

Universidad
de La Laguna

Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Civil e Industrial

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL
E INDUSTRIAL**

Trabajo Fin de Grado

**SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE
DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.**

Titulación: Grado de Ingeniería Mecánica.

Alumno: Manuel Barbuzano Asencio.
Tutor: Benjamín González Díaz.

Julio, 2014.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Índice General.

TRABAJO FIN DE GRADO.

TÍTULO

**SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.**

AUTOR

Manuel Barbuzano Asencio.

Memoria.

0. Hoja de identificación.	1
1 Objeto.	2
1.1 Español.	2
1.2 Inglés.	2
2 Alcance.	4
3 Antecedentes.	5
3.1 Principio de funcionamiento de la energía solar fotovoltaica.	5
3.2 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.	5
3.3 Ventajas de la energía solar fotovoltaica.	6
3.4 Inconvenientes de la energía solar fotovoltaica.	7
3.5 Energía zonas aisladas.	7
4 Normativa y referencia.	9
4.1 Normativa.	9
4.2 Bibliografía.	10
4.3 Páginas web.	10
4.4 Programas de cálculo.	11
5 Definiciones y abreviaturas.	12
6 Requisitos de diseño.	13
7 Análisis de soluciones.	15
7.1 Materiales empleados.	16
7.1.1 Piezas estructurales.	16
7.1.2 Elementos de unión desmontables.	17
7.2 Actuador.	18
7.3 Módulo fotovoltaico.	19
7.4 Discos de fricción.	20
7.5 Elementos de transmisión.	21
7.6 Rodamientos.	22
7.7 Cajas de protección.	23
7.8 Comparación diferentes piezas.	24

7.8.1 Soporte placa.	24
7.8.2 Eje vertical.	26
8 Resultados finales.	29
8.1 <i>Materiales empleados.</i>	29
8.1.1 Piezas estructurales.	29
8.1.2 Elementos de unión desmontables.	30
8.1.3 Uniones permanentes.	31
8.2 <i>Motor eléctrico.</i>	32
8.3 <i>Control motor paso a paso.</i>	34
8.4 <i>Sistema de control del seguimiento solar.</i>	35
8.4.1 Arduino.	35
8.4.2 Esquema de programación.	37
8.5 <i>Módulo fotovoltaico.</i>	38
8.6 <i>Discos de fricción.</i>	39
8.7 <i>Resorte.</i>	40
8.8 <i>Elementos de transmisión.</i>	41
8.8.1 Eje horizontal.	41
8.8.2 Eje vertical.	43
8.9 <i>Rodamientos.</i>	45
8.10 <i>Cajas de protección.</i>	46
8.11 <i>Conductor electricidad.</i>	47
8.12 <i>Piezas fabricadas.</i>	47
8.13 <i>Montaje mecanismo seguimiento solar.</i>	48
8.14 <i>Energía producida.</i>	50
8.15 <i>Presupuesto.</i>	50
9 Conclusión.	52
9.1 <i>Español.</i>	52
9.2 <i>Inglés.</i>	53
10 Orden de prioridad de los documentos básicos.	55

Anexo de cálculos.

1 Cargas aplicadas sobre la placa fotovoltaica.	1
1.1 Nieve.	1
1.2 Viento.	2
1.3 Momento torsor generado.	3
2 Cálculo elementos transmisión.	6
2.1 Engranajes eje horizontal.	6
2.2 Engranajes eje vertical.	8
2.3 Discos de fricción.	8
2.4 Resorte.	9
2.5 Momento transmitido al eje horizontal.	11
2.6 Rodamientos eje vertical.	12
3 Resistencia mecánica de las piezas con simulación de elementos finitos empleando el programa SolidWorks.	15
3.1 Soporte placa.	15
3.1.1 Vigas.	15
3.1.2 Pieza Sujeción Eje horizontal.	18
3.2 Eje horizontal.	21
3.3 Eje vertical.	24
3.3.1 Placa inclinada 45°, viento parte delantera.	25
3.3.2 Placa inclinada 45°, viento parte trasera.	27
3.3.3 Placa inclinada 65°, viento parte delantera.	28
3.3.4 Placa inclinada 65°, viento parte trasera.	29
3.4 Estructura.	30
3.5 Disco de fricción.	33
3.6 Caja engranajes interna.	35
3.7 Caja engranajes externa.	37
3.8 Placa soporte eje horizontal.	39
3.9 Tuerca resorte.	42
4 Calculo de soldaduras.	45
4.1 Soporte placa.	45

4.1.1	Viga central y externa.	45
4.1.2	Sujeción eje horizontal.	48
4.2	<i>Eje vertical.</i>	49
4.2.1	Placas superiores.	49
4.2.2	Placa horizontal y tubo vertical.	51
4.2.3	Tubo vertical con soporte rodamiento.	54
4.3	<i>Estructura.</i>	55
5	Calculo de tornillos.	57
5.1	<i>Tornillos fijación módulo fotovoltaico.</i>	57
5.2	<i>Tornillos fijación soporte placa y eje horizontal.</i>	58
5.3	<i>Tornillo sujeción eje vertical.</i>	58
5.4	<i>Tornillos unión estructura y soporte farola.</i>	59
5.4.1	Fuerza horizontal dirección perpendicular.	60
5.4.2	Fuerza horizontal dirección axial.	63
5.5	<i>Tornillos soporte farola.</i>	64
5.5.1	Fuerza horizontal dirección perpendicular.	65
5.5.2	Fuerza horizontal dirección axial.	67
5.6	<i>Tornillos unión pieza 22 con eje vertical.</i>	68
6	Resistencia piezas mecanismo.	71
6.1	<i>Rosca turca resorte.</i>	71
6.2	<i>Soporte farola.</i>	72
6.2.1	Fuerza horizontal dirección perpendicular.	73
6.2.2	Fuerza horizontal dirección axial.	74
7	Programa seguimiento Arduino.	76
8	Potencia eléctrica.	78
8.1	<i>Sistema con movimiento en dos ejes.</i>	78
8.2	<i>Sistema fijo con inclinación óptima.</i>	81
8.3	<i>Energía consumida por los motores eléctricos.</i>	84
8.4	<i>Energía consumida Arduino.</i>	88
8.5	<i>Energía final generada.</i>	88
9	Bibliografía.	89

Anexo de Catálogos.

1 Módulo fotovoltaico Sunmodule SW50 poly RMA.	1
2 Motor paso a paso RS.	3
3 Rodamientos contacto angular NSK.	9
4 Resorte carga ligera Totalmatrix.	15
5 Engranajes dientes rectos KHK.	17
6 Varilla aportación soldadura Codesol.	23
7 Cable Prysmian.	25
8 Cable Harmoflex.	29
9 Cajas protección Bopla.	31

Planos.

1 Plano conjunto.	1
<i>1.01 Estructura.</i>	2
<i>1.05 Soporte farola.</i>	3
<i>1.09 Eje vertical.</i>	4
<i>1.12 Eje horizontal.</i>	5
<i>1.13 Soporte placa.</i>	6
<i>1.18 Placa soporte eje horizontal.</i>	7
<i>1.20 Plano subconjunto reductora eje horizontal.</i>	8
1.20.02 Tapa engranajes interna.	9
1.20.04 Engranajes dientes rectos SSY-120A rectificado.	10
1.20.10 Disco fricción interno.	11
1.20.12 Disco fricción externo.	12
1.20.13 Caja engranajes externa.	13
1.20.15 Tuerca regulación resorte.	14
<i>1.22 Sujeción engranaje y eje vertical.</i>	15
<i>1.23 Engranaje dientes rectos SSAY-100 rectificado.</i>	16

Pliego de condiciones.

1 Definición y alcance del pliego.	1
2 Condiciones generales.	2
3 Condiciones facultativas.	4
3.1 <i>Funciones técnicas.</i>	4
3.1.1 Funciones del ingeniero director.	4
3.1.2 Funciones del fabricante.	4
3.2 <i>Recepción de las piezas mecanizadas.</i>	5
4 Condiciones técnicas.	6
4.1 <i>Material.</i>	6
4.1.1 Piezas estructurales.	6
4.1.2 Elementos de unión desmontables.	7
4.1.3 Uniones permanentes.	8
4.2 <i>Actuador.</i>	8
4.3 <i>Módulo fotovoltaico.</i>	10
4.4 <i>Elementos de transmisión.</i>	10
4.4.1 Eje horizontal.	10
4.4.2 Eje vertical.	12
4.5 <i>Rodamientos.</i>	13
4.6 <i>Resorte.</i>	14
4.7 <i>Sistema de control del seguimiento solar.</i>	14
4.8 <i>Cableado.</i>	15
4.9 <i>Cajas de protección.</i>	15
4.10 <i>Tolerancias.</i>	16
4.11 <i>Montaje.</i>	16

Mediciones y Presupuesto.

1 Fabricación piezas.	1
1.1 <i>Mano de obra.</i>	1
1.2 <i>Maquinaria.</i>	3
2 Presupuesto piezas mecanizadas.	4
2.1 <i>Estructura.</i>	4
2.1.1 Corte.	4
2.1.2 Taladrado.	5
2.1.3 Soldadura.	5
2.1.4 Coste total fabricación.	5
2.2 <i>Soporte farola.</i>	5
2.2.1 Corte.	6
2.2.2 Taladrado.	6
2.1.4 Coste total fabricación.	6
2.3 <i>Eje vertical.</i>	7
2.3.1 Corte.	7
2.3.2 Taladrado.	8
2.3.3 Soldadura.	8
2.3.4 Torneado.	8
2.3.5 Coste total fabricación.	9
2.4 <i>Eje horizontal.</i>	9
2.4.1 Corte.	10
2.4.2 Fresado.	10
2.4.3 Coste total fabricación.	10
2.5 <i>Soporte placa.</i>	10
2.5.1 Corte.	11
2.5.2 Taladrado.	11
2.5.3 Soldadura.	12
2.5.4 Coste total fabricación.	12
2.6 <i>Placa soporte eje horizontal.</i>	12
2.6.1 Corte.	13
2.6.2 Taladrado.	13

2.6.3 Coste total fabricación.	13
2.7 <i>Sujeción engranaje y eje vertical.</i>	13
2.7.1 Corte.	14
2.7.2 Taladrado.	14
2.3.4 Torneado.	14
2.7.4 Coste total fabricación.	15
2.8 <i>Rectificado engranaje SSAY-100.</i>	15
2.9 <i>Tapa engranajes interna.</i>	16
2.9.1 Corte.	16
2.9.2 Fresado.	16
2.9.3 Taladrado.	17
2.9.4 Soldadura.	17
2.9.5 Coste total fabricación.	17
2.10 <i>Rectificado engranaje SSY-120A.</i>	18
2.10.1 Corte.	18
2.10.2 Fresado.	18
2.10.3 Coste total rectificado.	18
2.11 <i>Disco fricción interno.</i>	19
2.11.1 Corte.	19
2.11.2 Torneado.	19
2.11.3 Taladrado.	20
2.11.4 Coste total fabricación.	20
2.12 <i>Disco fricción externo.</i>	20
2.12.1 Corte.	21
2.12.2 Fresado.	21
2.12.3 Taladrado.	21
2.12.4 Coste total fabricación.	22
2.13 <i>Tapa engranajes externa.</i>	22
2.13.1 Corte.	23
2.13.2 Fresado.	23
2.13.3 Torneado.	23
2.13.4 Taladrado.	24
2.13.5 Soldadura.	24
2.13.6 Coste total fabricación.	24
2.14 <i>Tuerca regulación resorte.</i>	25
2.14.1 Corte.	25

2.14.2 Fresado.	25
2.14.3 Torneado.	26
2.14.4 Coste total fabricación.	26
3 Presupuesto total.	27
3.1 Piezas Fabricadas.	27
3.2 Engranajes.	28
3.3 Rodamientos.	28
3.4 Tornillería.	29
3.5 Componentes eléctricos.	30
3.6 Cajas de protección.	30
3.7 Resorte.	31
3.8 Montaje.	31
3.9 Resumen por bloques.	31
3.10 Presupuesto final.	32

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Memoria.

TRABAJO FIN DE GRADO.

TÍTULO

SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

AUTOR

Manuel Barbuzano Asencio.

Índice.

0. Hoja de identificación.	1
1 Objeto.	2
1.1 Español.	2
1.2 Inglés.	2
2 Alcance.	4
3 Antecedentes.	5
3.1 Principio de funcionamiento de la energía solar fotovoltaica.	5
3.2 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.	5
3.3 Ventajas de la energía solar fotovoltaica.	6
3.4 Inconvenientes de la energía solar fotovoltaica.	7
3.5 Energía zonas aisladas.	7
4 Normativa y referencia.	9
4.1 Normativa.	9
4.2 Bibliografía.	10
4.3 Páginas web.	10
4.4 Programas de cálculo.	11
5 Definiciones y abreviaturas.	12
6 Requisitos de diseño.	13
7 Análisis de soluciones.	15
7.1 Materiales empleados.	16
7.1.1 Piezas estructurales.	16
7.1.2 Elementos de unión desmontables.	17
7.2 Actuador.	18
7.3 Módulo fotovoltaico.	19
7.4 Discos de fricción.	20
7.5 Elementos de transmisión.	21
7.6 Rodamientos.	22
7.7 Cajas de protección.	23

7.8 Comparación diferentes piezas.	24
7.8.1 Soporte placa.	24
7.8.2 Eje vertical.	26
8 Resultados finales.	29
8.1 Materiales empleados.	29
8.1.1 Piezas estructurales.	29
8.1.2 Elementos de unión desmontables.	30
8.1.3 Uniones permanentes.	31
8.2 Motor eléctrico.	32
8.3 Control motor paso a paso.	34
8.4 Sistema de control del seguimiento solar.	35
8.4.1 Arduino.	35
8.4.2 Esquema de programación.	37
8.5 Módulo fotovoltaico.	38
8.6 Discos de fricción.	39
8.7 Resorte.	40
8.8 Elementos de transmisión.	41
8.8.1 Eje horizontal.	41
8.8.2 Eje vertical.	43
8.9 Rodamientos.	45
8.10 Cajas de protección.	46
8.11 Conductor electricidad.	47
8.12 Piezas fabricadas.	47
8.13 Montaje mecanismo seguimiento solar.	48
8.14 Energía producida.	50
8.15 Presupuesto.	50
9 Conclusión.	52
9.1 Español.	52
9.2 Inglés.	53
10 Orden de prioridad de los documentos básicos.	55

Índice figuras.

Figura 7.1. Sistema de seguimiento solar sobre dos ejes.	15
Figura 7.2. Reductora eje horizontal.	16
Figura 7.3. Motor eléctrico paso a paso	19
Figura 7.4. Módulo fotovoltaico Sunmodule SW50 poly RMA.	20
Figura 7.5 Discos de fricción colocados con resorte.	21
Figura 7.6. Engranajes dientes rectos.	22
Figura 7.7. Rodamientos contacto angular.	23
Figura 7.8. Soporte placa modelo 1.	25
Figura 7.9. Soporte placa modelo 2.	26
Figura 7.10. Eje vertical modelo 1.	27
Figura 7.11. Eje vertical modelo 2.	28
Figura 8.1. Pernos acero inoxidable A2-70	31
Figura 8.2. Dimensiones motor paso a paso 440-464 RS.	33
Figura 8.3. Curva de potencia del motor 440-464 RS.	34
Figura 8.4. Arduino Uno.	36
Figura 8.5. Resumen especificaciones Arduino Uno.	36
Figura 8.6. Esquema programación seguimiento solar.	37
Figura 8.7. Geometría módulo fotovoltaico.	38
Figura 8.8. Discos de fricción en la reductora del eje horizontal.	40
Figura 8.9. Medidas geométricas resorte carga ligera.	40
Figura 8.10. Disposición engranajes dentro de la reductora del eje horizontal.	42
Figura 8.11. Geometrías engranajes SSY.	43
Figura 8.12. Geometría engranajes SSAY.	44

Figura 8.13. Sección estructura y eje vertical.	46
Figura 8.14. Mecanismo de seguimiento solar completo vista frontal.	48
Figura 8.15. Mecanismo de seguimiento solar completo vista lateral.	49
Figura 8.16. Reductora eje horizontal con tapa externa translúcida.	49

Índice de tablas.

Tabla 8.1. Propiedades aluminio 6063-T5.	30
Tabla 8.2. Campo de aplicación varilla de aluminio para soldar.	31
Tabla 8.3. Composición química en % de la varilla de aluminio para soldar.	32
Tabla 8.4. Especificaciones técnicas motores paso a paso RS.	32
Tabla 8.5. Características módulo fotovoltaico bajo condiciones estándar.	38
Tabla 8.6. características resorte carga ligera.	41
Tabla 8.7. Dimensiones engranajes eje horizontal.	43
Tabla 8.8. Dimensiones engranaje eje vertical SSY1-50A.	44
Tabla 8.9. Dimensiones engranaje eje vertical SSAY1-100.	44
Tabla 8.9. Características rodamientos contacto angular NSK.	45
Tabla 8.10. Características cable TecSun PV.	47

0. Hoja de identificación.

Título del proyecto:

Sistema mecánico de seguimiento solar sobre dos ejes para paneles fotovoltaicos aplicados a sistemas aislados.

Promotor:

El presente documento es un Trabajo Final de Grado de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial (ETSICI), más concretamente del Grado de Ingeniería Mecánica, por lo que se considera éste el promotor.

Avenida Astrofísico Francisco Sánchez s/n. Edificio Garoé 38206, La Laguna.

Teléfono: 922 84 52 89

Email: diretsi@ull.es

Tutor Proyecto: Benjamín J. González Díaz, Departamento de Ingeniería Industrial.

Autor:

Manuel Barbuzano Asencio.

DNI: 78635998-X.

Alumno de Grado de Ingeniería Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial.

Teléfono: 922 30 23 61.

Email. alu0100617689@ull.edu.es

1 Objeto.

1.1 Español.

La finalidad principal de este trabajo fin de grado es el de poder aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para cumplimentar la formación y alcanzar la capacidad necesaria que permita el desarrollo de las funciones del Ingeniero Técnico Industrial, especialidad en Mecánica.

Por otro lado, el objeto del presente proyecto es el diseño mecánico y eléctrico de un sistema motorizado para realizar un seguimiento solar de dos ejes sobre el que ubicar un módulo fotovoltaico para alimentar un sistema aislado de comunicaciones, radar, dispositivos de control de tráfico, balizas, etc. De esta manera se quiere suplir la necesidad de colocar dichos sistemas eléctricos en localizaciones aisladas, sin la obligatoriedad de colocar un tendido eléctrico para que puedan realizar sus funciones.

Además se deberá asegurar que la placa fotovoltaica genere mas energía eléctrica acoplada a este sistema de seguimiento que una de similares características colocada en una posición estática con un grado de inclinación óptimo. Por ello, este tipo de sistema deberá ser más eficiente en cuanto al aprovechamiento de la radiación solar incidente sobre la misma.

1.2 Inglés.

The main purpose of this work is to be able to apply the knowledge acquired during my career to achieve the necessary capacity to the development of the functions of Industrial Engineering, Mechanical specialty.

The project is a mechanical and electrical design of a motorized system for two-axis solar tracking with a photovoltaic module to power an isolated communications system as, radar, traffic control devices, beacons, etc. The objective is to supply the need of placing electrical systems without the requirement of power lines.

In addition it must be ensured that the solar tracking photovoltaic panel generates more energy than similar features placed in a static position with an optimal degree of inclination. Therefore, this type of system is more efficient in terms of utilization of the incident solar radiation..

2 Alcance.

El alcance de este proyecto es realizar el diseño y cálculo de un mecanismo motorizado para realizar un seguimiento solar de dos ejes sobre el que ubicar un panel fotovoltaico.

Este mecanismo deberá estar sobre una estructura que se fijará a una farola o palo poste que ya exista en la ubicación elegida para la colocación del mismo.

Para realizar dicha estructura se tendrá que proceder a la elección del material, la descripción de los elementos estructurales, así como la comprobación de la capacidad resistente, teniendo en cuenta las cargas permanentes y variables. Finalmente se elegirán los mecanismos de unión y el proceso de montaje.

En lo referente al mecanismo de rotación, se debe elegir el tipo de elementos que se emplearan para lograr el movimiento, siendo, tipo de actuador empleado, transmisión y sujeciones. Todo ello tiene que garantizar el correcto movimiento, así como la sujeción estática del mismo cuando no estén activados los actuadores. Además deberán resistir cada una de las cargas a las que estén sometidos.

Por otro lado, habrá que seleccionar el tamaño de placa fotovoltaica que sustentará. Se tendrá que calcular la potencia generada anualmente teniendo en cuenta el consumo de los motores. Así mismo, se comparará este sistema con uno de similares características en cuanto a potencia se refiere, pero que esté fijo con una inclinación de la placa óptima.

Por último, incluirá la elección del sistema de control de los actuadores, así como el esquema de la programación para garantizar la correcta orientación de la placa fotovoltaica a lo largo de las horas solares.

Por el contrario, quedan excluidos del proyecto los cálculos y elección de acumuladores de energía, reguladores de carga, inversores y cargas de consumo. Esto es así debido a que el mecanismo de seguimiento solar tendría diversos usos, en cuanto a cargas de consumo se refiere, pudiendo conectarse a sistemas aislados de comunicaciones, radar, puntos de información de carreteras, etc.

3 Antecedentes.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica.

3.1 Principio de funcionamiento de la energía solar fotovoltaica.

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores en los que artificialmente se ha creado un campo eléctrico constante. El material más utilizado es el Silicio. Estas células conectadas en serie o paralelo forman un panel solar encargado de suministrar la tensión y la corriente que se ajuste a la demanda.

3.2 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.

En una primera gran división las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Instalaciones aisladas de la red eléctrica.
- Instalaciones conectadas a la red eléctrica.

En el primer tipo, la energía generada a partir de la conversión fotovoltaica se utiliza para cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar donde se produce la demanda. Estos sistemas debe tener por lo general un mecanismo de almacenamiento de energía para mantener constante el suministro aunque no haya radiación solar, como puede ser una vivienda aislada de la red eléctrica. Por la noche no hay radiación solar, pero gracias a estos acumuladores, puede tener suministro eléctrico.

En cuanto a las instalaciones conectadas a la red se pueden encontrar dos casos:

- Centrales fotovoltaicas, en las que la energía eléctrica generada se entrega directamente a la red eléctrica, como en otra central convencional de generación eléctrica.
- Sistemas fotovoltaicos en edificios o industrias, conectados a la red eléctrica. En estos casos una parte de la energía generada se invierte en el mismo autoconsumo del edificio, mientras que la energía excedente se entrega a la red eléctrica. También es posible entregar toda la energía a la red. El usuario recibirá entonces la energía eléctrica de la red, de la misma manera que cualquier otro abonado al suministro.

3.3 Ventajas de la energía solar fotovoltaica.

La principal ventaja que representa la energía solar fotovoltaica frente a las energías convencionales es que no produce ningún tipo de combustión, por lo que no se generan contaminantes atmosféricos en el punto de utilización, ni se producen efectos como la lluvia ácida, efecto invernadero por CO₂, etc.

El recurso empleado por este tipo de sistemas para generar electricidad es la radiación solar, la cual es una fuente renovable, lo que implica natural e inagotable. Además la radiación solar está presente en mayor o menor medida en todos los lugares del planeta. Gracias a el tipo de recurso se evita el transporte de combustibles, reduciendo las emisiones emitidas en los procesos de distribución y evitando los peligros de accidentes de los mismos.

Por otro lado, el silicio es el elemento base para la fabricación de las células fotovoltaicas. Éste es muy abundante por lo que no es necesario explotar yacimientos de forma intensiva.

Al ser una energía fundamentalmente de ámbito local, evita la creación de pistas, tendidos de cables eléctricos y postes, lo que beneficia al medio ambiente.

Otra importante ventaja es que se produce la energía con ausencia total de ruidos. Gracias a ello no hay que estudiar la localización de la misma en zonas industriales, ya que no provoca contaminación acústica.

3.4 Inconvenientes de la energía solar fotovoltaica.

El principal inconveniente de la energía solar fotovoltaica es la necesidad de grandes extensiones de terreno para las explotaciones conectadas a la red. Esto conlleva un gran impacto visual.

Por otro lado, un gran impacto ambiental que produce esta energía es en la fabricación de los módulos solares. Para fabricarlos es necesario realizar la extracción, producción y transporte de los materiales, además de un gasto energético y generación de residuos.

3.5 Energía zonas aisladas.

Actualmente para proveer de energía aparatos eléctrico tipo balizas, dispositivos de control de tráfico, aparatos de radio, que están en localizaciones aisladas, se emplean dos soluciones.

En primer lugar, la opción utilizada desde hace muchos años ha sido la de instalar un tendido eléctrico desde el punto más cercano que esté provisto de electricidad. Esta es una solución muy costosa, debido a que dichas localizaciones pueden estar a kilómetros de zonas habitadas, por lo que el tendido eléctrico debe llevar un proceso costoso y laborioso en algunos casos. Esto se debe a que se necesitan postes de madera o metal, también se debe limpiar de arboles y arbustos el camino por donde pasa el tendido, y por supuesto la instalación de los cables de cobre.

Por otro lado, actualmente se está fomentando el desarrollo de instalaciones fotovoltaicas de pequeña potencia para alimentar dichos equipos.

Estos tipos de instalaciones tienen la gran ventaja de que no es necesaria la instalación del tendido eléctrico, evitando su elevado costo y su contaminación visual, además de las ventajas

de ser una energía renovable. Las instalaciones que se usan constan de una placa fijada en una inclinación óptima, cuyo coste es muy reducido en comparación con el primer caso.

El objetivo de este proyecto es mejorar la producción de energía de este último tipo de instalaciones. Para ello se ha diseñado un sistema de seguimiento solar sobre el que colocar el módulo fotovoltaico.

Las ventajas del mecanismo de seguimiento es que consigue que incidan sobre el módulo fotovoltaico una mayor cantidad de radiación, la cual a su vez se transforma en una mayor producción de energía. Con ello se evita tener que instalar módulos fotovoltaicos de mayor tamaño, consiguiendo un sistema de producción de energía más compacto, lo cual lo hace más sencillo de transportar a los lugares remotos.

Por otro lado, el único inconveniente que presenta este tipo de mecanismos con respecto al sistema fijo es el costo añadido. Este se debe al mecanizado de las piezas de rotación, así como los motores eléctricos y el controlador del movimiento de los mismo.

4 Normativa y referencia.

4.1 Normativa.

- Reglamento de seguridad en máquinas, Real Decreto 1595-1986, de 26 de mayo y 830-1991 de 24 de mayo.
- Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre Conservación de la Energía.
- Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, Real Decreto 485/1997, de 14 de abril.
- Certificado de profesionalidad de la ocupación de instalador de sistemas fotovoltaicos y eólicos de pequeña potencia, Real Decreto 2224/98.
- Pliego de condiciones técnicas de instalaciones Aisladas de Red, PCT IDAE.
- Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y homologación, UNE-EN 61215.
- Parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos (FV) autónomos, UNE-EN 61194.
- Sistemas fotovoltaicos (FV) terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía, UNE-EN 61727.
- Reglamento electrotécnico para baja tensión, Real Decreto 842/2002.
- Criterios generales para la elaboración de proyectos, UNE 15701, febrero 2002.
- Reglamento y normas de presentación de los trabajos fin de grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial.
- Dibujos técnicos, plegado de planos, UNE 1027.
- Dibujos técnicos, principios generales de representación, UNE 1032.
- Dibujos técnicos, cuadro de rotulación, UNE 1035.

- Dibujos técnicos, acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales, UNE 1039.

4.2 Bibliografía.

[1] E. Alcor. Instalaciones Solares Fotovoltaicas.

[2] Ramón Alesanco García, tomo 1. Tecnología Mecánica, Metrología dimensional.

[3] James M. Gere, 2002, 5ª edición. Timoshenko. Resistencia de Materiales, Thomson.

[4] Robert L. Mott, 4ª edición. Diseño de elementos de máquinas, Pearson educación.

[5] G. Niemann 1973. Elementos de máquinas. Cálculo, diseño y construcción, Labor, S.A.

4.3 Páginas web.

- www.solarworld.es
- <http://es.rs-online.com>
- www.totalmatrix.com
- www.nskeurope.es
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=es&map=africa>
- <http://www.alucansa.com>
- <http://www.directindustry.es/prod/khk/engranajes-plastico-18644-284260.html>
- <http://www.arduino.cc>
- <http://www.engineershandbook.com/Tables/frictioncoefficients.htm>

- www.google.es
- <http://es.wikipedia.org>

4.4 Programas de cálculo.

- SolidWorks. Dessault Systemes: Cálculo y análisis de elementos finitos y creación de planos.
- JRC European Commission. Photovoltaic Geographical Information System: Cálculo potencia generada por el módulo fotovoltaico.
- Microsoft Excel 2011 para Macintosh: Realización de cálculos.
- Microsoft Word 2011 para Macintosh: Redacción documentos proyecto.

5 Definiciones y abreviaturas.

Célula solar: dispositivo que transforma la energía solar en energía eléctrica.

Irradiación: energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto periodo de tiempo.

Eje vertical: Conjunto de piezas unidas entre sí para soportar las cargas aplicadas sobre el módulo fotovoltaico, a la vez que consigue realizar un giro sobre sí mismo.

Estructura: Conjunto de vigas y pletinas unidas entre sí para garantizar la sustentación del mecanismo de giro del sistema de seguimiento solar.

Módulo fotovoltaico o panel fotovoltaico: conjunto de células solares interconectadas entre sí y encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

Reductora: Conjunto de elementos mecánicos que transmiten la potencia de giro del motor eléctrico al eje horizontal del sistema. Éste presenta una relación de engranajes inferior a uno.

Soporte farola: Conjunto de pletinas metálicas que se encargan de unir la estructura del sistema de seguimiento solar con la farola o palo-poste al que se vaya a acoplar.

Soporte placa: conjunto de vigas y pletinas unidas entre sí diseñadas para soportar directamente el módulo fotovoltaico y acoplarlo al sistema de seguimiento solar.

6 Requisitos de diseño.

Para poder cumplir con el objetivo último de este proyecto, que es la materialización del sistema mecánico de seguimiento solar y la comparación con un mismo sistema pero con una posición fija con una orientación óptima, se han tenido en cuenta los siguientes requisitos de diseño:

La estructura debe soportar las cargas externas provocadas por los pesos propios de los elementos y las acciones variables aplicadas sobre ésta, como puede ser el viento y la nieve. Para ello se debe asegurar que cumpla con el Documento Básico SE-AE Seguridad Estructura: acciones en la edificación.

Se deberá emplear materiales, para la fabricación de las piezas de la estructura y mecanismos que estén expuestos a la intemperie, que resistan la corrosión de ambientes salinos, como los que pueden haber en las islas Canarias. Estos materiales deben ser estandarizados para agilizar su búsqueda en el mercado y abaratar costes.

Los actuadores que producen el movimiento de los ejes del sistema de seguimiento solar deben ser eléctricos de corriente continua, ya que este tipo de electricidad es la que produce el módulo fotovoltaico. Además deben ser controlables en cuanto al giro provocado al módulo fotovoltaico y tener un consumo energético reducido para aprovechar así la electricidad generada por el módulo.

El módulo fotovoltaico debe estar siempre normal a la dirección de los rayos solares, por lo que si los actuadores no transmiten fuerza en ausencia de electricidad, se deberá diseñar un mecanismo que mantenga la placa fotovoltaica estática mientras dichos actuadores no estén accionados.

Los elementos que no estén protegidos de las acciones climáticas, como puede ser el agua y el polvo, deben ser protegidos con algún elemento de protección. Éste debe tener unos grados de protección estandarizados.

Se deberá seleccionar un sistema de control para la orientación del sistema cuya fuente de energía sea electricidad en corriente continua. Esto se debe a que ésta es la energía que genera

el módulo solar, por lo que así se evita tener que instalar convertidores de corriente. Además deberá usar los datos de potencia generada por la placa fotovoltaica para calibrar la orientación de la misma.

El ensamblaje final de todos los mecanismos del sistema deberán garantizar el correcto movimiento de orientación con una amplitud de movimiento igual o superior al trazado por el sol durante todos los periodos del año.

7 Análisis de soluciones.

La solución propuesta para mejorar la captación de la radiación solar de un módulo fotovoltaico es la creación de un sistema de seguimiento solar sobre dos ejes. Gracias a él, siempre incidirán los rayos solares en una dirección normal al módulo, lo cual aumenta la producción energética del mismo.

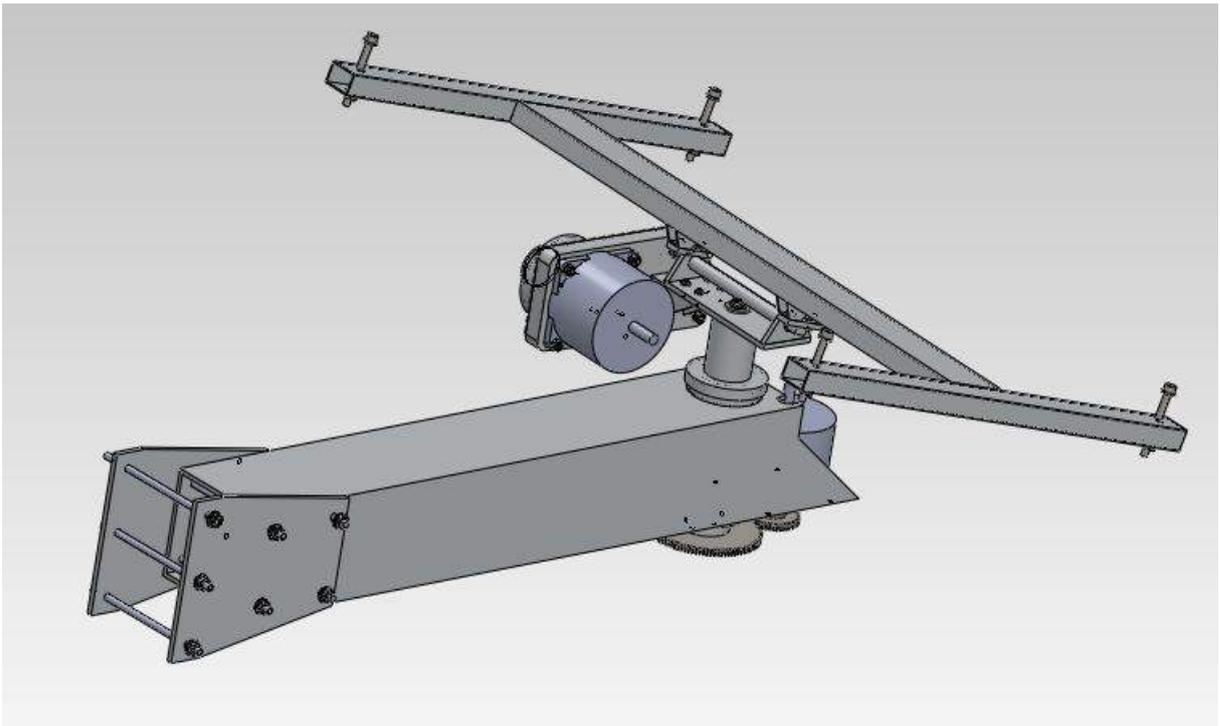


Figura 7.1. Sistema de seguimiento solar sobre dos ejes.

Este sistema irá anclado al poste o farola dónde se requiera llevar a cabo esta instalación por medio de tres tornillos. Además, el sistema constará de una estructura sobre la cual se colocará el eje vertical, tal como se muestra en la figura 7.1. En la estructura se colocará uno de los actuadores que realicen el movimiento rotacional de dicho eje y unos rodamientos de contacto angular para que soporten las cargas actuantes reduciendo las pérdidas de rozamiento.

Además, sobre esta pieza se colocará el segundo eje, el horizontal. Para conseguir el movimiento se fabricará un sistema de reducción de velocidad del actuador. También se

deberá colocar un sistema de sujeción, para cuando el actuador no esté funcionado. Esta reductora será como la propuesta en la figura 7.2.

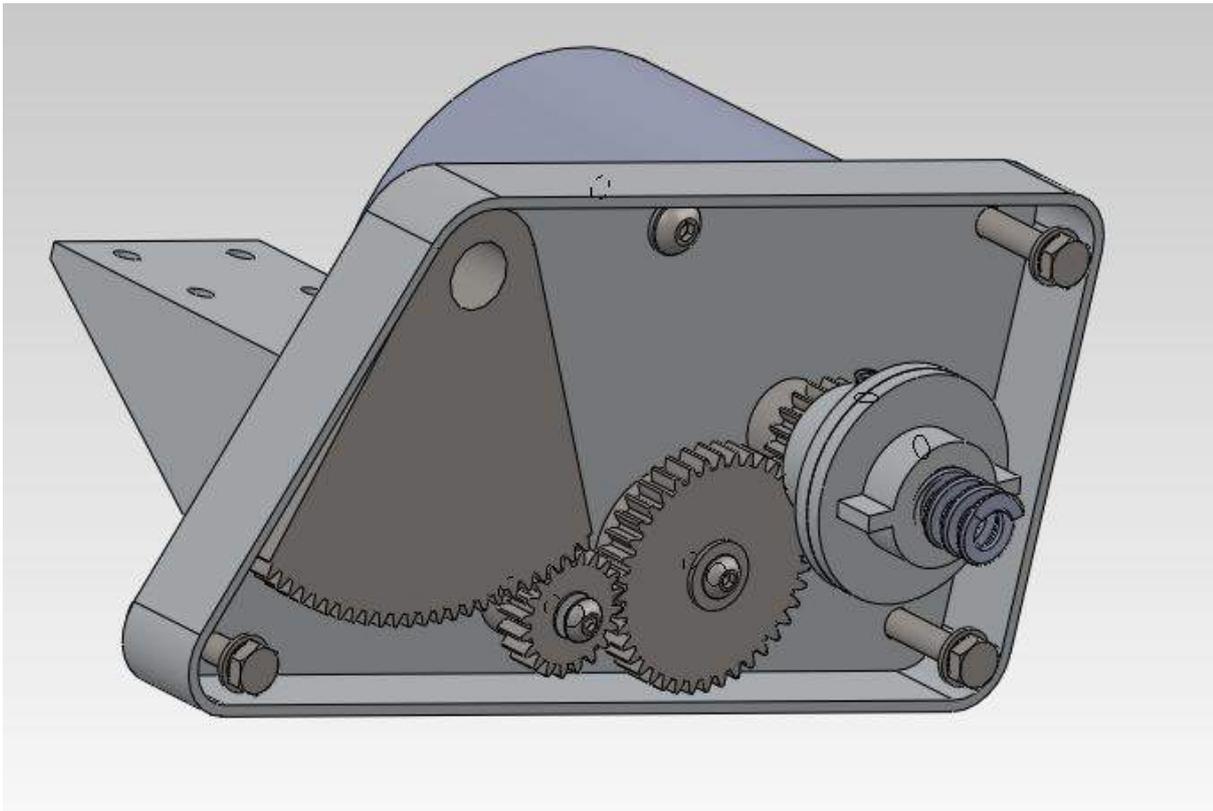


Figura 7.2. Reductora eje horizontal.

Por último, sobre el eje horizontal se colocara la estructura que sostendrá el módulo fotovoltaico. Ésta se puede apreciar claramente en la figura 7.1.

7.1 Materiales empleados.

En cuanto a los materiales empleados en los elementos que componen el sistema de seguimiento solar, se debe hacer una separación entre las piezas de la estructura y mecanismos, y la tornillería empleada para las uniones desmontables.

7.1.1 Piezas estructurales.

Para fabricar las piezas estructurales del sistema de seguimiento solar se debe emplear un material resistente a la corrosión de ambientes salinos. Para realizar estas funciones se barajaron dos posibilidades.

La primera era fabricar las piezas en acero inoxidable. Este material presenta una resistencia elevada a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales aleantes que contiene, poseen gran afinidad por el oxígeno y reaccionan con el formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro.

Por otro lado, este material presenta muy buenas características mecánicas, en cuanto a resistencia se refiere, por lo que podrá soportar cargas elevadas con piezas livianas. En sentido negativo, al tener una dureza elevada, el mecanizado de piezas en este material es muy costoso, debido a que se necesitan herramientas muy caras y resistentes, además de la energía necesaria para ello.

Otro punto negativo del acero inoxidable es su precio, ya que tiene un costo elevado si se compara con otros tipos de materiales, como puede ser acero galvanizado o aluminio.

El otro material que se estudió para la fabricación de las piezas necesarias en el sistema fue el aluminio.

Este material presenta unas buenas propiedades mecánicas, acompañado de una fácil mecanización y un peso reducido. Además, dependiendo del tipo de aluminio, tiene unas buenas propiedades para ser unido por medio de la soldadura.

Por último, este material también tiene unas altas propiedades contra la corrosión, por lo que lo hacen idóneo para la fabricación de las piezas requeridas.

Una vez sopesado los pros y los contras de cada material, se ha decidido emplear aluminio para fabricar las piezas necesarias para conseguir el seguimiento solar deseado. Ha sido elegido en mayor medida debido a que tiene unas mejores propiedades para mecanizar y un precio un poco más reducido.

7.1.2 Elementos de unión desmontables.

Los elementos de unión desmontables que presenta el sistema son en su mayoría pernos, aunque el mecanismo también tiene varillas roscadas y tornillos prisioneros.

Como estos elementos no estarán protegidos en su mayoría del ambiente, se decide que éstos sean de acero inoxidable austenítico A2-70.

Este material también es denominado 18/8 debido a que contiene un 18% Cromo y un 8% de Níquel. Al tener esta composición posee una resistencia a la corrosión excelente bajo acciones atmosféricas, en medios húmedos, ácidos oxidantes y orgánicos, muchas soluciones alcalinas y salinas.

Por otro lado se ha elegido una clasificación 70, debido a que es la clase de calidad más utilizada comúnmente y es aplicada para la fabricación de elementos de fijación estampados en frío. Como es la clase considerada “estándar”, existe un gran stock en las tiendas, por lo que será más fácil conseguir los elementos necesarios.

Por último, las características mecánicas de este acero son muy buenas para trabajos con cargas elevadas, ya que presenta una resistencia a la tracción de 700 N/mm^2 .

7.2 Actuador.

El actuador del sistema es el encargado de generar el movimiento en los dos ejes que hacen girar el módulo fotovoltaico para orientarlo correctamente con la radiación solar. Como el actuador debe estar alimentado con corriente continua, se optó por un motor eléctrico. Además, como el movimiento debe ser preciso, y controlado, se ha elegido un motor paso a paso. Éste es un dispositivo electromagnético que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de avanzar una serie de grados dependiendo de sus entradas de control.



Figura 7.3. Motor eléctrico paso a paso
Fuente: <http://solomantenimiento.blogspot.com.es>

Para que este tipo de motores funcione correctamente, se debe colocar un sistema de control, que controle la cantidad de pasos que realice. Esto se consigue enviando una serie de señales eléctricas al motor, las cuales produce este sistema. Por ello se deberá instalar en el sistema de seguimiento solar un controlador para cada uno de los dos motores paso a paso.

7.3 Módulo fotovoltaico.

Como el sistema de seguimiento solar está diseñado para alimentar equipos de radar, comunicaciones, sistemas de control de carreteras, cuyos consumos son pequeños, se ha optado un módulo fotovoltaico de pequeñas dimensiones, menor de 1 metro de longitud. Con este tamaño se consigue generar la potencia suficiente para el funcionamiento de los equipos.

El módulo deberá tener un tipo de célula policristalina. Las ventajas de éste tipo de módulos es que las células presentan formas cuadradas, lo cual permite un mejor funcionamiento en el módulo, además de un mayor aprovechamiento de la superficie que una célula redonda.

Además presenta un mayor rendimiento que el resto de células, excepto que la monocristalina, la cual tiene un costo de fabricación mayor.



**Figura 7.4. Módulo fotovoltaico Sunmodule SW50 poly RMA.
Fuente: Catalogo SolarWorld.**

7.4 Discos de fricción.

Como la inclinación del módulo fotovoltaico produce un momento torsor sobre el eje horizontal, éste se inclinaría si no existiera ningún mecanismo que lo sostuviera, debido a que el momento de retención de los motores paso a paso es muy reducido.

Para evitar que se mueva en ausencia de actividad por parte de los motores, se ha elegido un embrague de discos de fricción para sustentarlo.

Este embrague estará compuesto por dos discos de igual diámetro, que se colocarán enfrentados. Uno de ellos se restringirá el movimiento rotacional, mientras que el otro se acoplará al motor eléctrico. Además sobre el primer disco se colocará un resorte que proporcione una fuerza normal entre los discos, la cual por medio de la superficie de fricción entre ambos generará un momento de retención que irá en sentido contrario al movimiento del módulo fotovoltaico.

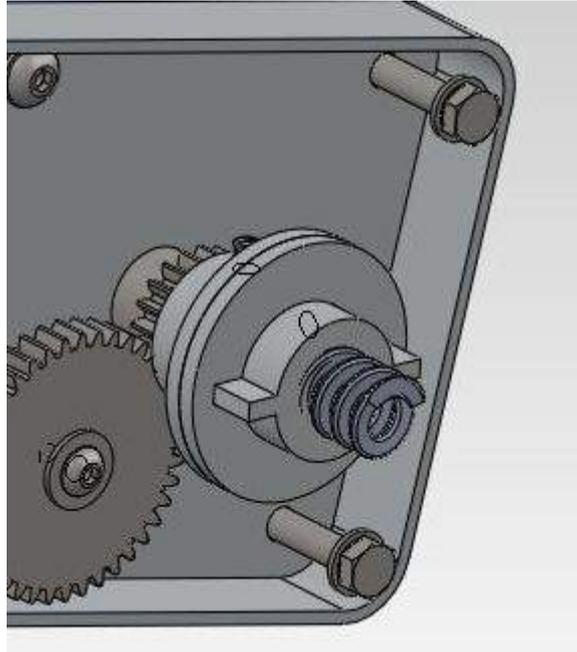


Figura 7.5 Discos de fricción colocados con resorte.

El material empleado para fabricar los discos de fricción es el aluminio, ya que posee un elevado coeficiente de fricción estático. Al ser así, se conseguirá un momento de torsión elevado empleando una fuerza normal reducida combinada con unos diámetros de discos pequeños. Así se podrá reducir el espacio para alojar dichos elementos dentro del mecanismo de transmisión.

7.5 Elementos de transmisión.

La potencia generada por los motores eléctricos debe ser transmitida hacia los mecanismos de giro de cada uno de los dos ejes. Para ello se emplean los elementos de transmisión. En este caso se ha estudiado la posibilidad de emplear engranajes y correas.

Los engranajes tienen la ventaja de ocupar un menor espacio, ya que al estar en contacto se reduce el espacio entre los ejes de cada elemento. En caso contrario, al emplear transmisión por correas, hay que dejar una separación entre las poleas para que no se produzcan rozamientos, y que el área de contacto entre la polea y la correa sea la óptima para transmitir el movimiento. Si las poleas están muy juntas, las correas deslizarán sobre éstas, por lo que sería una transmisión ineficiente.

Por otro lado, las correas necesitan tener una tensión constante para poder transmitir el movimiento. Esto provoca unas fuerzas adicionales a los ejes de las poleas, las cuales no existen en los engranajes.

Por estas causas se ha elegido una transmisión de potencia por medio de engranajes. Además serán engranajes de dientes rectos.



Figura 7.6. Engranajes dientes rectos.
Fuente: www.directindustry.es

Se ha elegido este tipo de engranajes porque las cargas que transmitirán son de baja magnitud y el diente recto las soportará correctamente. Además este tipo de engranaje es el más barato, debido a su simplicidad en comparación con un engranaje helicoidal.

La desventaja de este engranaje es que produce vibraciones a altas velocidades, pero como el movimiento que debe transmitir es de muy pocos grados, estas vibraciones no afectarán para nada el sistema, debido a que no se llegarán a producir.

7.6 Rodamientos.

Para soportar las cargas ejercidas sobre el mecanismo mientras que se permite el movimiento del mismo, se deben emplear rodamientos.

Los rodamientos seleccionados para el sistema son unos rodamientos de bolas de una hilera. Además, como el eje vertical está sometido a cargas en dos direcciones ,axiales y radiales, el rodamiento debe ser de contacto angular.

Este tipo de rodamientos están diseñados para soportar cargas axiales y radiales, por lo que son perfectos para el requerimiento que se le va a exigir. Éstos tienen un sentido en el que soportan las cargas axiales, por lo que se suelen poner por parejas para restringir el movimiento en ambos sentidos. Esto se observa en la figura 7.5.

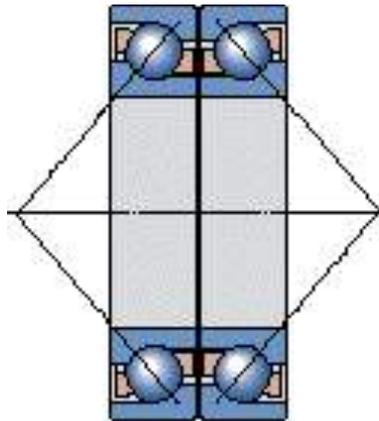


Figura 7.7. Rodamientos contacto angular.
Fuente: www.skf.com/es/index.html

En el caso del sistema de seguimiento solar se colocarán dos rodamientos de contacto angular, pero estarán colocados en ambos extremos del eje vertical. Con ello se conseguirá repartir mejor las cargas radiales.

7.7 Cajas de protección.

Para los elementos que no dispongan de protección propia contra los agentes ambientales, tales como agua y polvo, se deberán cubrir con cajas de protección.

Estas cajas deben de resistir éstos elementos, por lo que deben tener un determinado grado de protección IP. Este tipo de grado hace referencia al estándar internacional. Éste es un efectivo sistema para clasificar los diferentes grados de protección aportados a los equipamientos eléctricos por los contenedores.

El sistema ha sido desarrollado para clasificar de manera alfa-numérica a equipamientos en función del nivel de protección que sus contenedores le proporcionan contra la entrada de materiales extraños. Mediante la asignación de diferentes códigos numéricos, el grado de protección del equipamiento puede ser identificado de manera rápida y con facilidad.

De este modo, se elegirán unos contenedores de grado IP65 para los elementos eléctricos del sistema de seguimiento solar. Este grado corresponde a una protección fuerte contra el polvo. A esto hace referencia el primer número, mientras que el segundo hace referencia a la protección contra el ingreso de agua. El grado seleccionado protege el equipo frente a chorros de agua.

7.8 Comparación diferentes piezas.

En este apartado se analizarán las diferentes soluciones tomadas para alguna de las piezas principales del sistema de seguimiento solar.

Cabe destacar que todas las piezas que se analizarán han sido estudiada por medio de una simulación de elementos finitos, para verificar que resistiesen las cargas que se le van a solicitar.

7.8.1 Soporte placa.

Para la fabricación de este elemento se han realizado dos modelos diferentes.

Para el primer modelo se han empleado vigas tubulares de sección cuadrada de 40 x 40 y con un espesor de 1,8 mm. Como se observa en la figura 7.6, se han empleado 4 vigas, dos centrales colocadas paralelas y otras dos en los extremos. Las primeras serán las que transmitirán la fuerza al eje horizontal, mientras que las externas serán donde se apoye directamente el módulo fotovoltaico.

