	534,78	434,20	95,19
17/04/19	14:00	794,08	665,54	120,55
	15:00	672,59	559,33	106,63
	16:00	491,86	401,96	85,25

Según datos entregados por el fabricante del lente, tiene un coeficiente de transmisión del 92%, obteniéndose para los datos obtenidos por el otro memorista de 640 [W]. Ahora, analizando el caso que se utilizó para el cálculo de los requerimientos del sistema de alimentación fotovoltaica, se analiza la potencia alcanzada por el lente. Para esto se hará la comparación entre el mes de mayor radiación, Enero y el mes de menor radiación, Junio.

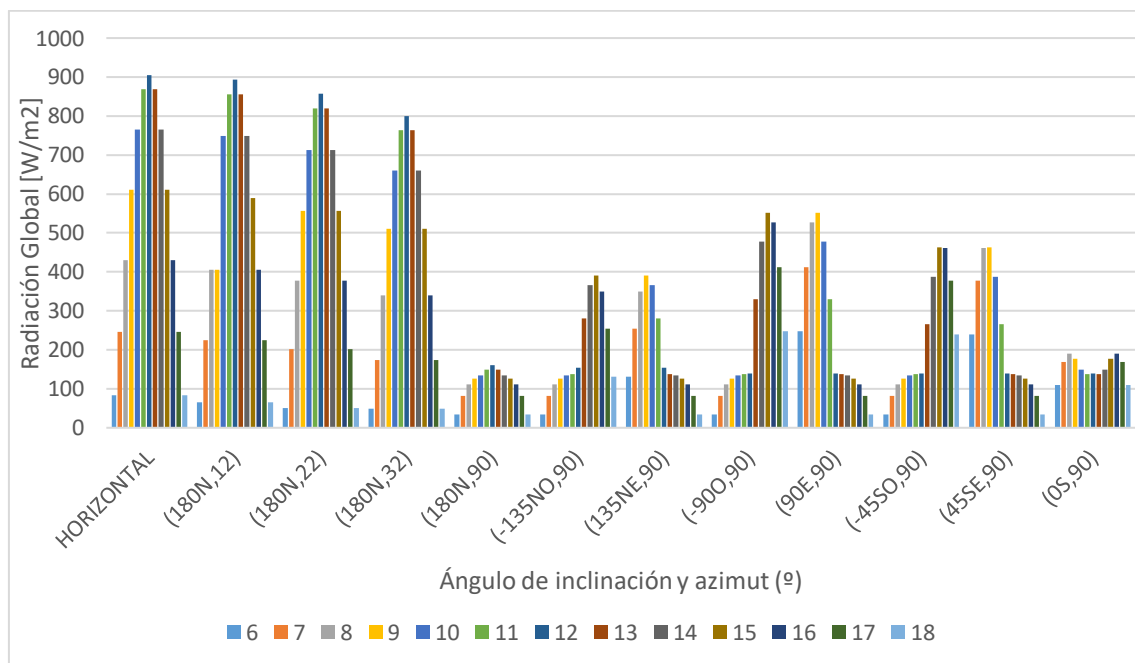


Figura 48: Potencia del lente Fresnel en el mes de Enero según ángulos de inclinación y azimut. Elaboración propia.

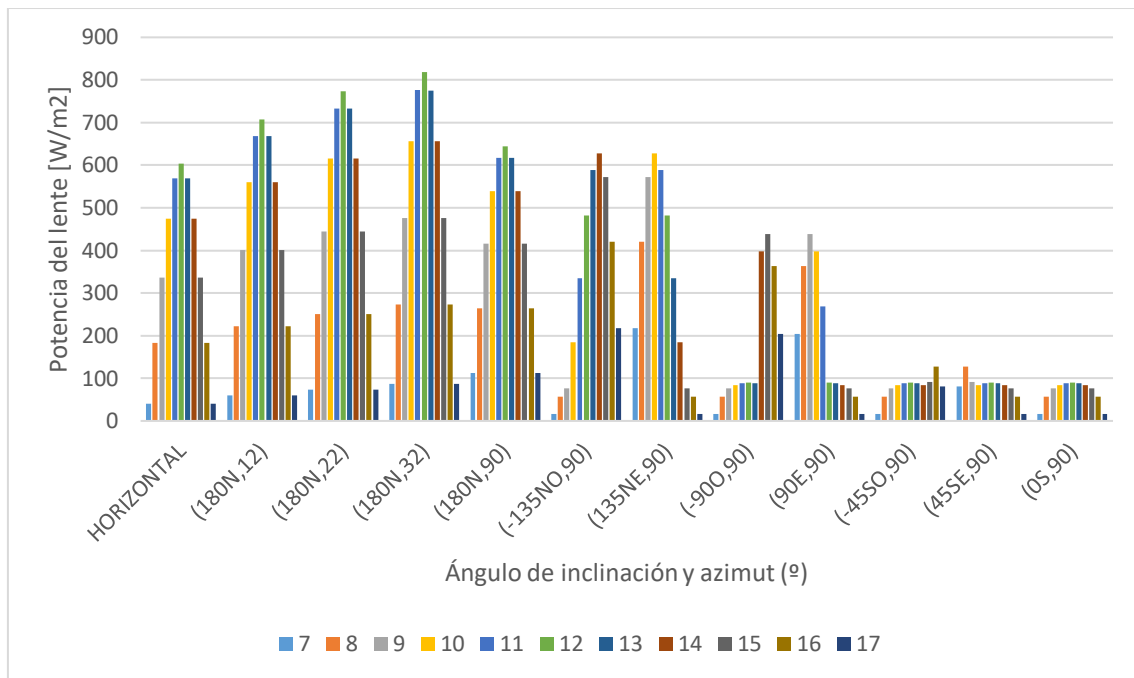


Figura 49: Potencia del lente Fresnel en el mes de Junio según ángulos de inclinación y azimut. Elaboración propia.

Se observa en los gráficos de potencia del lente Fresnel, de las figuras 48 y 49, el comportamiento según los ángulos de inclinación y del azimut. Como se esperaba, se obtuvo que la potencia encuentra su punto máximo a las 12:00 horas en los dos casos. Se destacan las diferencias del comportamiento en función de la posición del sol y su respectiva estación del año. El valor máximo de potencia del lente que se alcanza en el mes de Enero es de un total de 905 [W/m²] para el plano horizontal y otros valores bajos de inclinación. Por otro lado, la potencia máxima obtenida en el mes de Junio es de 818,8 [W/m²]. Para los dos casos, se obtuvo una mayor potencia que cuando se realizaron las pruebas del lente en Santiago, lo cual es consistente a lo esperado. Esto llevaría a una disminución en los tiempos de sinterizado del material y por consiguiente una disminución en los tiempos de impresión.

4.4.2.1 Simulación de cálculos para las celdas fotovoltaicas

Una vez determinados los requerimientos del sistema de alimentación fotovoltaica, realizados con datos obtenidos de un registro solarimétrico realizado por el Ministerio de Energía a lo largo de todo el territorio nacional. Este estudio cuenta con datos de Irradiancia, Irradiación y Radiación para todas las regiones del país, cuyo objetivo central es la remoción de las barreras existentes a la incorporación de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) destinadas a promover la generación de energía eléctrica tanto en el sector rural como en zonas donde no se cuenta con acceso a energías de carácter convencional.

Manteniendo la línea, el Ministerio de Energía implementó junto con el departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y otras diversas organizaciones, una plataforma de forma gratuita denominada Explorador Solar. Esta plataforma cuenta con información detallada del recurso solar en Chile, generada a partir de modelos atmosféricos y datos satelitales, comprendidos entre los años 2004 y 2016, con una resolución espacial de 90 metros.

Junto con contar con los datos del recurso solar en Chile, esta plataforma cuenta también con herramientas para el cálculo de generación fotovoltaica y de sistemas solares térmicos. En la figura 50, se puede observar la interfaz para el cálculo avanzado de generación eléctrica fotovoltaica para una zona determinada.

Figura 50: Interfaz de explorador solar. [6]

Los datos introducidos en la plataforma fueron los obtenidos de las especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos, la batería y el inversor de corriente. Junto con esto, se integraron valores de los coeficientes de temperatura del módulo fotovoltaico que se pueden observar en la tabla 21.

Tabla 21: Datos ingresados en plataforma del explorador solar. Elaboración propia.

Modelo celda	V_{mp} [V]	I_{mp} [A]	V_{oc} [V]	Factor Llenado (FF)	Coef. Tº Potencia Máxima	Coef. Tº V_{oc}	Coef. Tº I_{sc}
Mono-156.75-4BB	0.575	0.575	0.67	81.55	-0.42	-0.32	0.04

Una vez introducidos los valores en la plataforma se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 51:



Figura 51: Resultados obtenidos de simulación con datos del sistema fotovoltaico calculado.[6]

Como se observa en la figura 51, el gráfico entregado por el Explorador Solar. En este se cuenta con un mínimo de generación eléctrica en el mes de junio, tal y como era de esperarse, con un valor de 14 [kWh] de generación mensual, entregando un total de 0.466 [Kwh] promedio diario, lo que cumple con la demanda energética total que es requerida por la impresora solar 3D. De los estudios de sistemas fotovoltaicos realizados para esta memoria, se concluyó que la configuración más adecuada para un módulo fotovoltaico que no cuenta con una posición fija es la configuración horizontal, parámetro que se ingresó para el cálculo de generación eléctrica mensual promedio que se observa en la figura 55.

4.5 Sistema de control y software de modelado e impresión

Existen un gran número de páginas que encuentran extensas bibliotecas de diseños 3D, las cuales son de fuente abierta lo que implica que son asequibles para quien desee. Como se explicó en la sección del controlador arduino, estos están programados para trabajar con este tipo de archivos. El factor de decisión siguiente es que software de modelamiento se utilizará para ingresar estos modelos al sistema, los cuales se dividen principalmente en 3 tipos de programas para impresora 3D: de corte y control, editar y reparar y modelado y diseño. El proceso de sinterizado efectuado por la impresora solar 3D es de carácter aditivo por lo que por efectos prácticos se utilizará el tercer tipo señalado, de modelado y diseño.

Fusion 360 es un software de diseño desarrollado por Autodesk, que cuenta con herramientas para el proceso de planificación, prueba y ejecución de un modelo en 3D. Este programa destaca por admitir el uso compartido de archivos en la nube, el control de versiones y la importación y exportación de archivos CAD.

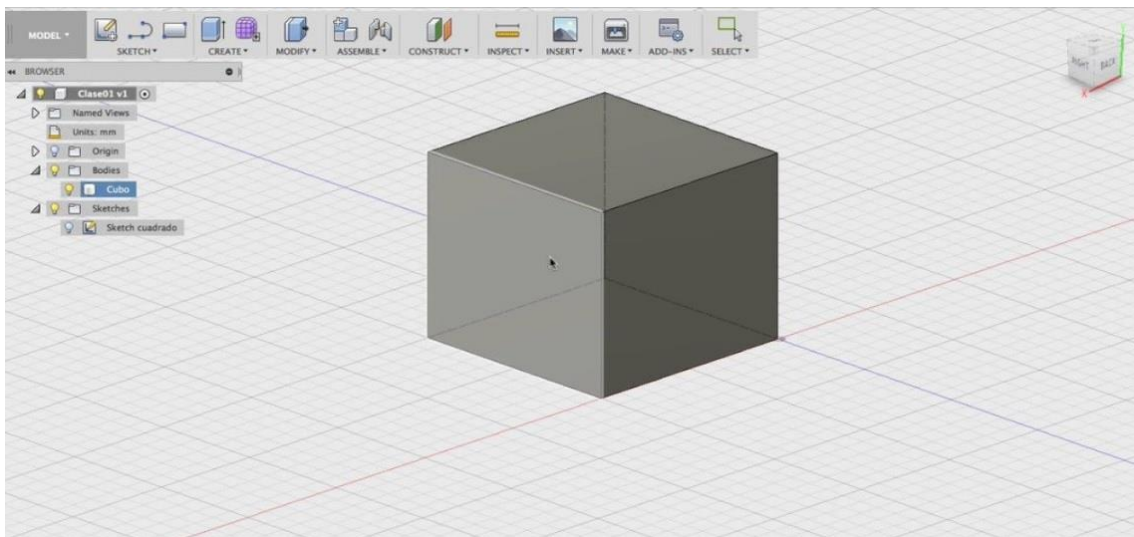


Figura 52: Interfaz del usuario del software Fusion 360.

Para el control de los equipos electromecánicos se utiliza el software Repetier – Host, que al igual que Fusion 360 utiliza el lenguaje de programación G-code que se detalla en la sección de antecedentes. Este software permite el control de la velocidad y trayectoria de desplazamiento, configurar la impresora, entre otras funciones. Este software también es compatible con la gran cantidad de firmwares, de los cuales se utilizará *Sailfish*. Este firmware es utilizado por las impresoras Makerbot y su segunda versión bifurca de Marlin, que está basada en la plataforma arduino.

5. Conclusiones y recomendaciones

Ingeniería conceptual

A continuación, se presentan las conclusiones de este proyecto en función de la ingeniería conceptual:

Uno de los desafíos existentes en este proyecto fue la confección de un sistema del cual no se tiene una amplia bibliografía de la cual tomar referencias, puesto que la exploración de la impresión 3D a base de energía solar es un nicho de la tecnología 3D que aún está en exploración y desarrollo a nivel mundial. Por esto se atribuye gran parte de las decisiones de diseño a las referencias disponibles, como se menciona durante este informe, la impresora 3D desarrollada por el arquitecto alemán Markus Kayser. Este proyecto es una adaptación de este modelo, implementando variaciones en los subsistemas que se toman de la tecnología de impresión 3D convencional, que cuenta con especificaciones técnicas y conceptuales en el dominio público.

Un ejemplo de esto es la implementación de ejes lineales en el sistema de desplazamiento en Z de la cama de polvo o la utilización de guías lineales para desplazar el sistema de reposición de material de la cama de polvo.

Cuando se definió cada subsistema mostrado en esta sección, se consideró también la variable asociada a los procesos de manufactura de los elementos que se realizarían por el alumno, los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y las limitaciones técnicas existentes en el taller de manufactura de la facultad del departamento de ingeniería mecánica. Por esto existen varios de estos elementos que no tienen una gran complejidad de manufactura.

Ingeniería de detalle

A continuación, se presentan las conclusiones de este proyecto en función de la ingeniería de detalle:

En esta sección surgen distintas dificultades a la hora de la toma de decisiones respecto a los elementos estructurales, de sujeción y electromecánicos pertenecientes a cada subsistema. Una de las razones que explican esto, es la imposibilidad que hubo de realizar la construcción y compra de materiales producto de la situación que se dio en el mundo por la pandemia mundial.

Otro aspecto a analizar es la falta de conocimiento de los elementos de sujeción y electromecánicos que se tomaron de distintos catálogos, que si bien contaban con las especificaciones técnicas se debe considerar si estos pueden ser montados y ensamblados de manera que el sistema funcione como detalla y calcula en la sección de resultados de la ingeniería de detalle. Estos factores hacen que exista incertidumbre respecto a si los elementos seleccionados son los correctos para el funcionamiento del sistema de desplazamiento de la mesa de polvo y de reposición de material.

Sistema de alimentación fotovoltaica y análisis de datos obtenidos

Los datos obtenidos del registro solarimétrico emitido por el ministerio de energía constan del año 2004, por lo que se podría profundizar en bases de datos que estén más actualizadas para así poder tener mayor precisión a la hora de calcular los requerimientos de tipo de celdas y de cantidad de generación necesaria para el sistema. Si bien esto puede presentar cambios en los resultados obtenidos, la simulación de datos realizada en la plataforma del explorador solar, entregó que el sistema que se dimensionó con los datos del registro solarimétrico no difieren en gran medida con respecto a los datos actualizados que presenta la plataforma en sí. Por esto se llega a la conclusión que desde el año 2004 las variaciones de la radiación medida en las regiones analizadas (II región) no es de gran significancia en lo que respecta al dimensionamiento de un sistema de alimentación fotovoltaico.

Respecto a la orientación del sistema fotovoltaico, está mencionado en la bibliografía estudiada que la mejor configuración para instalar un sistema que varía su posición es la orientación horizontal (0° de inclinación). Si bien esto adapta de manera correcta al sistema de impresora solar 3D que se desarrolló, la configuración que más se podría acercar al óptimo de aprovechamiento de la radiación solar sería un sistema fotovoltaico que se ajuste a la posición del sol, al igual que el lente de Fresnel del sistema de concentración solar. De todos modos, la simulación en la plataforma del explorador solar, se realizó con una inclinación horizontal, por lo que los resultados obtenidos consideran la configuración de diseño.

Limitaciones y mejoras sugeribles

Dentro de la realización de este proyecto se identificaron una serie de limitaciones y mejoras las cuales se detallarán en la siguiente sección:

- Elaborar distintos sistemas de reposición de material que permitan la utilización de distintos tipos de material granulado, entregándole mayor versatilidad al sistema.
- Dado que los elementos de sujeción y elementos electromecánicos están expuestos a material granulado, deben asilar estos elementos además de mantenerlos lubricados para evitar problemas en el funcionamiento de la impresora solar. Esto también presenta gran importancia debido a que este sistema trabaja en el exterior y puede estar sometido a altas temperaturas, humedad, material particulado, entre otros.
- Realizar pruebas enfocándose en aumentar la precisión y confiabilidad de la impresión. Esto porque las pruebas que se efectuaron estaban enfocadas en determinar el tiempo y la profundidad del sinterizado, dejando de lado el área de impresión o la terminación superficial de la impresión resultante. Esto se puede lograr probando distintos tipos de lentes y un sistema de control más

robusto, dando la capacidad a la impresora de generar diseños de mayor complejidad.

- Colocar el sistema de cableado de los elementos electromecánicos con el fin de aislarlos y evitar que producto de la manipulación y funcionamiento de la impresora, estos puedan ser pasados a llevar.
- Como se discutió en la sección de resultados de la memoria de cálculo, el material repone en el sistema de reposición de material de forma manual. Se propone implementar un sistema de reposición automatizado, que cuente con controladores que le digan al sistema cuando se debe agregar más material. Como otra mejora está la implementación un sistema de apertura o compuerta que regule de manera más precisa la deposición de material en la mesa de polvo.
- Estudio de los distintos materiales a utilizar en la impresora y como las diferencias en sus propiedades afecta el tiempo de impresión, la profundidad de esta y por consiguiente la velocidad a la cual se debe mover el sistema para cada uno de estos materiales granulados.

Una limitante que se identificó gracias a la realización del sistema de seguimiento solar del lente Fresnel por el otro memorista, fueron las deficiencias presupuestarias que existieron al momento de construirlo. Como se menciona en la sección de antecedentes del programa Beauchef Proyecta, se contaban con un presupuesto inicial de 1.000.000 CPL, los cuales se gastó 700.000 CLP en la construcción del sistema del otro memorista y 340.000 CLP en la compra del lente de Fresnel. El presupuesto utilizado por el otro memorista no cuenta con los sistemas electromecánicos, lo que se traduce en que no está automatizado. Teniendo esto de antecedente, en caso que hubieran estado las condiciones a nivel país para construir el sistema abarcado en este informe, hubiera habido problemas con el presupuesto que se consideró en un principio para el proyecto de impresora solar 3D. Esta limitante se podría evitar en proyectos futuros realizando un análisis de costos a gran escala en su comienzo, así pudiéndose dimensionar de manera más precisa el capital necesario para la construcción completa y automatizada de un sistema mecánico. Otro enfoque que se podría haber al inicio del proyecto es acotar de mejor manera la ingeniería conceptual y de detalle, para poder ajustar el diseño de los alumnos memoristas al presupuesto que se presenta por parte de la universidad.

6. Bibliografía

[1] S. KALPAKJIAN y S.R. SCHMID, "Manufactura: Ingeniería y Tecnología", Prentice Hall, 2008

[2] M.K. GROOVER, "Fundamentos de Manufactura Moderna" McGraw Hill, 2007

[3] I.Moya (2019) "Diseño y Construcción de Mecanismo de Orientación y Posicionamiento de Lente de Fresnel para Impresora Solar.", Santiago, Chile.

[4] D.Askeland, P.Fulay, W.Wright (2010). The Science & Engineering of Materials. Bostons, United States.

[5] <https://kayserworks.com>

[6] <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>, Ministerio de Energía, Chile.

[7] Registro Solarimetrico, (2008) Irradiancia Solar en territorios de la República de Chile, Ministerio de Energía, Santiago.