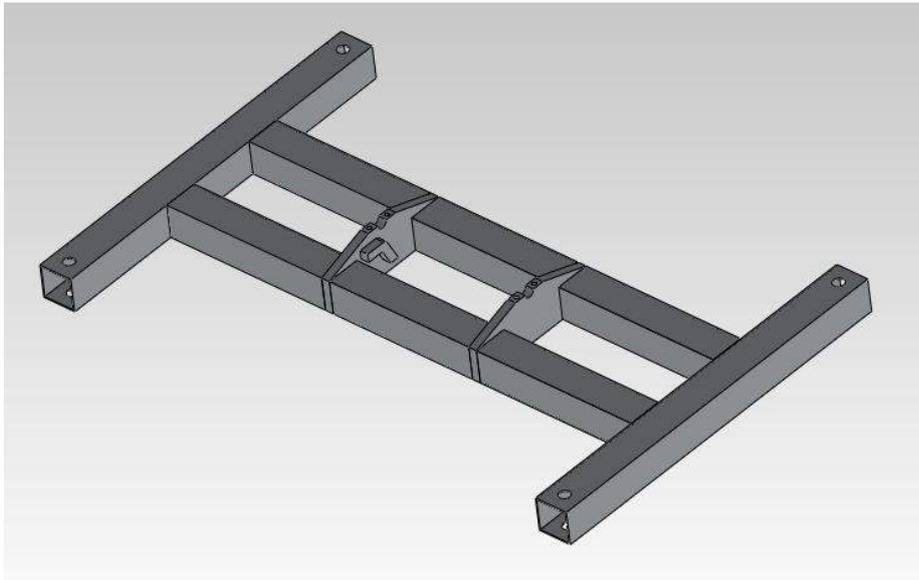


Figura 7.8. Soporte placa modelo 1.

Además, para unir las dos vigas centrales se ha empleado dos placas de 5 mm de espesor, dónde se le ha realizado la forma apropiada coincidir en el eje horizontal.

El material empleado en la fabricación de esta pieza ha sido, al igual que el resto, aluminio 6063-T5.

El segundo modelo que se ha estudiado está formado por tres vigas. La central tiene unas dimensiones de 60 x 20 y un espesor de 1,8 mm. Además se ha soldado en los extremos unas piezas tubulares de 20 x 20 y un espesor de 1,3 mm. Por otro lado, para unir el soporte de la placa al eje vertical se ha empleado unos recortes del mismo perfil que el centra, tal como se aprecia en el plano 1.13 y en la figura 7.7.

Al final se ha realizado un estudio de elementos finitos para simular las tensiones internas de las piezas, y ambos soportan las cargas aplicadas. Como ambas piezas se pueden emplear, se ha tenido en cuenta la simplicidad para decantarse por un modelo.

En conclusión, se ha optado por el segundo modelo ya que tiene un mayor rango de movimiento sobre el eje horizontal, debido a que la viga central ocupa menos espacio, dando mas rango de giro antes de tocar con el eje vertical.

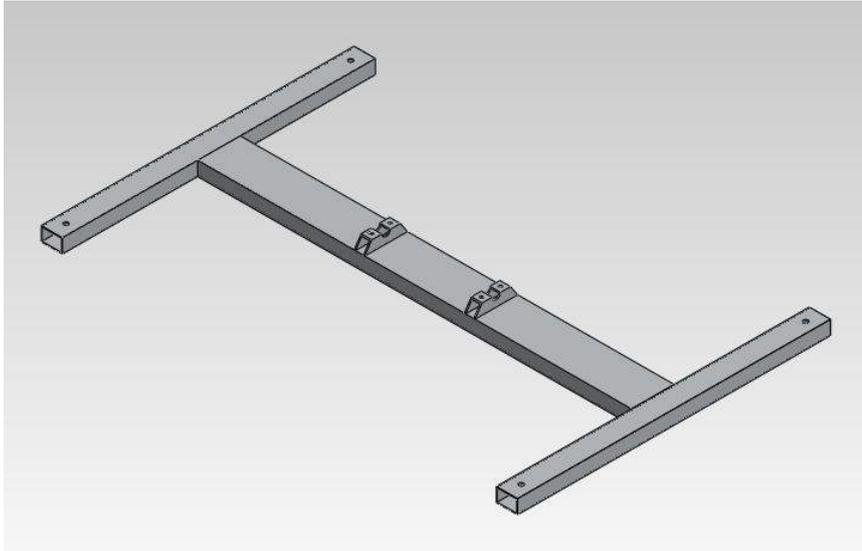


Figura 7.9. Soporte placa modelo 2.

Además es una pieza más ligera ya que se ha empleado menos material para fabricarla. También presenta menos mecanizados, por lo que junto con la cantidad de material usado, es más económica que el primer modelo.

7.8.2 Eje vertical.

Del mismo modo que en el apartado 7.8.1, se han realizado dos modelos diferentes para esta pieza.

El primer modelo ha sido creado con perfiles estructurales rectangulares de dimensiones 40 x 20 y espesor 1,85 mm y un tubo circular de 40 mm de diámetro y un espesor de 1,8 mm. Como se observa en la figura 7.8 la pieza está compuesta por tres perfiles rectangulares, los cuales forman la parte central de la estructura, y el alojamiento para el eje horizontal, y el perfil circular para formar el eje de giro, y colocar los rodamientos.

Todas estas piezas irían soldadas con un electrodo AWSASTMA5.10ER5356, que garantiza la unidad estructural.

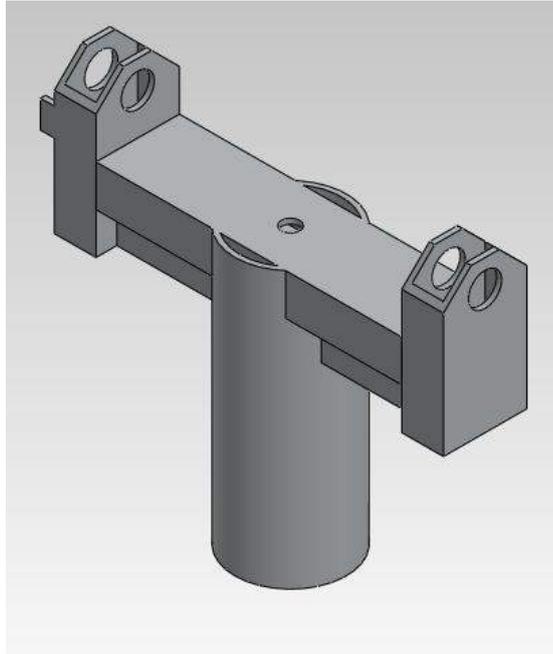


Figura 7.10. Eje vertical modelo 1.

El segundo modelo está fabricado con pletinas de aluminio de 5 mm de espesor y el mismo perfil de sección circular que el primer modelo. Las uniones también han sido realizadas con el mismo tipo de electrodo, lo cual garantiza las cargas estructurales.

Después de haber realizado un estudio de elementos finitos sobre los dos modelos, y verificar que resisten las cargas que se le aplica, se ha optado por elegir para el sistema de seguimiento el segundo modelo.

Se ha elegido el segundo, debido a su sencillez a la hora de fabricarlo, ya que sólo presenta cuatro soldaduras, mientras que el primer modelo tiene muchas más, y con una complejidad mayor.

Además, el segundo modelo presenta mayor facilidad para sujetar la reductora del eje horizontal que el primer modelo, ya que en las placas de aluminio resisten más carga que las delgadas paredes de los perfiles cuadrados.

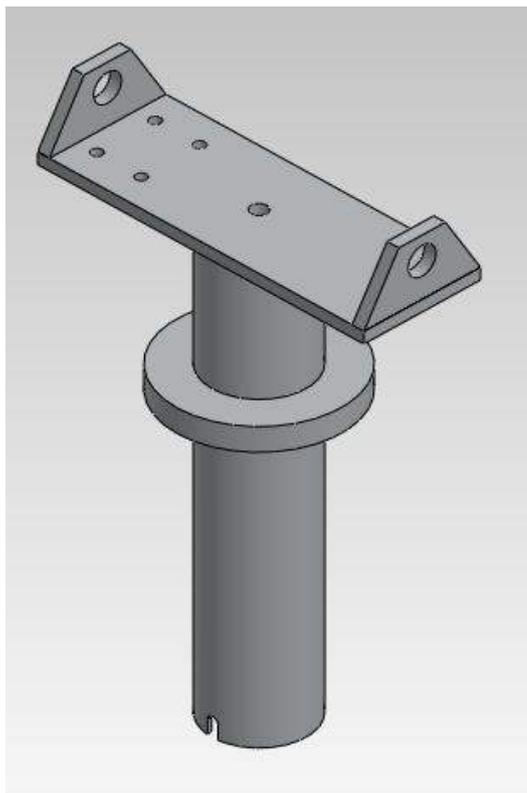


Figura 7.11. Eje vertical modelo 2.

8 Resultados finales.

Teniendo en cuenta las consideraciones tomadas anteriormente, se procederá a la designación de las características de los componentes empleados para la fabricación del sistema de seguimiento solar.

8.1 Materiales empleados.

Del mismo modo que se realizó en el apartado 7.1, los materiales empleados en la fabricación de los elementos que componen el sistema de seguimiento solar, se debe hacer una separación entre las piezas de la estructura y mecanismos, la tornillería empleada para las uniones desmontables y los electrodos usados para realizar las soldaduras.

8.1.1 Piezas estructurales.

Para fabricar las piezas estructurales del sistema de seguimiento solar se ha elegido el aluminio 6063-T5. En esta aleación se usan como elementos aleantes el magnesio y el silicio en proporciones adecuadas para que se forme el Mg_2Si . Esto hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Estas aleaciones son menos resistentes que el resto, a cambio tienen buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y alta resistencia a la corrosión. Esta aleación es tratada térmicamente para aumentar su dureza y resistencia. Se le realiza un tratamiento térmico T5, el cual hace referencia a un extrusionado en caliente y enfriado al agua después de extruir. Además se realiza un envejecimiento artificial.

Gracias a todo ello presenta unas buenas propiedades mecánicas, acompañado de una fácil mecanización y un peso reducido. Además tiene unas buenas propiedades para ser unida por medio de la soldadura.

Las características de este aluminio según la base de datos del programa SolidWorks son:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad en X	69000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.33	N/D
Módulo cortante en XY	25800	N/mm ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción en X	185	N/mm ²
Límite de compresión en X		N/mm ²
Límite elástico	145	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica en X	2.34e-005	/K
Conductividad térmica en X	209	W/(m·K)
Calor específico	900	J/(kg·K)

Tabla 8.1. Propiedades aluminio 6063-T5.

Fuente: SolidWorks.

8.1.2 Elementos de unión desmontables.

Los elementos de unión desmontables que presenta el sistema son en su mayoría pernos, aunque el mecanismo también tiene varillas roscadas y tornillos prisioneros.

El material designado para éstas piezas fundamentales ha sido el acero inoxidable austenítico A2-70.

Este material también es denominado 18/8 debido a que contiene un 18% Cromo y un 8% de Níquel. Al tener esta composición posee una resistencia a la corrosión excelente bajo acciones atmosféricas, en medios húmedos, ácidos oxidantes y orgánicos, muchas soluciones alcalinas y salinas.

Por otro lado se ha elegido una clasificación 70, debido a que es la clase de calidad más utilizada comúnmente y es aplicada para la fabricación de elementos de fijación estampados en frío. Como es la clase considerada “estándar”, existe un gran stock en las tiendas, por lo que será más fácil conseguir los elementos necesarios.

Por último, las características mecánicas de este acero son muy buenas para trabajos con cargas elevadas, ya que presenta una resistencia a la tracción de 700 N/mm².



Figura 8.1. Pernos acero inoxidable A2-70
Fuente: www.sunnysteel.com

8.1.3 Uniones permanentes.

Para realizar las uniones permanentes se ha optado por realizar una soldadura TIG, empleando una varilla estandarizada DIN EN ISO 18273: S Al 5356-AlMg5Cr A, de la marca CODESOL.

Ésta es una varilla para soldar aleaciones de metales bases de aluminio y magnesio, con un 5% de magnesio máximo. Presenta una alta resistencia a la corrosión y se suele aplicar en la construcción de buques, tanques de almacenamiento, vías férreas y en la industria del automóvil.

Los materiales o campos de aplicación vienen dados por la tabla 8.1.

Al Mg 5	Al Mg Mn	Al Mg3	Al Mg Si 0.7	G-Al Mg5 Si
Al Zn Mg1	Al Mg 1 Si Cu	G-Al Mg 10	G-Al Mg3 Si	

Tabla 8.2. Campo de aplicación varilla de aluminio para soldar.
Fuente: Ficha técnica CODESOL.

Además la composición química del hilo es:

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Be
resto	<0.25	<0.40	<0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	<0.10	0.06-0.20	<0.0003

Tabla 8.3. Composición química en % de la varilla de aluminio para soldar.

Fuente: Ficha técnica CODESOL.

Con todo esto se obtiene unas características mecánicas muy buenas, presentando una carga de rotura de 240 N/mm².

8.2 Motor eléctrico.

Como se menciona en el análisis de soluciones, el motor empleado debe ser de corriente continua y de tipo paso a paso para poder controlar los grados de giro que se realicen en cada momento.

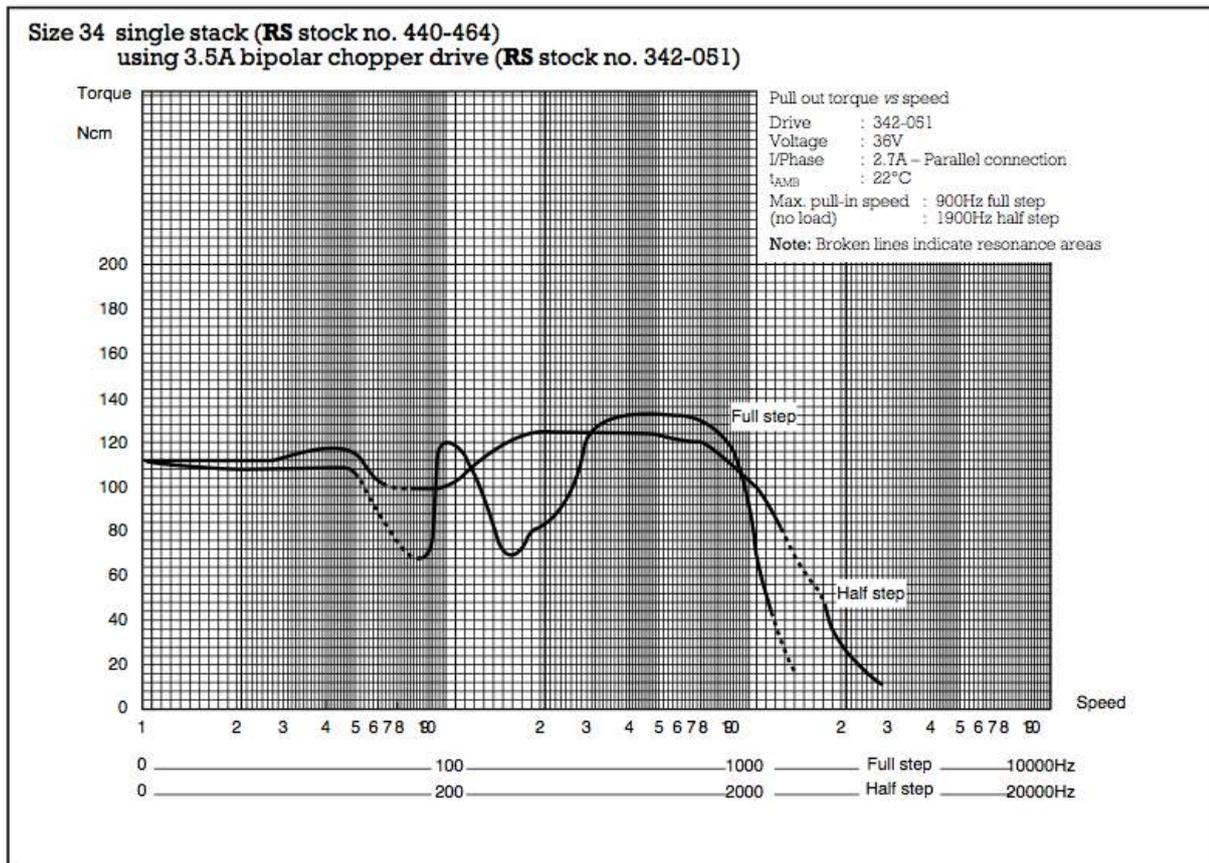
Con ello se ha seleccionado el motor 440-464 RS Hybrid stepper motors. Éste es un motor paso a paso de corriente continua, tal y como se requería, cuyas especificaciones técnicas vienen dadas en la tabla 8.3.

RS stock no.	440-420	440-436	440-442	440-458	440-464	440-470
Rated voltage (V)	5	12	5	12	3	2.5
Rated current (I)	0.5	0.16	1	0.6	2	4.5
Resistance (Ω)	10	75	5	20	1.5	0.56
Inductance (mH)	6	36	9	32	4.5	2.8
Detent torque (mHm)	5	4	30	30	40	100
Holding torque (mNm)	70	70	500	500	1200	2200
Step angle accuracy (%)	5	5	5	5	5	5
Step angle	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Insulation class	B	B	B	B	B	B

Tabla 8.4. Especificaciones técnicas motores paso a paso RS.

Fuente: Catálogo motores eléctricos paso a paso RS.

Además, las dimensiones del motor son compactas, siendo idóneo para emplearlo en el sistema de seguimiento solar. Estas dimensiones vienen dadas en la figura 8.2.



**Figura 8.3. Curva de potencia del motor 440-464 RS.
Fuente: Catálogo motores eléctricos paso a paso RS.**

8.3 Control motor paso a paso.

Para controlar la velocidad de giro del motor paso a paso se ha seleccionado una tarjeta controladora RSSM2, de la misma marca que el motor paso a paso.

Esta tarjeta controladora está diseñada para controlar un motor de velocidad gradual en modo monopolar, con o sin resistencias forzadas conectadas entre los elementos comunes del motor.

Utilizando las conexiones lógicas se puede seleccionar el modo completo, medio u onda, así como a dirección y la velocidad del reloj externo. La velocidad también se puede obtener de un reloj ajustable incorporado.

Una función de habilitación e inhabilitación de entrada permite implementar diversas opciones de control de marcha / paro. El motor de velocidad gradual debe tener cuatro fases y cinco, seis u ocho hilos.

8.4 Sistema de control del seguimiento solar.

8.4.1 Arduino.

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines d entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que lo rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante un lenguaje de programación Arduino, basado en Wiring, y el entorno de desarrollo Arduino, basado en Processing.

Dentro del catálogo de Arduinos, se ha elegido para controlar el seguimiento solar el Arduino Uno.

El Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega328. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB, o alimentarla con un adaptador de CA a CC o la batería para empezar.

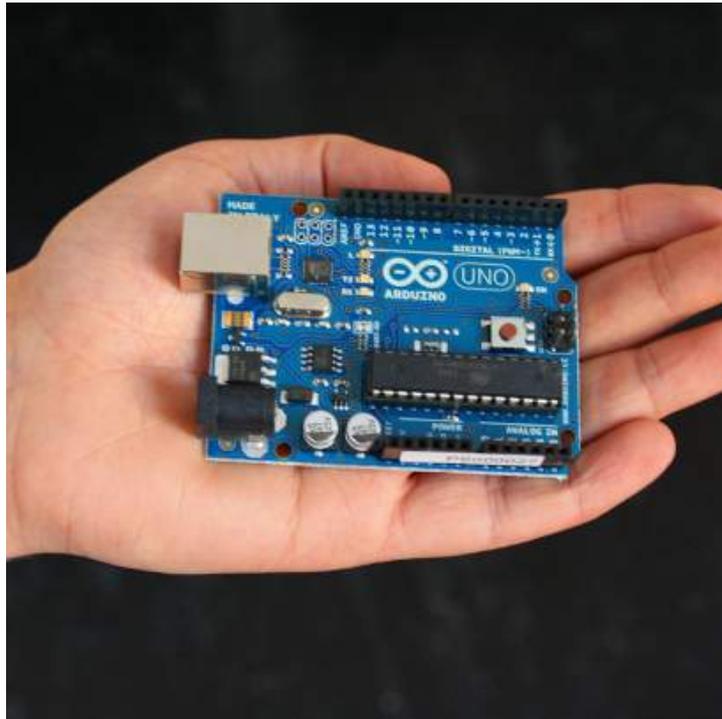


Figura 8.4. Arduino Uno.
Fuente: www.arduino.cc

Las especificaciones de este dispositivo vienen resumidas en :

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Figura 8.5. Resumen especificaciones Arduino Uno.
Fuente: www.arduino.cc

8.4.2 Esquema de programación.

En este apartado se realizará un esquema unifilar del programa que se debe realizar para insertar en el Arduino. Este está diseñado para que el módulo fotovoltaico gire y se oriente cada 8 minutos. Durante estos 8 minutos, el ángulo que se ha desplazado el sol es de unos 2 grados, por lo que es un desfase angular que garantiza una optimización del sistema.

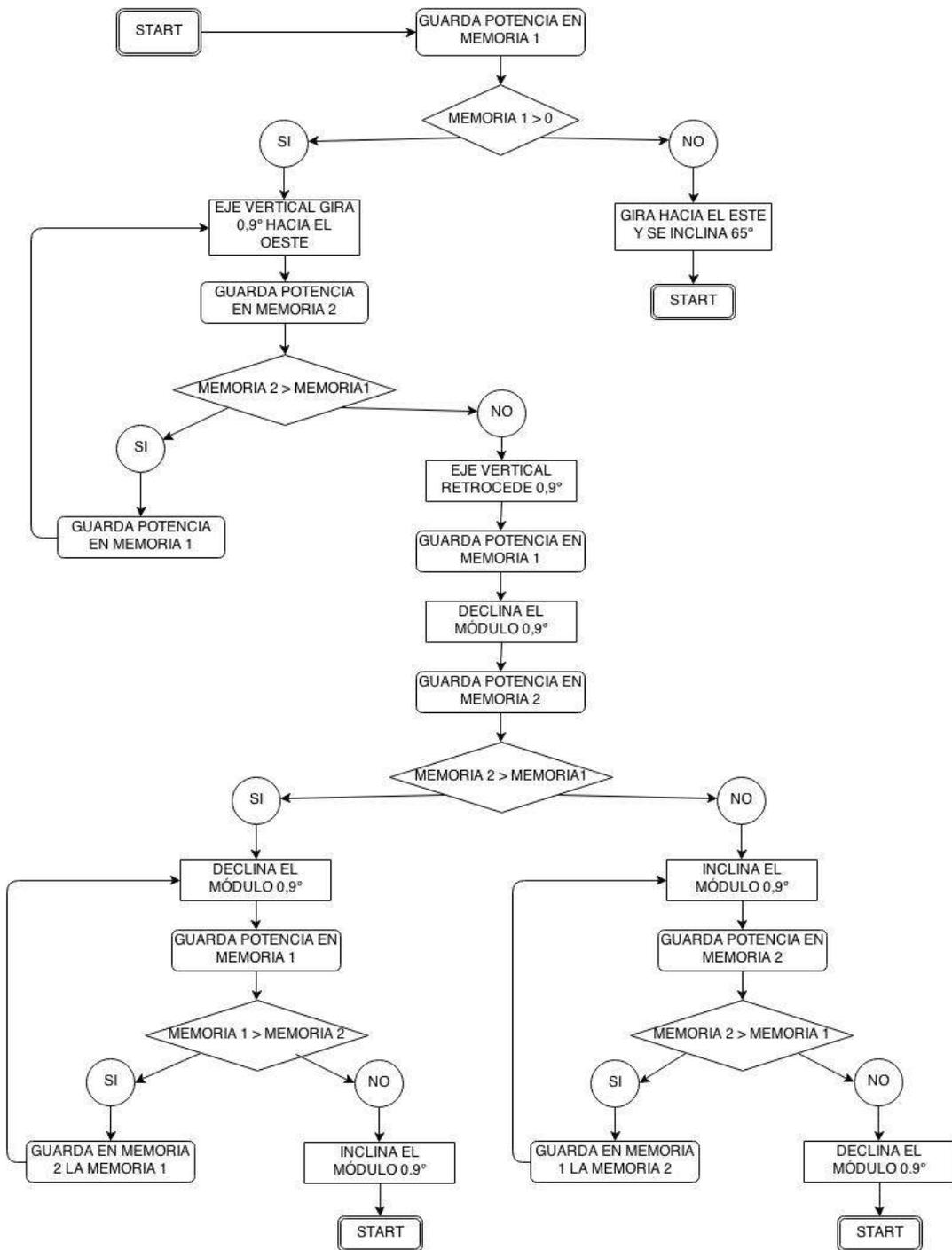


Figura 8.6. Esquema programación seguimiento solar.

8.5 Módulo fotovoltaico.

El módulo fotovoltaico elegido para colocarlo en el sistema de seguimiento solar es Sunmodule SW50 poly RMA. Es un modelo de la marca SolarWorld, de células policristalinas. Es el modelo mas pequeño de la marca, con una potencia en el punto de máxima potencia bajo condiciones estándar de prueba (STC) de 50 Wp. Además de esto, presenta las siguientes características bajo condiciones estándar.

COMPORTAMIENTO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR DE PRUEBA (STC*)

		SW 50
Potencia en el punto de máx. potencia	P_{max}	50 Wp
Tensión en vacío	U_{oc}	22,1 V
Tensión a potencia máxima	U_{mpp}	18,2 V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	2,95 A
Corriente a potencia máxima	I_{mpp}	2,75 A

Tabla 8.5. Características módulo fotovoltaico bajo condiciones estándar.
Fuente: Catálogo SolarWorld.

Además éste modelo tiene las siguientes características geométricas.

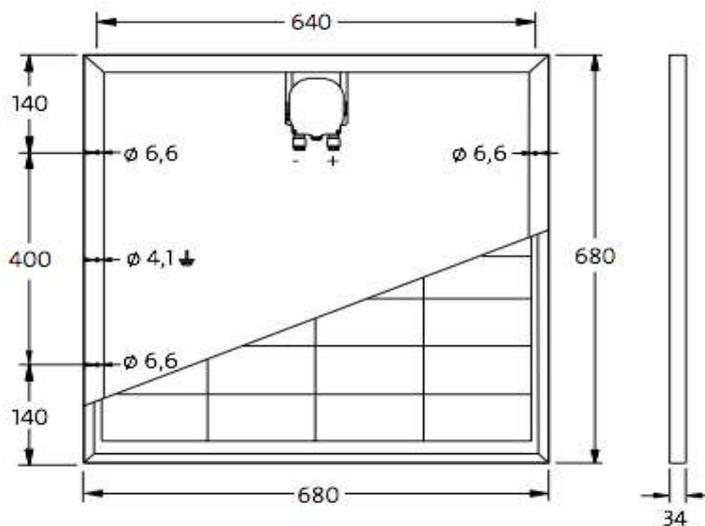


Figura 8.7. Geometría módulo fotovoltaico.
Fuente: Catálogo SolarWorld.

Por otro lado, el estudio de generación de energía se ha realizado en la localidad de La Laguna, más concretamente en la Escuela Superior de Ingeniería Civil e Industrial de la Universidad de La Laguna. Se realiza una comparación del módulo fotovoltaico acoplado al sistema de seguimiento solar con uno colocado en una posición fija con una inclinación óptima.

Como se comprueba en los cálculos realizados en el Anexo de cálculos, apartado , el módulo fotovoltaico sobre el sistema de seguimiento solar genera casi un 40% mas que el mismo en un sistema fijo con una inclinación optima.

8.6 Discos de fricción.

Como ya se vio en el análisis de soluciones, la reductora del eje horizontal necesita unos discos de fricción para mantener estático el módulo fotovoltaico en ausencia de potencia por parte de los motores eléctricos.

Este embrague estará compuesto por dos discos de igual diámetro, tal como se observa en los planos 1.20.10 y 1.20.12, que se colocarán enfrentados. Uno de ellos se restringirá el movimiento rotacional, mientras que el otro se acoplará al motor eléctrico. Además sobre el primer disco se colocará un resorte que proporcione una fuerza normal entre los discos, la cual por medio de la superficie de fricción entre ambos generará un momento de retención que irá en sentido contrario al movimiento del módulo fotovoltaico.

Esto se puede observar en la figura 8.8.

El material empleado para fabricar los discos de fricción es el aluminio, ya que posee un elevado coeficiente de fricción estático. Al ser así, se conseguirá un momento de torsión elevado empleando una fuerza normal reducida combinada con unos diámetros de discos pequeños. Así se podrá reducir el espacio para alojar dichos elementos dentro del mecanismo de transmisión.

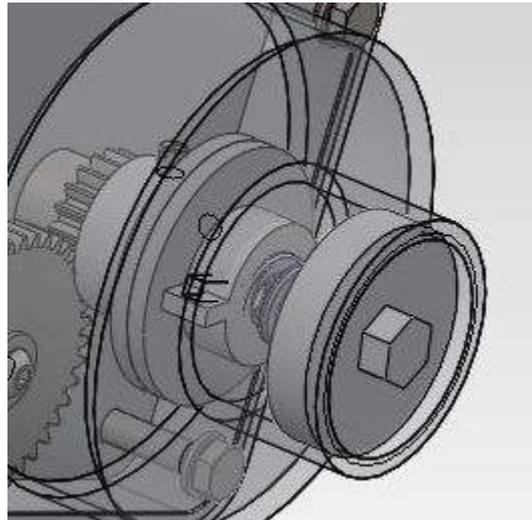
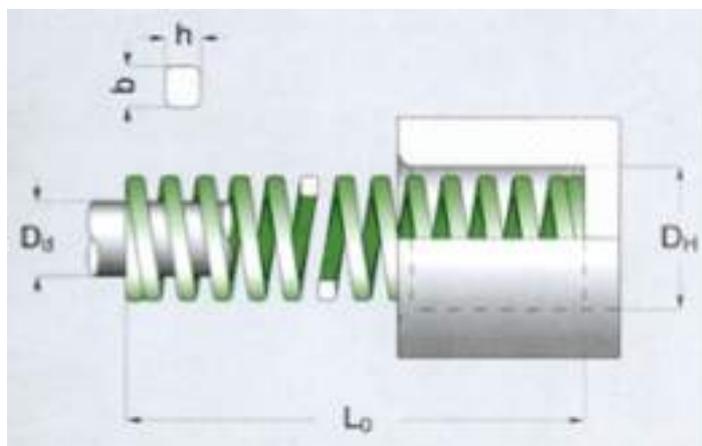


Figura 8.8. Discos de fricción en la reductora del eje horizontal.

8.7 Resorte.

El resorte de compresión empleado para realizar la fuerza normal sobre las superficies de fricción de los discos es uno de la marca Totalmatrix. Además, es uno de carga ligera estandarizado por la norma ISO 10243.

Dentro del amplio catálogo que tiene el fabricante, se ha elegido el mas pequeño de todos. Éste presenta las siguientes características geométricas y físicas.



**Figura 8.9. Medidas geométricas resorte carga ligera.
Fuente: Catalogo Totalmatrix.**

D_H		D_d	L_o	N° de catálogo	Rígidez	25%		30%		37,5%		D	
b x h						3.000.000	1.500.000	Máximo Deflección		Aprox.			
mm	mm	mm		N / mm	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	
10	5	25	V 10 - 025	10	6.3	63	7.5	75	10.0	100	13.5	135	
		32	V 10 - 032	8.5	8.0	68	9.6	82	12.8	109	17.5	149	
		38	V 10 - 038	6.8	9.5	65	11.4	78	15.2	103	20.8	141	
		44	V 10 - 044	6.0	11.0	66	13.2	79	17.6	106	23.9	143	
		51	V 10 - 051	5.0	12.8	64	15.3	77	20.4	102	28.9	145	
		64	V 10 - 064	4.3	16.0	69	19.2	83	25.6	110	36.1	155	
		76	V 10 - 076	3.2	19.0	61	22.8	73	30.4	97	43.2	138	
		305	V 10 - 305	1.1	76.3	84	91.5	101	122.0	134	178.7	197	

Tabla 8.6. características resorte carga ligera.

Fuente: Catálogo Totalmatrix.

Como se verifica en el anexo de cálculos, éste resorte cumple perfectamente las exigencias requeridas de compresión y deflexión.

8.8 Elementos de transmisión.

La transmisión de potencia de ambos ejes se realiza por medio de elementos independientes, por lo que se especificarán de forma independiente.

8.8.1 Eje horizontal.

Tal como aparece en el anexo de cálculos, la relación de transmisión que se busca es 1/6. Con esta se garantiza que la fuerza del motor 440-464 pueda superar el momento ejercido por la inclinación del módulo, los discos de fricción y las pérdidas debido a los rozamientos de los componentes.

Además debido al espacio que hay en la caja de engranajes, hay que colocar dos engranajes intermedios para que se pueda ubicar el motor eléctrico en una posición que no reduzca el ángulo de inclinación ni tropiece con otras piezas en el movimiento de ambos ejes.

Empleando el catálogo de engranajes del fabricante Japonés KHK, se seleccionan los siguientes engranajes.

Engranaje 1: SSY1-120A S1K, de módulo 1 y 120 dientes. Además se ha rectificado como se puede comprobar en los planos y en al figura 8.10.

Engranaje 2 y 4: SSY1-20B S1T, de módulo 1 y 20 dientes.

Engranaje 3: SSY1-40 S1 módulo 1 y 40 dientes.

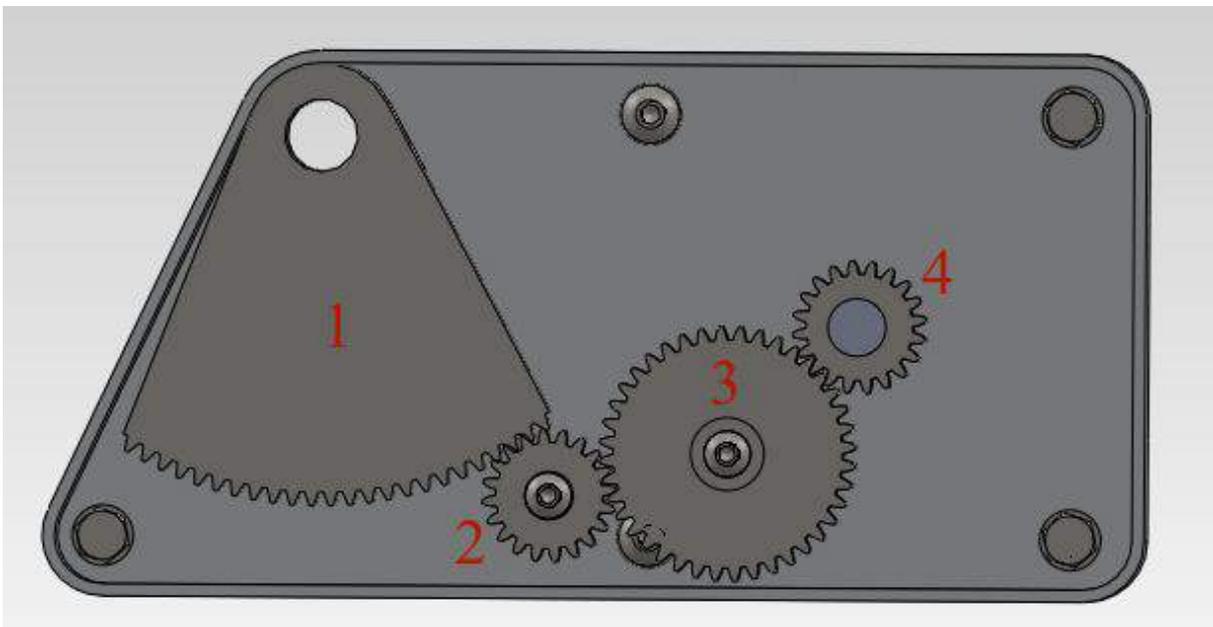


Figura 8.10. Disposición engranajes dentro de la reductora del eje horizontal.

Además, los engranajes 1 y 4 irán fijos al eje horizontal y al eje del motor paso a paso, mientras que los engranajes 2 y 3 girarán libres sobre los correspondientes ejes. Éstos sólo se encargan de mantener la geometría correcta, y deberán ir lubricados con cualquier tipo de aceite para reducir al máximo posible las pérdidas por fricción. Además, el eje horizontal también deberá ser lubricado en los soportes del eje vertical con la misma finalidad.

Por otro lado, las geometrías de los engranajes seleccionados vienen dados por:

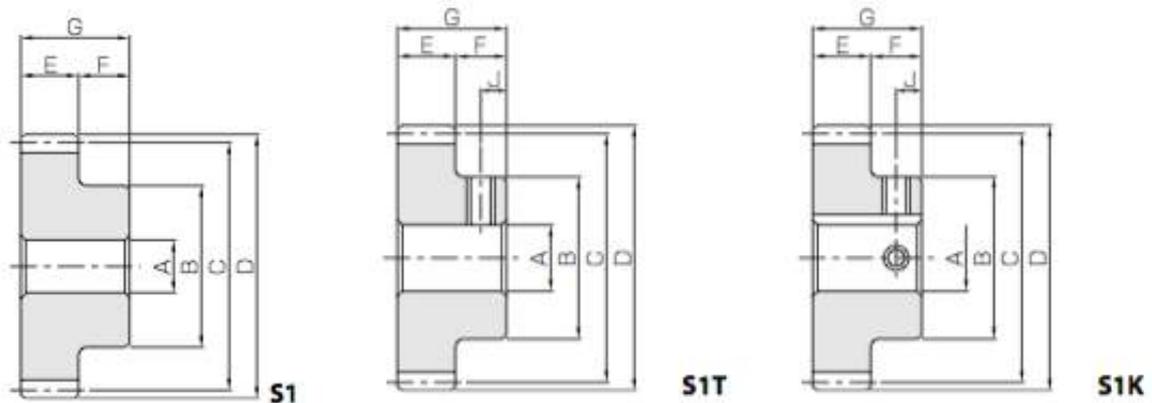


Figura 8.11. Geometrías engranajes SSY.
Fuente: Catálogo KHK.

Dónde los valores de cada uno son:

Catálogo nº	Modulo	Nº of teeth	Shape	A H7	B	C	D	E	F	G
SSY1-120A	1	120	S1K	12	35	120	122	6	8	14
SSY1-20B	1	20	S1T	8	16	20	22	6	8	14
SSY1-40	1	40	S1	8	28	40	42	6	8	14

Tabla 8.7. Dimensiones engranajes eje horizontal.
Fuente: Catálogo KHK.

8.8.2 Eje vertical.

Como se puede comprobar en el anexo de cálculos, las pérdidas de momento debido al rozamiento son despreciables, por lo que el diseño de los engranajes es mayormente por causa de distancia entre el motor eléctrico y el eje.

Para este caso se ha empleado el mismo fabricante que para el eje horizontal, KHK, a diferencia de que se han seleccionado dos tipos distintos:

Para el engranaje que va acoplado al eje del motor eléctrico se ha seleccionado un SSY1-50A cuyo módulo es 1 y presenta 50 dientes.

Por otro lado, el engranaje que se acoplará al eje vertical será un SSAY1-100, módulo 1 y 100 dientes.

Como el primer engranaje es del mismo tipo que los empleados en el apartado 8.8.1, sus dimensiones corresponden con los de la figura 8.11.

Catalogo nº	Modulo	Nº of teeth	Shape	A H7	B	C	D	E	F	G
SSY1-50A	1	50	S1T	8	28	50	52	6	8	14

Tabla 8.8. Dimensiones engranaje eje vertical SSY1-50A.
Fuente: Catálogo KHK.

Por otro lado, la forma del engranaje SSAY-100 viene dado por:

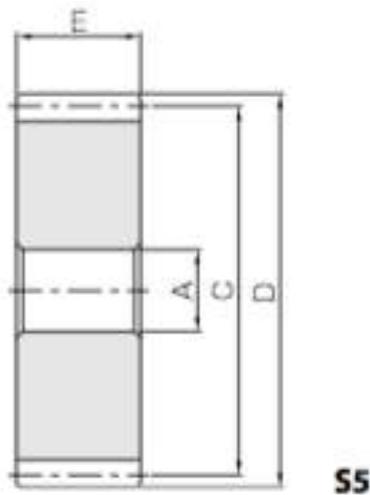


Figura 8.12. Geometría engranajes SSAY.
Fuente: Catálogo KHK.

Cuyos valores de dimensiones vienen expresados en la tabla 8.9.

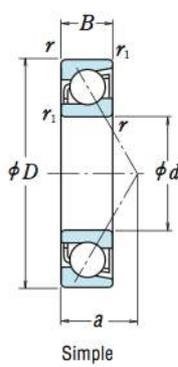
Catalog nº	Module	Nº of teeth	Shape	A H7	B	C	D
SSAY1-100A	1	100	S5	10	100	102	6

Tabla 8.9. Dimensiones engranaje eje vertical SSAY1-100.
Fuente: Catálogo KHK.

8.9 Rodamientos.

El eje horizontal carece de rodamientos, debido al poco espacio y al encarecimiento de colocarlos sobre el eje vertical. En cambio, se colocará en los agujeros correspondientes del eje vertical, los cuales tienen unas dimensiones específicas para facilitar el libre movimiento de giro. Además irá lubricado con aceite, para eliminar al máximo las pérdidas provocadas por el rozamiento.

Por otro lado, el eje vertical llevará unos rodamientos de la marca NSK. En éste es más crítico colocar rodamientos, ya que debe soportar mayores fuerzas, tal como se puede comprobar en el anexo de cálculos. Además deberá ser un rodamiento de bolas de contacto angular, con un diámetro interior de 40mm.



Dimensiones (mm)	Índices Básicos de Carga (Simple)		Factor	Velocidades Límite (°)		Centros Efectivos de Carga (mm)	Dimensiones de Tope y Chafán (mm)			Masa (kg)						
	C_r	C_{0r}		Grasa	Aceite		d_a min.	D_a máx.	r_a máx.		aprox.					
40	62	12	0.6	0.3	14 300	11 200	1.460	1.140	—	14 000	18 000	17.9	45	57	0.6	0.11
62	12	0.6	0.3	15 100	11 700	1.540	1.200	15.7	16 000	22 000	12.8	45	57	0.6	0.109	
68	15	1	0.6	19 500	15 400	1.990	1.570	—	10 000	14 000	23.1	46	62	1	0.19	
68	15	1	0.6	20 600	15 900	2.100	1.620	15.4	15 000	20 000	14.7	46	62	1	0.213	
80	18	1.1	0.6	35 500	25 100	3.600	2.560	—	9 500	13 000	26.3	47	73	1	0.375	
80	18	1.1	0.6	32 000	23 000	3.250	2.340	—	6 700	9 000	34.2	47	73	1	0.383	
80	18	1.1	0.6	36 500	25 200	3.700	2.570	14.1	14 000	19 000	17.0	47	73	1	0.418	
90	23	1.5	1	49 000	33 000	5.000	3.350	—	7 100	9 000	30.3	49	81	1.5	0.633	
90	23	1.5	1	45 000	30 500	4.550	3.100	—	6 300	8 500	38.8	49	81	1.5	0.648	

Tabla 8.9. Características rodamientos contacto angular NSK.
Fuente: Catálogo NSK.

El rodamiento seleccionado es el primero de la gama de 40 mm de diámetro interior. Éste resiste unas fuerzas muy superiores a las que se les va a someter, por lo que tendrán además una larga durabilidad.

Se puede observar como quedan colocados los rodamientos en la posición correcta, además de los engranajes del eje vertical en la figura 8.13.

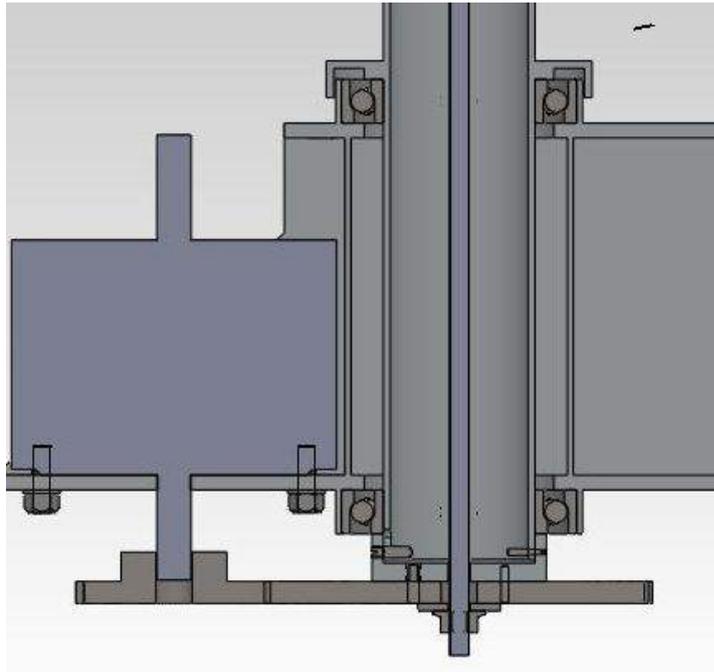


Figura 8.13. Sección estructura y eje vertical.

8.10 Cajas de protección.

Las cajas estancas de protección IP65 que se han elegido para proteger los motores y el resto de componentes eléctricos han sido las del fabricante Bopla, las cuales se pueden conseguir en la página web <http://es.rs-online.com>. Éstas tienen las medidas perfectas para cubrir los motores eléctricos, sin interferir con el resto de piezas del mecanismo. El modelo elegido para proteger los motores es el de dimensiones 96 x 96 x 85 cuyo número de modelo es el NSG 9608.

Éstas irán sujetas al sistema por medio de los mismos tornillos de los motores. Para ello se les realizarán unas perforaciones en las medidas correctas, y se añadirán unas gomas estancas para evitar la entrada de agua o polvo.

Además se colocará otra caja de protección para proteger el Arduino y los controladores de los motores. Ésta deberá tener las dimensiones necesarias para que quepan ambos componentes y puedan ser fácilmente manipulados.

8.11 Conductor electricidad.

Al módulo fotovoltaico se deberá conectar un cable de 4 mm² de sección a cada polo. La longitud de cada uno de estos conductores se estima en 5 m. Como el sistema es polivalente para varios equipos, y no tiene una localización específica, esta longitud puede verse modificada. Deben tener una longitud suficiente para que no generen esfuerzos en los diversos elementos, ni posibilidad de enganche en las partes móviles del sistema.

El cable seleccionado es el TecSun PV ya que los profesionales del sector tienen muy buena opinión sobre éste. Además en canarias lo distribuye la empresa Coelca, lo cual hace que sea fácilmente adquirible.

Las características del cable TecSun PV para una sección nominal de 4 mm² son las siguientes:

Diámetro del conductor [mm]	Diámetro exterior del cable [mm]	Peso [kg/m]	Resistencia del conductor a 20°C [Ω /km]	Intensidad admisible al aire [A]
2,4	5,4	58	5,09	46

Tabla 8.10. Características cable TecSun PV.
Fuente: Catálogo Prysmian.

La tensión nominal es de 0,6/1 kV, mientras que la tensión máxima en alterna es 0,7/1,2 kV y 0,9/1,8 kV en corriente continua.

Además es resistente a la propagación de incendios, a la absorción de agua, a los rayos ultravioletas, a la abrasión, a golpes; tiene baja emisión de humos opacos y es libre de halógenos.

8.12 Piezas fabricadas.

Las piezas que se deben fabricar deberán tener las medias especificadas en cada uno de sus planos. Además las rectificaciones de algunas piezas, como pueden ser los engranajes también deberán cumplir las especificaciones marcadas en los planos de las mismas. Para ello de

deberán emplear las técnicas de mecanizado oportunas para cada una de los procesos que se les debe realizar.

8.13 Montaje mecanismo seguimiento solar.

El montaje del mecanismo de seguimiento solar se realizará en el orden que aparecen las piezas en los planos de conjunto explosionados. Una vez se tengan todas las piezas colocadas y debidamente apretadas, el mecanismo tendrá la siguiente forma:

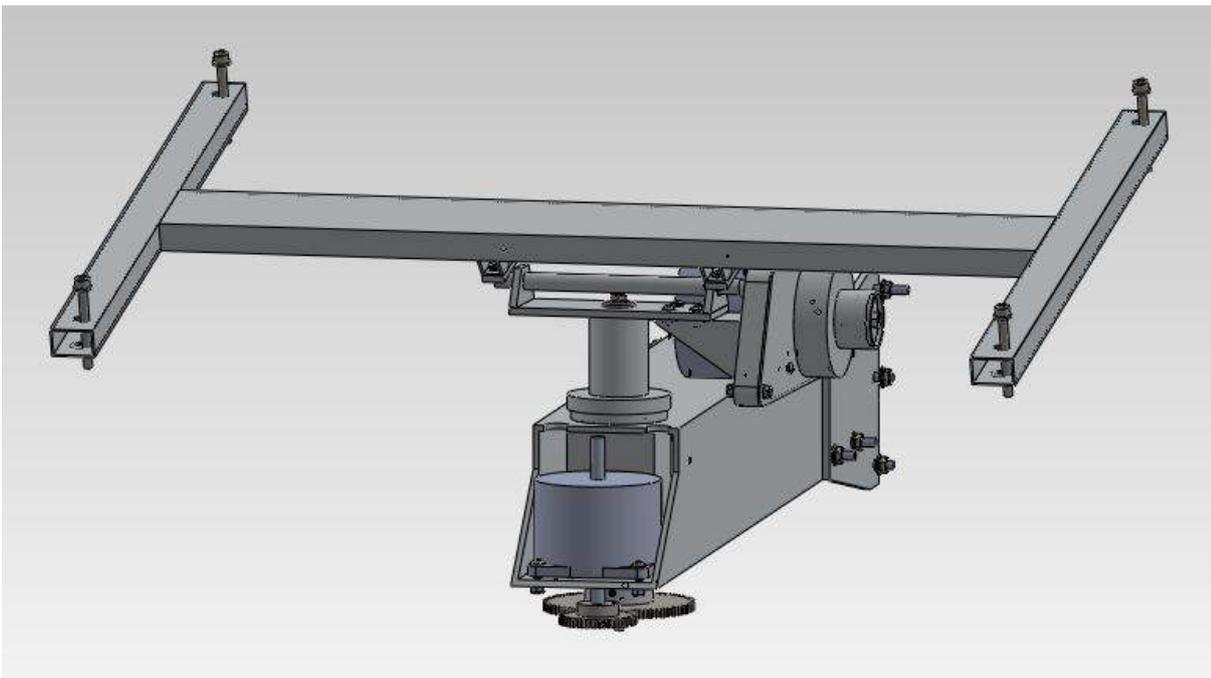


Figura 8.14. Mecanismo de seguimiento solar completo vista frontal.

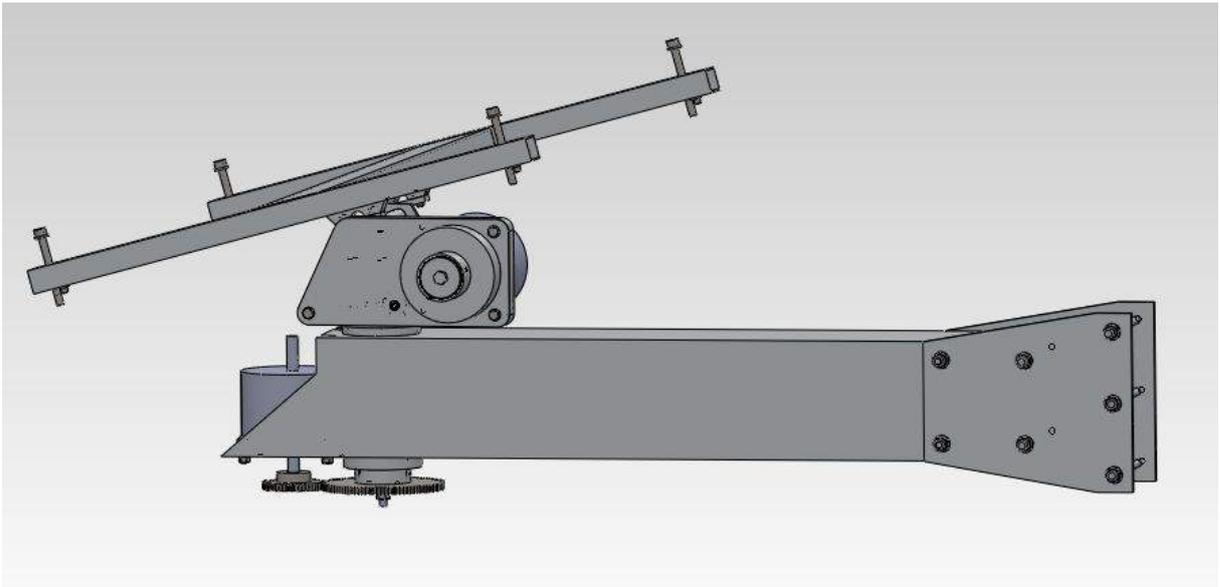


Figura 8.15. Mecanismo de seguimiento solar completo vista lateral.

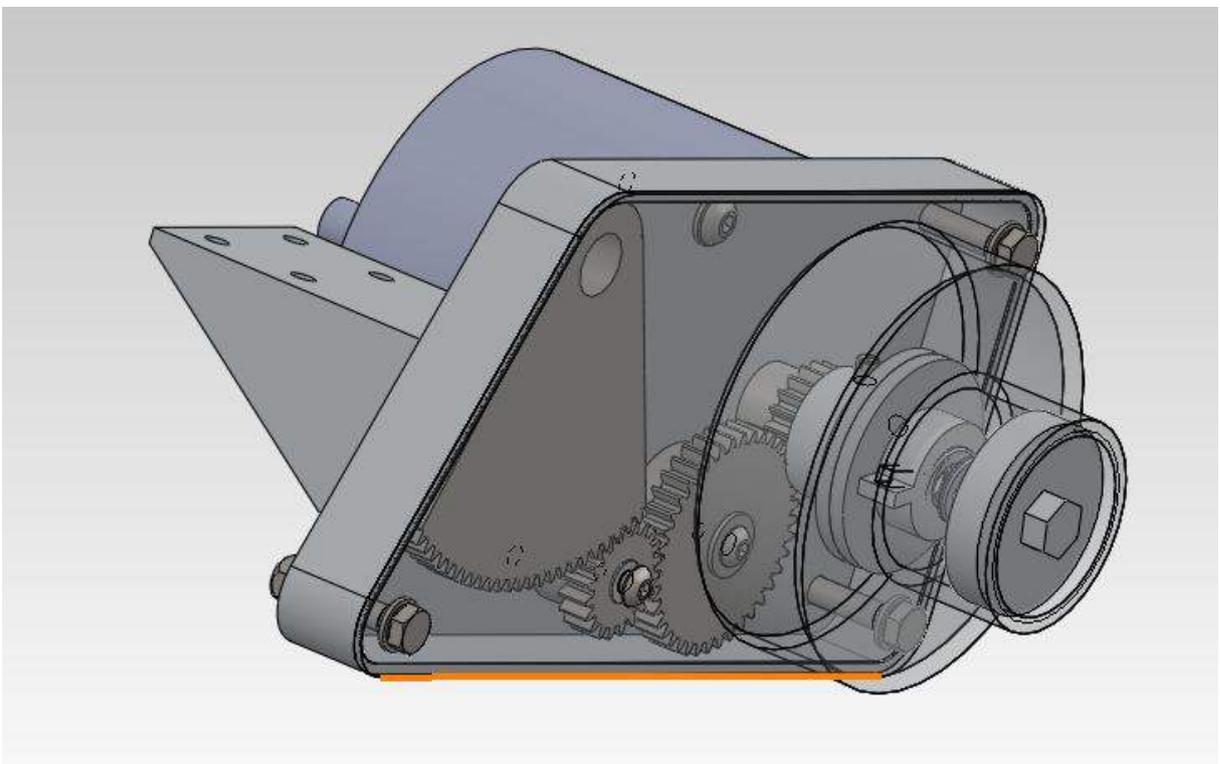


Figura 8.16. Reductora eje horizontal con tapa externa translúcida.

8.14 Energía producida.

Los estudios de energía producida se han realizado en la localización de la Escuela Superior de Ingeniería Civil e Industrial de la Universidad de La Laguna.

La potencia que genera al año por el sistema de seguimiento solar será la producida por el módulo fotovoltaico descontándole la consumida por los motores eléctricos y el sistema de control Arduino. Tal como se comprueba en el anexo de cálculos, la potencia total generada es de 118,59 kWh/año.

Por otro lado, la que generaría un sistema similar pero que esté fijo en una posición estática, con un ángulo de inclinación óptimo, el cual es de 28°, produciría 88 kWh/año.

Si se realiza una comparación entre la energía producida por ambos sistemas de anclaje del módulo fotovoltaico, se comprueba que el que tiene el mecanismo de seguimiento solar produce un 34,76% más que el estático en una posición óptima. Esto se debe a que la radiación incide siempre de forma normal al módulo, mientras que en el otro caso, la radiación incide con cierto ángulo. Por ello, el primer modelo tiene una mayor optimización de los recursos, siendo así más eficiente empleando un módulo fotovoltaico de características similares.

8.15 Presupuesto.

Para realizar el cálculo del precio de fabricación de las piezas que componen el sistema de seguimiento solar se asimila que no se va a fabricar un prototipo, sino que se realizarán 200 unidades. El realizar un número elevado reduce el precio de mano de obra, mientras que un prototipo es mucho más caro y el cálculo de su coste sería menos preciso.

Tal como se puede comprobar en el documento de Mediciones y Presupuesto, el presupuesto de ejecución material viene desglosado en los subapartados:

Referencia.	Concepto.	Importe [€]
1	PIEZAS MECANIZADAS	695,81
2	ENGRANAJES	127,14
3	RODAMIENTOS	75,66
4	TORNILLERÍA	21,53
5	COMPONENTES ELÉCTRICOS	485,14
6	CAJAS DE PROTECCIÓN	56,44
7	RESORTE	2,54
8	MONTAJE	90,00

Con ello, el presupuesto final de fabricación y montaje del sistema mecánico de seguimiento solar viene dado por:

Precio Ejecución Material	1554,26 €
Gastos Generales 13%	202,05 €
Beneficio Industrial 8%	124,34 €
Total	1880,65 €
IGIC 7%	131,65 €

TOTAL PRESUPUESTO	2012,30 €
--------------------------	------------------

El presupuesto final del proyecto “Sistema mecánico de seguimiento solar sobre dos ejes para módulos fotovoltaicos” asciende hasta la cantidad de *dos mil doce con treinta euros*.

9 Conclusión.

9.1 Español.

En conclusión se comprueba que el sistema de seguimiento solar sobre dos ejes es más eficiente que colocar el módulo fotovoltaico fijo en una inclinación óptima, generando un 34,76% más de energía. Esto es debido a que mejora la captación de la radiación solar.

El material empleado para fabricar las piezas mecánicas y estructurales, ha sido el aluminio 6063-T5, el cual presenta una resistencia mecánica considerable, acompañado de una densidad reducida y una alta resistencia a la corrosión.

Para generar el movimiento se ha optado por emplear unos motores paso a paso eléctricos de corriente continua, los cuales garantizan un movimiento controlable y preciso, a la vez que producen la fuerza requerida empleando poca energía.

Además, para transmitir el movimiento de los motores a las piezas, se utilizan engranajes de dientes rectos, los cuales están muy estandarizados y son fáciles de conseguir en el mercado.

Por otro lado, se ha seleccionado unos rodamientos de contacto angular para garantizar que los movimientos del sistema sean precisos y reducir así las pérdidas por rodamientos.

Además este tipo de sistema de seguimiento solar mas es compacto que si se empleará un módulo fotovoltaico que produzca la misma energía eléctrica en una posición fija, ya que tendría que ser de dimensiones superiores para poder captar la misma cantidad de radiación solar.

Por otro lado, el coste de fabricación y montaje del primer sistema es más elevado que el segundo, ya que tiene más piezas, las cuales consiguen realizar el movimiento sobre los dos ejes.

En cuanto conclusiones académicas se refiere, la realización de este trabajo fin de grado ha sido muy útil, ya que he tenido que aplicar los adquiridos en las distintas asignaturas del *Grado de Ingeniería Mecánica*, tales como elasticidad y resistencia de materiales, mecánica de máquinas, oficina técnica, etc.

Además, además ha sido una gran satisfacción personal conseguir resolver de forma autónoma los diferentes problemas que van surgiendo a medida que se va profundizando en la realización de todo el trabajo fin de grado.

9.2 Inglés.

To conclude, I verified that the solar tracking system on two axes is more efficient than fixed photovoltaic module placed in optimum inclination, generating 34.76% more energy. This is because it improves the capture of solar radiation.

The material used to manufacture the mechanical and structural parts, is the aluminium 6063-T5, which presents a high mechanical resistance with low density and high resistance to corrosion.

For generating the motion a step by step direct current electric motors is used, which provides a controllable and precise movement. Also generate the force required using low energy.

In addition, spur gears are used to transmit motion from the engine parts. These are standardized, so they are on stock in store.

Also, has been selected angular contact bearings to ensure that the system is accurate motions and reduce losses bearings.

This type of solar tracking system is more compact than using a fixed position photovoltaic module with same power. The size of a fixed position module should be bigger than the tracking system to capture the same amount of solar radiation and produce the same energy as the tracking system.

On the other hand, the cost of manufacture and assembly of the tracking system are higher than the fixed one, because it has more parts, which carry the movement achieved on the two axes.

With regard regards academic matters, the realization of this work has been very useful because I had to apply the acquired knowledge in the different subjects of the Mechanical Engineering Grade.

2. – Memoria.

Manuel Barbuzano Asencio.

In addition, it has been pleased to analyse and apply the acquire knowledto to real problem of the Mechanical Engineering field and solve different problems.

10 Orden de prioridad de los documentos básicos.

El orden de prioridad entre los documentos básicos de este proyecto será establecido de la siguiente forma:

1. Planos.
2. Pliego de Condiciones.
3. Planos.
4. Memoria.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Anexo de Cálculos.

TRABAJO FIN DE GRADO.

TÍTULO

**SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.**

AUTOR

Manuel Barbuzano Asencio.

Índice.

1 Cargas aplicadas sobre la placa fotovoltaica.	1
1.1 Nieve.	1
1.2 Viento.	2
1.3 Momento torsor generado.	3
2 Cálculo elementos transmisión.	6
2.1 Engranajes eje horizontal.	6
2.2 Engranajes eje vertical.	8
2.3 Discos de fricción.	8
2.4 Resorte.	9
2.5 Momento transmitido al eje horizontal.	11
2.6 Rodamientos eje vertical.	12
3 Resistencia mecánica de las piezas con simulación de elementos finitos empleando el programa SolidWorks.	15
3.1 Soporte placa.	15
3.1.1 Vigas.	15
3.1.2 Pieza Sujeción Eje horizontal.	18
3.2 Eje horizontal.	21
3.3 Eje vertical.	24
3.3.1 Placa inclinada 45º, viento parte delantera.	25
3.3.2 Placa inclinada 45º, viento parte trasera.	27
3.3.3 Placa inclinada 65º, viento parte delantera.	28
3.3.4 Placa inclinada 65º, viento parte trasera.	29
3.4 Estructura.	30
3.5 Disco de fricción.	33
3.6 Caja engranajes interna.	35
3.7 Caja engranajes externa.	37
3.8 Placa soporte eje horizontal.	39
3.9 Tuerca resorte.	42
4 Calculo de soldaduras.	45
4.1 Soporte placa.	45

4.1.1	Viga central y externa.	45
4.1.2	Sujeción eje horizontal.	48
4.2	<i>Eje vertical.</i>	49
4.2.1	Placas superiores.	49
4.2.2	Placa horizontal y tubo vertical.	51
4.2.3	Tubo vertical con soporte rodamiento.	54
4.3	<i>Estructura.</i>	55
5	Calculo de tornillos.	57
5.1	<i>Tornillos fijación módulo fotovoltaico.</i>	57
5.2	<i>Tornillos fijación soporte placa y eje horizontal.</i>	58
5.3	<i>Tornillo sujeción eje vertical.</i>	58
5.4	<i>Tornillos unión estructura y soporte farola.</i>	59
5.4.1	Fuerza horizontal dirección perpendicular.	60
5.4.2	Fuerza horizontal dirección axial.	63
5.5	<i>Tornillos soporte farola.</i>	64
5.5.1	Fuerza horizontal dirección perpendicular.	65
5.5.2	Fuerza horizontal dirección axial.	67
5.6	<i>Tornillos unión pieza 22 con eje vertical.</i>	68
6	Resistencia piezas mecanismo.	71
6.1	<i>Rosca turca resorte.</i>	71
6.2	<i>Soporte farola.</i>	72
6.2.1	Fuerza horizontal dirección perpendicular.	73
6.2.2	Fuerza horizontal dirección axial.	74
7	Programa seguimiento Arduino.	76
8	Potencia eléctrica.	78
8.1	<i>Sistema con movimiento en dos ejes.</i>	78
8.2	<i>Sistema fijo con inclinación óptima.</i>	81
8.3	<i>Energía consumida por los motores eléctricos.</i>	84
8.4	<i>Energía consumida Arduino.</i>	88
8.5	<i>Energía final generada.</i>	88
9	Bibliografía.	89

Índice figuras.

Figura 1.1. Vista isométrica del soporte placa.	4
Figura 2.1. Disposición engranajes dentro de la reductora del eje horizontal.	7
Figura 2.2. Medidas geométricas resorte carga ligera.	10
Figura 2.3. Esquema fijación eje vertical con rodamientos.	13
Figura 3.1. Soporte placa con cargas y sujeciones.	16
Figura 3.2. Malla soporte placa.	17
Figura 3.3. Tensiones en el soporte placa.	17
Figura 3.4. Pieza sujeción eje horizontal con cargas hacia abajo y restricciones.	18
Figura 3.5. Mallado pieza sujeción eje horizontal cargas hacia abajo.	19
Figura 3.6. Tensiones pieza sujeción eje horizontal cargas hacia abajo.	19
Figura 3.7. Pieza sujeción eje horizontal con cargas hacia arriba y restricciones.	20
Figura 3.8. Malla pieza sujeción eje horizontal con cargas hacia abajo.	20
Figura 3.9. Tensiones pieza sujeción eje horizontal con cargas hacia abajo.	21
Figura 3.10. Eje horizontal con cargas y restricciones.	22
Figura 3.11. Mallado eje horizontal.	23
Figura 3.12. Tensiones eje horizontal con inclinación de 45°.	23
Figura 3.13. Tensiones eje horizontal con inclinación de 65°.	24
Figura 3.14. Eje vertical con fuerzas y restricciones con el viento aplicado en la parte delantera.	25
Figura 3.15. Mallado eje vertical.	26
Figura 3.16. Tensiones eje vertical con inclinación de 45° y viento aplicado en la parte delantera.	26
Figura 3.17. Eje vertical con fuerzas y restricciones con el viento aplicado en la parte trasera.	27

Figura 3.18. Tensiones eje vertical con inclinación de 45° y viento aplicado en la parte trasera.	28
Figura 3.19. Tensiones eje vertical con inclinación de 65° y viento aplicado en la parte delantera.	29
Figura 3.20. Tensiones eje vertical con inclinación de 85° y viento aplicado en la parte trasera.	30
Figura 3.21. Estructura.	31
Figura 3.22. Mallado estructura.	32
Figura 3.23. Tensiones estructura con la fuerza horizontal transversal.	32
Figura 3.24. Tensiones estructura con carga horizontal axial.	33
Figura 3.25. Disco de fricción exterior con momento torsor y restricciones.	34
Figura 3.26. Mallado disco de fricción exterior.	34
Figura 3.27. Tensiones disco de fricción exterior.	35
Figura 3.28. Caja engranajes interna con cargas y restricciones.	36
Figura 3.29. Mallado caja engranajes interna.	36
Figura 3.30. Tensiones caja de engranajes interna.	37
Figura 3.21. Caja engranajes externa con cargas y restricciones.	38
Figura 3.32. Mallado caja engranajes externa.	39
Figura 3.33. Tensiones caja engranajes externa.	39
Figura 3.34. Placa soporte eje horizontal con cargas.	40
Figura 3.35. Placa soporte eje horizontal con restricciones.	41
Figura 3.36. Mallado placa soporte eje horizontal.	41
Figura 3.37. Tensiones placa soporte eje horizontal.	42
Figura 3.38. Tuerca resorte con cargas y restricciones.	43
Figura 3.39. Malla tuerca resorte.	43
Figura 3.40. Tensiones tuerca resorte.	44
Figura 4.1. Soldaduras del soporte eje.	45
Figura 8.1. Interfaz programa JRC European Commission.	79

Figura 8.2. Comparación producción mensual con sistema de seguimiento solar y sin él. 83

Figura 8.3. Comparación irradiación incidente sobre módulo fotovoltaico con sistema de seguimiento solar y sin él. 84

Figura 8.4. Gráfica momento frente a velocidad motor paso a paso 440.464. 85

Índice Tablas.

Tabla 1.1. Fuerza ejercida por la nieve en función ángulo de inclinación.	1
Tabla 1.2. Fuerza ejercida por la acción den viento sobre el módulo fotovoltaico.	3
Tabla 1.3. Propiedades físicas del soporte placa	4
Tabla 2.1. Características motores paso a paso.	6
Tabla 2.2. Características geométricas y físicas de los resortes de carga ligera.	10
Tabla 2.3. Características rodamientos contacto angular NSK.	14
Tabla 8.1. Potencias eléctrica generada con seguidor solar de dos ejes.	80
Tabla 8.2. Potencias eléctrica generada con sistema fijo en inclinación óptima (28°).	82
Tabla 8.3. Características motores paso a paso.	84

1 Cargas aplicadas sobre la placa fotovoltaica.

1.1 Nieve.

Según el Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación, la sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (s_k) para la Zona 7, en la cual está Canarias, es de 0,2 kN/m² como máximo hasta una altitud de 1800m.

Por otro lado, en el mismo documento expresa que la carga de nieve por unidad de superficie puede tomarse:

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (1.1)$$

Dónde el coeficiente de forma μ tiene valor 1 para cubiertas con inclinación menor o iguala 30° y 0 para cubiertas con inclinación mayor o igual que 60°. Esto es así siempre que no haya impedimento al deslizamiento de la nieve, como es nuestro caso. Además, para valores intermedios entre 30° y 60° se interpolará el coeficiente de forma.

Esta carga por el área de la módulo Sunmodule SW poli RMA que hemos elegido queda:

Angulo [°]	Coef Forma μ	Valor carga s_k [N/m ²]	F vertical [N]
5	1	200	92,48
10	1	200	92,48
15	1	200	92,48
20	1	200	92,48
25	1	200	92,48
30	1	200	92,48
35	0,83	166,67	77,07
40	0,67	133,33	61,65
45	0,50	100	46,24
50	0,33	66,67	30,83
55	0,17	33,33	15,41
60	0	0	0,00
65	0	0	0,00

Tabla 1.1. Fuerza ejercida por la nieve en función ángulo de inclinación.

1.2 Viento.

Según el Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación, la presión dinámica del viento en la provincia de Canarias es de $0,52 \text{ kN/m}^2$. Así mismo, ésta es la máxima que existe en toda la geografía española, por lo que dicha estructura sería compatible en cualquier punto de España.

Por otro lado, según la norma española UNE-EN 61215 Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para uso terrestre, cualificación del diseño y homologación, es necesario que el módulo fotovoltaico resista una presión de 2400 Pa . Como este valor es mucho más restrictivo que el del Documento Básico, se empleará esta presión para realizar los cálculos de carga variable.

La carga de viento será:

$$q_b \cdot A = 2400 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot (0,68 \text{ m})^2 = 1109,8 \text{ N}$$

donde A es el área del módulo fotovoltaico elegido: Sunmodule SW poli RMA.

Por otro lado, podemos descomponer esta fuerza, en función del ángulo, en la fuerza normal y la fuerza tangencial al módulo. Así mismo, se conoce que la fuerza tangencial sólo produciría rozamiento, el cual es despreciable. Por ello hay que obtener la fuerza normal para así diseñar los componentes en función de la misma.

Siendo el ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico α , la carga normal es:

$$q_N = q_b \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (1.2)$$

Además dicha carga se descompondrá en componente vertical y horizontal para facilitar los futuros cálculos y simulaciones de la resistencia de las piezas del mecanismo.

Como limitamos el ángulo de inclinación a 65° , las cargas son:

Angulo [°]	F normal [N]	F normal (vertical) [N]	F normal (horizontal) [N]
5	96,72	96,35	8,43
10	192,71	189,78	33,46
15	287,23	277,44	74,34
20	379,56	356,67	129,82
25	469,00	425,06	198,21
30	554,88	480,54	277,44
35	636,53	521,42	365,10
40	713,34	546,45	458,53
45	784,72	554,88	554,88
50	850,13	546,45	651,23
55	909,06	521,42	744,66
60	961,08	480,54	832,32
65	1005,78	425,06	911,55

Tabla 1.2. Fuerza ejercida por la acción del viento sobre el módulo fotovoltaico.

Estas cargas, combinadas con los pesos propios y las cargas producidas por la nieve serán las utilizadas para el cálculo de las resistencias de los componentes del mecanismo.

1.3 Momento torsor generado.

Debido a la geometría del soporte de la placa y del eje horizontal, la inclinación de la misma provoca un momento torsor sobre el eje. Para calcular dicho momento se debe tener en cuenta los pesos propios y las distancias a las que se encuentran del centro del eje.

En primer lugar, la masa del módulo fotovoltaico Sunmodule SW poli RMA es de 5,6 kg. Además tiene un marco de 34 mm, pero éste irá apoyado sobre los módulos. Se considerará que la distancia desde el punto de apoyo al centro de masas del mismo es de 10mm. Esto es una consideración que dará unos resultados mayores a los reales. Éste momento mayorado asegurará que el motor tenga potencia suficiente para vencer el momento generado, así como las fuerzas de rozamiento que puedan generarse en los componentes de la transmisión del par.

Con respecto al soporte de la placa tenemos las siguientes características físicas, obtenidas directamente del programa SolidWorks.

Masa [gramos]	761,71
Volumen [milímetros cúbicos]	282113,09
Centro de masa	
X [mm]	268,87
Y [mm]	12,48
Z [mm]	220

Tabla 1.3. Propiedades físicas del soporte placa

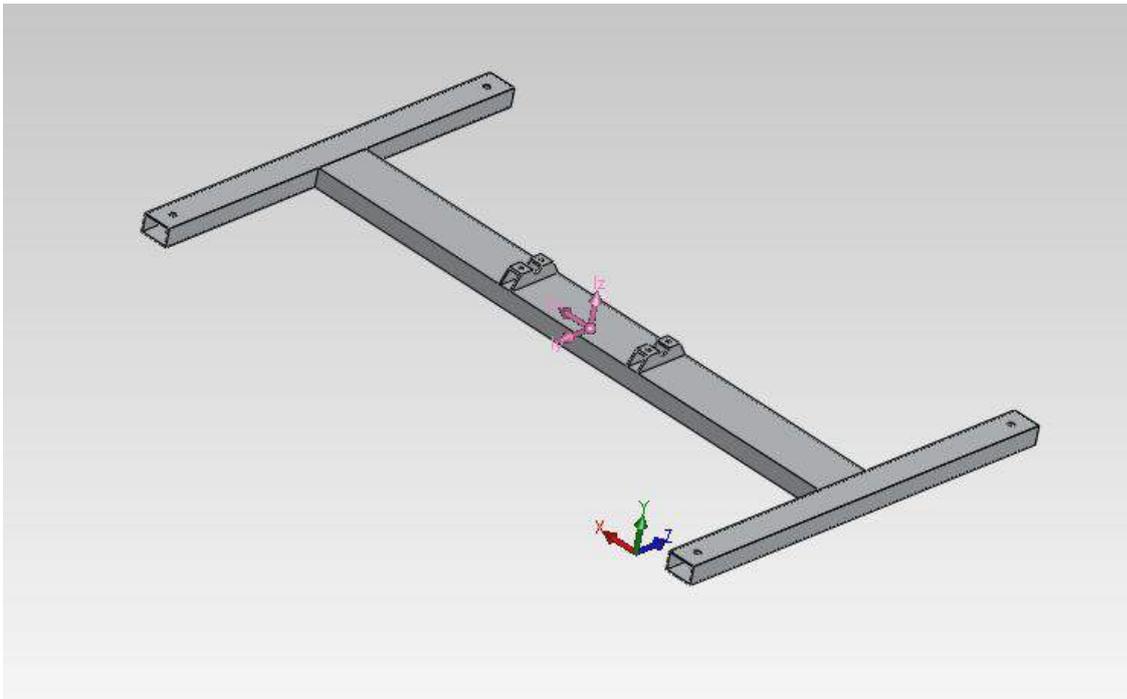


Figura 1.1. Vista isométrica del soporte placa.

Por último, se conoce que el momento producido es máximo cuando el ángulo de inclinación de la placa es 65° . Por lo que el momento es:

$$M = F \cdot d \quad (1.3)$$

Además se conoce que la fuerza es:

$$F = m \cdot g \quad (1.4)$$

Dónde las fuerzas de cada elementos son:

$$F_{\text{módulo}} = 5,6 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 54,94 \text{ N}$$

$$F_{\text{soporte}} = 0,762 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7,48 \text{ N}$$

Con todo ello, se obtiene el momento empleando la ecuación 1.3:

$$\begin{aligned} M_i &= (7,48 \text{ N} \cdot (0,035 - 0,01248) \text{ m} + 54,94 \text{ N} \cdot (0,035 + 0,01) \text{ m}) \cdot \cos(90^\circ - 65^\circ) \\ &= 2,39 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Por último se redondeará por encima para tener en cuenta las pérdidas debido al rozamiento de los mecanismos de transmisión del par, dando:

$$M_i = 3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2 Cálculo elementos transmisión.

2.1 Engranajes eje horizontal.

En primer lugar es conocer el par torsional que produce el motor. En este caso, el motor eléctrico paso-paso elegido es 440-464, cuyas características son:

RS stock no.	440-420	440-436	440-442	440-458	440-464	440-470
Rated voltage (V)	5	12	5	12	3	2.5
Rated current (I)	0.5	0.16	1	0.6	2	4.5
Resistance (Ω)	10	75	5	20	1.5	0.56
Inductance (mH)	6	36	9	32	4.5	2.8
Detent torque (mHm)	5	4	30	30	40	100
Holding torque (mNm)	70	70	500	500	1200	2200
Step angle accuracy (%)	5	5	5	5	5	5
Step angle	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Insulation class	B	B	B	B	B	B

Tabla 2.1. Características motores paso a paso.

La relación de transmisión que se busca es 1/6. Con ésta se calculará que el momento ejercido final, teniendo en cuenta el mecanismo de discos de fricción para mantener la placa estática en ausencia de potencia del motor y los rozamientos de los componente.

Además debido al espacio que hay en la caja de engranajes, hay que colocar dos engranajes intermedios para que se pueda colocar el motor eléctrico en una posición que no reduzca el ángulo de inclinación ni tropiece con otras piezas en el movimiento de ambos ejes.

Para conseguir esa relación de engranajes se fija el engranaje pequeño, debido al diámetro del eje del motor, el cual es 9,25mm.

Empleando el catálogo de engranajes del fabricante Japonés KHK, se selecciona el engranaje SSY1-20B, el cual presenta un módulo 1, y 20 dientes. El diámetro interior, es de 8 mm, pero se le realizará un rectificado para que encaje con el eje del motor. Además, el momento que soportan los dientes es de 3,45 N·m, por lo que resiste perfectamente el momento que se le aplicará.

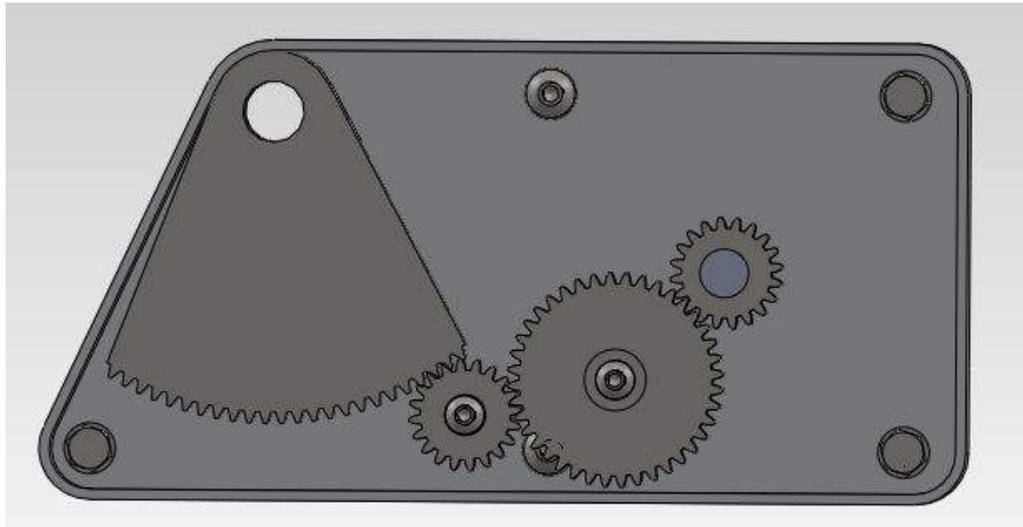


Figura 2.1. Disposición engranajes dentro de la reductora del eje horizontal.

Teniendo éste engranaje definido, y por medio de la ecuación de relación de transmisión obtenemos el número de dientes del engranaje conducido, ya que los engranajes intermedios no interfieren en la relación final, ya que están colocados en serie.

$$i = \frac{Z_{conductor}}{Z_{conducido}} \quad (2.1)$$

$$Z_{conducido} = \frac{20}{\frac{1}{6}} = 120 \text{ dientes}$$

En el catálogo hay un engranaje SSY1-120A, el cual tiene el mismo módulo, pero con 120 dientes. Además el diámetro interno es de 12 mm, por lo que coincide exacto con el eje horizontal que se ha seleccionado para el mecanismo.

El momento torsor máximo que se resiste éste engranaje es de 32,1 N·m. Al tener una relación de transmisión 1/6, el momento que aplicará el motor sobre este engranaje es de:

$$M_{salida} = \frac{M_{entrada}}{i} = \frac{1,2 \text{ N} \cdot \text{m}}{\frac{1}{6}} = 7,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El engranaje soportará el par torsional que se le aplicará.

Por otro lado, los engranajes intermediarios serán SSY1-40 (módulo 1 y 40 dientes) y otro SSY1-20. Éstos también soportan los momentos, ya que el primero se le aplicará un momento de 2,4 N·m y al segundo 1,2 N·m, mientras que los resistentes son 8,84 N·m y 3,45 N·m.

2.2 Engranajes eje vertical.

Como éste eje gira sobre unos rodamientos de contacto angular, las pérdidas de momento debido al rozamiento son despreciables, por lo que el diseño de los engranajes es mayormente por causa de distancia entre el motor eléctrico y el eje.

Para éste caso, el engranaje que se conecta al motor se colocará un SSY1-50A (modulo 1 y 50 dientes) Éste resiste el par torsional que ejerce el motor, ya que resiste hasta un máximo de 11,7 N·m, mientras que el motor sólo entrega 1,2 N·m.

Por otro lado, el engranaje que se acoplará al eje vertical será un SSAY1-100 (módulo 1 y 100 dientes). A éste se le realizarán dos perforaciones, tal y como aparece en el plano 1.23, para que transmitan el giro al eje vertical por medio de la pieza de sujeción. Además, el momento que soportan los dientes de este engranaje es de 26,2 N·m, mientras que el momento que se le aplica será:

$$i = \frac{50 \text{ dientes}}{100 \text{ dientes}} = \frac{1}{2}$$

$$M_{salida} = \frac{M_{entrada}}{i} = \frac{1,2 \text{ N} \cdot \text{m}}{\frac{1}{2}} = 2,4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Como se puede observar, el engranaje resiste mucha mas carga de la que soportará realmente.

2.3 Discos de fricción.

La función de los discos de fricción es mantener estática la placa mientras no ejerza potencia el motor. Estos discos irán acoplados al mismo eje del motor, en el primer engranaje. Por lo que el momento que tienen que generar debe ser:

$$M_{DF} = M \cdot i = 3 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \frac{1}{6} = 0,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Para calcular la fuerza que hay que aplicar entre los discos se emplea la ecuación del momento torsor para dos discos en contacto:

$$M_R = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot Q \cdot R \quad (2.2)$$

Dónde:

μ Coeficiente de fricción estático. Para Al-Al se tiene: $\mu = [1,05 - 1,35]$ Además presenta un coeficiente dinámico $\mu = 1,4$

Q Fuerza normal al disco.

R Radio de los discos.

Con todo esto, fijamos el valor del radio del disco a 20mm, y obtenemos la fuerza que debe ejercer el resorte despejando la ecuación 2.2. Como el valor del coeficiente de fricción varía según el mecanizado de la pieza, se calculará para los casos extremos.

Para $\mu = 1,05$:

$$Q = \frac{M_R \cdot 3}{\mu \cdot R \cdot 2} = \frac{500 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 3}{1,05 \cdot 20 \text{ mm} \cdot 2} = 35,71 \text{ N}$$

Para $\mu = 1,4$:

$$Q = \frac{M_R \cdot 3}{\mu \cdot R \cdot 2} = \frac{500 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 3}{1,4 \cdot 20 \text{ mm} \cdot 2} = 26,79 \text{ N}$$

2.4 Resorte.

El resorte será elegido del catalogo de resortes de carga ligera del fabricante Totalmatrix. Éste resorte es el encargado de generar una fuerza normal en los discos de fricción, para que éstos a su vez, generen un momento de retención. Como la fuerza que hay que ejercer es pequeña, se empleará el resorte más pequeño V10-025, cuyas características son:

D_H	D_d	L_o	N° de catálogo	Rigidez	25%		30%		37,5%		D	
					3.000.000		1.500.000		Máximo Deflección		Aprox.	
b x h		mm		N / mm	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N
10	5											
		25	V 10 - 025	10	6.3	63	7.5	75	10.0	100	13.5	135
		32	V 10 - 032	8.5	8.0	68	9.6	82	12.8	109	17.5	149
		38	V 10 - 038	6.8	9.5	65	11.4	78	15.2	103	20.8	141
		44	V 10 - 044	6.0	11.0	66	13.2	79	17.6	106	23.9	143
		51	V 10 - 051	5.0	12.8	64	15.3	77	20.4	102	28.9	145
		64	V 10 - 064	4.3	16.0	69	19.2	83	25.6	110	36.1	155
		76	V 10 - 076	3.2	19.0	61	22.8	73	30.4	97	43.2	138
1.7 x 1.1	305	V 10 - 305	1.1	76.3	84	91.5	101	122.0	134	178.7	197	

Tabla 2.2. Características geométricas y físicas de los resortes de carga ligera.
Fuente: Catalogo Totalmatrix.

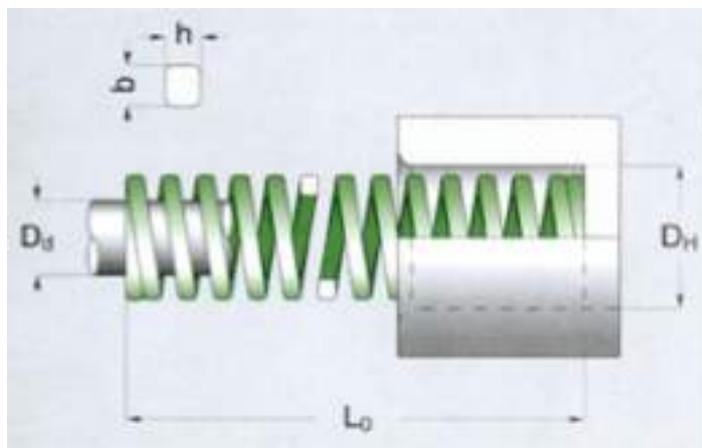


Figura 2.2. Medidas geométricas resorte carga ligera.
Fuente: Catalogo Totalmatrix.

Ahora teniendo el resorte seleccionado, hay que calcular la compresión necesaria para ejercer las fuerzas requeridas. Para ello se emplea la ley de Hooke:

$$F = K \cdot l \quad (2.3)$$

Dónde:

K Constante de rigidez del resorte.

l Longitud de compresión.

$$l_{max} = \frac{35,71 N}{10 \frac{N}{mm}} = 3,57 mm$$

$$l_{min} = \frac{26,79 N}{10 \frac{N}{mm}} = 2,68 mm$$

Por último se verifica que la compresión ejercida no superé la deflexión máxima, la cual es un 50%.

$$l_{maxdeflex} = 25 mm \cdot 0,5 = 12,5 mm$$

La deflexión requerida por el sistema entra dentro del rango del resorte seleccionado.

2.5 Momento transmitido al eje horizontal.

Con los datos obtenidos en los apartados 2.1 y 2.2, se puede calcular el momento total que transmite el motor al eje horizontal del sistema de seguimiento solar.

Para ello se conoce que el momento que genera la inclinación de la placa es:

$$M_i = 2,39 N \cdot m$$

Además, se estima que el momento generado por la fricción del resto de elementos, excluyendo los discos de fricción, es un 30% del momento inducido por el peso:

$$M_{RE} = 2,39 N \cdot m \cdot 0,20 = 0,48 N \cdot m$$

Por otro lado, el disco de fricción genera un momento de retención sobre el eje horizontal de:

$$M_{DF} = 3 N \cdot m$$

Por último, el motor ejerce un momento de 1,2 N·m, pero con la reductora, el momento que transmite al eje es:

$$M_M = 7,2 N \cdot m$$

Con todo ello, el momento que se transmite al módulo fotovoltaico cuando actúa el motor eléctrico es:

$$M_{eje} = 7,2 - 3 - 0,48 - 2,39 = 1,33 \text{ N} \cdot \text{m}$$

En conclusión, la fuerza que se transmite al soporte de la placa fotovoltaica para moverla cuando ésta está inclinada 65° es de $1,33 \text{ N} \cdot \text{m}$. Dicho momento es suficiente para conseguir el movimiento deseado, ya que éste es inversamente proporcional al ángulo de inclinación del módulo.

2.6 Rodamientos eje vertical.

Los rodamientos del eje vertical son los encargados de absorber las fuerzas externas que se aplican sobre la placa fotovoltaica, garantizando así mismo el giro libre.

Como aparecen fuerzas en la dirección axial y perpendicular al eje vertical, hay que colocar unos rodamientos de bolas de contacto angular.

La fuerza vertical que surge del peso propio, la carga de nieve, y el viento cuando sopla de frente al módulo fotovoltaico es resistida por el rodamiento superior. Por el contrario, cuando el viento sopla por la parte trasera del módulo, la fuerza vertical es ascendente, y ésta la transfiere el rodamiento inferior.

Ésta fuerza es máxima cuando la placa está inclinada 45° , teniendo un valor de:

$$F_V = -657,12 \text{ N}$$

Por otro lado, la fuerza horizontal es máxima cuando la placa fotovoltaica está inclinada 65° , en la cual se ejerce una fuerza de $911,55 \text{ N}$. Como ésta fuerza se ejerce a una distancia de 86 mm del centro del rodamiento superior hacia arriba, y la distancia entre centros de rodamientos es 112 mm , se calcula la fuerza que ejerce en cada rodamiento por medio del siguiente esquema:

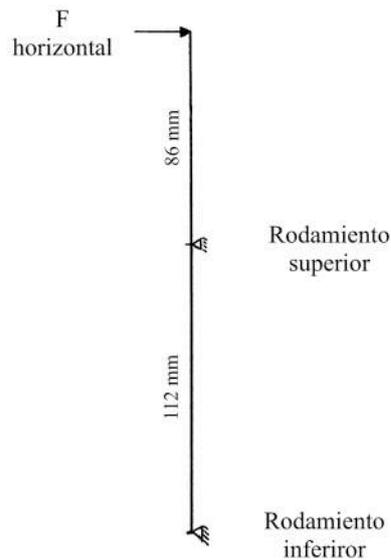


Figura 2.3. Esquema fijación eje vertical con rodamientos.

Realizando un sumatorio de fuerzas y reacciones en el sistema, e igualándolo a cero, debido a que todo sumatorio de fuerzas debe ser cero para que no haya aceleración, se obtiene:

$$F_H + R_S + R_I = 0$$

Además, si se realiza el sumatorio de momentos sobre el rodamiento inferior, se consigue una segunda ecuación con la que resolver las reacciones. Para ello se supone inicialmente que las reacciones tienen la misma dirección que la fuerza horizontal.

$$M_{RI} = -R_S \cdot 112 \text{ mm} - F_H \cdot (112 + 86) \text{ mm} = 0$$

Dicho momento en el rodamiento inferior también ha de ser igual a cero.

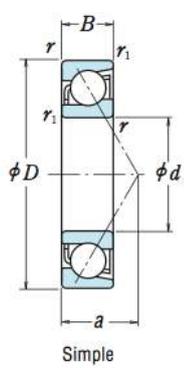
Resolviendo el sistema de ecuaciones de dos incógnitas se obtiene:

$$R_S = \frac{-911,55 \text{ N} \cdot 198 \text{ mm}}{112 \text{ mm}} = -1611,49 \text{ N}$$

$$R_I = -911,55 \text{ N} - (-1611,49 \text{ N}) = 699,94 \text{ N}$$

Para simplificar el mecanismo, se seleccionarán los dos rodamientos iguales, por lo que tendrán que soportar una carga radial de 1611,49 N y una axial de 657,12 N.

Para ello se empleará el catalogo de rodamientos de la marca NSK. Deberá ser un rodamiento de bolas de contacto angular, con un diámetro interior de 40mm.



d	Dimensiones (mm)					Índices Básicos de Carga (Simple) (N)				Factor f_0	Velocidades Límite ($^{\circ}$) (rpm)		Centros Efectivos de Carga (mm) a	Dimensiones de Tope y Chafán (mm)			Masa (kg) aprox.
	D	B	r min.	r1 min.	C_r	C_{0r}	C_r	C_{0r}	Grasa		Aceite	d_a min.		D_a máx.	r_a máx.		
40	62	12	0.6	0.3	14 300	11 200	1 460	1 140	—	14 000	18 000	17.9	45	57	0.6	0.11	
	62	12	0.6	0.3	15 100	11 700	1 540	1 200	15.7	16 000	22 000	12.8	45	57	0.6	0.109	
	68	15	1	0.6	19 500	15 400	1 990	1 570	—	10 000	14 000	23.1	46	62	1	0.19	
	68	15	1	0.6	20 600	15 900	2 100	1 620	15.4	15 000	20 000	14.7	46	62	1	0.213	
	80	18	1.1	0.6	35 500	25 100	3 600	2 560	—	9 500	13 000	26.3	47	73	1	0.375	
	80	18	1.1	0.6	32 000	23 000	3 250	2 340	—	6 700	9 000	34.2	47	73	1	0.383	
	80	18	1.1	0.6	36 500	25 200	3 700	2 570	14.1	14 000	19 000	17.0	47	73	1	0.418	
	90	23	1.5	1	49 000	33 000	5 000	3 350	—	7 100	9 000	30.3	49	81	1.5	0.633	
	90	23	1.5	1	45 000	30 500	4 550	3 100	—	6 300	8 500	38.8	49	81	1.5	0.648	

Tabla 2.3. Características rodamientos contacto angular NSK.

Fuente: Catálogo NSK.

El rodamiento seleccionado es el primero de la gama de 40 mm de diámetro interior. Éste resiste unas fuerzas muy superiores a las que se les va a someter, por lo que tendrán además una larga durabilidad.

3 Resistencia mecánica de las piezas con simulación de elementos finitos empleando el programa SolidWorks.

Se ha realizado simulaciones de elementos finitos a todas las piezas que soportan cargas importantes, así como las piezas complejas para evitar realizar su cálculo de forma manual.

En estas simulaciones se ha excluido la resistencia de las soldaduras, ya que éstas se calcularán en el apartado 4 con las ecuaciones correspondientes, tal como se explica el en libro *Elementos de máquinas – G. Niemann*.

Por último, todas las piezas que se han estudiado mediante el programa serán fabricadas en aluminio 6063-T5, cuyo límite elástico es de 145 N/mm^2 .

3.1 Soporte placa.

Para realizar la simulación de este elemento, se ha descompuesto en 2 piezas. La primera corresponde a los perfiles rectangulares, los cuales se han estudiado tratándolos como vigas, y la segunda es la pieza que se ancla al eje horizontal, la cual se trató como elemento tridimensional.

3.1.1 Vigas.

Para la primera pieza se realiza una simulación tratando el elemento estructural como vigas, lo cual hace que se reduzca la memoria computacional del programa y aproxime mucho más el resultado de la tensiones equivalentes que si se estudiara como una pieza en tres dimensiones.

El primer paso es definir el material de las vigas, siendo aluminio 6063-T5.

Por otro lado, las cargas aplicadas sobre los dos miembros estructurales externos son de 555N a cada uno de ellos. Esta carga corresponde a la máxima fuerza normal aplicada sobre el módulo debido al viento, y al peso propio del módulo fotovoltaico. Esta carga total sería:

$$F_T = 1005,78 N + 56 N = 1061,78 N$$

$$F_{Elemento} = \frac{1061,78 N}{2} = 530,9 N$$

La carga aplicada a cada viga se ha mayorado levemente para estar del lado de la seguridad, definiendo 555 N, en vez de los 530,9 N reales.

Además se ha restringido los desplazamientos en todas las direcciones en los dos nudos centrales de la viga intermedia, los cuales corresponden a los puntos donde se colocan soldadas las dos piezas que fijan el soporte de la placa al eje horizontal del mecanismo. Se han dejado libres los grados de libertad correspondiente a los giros.

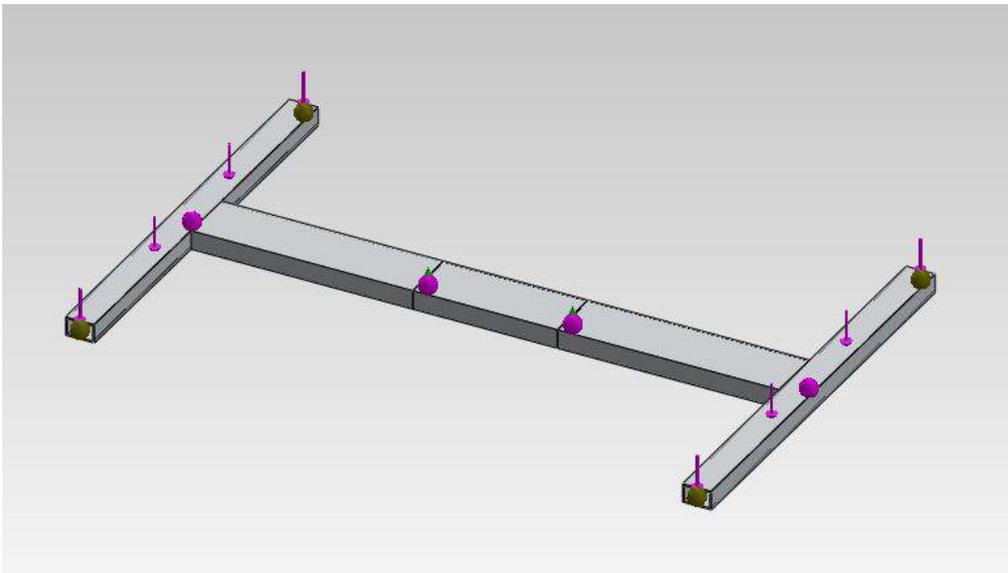


Figura 3.1. Soporte placa con cargas y sujeciones.

El mallado que se ha realizado en éste miembro estructural ha sido un mallado fino, compuesto por 129 elementos, los cuales hacen que el calculo de resistencia tenga una gran precisión.

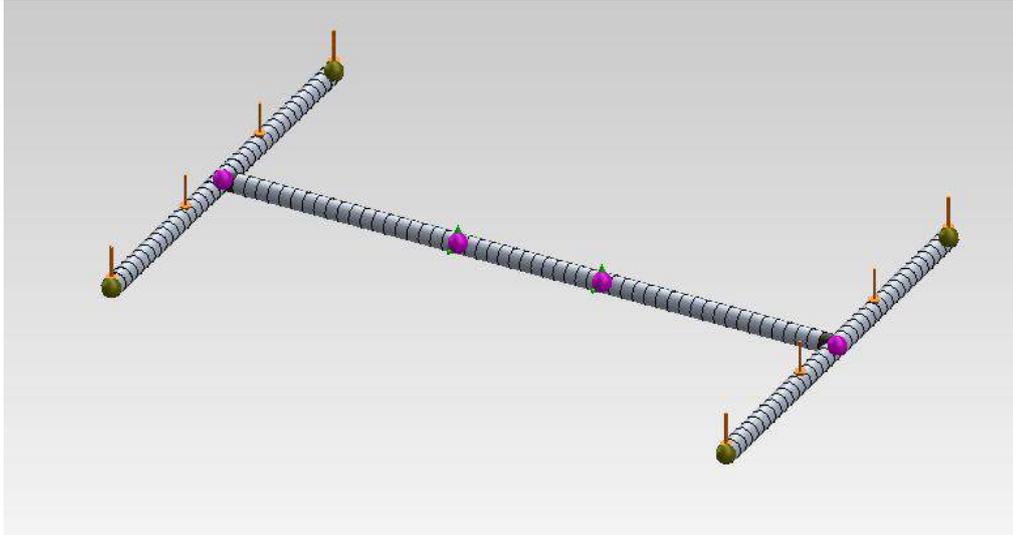


Figura 3.2. Malla soporte placa.

Una vez tenemos definidas las cargas, las restricciones de movimiento y el tamaño del mallado, ejecutamos la simulación. Seleccionamos el grafico de tensiones equivalentes para comprobar cuales son las tensiones internas que se generan.