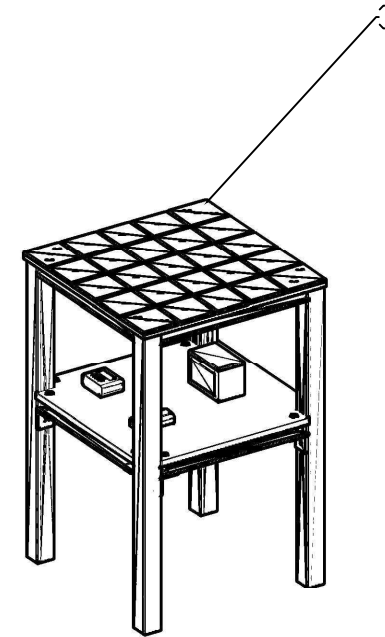
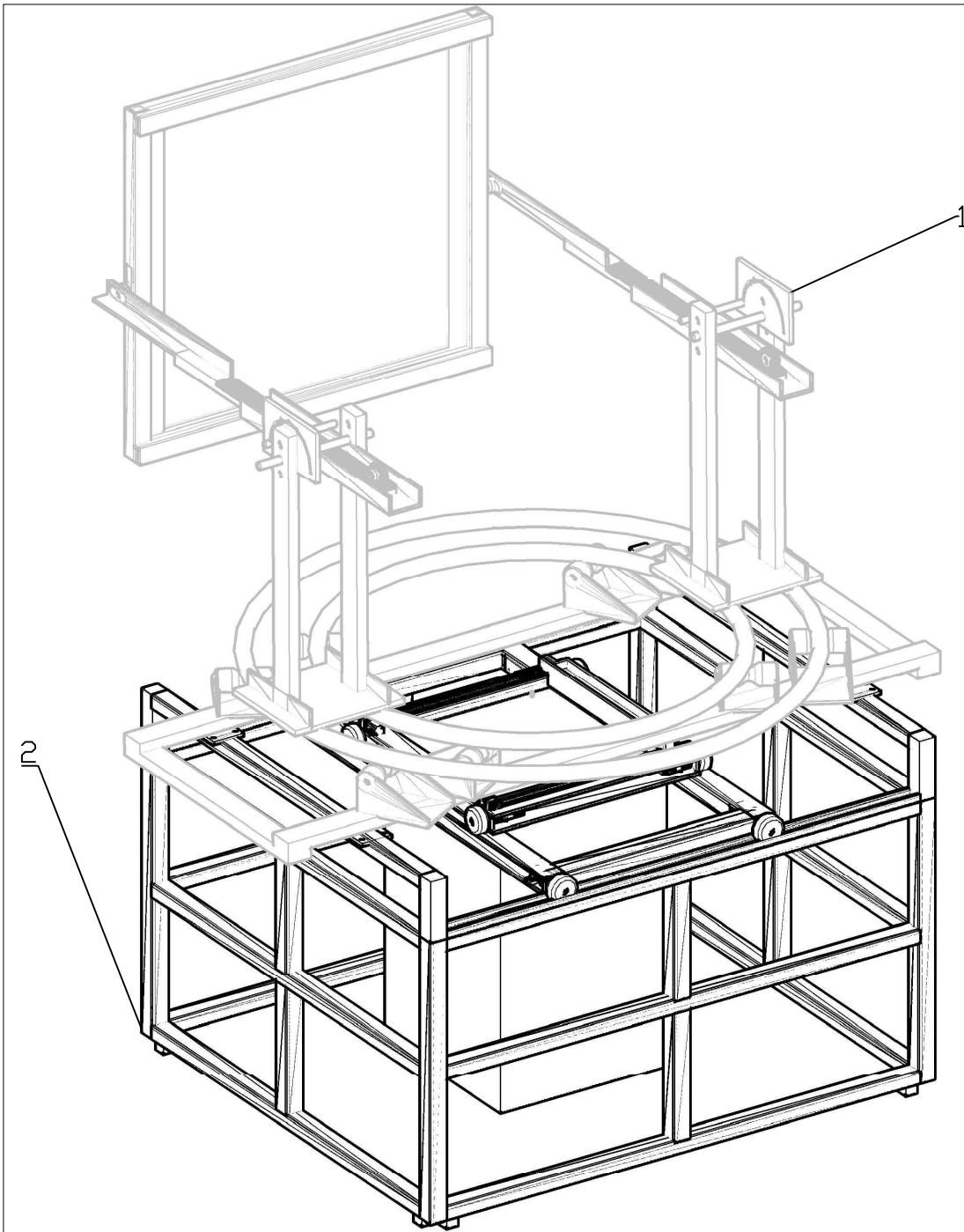
[8] <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

6. Anexos

Anexo A
Planos de Fabricación de Ingeniería de detalle

Listado de Planos


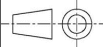
1. BP-i3DS-1000: Impresora Solar 3D.
2. BP-i3DS-2000: Sistema de Movimiento Cartesiano de Cama de Polvo y Reposición de Material. Ensamble General.
3. BP-i3DS-2010: Sistema de Movimiento en Ejes X-Y de la Cama de Polvo. Ensamble General.
4. BP-i3DS-2011: Sistema de Movimiento en Eje X. Despiece.
5. BP-i3DS-2012: Sistema de Movimiento en Eje X. Conjunto Explosionado. Detalle.
6. BP-i3DS-2013: Sistema de Movimiento en Eje X. Conjunto Explosionado. Detalle.
7. BP-i3DS-2014: Sistema de Movimiento en Eje Y. Despiece.
8. BP-i3DS-2015: Sistema de Transmisión de Movimiento en Ejes X-Y. Despiece.
9. BP-i3DS-2016: Piñón de Transmisión. Detalle.
10. BP-i3DS-2017: Eje de Ruedas y Soportes del Sistema de Movimiento en X-Y.
11. BP-i3DS-2020: Sistema de Movimiento en Eje Z y Cama de Polvo. Ensamble General.
12. BP-i3DS-2021: Mesa Móvil de Sistema de Cama de Polvo. Despiece.
13. BP-i3DS-2022: Mesa Móvil de Sistema de Cama de Polvo. Detalle.
14. BP-i3DS-2023: Mesa Soporte Motor de Sistema de Cama de Polvo. Despiece.
15. BP-i3DS-2024: Mesa Soporte Motor de Sistema de Cama de Polvo. Detalle.
16. BP-i3DS-2025: Estructura Cama de Polvo. Despiece.
17. BP-i3DS-2026: Estructura Cama de Polvo. Detalle.
18. BP-i3DS-2030: Sistema de Reposición de Material. Ensamble General.
19. BP-i3DS-2031: Sistema de Reposición de Material. Detalle.
20. BP-i3DS-2040: Marco Estático De Soporte Del Sistema De Impresora 3D Solar. Ensamble General.
21. BP-i3DS-2041: Marco Estático de Soporte de Sistema de Impresora Solar 3D. Detalle.
22. BP-i3DS-3000: Sistema de Alimentación Fotovoltaica. Ensamble General.
23. BP-i3DS-3001: Sistema de Alimentación Fotovoltaica. Detalle.

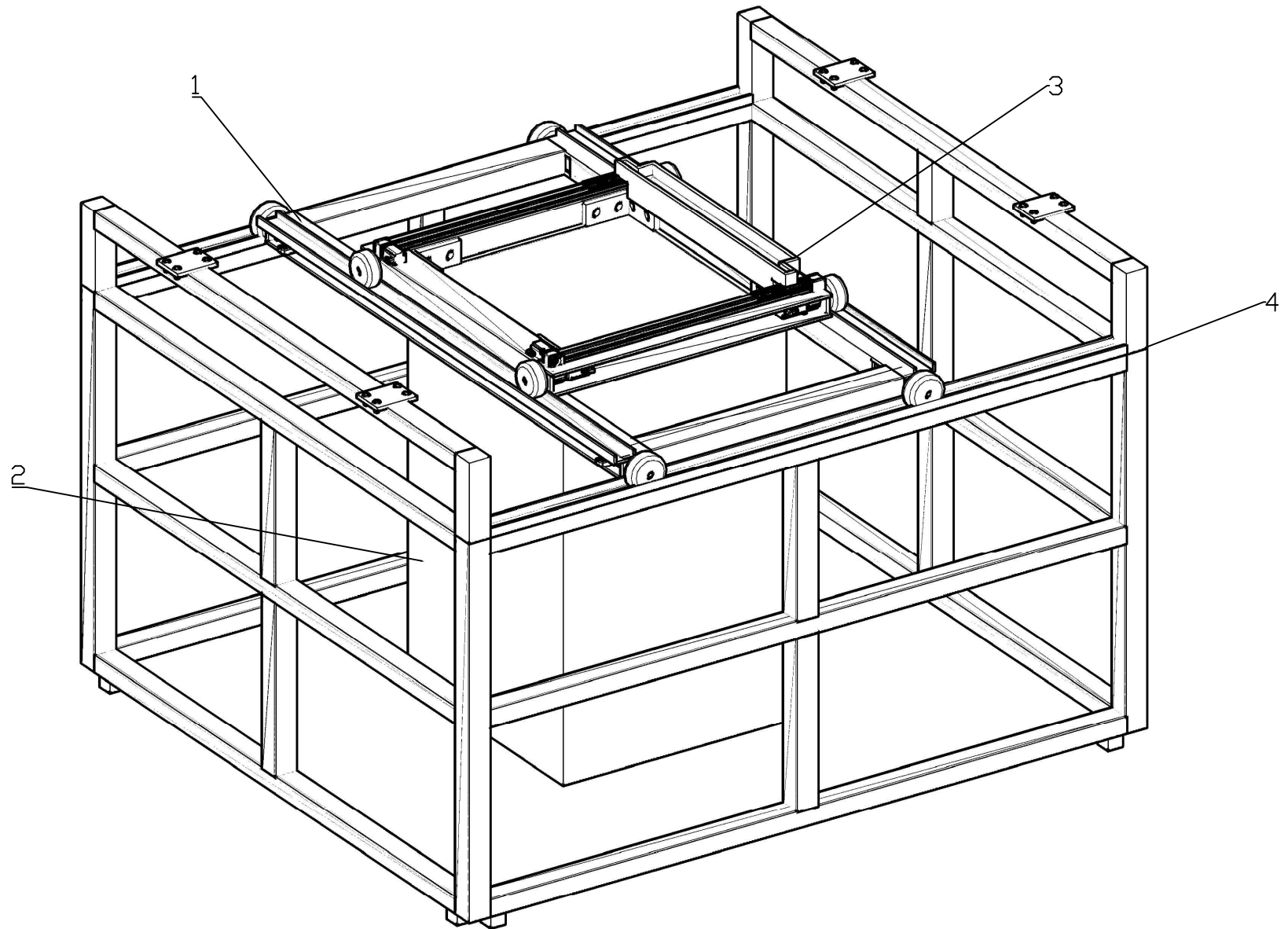


Ítem	Nombre del sistema	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Sistema de concentración solar	i3DS1000	Nota 4	1	N/A	120
2	Sistema de movimiento cartesiano de cama de polvo y soporte de concentración solar	i3DS2000	BP-I3DS-2000	1	N/A	270
3	Sistema de alimentación fotovoltaica	i3DS3000	BP-I3DS-3000	1	N/A	15

Notas:

1. Todas las dimensiones estn en milímetros a menos que se indique lo contrario.
2. Sistema de alimentación fotovoltaica está diseñado para ser portátil e independiente de la impresora.
3. No se representan los cables de interconexión entre el sistema de alimentación fotovoltaica y de la alimentación de los elementos electromecánicos y de control de la impresora 3D.
4. Sistema realizado por el memorista Ignació Moya en el trabajo de memoria "Diseño y construcción de mecanismo de orientación y posicionamiento de lente de Fresnel para Impresora Solar" en el año 2020.

		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto impresora solar 3D Impresora Solar 3D	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E		
Dibuj.	TM				
Verif.	JL		Material:	Nº de plano:	Rev
Aprob.	JL			BP-I3DS-1000	E
Fabric.					
Calidad				Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1

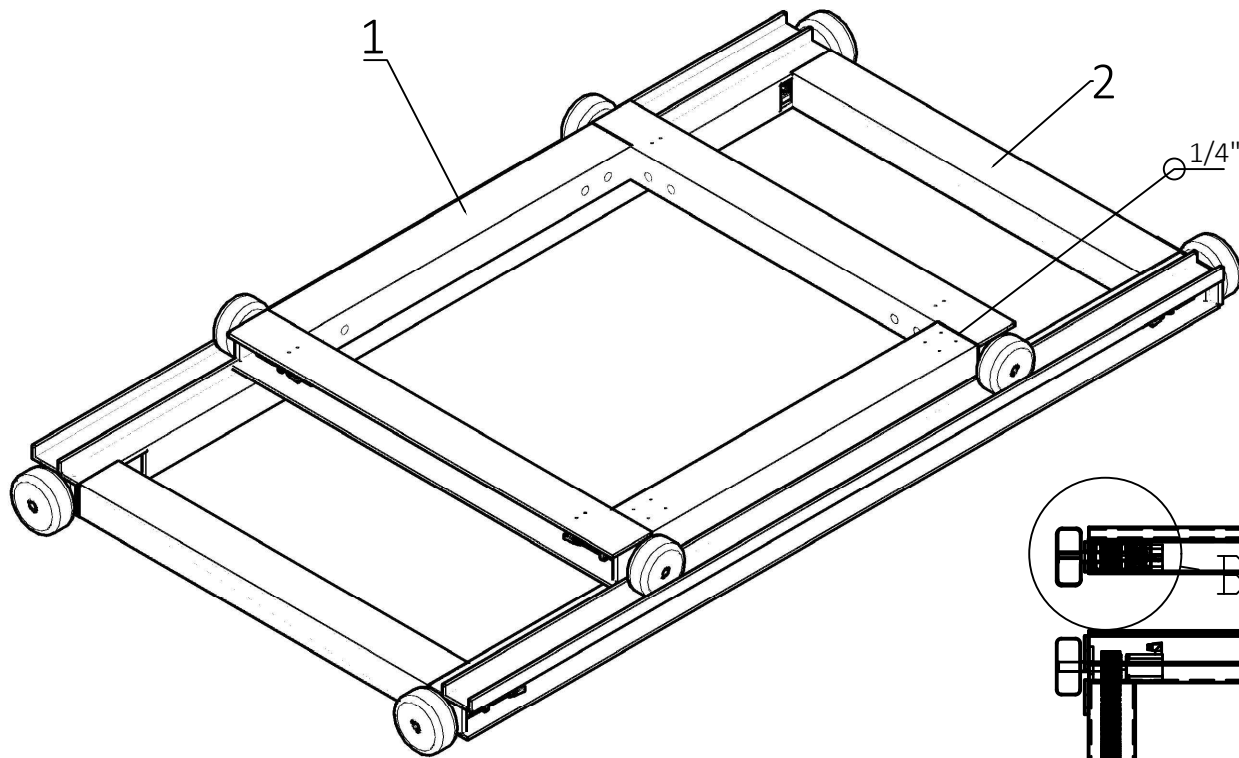


Notas:

1. Todas las dimensiones están en milímetros a menos que se indique lo contrario.

Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Sistema de movimiento en XY	i3DS2010	BP-13DS-2010	1	N/A	50
2	Sistema de movimiento en Z y cama de polvo	i3DS2020	BP-13DS-2020	1	N/A	39
3	Sistema de reposición de polvo	i3DS2030	BP-13DS-2030	1	N/A	6,8
4	Sistema de Marco de Soporte Estructural	i3DS2040	BP-13DS-2040	1	N/A	160

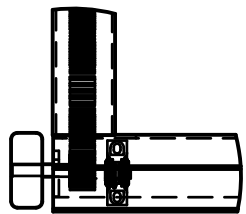
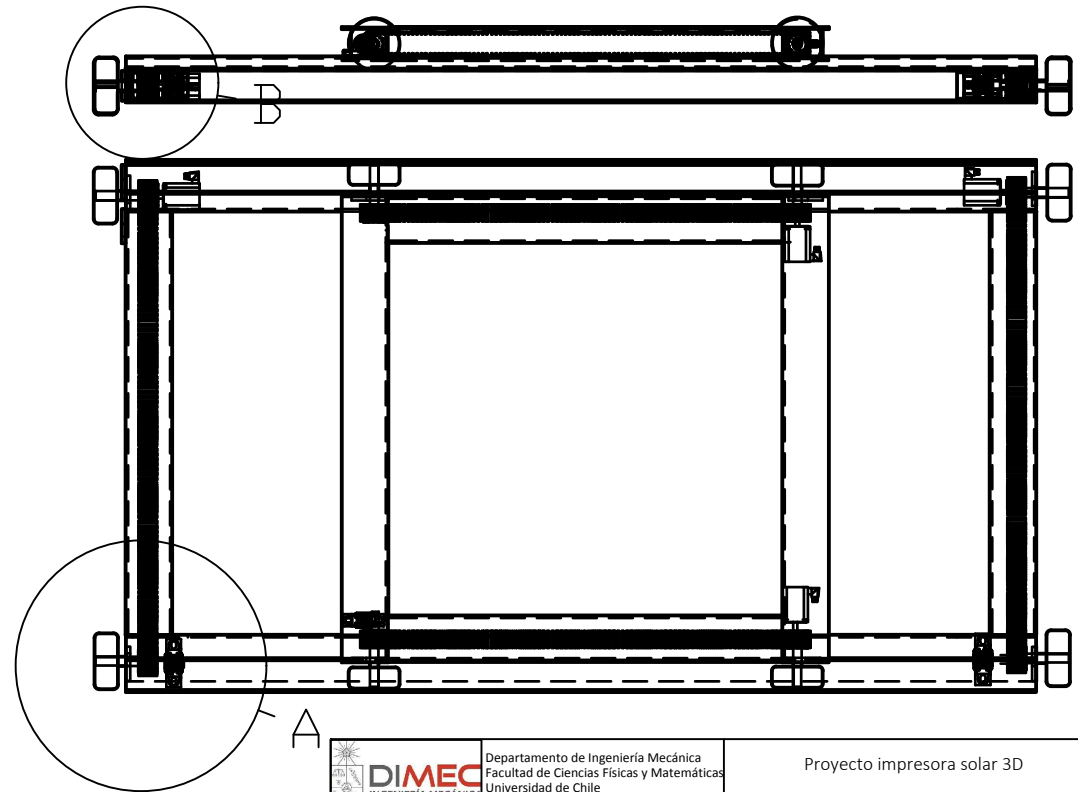
				Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile			Proyecto impresora solar 3D Sistema de Movimiento Cartesiano de Cama de Polvo y Reposición de material Ensamblaje General	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E			Nº de plano: BP-13DS-2000		Rev: E
Dibuj.	TM					Escala: Sin escala		Hoja 1 de 1
Verif.	JL							
Aprob.	JL							
Fabric.								
Calidad								



Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Sistema de movimiento Eje X	i3DS2011	BP-i3DS-2011	1	N/A	16,5
2	Sistema de movimiento Eje Y	i3DS2012	BP-i3DS-2012	1	N/A	25

Notas

1. Todas las dimensiones están en milímetros a menos que se indique lo contrario.
2. Los perfiles se unen mediante soldadura MIG de tipo biselar - Cordón o filete de ancho mínimo 4 [mm].

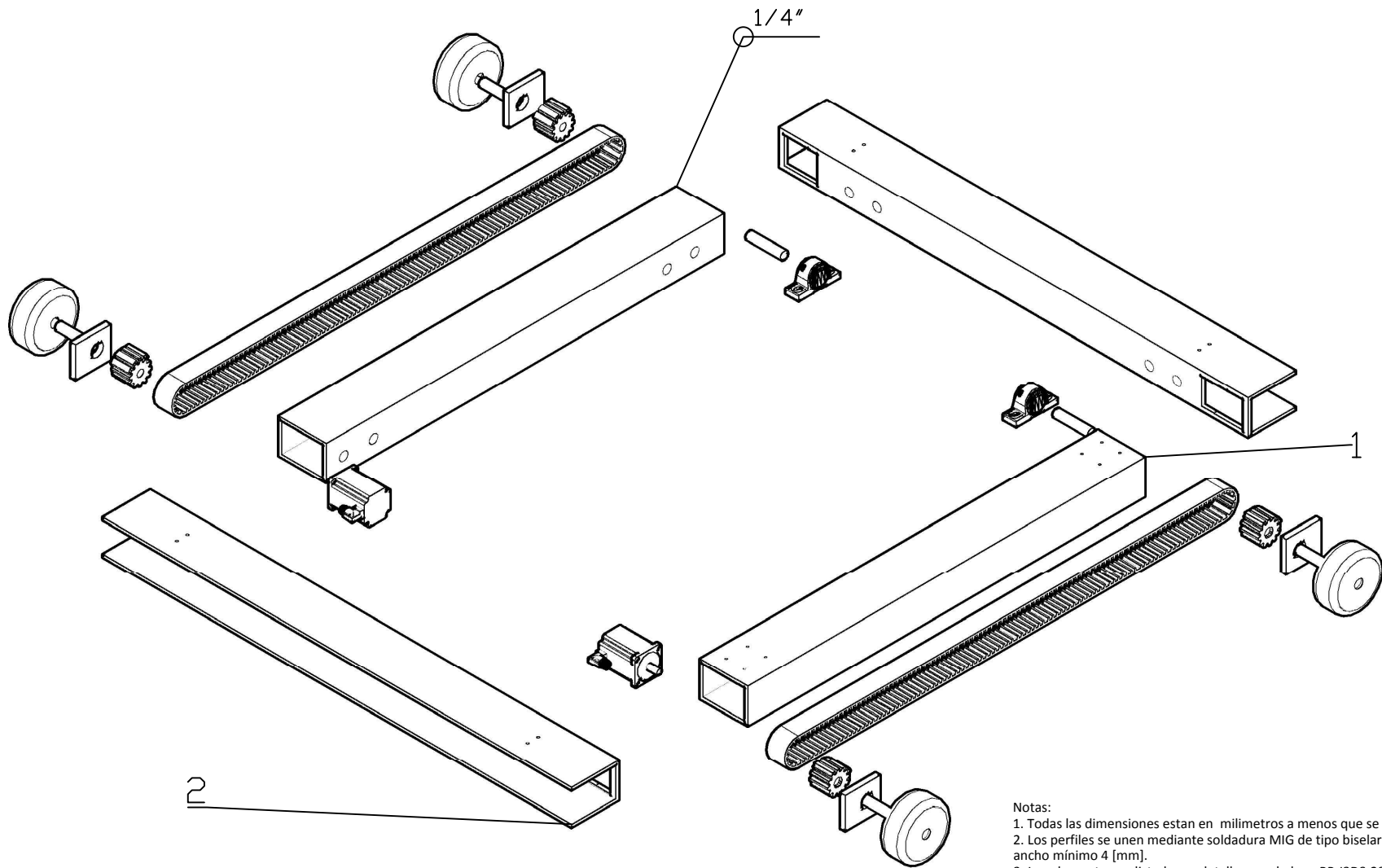


Detalle A



Detalle B

		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto impresora solar 3D Sistema de Movimiento en Ejes X-Y de la Cama de Polvo Ensamblaje General	
Dibuj.	Nombre: TM	Firma:	Fecha:	ISO E	Nº de plano: BP-i3DS-2010
Verif.	JL				
Aprob.	JL			Material:	Escala: Sin escala
Fabric.					Hoja 1 de 1
Calidad					