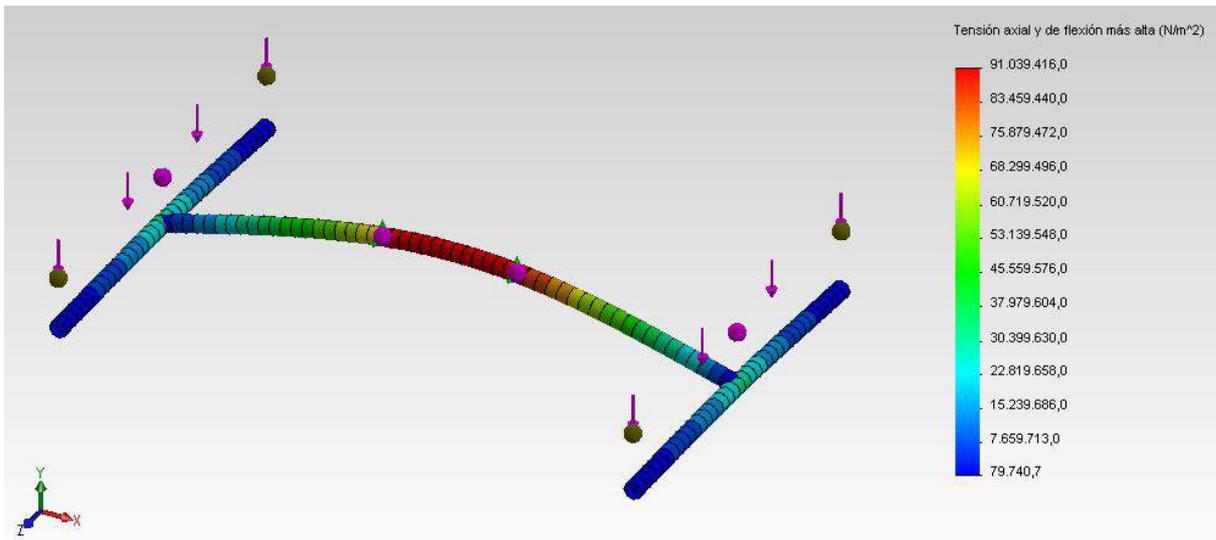


Figura 3.3. Tensiones en el soporte placa.

Como se observa en la imagen 3.3, la tensión máxima de la estructura es de 91 N/mm^2 . Como la tensión admisible del material es de 145 N/mm^2 , por lo que la pieza resistirá perfectamente las cargas aplicadas.

3.1.2 Pieza Sujeción Eje horizontal.

Por otro lado, ahora se analizarán las dos piezas que se unen al eje horizontal. El estudio se dividirá en dos partes. La primera será cuando el viento ejerce una presión hacia abajo, correspondiente a cuando el viento sopla por la cara frontal del módulo, mientras que la segunda corresponderá al viento soplando por la parte trasera, lo cual creará una fuerza ascendente.

3.1.2.1 Carga hacia abajo.

En este apartado se conoce que la carga aplicada sigue siendo la misma que en el 2.1.1. Restringiremos el movimiento en todas direcciones de los agujeros donde se apoya la pieza sobre el eje horizontal. Por otro lado, en el estudio se definirá el elemento estructural como una pieza en tres dimensiones, ya que no se puede simplificarla con ningún tipo de simulación en dos dimensiones, las cuales reducen la memoria computacional empleada.

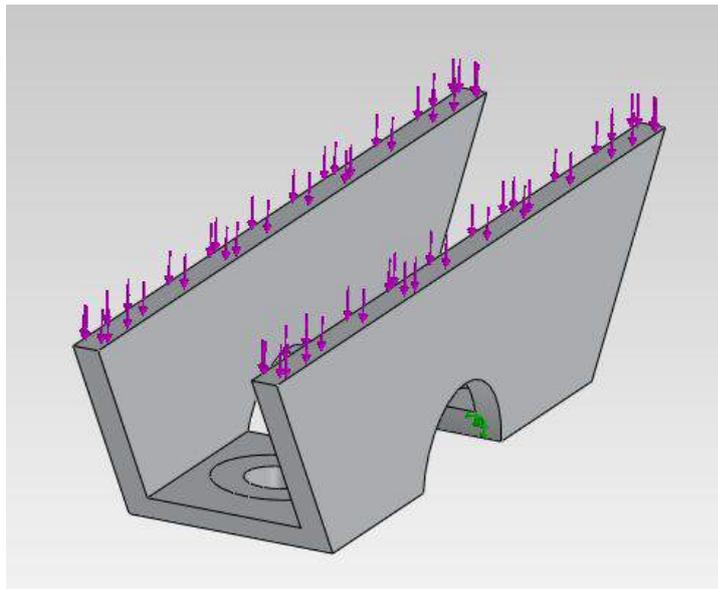


Figura 3.4. Pieza sujeción eje horizontal con cargas hacia abajo y restricciones.

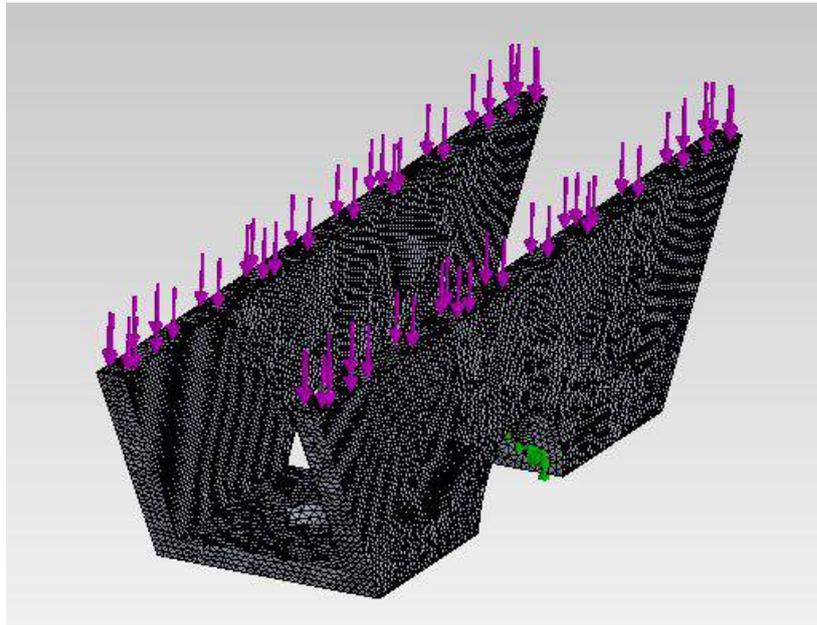


Figura 3.5. Mallado pieza sujeción eje horizontal cargas hacia abajo.

Para el mallado se ha definido uno fino, de 116667 elementos. Esto ha sido así para que el espesor de la placa sea definido como mínimo tres elementos. Con ello, al ejecutar, se conseguirá una simulación con una gran aproximación al valor real la tensión máxima.

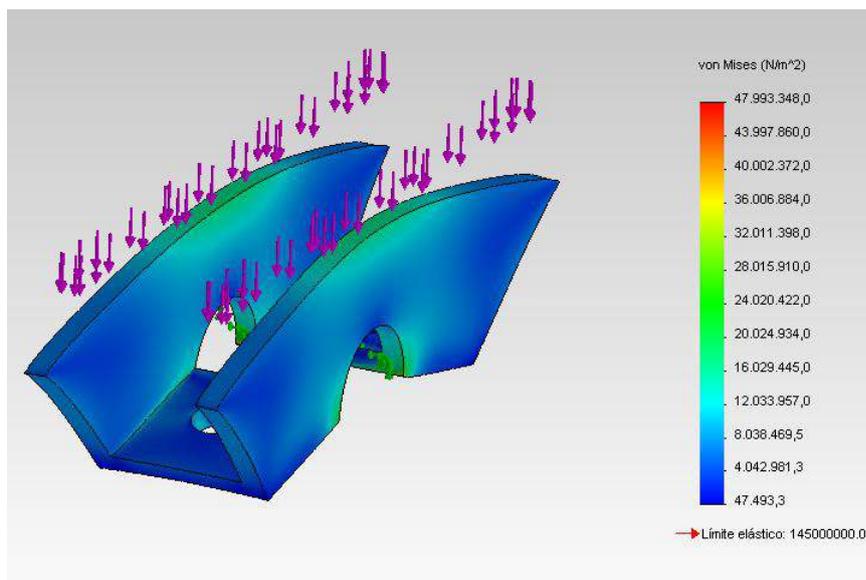


Figura 3.6. Tensiones pieza sujeción eje horizontal cargas hacia abajo.

Como se observa en la figura 3.6, la tensión máxima sobre la pieza es sobre 48 N/mm², mientras que la tensión admisible del material es 145 N/mm². Con ello garantizamos que soportará las cargas a las que estará sometido.

3.1.2.2 Carga hacia arriba.

Como en el apartado anterior, la carga será de la misma magnitud (555 N), pero con sentido contrario. En este caso, se restringirán los desplazamientos de la zona atornillada, más concretamente dónde se apoyarán las arandelas de los tornillos. Esto es así, ya que como la fuerza tirará de los mismo, éstos son los que realizarán la fuerza de reacción. Por otro lado, se restringirá el movimiento lateral de los extremos dónde se aplica la fuerza. Esto es para aproximar aún más el valor real, debido a que gracias a la soldadura, la pieza estará fijada y no permitirá dicho movimiento.

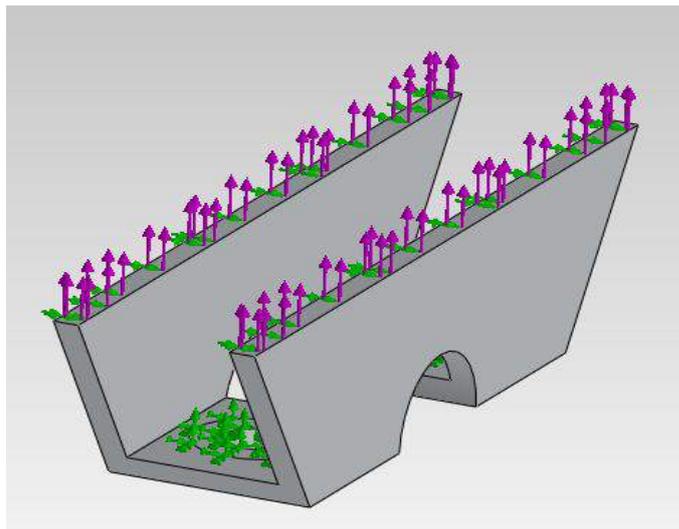


Figura 3.7. Pieza sujeción eje horizontal con cargas hacia arriba y restricciones.

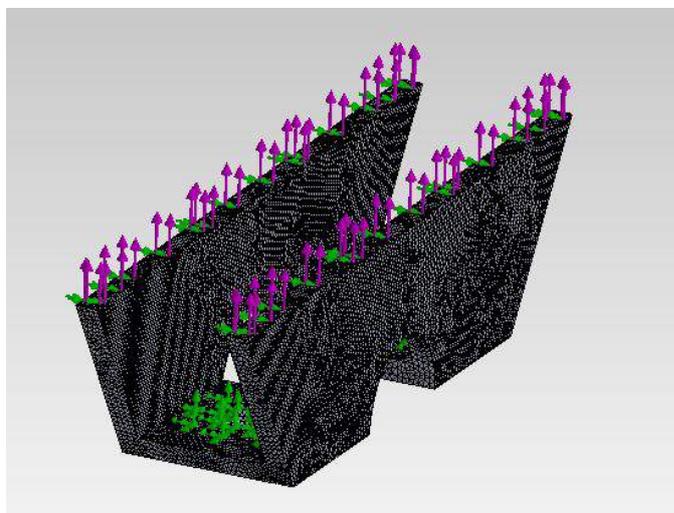


Figura 3.8. Malla pieza sujeción eje horizontal con cargas hacia abajo.

El mallado sigue siendo el mismo que en el apartado anterior, ya que garantizaba un resultado fiable.

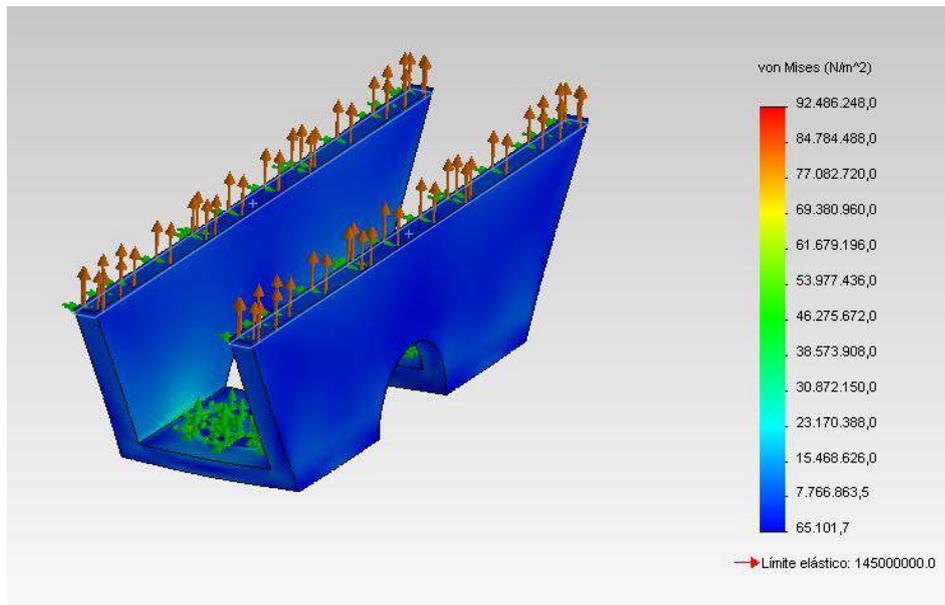


Figura 3.9. Tensiones pieza sujeción eje horizontal con cargas hacia abajo.

En este caso las cargas aplicadas producen sobre la pieza unas tensiones de 92 N/mm². Como el límite elástico del aluminio 6063-T5 es de 145 N/mm², la pieza resistirá correctamente.

3.2 Eje horizontal.

En el estudio del eje horizontal se realizará con una simulación de elemento en tres dimensiones, ya que no se puede simplificar con ningún otro tipo de simulación.

Las cargas que actúan sobre este elemento son las transmitidas por el Soporte de Placa, así como el momento torsor que produce el peso propio de la misma cuando esta inclinada. Como el valor máximo de inclinación es de 65°, el momento torsor provocado, y ejercido por el motor eléctrico será de 3Nm, como se observa en el apartado 1.3.

Las fuerzas transmitidas sobre los puntos de apoyo del Soporte de Placa son más críticas en los ángulos de inclinación de 45° y 65°, ya que el primero tiene la componente vertical más elevada, mientras que la segunda, la horizontal es la mayor del rango de inclinación.

- Placa inclinada 45°:

$$F_H = 554,88 \text{ N}$$

$$F_V = 554,88 \text{ N} + 46,24 \text{ N} + 56 \text{ N} = 657,12 \text{ N}$$

El primer término corresponde al viento, el segundo a la nieve, y el tercero al peso del módulo fotovoltaico.

- Placa inclinada 65°:

$$F_H = 911,55 \text{ N}$$

$$F_V = 425,06 \text{ N} + 56 \text{ N} = 481,06 \text{ N}$$

En este caso no tenemos carga debido a la nieve, ya que supera la inclinación en la cual se puede acumular sobre el módulo.

Se aplicará una geometría fija en la zona de sujeción del Soporte Placa, mientras que las cargas serán puestas en las zonas de apoyo de los agujeros del eje vertical, tal como se muestra en la figura 3.10.

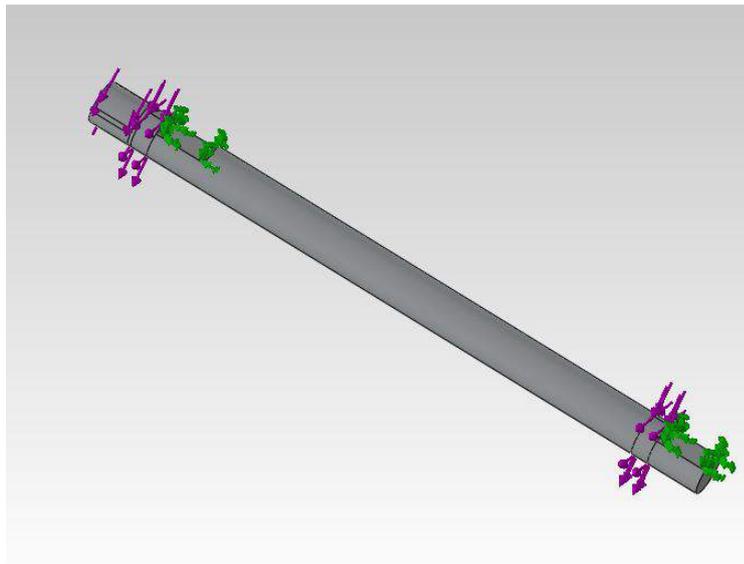


Figura 3.10. Eje horizontal con cargas y restricciones.

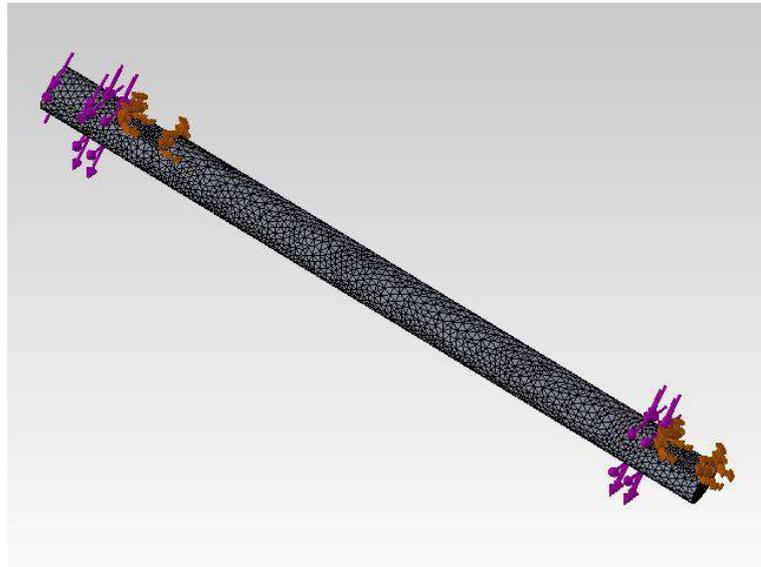


Figura 3.11. Mallado eje horizontal.

Para este análisis se aplica un mallado de elementos tridimensionales fino, de 35105 elementos, para que quede con suficiente precisión la concentración de tensiones.

Ejecutando el análisis con las cargas con inclinación de 45° obtenemos:

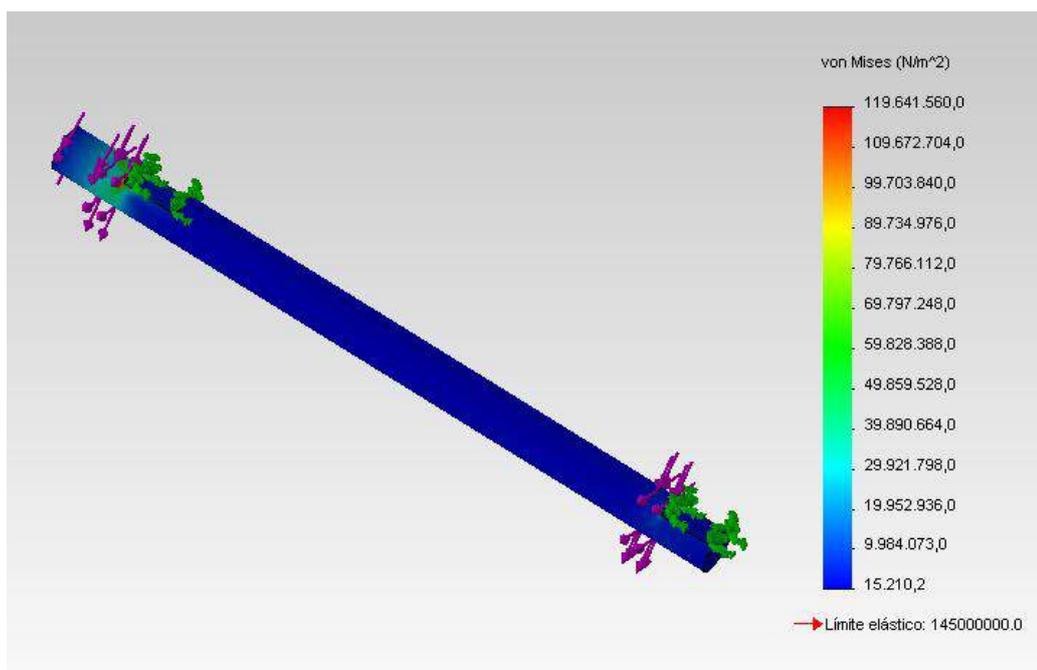


Figura 3.12. Tensiones eje horizontal con inclinación de 45°.

Y para las cargas correspondientes a una inclinación de 65°:

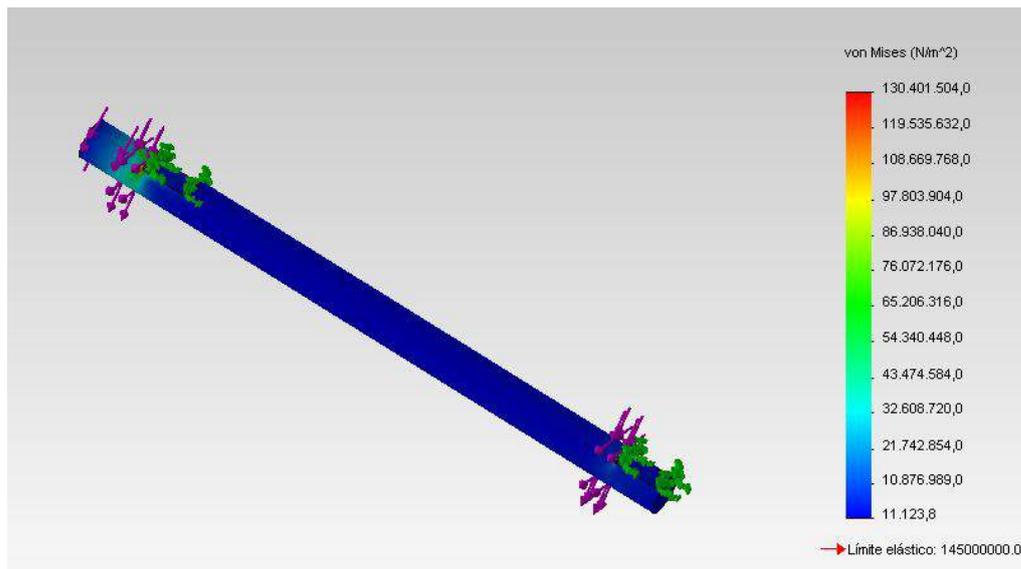


Figura 3.13. Tensiones eje horizontal con inclinación de 65°.

Como se observa en ambos análisis, las tensiones internas del componente están por debajo del límite elástico del material, el cual es 145 N/mm². Así mismo, se observa una concentración de tensiones en el lado izquierdo, debido al momento torsor que aplica el motor eléctrico y la sujeción que realizan los discos de fricción.

3.3 Eje vertical.

El eje vertical está fabricado, igual que el resto de piezas, en aluminio 6063-T5, cuya tensión admisible es de 145 N/mm².

Del mismo modo que el apartado anterior, la simulación se realizará empleando elementos finitos tridimensionales, los cuales deben haber como mínimo tres elementos definiendo el espesor de cada una de las chapas. Además se realizará un control de mallado más fino en aquellas zonas de concentración de tensiones.

Se realizarán cuatro estudios a esta pieza, ya que las cargas son máximas en los ángulos de inclinación 45° y 60°. También se estudiará cuando el viento sopla por la parte frontal y trasera del módulo fotovoltaico.

3.3.1 Placa inclinada 45°, viento parte delantera.

Las cargas aplicadas sobre esta pieza son las mismas que en el apartado 3.2.

Se despreciará el peso propio del soporte de la placa, la reductora y del eje horizontal, debido a que son cargas muy pequeñas en comparación con las ejercidas por el viento y la nieve.

$$F_H = 554,88 \text{ N}$$

$$F_V = -657,12 \text{ N}$$

Las restricciones que se aplicarán en este estudio serán geometría fija en las zonas donde estarán sujetando los rodamientos de contacto angular al eje, aunque realmente la carga vertical la absorberá la placa soldada donde apoyará el rodillo superior. El estudio se realizará de este modo para simplificar, ya que la soldadura de dicha placa se calculara en el apartado 4.2.

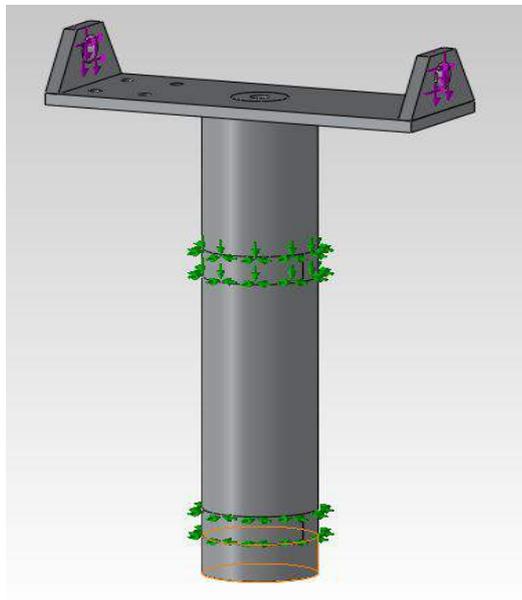


Figura 3.14. Eje vertical con fuerzas y restricciones con el viento aplicado en la parte delantera.



Figura 3.15. Mallado eje vertical.

Como se menciona anteriormente, se aplica un control de mallado en la zona de unión del tubo vertical con la placa horizontal, ya que es donde más se concentran tensiones en la pieza. Con todo ello la malla queda con 225610 elementos, cumpliendo que hayan un mínimo de tres en el espesor de las chapas.

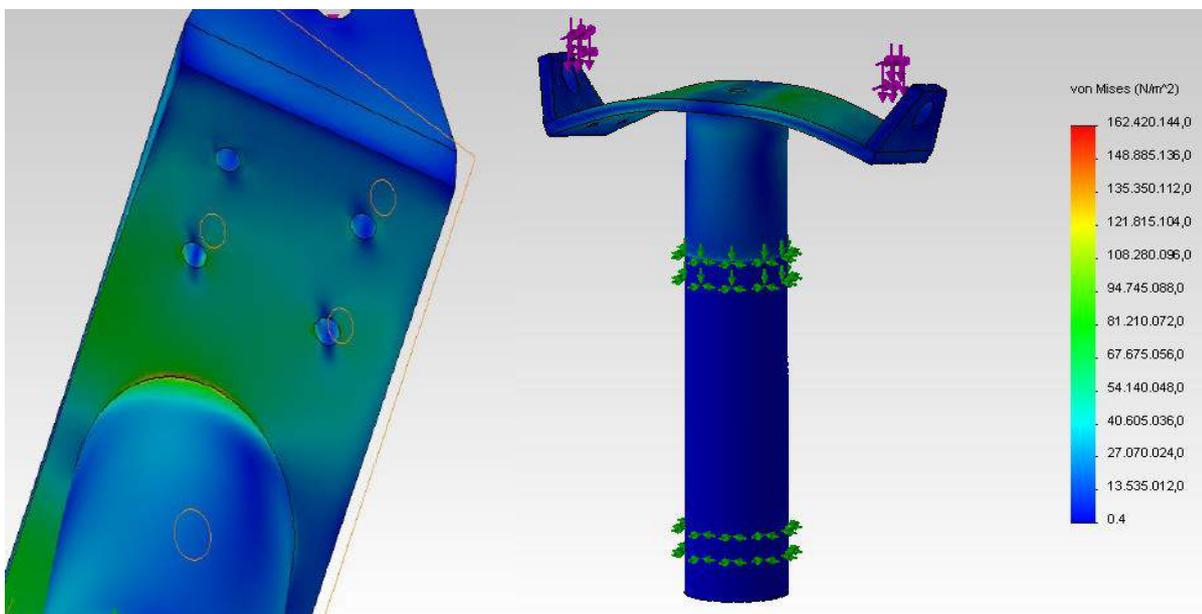


Figura 3.16. Tensiones eje vertical con inclinación de 45° y viento aplicado en la parte delantera.

Como se observa en la figura 3.16 la tensión supera por unos 20 N/mm² la tensión admisible del material. Esta tensión se concentra en la unión de la placa horizontal con el tubo vertical, justo en la soldadura. Dicha soldadura se ha calculado en el apartado 4.2, donde se ha verificado que la misma si resiste las cargas aplicadas sobre la pieza. Además, como se observa, la tensión en el resto de la pieza es como máximo 100 N/mm², por lo que damos por aceptable la resistencia general de la pieza a las cargas externas.

3.3.2 Placa inclinada 45°, viento parte trasera.

Las cargas externas que actúan sobre esta pieza con dicha disposición son:

$$F_H = 554,88 \text{ N}$$

$$F_V = 554,88 \text{ N}$$

No se restará el peso propio de la placa ni el soporte, ya que es más restrictivo así, y se garantizará la resistencia a las cargas que se le apliquen realmente.

Por otro lado, las restricciones en este estudio será fija de rodillos en las localizaciones donde se encuentren dichos elementos, y restringido el desplazamiento vertical de la zona de la chapa horizontal donde se encontrará el tornillo y la arandela que evitara que la placa se suelte hacia arriba.

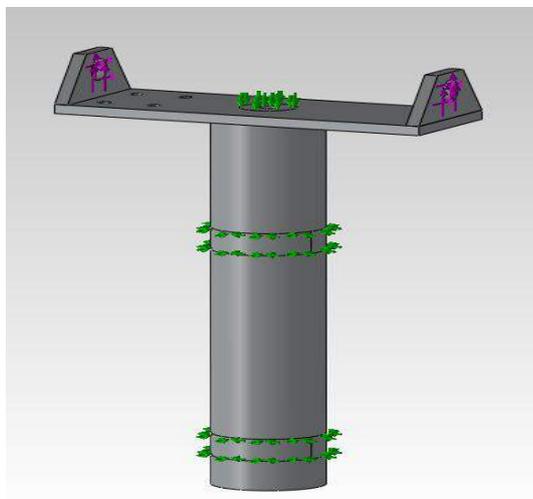


Figura 3.17. Eje vertical con fuerzas y restricciones con el viento aplicado en la parte trasera.

El mallado sigue siendo de elementos tridimensionales, y con el mismo número de elementos que el apartado 3.3.1.

Una vez están definidas las cargas, restricciones y mallado del estudio, se ejecuta para obtener los resultados de tensiones:

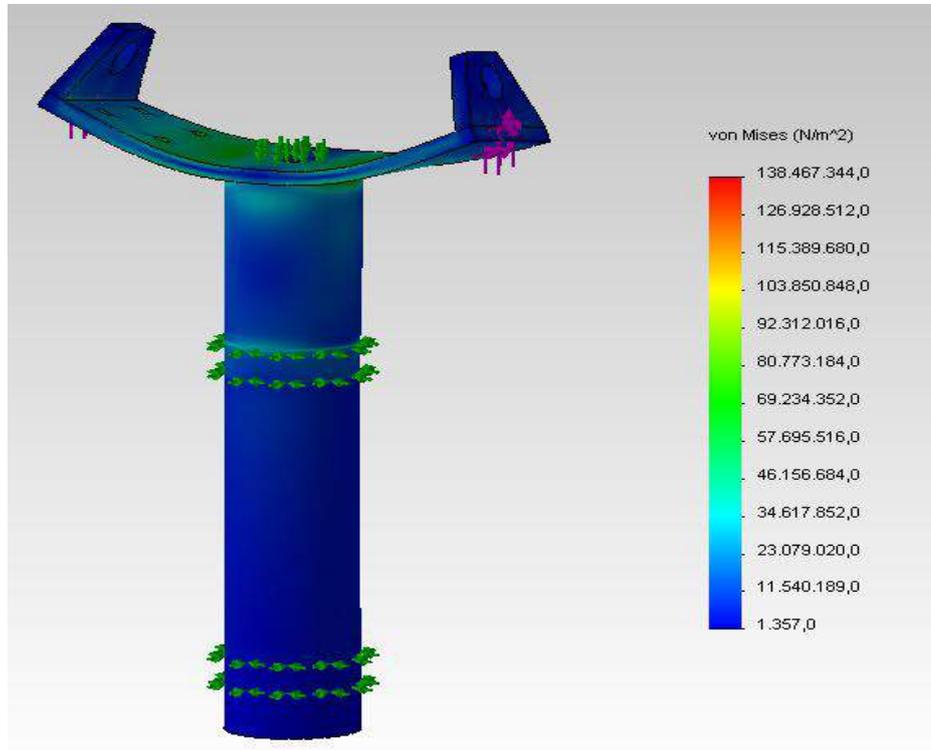


Figura 3.18. Tensiones eje vertical con inclinación de 45° y viento aplicado en la trasera.

En este caso se observa que la tensión a la que se expone la pieza no es superior a la tensión admisible del material, por lo que cumple los requisitos de cargas.

3.3.3 Placa inclinada 65°, viento parte delantera.

Este apartado es exactamente igual que el 3.3.1, en lo que a restricciones y mallado se refiere. Por otro lado, las cargas que se aplican en los agujeros para el eje horizontal si varían, siendo éstas:

$$F_H = 911,55 \text{ N}$$

$$F_V = -481,06 \text{ N}$$

Con ello se obtienen las siguientes tensiones internas en la pieza:

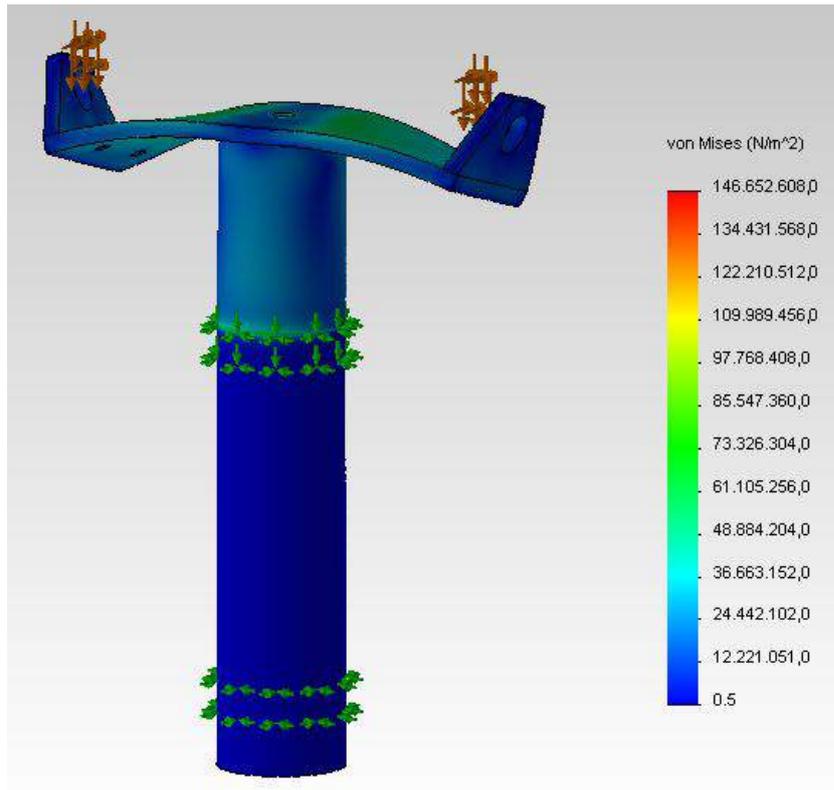


Figura 3.19. Tensiones eje vertical con inclinación de 65° y viento aplicado en la parte delantera.

Este caso es similar que el 3.3.1, ya que la tensión que sufre la pieza supera en 6 N/mm² la tensión admisible del material. Aún así, consideramos que soportará las cargas, ya que estas tensiones se concentran en la zona de soldadura e la pieza, la cual se calcula en el apartado 4.2, resultando correcta para las cargas externas aplicadas sobre este elemento del mecanismo.

3.3.4 Placa inclinada 65°, viento parte trasera.

Esta simulación es igual que la realizada en el apartado 3.3.2. Las restricciones y el mallado aplicado es igual, mientras que las cargas externas son:

$$F_H = 911,55 \text{ N}$$

$$F_V = 425,06 \text{ N}$$

Con todo ello se ejecuta el estudio y se obtienen unas tensiones:

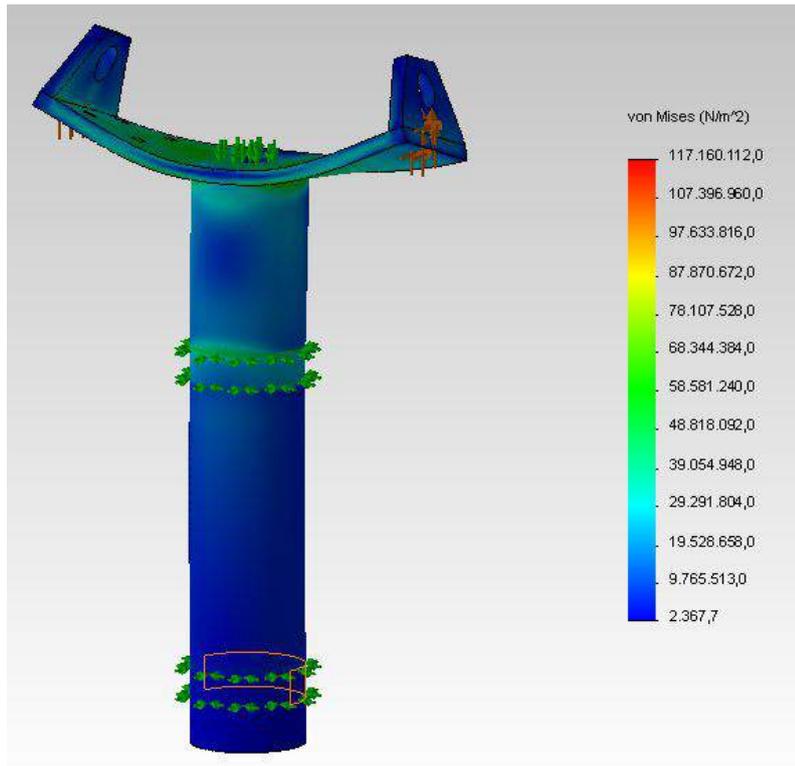


Figura 3.20. Tensiones eje vertical con inclinación de 5° y viento aplicado en la parte trasera.

En este estudio se comprueba que la pieza resiste correctamente las cargas, ya que no se supera la tensión admisible del aluminio 6063-T5.

3.4 Estructura.

Para realizar el estudio de simulación de la estructura, se ha optado por definirlo como una viga, en cuanto a elemento estructural se refiere. Con ello se conseguirá una mayor precisión empleando menor memoria computacional.

La viga está en la configuración de voladizo, donde está anclada en un extremo y libre en el otro. Por ello, se restringirá el movimiento y el giro en el nudo izquierdo.

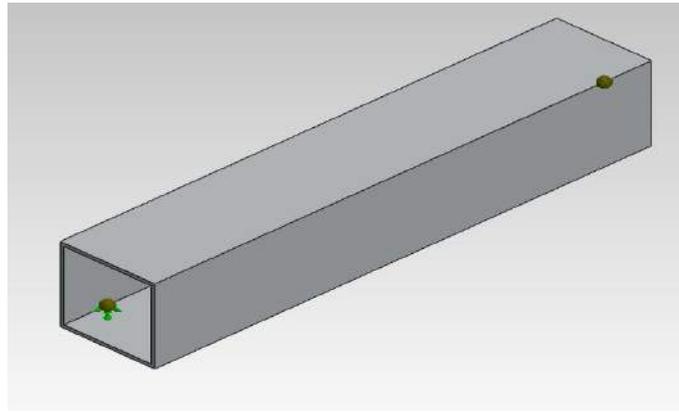


Figura 3.21. Estructura.

Las fuerzas externas se colocaran en el nudo derecho. Para simplificar los estudios, se considerarán que las cargas aplicadas son la máxima fuerza vertical con la máxima horizontal. Haciendo esto, se ira por el lado de la seguridad, y simplificamos a la mitad el número de ensayos, ya que sino habría que hacer un estudio con la placa inclinada 45° y otro con 65° , ya que son los casos mas conflictivos.

Por otro lado, la fuerza vertical siempre tendrá la misma dirección, pero la fuerza horizontal hay que estudiarla cuando vaya en dirección perpendicular y axial a la viga.

Con todo ello, el valor de las fuerzas aplicado a la estructura es similar a los apartados 2.3, pero añadiendo en la carga vertical un peso de 5kg, que es un valor mayorado de los pesos propios de los dos motores, los engranajes y resto de componentes.

$$F_H = 911,55 \text{ N}$$

$$F_V = 657,12 \text{ N} + 50 \text{ N} = 707,12 \text{ N}$$

Además la fuerza horizontal no actúa sobre el centro de la sección de la viga, sino que se aplica a una distancia d 192 mm, por lo que ésta excentricidad produce un momento. Cuando la fuerza tiene dirección axial, el momento es flector sobre el eje y , mientras que para la componente tangente, el momento es torsor, sobre el eje x . El valor de éste es:

$$M = F_H \cdot d = 911,55 \text{ N} \cdot 0,192 \text{ m} = 175,08 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Por último se realiza un mallado fino, de 41 elementos y se ejecutan las dos configuraciones de cargas.

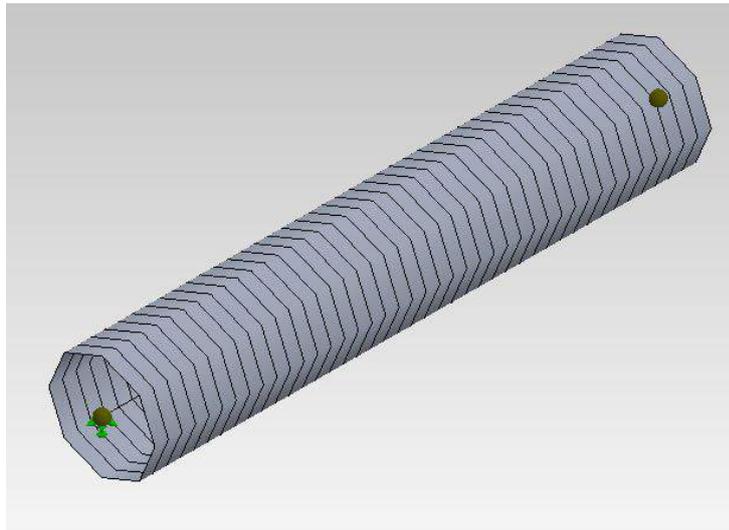


Figura 3.22. Mallado estructura.

Las tensiones obtenidas para la estructura cuando la fuerza horizontal es transversal:

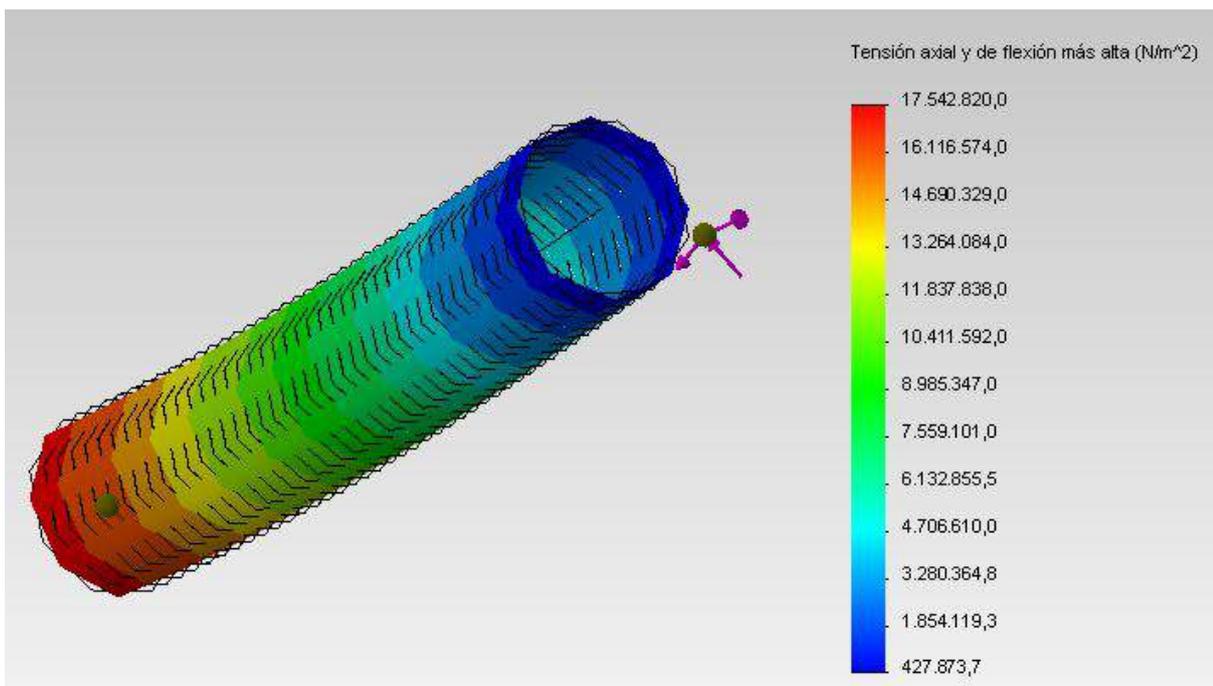


Figura 3.23. Tensiones estructura con la fuerza horizontal transversal.

Por otro lado, las tensiones cuando la carga horizontal es axial son:

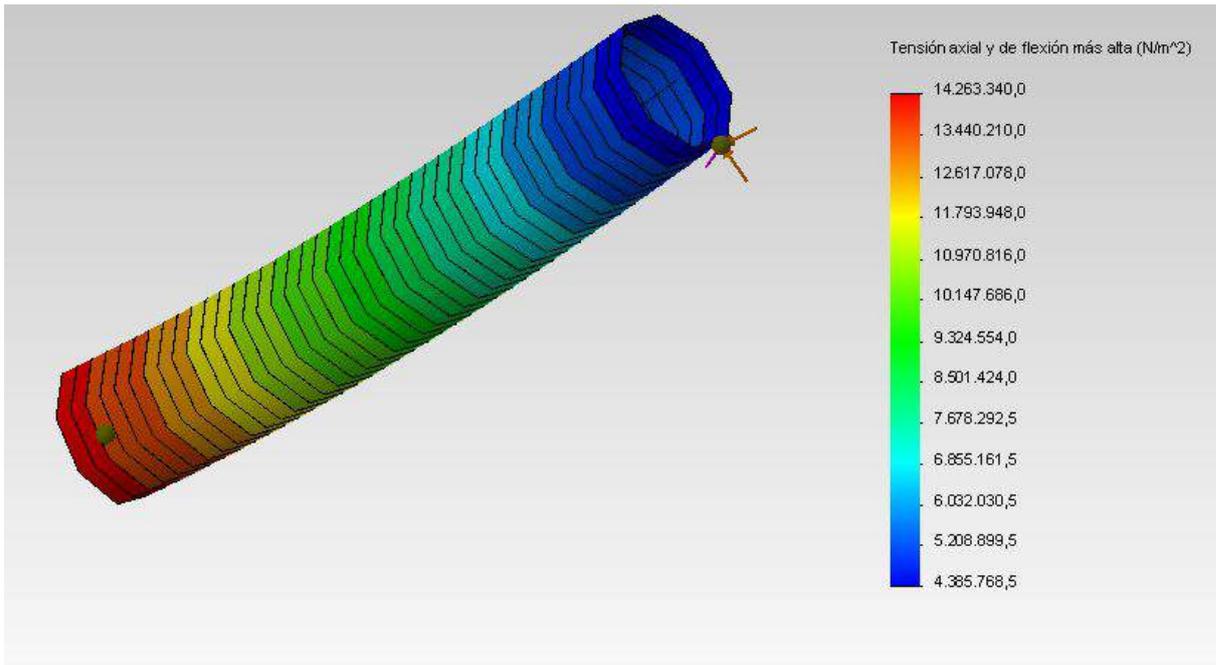


Figura 3.24. Tensiones estructura con carga horizontal axial.

Como se observa en las figuras 3.23 y 3.24 , las tensiones a las que se somete la estructura es muy inferior al límite elástico de la misma, ya que éste es 145 N/mm^2 , mientras que la máxima obtenida es de 18 N/mm^2 . Realmente, se ha sobredimensionado, ya que al calcular el aplastamiento de la chapa lateral de la estructura por los tornillos de fijación de la misma con un espesor de 4mm ha cumplido pero sin estar sobredimensionado. Con esto garantizamos que no haya problema de resistencia, ya que ésta es una de las piezas más críticas de todo el mecanismo, en cuanto a seguridad se refiere.

3.5 Disco de fricción.

El disco de fricción es la pieza encargada de mantener estática el módulo fotovoltaico con un cualquier inclinación hasta los 65° . Ello lo consigue gracias a la fuerza de rozamiento que provoca con otro disco similar enfrentado, y un resorte que produce una fuerza normal a la superficie de contacto.

La fuerza de rozamiento será de 0,5 N·m, como se puede comprobar en el apartado 2.3. Por lo que ésta será la carga aplicada en el estudio de simulación. Además se dejaron fijos las pestañas en las que se apoya el disco con la carcasa de la reductora.

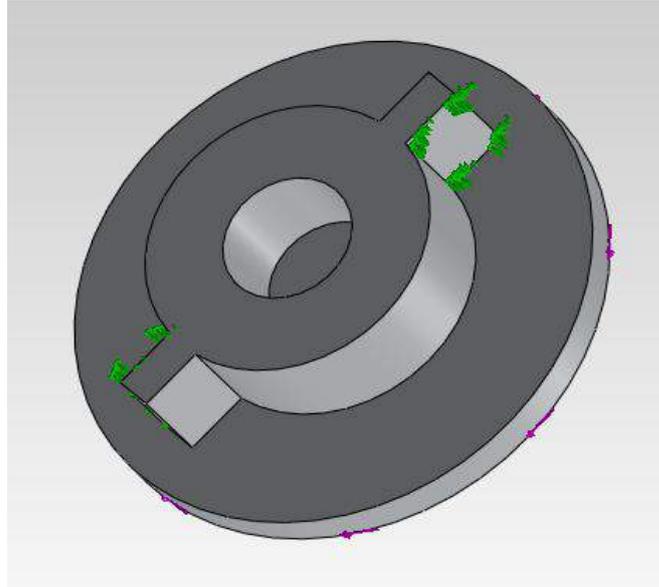


Figura 3.25. Disco de fricción exterior con momento torsor y restricciones.

Además se ha elegido un estudio de elementos tridimensionales para definir el mallado de la pieza, debido a que es el más apropiado por la forma que presenta la pieza. Dicho mallado tiene un total de 77483 elementos, con los cuales existen como mínimo tres definiendo el espesor de la pieza.