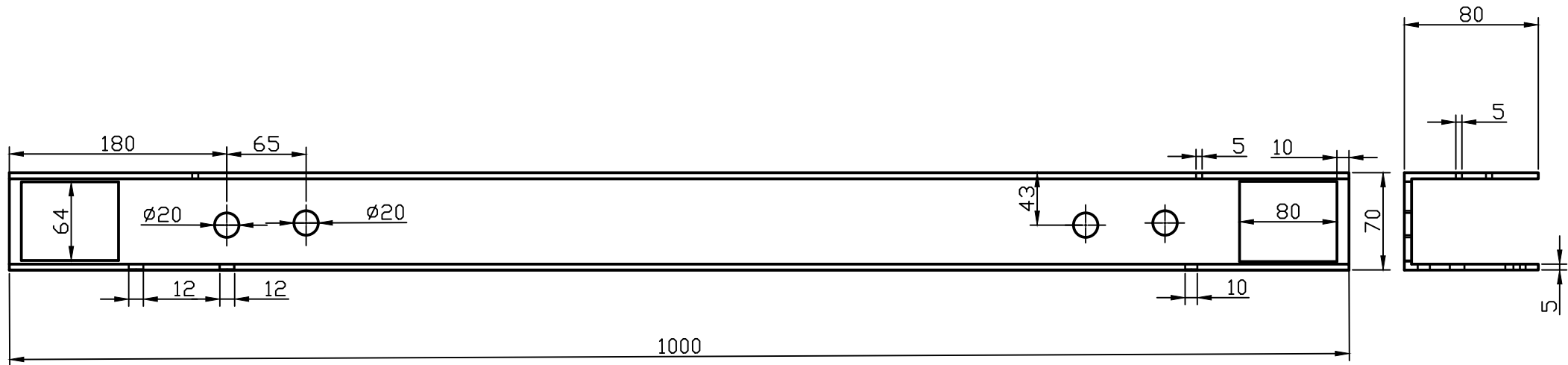


Notas:

1. Todas las dimensiones estan en milímetros a menos que se indique lo contrario.
2. Los perfiles se unen mediante soldadura MIG de tipo biselar - Cordón o filete de ancho mínimo 4 [mm].
3. Los elementos no listados se detallan en el plano BP-13DS-2015

Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Perfil rectangular 80x70x5; L= 850 [mm]	i3DS2111	BP-13DS-2011	2	ASTM A36	3,5
2	Perfil C 80x70x5; L=1000 [mm]	i3DS2112	BP-13DS-2011	2	ASTM A36	5


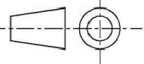
			Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile			Proyecto impresora solar 3D Sistema de Movimiento en Eje X Despiece	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E				
Dibuj.	TM				Material:	Nº de plano:	Rev:
Verif.	JL					BP-13DS-2011	E
Aprob.	JL						
Fabric.							
Calidad						Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1

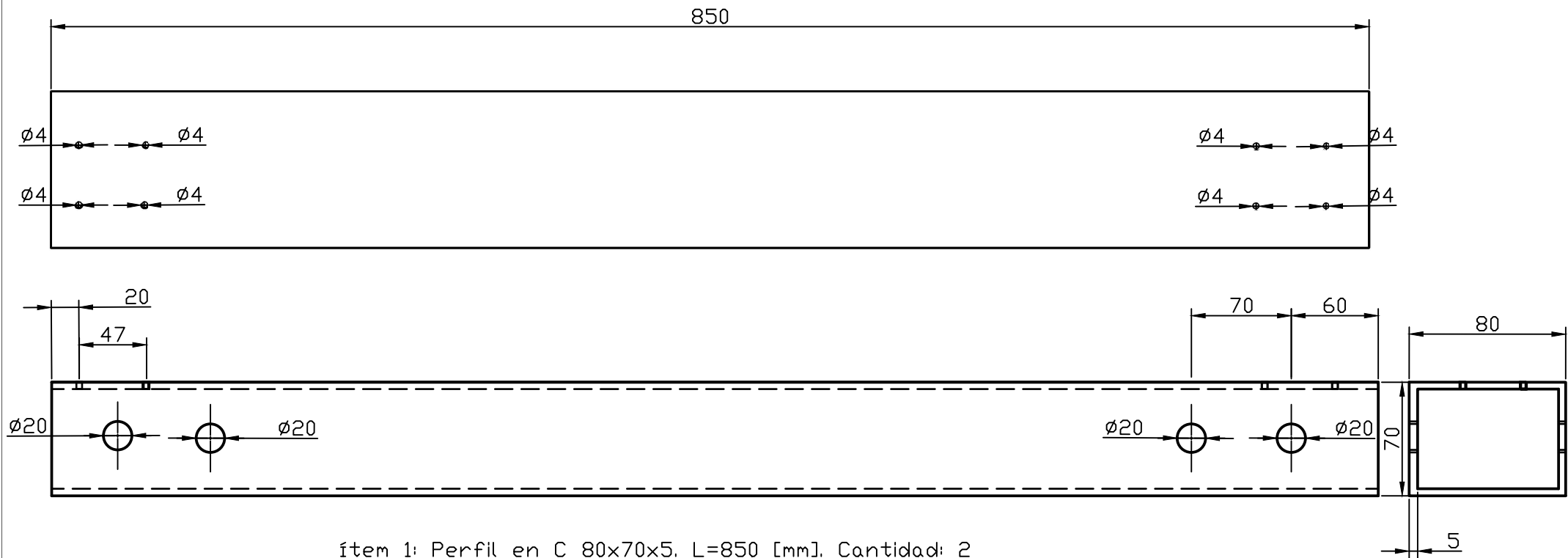


ítem 2: Perfil en C 80x60x5. L=1000 [mm]. Cantidad: 2

Notas:

1. Todas las dimensiones están en milímetros a menos que se indique lo contrario.

		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto impresora solar 3D Sistema de Movimiento en Eje X Detalle		
Nombre	Firma	Fecha	ISO E			
Dibuj.	TM			Material: Acero ASTM A36	Nº de plano: BP-I3DS-2012	
Verif.	JL					
Aprob.	JL				Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1
Fabric.						
Calidad						

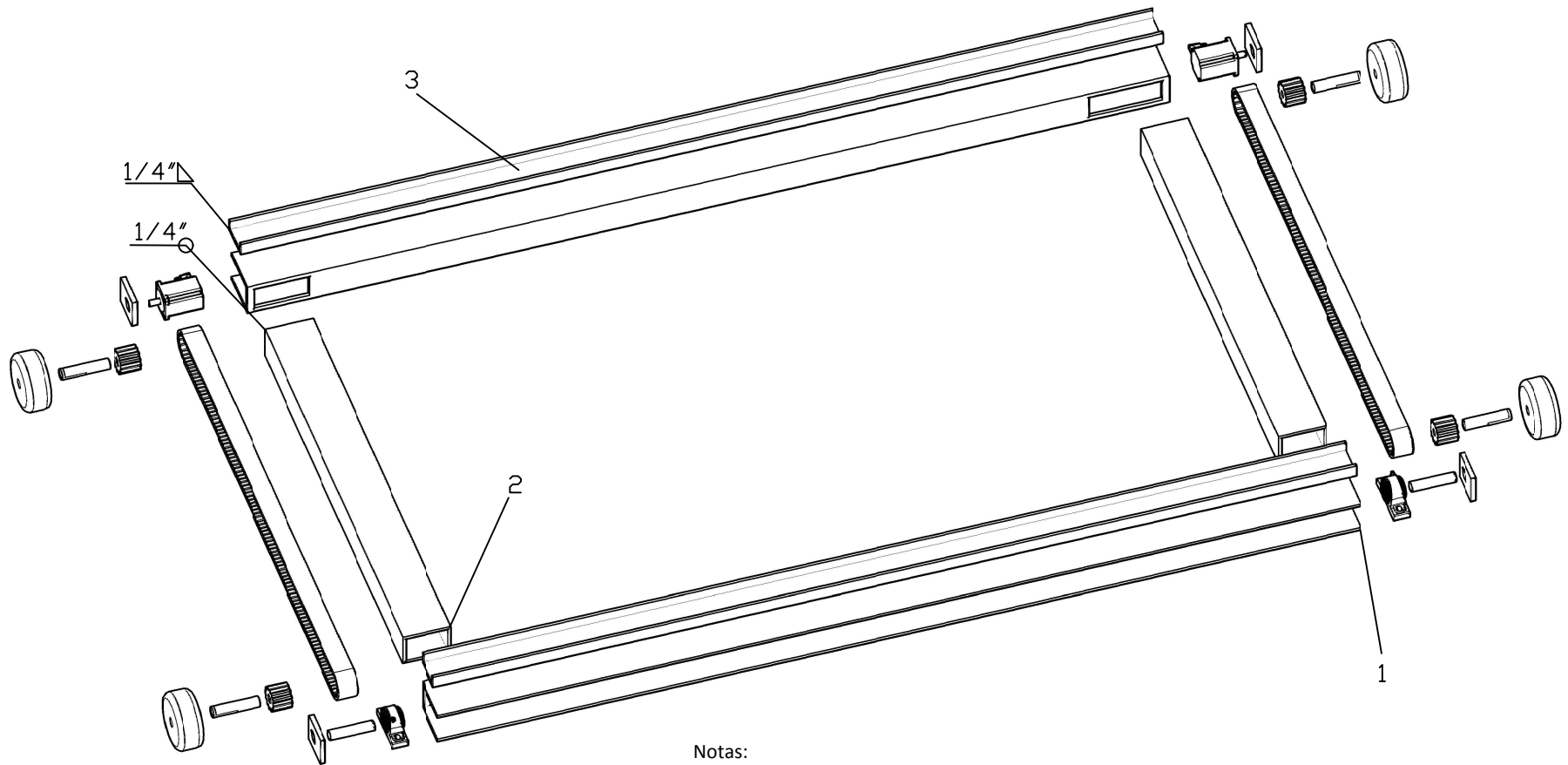


Ítem 1: Perfil en C 80x70x5. L=850 [mm]. Cantidad: 2

Notas:

1. Todas las dimensiones están en milímetros a menos que se indique lo contrario.

				Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto impresora solar 3D Sistema de Movimiento en Eje X Detalle	
	Nombre	Firma	Fecha	ISO E			
Dibuj.	TM						
Verif.	JL			Material:	Nº de plano:	Rev:	
Aprob.	JL						BP-I3DS-2013
Fabric.							
Calidad					Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1	

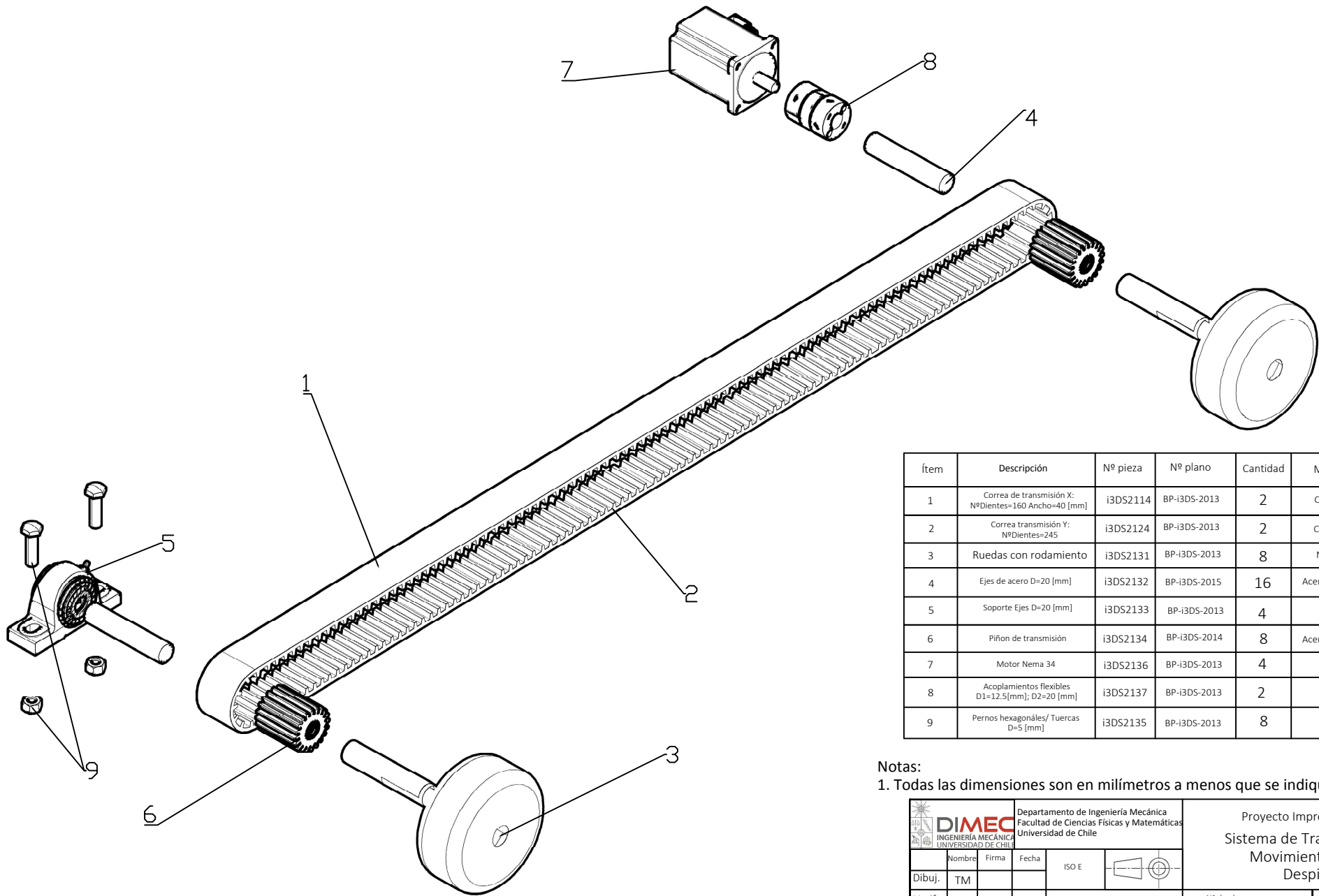


Notas:

1. Todas las dimensiones están en milímetros a menos que se indique lo contrario.
2. Los perfiles se unen mediante soldadura MIG de tipo biselar - Cordón o filete de ancho mínimo 4 [mm].
3. Los elementos no listados se detallan en el plano BP-I3DS-2015

		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Sistema de Movimiento en Eje Y Despiece	
Dibuj. TM		Verif. JL		Aprob. JL	
Fabric.		Calidad		Escala: Sin escala	
Nombre		Firma		Fecha	
ISO E				Material:	
Nº de plano:		Rev:		Hoja 1 de 1	

Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Perfil C 80x60x5 [mm] L=1800[mm]	i3DS2011	BP-i3DS-2014	2	ASTM A36	8
2	Perfil Rectangular 80x60x5 [mm] L=1000 [mm]	i3DS2012	BP-i3DS-2014	2	ASTM A36	5
3	Perfil en C 80x30x5 [mm] L= 1800 [mm]	i3DS2013	BP-i3DS-2014	2	ASTM A36	4

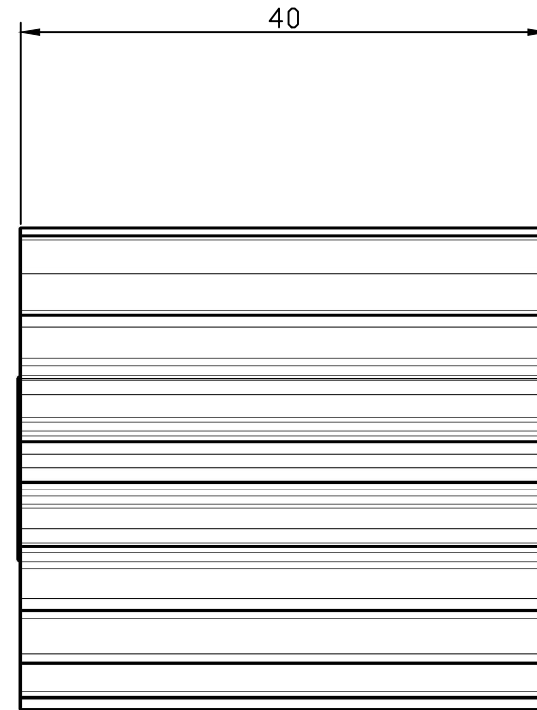
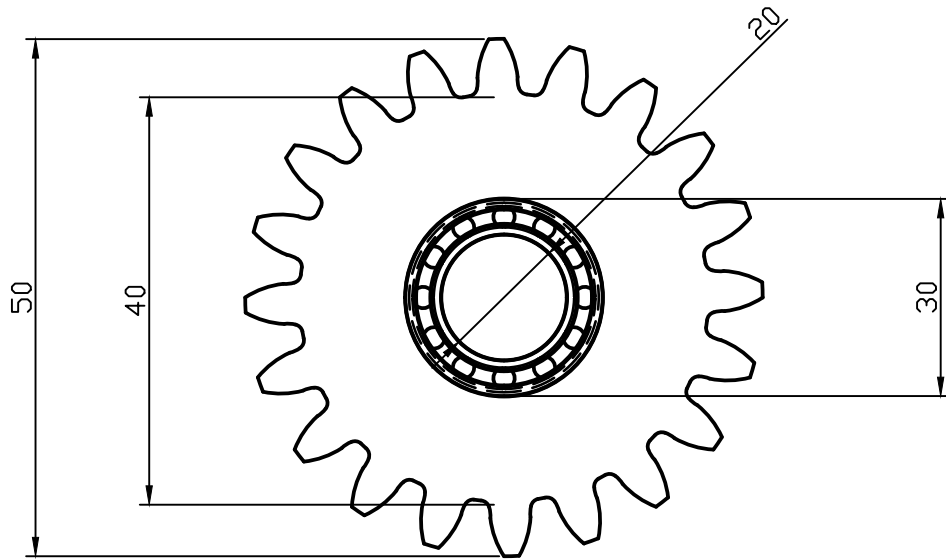


Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Correa de transmisión X: NºDientes=160 Ancho=40 [mm]	i3DS2114	BP-i3DS-2013	2	Caucho	1,5
2	Correa transmisión Y: NºDientes=245	i3DS2124	BP-i3DS-2013	2	Caucho	2,5
3	Ruedas con rodamiento	i3DS2131	BP-i3DS-2013	8	Nailon	0,5
4	Ejes de acero D=20 [mm]	i3DS2132	BP-i3DS-2015	16	Acero cromado	0,8
5	Soporte Ejes D=20 [mm]	i3DS2133	BP-i3DS-2013	4	N/A	-
6	Piñon de transmisión	i3DS2134	BP-i3DS-2014	8	Acero A1045	0,5
7	Motor Nema 34	i3DS2136	BP-i3DS-2013	4	N/A	4,5
8	Acoplamientos flexibles D1=12.5[mm]; D2=20 [mm]	i3DS2137	BP-i3DS-2013	2	N/A	-
9	Pernos hexagonales/ Tuercas D=5 [mm]	i3DS2135	BP-i3DS-2013	8	N/A	-

Notas:

1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.


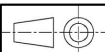
		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Sistema de Transmisión de Movimiento en X-Y Despiece	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E		
Dibuj.	TM				
Verif.	JL		Material:		
Aprob.	JL				
Fabric.					

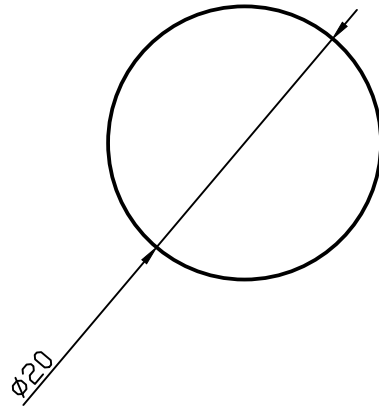
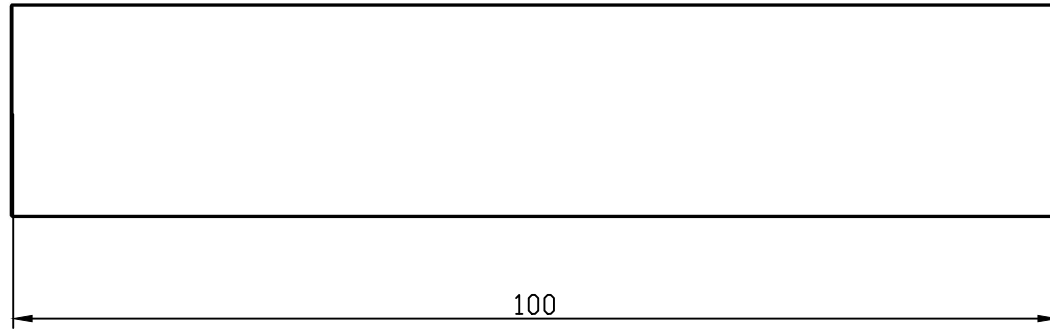


Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Piñón de transmisión Dp= 40 [mm]	i3DS2141	BP-i3DS-2016	1	Acero 1045	0,5
2	Rodamiento de bola Di=20 [mm]	i3DS2142	BP-i3DS-2016	2	N/A	-

Notas:

1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario

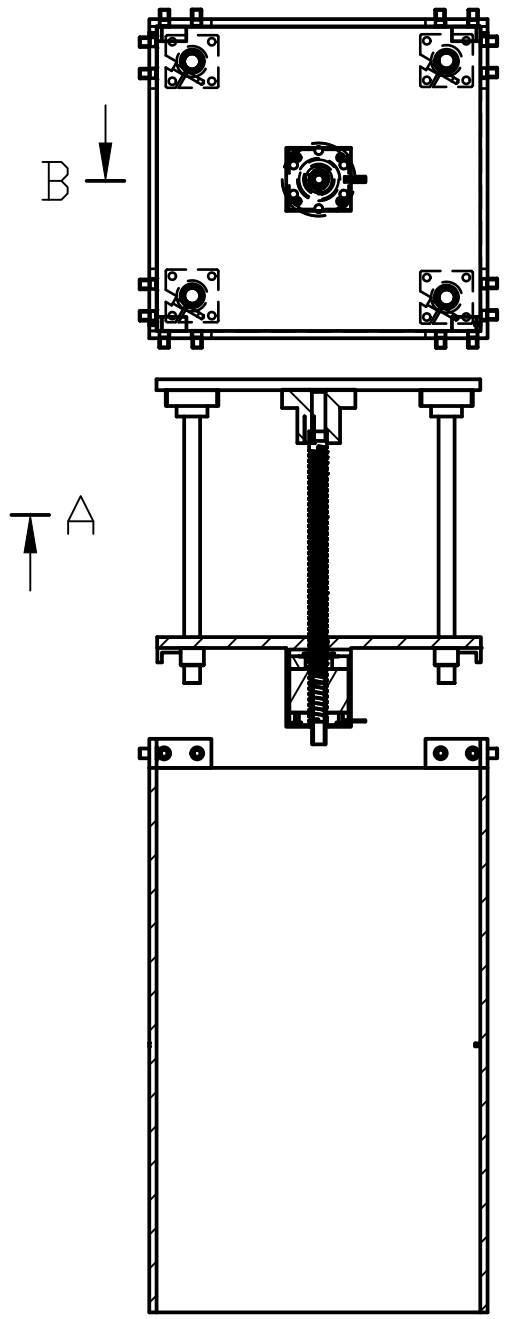
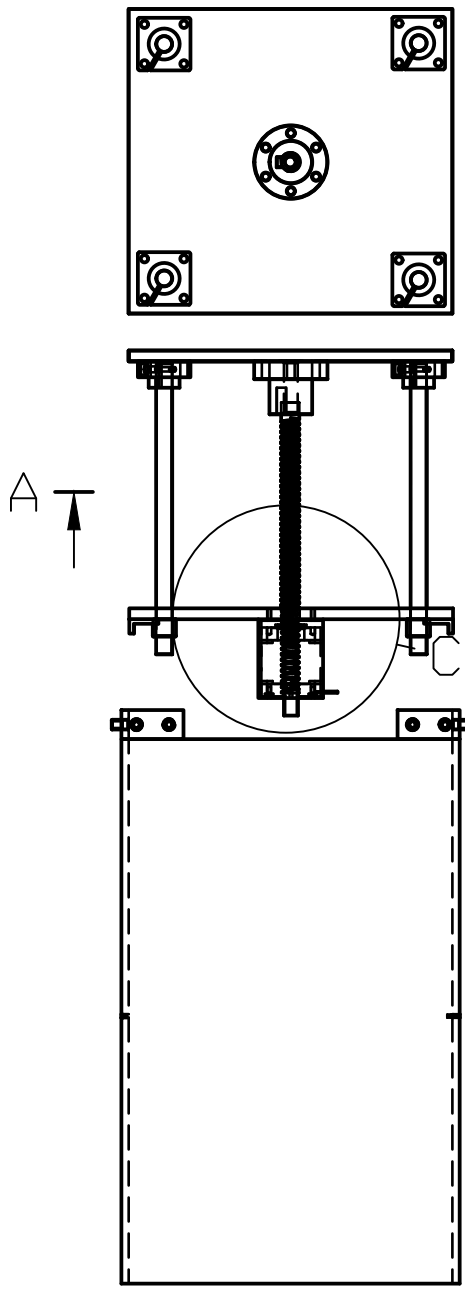
				Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Piñón de Transmisión Detalle	
Dibuj.	Nombre	Firma	Fecha	ISO E			
Verif.	JL			Material:		Nº de plano:	Rev:
Aprob.	JL					BP-i3DS-2016	E
Fabric.							



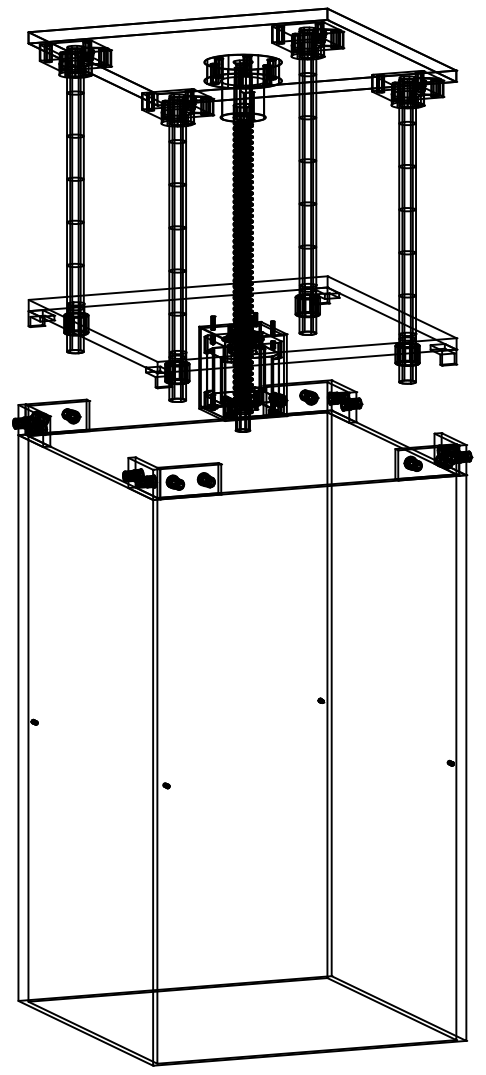
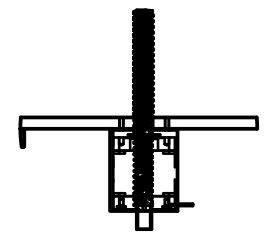
Notas:

1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.

		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora solar 3D Eje de Ruedas y Soportes del Sistema de Movimiento en X-Y Detalle	
	Nombre	Firma	Fecha	ISO E	
Dibuj.	TM				
Verif.	JL			Material:	Nº de plano:
Aprob.	JL			Acero cromado	BP-I3DS-2017
Fabric.					
					E


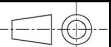


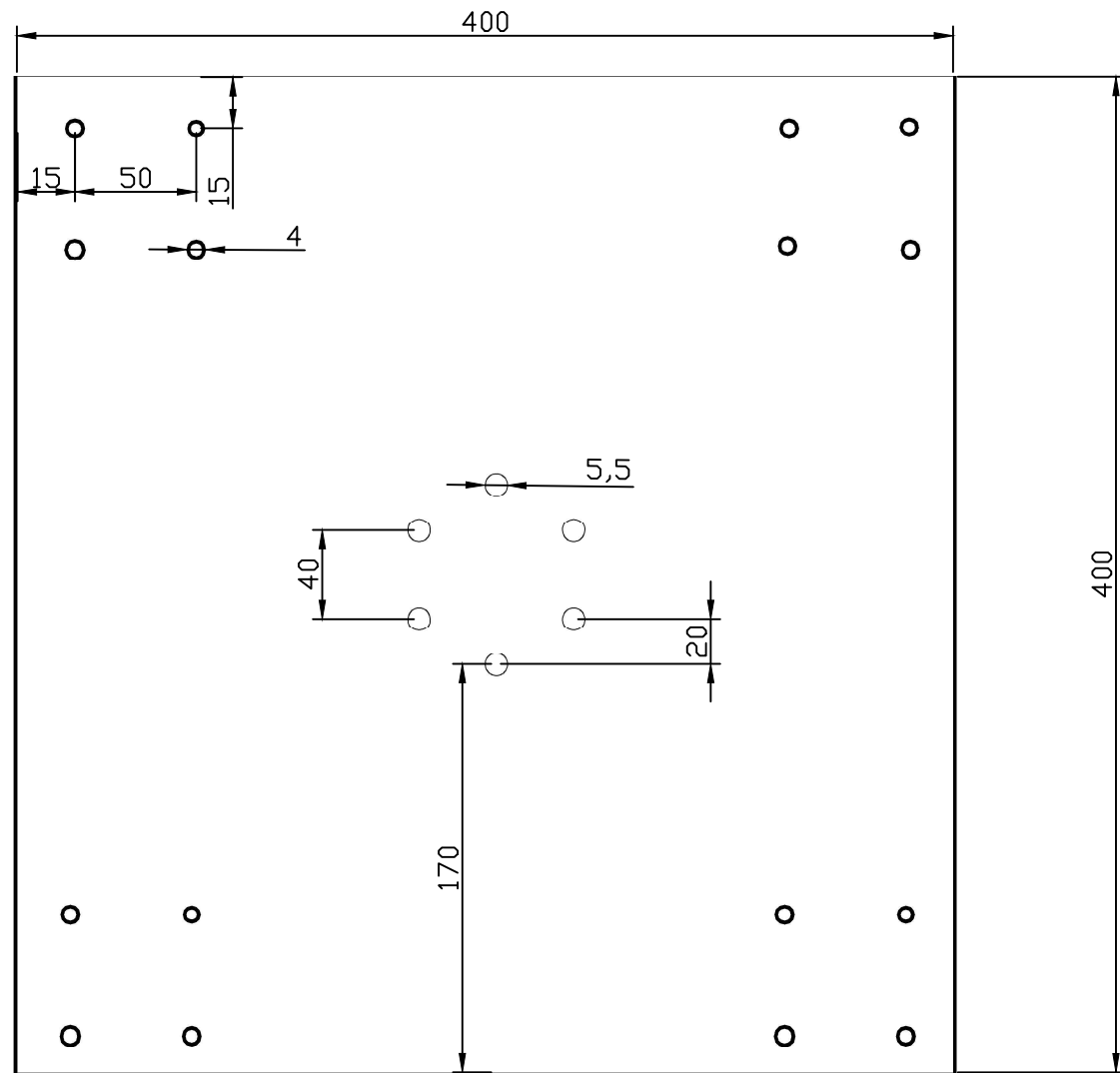
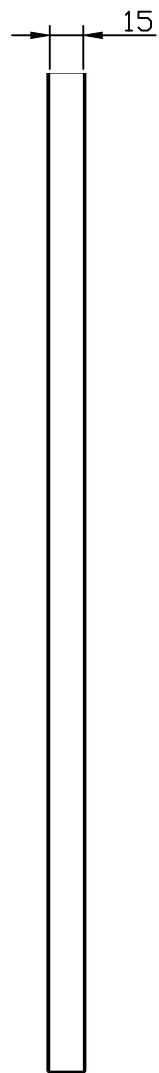
Detalle C



Notas:

1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.
2. Las uniones de las placas que componen la estructura de la mesa se realizan mediante soldadura MIG de tipo biselar, al igual que las placas de unión al sistema de movimiento en X-Y en su parte superior.



		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Sistema de Movimiento en Eje Z y Cama de Polvo Ensamblaje General	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E		
Dibuj.	TM			Material:	Nº de plano:
Verif.	JL				BP-13DS-2020
Aprob.	JL				Rev:
Fabric.					E
Calidad					
				Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1

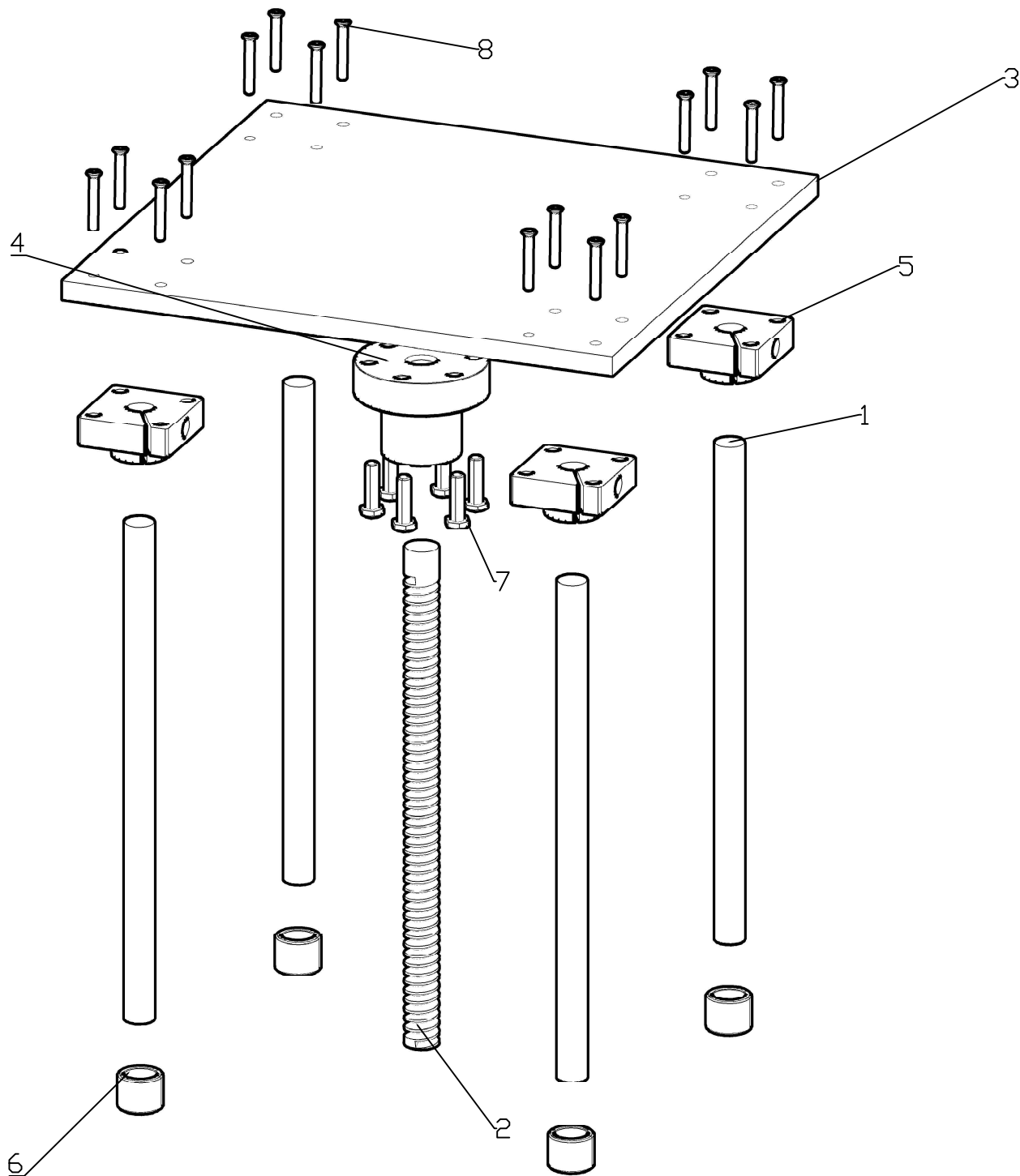


Ítem 3: Placa de soporte 400x400x15 [mm]. Cantidad: 1

Notas:

1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.

		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Mesa Movil de Sistema de Cama de Polvo Detalle	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E		
Dibuj.	TM			Material:	Nº de plano:
Verif.	JL				BP-13DS-2022
Aprob.	JL				Rev:
Fabric.					E
Calidad					Escala: Sin escala
					Hoja 1 de 1

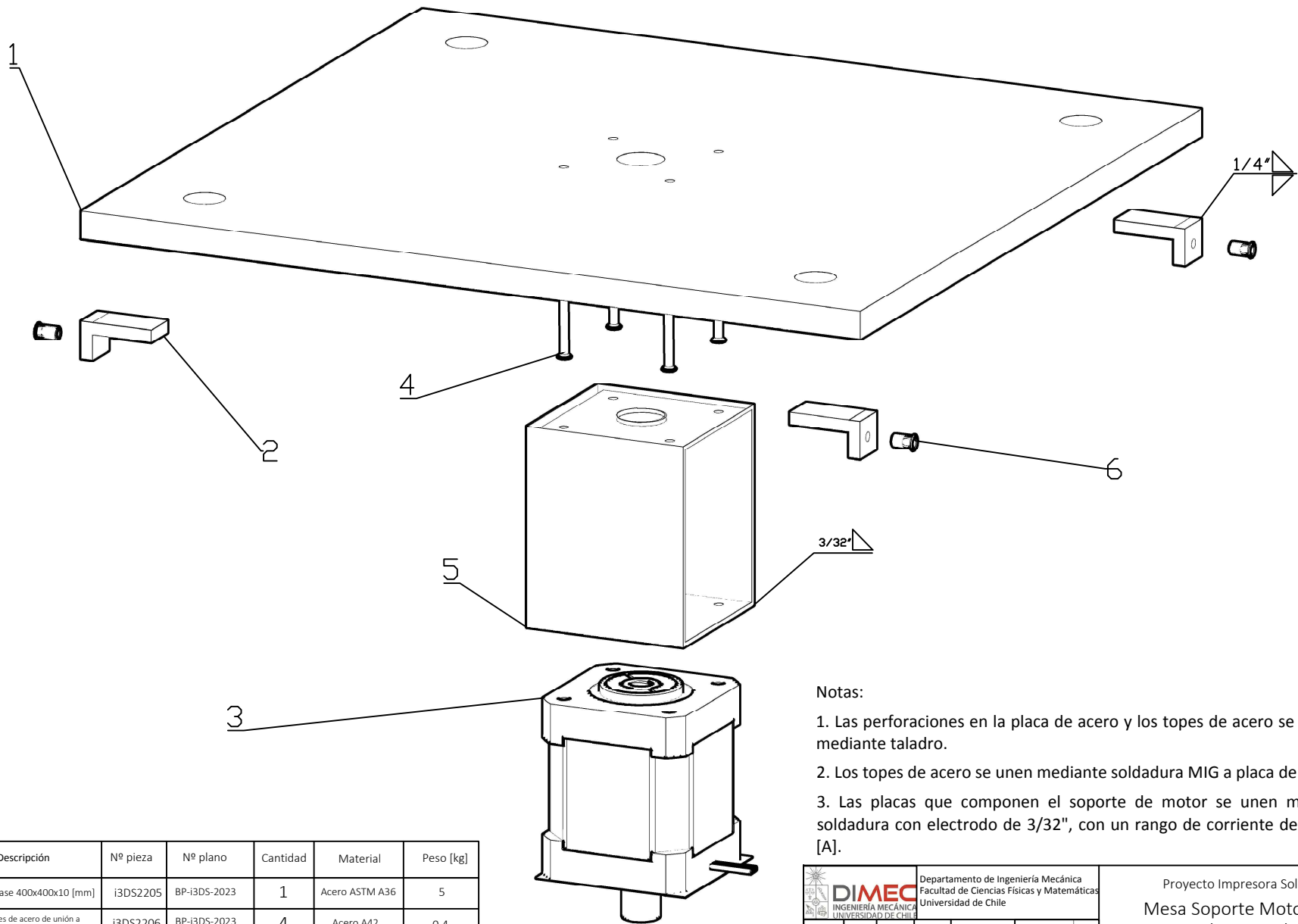


Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Eje lineal D=10 [mm] L=400 [mm]	i3DS2203	BP-i3DS-2021	4	Acero A42	0,8
2	Husillo transmisión D=15[mm] L=400 [mm]	i3DS2203	BP-i3DS-2021	1	Acero A42	3
3	Placa soporte 400x400x15 [mm]	i3DS2204	BP-i3DS-2021	1	N/A	2,5
4	Soporte husillo D=15 [mm]	i3DS2314	BP-i3DS-2021	1	N/A	-
5	Soporte eje D=10 [mm]	i3DS2315	BP-i3DS-2021	4	N/A	-
6	Buje D=10 [mm]	i3DS2315	BP-i3DS-2021	4	N/A	-
7	Perno hexagonal D=5,5 [mm]	i3DS2315	BP-i3DS-2021	6	N/A	-
8	Perno autoperforante D=4 [mm]	i3DS2315	BP-i3DS-2021	16	N/A	-

Notas:

1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.