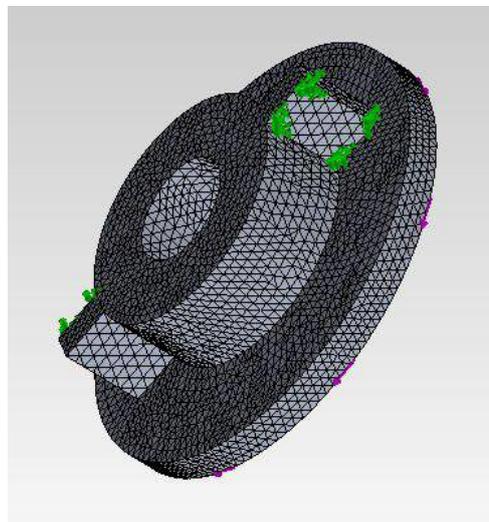


Figura 3.26. Mallado disco de fricción exterior.

Como se puede observar en la figura 3.27, el disco soporta el momento torsional al cual estará sometido, ya que en ningún lugar supera el límite elástico del aluminio 6063-T5.

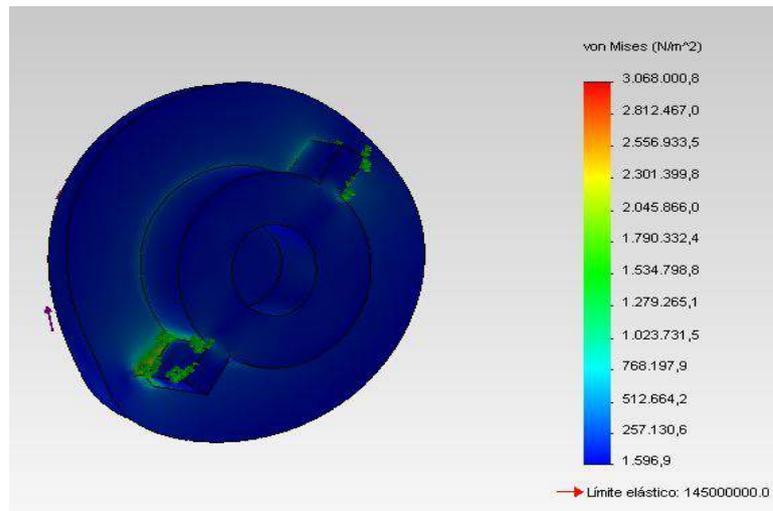


Figura 3.27. Tensiones disco de fricción exterior.

3.6 Caja engranajes interna.

En este ensayo se tratará de calcular cual es la carga máxima que soporta la caja de engranajes interna, ya que se desconoce exactamente el peso del motor eléctrico y los engranajes, los tornillos...

Para ello, definimos los agujeros pasantes de los tornillos de sujeción al eje vertical como geometría fija. Además se ira variando la carga sobre los tornillos de anclaje del motor hasta conseguir una tensión interna muy próxima al límite elástico. Así se obtendrá una aproximación de la carga máxima a la que puede estar sometido.

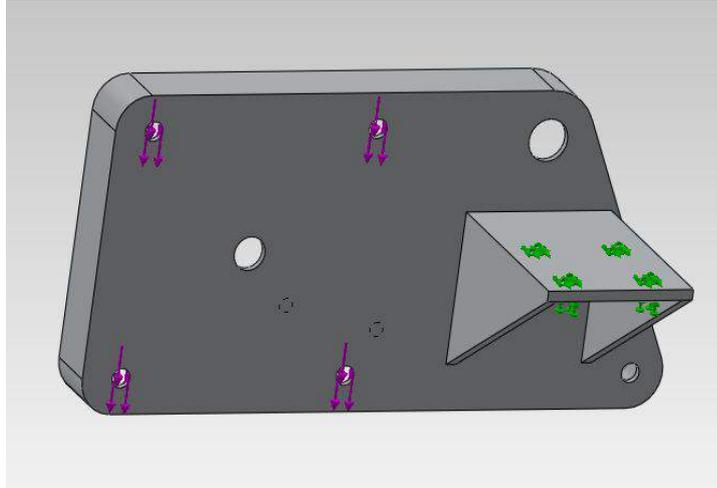


Figura 3.28. Caja engranajes interna con cargas y restricciones.

Además se estudiará como elemento tridimensional, con un mallado fino de 536838 elementos. Esto tendrá un consumo de recursos del programa muy importante, pero se conseguirá una aproximación muy fiable en cuanto a la realidad.

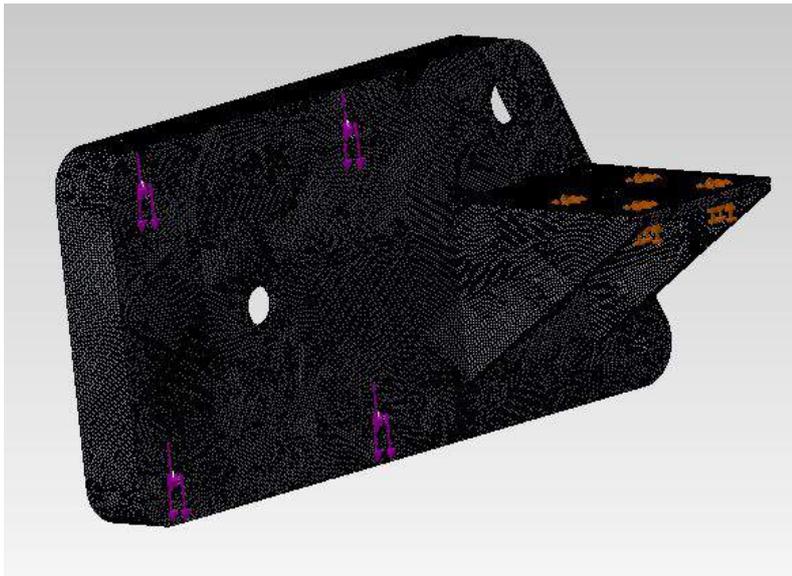


Figura 3.29. Mallado caja engranajes interna.

Con esta malla se ha definido los espesores más pequeños de la pieza con tres elementos tridimensionales, los mínimos necesarios para garantizar un correcto resultado.

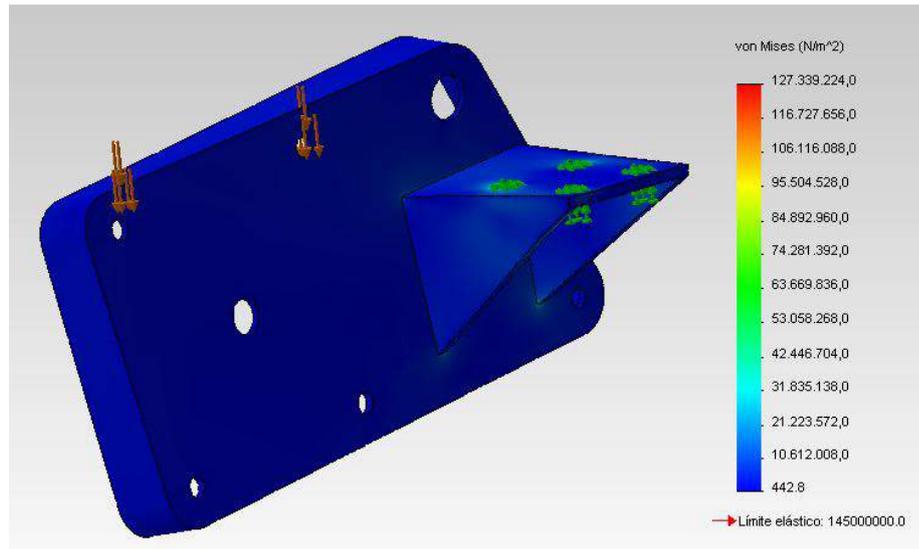


Figura 3.30. Tensiones caja de engranajes interna.

Por último, con una carga de 60 N, se ha obtenido una tensión de 127 N/mm². Como éste valor está próximo al límite elástico, se considera que la carga máxima que puede soportar esta pieza es de 60 N. Además, se conoce que el peso de los elementos que albergará son muy inferiores a dicho valor, por lo que se garantiza así su resistencia mecánica.

3.7 Caja engranajes externa.

La caja de engranajes externa se encarga de soportar las cargas producidas por el resorte, y el momento torsor necesario para mantener estático el disco de fricción. Por ello, las cargas aplicadas sobre esta pieza serán:

$$F = 36 \text{ N}$$

Esta fuerza corresponde con la máxima ejercida por el resorte sobre la tuerca de compresión del mismo. La fuerza se transmite a la rosca interna de la pieza, por lo que se colocara en la zona roscada y con la dirección que aparece en la figura 3.31.

$$M = 0,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El momento torsor es el transmitido por el disco de fricción, que se ha calculado en el apartado 2.3. Éste se ejerce sobre las ranuras que hay realizadas en la pieza.

Además se ha definido como geometría fija los agujeros de la pieza donde van colocados los tornillos de sujeción.

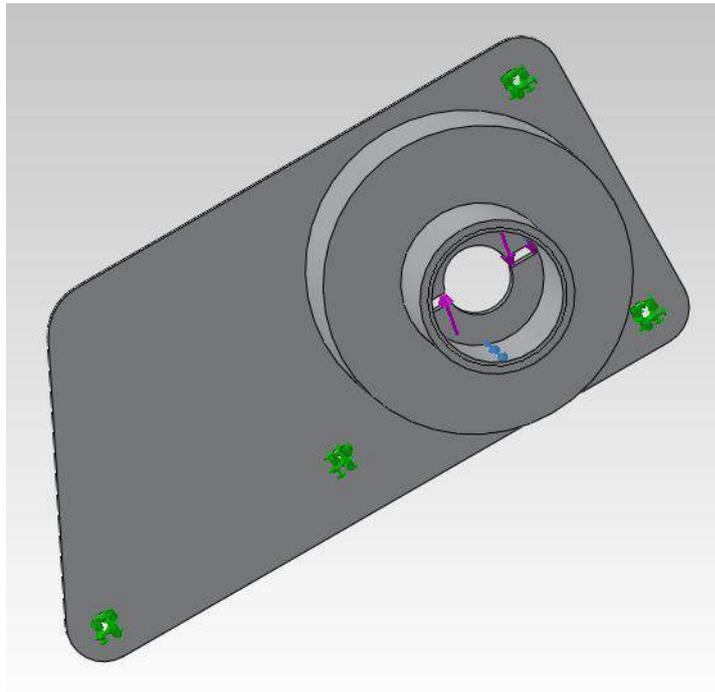


Figura 3.21. Caja engranajes externa con cargas y restricciones.

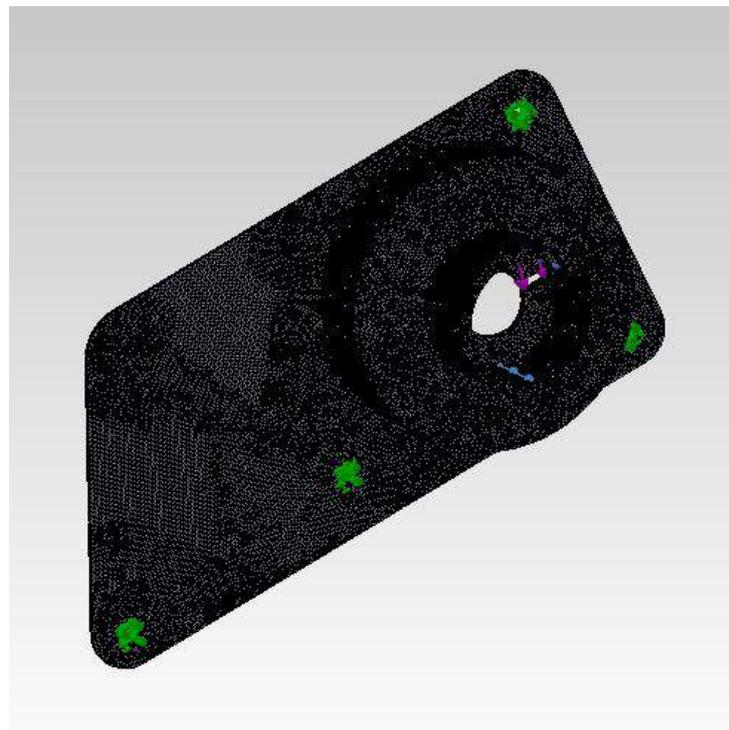


Figura 3.32. Mallado caja engranajes externa.

El mallado que se ha realizado en el estudio es un mallado tridimensional muy fino, compuesto por 508676 elementos, los cuales definen el ancho de la pieza con un mínimo de tres.

Por último, ejecutando la simulación con los parámetros mencionados anteriormente se obtiene una tensión interna en la pieza de la siguiente forma:

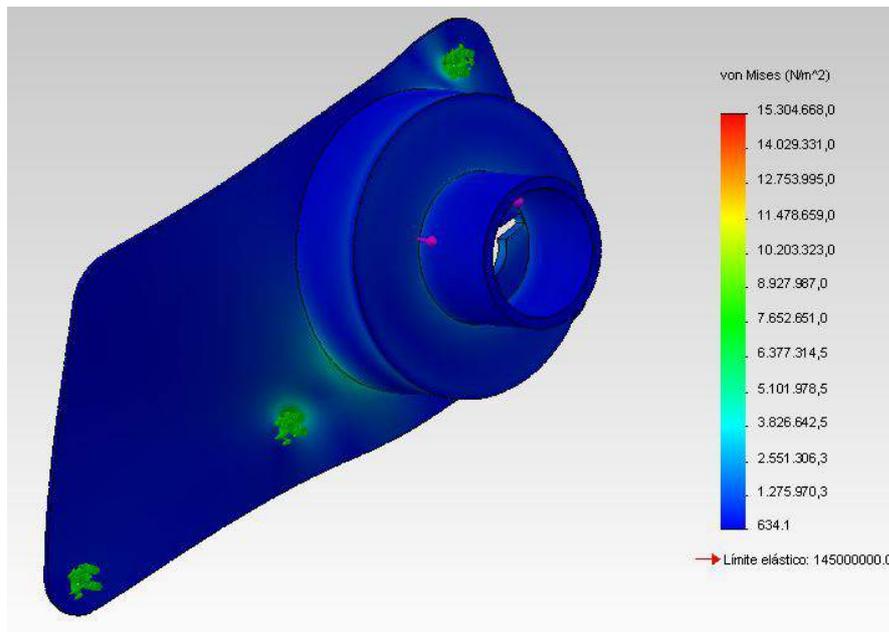


Figura 3.33. Tensiones caja engranajes externa.

La tensión máxima que sufre la pieza es de $16,3 \text{ N/mm}^2$, mientras que el límite elástico es de 145 N/mm^2 , por lo que cumple las condiciones de cargas externas aplicadas.

3.8 Placa soporte eje horizontal.

Esta placa es la encargada de soportar el soporte de la placa cuando sopla por la parte trasera, e intenta separarla del mecanismo. Además debe soportar el momento torsor que genera la placa al estar inclinada. Por ello las cargas que se aplicaran sobre la misma serán:

$$F = 555 \text{ N}$$

Esta fuerza un medio de la máxima ejercida por el viento, correspondiente a una inclinación de la placa de 65°. Se aplica la mitad, porque son dos piezas similares las que absorben dichas fuerzas.

$$M = 3 N \cdot m$$

El momento torsor es el que genera la inclinación de la placa, la cual se calcula en el apartado 1.3. Éste se genera en el mismo sitio que la fuerza, por lo que se aplicarán en la línea de partición correspondiente al contacto del eje horizontal.

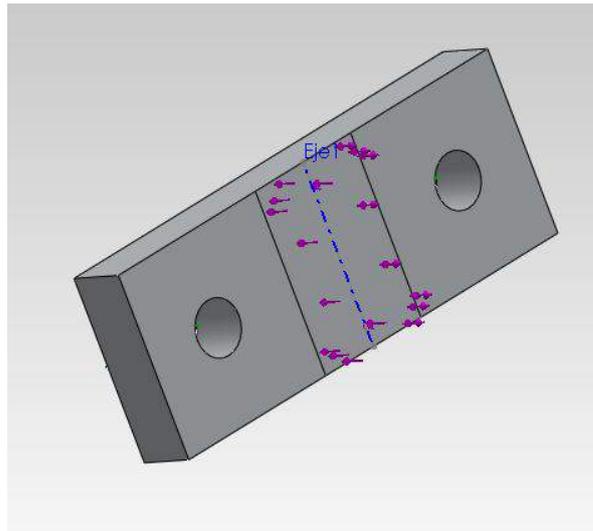


Figura 3.34. Placa soporte eje horizontal con cargas.

El eje que aparece en la figura fue necesario definirlo para que el momento fuera correctamente aplicado.

Por otro lado, se considero una geometría fija sobre la superficie en contacto por las arandelas de los tornillos de sujeción, cuyo diámetro exterior es de 12 mm.

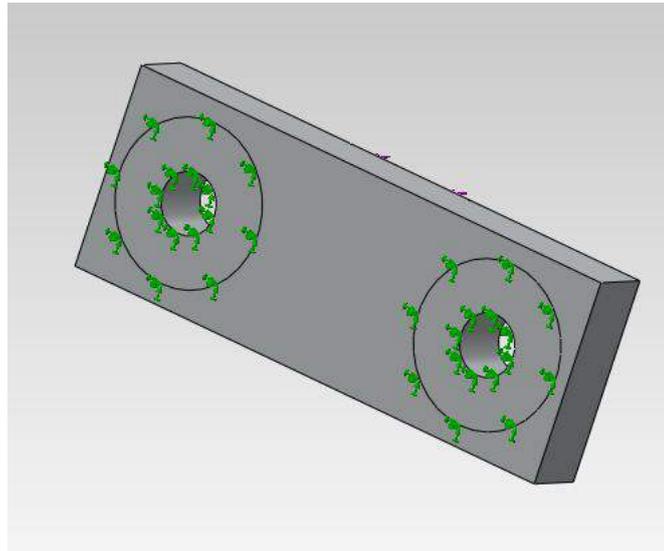


Figura 3.35. Placa soporte eje horizontal con restricciones.

Además se ha elegido un estudio tridimensional con un mallado muy fino, de 75335 elementos.

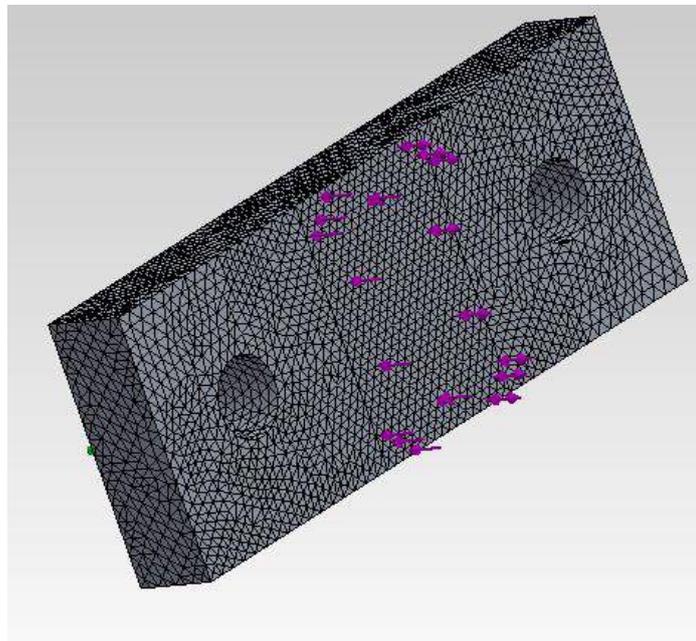


Figura 3.36. Mallado placa soporte eje horizontal.

Con todo ello se ha obtenido unos resultados de tensiones internas de 67 N/mm^2 . Como está muy por debajo del límite elástico del material (145 N/mm^2), esta pieza soportará muy favorablemente las cargas externas que se le transmitirán a través del resto de elementos.

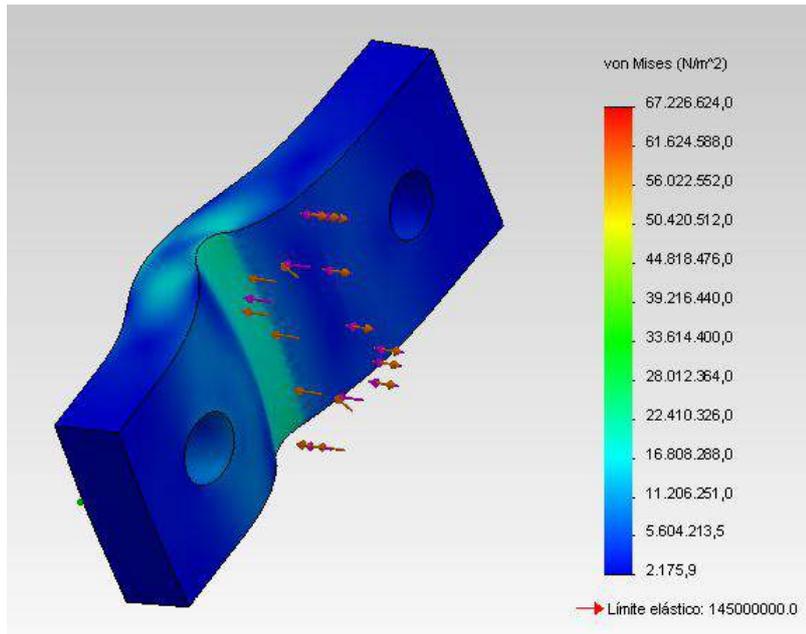


Figura 3.37. Tensiones placa soporte eje horizontal.

3.9 Tuerca resorte.

La tuerca que ajusta la compresión del resorte es un elemento fundamental del mecanismo, ya que gracias a él, se ajustará la fuerza que provoque sobre los discos de fricción, y así sujetarán la placa mientras esté inclinada y el motor eléctrico no este transmitiendo momento.

Sobre ésta pieza actúa la fuerza del resorte, cuyo máximo valor es de 36 N, tal y como se calculo en el apartado 2.4.

Además se restringirá el movimiento en la zona roscada, ya que gracias a ella se fijará a la caja de los engranajes. Además, el estudio de la tensión en la rosca se realizará en el apartado 6.1.

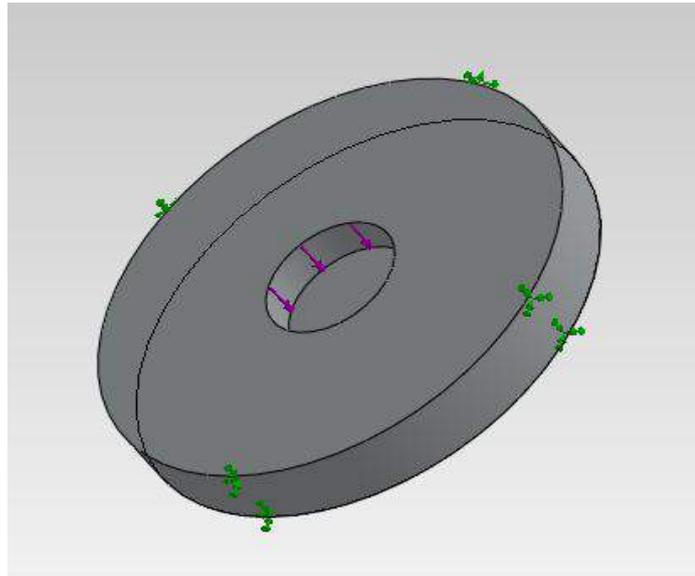


Figura 3.38. Tuerca resorte con cargas y restricciones.

Con todas las fuerzas y restricciones de movimiento, se realiza el mallado. En este caso se ha optado por un mallado compuesto por elementos tridimensionales. Así mismo, se ha realizado un control de mallado en la zona central de la pieza, ya que es la más fina, y para con ello conseguir una mayor definición de la pieza. Esta malla tiene un total de 50192 elementos.

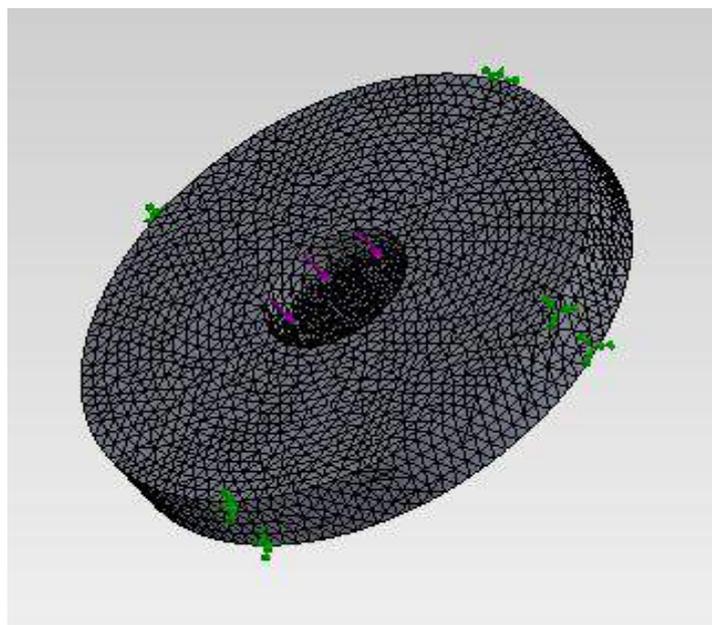


Figura 3.39. Malla tuerca resorte.

Estando la pieza completamente definida, se ejecuta el estudio para obtener las tensiones internas, las cuales son:

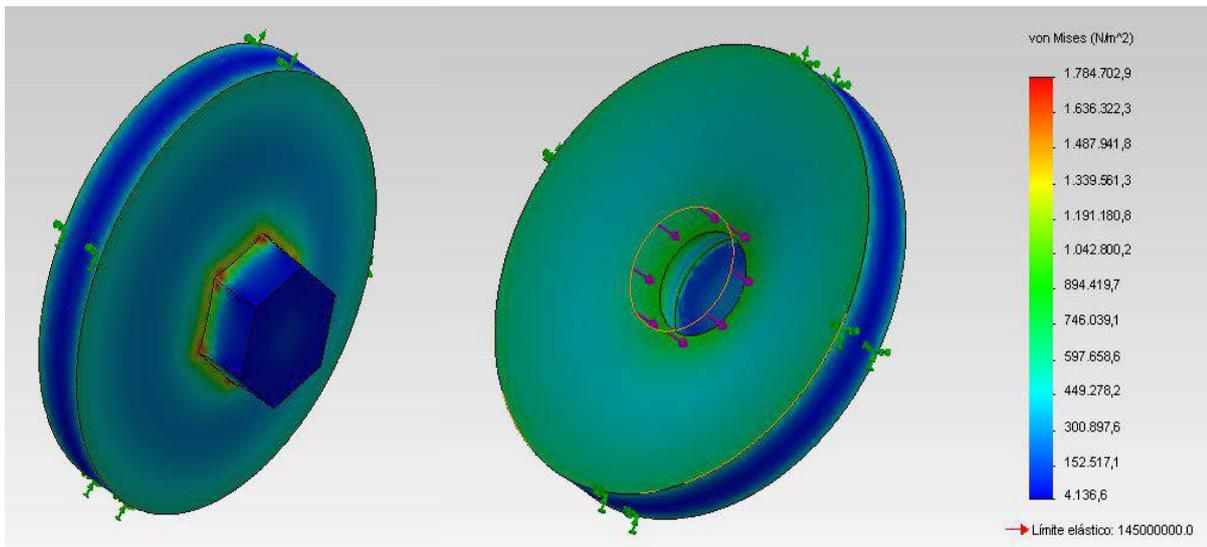


Figura 3.40. Tensiones tuerca resorte.

Como se observa, la tensión que provoca la fuerza es muy pequeña, y además se concentra en las zonas angulosas del hexágono por donde se apretará la pieza con el empleo de una llave. Con esto se finaliza el estudio de tensión de esta pieza, siendo satisfactorio los resultados obtenidos.

4 Calculo de soldaduras.

En este apartado se realizarán los cálculos de resistencia de las soldaduras más críticas del mecanismo de seguimiento solar. Para ello se emplearán las tablas y ecuaciones del libro *Elementos de Máquinas – G. Niemann*.

4.1 Soporte placa.

Esta pieza tiene dos soldaduras diferentes, por lo que se realizarán por separado. La primera será la que une la viga central, con las vigas externas, mientras que la segunda, es la soldadura de unión entre la viga central y las piezas de sujeción al eje horizontal.

4.1.1 Viga central y externa.

La soldadura que se estudiará en este apartado es la que une las vigas, tal y como se muestra en la figura 4.1.

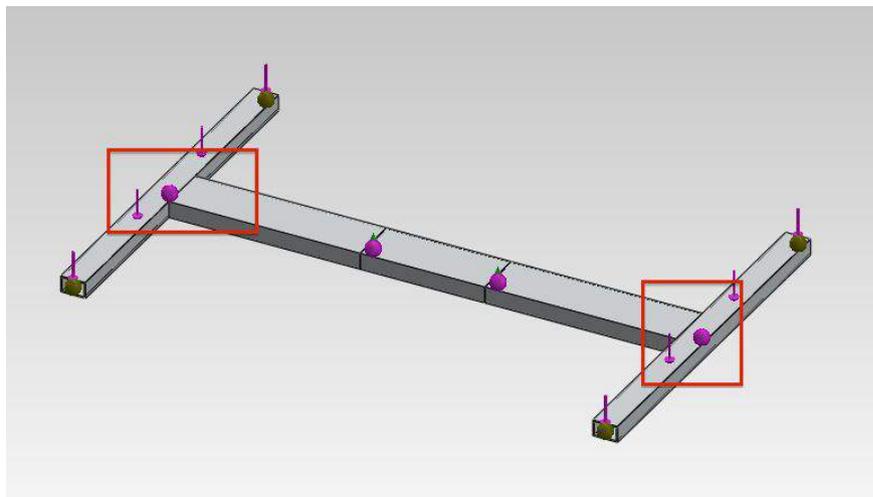


Figura 4.1. Soldaduras del soporte eje.

En primer lugar, se conocen que las cargas aplicadas sobre cada una de la vigas es de 555 N.

Por otro lado, el ancho de la soldadura es de 1,3 mm, mientras que las dimensiones de la viga central son 60x20 mm. Con esto ya están todas las dimensiones geométricas necesarias.

El siguiente paso es calcular la tensión que sufre dicha soldadura por la fuerza cortante y el momento generado, ya que la fuerza se aplica en el centro de las viga externas.

La ecuación para la tensión en caso de cortadura es:

$$Q_1 = \frac{P}{a \cdot l_n} \quad (4.1)$$

donde:

P Carga externa ejercida sobre la soldadura.

a Ancho de la soldadura.

l_n Longitud útil del cordón.

En este caso la longitud útil del cordón de soldadura es igual al perímetro de la viga vertical, ya que es una soldadura ininterrumpida.

$$Q_1 = \frac{555 \text{ N}}{1,3 \text{ mm} \cdot (2 \cdot 60 \text{ mm} + 2 \cdot 20 \text{ mm})} = 2,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por otro lado, la ecuación para la flexión es:

$$Q_2 = \frac{M}{W} \quad (4.2)$$

donde:

M Momento ejercido sobre la soldadura.

W Momento resistente de la soldadura.

En este caso el momento que debe ejercer la soldadura es:

$$M = 555 \text{ N} \cdot 15 \text{ mm} = 8325 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Además, el momento resistente de la soldadura viene dado por la ecuación 4.3.

$$W = \frac{I}{d} \quad (4.3)$$

dónde:

I Inercia de la soldadura.

d Distancia desde la fibra neutra hasta la superficie más alejada.

$$I = \frac{62,6 \text{ mm} \cdot (22,6 \text{ mm})^3}{12} - \frac{60 \text{ mm} \cdot (20 \text{ mm})^3}{12} = 20216,9 \text{ mm}^4$$

$$W = \frac{20216,9 \text{ mm}^4}{22 \text{ mm}/2} = 1837,9 \text{ mm}^3$$

Por lo que la tensión de la soldadura en caso de flexión es:

$$\sigma_2 = \frac{8325 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1837,9 \text{ mm}^3} = 5,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por último, cuando existe cortadura y flexión, la tensión resultante viene dada por la ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (4.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\left(2,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + \left(4,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2} = 5,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ahora que está calculada la tensión en la soldadura, hay que verificar que sea menor que la tensión admisible de la misma. Para la soldadura realizada, se ha empleado un electrodo S Al 5356-ALMg5Cr A. La tensión de rotura es de 240 N/mm², pero como el límite elástico del material que se va a soldar, Al 6063-T5, es de 145 N/mm², se usará éste último, ya que es más desfavorable.

Además, se consideran cargas estáticas, por lo que la tensión admisible de la soldadura será:

$$\sigma_{adm} = v \cdot v_2 \cdot \sigma_{adm} \quad (4.5)$$

donde:

v Coeficiente estático.

v_2 Coeficiente tipo de soldadura.

En el caso de ésta soldadura, el primer coeficiente tiene un valor de 0,65, ya que es una soldadura en ángulo, mientras que el segundo coeficiente, tiene un valor de 0,5, porque es una soldadura de calidad normal. Con ello se obtiene:

$$q_{adm} = 0,65 \cdot 0,5 \cdot 145 \frac{N}{mm^2} = 47,13 \frac{N}{mm^2}$$

La soldadura estudiada resiste correctamente las tensiones generadas en ella a causa de las fuerzas externas que se aplican sobre las piezas a unir.

4.1.2 Sujeción eje horizontal.

Esta soldadura se realizará siguiendo el mismo método que el apartado 4.1.1. El ancho de esta soldadura es de 1,6 mm.

En lo referente a las cargas que deben resistir cada soldadura, se tiene:

La fuerza máxima aplicada sobre la placa debido al viento, es soportada directamente por estas soldaduras. Como son dos piezas, las cuales están soldadas por dos cordones, la fuerza total de tracción-compresión en la soldadura será:

$$F = \frac{1110N}{4} = 277,5 N$$

Empleando la ecuación 4.1:

$$q_1 = \frac{P}{a \cdot l_n}$$

En cuyo caso la longitud útil del cordón es:

$$l_n = 60 \text{ mm} - 2 \cdot 1,6 \text{ mm} = 56,8 \text{ mm}$$

$$q_1 = \frac{277,5 N}{1,6 \text{ mm} \cdot 56,8 \text{ mm}} = 3,05 \frac{N}{mm^2}$$

En este caso, la tensión admisible de la soldadura es igual que el apartado 4.1.1.

$$\sigma_{adm} = 47,13 \frac{N}{mm^2}$$

Por lo que la soldadura soporta correctamente las solicitaciones de cargas.

4.2 Eje vertical.

Esta pieza presenta tres soldaduras críticas. Por ello se estudiarán de forma independientes. Todas ellas son soldaduras en ángulo, con cargas estáticas. Además el electrodo empleado es el mismo que en el apartado 4.1, por lo que la tensión admisible de las mismas son 47,13 N/mm².

Además, cada una de las piezas serán estudiadas con los valores de inclinación del módulo fotovoltaico más críticos. Éstos son 65° y 45°, ya que cada uno contiene una de las componentes de mayor valor.

4.2.1 Placas superiores.

La soldadura que se estudiará en este apartado es la correspondiente a la unión entre la placa horizontal y las verticales donde se aloja el eje horizontal. El ancho de la soldadura es de 4 mm, ya que las placas metálicas tienen un espesor de 5 mm.

4.2.1.1 Módulo fotovoltaico inclinado 45°.

Las fuerzas que deben soportar cada una de las soldaduras son:

$$F_V = \frac{667,9 N}{2} = 333,95 N$$

$$F_H = \frac{554,88 N}{2} = 277,44 N$$

La fuerza horizontal provoca sobre la soldadura un esfuerzo cortante, y otro de flexión, debido al momento que genera. Por ello, la tensión de cortante es según la ecuación 4.1:

$$\rho_1 = \frac{277,44 \text{ N}}{4 \text{ mm} \cdot (50 \text{ mm} - 2 \cdot 4 \text{ mm})} = 1,65 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por otro lado, la tensión que se ejerce sobre la soldadura debido a la tracción y la flexión, cuyos casos son más restrictivos que en la compresión debido a los pesos propios es:

$$\rho_2 = \frac{F_V}{a \cdot l_n} + \frac{M}{W} \quad (4.5)$$

El momento que provoca la fuerza horizontal es:

$$M = 277,44 \text{ N} \cdot 15 \text{ mm} = 4161,6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Mientras que el módulo resistente es:

$$W = \frac{\left(\frac{4 \cdot 50^3}{12}\right)}{25} = 1666,67 \text{ mm}^3$$

Con lo que la tensión de flexotracción es:

$$\rho_2 = \frac{333,95 \text{ N}}{4 \text{ mm} \cdot (50 \text{ mm} - 2 \cdot 4 \text{ mm})} + \frac{4161,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1666,67 \text{ mm}^3} = 4,48 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por último, la tensión equivalente por medio de la ecuación 4.4 es:

$$\rho = \sqrt{\left(1,65 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + \left(4,48 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2} = 4,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Como la tensión admisible de la soldadura es $47,13 \text{ N/mm}^2$, ésta cumplirá los requisitos mecánicos.

4.2.1.2 Módulo fotovoltaico inclinado 65°.

El estudio de la soldadura para la inclinación del módulo fotovoltaico de 65° es exactamente igual que el apartado anterior, con la excepción del valor de las fuerzas.

Las fuerzas que deben soportar cada una de las soldaduras son:

$$F_V = \frac{481,06 \text{ N}}{2} = 240,53 \text{ N}$$

$$F_H = \frac{911,55 \text{ N}}{2} = 455,78 \text{ N}$$

La fuerza horizontal provoca sobre la soldadura un esfuerzo cortante, y otro de flexión, debido al momento que genera. Por ello, la tensión de cortante es según la ecuación 4.1:

$$q_1 = \frac{455,78 \text{ N}}{4 \text{ mm} \cdot (50 \text{ mm} - 2 \cdot 4 \text{ mm})} = 2,71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

El momento que provoca la fuerza horizontal es:

$$M = 455,78 \text{ N} \cdot 15 \text{ mm} = 6836,7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Mientras que el módulo resistente sigue siendo igual que en el apartado 4.2.1.1.

$$W = 1666,67 \text{ mm}^3$$

Con lo que la tensión de flexotracción es:

$$q_2 = \frac{240,53 \text{ N}}{4 \text{ mm} \cdot (50 \text{ mm} - 2 \cdot 4 \text{ mm})} + \frac{6836,7 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1666,67 \text{ mm}^3} = 5,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por último, la tensión equivalente por medio de la ecuación 4.4 es:

$$q = \sqrt{\left(2,71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + \left(5,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2} = 6,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Como la tensión admisible de la soldadura es $47,13 \text{ N/mm}^2$, ésta cumplirá los requisitos mecánicos.

4.2.2 Placa horizontal y tubo vertical.

La soldadura para unir la placa horizontal con el tubo vertical del eje vertical se realizará con un cordón de 1,8 mm en ángulo. El electrodo empleado será el mismo que en el apartado 4.1,

con un límite de rotura de 240 N/mm^2 . Pero como las piezas a unir tienen un límite elástico menor, se utilizará ese para el cálculo de tensión admisible. Además, los coeficientes son iguales que en dicho apartado, por lo que la tensión admisible de la soldadura es:

$$\rho_{adm} = 47,13 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Además, ésta soldadura hay que estudiarla cuando la placa fotovoltaica está inclinada 45° y 65° ya que son los casos críticos de fuerzas.

4.2.2.1 Módulo fotovoltaico inclinado 45° .

La fuerza que produce el viento y los pesos propios de los elementos que están sobre la pieza a estudiar son:

$$F_V = 667,9 \text{ N}$$

$$F_H = 554,88 \text{ N}$$

La fuerza horizontal provoca sobre la soldadura un esfuerzo cortante y de flexión.

Para calcular la tensión debido al cortante se emplea la ecuación 4.1:

$$\rho_1 = \frac{554,88 \text{ N}}{1,8 \text{ mm} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 20 \text{ mm})} = 2,45 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

El momento que provoca la fuerza horizontal sobre la soldadura es:

$$M = 554,88 \text{ N} \cdot 20 \text{ mm} = 11097,6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Mientras que el módulo resistente del cordón de soldadura es:

$$W = \frac{\pi \cdot ((40 + 2 \cdot 1,8)^4 - 40^4)}{64} = 2372,52 \text{ mm}^3$$

Con lo que la tensión de flexotracción es:

$$\rho_2 = \frac{667,9 \text{ N}}{1,8 \text{ mm} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 20 \text{ mm})} + \frac{11097,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2372,52 \text{ mm}^3} = 7,63 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Por último, la tensión equivalente por medio de la ecuación 4.4 es:

$$\rho = \sqrt{\left(2,45 \frac{N}{mm^2}\right)^2 + \left(7,63 \frac{N}{mm^2}\right)^2} = 8,01 \frac{N}{mm^2}$$

Como la tensión admisible de la soldadura es $47,13 \text{ N/mm}^2$, ésta cumplirá los requisitos mecánicos.

4.2.2.2 Módulo fotovoltaico inclinado 65° .

La fuerza que debe soportar la soldadura es:

$$F_V = 481,06 \text{ N}$$

$$F_H = 911,55 \text{ N}$$

La fuerza horizontal provoca sobre la soldadura un esfuerzo cortante cuya tensión según la ecuación 4.1 es:

$$\rho_1 = \frac{911,55 \text{ N}}{1,8 \text{ mm} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 20 \text{ mm})} = 4,03 \frac{N}{mm^2}$$

El momento que provoca la fuerza horizontal es:

$$M = 911,55 \text{ N} \cdot 20 \text{ mm} = 18231 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Mientras que el módulo resistente sigue siendo igual que en el apartado 4.2.2.1.

$$W = 2372,52 \text{ mm}^3$$

Con lo que la tensión de flexotracción es:

$$\rho_2 = \frac{481,06 \text{ N}}{1,8 \text{ mm} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 20 \text{ mm})} + \frac{18231 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2372,52 \text{ mm}^3} = 9,85 \frac{N}{mm^2}$$

Por último, la tensión equivalente es:

$$\rho = \sqrt{\left(4,03 \frac{N}{mm^2}\right)^2 + \left(9,85 \frac{N}{mm^2}\right)^2} = 10,64 \frac{N}{mm^2}$$

Como la tensión admisible de la soldadura es 47,13 N/mm², ésta cumplirá los requisitos mecánicos.

4.2.3 Tubo vertical con soporte rodamiento.

La soldadura realizada en la unión del tubo vertical con la placa anular de apoyo del rodamiento se realizará con un ancho de soldadura de 1,8 mm en ángulo. Además los estudios para los ángulos críticos serán iguales, excluyendo la fuerza cortante, ya que esta la absorberá el rodillo superior.

4.2.3.1 Módulo fotovoltaico inclinado 45°.

La fuerza que produce el viento y los pesos propios de los elementos que están sobre la pieza a estudiar son:

$$F_V = 667,9 \text{ N}$$

$$F_H = 554,88 \text{ N}$$

La fuerza horizontal provoca sobre la soldadura un esfuerzo de flexión. El momento que provoca la fuerza horizontal sobre la soldadura es:

$$M = 554,88 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm} = 44390,4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El módulo resistente del cordón de soldadura es igual que en el apartado 4.2.2:

$$W = 2372,52 \text{ mm}^3$$

Con lo que la tensión de flexotracción es:

$$\rho_2 = \frac{667,9 \text{ N}}{1,8 \text{ mm} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 20 \text{ mm})} + \frac{44290,4 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2372,52 \text{ mm}^3} = 21,66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Como la tensión admisible de la soldadura es $47,13 \text{ N/mm}^2$, ésta cumplirá los requisitos mecánicos.

4.2.3.2 Módulo fotovoltaico inclinado 65° .

Las fuerzas que debe soportar la soldaduras es:

$$F_V = 481,06 \text{ N}$$

$$F_H = 911,55 \text{ N}$$

El momento que provoca la fuerza horizontal sobre el cordón de soldadura es:

$$M = 911,55 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm} = 72924 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Mientras que el módulo resistente sigue siendo igual que en el apartado anterior.

$$W = 2372,52 \text{ mm}^3$$

Con lo que la tensión de flexotracción es:

$$\sigma_2 = \frac{481,06 \text{ N}}{1,8 \text{ mm} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 20 \text{ mm})} + \frac{72924 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2372,52 \text{ mm}^3} = 32,86 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Esta soldadura resistirá las cargas a las cual está sometida, debido a que la tensión admisible para este tipo de soldadura es de $47,13 \text{ N/mm}^2$, mientras que la tensión que se genera interiormente es de $32,86 \text{ N/mm}^2$.

4.3 Estructura.

La soldadura que se estudiará en este apartado es la correspondiente a la unión de los tubos donde se alojarán los rodamientos y la viga principal de la estructura. El cordón será de 1,8 mm de ancho además de ser ininterrumpida.

El electrodo que se empleará es el mismo que en el resto de casos, por lo que la tensión admisible de la soldadura será de $47,13 \text{ N/mm}^2$.

Esta soldadura sólo absorberá la fuerza cortante, la cual fue calculada en el apartado 2.6. La fuerza cortante será:

$$F_c = 1611,49 \text{ N}$$

Empleando la ecuación de la tensión a cortante:

$$q_1 = \frac{1611,49 \text{ N}}{1,8 \text{ mm} \cdot (\pi \cdot 65 \text{ mm})} = 4,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

La tensión interna que desarrolla la soldadura es muy inferior que la tensión admisible, por lo que soportará las fuerzas que actúan sobre ella.

5 Calculo de tornillos.

En este apartado se calcularán las resistencias de los tornillos a tracción y cortante, según las fuerzas que deban soportar. Además, se calculará la resistencia a aplastamiento de la chapa cuando el tornillo sufre cortante. Todo ello se realizará según el Documento Básico SE-A, Seguridad Estructural Acero.

Además, toda la tornillería será de Acero Inoxidable Austenítico A2-70, cuyo límite elástico es 450 N/mm^2 y tensión de rotura 700 N/mm^2 .

Este tipo de acero posee una resistencia a la corrosión excelente bajo condiciones atmosféricas normales, en medios húmedos, ácidos oxidantes y orgánicos, muchas soluciones alcalinas y salinas, etc.

5.1 Tornillos fijación módulo fotovoltaico.

Para la unión del módulo fotovoltaico se han empleado cuatro tornillos de cabeza cilíndrica hexágono interior M6, cuya área resistente a tracción según DIN-13 es de $20,141 \text{ mm}^2$. Estos son de acero inoxidable austenítico A2-70, como se menciona anteriormente.

Los cuatro tornillos deben soportar la fuerza del viento, sobre todo cuando sopla por la parte trasera del módulo. Ésta fuerza es máxima cuando la placa esta inclinada a 65° , teniendo un valor de 1110 N .

Según el SE-A, la resistencia a tracción de un tornillo viene dado por:

$$F_{t.Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (5.1)$$

dónde:

f_{ub} Resistencia última del acero del tornillo.

A_s Área resistente a tracción del tonillo.

γ_{M2} Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

En este caso, tenemos que la resistencia a tracción de los cuatro tornillos es:

$$F_{t.Rd} = \frac{0,9 \cdot 700 \frac{N}{mm^2} \cdot 20,141 mm^2 \cdot 4}{1,25} = 40604 N$$

Los tornillos resisten perfectamente las fuerzas a las que serán sometidos.

5.2 Tornillos fijación soporte placa y eje horizontal.

Los tornillos empleados en la unión del soporte de la placa, y el eje horizontal son tornillos de cabeza alomada con hexágono interior M4. Estos tornillos tienen un área resistente a la tracción según la norma DIN-13, de 8,785 mm². Además, son de acero inoxidable austenítico A2-70.

Al igual que los tornillos del apartado 5.1, éstos cuatro también están sometidos a tracción, con la misma carga que los anteriores 1110 N. La resistencia de los cuatro tornillos es según la ecuación 5.1:

$$F_{t.Rd} = \frac{0,9 \cdot 700 \frac{N}{mm^2} \cdot 8,785 mm^2 \cdot 4}{1,25} = 17710 N$$

Como la carga resistente es mucho mayor que la aplicada, los tornillos cumplirán las solicitaciones.

5.3 Tornillo sujeción eje vertical.

El tornillo que sujeta el eje vertical será una varilla roscada M6 de acero inoxidable austenítico A2-70. Las características mecánicas de este acero son las mismas que en el apartado 5.1.

La varilla roscada irá sujeta con dos tuercas, una en cada extremo. Con ello se consigue que cuando el viento sople por la parte trasera de la placa, ésta no se eleve. Por ello, la fuerza de tracción es máxima cuando la placa está inclinada 45° , y tiene un valor de 554,88 N. Este tornillo solo estará sometido a tracción, ya que las fuerzas cortantes y la compresión las soportarán los rodamientos.

La fuerza resistente de este tornillo se calcula por medio de la ecuación 5.1:

$$F_{t.Rd} = \frac{0,9 \cdot 700 \frac{N}{mm^2} \cdot 20,141 mm^2}{1,25} = 10151 N$$

Como la fuerza de cálculo es menor que la resistencia del tornillo, cumplirá favorablemente las solicitudes de cargas.

5.4 Tornillos unión estructura y soporte farola.

Esta unión está realizada con cuatro varillas roscadas M6 de acero inoxidable austenítico A2-70, sujetos por dos tuercas cada uno, una en cada extremo. Éstos se encargan de soportar las fuerzas y momentos transmitidos por la estructura que está fabricada en Aluminio 6063-T5.

Las fuerzas aplicadas que se estudiarán son las mismas que en el apartado 3.4, aunque se añadirá el peso de la estructura, y se supondrá que está colocado en el extremo, ya que así se ira por el lado de la seguridad:

$$F_H = 911,55 N$$

$$F_V = 707,12 N + 29 N = 736,12$$

Estos tornillos estarán sometidos a esfuerzos cortantes, por lo que se tiene que estudiar la resistencia a cortante de los mismos, así como el aplastamiento de la chapa a unir.

Además se diferenciarán dos apartados. En el primero la fuerza horizontal tendrá una dirección perpendicular al eje de la estructura, mientras que el segundo tendrá la misma dirección que la viga de la estructura.