		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto impresora solar 3D Mesa Móvil de Sistema de Cama de Polvo Despiece	
Nombre: TM Firma: JL Fecha:		ISO E		Nº de plano: BP-i3DS-2021	
Verif.: JL		Material:		Rev: E	
Aprob.: JL		Escala: Sin escala		Hoja 1 de 1	
Fabric.:		Calidad:			

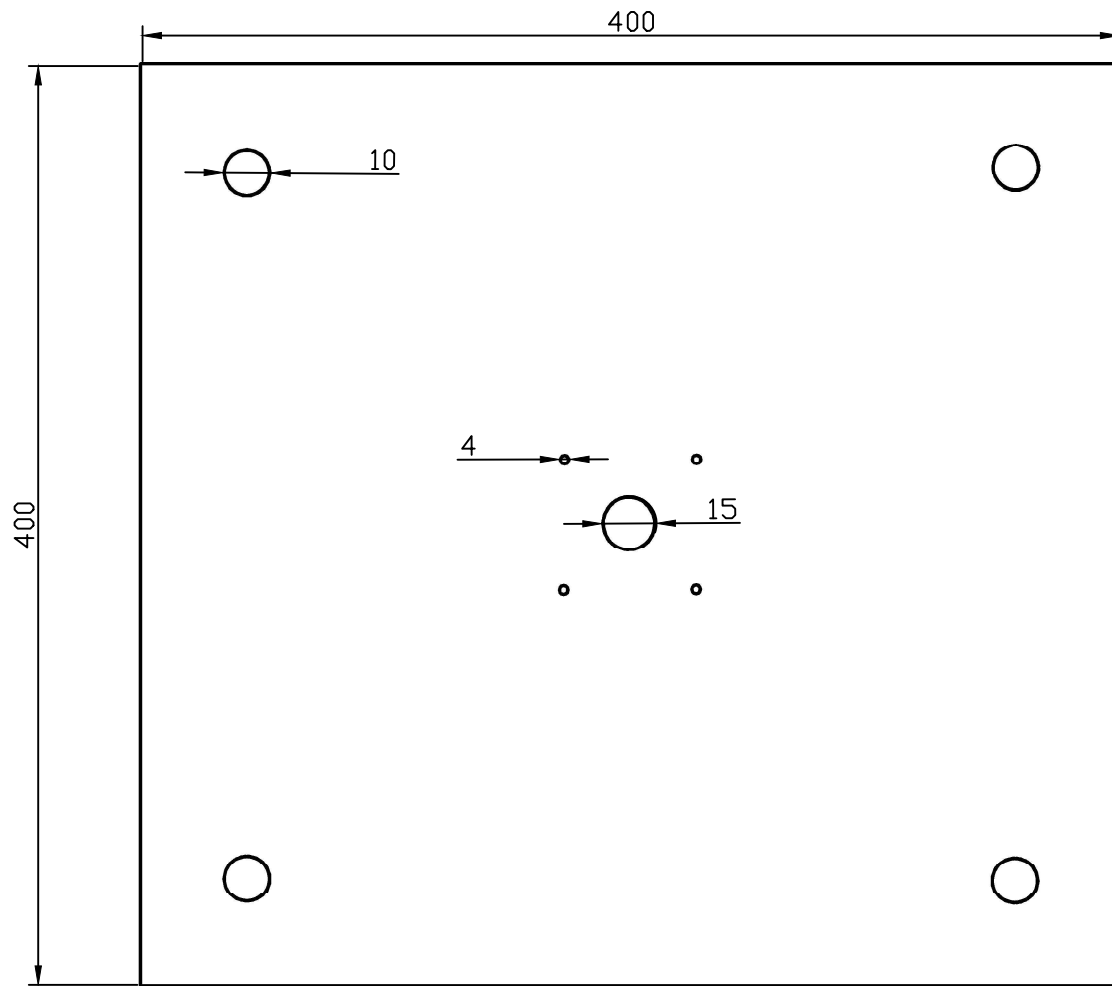


Notas:

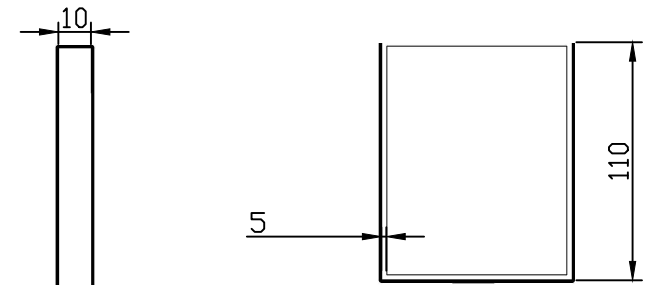
1. Las perforaciones en la placa de acero y los topes de acero se realizan mediante taladro.
2. Los topes de acero se unen mediante soldadura MIG a placa de acero.
3. Las placas que componen el soporte de motor se unen mediante soldadura con electrodo de 3/32", con un rango de corriente de 30 - 80 [A].

Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Plancha base 400x400x10 [mm]	i3DS2205	BP-i3DS-2023	1	Acero ASTM A36	5
2	Topes de acero de unión a cama de polvo	i3DS2206	BP-i3DS-2023	4	Acero A42	0,4
3	Motor NEMA 34 Serie 8700	i3DS2207	BP-i3DS-2023	1	N/A	4,5
4	Perno autopercutor de cabeza plana D=8 [mm]	i3DS2212	BP-i3DS-2023	4	N/A	-
5	Soporte de Motor 50x50 [mm] L=100 [mm]	i3DS2217	BP-i3DS-2023	1	Aluminio	1,8
6	Perno avellanado D=10 [mm]	i3DS2315	BP-i3DS-2023	4	N/A	-

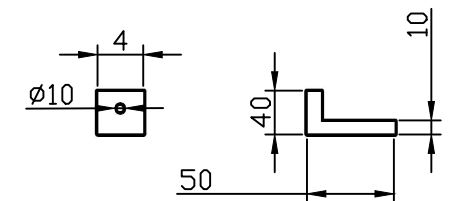
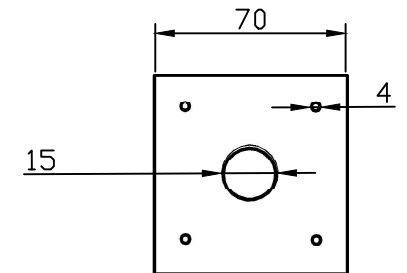
		Departamento de Ingeniería Mecánica		Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas		Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D	
		Nombre		Fecha		ISO E		Mesa Soporte Motor de Sistema de Cama de Polvo Despiece	
Dibuj.		Firma		Material:		Nº de plano:		Rev:	
Verif.		Aprob.		Fabric.		BP-i3DS-2023		E	
Calidad						Escala: Sin escala		Hoja 1 de 1	



ítem 1: Plancha Base 400x400x10 [mm]. Cantidad: 1.



ítem 5: Contenedor de motor 70x70x110. Cantidad: 1

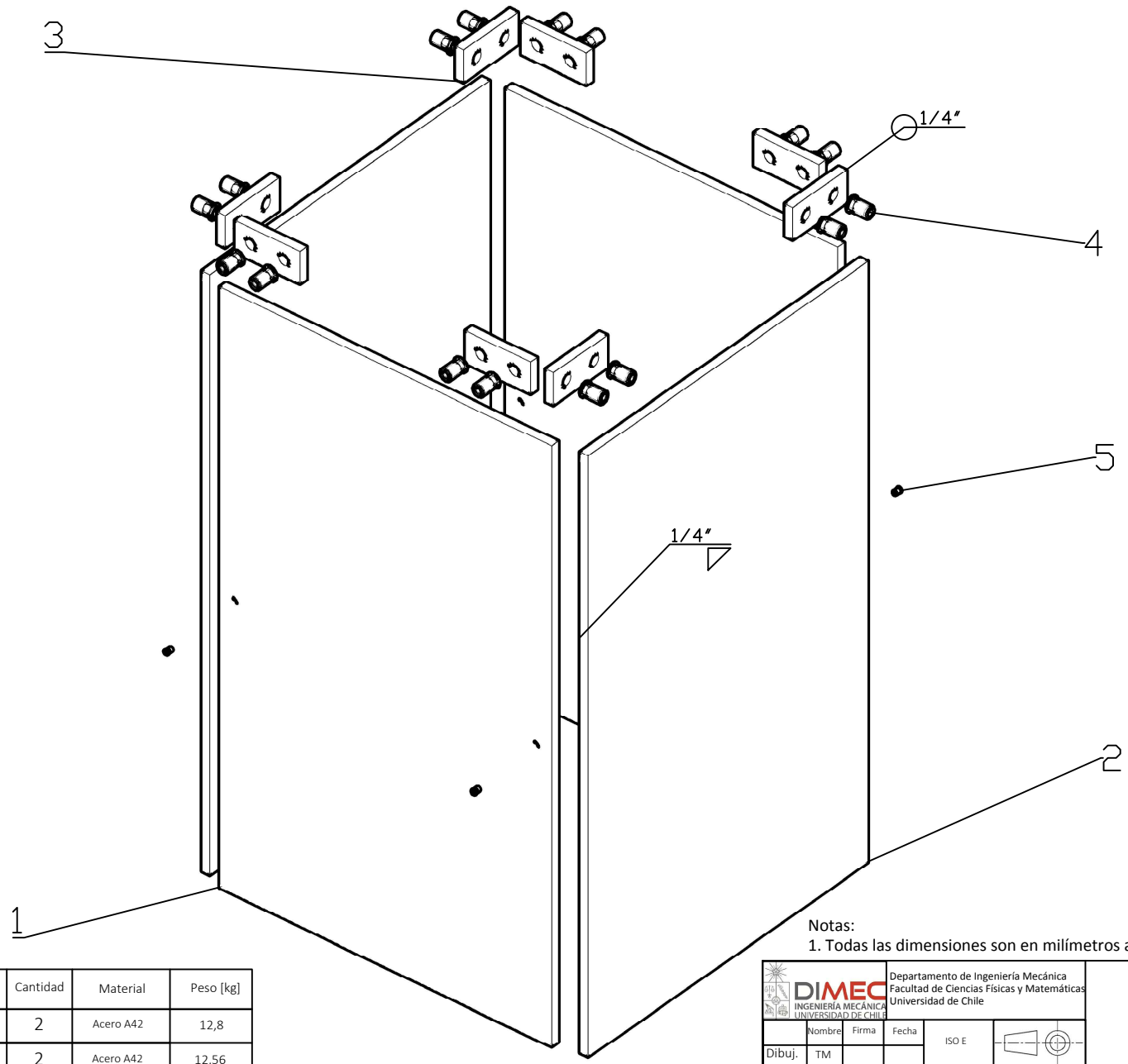


ítem 2: Topes de acero unión a cama de polvo. Cantidad: 4

Notas:

1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.

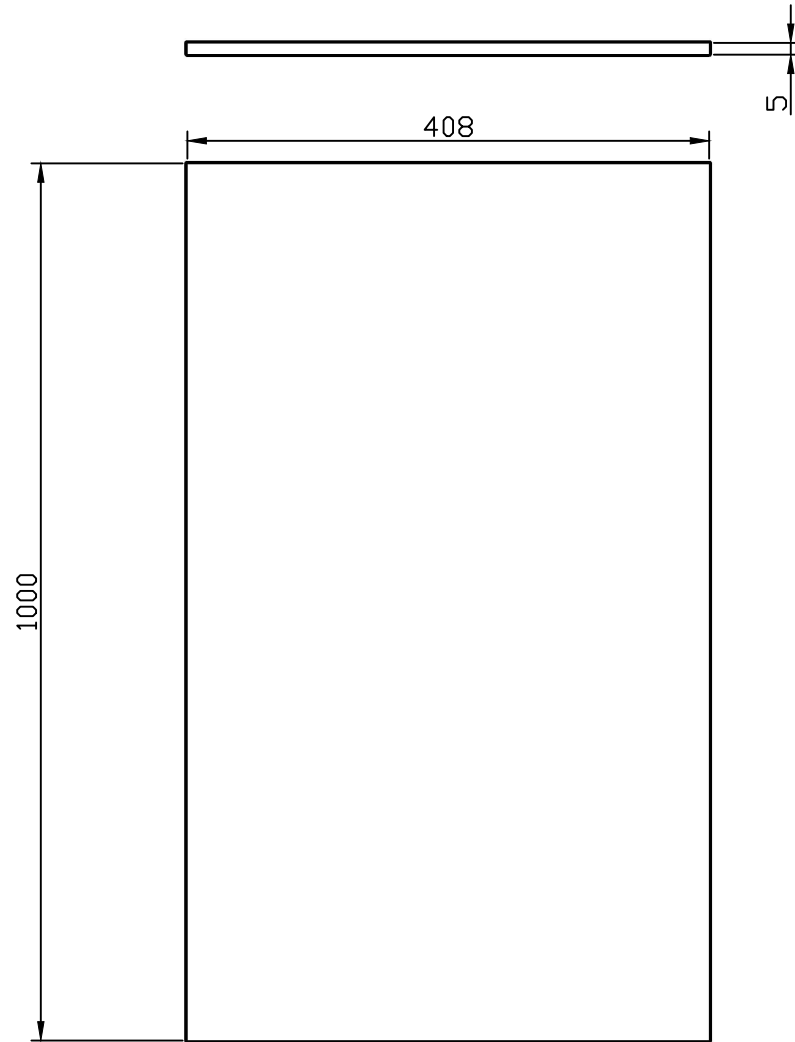
		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Mesa Soporte Motor de Sistema de Cama de Polvo Detalle	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E		
Dibuj.	TM			Material:	Nº de plano: BP-13DS-2024
Verif.	JL				Rev: E
Aprob.	JL				
Fabric.					
Calidad					Escala: Sin escala Hoja 1 de 1



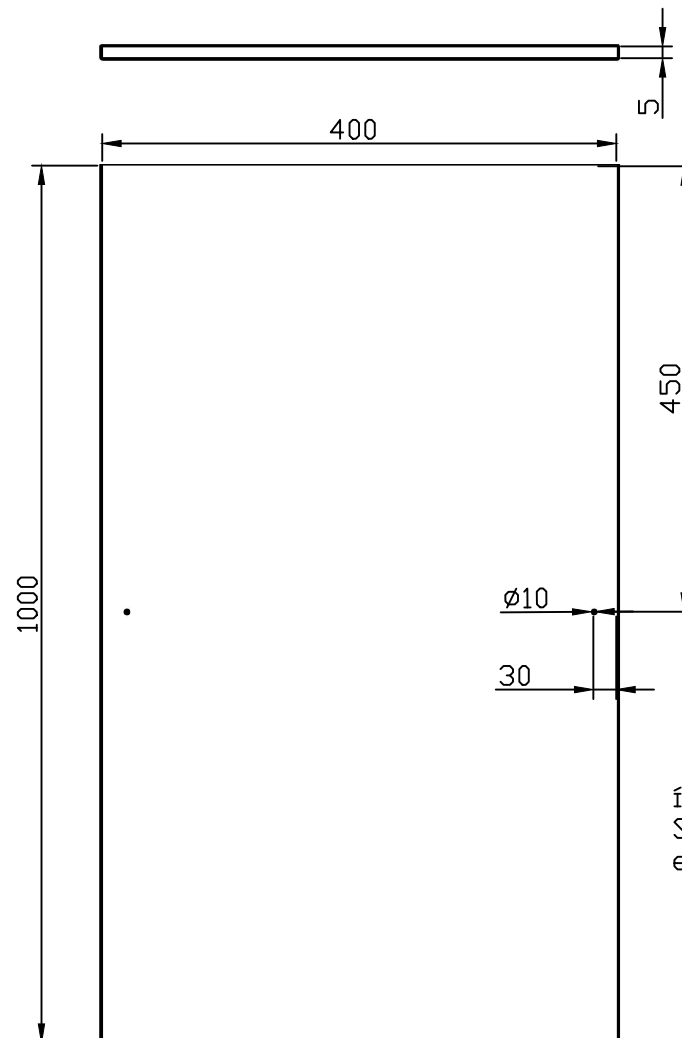
Notas:
 1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.

Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Plancha 1000x408x4	i3DS2203	BP-i3DS-2025	2	Acero A42	12,8
2	Plancha 1000x400x4	i3DS2203	BP-i3DS-2025	2	Acero A42	12,56
3	Placa unión 150x40x15	i3DS2204	BP-i3DS-2025	8	ASTM A36	0,8
4	Perno autoperforante D=15 [mm]	i3DS2314	BP-i3DS-2025	16	N/A	-
5	Perno autoperforante D=10 [mm]	i3DS2315	BP-i3DS-2025	4	N/A	-

		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Estructura Cama de Polvo Despiece		
Nombre	Firma	Fecha	ISO E			
Dibuj.	TM			Material:	Nº de plano:	
Verif.	JL				BP-i3DS-2025	E
Aprob.	JL					
Fabric.						
Calidad					Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1




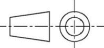
Ítem 1: Plancha estructura cama de polvo 1000x408x5 [mm].
Cantidad: 1.

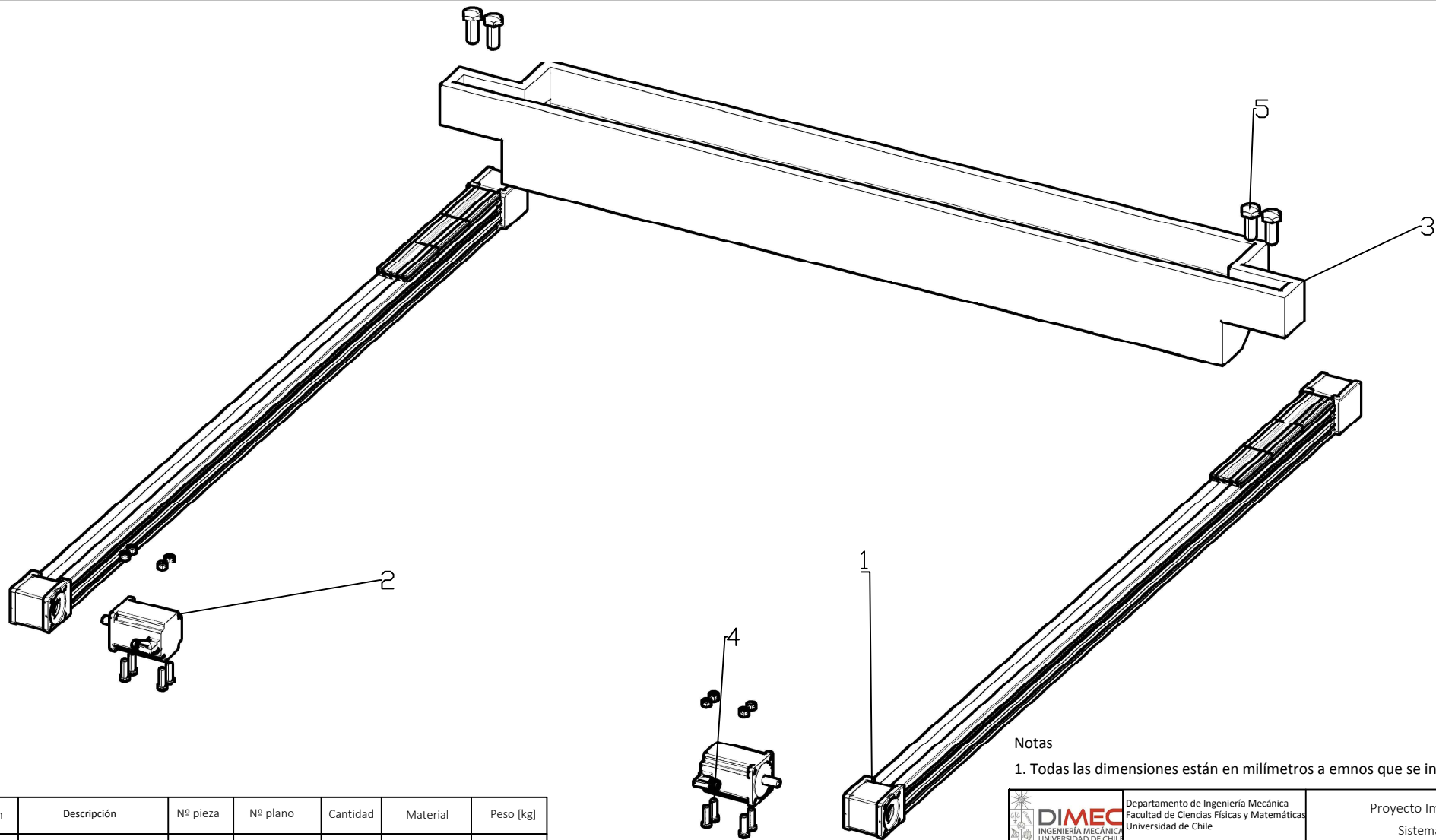


Ítem 2: Plancha estructura Cama de polvo 1000x400x5 [mm].
Cantidad: 1.

Ítem 3: Placa unión a Sistema de Movimiento en X-Y. Cantidad: 4

Notas:
1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.


		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Estructura Cama de Polvo Detalle	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E		
Dibuj.	TM				
Verif.	JL		Material:	Nº de plano:	Rev:
Aprob.	JL			BP-I3DS-2026	E
Fabric.				Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1
Calidad					

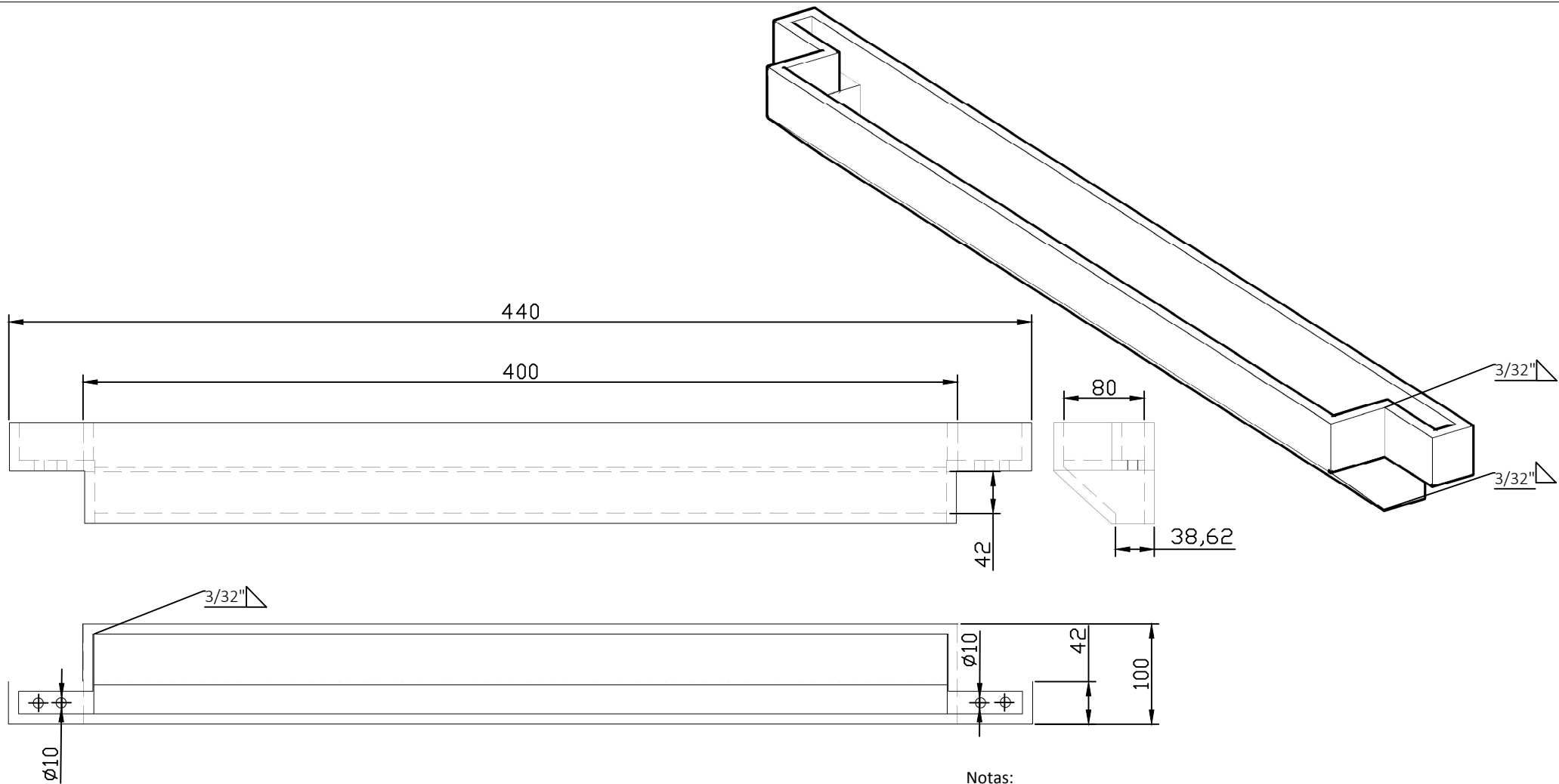


Notas

1. Todas las dimensiones están en milímetros a menos que se indique lo contrario.



Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Actuador lineal Modelo WM40S	i3DS2301	BP-i3DS-2030	2	N/A	1,4
2	Motor NEMA 17	i3DS2302	BP-i3DS-2030	2	N/A	0,7
3	Contenedor de material	i3DS2303	BP-i3DS-2030	1	N/A	4
4	Perno hexagonal D=5 [mm]	i3DS2304	BP-i3DS-2030	8	N/A	-
5	Perno hexagonal D=10 [mm]	i3DS2305	BP-i3DS-2030	4	N/A	-

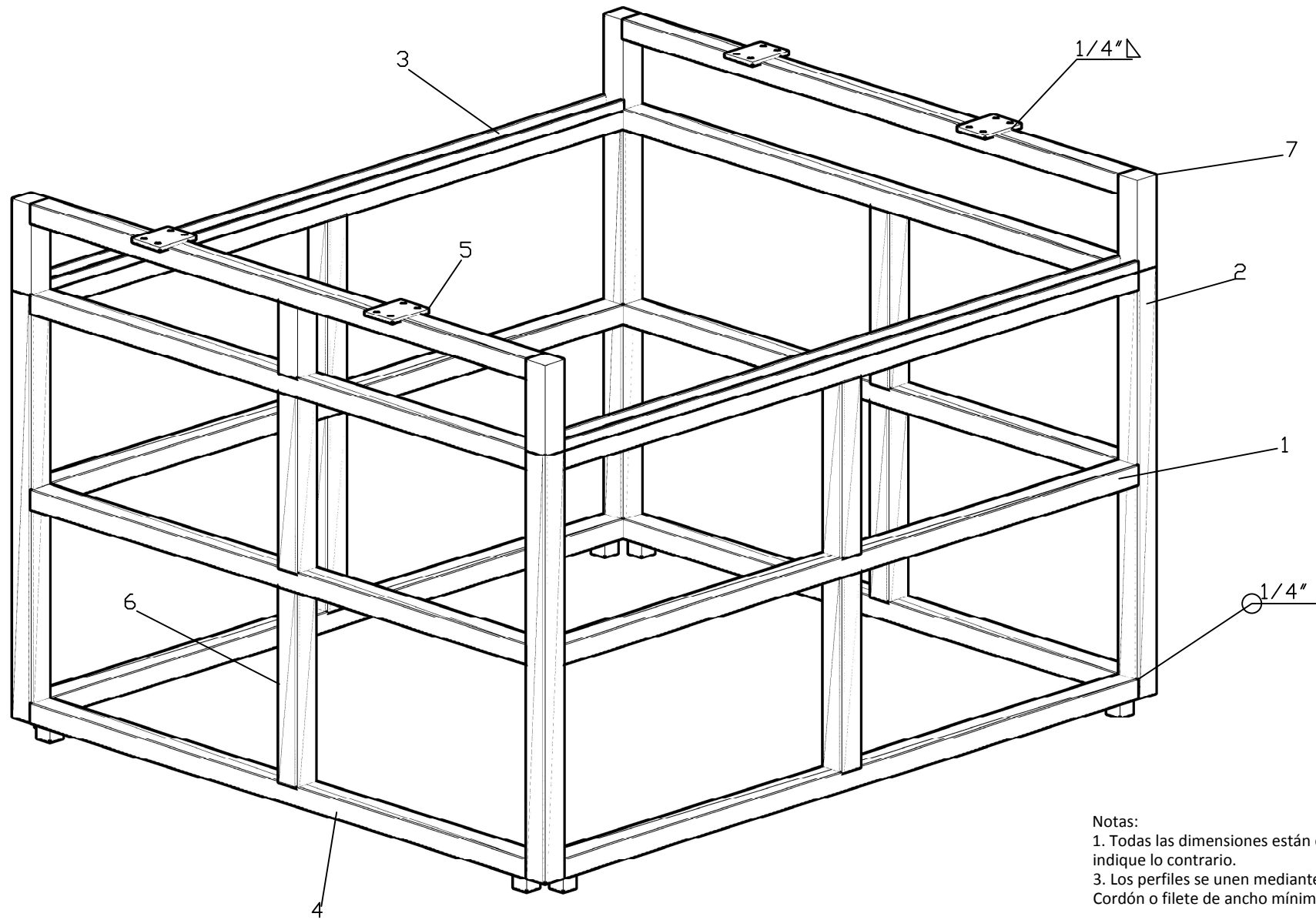
		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Sistema de Reposición de Material Despiece	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E		
Dibuj.	TM			Material:	Nº de plano:
Verif.	JL				BP-i3DS-2030
Aprob.	JL				Rev:
Fabric.					E
Calidad					Escala: Sin escala
					Hoja 1 de 1



Notas:

1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.
2. La union de las placas de aluminio esta dada por soldadura mediante electrodos 3/32" , con un rango de corriente de 50 - 80 [A].

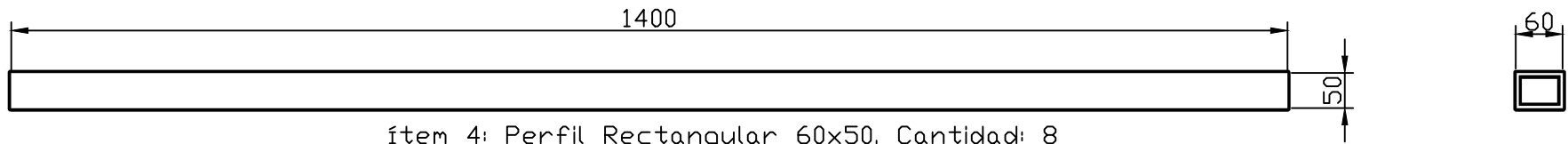
			Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Contenedor de Reposición de Material Detalle		
Nombre	Firma	Fecha	ISO E				
Dibuj.	TM			Material:	Nº de plano:	Rev:	
Verif.	JL					Aluminio	BP-I3DS-2031
Aprob.	JL						
Fabric.							



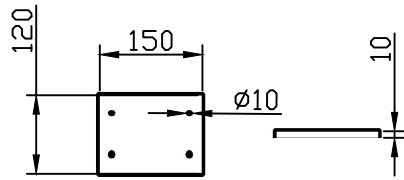
Notas:

1. Todas las dimensiones están en milímetros a menos que se indique lo contrario.
3. Los perfiles se unen mediante soldadura MIG de tipo biselar - Cordón o filete de ancho mínimo 4 [mm].

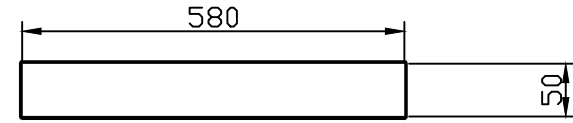
Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]	 Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile			Proyecto Impresora Solar 3D Marco Estático de Soporte del Sistema de Impresora 3D Solar Ensamblaje General	
1	Perfil Rectangular; L=2520 [mm]	i3DS2401	BP-i3DS-2040	8	ASTM A36	8	Nombre: _____ Firma: _____ Fecha: _____	ISO E 	Material: _____	Nº de plano:	Rev:
2	Perfil Cuadrado; L= 1200 [mm]	i3DS2402	BP-i3DS-2040	4	ASTM A36	5				Dibuj.	TM
3	Perfil en C ;L= 2520 [mm]	i3DS2403	BP-i3DS-2040	2	ASTM A36	6	Verif.	JL			
4	Perfil Rectangular; L=2100 [mm]	i3DS2404	BP-i3DS-2040	8	ASTM A36	6	Aprob.	JL	Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1	
5	Soportes Sist. Concentracion solar	i3DS2405	BP-i3DS-2040	4	ASTM A36	-	Fabric.				
6	Perfil cuadrado; L=500 [mm]	i3DS2405	BP-i3DS-2040	8	ASTM A36	2	Calidad				
7	Perfil cuadrado; L=235 [mm]	i3DS2405	BP-i3DS-2040	6	ASTM A36	1					



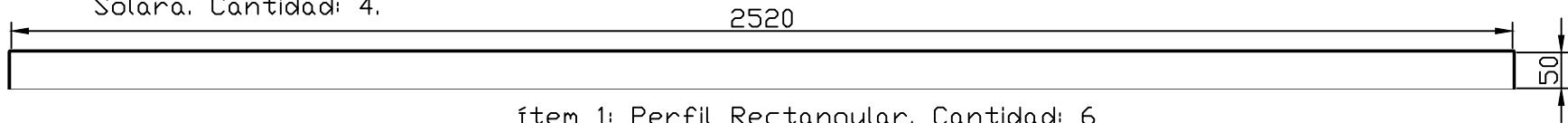
ítem 4: Perfil Rectangular 60x50. Cantidad: 8



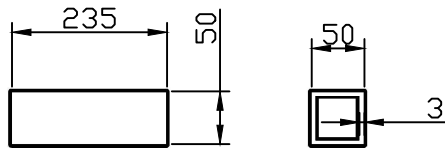
ítem 5: Soporte Sistema de Concentración Solar. Cantidad: 4.



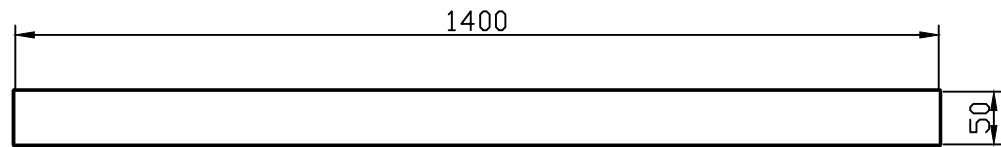
ítem 6: Perfil Cuadrado 80x80. Cantidad: 8



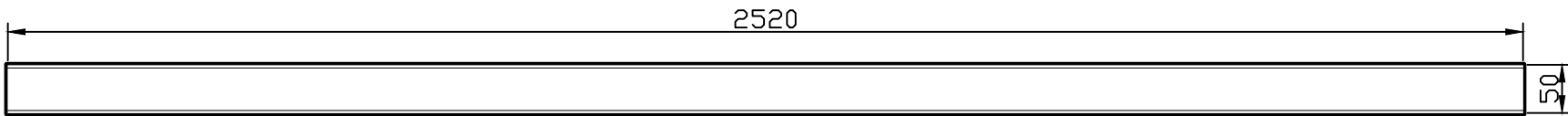
ítem 1: Perfil Rectangular. Cantidad: 6



ítem 7: Perfil Cuadrado 80x80. Cantidad: 4



ítem 2: Perfil Cuadrado 50x50. Cantidad: 4

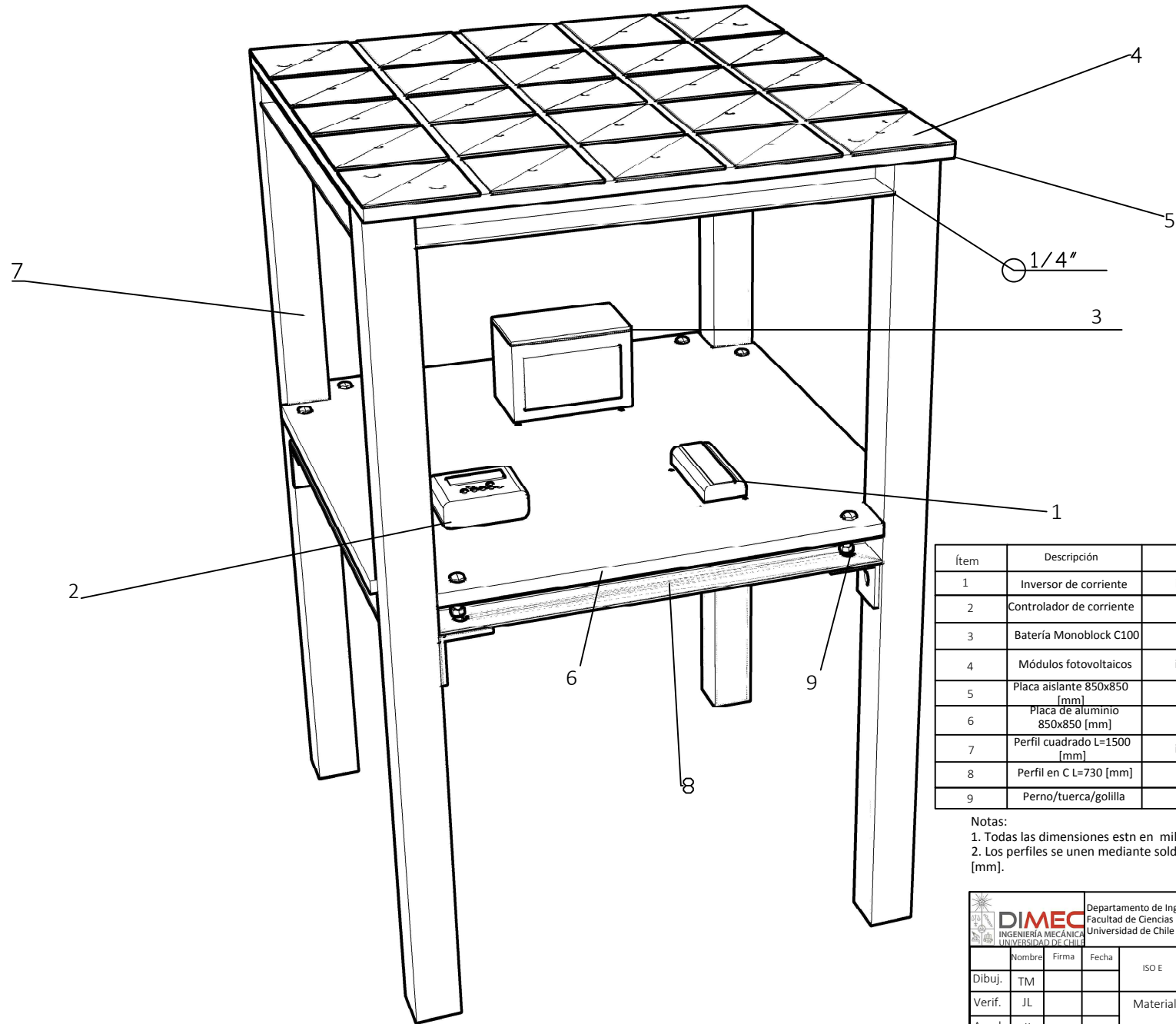


ítem 3: Perfil en C L=2520 [mm]. Cantidad: 2

Notas:

1. Todas las dimensiones están en milímetros a menos que se indique lo contrario.
2. Los perfiles se unen mediante soldadura MIG de tipo biselar - Cordón o filete de ancho mínimo 4 [mm].

			Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Marco Estático de Soporte del Sistema de Impresora 3D Solar Detalle		
Nombre:	Firma:	Fecha:	ISO E			Nº de plano: BP-13DS-2041	Rev: E
Dibuj.:	TM						
Verif.:	JL		Material:				
Aprob.:	JL						
Fabric.:							
Calidad:						Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1

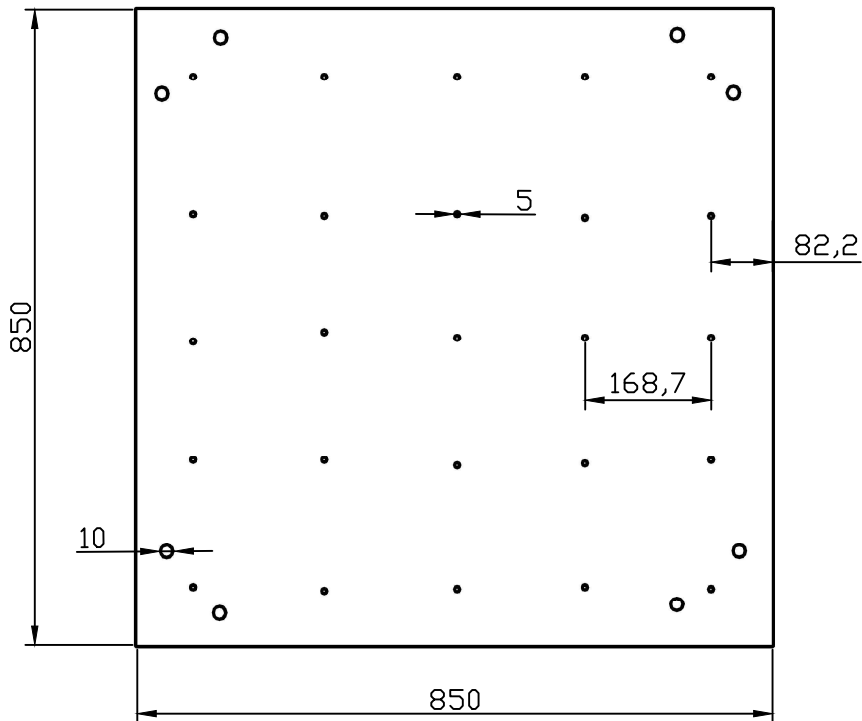


Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Inversor de corriente	i3DS2501	BP-i3DS-3000	1	N/A	-
2	Controlador de corriente	i3DS2502	BP-i3DS-3000	1	N/A	-
3	Batería Monoblock C100	i3DS2503	BP-i3DS-3000	1	N/A	4
4	Módulos fotovoltaicos	i3DS2504	BP-i3DS-3000	25	N/A	-
5	Placa aislante 850x850 [mm]	i3DS2505	BP-i3DS-3000	8	Madera	0,5
6	Placa de aluminio 850x850 [mm]	i3DS2506	BP-i3DS-3000	1	Aluminio	2,6
7	Perfil cuadrado L=1500 [mm]	i3DS2507	BP-i3DS-3000	4	Aluminio	4
8	Perfil en C L=730 [mm]	i3DS2508	BP-i3DS-3000	8	Aluminio	2,5
9	Perno/tuerca/golilla	i3DS2509	BP-i3DS-3000	28	N/A	-

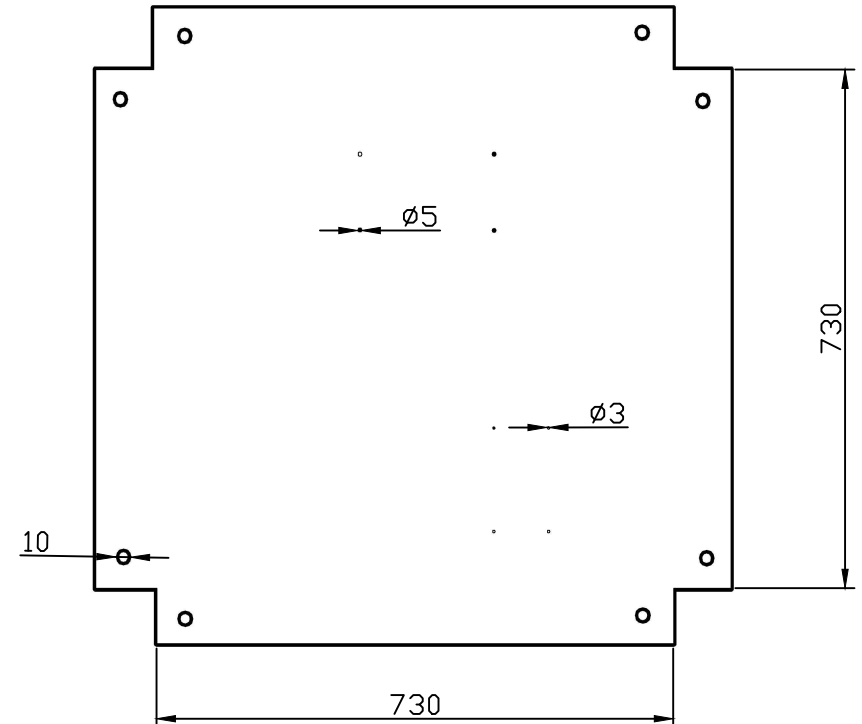
Notas:

1. Todas las dimensiones estn en milímetros a menos que se indique lo contrario.
2. Los perfiles se unen mediante soldadura MIG de tipo biselar - Cordón o filete de ancho mínimo 4 [mm].