5.4.1 Fuerza horizontal dirección perpendicular.

La fuerza vertical provoca directamente un esfuerzo cortante sobre cada tornillo, el cual es:

$$V_V = \frac{F_V}{4} = 184,03 \text{ N}$$

Además, esta misma carga también provoca un momento flector, que debe ser absorbido por los cuatro tornillos. Éste se reparte de forma uniforme sobre los cuatro tornillos, aunque cada uno de ellos tiene una dirección diferente. El momento generado se concentra en el centro de los cuatro tornillos, por lo que tiene un valor de:

$$M_{FV} = F_V \cdot d = 736,12 \text{ N} \cdot 515 \text{ mm} = 379101,8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Por otro lado, la distancia diagonal entre los pares de tornillos es:

$$D = \sqrt{(70 \text{ mm})^2 + (70 \text{ mm})^2} = 99 \text{ mm}$$

Ahora con teniendo el valor del momento y las distancias entre los pares de tornillos, se obtiene el valor de la fuerza (H_V) que deben ejercer los tornillos para soportar el momento flector provocado.

$$H_V = \frac{M_{FV}}{2 \cdot D} = \frac{379101,8 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2 \cdot 99 \text{ mm}} = 1914,66 \text{ N}$$

La fuerza ejercida por los tornillos para resistir el momento provocado por la fuerza vertical tiene un ángulo de 45° , por lo que se descompondrá en componentes vertical y horizontal para posteriormente simplificar los cálculos.

$$H_{VV} = H_{VH} = \sqrt{\frac{H_V^2}{2}} = 1353,87 \text{ N}$$

El siguiente paso que hay que realizar es calcular el momento que ejerce sobre los tornillos la fuerza horizontal.

$$M_H = F_H \cdot d = 911,55 \text{ N} \cdot 515 \text{ mm} = 469448,25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Del mismo modo que el momento vertical, éste genera en los tornillos una fuerza para resistir el momento. En este caso, la componente es únicamente horizontal, con una distancia entre tornillos de 100 mm y tiene un valor de:

$$H_H = \frac{M_H}{2 \cdot D} = \frac{469448,25 \text{ N} \cdot \text{m}}{2 \cdot 100 \text{ mm}} = 2347,24 \text{ N}$$

Por último, hay que calcular el momento torsor que genera la excentricidad de la carga horizontal sobre los tornillos, ya que esta se aplica a una distancia de 192 mm del centro de la sección de la viga, debido a la altura del eje vertical. Por lo que el momento generado es:

$$M_{TH} = F_H \cdot d = 911,55 \text{ N} \cdot 192 \text{ mm} = 175017,6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Este momento torsor genera unas cargas verticales sobre los tornillos, la cual es:

$$H_{TV} = \frac{M_{TH}}{2 \cdot D} = \frac{175017,6 \text{ N} \cdot \text{m}}{2 \cdot 100 \text{ mm}} = 875,09 \text{ N}$$

Para ahora obtener la fuerza cortante resultante en el tornillo más desfavorable, cuando todas las fuerzas tengan el mismo sentido, se realiza la raíz cuadrada de las sumas al cuadrado de las fuerzas horizontales y verticales dando:

$$V_d = \sqrt{(V_V + H_{VV} + H_{TV})^2 + (H_{VH} + H_H)^2} = 4418,26 \text{ N}$$

Una vez se tiene la fuerza resultante, hay que calcular la resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo, la cual se realiza por medio de la ecuación:

$$F_{v.Rd} = n \cdot \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (5.2)$$

dónde:

n Número de plano de corte.

A Área resistente de la caña del tornillo o el área resistente del tornillo, según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

Como en este caso el tornillo es una varilla roscada, el plano de corte será sobre la parte roscada, cuya área según la normativa DIN13 es de $20,141 \text{ mm}^2$, con lo que la resistencia a cortante es:

$$F_{v.Rd} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 700 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 20,141 \text{ mm}^2}{1,25} = 11278,96 \text{ N}$$

Como la resistencia del tornillo es superior a la de cálculo resistirá correctamente las sollicitaciones de cargas.

Por último, hay que comprobar la resistencia de aplastamiento de la chapa, la cual viene dada por la ecuación:

$$F_{t.Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (5.3)$$

dónde:

d Diámetro del vástago del tornillo.

t Menor espesor de las chapas que se unen.

f_u Resistencia última de las chapas que se unen.

α Menor de:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} ; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1,0 \quad (5.4)$$

dónde:

e_1 distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza.

d_0 diámetro del agujero.

p_1 separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza.

En primer lugar se calcula el coeficiente α , el cual será el menor de:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{15 \text{ mm}}{3 \cdot 6,6 \text{ mm}} = 0,758$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70 \text{ mm}}{3 \cdot 6,6 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 3,285$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{700 \frac{N}{\text{mm}^2}}{185 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 3,784$$

$$1,0$$

Por lo que:

$$\alpha = 0,758$$

Con ello se obtiene una resistencia a aplastamiento de la chapa:

$$F_{t.Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,758 \cdot 185 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 6 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}}{1,25} = 6731,04 \text{ N}$$

Como la fuerza aplicada es de 4418,26 N la chapa resistirá correctamente el aplastamiento de la chapa de la viga de la estructura.

5.4.2 Fuerza horizontal dirección axial.

En este caso donde la fuerza horizontal tiene una dirección axial sobre la viga, las fuerzas de cortante debido a la carga vertical, y al momento que genera dicha carga son similares, por lo que se tiene primeramente las siguientes cargas actuando:

$$V_V = 184,03 \text{ N}$$

$$H_{VV} = H_{VH} = 1353,89 \text{ N}$$

Por otro lado, la carga horizontal ahora genera un esfuerzo cortante directamente sobre los cuatro tornillos, la cual tiene un valor de:

$$V_H = \frac{F_H}{4} = \frac{911,55 \text{ N}}{4} = 227,89 \text{ N}$$

Además, al estar la fuerza aplicada a una distancia de 192 mm del centro de la sección de la viga debido al eje vertical, ésta produce un momento flector, el cual se transmite hacia los tornillos:

$$M_H = F_H \cdot d = 911,55 \text{ N} \cdot 192 \text{ mm} = 175017,6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Este momento se transmite hacia los tornillos del mismo modo que en el ejercicio 5.4.1 se transmitía el momento flector generado por la fuerza horizontal:

$$H_H = \frac{M_H}{2 \cdot D} = \frac{175017,6 \text{ N} \cdot \text{m}}{2 \cdot 99 \text{ mm}} = 883,93 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Además, del mismo modo, ésta fuerza tiene una inclinación de 45°, por lo que se obtendrán las componentes horizontal y vertical, siendo:

$$H_{HH} = H_{HV} = \sqrt{\frac{H_H^2}{2}} = 625,03 \text{ N}$$

Ya están todas las fuerzas actuantes calculadas, por lo que falta es obtener la resultante del tornillo mas desfavorable, el cual tiene todas las fuerzas en el mismo sentido:

$$V_d = \sqrt{(V_V + H_{VV} + H_{HV})^2 + (H_{VH} + H_{HV})^2} = 2931,63 \text{ N}$$

La resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo y la resistencia a aplastamiento de la chapa que se une es igual que la calculada en el apartado 5.4.1:

$$F_{v.Rd} = 11278,96 \text{ N}$$

$$F_{t.Rd} = 6731,04 \text{ N}$$

Como la fuerza de corte resultante es inferior a estos dos valores, los tornillos y las chapas de aluminio resistirán perfectamente las sollicitaciones de carga.

5.5 Tornillos soporte farola.

Esta unión está realizada con tres varillas roscadas M6 de acero inoxidable austenítico A2-70, sujetos por dos tuercas cada uno, una en cada extremo. Éstos están dispuestos tal como se

observa en los planos, y se encargan de soportar las fuerzas y momentos transmitidos por la estructura que está fabricada en Aluminio 6063-T5, cuya tensión última es 185 N/mm^2 .

Las fuerzas aplicadas que se estudiarán son las mismas que en el apartado 5.4, aunque se añadirá en la fuerza vertical el peso de la estructura. Se calculará como si estuviera aplicada en el extremo de la misma, ya que así se conseguirá ir por el lado de la seguridad:

$$F_H = 911,55 \text{ N}$$

$$F_V = 736,12 \text{ N}$$

Estos tornillos estarán sometidos a esfuerzos cortantes, por lo que se tiene que estudiar la resistencia a cortante de los mismos, así como el aplastamiento de la chapa a unir.

Además se diferenciarán dos apartados, del mismo modo que se realizó en el punto 5.4.

5.5.1 Fuerza horizontal dirección perpendicular.

La fuerza vertical provoca directamente un esfuerzo cortante sobre cada tornillo, el cual es:

$$V_V = \frac{F_V}{3} = 245,37 \text{ N}$$

Además, esta misma carga también provoca un momento flector, que debe ser absorbido por los dos tornillos exteriores. Éste se reparte de forma uniforme, aunque cada uno de ellos tiene un sentido diferente, aunque sólo dirección horizontal. El momento generado se concentra en el centro de los cuatro tornillos, por lo que tiene un valor de:

$$M_{FV} = F_V \cdot d = 736,12 \text{ N} \cdot 640 \text{ mm} = 471116,8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ahora con teniendo el valor del momento y la distancia entre los tornillos extremos, se obtiene el valor de la fuerza (H_V) que deben ejercer los tornillos para soportar el momento flector provocado.

$$H_V = \frac{M_{FV}}{D} = \frac{471116,8 \text{ N} \cdot \text{mm}}{120 \text{ mm}} = 3925,97 \text{ N}$$

El siguiente paso que hay que realizar es calcular el momento que ejerce sobre los tornillos la fuerza horizontal.

$$M_H = F_H \cdot d = 911,55 \text{ N} \cdot 640 \text{ mm} = 583392 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Del mismo modo que el momento vertical, éste genera en los tornillos una fuerza para resistir el momento. En este caso, la componente es también es horizontal, con una distancia entre tornillos de 100 mm y tiene un valor de:

$$H_H = \frac{M_H}{3 \cdot D} = \frac{583392 \text{ N} \cdot \text{m}}{3 \cdot 100 \text{ mm}} = 1944,64 \text{ N}$$

Por último, hay que calcular el momento torsor que genera la excentricidad de la carga horizontal sobre los tornillos, ya que esta se aplica a una distancia de 192 mm del centro de la sección de la viga, debido a la altura del eje vertical. Por lo que el momento generado es:

$$M_{TH} = F_H \cdot d = 911,55 \text{ N} \cdot 192 \text{ mm} = 175017,6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Este momento torsor genera unas cargas verticales sobre los tornillos, la cual es:

$$H_{TV} = \frac{M_{TH}}{3 \cdot D} = \frac{175017,6 \text{ N} \cdot \text{m}}{3 \cdot 100 \text{ mm}} = 583,39 \text{ N}$$

Para ahora obtener la fuerza cortante resultante en el tornillo más desfavorable, cuando todas las fuerzas tengan el mismo sentido, se realiza la raíz cuadrada de las sumas al cuadrado de las fuerzas horizontales y verticales dando:

$$V_d = \sqrt{(V_V + H_{TV})^2 + (H_V + H_H)^2} = 5928,82 \text{ N}$$

Una vez se tiene la fuerza resultante, la resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo es idéntica al apartado 5.5, la cual tiene un valor:

$$F_{v.Rd} = 11278,96 \text{ N}$$

Como la resistencia del tornillo es superior a la de cálculo resistirá correctamente las sollicitaciones de cargas.

Por último, hay que comprobar la resistencia de aplastamiento de la chapa, la cual viene dada por la ecuación 5.3:

En primer lugar se calcula el coeficiente α , el cual será el menor de las ecuaciones 5.4:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{15 \text{ mm}}{3 \cdot 6,6 \text{ mm}} = 0,758$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{60 \text{ mm}}{3 \cdot 6,6 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 2,78$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{700 \frac{N}{\text{mm}^2}}{185 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 3,784$$

$$1,0$$

Por lo que:

$$\alpha = 0,758$$

Con ello se obtiene una resistencia a aplastamiento de la chapa:

$$F_{t.Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,758 \cdot 185 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 6 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}}{1,25} = 8413,8 \text{ N}$$

Como la fuerza aplicada es de 5928,82 N la chapa resistirá correctamente el aplastamiento de la chapa de la viga de la estructura.

5.5.2 Fuerza horizontal dirección axial.

En este caso donde la fuerza horizontal tiene una dirección axial sobre la viga, las fuerzas de cortante debido a la carga vertical, y al momento que genera dicha carga son similares, por lo que se tiene primeramente las siguientes cargas actuando:

$$V_V = 245,37 \text{ N}$$

$$H_V = 3925,97 \text{ N}$$

Por otro lado, la carga horizontal ahora genera un esfuerzo cortante directamente sobre los tres tornillos, la cual tiene un valor de:

$$V_H = \frac{F_H}{3} = \frac{911,55 \text{ N}}{3} = 303,85 \text{ N}$$

Además, al estar la fuerza aplicada a una distancia de 192 mm del centro de la sección de la viga debido al eje vertical, ésta produce un momento flector, el cual se transmite hacia los tornillos extremos:

$$M_H = F_H \cdot d = 911,55 \text{ N} \cdot 192 \text{ mm} = 175017,6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Este momento se transmite hacia los tornillos del mismo modo que en el ejercicio 5.4.1 se transmitía el momento flector generado por la fuerza horizontal:

$$H_H = \frac{M_H}{D} = \frac{175017,6 \text{ N} \cdot \text{m}}{120 \text{ mm}} = 1458,48 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Esta fuerza tiene componente únicamente horizontal.

Ya están todas las fuerzas actuantes calculadas, por lo que falta es obtener la resultante del tornillo mas desfavorable, el cual es el que tiene todas las fuerzas en los mismos sentidos:

$$V_d = \sqrt{(V_V + V_H)^2 + (H_V + H_H)^2} = 5412,39 \text{ N}$$

La resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo y la resistencia a aplastamiento de la chapa que se une es igual que la calculada en el apartado 5.5.1:

$$F_{v.Rd} = 11278,96 \text{ N}$$

$$F_{t.Rd} = 8413,8 \text{ N}$$

Como la fuerza de corte resultante es inferior a estos dos valores, los tornillos y las chapas de aluminio resistirán perfectamente las sollicitaciones de carga.

5.6 Tornillos unión pieza 22 con eje vertical.

La unión de la pieza 22 con el eje vertical se realiza para que la potencia generada por el motor eléctrico se transfiera por medio de los engranajes hasta la sujeción de engranaje y eje vertical para así transmitirlo a la pieza 9, que al girar, gira el módulo fotovoltaico. Por lo

tanto, la fuerza a la que estarán sometidos los tornillos es al momento transmitido por el engranaje, el cual se calculó en el apartado 2.2 y tiene un valor de:

$$M = 2,4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Como este momento se transmite por medio de dos tornillos al eje vertical, los cuales están a una distancia de 40 mm, la fuerza aplicada es:

$$F = \frac{2400 \text{ N} \cdot \text{mm}}{40 \text{ mm}} = 60 \text{ N}$$

Conocida la fuerza de cortante del tornillo, por medio de la ecuación 5.2 se obtiene la capacidad resistente a cortante del tornillo. Además, al ser los tornillos de rosca M4, su sección a cortante es de $7,5 \text{ mm}^2$. Cómo éstos tornillos son de acero de calidad 4.6, la tensión última es de 400 N/mm^2 , con lo que:

$$F_{v.Rd} = 1 \cdot \frac{0,5 \cdot 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 7,5 \text{ mm}^2}{1,25} = 1200 \text{ N}$$

Como se puede observar, el tornillo resiste perfectamente la carga que se le aplicara.

Ahora queda verificar que las planchas a unir soporten el aplastamiento provocado por los tornillos. Para ello se emplea la ecuación 5.3.

$$F_{t.Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

En primer lugar se calcula el coeficiente α , el cual será el menor de las ecuaciones 5.4:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0}$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{\pi \cdot 20 \text{ mm}}{3 \cdot 4,5 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 4,404$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{185 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 2,162$$

$$1,0$$

Como en este tipo de pieza no existe el parámetro e_1 ya que la fuerza va en la dirección circular, la primera ecuación no se tendrá en cuenta. Con ello se obtiene un valor de coeficiente:

$$\alpha = 1$$

Por último se obtiene una fuerza resistente a aplastamiento de la chapa de menor espesor:

$$F_{t.Rd} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 185 \frac{N}{mm^2} \cdot 4 \text{ mm} \cdot 1,8 \text{ mm}}{1,25} = 2664 \text{ N}$$

Como la resistencia a aplastamiento es muy superior a la fuerza que transmitirán los tornillos, la unión cumple correctamente las solicitaciones.

6 Resistencia piezas mecanismo.

En este apartado se realizarán las comprobaciones mecánicas de aquellas piezas del mecanismo que no se hayan realizado por medio de elementos finitos. Estas se han realizado de forma manual, debido a su simplicidad de cálculo.

6.1 Rosca turca resorte.

La tuerca del resorte se ha realizado en aluminio 6063-T5, cuyo límite elástico es 145 N/mm². La rosca realizada sobre la pieza es de M36 y paso 2,0 mm.

Por otro lado, la tuerca debe soportar una fuerza de 36 N, ya que ésta es la que genera el resorte. La pieza en sí ya se comprobó en el apartado 3.9 que soporta ésta carga, pero falta verificar si el filete de la rosca también lo resiste. Para ello se emplean las ecuaciones:

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot F \cdot h}{\pi \cdot d_m \cdot n \cdot b^2} \quad (6.1)$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot F}{2 \cdot \pi \cdot d_{int} \cdot n \cdot b} \quad (6.2)$$

dónde:

σ_{max} Tensión máxima a flexión sobre la rosca.

τ_{max} Tensión máxima a cortante sobre la rosca.

F Fuerza que se aplica de forma uniforme sobre la rosca.

h Altura del diente.

d_m Diámetro medio de la rosca.

n Número de filetes.

b Ancho de la base del diente.

d_{int} Diámetro interior de la rosca.

Ahora, para obtener el valor del diámetro medio, diámetro interior y la altura del diente se emplean las ecuaciones geométricas de la rosca Métrica.

$$H = 0,866 \cdot p = 0,866 \cdot 2 \text{ mm} = 1,723 \text{ mm}$$

$$d_m = d - \frac{3 \cdot H}{8} = 36 \text{ mm} - \frac{3 \cdot 1,723 \text{ mm}}{8} = 35,351 \text{ mm}$$

$$d_{int} = d - \frac{13 \cdot H}{16} = 36 \text{ mm} - \frac{13 \cdot 1,723 \text{ mm}}{16} = 34,593 \text{ mm}$$

$$h = d - d_{int} = 36 \text{ mm} - 34,593 \text{ mm} = 1,407 \text{ mm}$$

$$b = \text{paso} = 2 \text{ mm}$$

$$n = \frac{\text{Longitud roscada}}{\text{paso}} = \frac{5 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 2,5$$

Con todos los valores necesarios calculados, se obtiene la tensión a flexión y a cortante máximas en producidas en la rosca:

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot 36 \text{ N} \cdot 1,407 \text{ mm}}{\pi \cdot 35,351 \text{ mm} \cdot 2,5 \cdot (2 \text{ mm})^2} = 0,137 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 36 \text{ N}}{2 \cdot \pi \cdot 34,593 \text{ mm} \cdot 2,5 \cdot 2 \text{ mm}} = 0,099 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Como ambas tensiones están muy por debajo del límite elástico del material, la rosca resistirá correctamente las fuerzas aplicadas.

6.2 Soporte farola.

El soporte farola son las piezas que unen la estructura del mecanismo con el palo-poste o farola donde se valla a ubicar el mecanismo de seguimiento solar. Ésta pieza ya fue estudiada en el apartado 5.5, dónde se estudiaba la resistencia de los tornillos que lo unen y el aplastamiento de la chapa. Como la chapa resiste las fuerzas cortantes, se puede considerar las

dos piezas como una unida por esos tornillos para el cálculo de resistencia de las mismas. Por lo que las características geométricas del conjunto de soportes es:

$$I_z = \frac{10 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^3}{12} = 833333 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \frac{(100 \text{ mm} \cdot (110 \text{ mm})^3) - (100 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^3)}{12} = 2758333 \text{ mm}^4$$

$$I_p = I_z + I_y = 3591666 \text{ mm}^4$$

Los cálculos de inercia se han realizado teniendo en cuenta la sección más pequeña, la cual es la que está más próxima a la estructura. Con ello hacemos una aproximación, ya que realmente las inercias son mayores, pero estamos del lado de la seguridad una vez se calcule las tensiones.

Las fuerzas que se aplican sobre éstas son las mismas que en el apartado 5.5, por lo que del mismo modo se realizarán dos estudios separados, uno con la carga horizontal provocada por el viento en dirección perpendicular y la otra en dirección axial.

6.2.1 Fuerza horizontal dirección perpendicular.

En este caso, la fuerza horizontal provoca un momento flector en la dirección Y similar al calculado en el apartado 5.5.1:

$$M_y = 471116,8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Además, la componente vertical de la fuerza ejercida por el viento provoca un momento en la dirección Z:

$$M_z = 583392 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Además, como la carga horizontal no se aplica sobre el centro de la sección de la viga, sino que es a una distancia de 192 mm, por lo que provoca un momento torsor sobre las piezas. Éste momento torsor es igual a:

$$M_T = 911,55 \text{ N} \cdot 192 \text{ mm} = 175017,6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Por último, la tensión equivalente de Von Mises para una viga que está sometida a flexión, torsión y compresión viene dada por la ecuación:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{M_Y}{I_Y} \cdot y + \frac{M_Z}{I_Z} \cdot z\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{M_T}{I_P} \cdot d\right)^2} \quad (6.3)$$

El valor de la distancia desde el centro de gravedad al extremo las alejado viene dado por:

$$d = \sqrt{(55 \text{ mm})^2 + (50 \text{ mm})^2} = 74,33 \text{ mm}$$

Por lo que empleando la ecuación 6.3, se obtiene la tensión equivalente:

$$\sigma_{eq} = 47,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Como el límite elástico del aluminio 6063-T5 es de 145 N/mm^2 las piezas soportarán correctamente las fuerzas externas que actúan sobre ellas.

6.2.2 Fuerza horizontal dirección axial.

En este caso, la fuerza vertical produce el mismo momento sobre la dirección Z que en el apartado anterior:

$$M_Z = 583392 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Por otro lado, la fuerza horizontal genera una fuerza normal hacia las placas, la cual hará que sufran tracción o compresión. Esta fuerza es de magnitud:

$$F_H = 911,55 \text{ N}$$

Además, como la carga horizontal no se aplica sobre el centro de la sección de la viga, sino que es a una distancia de 192 mm, ésta provoca un momento flector. En este apartado no se despreciará, debido a que este momento se suma directamente con el provocado por la fuerza vertical, ya que se aplica sobre el mismo eje.

$$M_Z = 583392 \text{ N} \cdot \text{m} + 175017,6 \text{ N} \cdot \text{m} = 758409 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ahora por medio de la ecuación 6.3 se obtiene la tensión interna de la pieza:

$$\sigma = \frac{911,55 \text{ N}}{100 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}} + \frac{758409 \text{ N} \cdot \text{m}}{833333 \text{ mm}^4} \cdot 55 \text{ mm} = 46,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Al igual que en el caso anterior, el límite elástico del material es muy superior a las tensiones experimentadas por las fuerzas externas, por lo que las piezas cumplirán los requisitos.

7. Programa seguimiento Arduino.

Para conseguir orientar correctamente el módulo fotovoltaico se ha empleado el Arduino Uno. Este aparato es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega328. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB, o alimentarla con un adaptador de CA a CC o la batería para empezar.

Para que el módulo fotovoltaico esté siempre en una inclinación normal al sol, se realizará un esquema unifilar del programa que se debe realizar para insertar en el Arduino. Este está diseñado para que el módulo fotovoltaico gire y se oriente cada 8 minutos. Durante estos 8 minutos, el ángulo que se ha desplazado el sol es de unos 2 grados, por lo que es un desfase angular que garantiza una optimización del sistema.

El comienzo del programa se realiza con el módulo fotovoltaico inclinado 65° y orientado al éste, para que comience a funcionar con los primeros rayo de sol.

Una vez inciden los rayos, la potencia que genera será superior a cero, por lo que se comenzará a orientar.

El primer paso es accionar el eje vertical $0,9^\circ$ hacia el oeste. Si en esta posición genera más energía que en la anterior seguirá avanzando, de lo contrario retrocederá a la posición anterior.

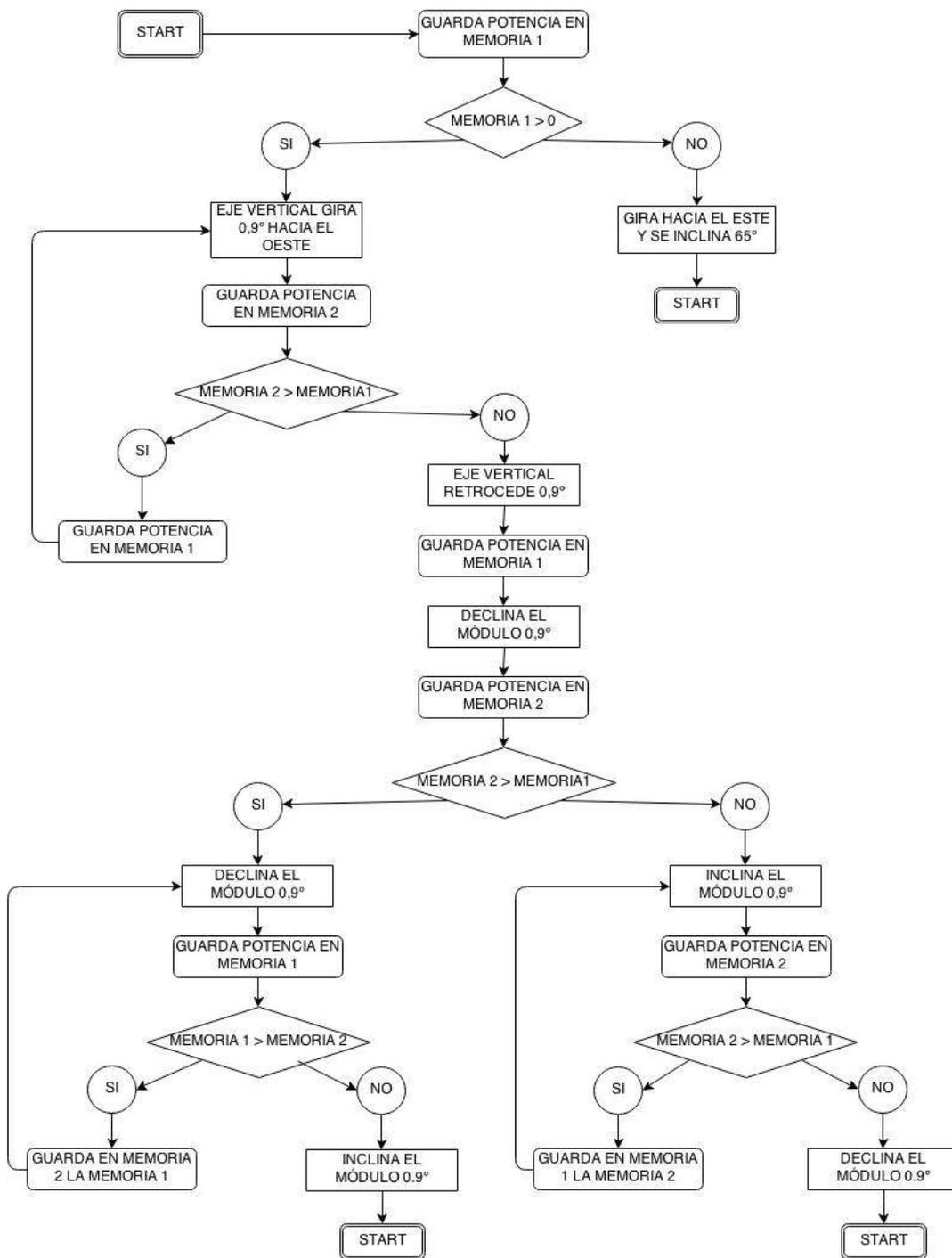
Una vez se optimiza el giro del eje vertical, los actuadores reducen la inclinación del eje horizontal $0,9^\circ$. Con ello, el Arduino compara la energía suministrada con la anterior. Si esta es mayor, volverá a declinarla $0,9^\circ$. Esto se repetirá hasta que la energía que genera sea menor que en la posición anterior. Cuando esto pase, los motores girarán hasta la posición anterior, la cual generaba más energía y comenzará el ciclo tras pasar 8 minutos.

Por otro lado, si cuando termina de optimizar el eje vertical y reduce la inclinación del horizontal, la energía generada es menor, los motores inclinarán la placa $0,9^\circ$. El ciclo se repetirá hasta que encuentre una posición en la que genera menos energía y en ese punto, el

módulo retrocederá para permanecer estático en la posición de generación de máxima potencia. Al transcurrir 8 minutos se repetirá el ciclo completo.

Esto se realiza de este modo, debido a que durante las horas solares, el módulo empezará a reducir la inclinación, pero llegado al mediodía solar, el módulo tendrá que ir inclinándose para captar las radiaciones de la puesta de sol.

El esquema unifilar de la programación será de la siguiente forma:



8. Potencia eléctrica.

En este apartado se realizará el cálculo de la potencia generada por la placa fotovoltaica. Además se hará una comparación entre un módulo fotovoltaico fijo con una inclinación óptima y el módulo fotovoltaico con mecanismo de orientación sobre dos ejes.

Esta comparación se realizará teniendo en cuenta un supuesto de instalación en la laguna, cuyas coordenadas geográficas son: 28° 28' 57'' Norte 16° 19' 17'' Este. Concretamente corresponden con la localización de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial.

8.1 Sistema con movimiento en dos ejes.

El cálculo de la electricidad generada por el módulo fotovoltaico se realiza por medio de la aplicación online JRC European Commission, cuya web es:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=es&map=africa>

En el programa primero hay que seleccionar la ubicación de la placa. Para ello primero hay que elegir el continente, que en nuestro caso es África. A continuación se selecciona la ubicación concreta, la cual se puede realizar por medio de las coordenadas geográficas, o por medio del mapa que aparece en lado derecho.

Como se observa en la figura 7.1 se ha seleccionado la ubicación de la Escuela Superior de Ingeniería Civil e Industrial de la Universidad de la Laguna.

El siguiente paso es elegir el tipo de tecnología. En este caso el módulo elegido es de Silicio Cristalino, en concreto es el Sunmodule SW 50 poly RMA.

A continuación se inserta la potencia pico instalada. Tal como aparece en el catálogo del módulo, la potencia pico es de 50 Wp, por lo que se insertará el valor 0,05 ya que hay que insertarlo en kWp.

EUROPA > CE > CCI > IET > RE > SOLAREC > PVGIS > Mapa interactivo > África

New: PVGIS modified to use Google Maps version 3. [Click here to read about it.](#)

Por ejemplo , "Ispra, Italy" "45.256N, 16.9589E"

posición del cursor: 28.477, -16.346
posición elegida: 28.483, -16.321

Latitud: 28.4825 Longitud: -16.321388

Mapa Satélite

Estimación FV Radiación mensual Radiación diaria FV autónomo

Rendimiento del sistema FV conectado a red

Base de datos de radiación: PVGIS-Helioclim [\[¿Qué es esto?\]](#)

Tecnología FV: Silicio cristalino

Potencia FV pico instalada 0.05 kWp

Pérdidas estimadas del sistema [0;100] 14 %

Opciones de montaje fijo:

Posición de montaje: Posición libre

Inclin. [0;90] 0 grados Optimizar la inclinación

Acimut [-180;180] 0 grados Optimizar también el acimut

(Ángulo de acimut de -180 a 180. Este=-90, sur=0)

Opciones del sistema de seguimiento:

Eje vertical Inclin. [0;90] 0 grados Optimizar

Eje inclinado Inclin. [0;90] 0 grados Optimizar

Seguidor solar a dos ejes

Fichero del horizonte Seleccionar archivo nada seleccionado

Formatos de salida

Mostrar gráficas Mostrar el horizonte

Página web Fichero de texto PDF

Calcular [\[ayuda\]](#)

Figura 8.1. Interfaz programa JRC European Commission.

Fuente: <http://re.jrc.ec.europa.eu>

Una vez tenemos la potencia pico de la instalación, se insertan las pérdidas estimadas del sistema. Las pérdidas estimadas del sistema son todas aquellas pérdidas dentro del mismo que hacen que la potencia realmente entregada a la red eléctrica sea inferior a la potencia producida por los módulos fotovoltaicos. Existen varias causas como pérdidas en el cableado, en los inversores, suciedad sobre los módulos, etc. Se asumen unas pérdidas, por defecto, del 14%.

El siguiente paso es clicar sobre la casilla de seguidor solar a dos ejes. Esta casilla indica que los módulos se montan sobre un sistema de seguimiento que mueve los módulos siguiendo la dirección este-oeste y los inclina un determinado ángulo respecto el suelo. De este modo los módulos siempre están enfrentados al sol (la normal al plano es paralela a la dirección de los rayos del sol). Se debe tener en cuenta que el cálculo considera que los módulos no emplean sistemas de concentración de radiación solar directa, sino que reciben toda la radiación que les llega, tanto directamente desde el sol y como desde el resto de la bóveda celeste. Como el mecanismo que se a diseñado realiza esta función, se obtendrán unos datos muy próximos.

En la opción de posición de montaje se elegirá Posición libre, ya que esto es cuando los módulos están colocados sobre un bastidor que permite libre circulación de aire por detrás de los mismos. El caso del mecanismo diseñado permite la libre circulación de aire por detrás del módulo, por lo que esta posición se ajusta al caso estudiado.

Por último se clica en la casilla de pdf, para que el programa exporte todos los cálculos y gráficas en un documento con ese formato. Una vez hecho esta operación, hay que clicar en Calcular, y obtenemos el informe completo. La tabla de potencias obtenidas son:

Seguidor solar 2 ejes				
Mes	Ed	Em	Hd	Hm
Ene	0.30	9.43	8.28	257
Feb	0.32	8.89	8.66	243
Mar	0.34	10.5	9.22	286
Abr	0.36	10.8	9.82	295
Mayo	0.37	11.5	10.10	313
Jun	0.38	11.3	10.30	309
Jul	0.37	11.4	10.10	314
Ago	0.36	11.3	10.00	311
Sep	0.35	10.5	9.65	289
Oct	0.33	10.1	8.93	277
Nov	0.29	8.78	7.99	240
Dic	0.28	8.79	7.68	238
Año	0.34	10.3	9.23	281
Total para el año		123		3370

Tabla 8.1. Potencias eléctrica generada con seguidor solar de dos ejes.

Fuente: <http://re.jrc.ec.europa.eu>

dónde:

Ed producción de electricidad media diaria por el sistema dado (kWh).

Em Producción de electricidad media mensual por el sistema dado (kWh).

Hd Media diaria de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado (kWh/m²).

Hm Suma media de la irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema dado (kWh/m²).

Como se ve en la tabla, el sistema produce anualmente 123 kWh de electricidad con el módulo fotovoltaico colocado sobre el mecanismo de seguimiento solar. Realmente, como los motores eléctricos consumen energía para generar el movimiento del seguimiento, queda calcular la potencia anual consumida, para obtener la potencia real suministrada. Esto se realizará en el apartado 7.3.

8.2 Sistema fijo con inclinación óptima.

El cálculo de la electricidad generada por el módulo fotovoltaico se realiza al igual que el apartado anterior por medio de la aplicación online JRC European Commission, cuya web es:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=es&map=africa>

Al igual que el apartado 7.1, lo primero que hay que hacer es seleccionar la ubicación de la instalación. Para realizar la comparación, ésta debe ser la misma.

Como el módulo fotovoltaico es el mismo, la potencia pico y las pérdidas estimadas del sistema son exactamente iguales.

En el siguiente paso, hay que seleccionar la casilla en la zona de Opciones de montaje fijo, optimizar la inclinación, que como su nombre indica, calcula el ángulo óptimo de inclinación para generar mayor electricidad a lo largo del año.

Con todo seleccionado se pulsa la casilla Calcular y el programa genera un pdf, cuya tabla generada es:

Sistema fijo: inclinación=28 grados, orientación=0 grados (Óptimo a la orientación dada)				
Mes	Ed	Em	Hd	Hm
Ene	0.23	7.06	6.09	189
Feb	0.24	6.72	6.47	181
Mar	0.25	7.81	6.83	212
Abr	0.26	7.67	6.94	208
Mayo	0.25	7.75	6.79	211
Jun	0.24	7.27	6.63	199
Jul	0.24	7.43	6.61	205
Ago	0.25	7.83	6.97	216
Sep	0.26	7.73	7.10	213
Oct	0.25	7.66	6.76	210
Nov	0.22	6.70	6.03	181
Dic	0.21	6.65	5.71	177
Año	0.24	7.36	6.58	200
Total para el año		88		2400

Tabla 8.2. Potencias eléctrica generada con sistema fijo en inclinación óptima (28°).

Fuente: <http://re.jrc.ec.europa.eu>

dónde los parámetros son los mismos que en el la tabla 7.1.

En el caso de tener la módulo fotovoltaico fijo en una inclinación óptima, la cual es 28°, la potencia generada a lo largo del año es de 88 kWh.

Sin tener el cuenta la potencia consumida por los motores, el módulo que está sobre el mecanismo de seguimiento produce un 39,77% más energía que el mismo pero fijo con una inclinación óptima.

Además, si seleccionamos en el programa que nos genere ambos sistemas en un mismo documento, realiza una comparación de la producción mensual de energía y la irradiación mensual sobre un plano con ángulo fijo.

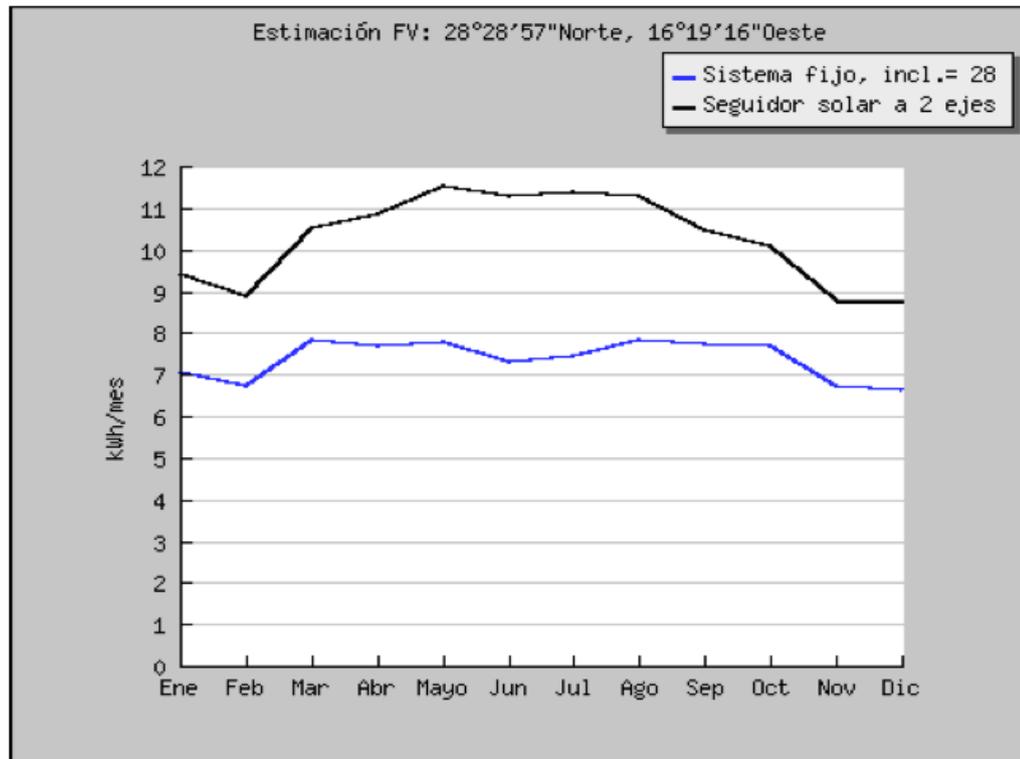


Figura 8.2. Comparación producción mensual con sistema de seguimiento solar y sin él.

Fuente: <http://re.jrc.ec.europa.eu>

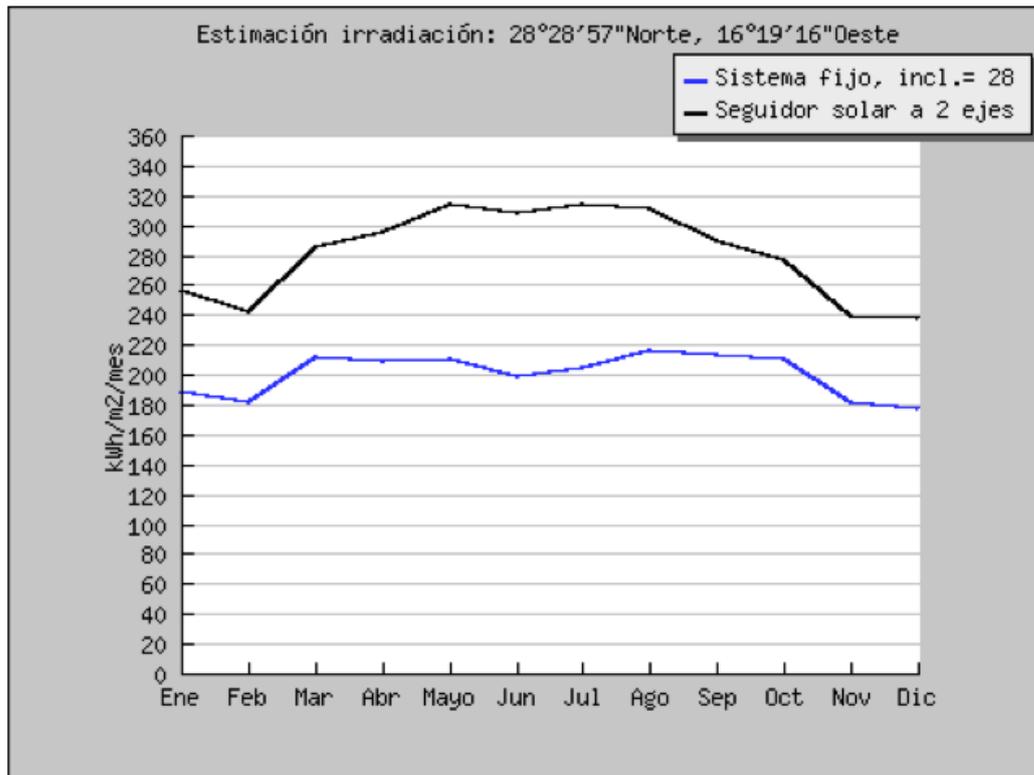


Figura 8.3. Comparación irradiación incidente sobre módulo fotovoltaico con sistema de seguimiento solar y sin él.

Fuente: <http://re.jrc.ec.europa.eu>

8.3 Energía consumida por los motores eléctricos.

Los motores elegidos para generar el movimiento de los ejes ha sido, tal como se explica en la memoria, los RS Hybrid stepper motor 440-464, cuyas características se observan en la tabla 7.3.

RS stock no.	440-420	440-436	440-442	440-458	440-464	440-470
Rated voltage (V)	5	12	5	12	3	2.5
Rated current (I)	0.5	0.16	1	0.6	2	4.5
Resistance (Ω)	10	75	5	20	1.5	0.56
Inductance (mH)	6	36	9	32	4.5	2.8
Detent torque (mHm)	5	4	30	30	40	100
Holding torque (mNm)	70	70	500	500	1200	2200
Step angle accuracy (%)	5	5	5	5	5	5
Step angle	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Insulation class	B	B	B	B	B	B

Tabla 8.3. Características motores paso a paso.

Fuente: Catálogo motores paso a paso RS.

Tal como especifica el fabricante en el catálogo, el voltaje consumido es de 3V, y la corriente es de 2A. Como la potencia consumida para un motor de corriente continua, como es el caso, viene dado por la ecuación:

$$P = V \cdot I \quad (7.1)$$

dónde:

P Potencia consumida.

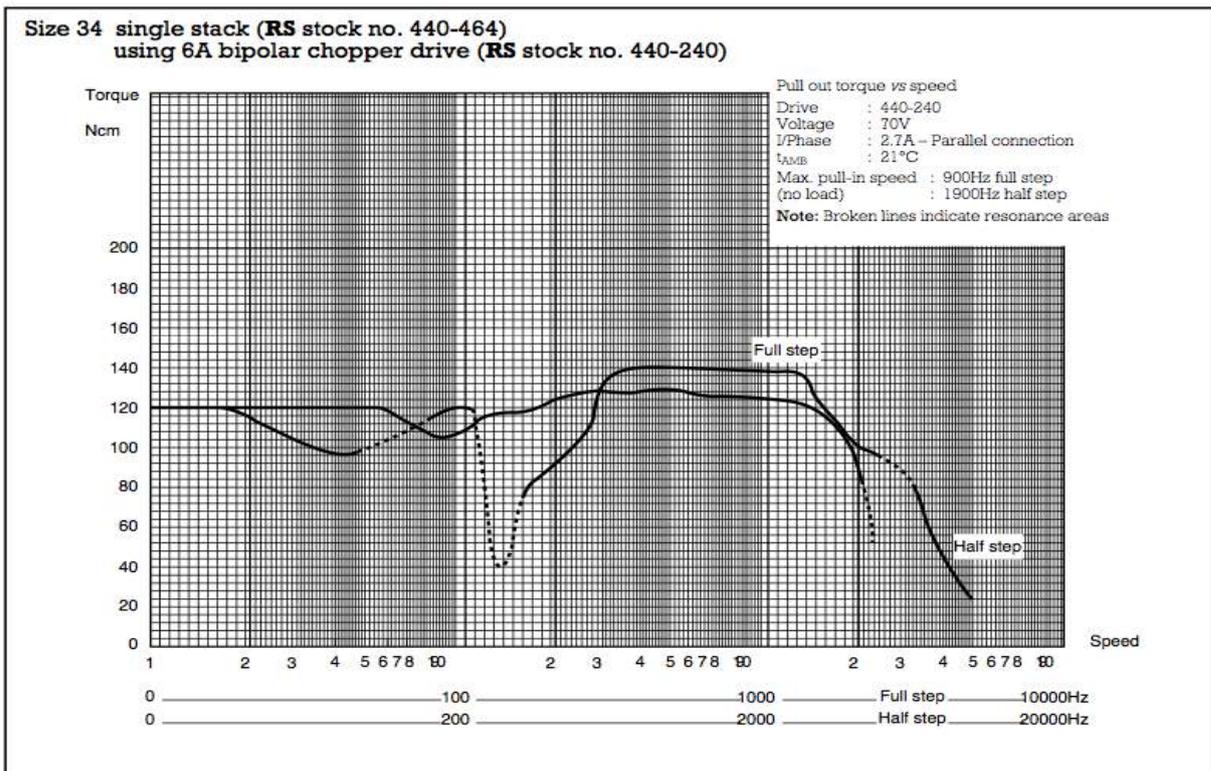
V Variación de tensión en el motor.

I Intensidad de corriente.

Como estos datos los proporcionados por el fabricante, se obtiene la potencia consumida:

$$P = 3 V \cdot 2 A = 6 W$$

El siguiente paso es calcular el tiempo que tarda en realizar un paso. Para ello, se empleará a gráfica de momento-velocidad.



**Figura 8.4. Gráfica momento frente a velocidad motor paso a paso 440.464.
Fuente: Catálogo motores paso a paso RS.**

Como se necesita que el motor entregue un par de 1.2 N·m, podrá girar a una frecuencia máxima de 6 Hz. Para que la variación de velocidad no produzca fuerzas indeseadas sobre los mecanismos de transmisión del momento, se limitará la frecuencia de giro del motor a 1 Hz, ya que así también entrega el par necesario.

A continuación, se realiza el cálculo del tiempo requerido para realizar un paso, sabiendo que girará como máximo a 1 Hz. Para ello se conoce que:

$$1 \text{ Hz} = 1 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Además se conoce que:

$$360^\circ = 1 \text{ rev}$$

Con lo que:

$$1 \text{ Hz} = 1 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \cdot \frac{360^\circ}{1 \text{ rev}} = \frac{360^\circ}{\text{s}}$$

Como cada paso del motor corresponde a un ángulo de 1,8°, la velocidad que tarda en realizar un paso es:

$$t_{\text{paso}} = 1,8^\circ \cdot \frac{1 \text{ s}}{360^\circ} = 0,005 \text{ s}$$

Una vez esta calculado el tiempo que requiere un paso del motor, hay que obtener cuantos pasos realiza cada motor. Para ello se estudiarán de forma independientes, ya que cada uno tiene una relación de transmisión diferente.

Por otro lado, hay que tener en cuenta, que según se indica en el esquema de la programación del sistema, los motores arrancaran cada 8 minutos. De forma aproximada se tiene que cada 8 minutos el sol girará:

$$\frac{360^\circ}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 8 \text{ min} = 2^\circ$$

Como el sol gira 2° cada 8 minutos, se estudiarán cada uno de los motores girando 2°. Realmente los motores girarán un poco menos, pero como la potencia consumida será muy pequeña, esto no afectará en gran medida.

En primer lugar se calcularán los pasos que debe dar el motor que hace girar el eje vertical.

Como la relación de los engranajes es 1:2 se obtiene:

$$Giro\ motor = \frac{Giro\ módulo}{i} = \frac{2^\circ}{\frac{1}{2}} = 4^\circ$$

Como cada paso es de 1,8°, el motor realizará 3 pasos. A su vez, como cada paso tarda 0,005 segundos, el motor funcionará 0,015 segundos cada 8 minutos.

Del mismo modo, la relación de engranajes de la transmisión del eje horizontal es 1:6, por lo que el motor deberá girar:

$$Giro\ motor = \frac{Giro\ módulo}{i} = \frac{2^\circ}{\frac{1}{6}} = 12^\circ$$

Como cada paso que gira es 1,8°, el motor del eje horizontal deberá girar 7 pasos, los cuales tarda en realizarlos 0,035 segundos.

Por último hay que calcular cuanta potencia consumen los motores a lo largo del día. Para ello sabemos que giraran cada 8 min durante las 12 horas solares de cada día. Con ello se obtiene que estarán funcionando:

$$12 \frac{h}{dia} \cdot \frac{60\ min}{1\ h} = 720 \frac{min}{dia}$$

$$\frac{720 \frac{min}{dia}}{8\ min} = 90 \frac{ciclos}{dia}$$

Ahora, como sabemos que cada ciclo dura 0,015 segundos para un motor y 0,035 segundos para el otro, consumiendo 6W, se obtiene:

$$90 \frac{ciclos}{dia} \cdot \left(0,015 \frac{s}{ciclo} + 0,035 \frac{s}{ciclo} \right) \cdot 6\ W = 27 \frac{W \cdot s}{dia}$$

Como los datos de potencia generada están en kWh, hay que convertirlo para poder calcular cual es la potencia total generada por el sistema de seguimiento solar.

$$27 \frac{W \cdot s}{dia} \cdot \frac{365\ dias}{1\ año} \cdot \frac{1\ h}{3600\ s} \cdot \frac{1\ kW}{1000\ W} = 0,0274 \frac{kWh}{año}$$

La potencia consumida por los motores a lo largo del año es de 0,0274 kWh

8.4 Energía consumida Arduino.

Para calcular el consumo del Arduino es muy complicado, ya que va en función de las señales de salida, la frecuencia con las que las active, la optimización del programa que se haya cargado, etc.

Para realizar una estimación, se ha supuesto que el amperaje medio que emplea entre las salidas y los circuitos internos es de 100 mA. Además, conociendo que el voltaje de operación es de 5 v, se obtiene una potencia de:

$$P = 5 \text{ v} \cdot 0,1 \text{ A} = 0,5 \text{ W}$$

Además, se conoce que el Arduino estará operativo las veinticuatro horas al día, por lo que generará un consumo de:

$$\text{Consumo} = 0,5 \text{ W} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 4380 \frac{\text{Wh}}{\text{año}} = 4,38 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

8.5 Energía final generada.

La potencia que genera el sistema al año será la producida por el módulo fotovoltaico descontándole la consumida por los motores eléctricos y el sistema de control Arduino. La potencia generada al año será:

$$\text{Potencia} = 123 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} - 0,0274 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} - 4,38 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} = 118,593 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Si se compara con la potencia generada por el mismo módulo colocado de forma fija en una inclinación óptima 88 kWh/año, el sistema de seguimiento solar produce un 34,76% mas energía.