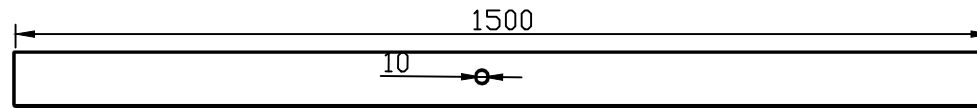
		Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile		Proyecto Impresora Solar 3D Sistema de Alimentación Fotovoltaica Ensamble General			
Nombre	Firma	Fecha	ISO E				
Dibuj.	TM			Material:	Nº de Dibujo: BP-i3DS-3000	Rev:	
Verif.	JL					E	
Aprob.	JL						
Fabric.							
Calid.				Peso:	Escala: sin escala	Hoja 1 de 1	



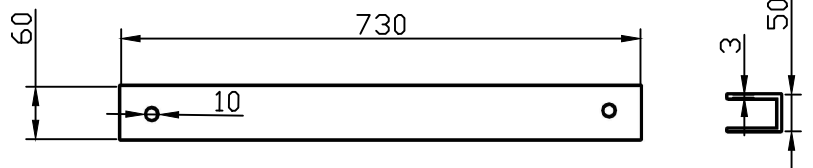
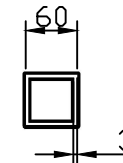
ítem 5: Mesa aislante de madera. Cantidad: 1



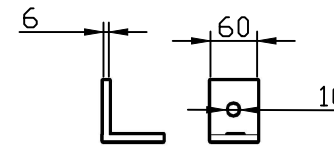
ítem 6: Placa de aluminio. Cantidad: 1.



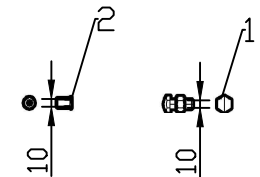
ítem 7: Perfil Cuadrado 60x60x1300 [mm]. Cantidad: 4



ítem 8: Perfil en C 50x60x730. Cantidad: 8



ítem 9: Soporte de perfil. Cantidad: 8



- Notas:
1. Todas las dimensiones son en milímetros a menos que se indique lo contrario.
 2. La union de los perfiles de la base superior se realiza con soldadura MIG.

		Proyecto Impresora Solar 3D Sistema de Alimentación Fotovoltaica Detalle	
Nombre	Firma	Fecha	ISO E
Dibuj.	TM		
Verif.	JL		Material:
Aprob.	JL		
Fabric.			
Calidad			
		Nº de plano:	Rev:
		BP-I3DS-3001	E
		Escala: Sin escala	Hoja 1 de 1

Ítem	Descripción	Nº pieza	Nº plano	Cantidad	Material	Peso [kg]
1	Perno hexagonal/golilla D= 10 [mm]	i3DS2509	BP-I3DS-3001	24	N/A	-
2	Tuerca avellanada D=10 [mm]	i3DS2510	BP-I3DS-3001	8	N/A	-

Anexo B
Datos de Radiación Solar

LOCALIDAD	IRRADIANCIA SOLAR ANUAL POR REGIÓN [MJ/m2]												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
I - XV Región													
PARINACOTA	595,5	501,6	569,3	578,4	535,4	476,9	514,4	593,7	655,5	741,9	728,5	667	7158,2
MURMUNTANE	689,8	504,8	627,8	625,9	554,4	487	528	585	660,3	788,1	788,3	780,2	7619,5
ARICA	657,6	593,6	598,1	458,1	395,6	323,5	308	391,2	457,4	577,2	617,4	652,4	6030,3
IQUIQUE	727,8	644,5	605,1	471	384,7	313,6	308,3	364,9	447,8	570,1	646,7	749,3	6240,4
PICA	758,7	662,1	662,7	572,9	515,8	444,2	476	581	649,4	769,8	792,7	822,2	7727,4
PROMEDIO	685,9	581,3	612,6	541,3	477,2	409,0	426,9	503,2	574,1	689,4	714,7	734,2	6955,2
II Región													
QUILLAGUA	696,6	618,8	650,4	516,2	458,1	371,5	418,1	518,9	591,8	718,6	709,9	757,4	7026,4
PARSHALL2	752,1	663,4	697,8	578,3	535,3	467,7	509,5	599,5	696,5	799,2	834	873,2	8006,3
TOCOPILLA	604	540,8	499,5	420,8	352,9	281,5	261,3	372,7	479,2	598	886,9	623,2	5620,5
CHUQUICAMATA	858,4	648,2	675,7	555	460,9	431,9	469,4	639,8	628,4	772,3	809,7	856,7	7806,5
EL TATIO	733,9	663	789,1	637,2	574,8	484,2	581,8	664,1	732,5	889	887,4	877,6	8514,3
COYA SUR	798,9	668,9	663,3	560,6	448,8	398,5	460,1	536,9	627,2	739,3	752,1	808,8	7463,4
CALAMA	841,6	716	710,9	578,3	525,4	450	502,1	612,3	669,1	821,8	851,4	899,3	8178,1
SAN PEDRO DE ATACAMA	809,8	678,5	734,7	602,6	497	451,3	495,8	575,5	691,2	810	859,6	898,3	8099,4
ANTOFAGASTA	739	618,5	627,7	483,2	368,8	336,2	369,2	433,4	524,3	653,4	710,8	772,3	6636,6
TALTAL	728,3	579,8	533	432,7	347,7	340,9	326,2	370,7	456,8	602,8	624,2	763,1	6106,2
EL SALVADOR	876,7	731,6	711,4	558,4	426,7	382,2	442,1	511,3	639,1	793,1	812	876,4	7760,9
PROMEDIO	767,2	648,0	663,0	538,5	454,2	399,6	439,6	530,5	612,4	745,2	794,4	818,8	7383,5
III Región													
POTRERILLOS	898,2	744	725,5	575,4	463,1	368,8	439,1	553,5	641,2	806,2	880,2	956,9	8052
CHANARAL	665,2	567	504	392,4	312,2	278,6	317,6	362,4	441,2	540,5	594,8	717	5693
CALDERA	662,4	591,9	527,2	413	287,5	229,7	300,4	363,3	435,1	584,9	627,7	687,7	5710,7
COPIAPO	761,9	641,1	601,2	452,5	365,5	314,1	362,1	443	538,1	695,2	735,3	791,9	6702
LAUTARO	841,9	713,3	709,5	501,3	415,1	376,9	397,6	451,8	646,7	750,9	821,3	872,9	7499,2
VALLENAR	741,5	626,6	577,1	405,4	323,1	227,1	324,9	380,7	477,9	621,7	691,1	745,3	6142,4
PROMEDIO	761,9	647,3	607,4	456,7	361,1	299,2	357,0	425,8	530,0	666,6	725,1	795,3	6633,2
IV Región													
LA SERENA	726,8	610,4	467,7	333,1	288,7	257,9	262,6	324,1	413,6	530,8	603,6	730,4	5549,5
OVALLE	778,8	629,6	587,1	404,2	314	257,9	269,9	339,3	446,3	647,2	706	797,2	6193,3
LA PALOMA	831,4	692,4	638,7	454,8	325,4	248,4	301,9	405,2	556,8	678,5	754	847,1	6729,7
LOS MOLLES	916,3	745,7	704,2	537,9	377,3	279	322,9	465,3	603	730,9	825,4	929,1	7437,1
LA TRANQUILLA	836,2	699,4	609,9	445,5	312	234,6	267,8	364,7	604,1	689,8	736,8	870,8	6671,7

PROMEDIO	817,9	675,5	601,52	435,1	323,48	255,56	285,02	379,72	524,76	655,44	725,16	834,92	6516,26
V Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EL YESO	791,3	639	584	425,2	290,9	212,6	263,6	356	514,3	627,2	687,2	788,5	6179,8
ISLA DE PASCUA	631,3	515,9	497,5	376,8	314,9	245,4	296,9	362,4	483,9	574,5	606,4	634,9	5540,8
QUILLOTA	680,7	560,7	477,1	304,8	228,2	194,1	199,1	299,7	364	512,5	597,1	680,3	5098,2
EL OLIVAR	671,1	521	482,5	306,8	201,8	176,3	206,3	283,9	348	482,1	608,3	680,2	4968,2
VALPARAISO	680,9	528,8	467,4	310,7	218,7	175,5	199,5	293,3	397,4	521,7	616,4	678,3	5088,8
EL BELLOTO	578,3	458,5	452,5	349,4	268	203,2	278,7	339,9	448,3	449,9	594	620,3	5041
LLIU LLIU	758,7	585,8	558,5	382,7	271,5	215,4	231,7	325,8	421,6	551,1	627	746,2	5676,1
PROMEDIO	684,6	544,2	502,8	350,9	256,3	203,2	239,4	323,0	425,4	531,3	619,5	689,8	5370,4
Región Metropolitana	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PUDAHUEL	781,1	599,8	547,5	366,1	234,5	179,9	222,3	340,9	429,6	571,1	712	808,5	5793,4
CERRO CALAN	772,6	634,9	535,8	367,5	248,2	195,6	183	272,2	398	503	635,8	751,5	5498
STGO. (EDIFICIO)	729,1	564,2	518	320	201,6	171,6	172,5	261,7	364,7	519,8	597,1	708,1	5122,2
STGO. TOBALABA	895,1	583,1	460	345,8	249,6	186,8	223,1	300,6	403,7	524,1	650,5	735,1	5357,4
STGO. QUINTA NORMAL	715,1	571,7	472,1	322,7	200,5	142,3	175,2	253	362,7	499	628	719,7	5062
STGO. BANDERA	719,6	587,9	509,6	338,7	235,3	176,2	183,1	297,1	382,1	510,8	632,5	727,7	5300,6
STGO. EL BOSQUE	711,7	595,5	532,3	363,9	258,6	184,9	225,7	321,3	433,4	558,9	648	687,3	5521,4
PIRQUE	839	592	548,1	381,2	239,7	207,4	211,3	320,2	405,1	555,3	711	897,2	5907,5
SAN JOSE DE MAIPO	685,5	577,1	471,4	356,6	227,2	147,3	179,5	288,9	423,1	543,5	618,8	712,3	5231,3
LAS MELOSAS	741,7	588,1	523,5	369,6	238,4	174,5	239	329,3	416,2	569,8	689,3	767	5646,4
PROMEDIO	759,05	589,43	511,83	353,21	233,36	176,65	201,47	298,52	401,86	535,53	652,3	751,44	5444,02
VI Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
CENTRAL RAPEL	772,7	612,7	545,8	381,8	251,3	197,1	224,4	324,2	438,3	572,5	672,3	756,3	5749,7
PTE ARQUEADO	771,5	615,6	531,8	355,2	229,2	181,5	210,3	308	422,6	574,8	672,8	757,1	5630,7
RENGO	821,4	644,5	558	401,4	264,1	175,6	219,4	302,6	430,1	559,8	737,5	819,4	5933,8
POPETA	781,7	628,2	552	364,5	225,7	154,9	201,7	298,2	405,7	320,3	701,2	807,5	5441,6
SAN FERNANDO	758,7	587,5	516,9	333,3	193	156,6	192,5	281,4	384,7	539,8	640,8	750,4	5335,7
CONVENTO VIEJO	761,5	527,9	475,6	323,4	191,5	124,2	184,1	233,3	435,3	570,7	685,3	712,7	5225,5
PROMEDIO	777,9	602,7	530,0	359,9	225,8	165,0	205,4	291,3	419,5	523,0	685,0	767,2	5552,8
VII Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
COLORADO	782,8	605,8	501,5	369,4	185,6	159	210,3	287,2	365,2	576,7	677,2	765,6	5486,5
ARMERILLO	795,5	617,8	545,3	358,6	226	168,8	196,5	295	421,1	575,5	679,9	785,7	5665,7
LAG. INVERNADA	774,6	613,5	546,2	369,4	231,2	177,1	207,9	299,6	434,1	571,9	674,8	747	5647,4
PROMEDIO	784,3	612,4	545,8	365,8	214,3	168,3	204,9	293,9	406,8	574,7	677,3	766,1	5599,9

VIII Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TALCAHUANO	759,1	519,4	526,9	247,2	216,9	148,6	181,3	290	434,8	563,6	634,4	718,4	5240,6
CONCEPCION	761,8	582,1	510,2	340	214	142,1	186,5	289,7	407,6	572	676	740,8	5422,9
POLCURA	689,1	531,2	467,7	303,8	173,5	129,7	154,6	230,8	358	489,1	599,2	662,4	4789,1
LAGO LAJA	787,5	621,5	553,3	367,3	199,8	156,4	195,1	309,2	473,3	598	719,9	744,5	5725,8
PROMEDIO	749,375	563,55	514,525	314,575	201,05	144,2	179,375	279,925	418,425	555,675	657,375	716,525	5294,6
IX - XIV REGION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
COLLIPULLI	693,3	541,1	466	311,4	183,8	114,2	136	232,6	354,4	504,1	604,9	687,6	4829,3
LONGOIMAY	799,6	606	533,5	353,4	234,7	167,3	192	179,9	446,1	563,7	717,7	762,2	5556,1
PTO. SAAVEDRA	594,6	412,1	370,4	220,3	114	87,3	86,3	150,3	244	412,2	588,4	642,4	3922,4
PUCON	651,2	489,5	432,5	283,7	157,6	119,9	127,6	216,5	299,4	475,6	576,3	621,2	4451,1
PROMEDIO	684,675	512,175	450,6	292,2	172,525	122,175	135,475	194,825	335,975	488,9	621,825	678,35	4689,725
X Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PULLINQUE	593,4	446,6	379,9	235,2	113,3	95,8	110,8	186,4	304,1	430,9	515	602,3	4013,9
HUILO HUILO	632	513,9	443,8	262,4	136,7	101,4	115,1	205,9	303,7	457,2	561,1	645,2	4378,3
LAGO CHAPO	538,3	443,3	367,6	234,5	117,5	89,7	103,7	169,1	265,8	380,2	467,5	560,9	3737,9
ISLA GUAFO	497	362,9	322,9	143,9	74,1	45,8	37	79,8	232,5	387,8	448,5	575,3	3207,6
ALTO PALENA	669,5	531	425,6	261,5	139,4	108,6	123,8	216	48,7	523,6	632,33	684,7	4664,8
PROMEDIO	586,04	459,54	387,96	227,5	116,2	88,26	98,08	171,44	230,96	435,94	524,886	613,68	4000,5
XI Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
BALMACEDA	576,4	440,2	354,9	219,4	124,7	104,5	124,6	186,8	309,4	464,6	529,9	624,3	4059,7
COYHAIQUE	568,5	428,4	343,2	235,2	120,6	111,8	121,2	207	324,2	462	539,2	618	4079,3
PUERTO AYSEN	543,7	410,1	329,8	200,5	119,9	95	99,2	176,8	293,5	432,6	498,4	586,7	3786,2
PROMEDIO	562,9	426,2	342,6	218,4	121,7	103,8	115,0	190,2	309,0	453,1	522,5	609,7	3975,1
XII Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
CABO RAPER	386,3	251,6	229,5	137,3	98,5	95,6	83,5	134	225,6	342,8	341	477,8	2803,4
COLONIA BEKER	599,9	467,2	386,7	209,5	125,4	86,2	101,2	182,4	313,9	498,2	584,2	654,7	4209,4
FARO EVANGELIS	422,2	159,8	219	111,2	64,3	42,8	71,1	102,7	176,7	297,1	401,8	361,2	2521,9
PUNTA ARENAS	575,3	412,4	324,1	173,7	90,5	47,1	66,1	134,6	246,6	386,7	570,6	607,3	3634,9
PTO WILLIAMS	428,9	310,6	245,1	126,9	63,2	34,4	51,8	110,6	222,2	354,6	468,4	486,1	2902,6
PROMEDIO	482,5	320,3	280,9	151,7	88,4	61,2	74,7	132,9	237,0	375,9	473,2	517,4	3214,4
Territorio Antártico	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
BASE FREI MONTALVA	271,2	192,1	109,7	68,5	27	9,8	17,1	72,7	173,5	331,8	443	493,1	2209,3
BASE AGUIRRE CERDA	480,4	286,3	159,8	65,3	18,2	9,2	13,8	57,9	164,9	330,3	475,1	498,2	2559,4
PROMEDIO	375,8	239,2	134,75	66,9	22,6	9,5	15,45	65,3	169,2	331,05	459,05	495,65	2384,35

PROMEDIO IRRADIANCIA DIARIA EN EL AÑO POR REGIÓN [kW/m2]													
LOCALIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
I - XV Región	6,2	5,8	5,5	5,1	4,3	3,8	3,9	4,5	5,4	6,2	6,7	6,6	5,3
II Región	6,9	6,5	6,0	5,0	4,1	3,7	4,0	4,8	5,7	6,7	7,4	7,4	5,7
III Región	6,9	6,5	5,5	4,3	3,3	2,8	3,2	3,8	4,9	6,0	6,8	7,2	5,1
IV Región	7,4	6,8	5,4	4,1	2,9	2,4	2,6	3,4	4,9	5,9	6,8	7,5	5,0
V Región	6,2	5,4	4,5	3,3	2,3	1,9	2,2	2,9	4,0	4,8	5,8	6,2	4,1
Región Metropolitana	6,9	5,9	4,6	3,3	2,1	1,6	1,8	2,7	3,8	4,8	6,1	6,8	4,2
VI Región	7,0	6,0	4,8	3,4	2,0	1,5	1,9	2,6	3,9	4,7	6,4	6,9	4,3
VII Región	7,1	6,1	4,9	3,4	1,9	1,6	1,9	2,7	3,8	5,2	6,3	6,9	4,3
VIII Región	6,8	5,6	4,6	2,9	1,8	1,3	1,6	2,5	3,9	5,0	6,1	6,5	4,1
IX - XIV Región	6,2	5,1	4,1	2,7	1,6	1,1	1,2	1,8	3,1	4,4	5,8	6,1	3,6
X Región	5,3	4,6	3,5	2,1	1,0	0,8	0,9	1,5	2,2	3,9	4,9	5,5	3,1
XI Región	5,1	4,3	3,1	2,0	1,1	1,0	1,0	1,7	2,9	4,1	4,9	5,5	3,0
XII Región	4,4	3,2	2,5	1,4	0,8	0,6	0,7	1,2	2,2	3,4	4,4	4,7	2,5
Territorio antártico	3,4	2,4	1,2	0,6	0,2	0,1	0,1	0,6	1,6	3,0	4,3	4,5	1,8

LOCALIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
I - XIV Región	14,8	15,8	16,6	18,2	21,3	24,1	23,8	20,2	17,2	14,8	13,8	13,9	17,2

II Región	13,3	14,2	15,3	18,3	22,4	24,6	23,1	19,2	16,1	13,7	12,4	12,4	16,2
III Región	13,4	14,2	16,7	21,6	28,2	32,9	28,5	23,9	18,6	15,3	13,6	12,8	18,1
IV Región	12,4	13,6	16,9	22,6	31,5	38,5	35,7	26,8	18,8	15,5	13,6	12,2	18,4
Región Metropolitana	13,4	15,6	19,9	27,9	43,6	55,7	50,5	34,1	24,5	19,0	15,1	13,5	22,0

ENERO														
AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		89,9	267,3	466,6	663,9	831,6	944,4	984,1	944,4	831	663,9	466,6	267,3	89,9
180 al NORTE	12	71,6	243,5	441,3	441	813,1	929,6	970,8	929,5	813,1	641	441,3	243,6	71,6
	22	55,2	218,7	409,6	605,1	775,3	891,1	932,2	891,1	775,2	605,1	409,6	218,7	55,2
	32	53	189,7	369	554,9	718,3	830,2	870	830,2	718,3	554,9	369	189,7	53
	90	36,9	88,5	121,1	137,3	145,4	162,4	175,1	162,4	145,4	137,3	121,1	88,5	36,9
-135 NO	90	36,9	88,5	121,1	137,3	145,4	150,2	168,3	305,5	397,5	425	380,8	275,9	143,2
135 NE	90	143,2	275,9	380,8	425	397,4	305,5	168,3	150,2	145,4	137,3	121,1	88,5	36,9
-90 O	90	36,9	88,5	121,1	137,3	145,4	150,2	151,9	357,7	518,9	598,8	573,4	448,7	269,6
90 E	90	269,6	448,7	573,4	598,8	518,9	357,7	151,9	150,2	145,4	137,3	121,1	88,5	36,9
-45 SO	90	36,9	88,5	121,1	137,3	145,4	150,3	151,9	288,2	421,6	502,3	501	410,4	259,7
45 SE	90	259,7	410,4	501	502,3	421,6	288,2	151,9	150,2	145,4	137,3	121,1	88,5	36,9
O SUR	90	119,3	183,6	206,1	191,9	162,5	150,2	151,9	150,2	162,5	191,9	206,1	183,6	119,3
FEBRERO														
AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		54	228,3	428	628,3	799,8	915,8	956,8	915,8	799,9	628,3	428	228,3	35,5
180 al NORTE	12	44,3	216,8	418,8	625,1	804	925,5	960,1	925,5	804	625,2	418,8	216,8	34,1
	22	35,5	202,6	401,1	606,3	785,4	907,5	950,8	907,5	785,3	606,2	401,1	202,6	23,4
	32	34,1	184,7	374,7	572,9	747,2	866,5	908,9	866,5	747,2	572,9	374,7	184,7	126
	90	23,4	80,1	117,1	172,1	232,4	275,4	291,1	275,4	232,4	172	117,1	80,1	23,4
-135 NO	90	23,4	80,1	117,1	135,3	143,8	148,4	249,8	387,9	473,9	487	419,6	288,9	136
135 NE	90	136	288,9	419,8	487	473,9	387,9	249,8	148,8	143,8	135,3	117,1	80,1	23,4
.90 O	90	23,4	80,1	117,1	135,3	143,8	148,4	150,1	360,1	522,1	596	556,8	415,3	226
90 E	90	226	415,3	556,8	596	522,1	360,1	150,1	148,4	143,8	135,3	117,1	80,1	23,4
-45 SO	90	23,4	80,1	117,1	135,5	143,8	148,4	150,1	208,3	348,6	435,1	436,2	345,3	197,3
45 SE	90	197,3	345,3	436,2	435,1	348,6	208,3	150,1	148,4	143,8	135,3	117,1	80,1	23,4
O SUR	90	66,7	120	128,6	135,3	143,8	148,4	150,1	148,4	143,8	135,3	128,6	120	66,7
JUNIO														
AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		0	43,3	198,2	365,4	515,2	618,8	655,8	618,8	515,2	365,4	198,2	43,3	0
180 al NORTE	12	0	64,3	242,1	436	608,6	726,8	768,8	726,8	608,6	436	242,1	64,3	0
	22	0	80,4	272,7	483,1	669,4	796	840,6	796	669,4	483,1	272,7	80,4	0
	32	0	94,6	296,8	518,1	712,6	843,8	890	842,8	712,6	518,1	296,8	94,5	0
	90	0	121,9	286,6	451,9	585,7	670,8	699,9	670,8	585,7	451,9	286,6	121,9	0
-135 NO	90	0	17,9	61,2	82,8	199,9	364,7	523,7	640,4	682,1	621,8	456,7	235,8	0
135 NE	90	0	235,8	456,7	621,8	682,1	640,4	523,7	364,7	199,9	82,8	61,2	17,9	0
-90 O	90	0	17,9	61,2	82,8	91,7	96,4	98,2	0,4	432,7	476	395,1	222	0
90 E	90	0	222	395,1	476	432,7	291,4	98,2	96,4	91,7	82,8	61,2	17,9	0
-45 SO	90	0	17,9	61,2	82,8	91,7	96,4	98,2	96,4	91,7	99,9	137,9	88,6	0