9 Bibliografía.

- [1] Ramón Alesanco García, tomo 1. Tecnología Mecánica, Metrología dimensional.
- [2] James M. Gere, 2002, 5ª edición. Timoshenko. Resistencia de Materiales, Thomson.
- [3] Robert L. Mott, 4ª edición. Diseño de elementos de máquinas, Pearson educación.
- [4] G. Niemann 1973. Elementos de máquinas. Cálculo, diseño y construcción, Labor, S.A.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Anexo de Catálogos.

TRABAJO FIN DE GRADO.

TÍTULO

**SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.**

AUTOR

Manuel Barbuzano Asencio.

Índice.

1 Módulo fotovoltaico Sunmodule SW50 poly RMA.	1
2 Motor paso a paso RS.	3
3 Rodamientos contacto angular NSK.	9
4 Resorte carga ligera Totalmatrix.	15
5 Engranajes dientes rectos KHK.	17
6 Varilla aportación soldadura Codesol.	23
7 Cable Prysmian.	25
8 Cable Harmoflex.	29
9 Cajas protección Bopla.	31

Sunmodule® SW 50 poly RMA



Producción en Alemania, el país de la tecnología punta



TÜV Power controlled: Las tolerancias de medida más bajas de la industria



Garantía de servicio de 25 años y garantía de producto de 5 años



Calidad alemana

Eligiendo SolarWorld obtendrá los productos de mayor calidad del mercado, fabricados según los estándares de calidad de Alemania.

TÜV "Power controlled"

La nueva certificación "Power controlled" de TÜV Rheinland garantiza el mantenimiento de las potencias indicadas en Sunmodule mediante la supervisión regular por proveedores de servicios de control independientes de TÜV Rheinland. De ello resulta una garantía adicional para inversores y consumidores y constituye así una nueva e importante pieza angular de la elevada garantía de calidad propia de SolarWorld.

Productos destacados

Los módulos de SolarWorld han sido calificados como excelentes por el ÖKO-TEST en Alemania.

Larga experiencia

Una experiencia de más de 30 años de experiencia en aplicaciones alejadas de la red, permite a SolarWorld ofrecer productos punteros y una experiencia técnica del máximo nivel.



Convertimos el sol en energía.

Sunmodule[®] SW 50 poly RMA

COMPORTAMIENTO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR DE PRUEBA (STC*)

		SW 50
Potencia en el punto de máx. potencia	P_{max}	50 Wp
Tensión en vacío	U_{oc}	22,1V
Tensión a potencia máxima	U_{mpp}	18,2 V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	2,95 A
Corriente a potencia máxima	I_{mpp}	2,75 A

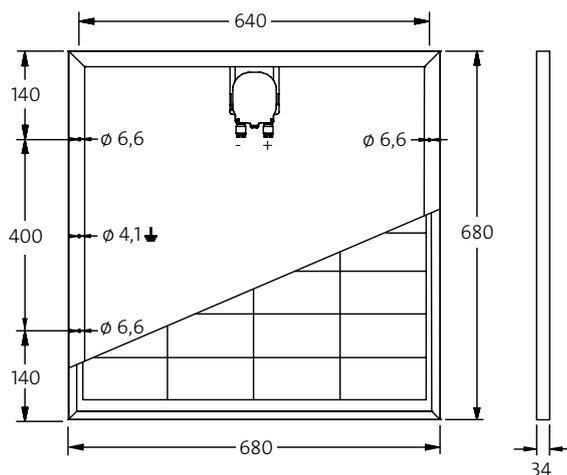
Tolerancia de medición (P_{max}) de acuerdo con TÜV Rheinland: +/- 2% (TÜV Power controlled)

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

COMPORTAMIENTO A 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 50
Potencia en el punto de máx. potencia	P_{max}	35,9 Wp
Tensión en vacío	U_{oc}	19,8 V
Tensión a potencia máxima	U_{mpp}	16,3 V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	2,38 A
Corriente a potencia máxima	I_{mpp}	2,2 A

Ligera reducción de la eficiencia en el comportamiento con carga parcial a 25°C: A 200 W/m² se alcanza el 95 % (+/- 2 %) de la eficiencia bajo condiciones estándar de prueba (1000 W/m²).



MATERIALES EMPLEADOS

Longitud	680 mm
Ancho	680 mm
Altura	34 mm
Marco	Aluminio
Peso	5,6 kg

MATERIALES EMPLEADOS

Células por módulo	36
Tipo de célula	policristalino
Medidas de la célula	62 mm x 156 mm
Parte anterior	vidrio reforzado (EN 12150)

PARÁMETROS TÉRMICOS CARACTERÍSTICOS

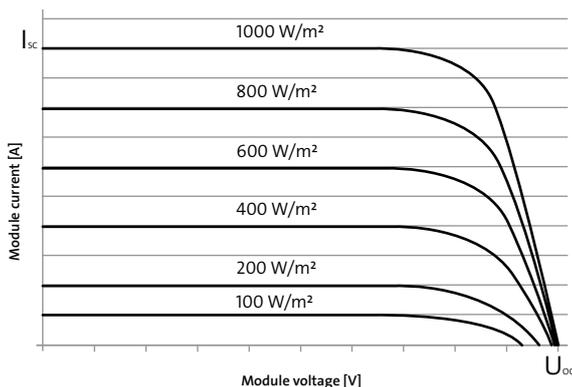
NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0,081 %/K
TC U_{oc}	-0,37 %/K
TC P_{mpp}	-0,45 %/K

OTROS DATOS

Clasificación de la potencia	+/- 10 %
Caja de conexión	IP65

PARÁMETROS TÉRMICOS CARACTERÍSTICOS

Tensión máxima del sistema clase II	1000 V
Carga máxima de corriente inversa	15 A
Cantidad de diodos de bypass	2



- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Periodic Inspection
- Power Controlled



SolarWorld AG se reserva el derecho de cambiar las especificaciones.

Esta hoja de datos satisface las exigencias de la norma EN 50380. Esta hoja de datos también está disponible en inglés.

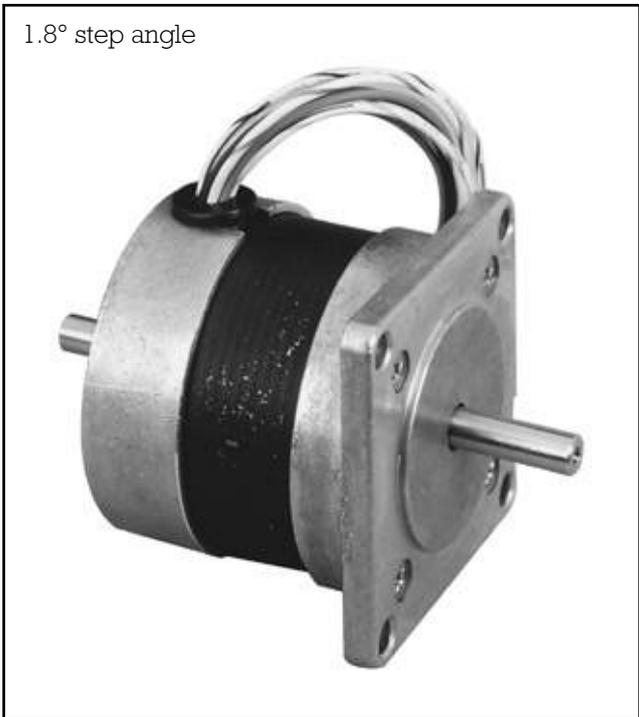
1) Según el mercado de comercialización.



Data Sheet

Hybrid stepper motors

Size	Rear shaft	No. of wires	RS stock no.
17	No	6	440-420
	Yes		440-436
	No		191-8299
	No		191-8306
23	No	8	440-442
	Yes	8	440-458
	No	6	191-8328
	No	6	191-8334
	No	6	191-8340
	No	6	191-8356
	No	6	191-8362
	No	8	191-8378
34	Yes	8	440-464
	No	8	440-470

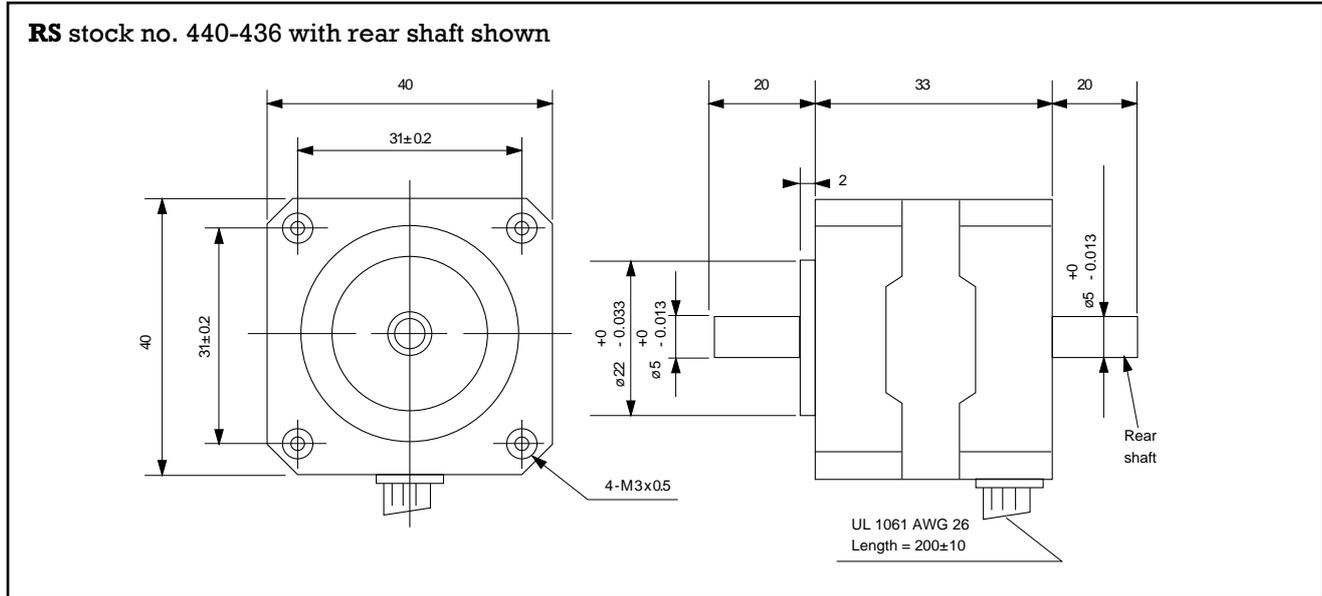


These 4 phase hybrid stepper motors are capable of delivering much higher working torques and stepping rates than permanent magnet (7.5° and 15°) types. Whilst at the same time maintaining a high detent torque even when not energised. This feature is particularly important for positional integrity. Many of the motors are directly compatible with the **RS** stepper motor drive boards (**RS** stock nos. 332-098, 342-051 and 440-240).

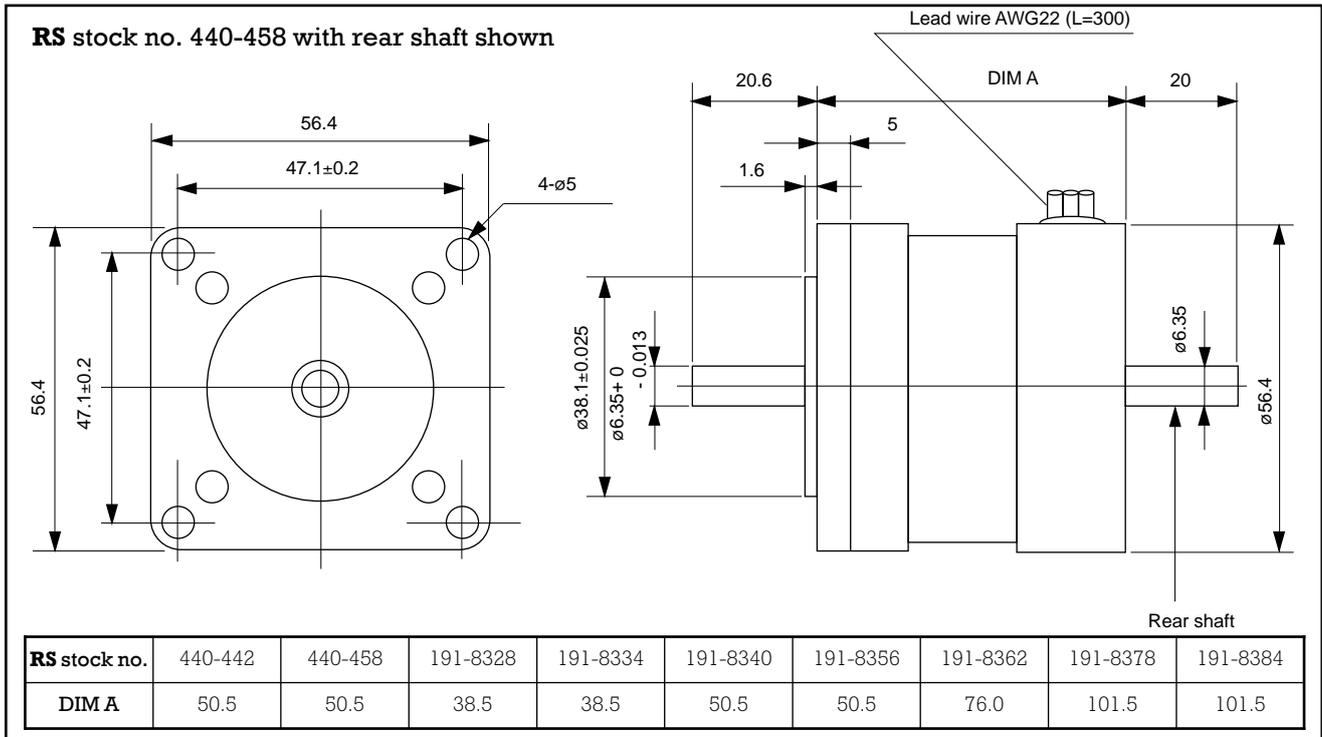
Size 34 motors and a number of size 23 motors are supplied in 8-lead configuration which allows the maximum flexibility when connecting to the drive boards.

Rear extension shafts are provided on three of the motors to enable connection of other drive requirements and feedback devices.

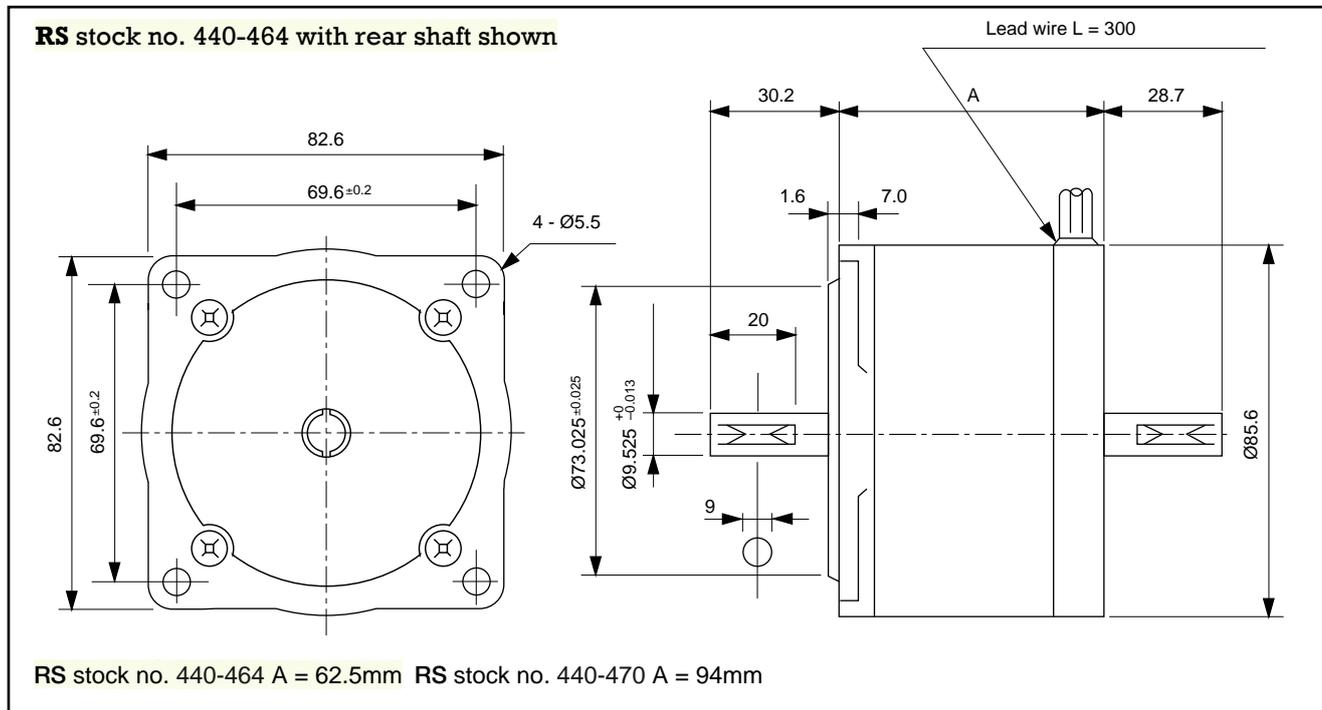
Size 17



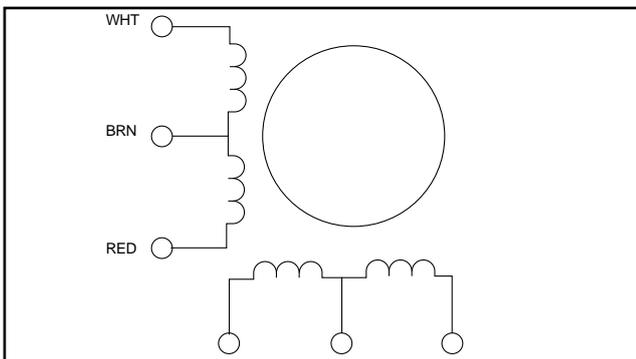
Size 23



Size 34



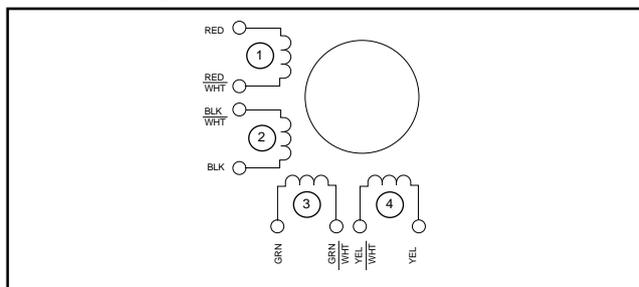
6 Wire configuration



Exciting sequence and direction of rotation when facing mounting flange end.

Step	White	Blue	Red	Yellow	Brown	CW
1	On	On			+dcV	↓
2		On	On			
3			On	On		
4	On			On		

8 Wire configuration



Exciting sequence and direction of rotation when facing mounting flange end.						
Step	Red	Green	Black	Yellow	Com	CW
1	On	On			+dcV	↓
2		On	On			
3			On	On		
4	On			On		

Technical specification

RS stock no.	440-420	440-436	440-442	440-458	440-464	440-470
Rated voltage (V)	5	12	5	12	3	2.5
Rated current (I)	0.5	0.16	1	0.6	2	4.5
Resistance (Ω)	10	75	5	20	1.5	0.56
Inductance (mH)	6	36	9	32	4.5	2.8
Detent torque (mHm)	5	4	30	30	40	100
Holding torque (mNm)	70	70	500	500	1200	2200
Step angle accuracy (%)	5	5	5	5	5	5
Step angle	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Insulation class	B	B	B	B	B	B

RS stock no.	191-8299	191-8306	191-8328	191-8334	191-8340	191-8356	191-8362	191-8378	191-8384
Rated voltage (V)	12	15	5	12	12	12	5.4	3.4	6
Rated current (I)	0.4	0.4	1	0.4	0.48	0.6	1.4	2.85	1.8
Resistance (Ω)	30	45	5	40	25	20	3.8	1.2	3.5
Inductance (mH)	14	22	5.7	40	33	32	6.8	1.5	7.3
Detent torque (mHm)	3.5	3.5	14.8	14.8	29.6	29.6	56.5	77.6	77.6
Holding torque (mNm)	100	100	260	260	494	494	882	1200	1200
Step angle accuracy (%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Step angle	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Insulation class	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Resonance

Certain operating frequencies cause resonance and the motor loses track of the drive input. Audible vibration may accompany resonance conditions. These frequencies should be avoided if possible. Driving the motor on the half step mode (see motor drive methods) greatly reduces the effect of resonance. Alternatively extra load inertia and external damping may be added to shift resonance regions away from the operating frequency.

Motor drive methods

The normal way of driving a 4-phase stepper motor is shown in Figure 1.

This is commonly known as the 'Unipolar L/nr drive'. Here the current in each winding, when energised, flows in one direction only 'n', value is ≥ 1 (but not necessarily an integer) and nR is the sum of the external resistance plus the winding resistance (R). By selecting a higher value for n (ie. larger external resistance) and using a higher dc supply to maintain the rated voltage and current for each winding, improved torque speed characteristics can be obtained. Thus a 6V, 6 Ω motor (1A per phase) can be driven from a 6Vdc supply without any series resistor, in the L/R mode. Alternatively it can be driven from a 24Vdc supply using 18 Ω series resistance in the L/4R mode with much improved performance.

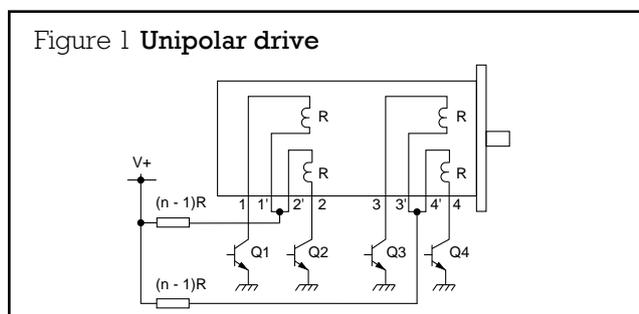


Figure 2 Effect on motor performance of higher supply voltages and larger series limiting resistance

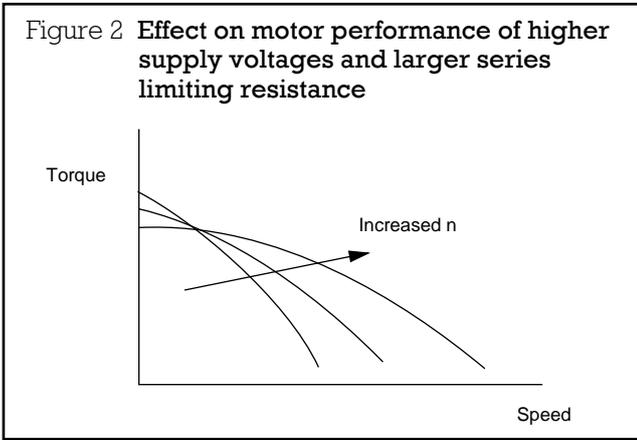


Table 1 Full step mode

Step No.	Q1	Q2	Q3	Q4
Start position (arbitrary)	ON	OFF	OFF	ON
1	ON	OFF	ON	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	ON	OFF	ON
4	ON	OFF	OFF	ON
5	ON	OFF	ON	OFF
Above sequence repeating				

↑ Anti-clockwise
↓ Clockwise

Connection to RS bipolar stepper motor board

When the windings of the RS stepper motors are assigned (Ø1-Ø4) as shown in Figure 3, they can be connected to the board according to Figure 1.

Figure 3 Typical motor winding connections

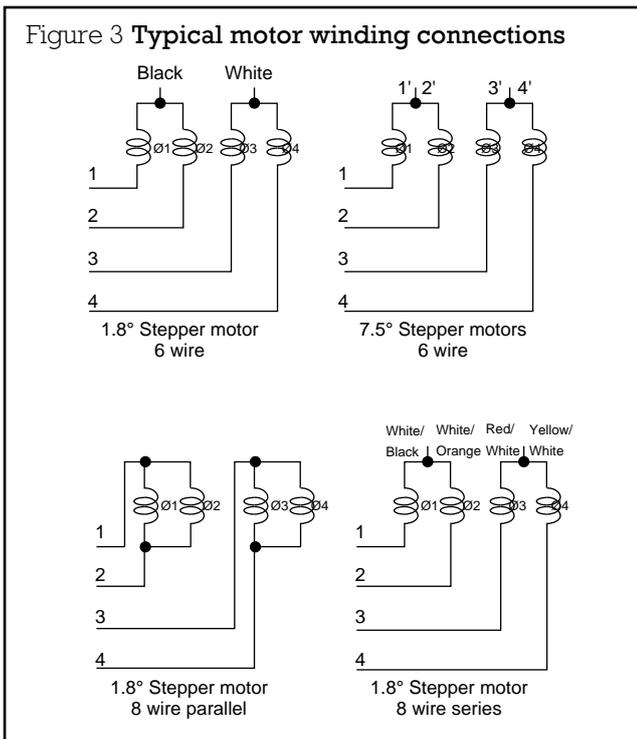


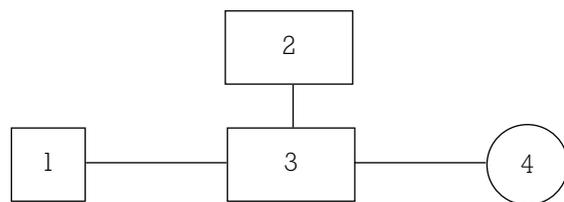
Table 2 Half step mode

Step No.	Q1	Q2	Q3	Q4
Start position	ON	OFF	ON	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	OFF	OFF	ON
3	OFF	OFF	OFF	ON
4	OFF	ON	OFF	ON
5	OFF	ON	OFF	OFF
6	OFF	ON	ON	OFF
7	OFF	OFF	ON	OFF
8	ON	OFF	ON	OFF
9				
Above sequence repeating				

↑ Anti-clockwise
↓ Clockwise

Typical stepper motor control system

The operation of a stepper motor requires the presence of the following elements:



1. **A control unit.** Usually a microprocessor based unit which gives step and direction signals to the drive card. **RS** stepper motor control board (**RS** stock no. 440-098) is ideally suited for this function.
2. **Power supply.** Giving the required voltage and current for the drive card using a linear power supply.
3. **Drive card.** This converts the signals from the control unit in to the required stepper motor sequence. **RS** stock nos. 332-098, 342-051 and 440-240 are designed for the function.
4. **Stepper motor.**

When using 8 lead motors with coils in parallel the motor current should be set no greater than:

$$I \text{ per phase} \times \sqrt{2}$$

When using 6 lead or 8 lead motors with coils in series the motor current should be set no greater than:

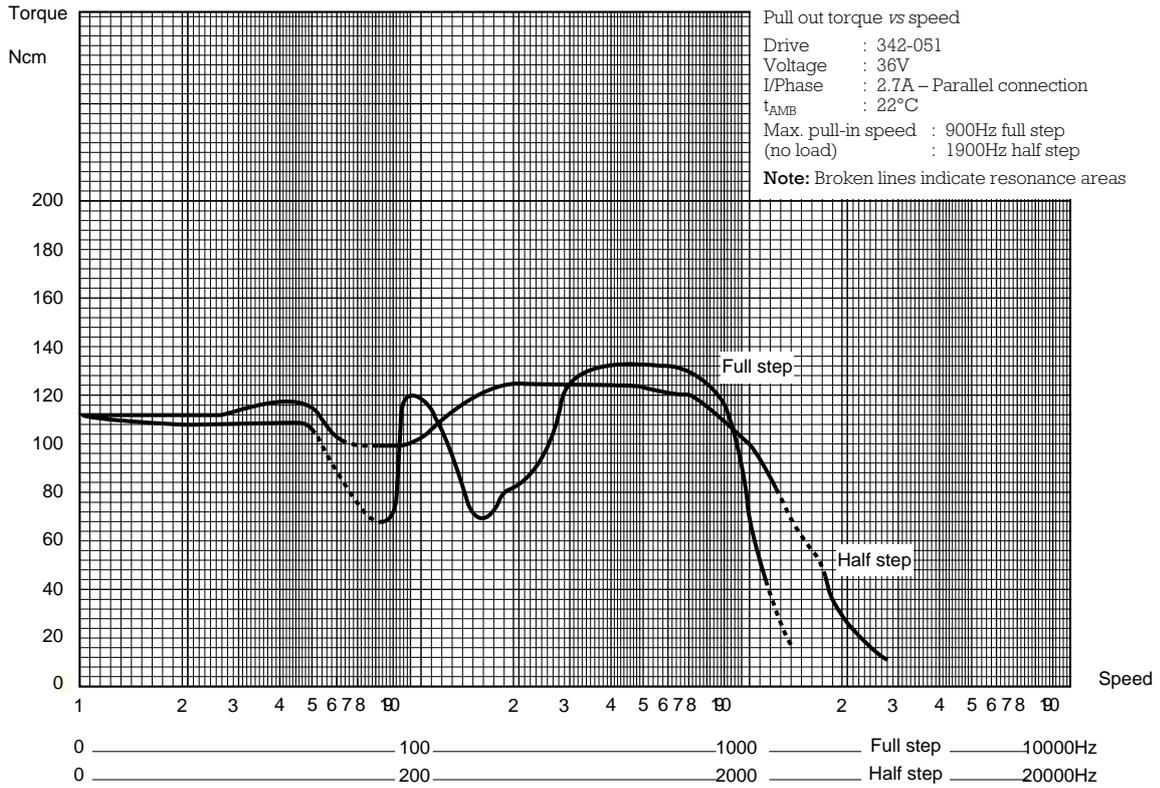
$$I \text{ per phase} \times \sqrt{\frac{1}{2}}$$

Motors with 4 leads have a bipolar rating and can be used according to manufacturer's specification.

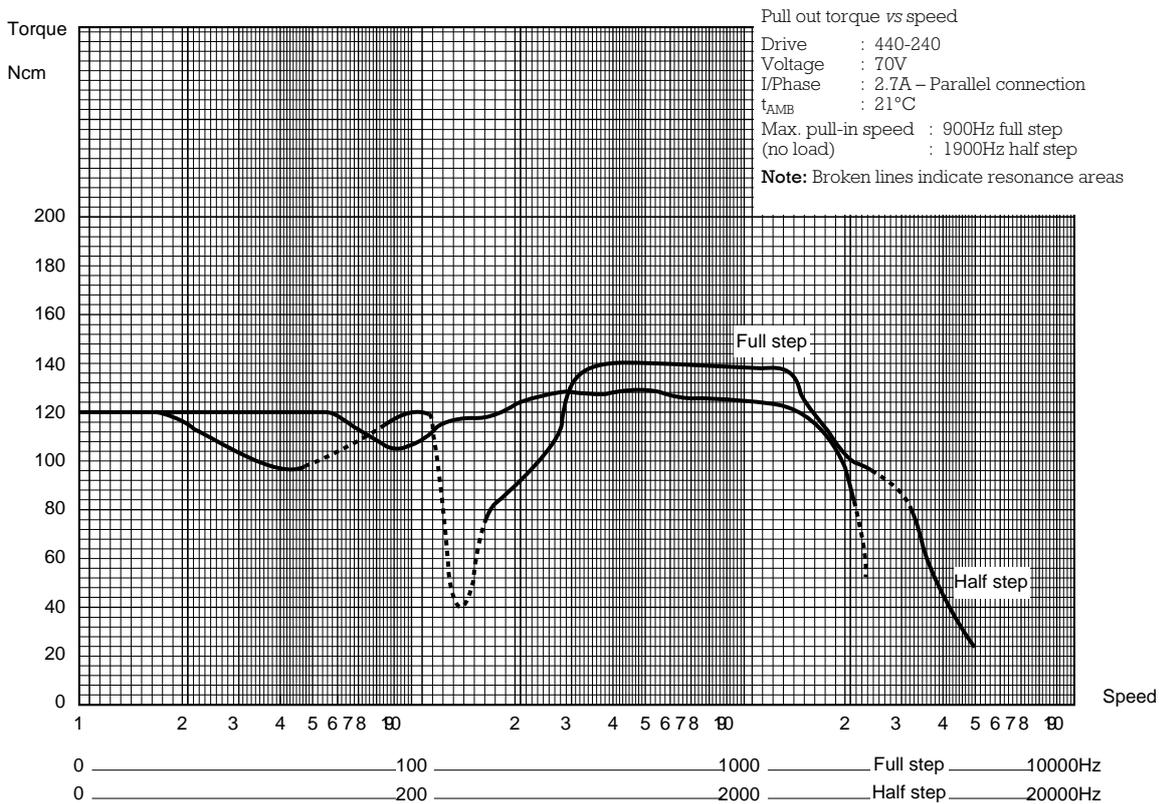
To step a motor in a particular direction a specific switching sequence for the drive transistors Q1-Q4 needs to be followed. If this sequence is in Table 1 (known as the unipolar full step mode) it results in the rotor advancing through one complete step at a time.

Typical drive motor speed torque curves

Size 34 single stack (RS stock no. 440-464)
 using 3.5A bipolar chopper drive (RS stock no. 342-051)



Size 34 single stack (RS stock no. 440-464)
 using 6A bipolar chopper drive (RS stock no. 440-240)



MOTION & CONTROL™

NSK

+ RODAMIENTOS





RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR

RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR DE UNA SOLA HILERA Y EMPAREJADOS

Diámetro Interior 10~ 50mm..... Páginas B50~B55

Diámetro Interior 60~120mm..... Páginas B56~B61

Diámetro Interior 130~200mm..... Páginas B62~B65

RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR DE DOBLE HILERA

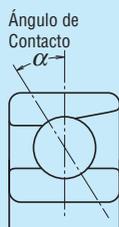
Diámetro Interior 10~ 85mm..... Páginas B66~B67

RODAMIENTOS DE BOLAS DE CUATRO PUNTOS DE CONTACTO

Diámetro Interior 30~200mm..... Páginas B68~B71

DISEÑO, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR DE UNA SOLA HILERA



Estos rodamientos tienen un ángulo de contacto, por lo que pueden soportar cargas axiales importantes en una dirección además de las cargas radiales. Debido a su diseño, cuando se les aplica una carga radial se genera un componente de fuerza axial; por lo tanto, deben utilizarse dos rodamientos opuestos o una combinación de más de dos.

La rigidez de los rodamientos de bolas de contacto angular de una sola hilera puede aumentarse mediante la precarga, por lo que a menudo se utilizan en los husillos principales de las máquinas herramienta, para los cuales se requiere una alta precisión de funcionamiento. (Consulte el Capítulo 10, Precarga, Página A96).

Normalmente, las jaulas para los rodamientos de bolas de contacto angular con un ángulo de contacto de 30° (Símbolo A) o de 40° (Símbolo B) se corresponden con lo indicado en la Tabla 1, pero según la aplicación también se utilizan jaulas de resina sintética mecanizada o jaulas de resina de poliamida moldeada. Los índices básicos de carga mostrados en las tablas de rodamientos se basan en la clasificación de las jaulas mostrada en la Tabla 1.

Aunque las cifras de las tablas de rodamientos (Páginas B50 a B61; diámetros interiores del rodamiento de 10 a 120) muestran rodamientos con anillos interiores del tipo rebajado, también están disponibles los rodamientos del tipo estándar. Consulte a NSK para información más detallada.

Tabla 1 Jaulas Estándar para Rodamientos de Bolas de Contacto Angular

Series	Jaulas de Acero Prensado	Jaulas de Latón Mecanizado
79A5, C	—	7900~7940
70A	7000~7018	7019~7040
70C	—	7000~7022
72A, B	7200~7222	7224~7240
72C	—	7200~7240
73A, B	7300~7320	7321~7340

Además, para rodamientos con el mismo número de serie, si el tipo de jaula es diferente el número de bolas también puede ser diferente. En tal caso, el índice de carga será distinto al mostrado en las tablas de rodamientos.

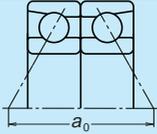
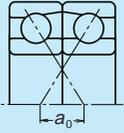
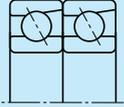
Los Rodamientos de Bolas de Contacto Angular con ángulos de contacto de 15° (Símbolo C) y de 25° (Símbolo A5) se utilizan principalmente en aplicaciones de alta precisión o alta velocidad, y se utilizan jaulas de latón mecanizado, de resina sintética o de poliamida moldeada.

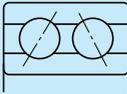
La temperatura máxima de funcionamiento de las jaulas de poliamida moldeada es de 120°C.

RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR EMPAREJADOS

Los tipos y características de los rodamientos de bolas de contacto angular emparejados se muestran en la Tabla 2.

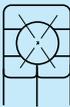
Tabla 2 Tipos y Características de los Rodamientos de Bolas de Contacto Angular Emparejados

Figura	Disposición	Características
	Espalda contra espalda (DB) (Ejemplo) 7208 A DB	Pueden soportar cargas radiales y axiales en ambas direcciones. La distancia entre los centros efectivos de carga a_0 es grande, por lo que este tipo es adecuado si se aplican momentos.
	Cara a cara (DF) (Ejemplo) 7208 B DF	Pueden soportar cargas radiales y axiales en ambas direcciones. En comparación con el Tipo DB, la distancia entre los centros efectivos de carga es pequeña, de modo que la capacidad para soportar momentos es inferior a la del Tipo DB.
	Tándem (DT) (Ejemplo) 7208 A DT	Pueden soportar cargas radiales y axiales en una dirección. Puesto que dos rodamientos comparten la carga axial, esta disposición se utiliza cuando la carga en una dirección es elevada.



RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR DE DOBLE HILERA

Este es básicamente un montaje espalda contra espalda de dos rodamientos de bolas de contacto angular de una sola hilera, pero sus anillos interiores y exteriores están integrados en uno. Pueden soportar cargas axiales en ambas direcciones, y la capacidad de soportar momentos es buena. Este tipo se utiliza como rodamientos de extremo fijo.
Sus jaulas son de acero prensado.



RODAMIENTOS DE BOLAS DE CUATRO PUNTOS DE CONTACTO

El anillo interior se divide radialmente en dos piezas. Su diseño permite que un rodamiento soporte cargas axiales importantes en cualquier dirección.

El ángulo de contacto es de 35°, por lo que la capacidad de carga axial es alta. Este tipo es adecuado para transportar cargas axiales puras o cargas combinadas en las que las cargas axiales son altas.

Las jaulas están fabricadas con latón mecanizado.

PRECAUCIONES PARA EL USO DE RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR

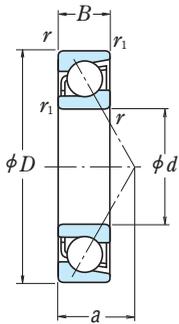
En condiciones de funcionamiento duras, en las que la velocidad y la temperatura se acercan al límite, la lubricación es marginal, la vibración y las cargas momentáneas son elevadas, puede que estos rodamientos no resulten adecuados, especialmente para ciertos tipos de jaulas. En tal caso, consulte primero con NSK.

Y si la carga sobre los rodamientos de bolas de contacto angular es demasiado pequeña, o si la relación entre las cargas axiales y radiales de los rodamientos emparejados es superior a 'e' (e se muestra en las tablas de rodamientos) durante el funcionamiento, se produce un deslizamiento entre las bolas y los caminos de rodadura, lo cual puede provocar deterioro. Especialmente con rodamientos de gran tamaño, ya que el peso de las bolas y la jaula es elevado. Si se presuponen dichas condiciones de carga, consulte con NSK para la selección de los rodamientos.

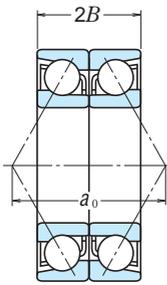
RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR

MONTAJES SIMPLES/EMPAREJADOS

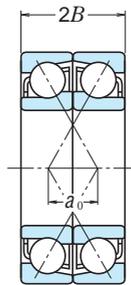
Diámetro Interior 40~55 mm



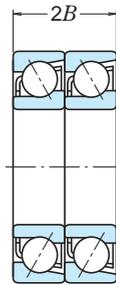
Simple



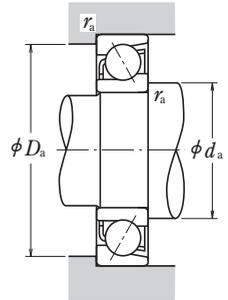
Espalda contra Espalda
DB



Cara a Cara
DF



Tándem
DT



d	Dimensiones (mm)				Índices Básicos de Carga (Simple) (N)				Factor f0	Velocidades Límite ⁽¹⁾ (rpm)		Centros Efectivos de Carga (mm) a	Dimensiones de Tople y Chafán (mm)			Masa (kg) aprox.
	D	B	r min.	r1 min.	Cr	C0r	Cr	C0r		Grasa	Aceite		da min.	Da max.	ra max.	
40	62	12	0.6	0.3	14 300	11 200	1 460	1 140	—	14 000	18 000	17.9	45	57	0.6	0.11
	62	12	0.6	0.3	15 100	11 700	1 540	1 200	15.7	16 000	22 000	12.8	45	57	0.6	0.109
	68	15	1	0.6	19 500	15 400	1 990	1 570	—	10 000	14 000	23.1	46	62	1	0.19
	68	15	1	0.6	20 600	15 900	2 100	1 620	15.4	15 000	20 000	14.7	46	62	1	0.213
	80	18	1.1	0.6	35 500	25 100	3 600	2 560	—	9 500	13 000	26.3	47	73	1	0.375
	80	18	1.1	0.6	32 000	23 000	3 250	2 340	—	6 700	9 000	34.2	47	73	1	0.383
	80	18	1.1	0.6	36 500	25 200	3 700	2 570	14.1	14 000	19 000	17.0	47	73	1	0.418
	90	23	1.5	1	49 000	33 000	5 000	3 350	—	7 100	9 000	30.3	49	81	1.5	0.633
45	90	23	1.5	1	45 000	30 500	4 550	3 100	—	6 300	8 500	38.8	49	81	1.5	0.648
	68	12	0.6	0.3	15 100	12 700	1 540	1 290	—	12 000	17 000	19.2	50	63	0.6	0.13
	68	12	0.6	0.3	16 000	13 400	1 630	1 360	16.0	14 000	20 000	13.6	50	63	0.6	0.129
	75	16	1	0.6	23 100	18 700	2 360	1 910	—	9 500	13 000	25.3	51	69	1	0.25
	75	16	1	0.6	24 400	19 300	2 490	1 960	15.4	14 000	19 000	16.0	51	69	1	0.274
	85	19	1.1	0.6	39 500	28 700	4 050	2 930	—	8 500	12 000	28.3	52	78	1	0.411
	85	19	1.1	0.6	36 000	26 200	3 650	2 680	—	6 300	8 500	36.8	52	78	1	0.421
	85	19	1.1	0.6	41 000	28 800	4 150	2 940	14.2	12 000	17 000	18.2	52	78	1	0.468
50	100	25	1.5	1	63 500	43 500	6 450	4 450	—	6 300	8 500	33.4	54	91	1.5	0.848
	100	25	1.5	1	58 500	40 000	5 950	4 100	—	5 600	7 500	42.9	54	91	1.5	0.869
	72	12	0.6	0.3	15 900	14 200	1 630	1 450	—	11 000	15 000	20.2	55	67	0.6	0.132
	72	12	0.6	0.3	16 900	15 000	1 720	1 530	16.2	13 000	18 000	14.2	55	67	0.6	0.13
	80	16	1	0.6	24 500	21 100	2 500	2 150	—	8 500	12 000	26.8	56	74	1	0.263
	80	16	1	0.6	26 000	21 900	2 650	2 230	15.7	12 000	17 000	16.7	56	74	1	0.293
	90	20	1.1	0.6	41 500	31 500	4 200	3 200	—	8 000	11 000	30.2	57	83	1	0.466
	90	20	1.1	0.6	37 500	28 600	3 800	2 920	—	5 600	8 000	39.4	57	83	1	0.477
55	90	20	1.1	0.6	43 000	31 500	4 350	3 250	14.5	12 000	16 000	19.4	57	83	1	0.528
	110	27	2	1	74 000	52 000	7 550	5 300	—	5 600	7 500	36.6	60	100	2	1.1
	110	27	2	1	68 000	48 000	6 950	4 900	—	5 000	6 700	47.1	60	100	2	1.12
	80	13	1	0.6	18 100	16 800	1 840	1 710	—	10 000	14 000	22.2	61	74	1	0.184
	80	13	1	0.6	19 100	17 700	1 950	1 810	16.3	12 000	16 000	15.5	61	74	1	0.182
	90	18	1.1	0.6	32 500	27 700	3 300	2 830	—	7 500	11 000	29.9	62	83	1	0.391
	90	18	1.1	0.6	34 000	28 600	3 500	2 920	15.5	11 000	15 000	18.7	62	83	1	0.43
	100	21	1.5	1	51 000	39 500	5 200	4 050	—	7 100	10 000	32.9	64	91	1.5	0.613
120	100	21	1.5	1	46 500	36 000	4 700	3 700	—	5 300	7 100	43.0	64	91	1.5	0.627
	100	21	1.5	1	53 000	40 000	5 400	4 100	14.5	10 000	14 000	20.9	64	91	1.5	0.688
	120	29	2	1	86 000	61 500	8 750	6 250	—	5 000	6 700	39.8	65	110	2	1.41
	120	29	2	1	79 000	56 500	8 050	5 750	—	4 500	6 300	51.2	65	110	2	1.45

Notas ⁽¹⁾ Para aplicaciones que funcionan cerca de la velocidad límite, consulte la Página B49.

⁽²⁾ Los sufijos A, A5, B y C representan ángulos de contacto de 30°, 25°, 40° y 15° respectivamente.

RESORTES ISO 10243



RESORTE CARGA
LIGERA

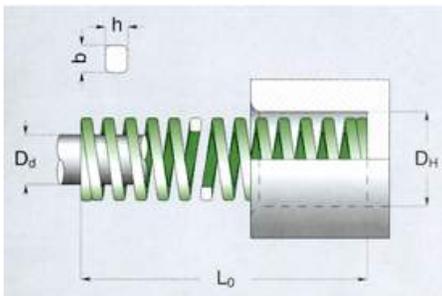


► CARACTERÍSTICAS

Deflexión Máxima: 50%

Uso óptimo de operación:

De 25% al 35% del largo libre

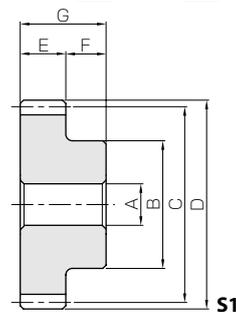


D _H	D _d	L ₀	Nº de catálogo	Rigidez	25%		30%		37,5%		D	
					3.000.000		1.500.000		Máximo Deflexión		Aprox.	
b x h					mm	N	mm	N	mm	N	mm	N
mm	mm	mm		N / mm								
10	5	25	V 10 - 025	10	6.3	63	7.5	75	10.0	100	13.5	135
		32	V 10 - 032	8.5	8.0	68	9.6	82	12.8	109	17.5	149
		38	V 10 - 038	6.8	9.5	65	11.4	78	15.2	103	20.8	141
		44	V 10 - 044	6.0	11.0	66	13.2	79	17.6	106	23.9	143
		51	V 10 - 051	5.0	12.8	64	15.3	77	20.4	102	28.9	145
		64	V 10 - 064	4.3	16.0	69	19.2	83	25.6	110	36.1	155
		76	V 10 - 076	3.2	19.0	61	22.8	73	30.4	97	43.2	138
		1.7 x 1.1		305	V 10 - 305	1.1	76.3	84	91.5	101	122.0	134
12.5	6.3	25	V 13 - 025	17.9	6.3	113	7.5	134	10.0	179	13.2	236
		32	V 13 - 032	16.4	8.0	131	9.6	157	12.8	210	18.0	295
		38	V 13 - 038	13.6	9.5	129	11.4	155	15.2	207	21.0	286
		44	V 13 - 044	12.1	11.0	133	13.2	160	17.6	213	24.0	290
		51	V 13 - 051	11.4	12.8	146	15.3	174	20.4	233	28.7	327
		64	V 13 - 064	9.3	16.0	149	19.2	179	25.6	238	35.8	333
		76	V 13 - 076	7.1	19.0	135	22.8	162	30.4	216	42.7	303
		89	V 13 - 089	5.4	22.3	120	26.7	144	35.6	192	50.4	272
2.4 x 1.4		102	V 13 - 102	4.1	25.5	105	30.6	125	40.8	167	58.4	239
		305	V 13 - 305	1.4	76.3	107	91.5	128	122.0	171	172.0	241
16	8	25	V 16 - 025	23.4	6.3	147	7.5	176	10.0	234	12.6	295
		32	V 16 - 032	22.9	8.0	183	9.6	220	12.8	293	16.4	376
		38	V 16 - 038	19.3	9.5	183	11.4	220	15.2	293	19.7	380
		44	V 16 - 044	17.1	11.0	188	13.2	226	17.6	301	22.5	385
		51	V 16 - 051	15.7	12.8	201	15.3	240	20.4	320	26.3	413
		64	V 16 - 064	10.7	16.0	171	19.2	205	25.6	274	33.3	356
		76	V 16 - 076	10.0	19.0	190	22.8	228	30.4	304	40.2	402
		89	V 16 - 089	8.6	22.3	192	26.7	230	35.6	306	47.6	409
		102	V 16 - 102	7.8	25.5	199	30.6	239	40.8	318	55.4	432
		115	V 16 - 115	6.6	28.8	190	34.5	228	46.0	304	60.8	401
		3.2 x 1.5		305	V 16 - 305	2.5	76.3	191	91.5	229	122.0	305



Specifications	
Precision grade	JIS grade N8 (JIS B1702-1: 1998) * JIS grade 4 (JIS B1702: 1976)
Gear teeth	Standard full depth
Pressure angle	20°
Material	S45C
Heat treatment	—
Tooth hardness	less than 194HB

* The precision grade of products with a module of less than 0.8 is equivalent to the value shown in the table.