45 SE	90	0	88,5	137,9	99,9	91,7	96,4	98,2	96,4	91,7	82,8	61,2	17,9	0
O SUR	90	0	17,9	61,2	82,8	91,7	96,4	98,2	96,4	91,7	82,8	61,2	17,9	0
JULIO														
AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		0	54,2	218,8	395,4	553,1	662,1	701	662,1	553,1	395,4	218,8	54,2	0
180 al NORTE	12	0	77,9	266,4	470	650	772,9	816,4	772,9	650	470	266,4	77,9	0
	22	0	95,7	299,4	519,3	712,2	842,7	888,7	842,7	712,2	519,3	299,4	95,7	0
	32	0	111,2	325,1	555,2	755,4	889,8	936,9	889,8	755,4	555,2	325,1	111,2	0
	90	0	138	307	472	603,6	687	715,5	687	603,6	472	307	138	0
-135 NO	90	0	21	61,4	80	189	264,7	534,4	662,4	716,6	668,6	508,5	278,3	0
135 NE	90	0	278,3	508,5	668,6	716,6	662,4	534,4	364,7	189	80	61,3	21	0
-90 O	90	0	21	61,3	80	88,7	94,7	97,1	305,2	461,8	520,4	448	267,9	0
90 E	90	0	267,9	448	520,4	461,8	305,2	97,1	94,7	88,7	80	61,3	21	0
-45 SO	90	0	21	61,3	80	88,7	94,7	97,1	94,7	88,7	114,3	161	112,7	0
45 SE	90	0	112,7	161	114,3	88,7	94,7	97,1	94,7	88,7	80	61,3	21	0
O SUR	90	0	21	61,3	80	88,7	94,7	97,1	94,7	88,7	80	61,3	21	0

AZ - INCL	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL	82,708	245,916	429,272	610,788	765,072	868,848	905,372	868,848	764,52	610,788	429,272	245,916	82,708
(180N,12)	65,872	224,02	405,996	405,72	748,052	855,232	893,136	855,14	748,052	589,72	405,996	224,112	65,872
(180N,22)	50,784	201,204	376,832	556,692	713,276	819,812	857,624	819,812	713,184	556,692	376,832	201,204	50,784
(180N,32)	48,76	174,524	339,48	510,508	660,836	763,784	800,4	763,784	660,836	510,508	339,48	174,524	48,76
(180N,90)	33,948	81,42	111,412	126,316	133,768	149,408	161,092	149,408	133,768	126,316	111,412	81,42	33,948
(-135NO,90)	33,948	81,42	111,412	126,316	133,768	138,184	154,836	281,06	365,7	391	350,336	253,828	131,744
(135NE,90)	131,744	253,828	350,336	391	365,608	281,06	154,836	138,184	133,768	126,316	111,412	81,42	33,948
(-90O,90)	33,948	81,42	111,412	126,316	133,768	138,184	139,748	329,084	477,388	550,896	527,528	412,804	248,032
(90E,90)	248,032	412,804	527,528	550,896	477,388	329,084	139,748	138,184	133,768	126,316	111,412	81,42	33,948
(-45SO,90)	33,948	81,42	111,412	126,316	133,768	138,276	139,748	265,144	387,872	462,116	460,92	377,568	238,924
(45SE,90)	238,924	377,568	460,92	462,116	387,872	265,144	139,748	138,184	133,768	126,316	111,412	81,42	33,948
(0S,90)	109,756	168,912	189,612	176,548	149,5	138,184	139,748	138,184	149,5	176,548	189,612	168,912	109,756

AZ - INCL	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
HORIZONTAL	39,836	182,344	336,168	473,984	569,296	603,336	569,296	473,984	336,168	182,344	39,836
(180N,12)	59,156	222,732	401,12	559,912	668,656	707,296	668,656	559,912	401,12	222,732	59,156
(180N,22)	73,968	250,884	444,452	615,848	732,32	773,352	732,32	615,848	444,452	250,884	73,968
(180N,32)	87,032	273,056	476,652	655,592	776,296	818,8	775,376	655,592	476,652	273,056	86,94
(180N,90)	112,148	263,672	415,748	538,844	617,136	643,908	617,136	538,844	415,748	263,672	112,148
(-135NO,90)	16,468	56,304	76,176	183,908	335,524	481,804	589,168	627,532	572,056	420,164	216,936
(135NE,90)	216,936	420,164	572,056	627,532	589,168	481,804	335,524	183,908	76,176	56,304	16,468
(-90O,90)	16,468	56,304	76,176	84,364	88,688	90,344	88,688	398,084	437,92	363,492	204,24
(90E,90)	204,24	363,492	437,92	398,084	268,088	90,344	88,688	84,364	76,176	56,304	16,468
(-45SO,90)	16,468	56,304	76,176	84,364	88,688	90,344	88,688	84,364	91,908	126,868	81,512
(45SE,90)	81,42	126,868	91,908	84,364	88,688	90,344	88,688	84,364	76,176	56,304	16,468
(0S,90)	16,468	56,304	76,176	84,364	88,688	90,344	88,688	84,364	76,176	56,304	16,468

Modelo Célula fotovoltaica	Eficiencia [%]	BSF	Potencia máxima [W]	Dimensiones	Tecnología celular	Vmax [V]	I _{max} [A]	Voc [V]	I _{sc} [A]
M156B5	21 - 21,6	Aluminio	5,13 - 5,25	156,75×156,75	PERC	0,544 - 0,549	8,72 - 8,82	0,644 - 0,646	9,27 - 9,32
M2 Mono 5BB	21,1 - 21,6	Nitruro de silicio	5,15 - 5,277	156,75×156,75	PERC	0,562 - 0,569	9,171 - 9,273	0,659 - 0,665	9,68 - 9,771
SSC - 156.75M	19,2 - 19,8	Aluminio	4,69 - 4,48	156,75×156,75	Monocristalino	0,549 - 0,554	9,162 - 9,299	0,661 - 0,667	9,616 - 9,773
JS156B5	17,8 - 18,5	Aluminio	4,37 - 4,55	156,75×156,75	Policristalino	0,532 - 0,542	8,22 - 8,4	0,626 - 0,635	8,71 - 8,89
Mono-156.75-4BB	21,3 - 21,7	Aluminio	5,2 - 5,38	156,75×156,75	PERC	0,569 - 0,575	9,149 - 9,186	0,666 - 0,67	9,611 - 9,661
156.75-POLY-5BB-PID	18,4 - 19	Aluminio	4,52 - 4,64	156,75×156,75	Policristalino	0,537 - 0,545	8,417 - 8,52	0,632 - 0,639	8,911 - 9,006
SP-160-220EF	21	Aluminio	6	160x220x2,8	Monocristalino	18	0,334	21,6	0,355



1. CARÁCTERÍSTICAS DE PRODUCTO

Baterías de Plomo-ácido selladas para almacenar energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos.

2. EJEMPLOS DE APLICACIONES

- Movilidad, caravaning, náutica, automoción.
- Señalización vial.
- Iluminación vial.
- Energía independiente / solar / UPS

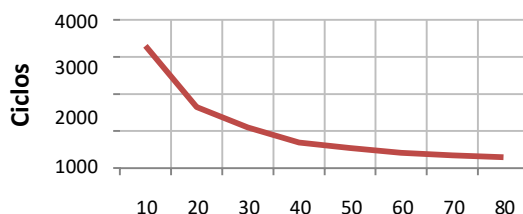
3. DATOS TÉCNICOS (Temperatura de referencia 25°C)

MODELO	V	Capacidad C ₁₀₀ (Ah)	Dimensiones (mm)		
			L	W	A
ELEKSOL ES70 SOLAR	12	70	242	175	190
ELEKSOL ES80 SOLAR	12	80	278	175	190
ELEKSOL ES110 SOLAR	12	105	353	175	190
ELEKSOL ES155 SOLAR	12	155	513	189	223
ELEKSOL ES205 SOLAR	12	205	513	223	223
ELEKSOL ES260 SOLAR	12	260	518	276	242

4. INFORMACIÓN DE DISEÑO

- Placas tubulares y separadores especiales.
- Larga vida en ciclos de carga y descarga.
- Reducido consumo de agua.
- Menor sensibilidad a las sobrecargas imprevistas.
- Reducida auto descarga.
- Mayor tensión de descarga mediante conexiones interiores más cortas.
- Material plástico con alta resistencia a los impactos fortuitos.
- Baterías de semitracción especialmente diseñadas para aplicaciones estacionarias fotovoltaicas.

5. NÚMERO DE CICLOS EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD DE DESCARGA



6. OPERACIÓN

- Curvas de carga: WUa, IUa, IUoU y IUIoU.
- No descargar la batería por encima del 80%.

- La batería debe ser cargada al 100% entre 1-4 semanas.
- Trabajando en flotación a tensiones altas durante periodos largos puede repercutir en una excesiva pérdida de agua.

Especificaciones eléctricas			
Modelos	150	300	500
Potencia de salida (continua)	150 W	300 W	500 W
Capacidad de resistencia a la sobretensión (máxima)	300 W	600 W	1000 W
Voltaje de salida	230 VCA +/- 5%	230 VCA +/- 5%	230 VCA +/- 5%
Frecuencia de salida	50 +/- 3Hz	50 +/- 3Hz	50 +/- 3Hz
Forma de onda de salida	Onda sinusoidal modificada	Onda sinusoidal modificada	Onda sinusoidal modificada
Eficiencia máxima	90%	90%	90 %
Consumo de corriente sin carga	<0,18 A	<0,2 A	<0,3 A
Rango de voltaje de entrada	10 – 15 VCC	10 – 15 VCC	10 – 15 VCC

Especificaciones generales			
Rango de temperatura	0°C a 40°C (32°F a 104°F)	0°C a 40°C (32°F a 104°F)	0 °C a 40°C (32°F a 104°F)
Toma de CA	Schuko, UK y AUS/NZ	Schuko, UK y AUS/NZ	Schuko, UK y AUS/NZ
Pantalla	Indicadores LED de encendido y fallos	Indicadores LED de encendido y fallos	Indicadores LED de encendido y fallos
Conexión a la batería	Enchufe para encendedor	Toma de CC para encendedor o abrazaderas de cables	Cableado y abrazaderas
Soporte para montaje	Ninguno	Incorporado	Incorporado
Fusible de CC interno	No sustituible por el usuario	No sustituible por el usuario	No sustituible por el usuario
Dimensiones (Al x An x L)	2,5 x 4,1 x 6,2" (63 x 104 x 157 mm)	2,6 x 4,1 x 7,9" (66 x 104 x 200 mm)	2,6 x 4,4 x 9,5" (66 x 112 x 241 mm)
Peso	0,65 kg (1,54 lb)	0,79 kg (1,74 lb)	1,2 kg (2,6 lb)
Garantía	2 años	2 años	2 años
Números de referencia	851-0155 (AUS/NZ)	851-0305 (AUS/NZ)	851-0505 (AUS/NZ)
	851-0156 (UK)	851-0306 (UK)	851-0506 (UK)
	851-0157 (Schuko)	851-0307 (Schuko)	851-0507 (Schuko)

Aprobaciones reguladoras	
Inversores Xantrex 150	CE, TUV/GS, marca e
Inversores Xantrex 300/500	CE, aprobación TUV, marca e

Nota 1: Las especificaciones pueden cambiar sin previo aviso.

Nota 2: Las especificaciones se basan en una entrada nominal de 12 voltios de CC.

Nota 3: *Para utilizar productos que requieren cargas de sobretensión elevadas o una potencia continua superior a 500 vatios con el inversor Xantrex 300 ó 500, se recomienda conectar directamente el inversor a la batería mediante cables.

Tiempos de funciona miento continuo con productos habituales				
Tamaño de grupo de b aterías BCI (amperios h ora)				
Ejemplos Potencia en vatios	24 NF (75)	27 NF (100)	8 D (200)	Dual 8D (400)
TV de 33 cm (13")50	14 horas	18 horas	42 horas	90 horas
Ordenador portátil75	9	13	26	52
TV de 48 cm (19")100	6	10	20	40
Ordenador de sobremesa200*	3	4,5	10	20
Lámparas de trabajo300*	2	2-8	6	12
Pequeño taladro eléctrico400	1,4	2	4.5	10
Aspiradora portátil500	1	1,4	3,6	7,6

Anexo C
Cubicación de Materiales

ITEM	Nº PIEZA	CANT.	DESCRIPCIÓN/ESPECIFICACIONES	LARGO	ANCHO	ALTO	ESPESOR/DIAMETRO	MATERIAL	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
				[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	-	CLP	CLP
1			Sistema de movimiento X-Y							
Perfil rectangular 80x30x3	i3DS2111	2	Dimensionado mediante corte en sierra	850	80	30	3	Acero ASTM A36	30.930	30930,00
Perfil angular en C 80x60x3	i3DS2112	2	Dimensionado mediante corte en sierra	1000	80	60	3	Acero ASTM A36	-	-
Perfil angular en C 80x30x3	i3DS2113	2	Dimensionado mediante corte en sierra	1000	80	30	3	Acero ASTM A36	26.000	26.000
Correa transmisión M=5 [mm]	i3DS2114	2	Mov en X: 160 dientes	320	-	-	9.53	Caucho	13.020	52.080
Perfil rectangular 80x30x3	i3DS2121	2	Dimensionado mediante corte en sierra	1000	80	30	3	Acero ASTM A36	-	-
Perfil angular en C 80x60x3	i3DS2122	2	Dimensionado mediante corte en sierra	1800	80	60	3	Acero ASTM A36	39.366	39366,00
Perfil angular en C 80x30x3	i3DS2123	2	Dimensionado mediante corte en sierra	1800	80	30	3	Acero ASTM A36	-	-
Correa transmisión M=5 [mm]	i3DS2124	2	Mov en Y: 217 dientes	434			9.53	Caucho		
Ruedas Dint=20 [mm]	i3DS231	8	Incluye rodamiento interior	-	20	-	80	Nailon	3.753	15.015
Ejes acero D=20 [mm]	i3DS2132	8	Dimensionado mediante corte en sierra	100	-	-	20	Acero cromado	4.902	39.216
Soporte ejes Dint=20 [mm]	i3DS2133	4	Soporte libre de los ejes	126	31	65	20	Comercial	1.100	4.400
Pernos Hex. De sujeción D= 4 [mm]	i3DS2134	8	Pernería (2 x soporte)	-	-	-	-	Comercial	-	-
Golilla plana D= 4 [mm]	i3DS2135	8	Pernería (2 x soporte)	-	-	-	-	Comercial	-	-
Motor Nema 34	i3DS2136	4	Dos motores para el movimiento en y	67,5	86	86	Dentrada = 12 [mm]	Comercial	99.000	198.000
Acoplamiento flexibles	i3DS2137	4	Unión entre motor y eje de acero	-	-	-	D1=12.5[mm] D2=20[mm]	Comercial	-	-
Pernos Hex. De sujeción D= 4 [mm]	i3DS2138	16	Pernería (4 x motor)	-	-	-	-	Comercial	-	-
Golilla plana D= 4 [mm]	i3DS2139	16	Pernería (4 x motor)	-	-	-	-	Comercial	-	-
Placa cobertura de eje	i3DS2140	8	Dimensionado con corte en sierra	10	74	54	-	Comercial	-	-
Piñón transm, Dp=40[mm] M=5[mm]	i3DS2141	8	Cilindrado en torno/maquinado en fresa	-	45	-	40	Acero 1045	-	-
Rodamiento D= 12 [mm]	i3DS2142	8	Unión motor/engranaje	-	-	-	12	Comercial	-	-
2			Sistema de movimiento Z							
Eje lineal D=10 [mm]	i3DS2201	4	Soporte y alineación de mesa polvo	400	-	-	10	Acero cromado	7.209	29.160
Husillo D=15 [mm]	i3DS2202	1	Husillo de transm. De movimiento	400	-	-	15	Comercial	17.700	17.700
Plancha acero 1000x3000 [mm]x4 [mm]	i3DS2203	1	Estructura cama de polvo	1000	3000	-	4	Acero A42	92.000	92.000
Placa acero 1200x320x15 [mm]	i3DS2204	1	Unión cama de polvo con sistema mov. X	1200	320		15	Acero ASTM A36	13.000	13.000
Plancha acero 400x400x20	i3DS2205	2	Base inf. Y sup. De mesa de polvo	400	400	-	10	Acero ASTM A36	35.796	35.796

Topes acero	i3DS2206	4	Soportes de parte inferior	-	-	-	-	Acero ASTM A36	-	-
Motor 8700 serie 34	i3DS2207	1	Motor impulsor del sistema	-	-	-	-	Comercial	89.027	89.027
Soporte rotatorio husillo D= 15 [mm]	i3DS2208	1	Soporte libre de husillo	-	-	-	15	Comercial	787	787
Soporte eje lineal	i3DS2209	4	Soporte fijo ejes lineales	-	-	-	10	Comercial	1.350	5.400
Perno Hex. D=15 [mm]	i3DS2210	16	Pernería	-	-	-	-	Comercial	-	-
Golilla plana D= 15 [mm]	i3DS2211	16	Pernería	-	-	-	-	Comercial	-	-
Perno Hex. D= 8 [mm]	i3DS2212	8	Pernería	-	-	-	-	Comercial	-	-
Golilla plana D= 8[mm]	i3DS2213	8	Pernería	-	-	-	-	Comercial	-	-
Perno auto perforante d=15 [mm]	i3DS2214	16	Pernería	-	-	-	15	Comercial	-	-
Perno auto perforante d=15 [mm]	i3DS2215	8	Pernería	-	-	-	10	Comercial	-	-
Buje de eje lineal	i3DS2216	4	Pernería	-	-	-	10	Comercial	-	-
Plancha aluminio	i3DS2217	1	Soporte motor	-	-	-	0,6	Aluminio	10.000	10.000
3			Sistema de reposición de material							
Guía lineal	i3DS2301	2	Con entrada para motor D=4.5 [mm]	1100	-	-	-	Aluminio	39.600	79200
Motor Nema 17	i3DS2302	2	Conectados a extremo fijo de guía lineal	48	-	-	4,5	Comercial	16.990	33.980
Placa de aluminio	i3DS2303	1	Dimensionado mediante corte	-	-	-	0,6	Aluminio	36.000	36.000
Perno auto perforante	i3DS2304	8	Pernería	-	-	-	-	Comercial	-	-
Perno hexagonal D= 5 [mm]	i3DS2305	8	Sujeción del motor con perfiles de acero	-	-	-	5	Comercial	-	-
4			Marco estático							
Perfil rectangular 70x30x3	i3DS2401	6	Dimensionado mediante corte	2100	70	30	3	Acero ASTM A36	17.500	105000
Perfil cuadrado 50x50x3	i3DS2402	6	Dimensionado mediante corte	1000	50	50	3	Acero ASTM A36	9.800	58800
Perfil en C 70x15x3	i3DS2403	2	Dimensionado mediante corte	550	70	15	3	Acero ASTM A36	17.500	35.000
Perfil cuadrado 50x50x3	i3DS2404	8	Dimensionado mediante corte	2100	50	50	3	Acero ASTM A36	5.600	44.800
Placa de montaje	i3DS2405	4	Dimensionado mediante corte	-	120	80	1	Acero ASTM A36	3.000	3.0000
Pernos hexagonales D=5 [mm]	i3DS2406	16	Pernería	-	-	-	-	Comercial	-	-
Golilla plana D= 5[mm]	i3DS2407	16	Pernería	-	-	-	-	Comercial	-	-
5			Sistema fotovoltaico							
Inversor de corriente	i3DS2501	1	-	240	112	66	-	Comercial	85630	86630
Controlador de carga	i3DS2502	1	-	148	70	-	-	Comercial	27.000	27.000

Batería Monoblock C100	i3DS2503	1	Almacenamiento de energía	242	175	190	-	Comercial	92.442	92.442
Módulo fotovoltaico	i3DS2504	25	Forman el conjunto del panel fotov.	156.7	156.7	-	-	Comercial	471,1	11777,5
Placa de madera	i3DS2505	1	Base de módulo fotovoltaico	850	850	-	10	Comercial	15000	15000
Placa de aluminio	i3DS2506	1	Dimensionada mediante corte con sierra	850	850	.	5	Aluminio	10.000	10.000
Perfil cuadrado	i3DS2507	4	Dimensionada mediante corte con sierra	1100	60	60	3	Aluminio	7500	30.000
Perfil en C	i3DS2508	8	Dimensionada mediante corte con sierra	730	60	50	3	Aluminio	3000	24.000
Perno hexagonal/golilla/tuerca	i3DS2509	24	Elementos de sujeción de perfiles	-	-	-	10	Aluminio	-	-
Tuerca avellanada	i3DS2510	8	Pernería	-	-	-	10	Comercial	-	-
TOTAL										1.252.993