Spur Gears

Helical Gears

Internal Gears

Racks

CP Racks & Pinions

Miter Gears

Bevel Gears

Screw Gears

Worm Gear Pair

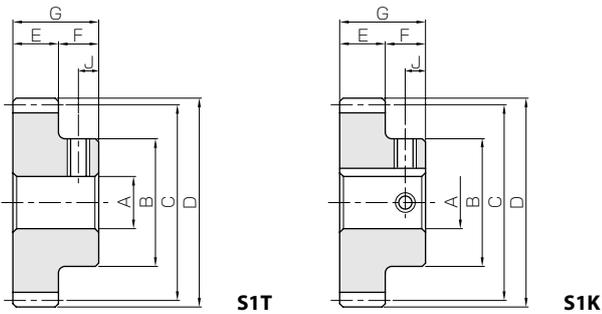
Bevel Gearboxes

Other Products

Catalog No.	Module	No. of teeth	Shape	Bore	Hub dia.	Pitch dia.	Outside dia.	Face width	Hub width	Total length	Keyway
				AH7	B	C	D	E	F	G	WidthxDepth
SSY0.8-20 SSY0.8-20A	m0.8	20	S1	5	13.5	16	17.6	4	8	12	—
			S1T	5							—
SSY0.8-25 SSY0.8-25A		25	S1	5	17	20	21.6	4	8	12	—
			S1T	5							—
SSY0.8-30 SSY0.8-30A		30	S1	5	20	24	25.6	4	8	12	—
			S1T	5							—
SSY0.8-40 SSY0.8-40A		40	S1	5	25	32	33.6	4	8	12	—
			S1T	6							—
SSY0.8-50 SSY0.8-50A		50	S1	5	25	40	41.6	4	8	12	—
			S1T	6							—
SSY1-12 SSY1-12A	m1	12	S1	5	9	12	14	6	8	14	—
			S1T	5							—
SSY1-14 SSY1-14A		14	S1	5	11	14	16	6	8	14	—
			S1T	5							—
SSY1-15 SSY1-15A		15	S1	6	12	15	17	6	8	14	—
			S1T	6							—
SSY1-16 SSY1-16A		16	S1	6	13	16	18	6	8	14	—
			S1T	6							—
SSY1-18 SSY1-18A		18	S1	6	14	18	20	6	8	14	—
			S1T	6							—
SSY1-20 SSY1-20A SSY1-20B		20	S1	6	16	20	22	6	8	14	—
			S1T	6							—
			S1T	8							—
SSY1-24 SSY1-24A SSY1-24B		24	S1	6	16	24	26	6	8	14	—
			S1T	6							—
			S1T	8							—
SSY1-25 SSY1-25A		25	S1	6	16	25	27	6	8	14	—
			S1T	6							—
SSY1-28 SSY1-28A	28	S1	6	16	28	30	6	8	14	—	
		S1T	6							—	
SSY1-30 SSY1-30A SSY1-30B	30	S1	6	25	30	32	6	8	14	—	
		S1T	6							—	
		S1T	8							—	
SSY1-32 SSY1-32A	32	S1	6	25	32	34	6	8	14	—	
		S1T	6							—	
SSY1-35 SSY1-35A SSY1-35B	35	S1	6	25	35	37	6	8	14	—	
		S1T	8							—	
		S1K	10							4 x 1.8	
SSY1-36 SSY1-36A SSY1-36B	36	S1	6	25	36	38	6	8	14	—	
		S1T	8							—	
		S1K	10							4 x 1.8	
SSY1-40 SSY1-40A SSY1-40B	40	S1	8	28	40	42	6	8	14	—	
		S1T	8							—	
		S1K	10							4 x 1.8	
SSY1-45 SSY1-45A	45	S1	8	28	45	47	6	8	14	—	
		S1T	8							—	
SSY1-48 SSY1-48A	48	S1	8	28	48	50	6	8	14	—	
		S1T	8							—	

- [Caution on Product Characteristics]
- ① For products with a tapped hole, a set screw is included.
 - ② The allowable torques shown in the table are calculated values according to the assumed usage conditions. Please see page 35 for more details.
 - ③ The backlash values shown in the table are the theoretical values for the backlash in the normal direction of a pair of identical gears in mesh.

Steel Thin Face Spur Gears



S1T

S1K

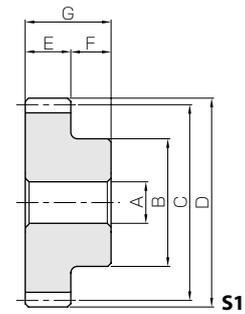
Set Screw		Allowable torque (N-m)		Allowable torque (kgf-m)		Backlash (mm)	Weight (kg)	Catalog No.
Size	J	Bending strength	Surface durability	Bending strength	Surface durability			
— M4	— 4	1.47	0.085	0.15	0.0087	0 ~0.10	490 690	SSY0.8-20 SSY0.8-20A
— M4	— 4	2.03	0.134	0.21	0.014	0 ~0.10	530 730	SSY0.8-25 SSY0.8-25A
— M4	— 4	2.60	0.197	0.27	0.020	0 ~0.10	610 790	SSY0.8-30 SSY0.8-30A
— M4	— 4	3.77	0.362	0.39	0.037	0 ~0.10	750 950	SSY0.8-40 SSY0.8-40A
— M4	— 4	4.98	0.580	0.51	0.059	0 ~0.10	920 1,150	SSY0.8-50 SSY0.8-50A
— M4	— 4	1.22	0.069	0.12	0.0070	0.08~0.18	340 490	SSY1-12 SSY1-12A
— M4	— 4	1.98	0.096	0.20	0.010	0.08~0.18	360 500	SSY1-14 SSY1-14A
— M4	— 4	2.22	0.11	0.23	0.011	0.08~0.18	370 510	SSY1-15 SSY1-15A
— M4	— 4	2.46	0.13	0.25	0.013	0.08~0.18	380 510	SSY1-16 SSY1-16A
— M4	— 4	2.95	0.16	0.30	0.017	0.08~0.18	390 510	SSY1-18 SSY1-18A
— M4 M5	— 4 4	3.45	0.20	0.35	0.021	0.08~0.18	420 560 560	SSY1-20 SSY1-20A SSY1-20B
— M4 M5	— 4 4	4.48	0.30	0.46	0.030	0.08~0.18	450 590 590	SSY1-24 SSY1-24A SSY1-24B
— M4	— 4	4.74	0.32	0.48	0.033	0.08~0.18	460 590	SSY1-25 SSY1-25A
— M4	— 4	5.55	0.41	0.57	0.042	0.08~0.18	490 630	SSY1-28 SSY1-28A
— M4 M5	— 4 4	6.08	0.47	0.62	0.048	0.08~0.18	500 660 660	SSY1-30 SSY1-30A SSY1-30B
— M4	— 4	6.63	0.54	0.68	0.055	0.08~0.18	510 690	SSY1-32 SSY1-32A
— M5 M4	— 4 4	7.45	0.66	0.76	0.067	0.08~0.18	540 740 860	SSY1-35 SSY1-35A SSY1-35B
— M5 M4	— 4 4	7.73	0.70	0.79	0.071	0.08~0.18	570 750 870	SSY1-36 SSY1-36A SSY1-36B
— M5 M4	— 4 4	8.84	0.87	0.90	0.089	0.08~0.18	610 840 1,070	SSY1-40 SSY1-40A SSY1-40B
— M5	— 4	10.3	1.12	1.05	0.11	0.08~0.18	690 940	SSY1-45 SSY1-45A
— M5	— 4	11.1	1.28	1.13	0.13	0.08~0.18	780 1,020	SSY1-48 SSY1-48A

[Caution on Secondary Operations]

- ① Please read "Caution on Performing Secondary Operations" (Page 36) when performing modifications and/or secondary operations for safety concerns. Haguruma Kobo, the KHK's system for quick modification of KHK stock gears is also available.
- ② When performing secondary operations, be aware of deflection and distortion as the tooth is thin in width; deflection might occur if heat treated.
- ③ Avoid performing secondary operations that narrow the tooth width as it affects precision and strength.



Specifications	
Precision grade	JIS grade N8 (JIS B1702-1: 1998) JIS grade 4 (JIS B1702: 1976)
Gear teeth	Standard full depth
Pressure angle	20°
Material	S45C
Heat treatment	—
Tooth hardness	less than 194HB

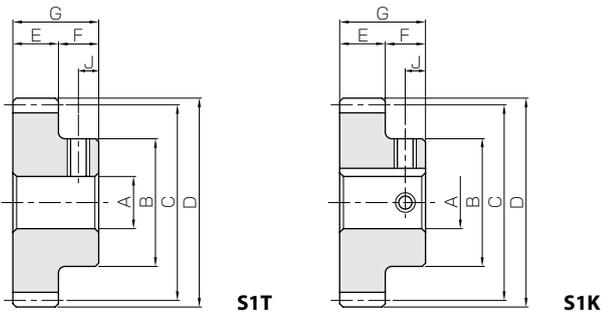


Spur Gears
 Helical Gears
 Internal Gears
 Racks
 CP Racks & Pinions
 Miter Gears
 Bevel Gears
 Screw Gears
 Worm Gear Pair
 Bevel Gearboxes
 Other Products

Catalog No.	Module	No. of teeth	Shape	Bore	Hub dia.	Pitch dia.	Outside dia.	Face width	Hub width	Total length	Keyway
				A _{H7}	B	C	D	E	F	G	WidthxDepth
SSY1-50 SSY1-50A	m1	50	S1 S1T	8 8	28	50	52	6	8	14	— —
SSY1-55 SSY1-55A		55	S1 S1K	8 10	28	55	57	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-56 SSY1-56A		56	S1 S1K	8 10	28	56	58	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-60 SSY1-60A SSY1-60B		60	S1 S1K S1K	8 10 12	35	60	62	6	8	14	— 4 x 1.8 4 x 1.8
SSY1-64 SSY1-64A		64	S1 S1K	8 10	35	64	66	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-65 SSY1-65A		65	S1 S1K	8 10	35	65	67	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-70 SSY1-70A		70	S1 S1K	8 10	35	70	72	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-72 SSY1-72A		72	S1 S1K	8 10	35	72	74	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-75 SSY1-75A		75	S1 S1K	8 10	35	75	77	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-80 SSY1-80A		80	S1 S1K	10 12	40 35	80	82	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-85 SSY1-85A		85	S1 S1K	10 12	40 35	85	87	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-90 SSY1-90A		90	S1 S1K	10 12	40 35	90	92	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-95 SSY1-95A		95	S1 S1K	10 12	40 35	95	97	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-96 SSY1-96A		96	S1 S1K	10 12	40 35	96	98	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-100 SSY1-100A		100	S1 S1K	10 12	50 35	100	102	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-110 SSY1-110A		110	S1 S1K	10 12	50 35	110	112	6	8	14	— 4 x 1.8
SSY1-120 SSY1-120A	120	S1 S1K	10 12	50 35	120	122	6	8	14	— 4 x 1.8	

[Caution on Product Characteristics]

- ① For products with a tapped hole, a set screw is included.
- ② The allowable torques shown in the table are calculated values according to the assumed usage conditions. Please see page 35 for more details.
- ③ The backlash values shown in the table are the theoretical values for the backlash in the normal direction of a pair of identical gears in mesh.



S1T

S1K

Set Screw		Allowable torque (N-m)		Allowable torque (kgf-m)		Backlash (mm)	Weight (kg)	Catalog No.
Size	J	Bending strength	Surface durability	Bending strength	Surface durability			
M5	4	11.7	1.39	1.19	0.14	0.08~0.18	0.13 0.12	SSY1-50 SSY1-50A
M4	4	13.1	1.70	1.34	0.17	0.08~0.18	0.15 0.14	SSY1-55 SSY1-55A
M4	4	13.4	1.77	1.37	0.18	0.08~0.18	0.15 0.14	SSY1-56 SSY1-56A
M4	4	14.5	2.04	1.48	0.21	0.08~0.18	0.19 0.18 0.18	SSY1-60 SSY1-60A SSY1-60B
M4	4	15.7	2.34	1.60	0.24	0.08~0.18	0.21 0.20	SSY1-64 SSY1-64A
M4	4	16.0	2.41	1.63	0.25	0.08~0.18	0.21 0.21	SSY1-65 SSY1-65A
M4	4	17.4	2.82	1.78	0.29	0.08~0.18	0.24 0.23	SSY1-70 SSY1-70A
M4	4	18.0	2.99	1.84	0.30	0.08~0.18	0.25 0.24	SSY1-72 SSY1-72A
M4	4	18.9	3.26	1.93	0.33	0.08~0.18	0.26 0.26	SSY1-75 SSY1-75A
M4	4	20.3	3.74	2.07	0.38	0.08~0.18	0.31 0.28	SSY1-80 SSY1-80A
M4	4	21.8	4.25	2.22	0.43	0.08~0.18	0.34 0.31	SSY1-85 SSY1-85A
M4	4	23.3	4.79	2.37	0.49	0.08~0.18	0.37 0.35	SSY1-90 SSY1-90A
M4	4	24.7	5.37	2.52	0.55	0.08~0.18	0.40 0.38	SSY1-95 SSY1-95A
M4	4	25.0	5.49	2.55	0.56	0.08~0.18	0.41 0.39	SSY1-96 SSY1-96A
M4	4	26.2	5.98	2.67	0.61	0.08~0.18	0.48 0.42	SSY1-100 SSY1-100A
M4	4	29.1	7.31	2.97	0.75	0.08~0.18	0.56 0.49	SSY1-110 SSY1-110A
M4	4	32.1	8.80	3.27	0.90	0.08~0.18	0.65 0.58	SSY1-120 SSY1-120A

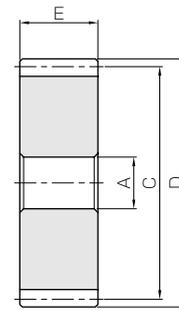
[Caution on Secondary Operations]

- ① Please read "Caution on Performing Secondary Operations" (Page 36) when performing modifications and/or secondary operations for safety concerns. Haguruma Kobo, the KHK's system for quick modification of KHK stock gears is also available.
- ② When performing secondary operations, be aware of deflection and distortion as the tooth is thin in width; deflection might occur if heat treated.
- ③ Avoid performing secondary operations that narrow the tooth width as it affects precision and strength.

Spur Gears
Helical Gears
Internal Gears
Racks
CP Racks & Pinions
Miter Gears
Bevel Gears
Screw Gears
Worm Gear Pair
Bevel Gearboxes
Other Products



Specifications	
Precision grade	JIS grade N8 (JIS B1702-1: 1998) JIS grade 4 (JIS B1702: 1976)
Gear teeth	Standard full depth
Pressure angle	20°
Material	S45C
Heat treatment	—
Tooth hardness	less than 194HB



S5

Catalog No.	Module	No. of teeth	Shape	Bore	Pitch dia.	Outside dia.	Face width	Allowable torque (N·m)		Allowable torque (kgf·m)	
				A _{H7}	C	D	E	Bending strength	Surface durability	Bending strength	Surface durability
SSAY1-20	m1	20	S5	6	20	22	6	3.45	0.20	0.35	0.021
SSAY1-24		24	S5	6	24	26	6	4.48	0.30	0.46	0.030
SSAY1-25		25	S5	6	25	27	6	4.74	0.32	0.48	0.033
SSAY1-28		28	S5	6	28	30	6	5.55	0.41	0.57	0.042
SSAY1-30		30	S5	6	30	32	6	6.08	0.47	0.62	0.048
SSAY1-32		32	S5	6	32	34	6	6.63	0.54	0.68	0.055
SSAY1-35		35	S5	6	35	37	6	7.45	0.66	0.76	0.067
SSAY1-36		36	S5	6	36	38	6	7.73	0.70	0.79	0.071
SSAY1-40		40	S5	6	40	42	6	8.84	0.87	0.90	0.089
SSAY1-45		45	S5	6	45	47	6	10.3	1.12	1.05	0.11
SSAY1-48		48	S5	6	48	50	6	11.1	1.28	1.13	0.13
SSAY1-50		50	S5	8	50	52	6	11.7	1.39	1.19	0.14
SSAY1-55		55	S5	8	55	57	6	13.1	1.70	1.34	0.17
SSAY1-56		56	S5	8	56	58	6	13.4	1.77	1.37	0.18
SSAY1-60		60	S5	8	60	62	6	14.5	2.04	1.48	0.21
SSAY1-70		70	S5	8	70	72	6	17.4	2.82	1.78	0.29
SSAY1-80		80	S5	10	80	82	6	20.3	3.74	2.07	0.38
SSAY1-100		100	S5	10	100	102	6	26.2	5.98	2.67	0.61

[Caution on Product Characteristics]

- ① The allowable torques shown in the table are calculated values according to the assumed usage conditions. Please see page 35 for more details.
- ② The backlash values shown in the table are the theoretical values for the backlash in the normal direction of a pair of identical gears in mesh.

Steel Hubless Thin Face Spur Gears

Backlash (mm)	Weight (kg)	Catalog No.
0.08~0.18	0.013	SSAY1-20
	0.020	SSAY1-24
	0.022	SSAY1-25
	0.028	SSAY1-28
	0.032	SSAY1-30
0.08~0.18	0.037	SSAY1-32
	0.044	SSAY1-35
	0.047	SSAY1-36
	0.058	SSAY1-40
	0.074	SSAY1-45
0.08~0.18	0.084	SSAY1-48
	0.090	SSAY1-50
	0.11	SSAY1-55
	0.11	SSAY1-56
	0.13	SSAY1-60
0.08~0.18	0.18	SSAY1-70
	0.23	SSAY1-80
	0.37	SSAY1-100

[Caution on Secondary Operations]

- ① Please read "Caution on Performing Secondary Operations" (Page 36) when performing modifications and/or secondary operations for safety concerns. Haguruma Kobo, the KHK's system for quick modification of KHK stock gears is also available.
- ② When performing secondary operations, be aware of deflection and distortion as the tooth is thin in width; deflection might occur if heat treated.
- ③ Avoid performing secondary operations that narrow the tooth width as it affects precision and strength.

Spur Gears

Helical Gears

Internal Gears

Racks

CP Racks & Pinions

Miter Gears

Bevel Gears

Screw Gears

Worm Gear Pair

Bevel Gearboxes

Other Products

CLASIFICACIÓN: AWS ASTM A5.10 ER5356
DIN EN ISO 18273: S Al 5356-AlMg5Cr A

Descripción: Varilla de aluminio para soldar aleaciones de metales bases de aluminio y magnesio, con 5% Mg máx. Resistencia alta a la corrosión. Aplicación en la construcción de buques, tanques de almacenamiento, vías férreas y en la industria del automóvil.

Materiales / Campo de aplicación:

Al Mg 5	Al Mg Mn	Al Mg3	Al Mg Si 0.7	G-Al Mg5 Si
Al Zn Mg1	Al Mg 1 Si Cu	G-Al Mg 10	G-Al Mg3 Si	

Composición química (%) hilo Standard:

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Be
resto	<0.25	<0.40	<0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	<0.10	0.06-0.20	<0.0003

Propiedades mecánicas típicas

Límite Elástico (N/mm ²)	Carga de Rotura (N/mm ²)	Elongación 5d (%)	CHARPY V (J)		
			20° C	-20° C	-40° C
110	240	17			

Información Complementaria:

PARÁMETROS DE SOLDADURA				EMBALAJE	
Díámetro (mm)	Voltaje	m/min	Intensidad Corriente (A)	Tipo Corriente (Polo+)	Peso Paq. (Kg)
1.6					10
2.0					10
2.4					10
3.2					10
4.0					10
5.0					10

Gas: Ar 99,99% min.; Ar 75% + He 25%; Ar 50% + He 50%

CERTIFICACIÓN
FABRICANTE



2008



Cables y Accesorios para Instalaciones de Energías Renovables

**CABLES Y ACCESORIOS
PARA INSTALACIONES
SOLARES FOTOVOLTAICAS**

TECSUN (PV) (AS)

ESPECIAL FOTOVOLTAICA

Tensión nominal: **0,6/1 kV**Normativa: **DKE/VDE AK 411.2.3 Requirements for cables for PV systems HD 22.13**Designación genérica: **PV1-F (AS)**

CARACTERÍSTICAS CABLE



Cable flexible

No propagación de la llama
UNE EN 60332-1-2No propagación del incendio
EN 50305-9;
DIN VDE 0482 parte 266-2-5Baja emisión de humos opacos
UNE EN 61034-2Libre de halógenos
UNE EN 50267-2-1Reducida emisión de gases tóxicos
NFC 20454Muy baja emisión de gases corrosivos
UNE EN 50267-2-3

Resistencia a la absorción de agua



Resistencia al frío



Resistencia a los rayos ultravioleta



Resistencia a los agentes químicos



Resistencia a las grasas y aceites



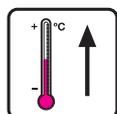
Resistencia a la abrasión



Resistencia a los golpes



Servicios móviles



Servicio en alta temperatura



Temperatura de servicio (instalación fija o móvil): -40 °C, +120 °C (20000 h); -40 °C, +90 °C (30 años).

Tensión nominal: 0,6/1 kV (tensión máxima en alterna: 0,7/1,2 kV, tensión máxima en continua: 0,9/1,8 kV).

Ensayo de tensión en alterna: 15 min, 6 kV.

Ensayo de tensión en continua: 15 min, 10 kV.

Otros ensayos eléctricos: resistencia de conductor, resistencia de aislamiento, resistencia superficial, ensayos de tensión... a 20 y 90 °C sumergido en agua y a 120 °C al aire. Ensayo de estabilidad en tensión continua: 10 días, 85 °C, agua salada, 1,5 kV (EN 50305-6).

Ensayos de fuego:

- No propagación de la llama: UNE EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2; NFC 32070-C2; DIN VDE 0482 parte 332-1-2; DIN EN 60332-1-2.
- No propagación del incendio: EN 50305-9; DIN VDE 0482 parte 266-2-5.
- Libre de halógenos: UNE EN 50267-2-1; IEC 60754-1; BS 6425-1.
- Baja emisión de humos opacos: UNE EN 61034-2; IEC 61034-2; DIN VDE 0482 parte 268-2; DIN EN 50268-2.
- Muy baja emisión de gases corrosivos: UNE EN 50267-2-3; IEC 60754; NFC 20453; BS 6425-2; pH \geq 4,3; c \leq 10 μ s/mm; DIN EN 50264-1.
- Baja emisión de gases tóxicos: NES 713; NFC 20454 It \leq 1,5; DIN EN 50305, It \leq 3.

Resistencia a las condiciones climatológicas:

- Resistencia al ozono: DIN EN 50396, test tipo B; HD 22.2 test tipo B.
- Resistencia a los rayos UVA: UL 1581 (Xeno-test); ISO 4892-2 (método A); HD 506/A1-2.4.20.
- Resistencia a la absorción de agua: DIN VDE 0473-811-1-3; DIN EN 60811-1-3.

Otros ensayos:

- Resistencia al frío: Doblado a baja temperatura (DIN EN 60811-1-4). Impacto (similar a DIN EN 50305).
- Resistencia a la humedad en caliente: 1000 h, 90 °C y 85 % de humedad (EN 60068-2-78).
- Resistencia a la abrasión: Contra papel abrasivo (DIN EN 53516). Cubierta contra cubierta, cubierta contra metal y cubierta contra plástico (ensayo interno).
- Resistencia a la contracción: EN 60811-1-3.
- Resistencia a la presión a alta temperatura: EN 60811-3-1.
- Resistencia a la penetración dinámica: DKE/VDE 411.2.3.
- Dureza: 85 (DIN 53505).
- Resistencia a aceites minerales: 24 h, 100 °C (DIN VDE 0473-811-2-1; DIN EN 60811-2-1).
- Resistencia a ácidos y bases: 7 días, 23 °C, ácido n-oxalico, hidróxido n-sódico (EN 60811-2-1).
- Resistencia al amoníaco: 30 días, atmósfera saturada de amoníaco (ensayo interno).

DESCRIPCIÓN

CONDUCTOR

Metal: Cobre electrolítico, estañado.**Flexibilidad:** Flexible, clase 5 según UNE EN 60228.**Temperatura máxima en el conductor:** 120 °C (20.000 h); 90 °C (30 años). 250 °C en cortocircuito (máximo 5 s).

TECSUN (PV) (AS)

ESPECIAL FOTOVOLTAICA

Tensión nominal: **0,6/1 kV**Norma básica: **DKE/VDE AK 411.2.3 Requirements for cables for PV systems HD 22.13**Designación genérica: **PV1-F (AS)**

DESCRIPCIÓN

AISLAMIENTO

Material: HEPR 120 °C similar a IEC 60502-1 (compuesto tipo EI6/EI8).

CUBIERTA

Material: EVA 120 °C según DIN VDE 0282-1, HD 22.1 (compuesto tipo EM4 / EM8). Doble capa. **Color:** Negro, rojo o azul.

APLICACIONES

Cable de alta seguridad (AS), especialmente diseñado para instalaciones solares fotovoltaicas interiores, exteriores, industriales, agrícolas, fijas o móviles (con seguidores)... Pueden ser instalados en bandejas, conductos, soterrado o en equipos. Son aptos para aplicaciones con aislamiento de protección, (protección de clase II). También para conexión de paneles en serie.

NOTA: para sus accesorios de conexión ver Tecplug.

CABLES DISPONIBLES EN STOCK*

SECCIONES DISPONIBLES

SECCIÓN	COLOR CABLE	SECCIÓN	COLOR CABLE	SECCIÓN	COLOR CABLE
1 x 1,5	AZ-NE-RO	1 x 16	NE	1 x 95	NE
1 x 2,5	AZ-NE-RO	1 x 25	NE	1 x 120	NE
1 x 4	AZ-NE-RO	1 x 35	NE	1 x 150	NE
1 x 6	AZ-NE-RO	1 x 50	NE	1 x 185	NE
1 x 10	NE	1 x 70	NE	1 x 240	NE

Código de colores:

AZ-Azul ; NE-Negro ; RO-Rojo. Otras posibilidades, consultar.

* Sujeto a modificaciones (consultar tarifa vigente).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

DIMENSIONES, PESOS Y RESISTENCIAS (aproximados)

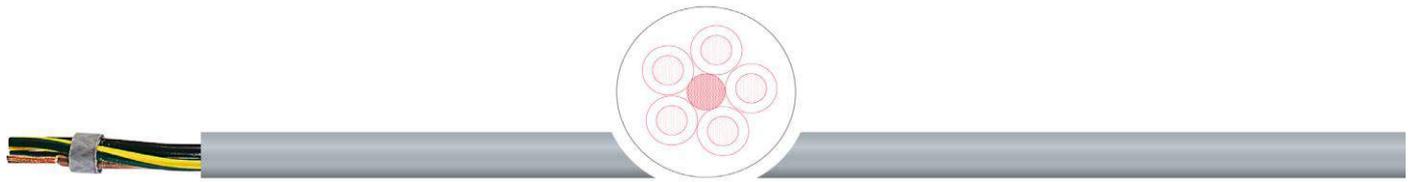
Sección nominal mm ²	Diámetro del conductor mm	Diámetro exterior del cable (valor m.n.) mm	Diámetro exterior del cable (valor m.x.) mm	Peso kg/km	Resistencia del conductor a 20 °C Ω/km	Intensidad admisible al aire (1) A	Carga de tensión (continua o alterna cos φ = 1) V/A km
1x1,5	1,6	4,4	4,8	29	13,7	25	26,5
1x2,5	1,9	4,7	5,1	43	8,21	34	15,92
1x4	2,4	5,2	5,6	58	5,09	46	9,96
1x6	2,9	5,7	6,1	76	3,39	59	6,74
1x10	4,0	6,8	7,2	120	1,95	82	4
1x16	5,5	8,3	9,0	178	1,24	110	2,51
1x25	6,4	10,0	10,7	273	0,795	140	1,59
1x35	7,5	11,1	11,8	364	0,565	174	1,15
1x50	9	12,6	13,3	500	0,393	210	0,85
1x70	10,8	14,4	15,2	686	0,277	269	0,59
1x95	12,6	16,2	17	899	0,21	327	0,42
1x120	14,3	17,7	18,7	1131	0,164	380	0,34
1x150	15,9	19,7	20,7	1382	0,132	438	0,27
1x185	17,5	21,3	22,3	1669	0,108	500	0,22
1x240	20,5	24,2	25,5	2208	0,0817	590	0,17

(1) Instalación monofásica (corriente continua o alterna) en bandeja al aire (40°C). Con exposición directa al sol, multiplicar por 0,9.

→ XLPE2 con instalación tipo F → columna 13 (1x monofásica).

Radio mínimo de curvatura = 3 x diámetro exterior. Tensión máxima de tracción: 15 N/mm² en posición final, 50 N/mm² durante la instalación.

HARMOFLEX H05VV5-F



Application

Ces câbles sont utilisés comme câbles d'énergie, de commande, de liaison et de raccordement dans les équipements électriques, en pose fixe et utilisation mobile, en mouvement libre, sans effort de traction et sans guidage forcé. Ils peuvent être posés en milieu sec et humide (même dans des mélanges d'eau et d'huiles), à l'extérieur uniquement avec une protection U.V. et ne doivent en aucun cas être posés sous terre.

Particularités

- gaine extérieure en PVC spécial offrant une résistance augmentée aux huiles,
- ne contient ni substances provenant de vernis, ni silicone (pendant la production)
- homologation HAR pour l'Europe

Remarques

- conforme au RoHS

Construction et données techniques

Matériau du conducteur	cuivre nu
Classe du conducteur	selon IEC 60228 classe 5
Isolant conducteur	PVC, type T12
Repérage	selon DIN VDE 0293 conducteurs noirs numérotés avec des chiffres blancs, avec VERT/JAUNE à partir de 3 conducteurs, conducteurs assemblés en couches
Assemblage	
Gaine extérieure	PVC, type TM5
Couleur de la gaine	Gris, RAL7001
Tension nominale	300/500 V
Tension d'essai	2000 V
Rayon courbure min fixe	8 x d
Temp. service min/max fixe	-5°C / +70°C
Comportement au feu	non propagateur de la flamme NF C 32-070/C2 ou IEC 60332-1
Comportement aux huiles	EN 608812-1 part 10
Standard	CENELEC HD 21,1 CENELEC HD 21,13 S1 EN 50525-2-51

Application

power, control and connecting cable in electrical facilities, for fixed laying and casually movement without tensile stress and without defined cable routing. Suitable for use in dry, humid and wet rooms (also water-oil mixture). Outdoor use only with UV-protection, no laying underground.

Special features

- increased resistance to oil by special PVC outer sheath
- free from lacquer damaging substances and silicone (during production)
- HAR-approval for Europe

Remarks

- conform to RoHS

Structure & Specifications

conductor material	stranded bare copper
conductor class	acc.to IEC 60228 class 5
core insulation	PVC, type T12
core identification	acc. to DIN VDE 0293 black cores with white numerals with GNYE from 3 cores
stranding	stranded in layers
outer sheath	PVC, type TM5
sheath colour	Grey, RAL7001
rated voltage	300/500V
testing voltage	2000V
min. bending radius fixed	8 x d
operat. temp. fixed min/max	-5°C / +70°C
burning behavior	flame retardant NF C 32-070/C2 or IEC 60332-1
Oils behavior	EN 608812-1 part 10
standard	CENELEC HD 21,1 CENELEC HD 21,13 S1 EN 50525-2-51

HARMOFLEX H05VV5-F

Reference Reference	Dimensions n x mm ² Dimension n x mm ²	Ø extérieur mm outer Ø mm	Poids de cuivre kg/km Copper weight kg/km	Poids kg/km Weight kg/km
1001561	3G0,5	5,5 - 7,0	14,4	53
1000142	4G0,5	6,2 - 7,9	19,2	65
H1020075	2X0,75	5,7 - 7,2	14,4	52
H1030075	3G0,75	6,0 - 7,6	21,6	64
H1040075	4G0,75	6,6 - 8,3	28,8	78
1000153	5G0,75	7,4 - 9,3	36,0	98
H1070075	7G0,75	9,0 - 11,3	50,4	146
H1120075	12G0,75	11,0 - 13,7	86,4	212
1000109	18G0,75	13,2 - 16,4	130	311
1000118	25G0,75	15,8 - 19,5	180	427
H1020100	2X1	5,9 - 7,5	19,2	63
H1030100	3G1	6,3 - 8,0	28,8	77
H1040100	4G1	6,9 - 8,7	38,4	94
H1050100	5G1	7,8 - 9,8	48,0	120
H1070100	7G1	9,5 - 11,8	67,2	173
H1120100	12G1	11,8 - 14,6	115	258
1000110	18G1	14,0 - 17,2	173	370
H1190100	19G1	14,0 - 17,2	182	405
1000119	25G1	16,8 - 20,7	240	518
H1270100	27G1	17,0 - 21,0	259	558

Reference Reference	Dimensions n x mm ² Dimension n x mm ²	Ø extérieur mm outer Ø mm	Poids de cuivre kg/km Copper weight kg/km	Poids kg/km Weight kg/km
H1030150	3G1,5	7,4 - 9,4	43,2	106
1000145	4G1,5	8,2 - 10,2	57,6	131
H1040150	5G1,5	9,1 - 11,4	72,0	165
1000166	7G1,5	11,3 - 14,1	101	247
H1120150	12G1,5	13,8 - 17,0	173	362
1000111	18G1,5	16,5 - 20,3	259	530
1000120	25G1,5	19,8 - 24,3	360	724
1000136	3G2,5	9,2 - 11,4	72	155
1000146	4G2,5	10,1 - 12,5	96	197
1000156	5G2,5	11,2 - 13,9	120	242
1000167	7G2,5	13,6 - 16,8	168	365
1000105	12G2,5	16,8 - 20,6	288	541
1000121	25G2,5	24,2 - 29,6	600	1.103

Autre section, nous consulter.

[Other section, ask us.](#)

NGS Panel Meter Housing



- Specifically designed to conform to the dimensional standard DIN 43700
- Housings slotted internally to accept PC boards comes in 36 different sizes
- Clear PVC front covers (available as an accessory) protect the front elements up to IP65

Included in delivery
 Enclosure body, standard front frame, rear cover, and assembly screws.

Technical Data

Color	Black, similar to RAL 9005
Material	Flame resistant Noryl SE 1 GFN 1
Ingress Protection	IP 40, IP 65 possible with rubber hoods, part types NGS...GHN
Flammability	UL 94 V1/1.47
Gasket	Neoprene
Impact Resistance	200 JM at 23°C
Disruptive Strength	26 KV/mm to DIN 53481

Model Number	Part Number	Width Inches/mm	Height Inches/mm	Depth Inches/mm	Model Number	Part Number	Width Inches/mm	Height Inches/mm	Depth Inches/mm
NGS 4806	17480601 00	1.89 / 48.0	1.89 / 48.0	2.48 / 63.0	NGS 9408	17940801 00	3.78 / 96.0	1.89 / 48.0	3.35 / 85.0
NGS 4808	17480801 00	1.89 / 48.0	1.89 / 48.0	3.36 / 85.0	NGS 9410	17941001 00	3.78 / 96.0	1.89 / 48.0	4.31 / 109.5
NGS 4810	17481001 00	1.89 / 48.0	1.89 / 48.0	4.31 / 109.5	NGS 9411	17941101 00	3.78 / 96.0	1.89 / 48.0	4.68 / 119.0
NGS 4811	17481101 00	1.89 / 48.0	1.89 / 48.0	4.68 / 119.0	NGS 9413	17941301 00	3.78 / 96.0	1.89 / 48.0	5.55 / 141.0
NGS 4813	17481301 00	1.89 / 48.0	1.89 / 48.0	5.55 / 141.0	NGS 9416	17941601 00	3.78 / 96.0	1.89 / 48.0	6.51 / 165.5
NGS 7406	17740601 00	5.67 / 144.0	2.83 / 72.0	2.52 / 64.0	NGS 9606	17960601 00	3.78 / 96.0	3.78 / 96.0	2.48 / 63.0
NGS 7408	17740801 00	5.67 / 144.0	2.83 / 72.0	3.38 / 86.0	NGS 9608	17960801 00	3.78 / 96.0	3.78 / 96.0	3.35 / 85.0
NGS 7410	17741001 00	5.67 / 144.0	2.83 / 72.0	4.35 / 110.5	NGS 9610	17961001 00	3.78 / 96.0	3.78 / 96.0	4.31 / 109.5
NGS 7411	17741101 00	5.67 / 144.0	2.83 / 72.0	4.72 / 120.0	NGS 9611	17961101 00	3.78 / 96.0	3.78 / 96.0	4.68 / 119.0
NGS 7413	17741301 00	5.67 / 144.0	2.83 / 72.0	5.59 / 142.0	NGS 9613	17961301 00	3.78 / 96.0	3.78 / 96.0	5.55 / 141.0
NGS 7416	17741601 00	5.67 / 144.0	2.83 / 72.0	6.55 / 166.5	NGS 9616	17961601 00	3.78 / 96.0	3.78 / 96.0	6.51 / 165.5
NGS 7706	17770601 00	2.83 / 72.0	2.83 / 72.0	2.48 / 63.0	NGS 9806	17980601 00	5.67 / 144.0	5.67 / 144.0	2.52 / 64.0
NGS 7708	17770801 00	2.83 / 72.0	2.83 / 72.0	3.35 / 85.0	NGS 9806 GR	17980605 00	5.67 / 144.0	5.67 / 144.0	2.68 / 68.0
NGS 7710	17771001 00	2.83 / 72.0	2.83 / 72.0	4.31 / 109.5	NGS 9808	17980801 00	5.67 / 144.0	5.67 / 144.0	3.38 / 86.0
NGS 7711	17771101 00	2.83 / 72.0	2.83 / 72.0	4.68 / 119.0	NGS 9810	17981001 00	5.67 / 144.0	5.67 / 144.0	4.35 / 110.5
NGS 7713	17771301 00	2.83 / 72.0	2.83 / 72.0	5.55 / 141.0	NGS 9811	17981101 00	5.67 / 144.0	5.67 / 144.0	4.72 / 120.0
NGS 7716	17771601 00	2.83 / 72.0	2.83 / 72.0	6.51 / 165.5	NGS 9813	17981301 00	5.67 / 144.0	5.67 / 144.0	5.59 / 142.0
NGS 9406	17940601 00	3.78 / 96.0	1.89 / 48.0	2.48 / 63.0	NGS 9816	17981601 00	5.67 / 144.0	5.67 / 144.0	6.55 / 166.5

Note: Dimensions are external. Metric is the primary dimension. Inch conversions are for the user's convenience and are for reference only.

Accessories

Model Number	Description
NGS...NF	Spring clamp (pk of 2)
NGS...NK	Screw clamp (pk of 2)
NGS...ZE	Connecting piece for DIN retaining clasp (pk of 2)
NGS...NH	DIN retaining clasp (pk of 2)
NGS...FKT	Plastic front panel, red translucent, 3mm thick
NGS...FAE	Aluminum front panel, anodized aluminum, 1.5mm thick
NGS...F	Membrane front, firmly latching
NGS...TK	NGS front door lockable by means of knob for models 74..., 96..., and 98
NGS...SA	Firmly latching front frame
NGS...AH	Clear hood cover
NGS...DA	Seal enclosure / control panel (pk of 5)
NGS...DI	Seal front panel / enclosure (pk of 5)
NGS...GHN	Flexible transparent PVC hoods for IP 65 front seal
NGS...RKS	Rear lid
SHLO-302	Cylinder catch for front door



NGS 9806-GR with stepped rear panel.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Planos.

TRABAJO FIN DE GRADO.

TÍTULO

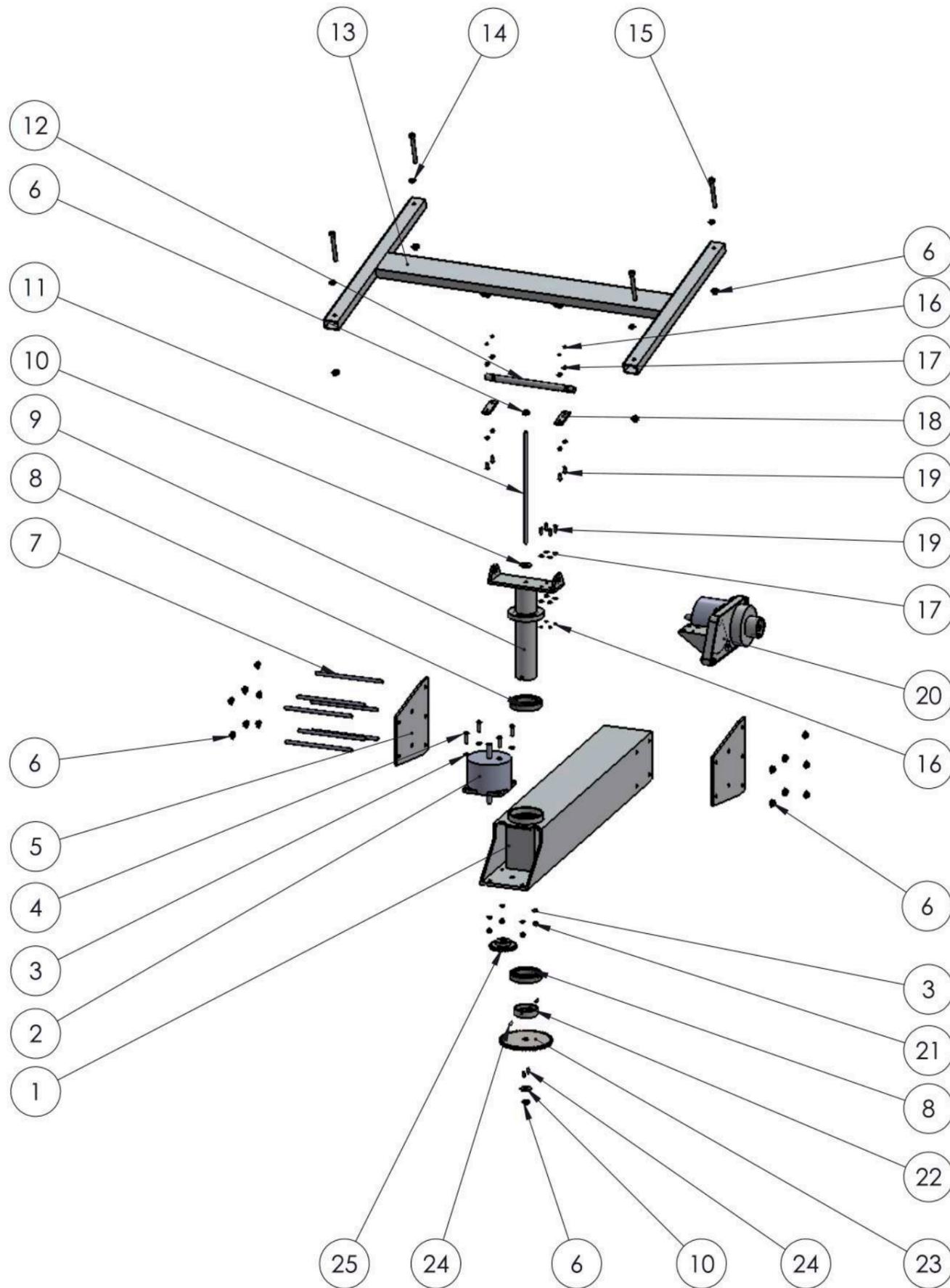
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

AUTOR

Manuel Barbuzano Asencio.

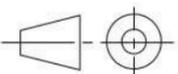
Índice.

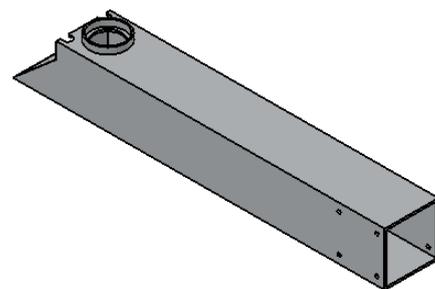
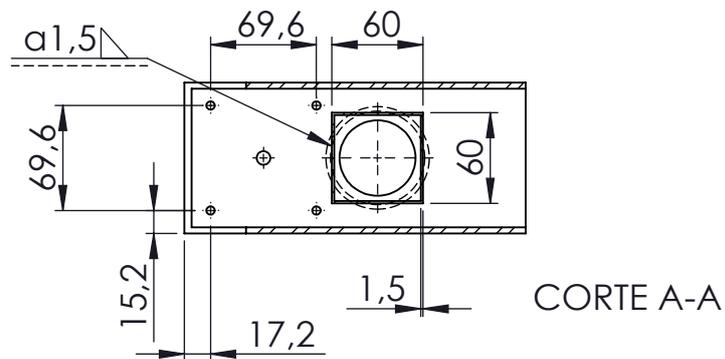
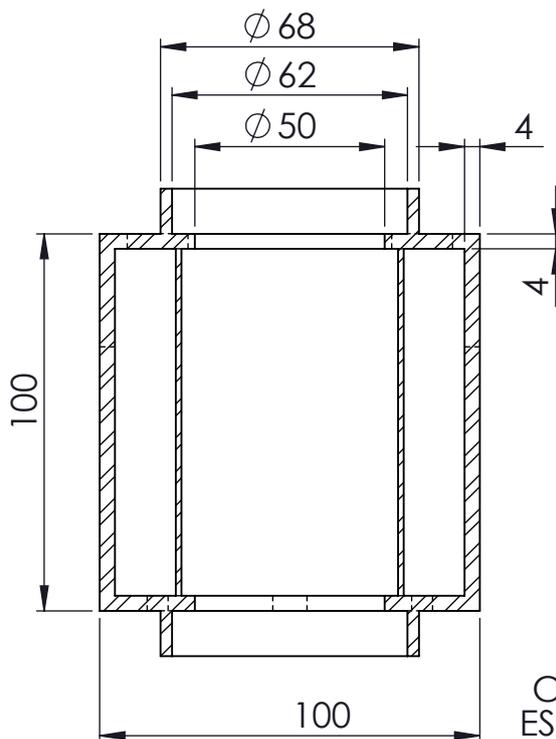
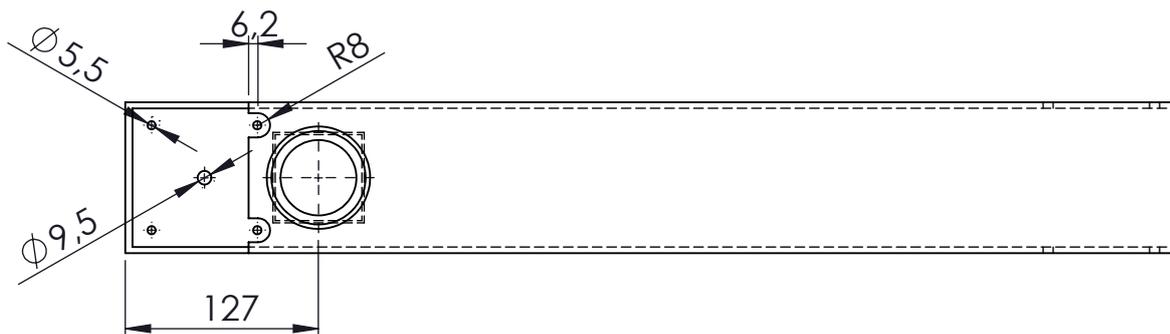
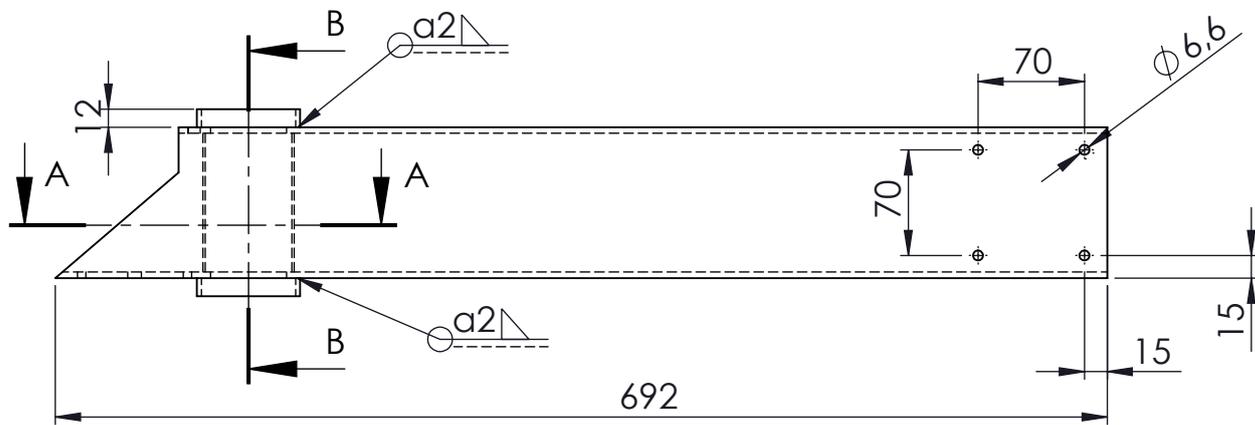
1 Plano conjunto.	1
1.01 Estructura.	2
1.05 Soporte farola.	3
1.09 Eje vertical.	4
1.12 Eje horizontal.	5
1.13 Soporte placa.	6
1.18 Placa soporte eje horizontal.	7
1.20 Plano subconjunto reductora eje horizontal.	8
1.20.02 Tapa engranajes interna.	9
1.20.04 Engranajes dientes rectos SSY-120A rectificado.	10
1.20.10 Disco fricción interno.	11
1.20.12 Disco fricción externo.	12
1.20.13 Caja engranajes externa.	13
1.20.15 Tuerca regulación resorte.	14
1.22 Sujeción engranaje y eje vertical.	15
1.23 Engranaje dientes rectos SSAY-100 rectificado.	16



25	1	ENGRANAJE DIENTES RECTOS	F-1140	SSY1-50A
24	4	VARILLA ROSCADA RANURADA M4x12-N	ACERO 4.6	ISO 7434
23	1	ENGRANAJE DIENTES RECTOS SSAY-100 RECTIFICADO	F-1140	1.23
22	1	SUJECIÓN ENGRANAJE Y EJE VERTICAL	AL 6065-T5	1.22
21	4	TUERCA HEXAGONAL M5-N	INOX A2-70	ISO 7720
20	1	SUBCONJUNTO REDUCTORA		1.20
19	8	TORNILLO CABEZA ALOMADA HEXÁGONO INTERIOR- M4 x 12	INOX A2-70	ISO 7380
18	2	PLACA SOPORTE EJE HORIZONTAL	AL 6065-T5	1.18
17	16	ARANDELA PLANA $\phi 4$	INOX A2-70	ISO 7089
16	8	TUERCA HEXAGONAL REBAJADA- M4 - N	INOX A2-70	ISO 4035
15	4	ITORNILLO CABEZA CILINDRICA HEXÁGONO INTERIOR M6 x 60	INOX A2-70	ISO 4762
14	8	ARANDELA PLANA $\phi 6$	INOX A2-70	ISO 7089
13	1	SOPORTE PLACA	AL 6065-T5	1.13
12	1	EJE HORIZONTAL	AL 6065-T5	1.12
11	1	VARILLA ROSCADA M6-230	INOX A2-70	DIN 975
10	2	ARANDELA PLANA $\phi 6$	INOX A2-70	ISO 7094
9	1	EJE VERTICAL	AL 6065-T5	1.09
8	2	RODAMIENTO DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR	INOX A2-70	d=40, D=60
7	7	VARILLA ROSCADA M6-140	INOX A2-70	DIN 975
6	20	TUERCA HEXAGONAL CON REFUERZO M6 - N	INOX A2-70	ISO 4161
5	2	SOPORTE FAROLA	AL 6065-T5	1.05
4	4	TORNILLO CABEZA ALOMADA HEXÁGONO INTERIOR -M5x20	INOX A2-70	ISO 7380
3	8	ARANDELA PLANA $\phi 5$	INOX A2-70	ISO 7089
2	2	MOTOR ELÉCTRICO		440-464
1	1	ESTRUCTURA	AL 6065-T5	1.01
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA

SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJESPARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Apellidos	2014	Barbuzano Asen	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:10	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR		CONJUNTO Nº: 1.00
	Título: PLANO CONJUNTO		PLANO Nº: 1.00



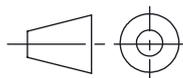
ESCALA 1:10

1	1	ESTRUCTURA	AL 6063-T5	1.01
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA

SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Apellidos	2014	Barbuzano Asen	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

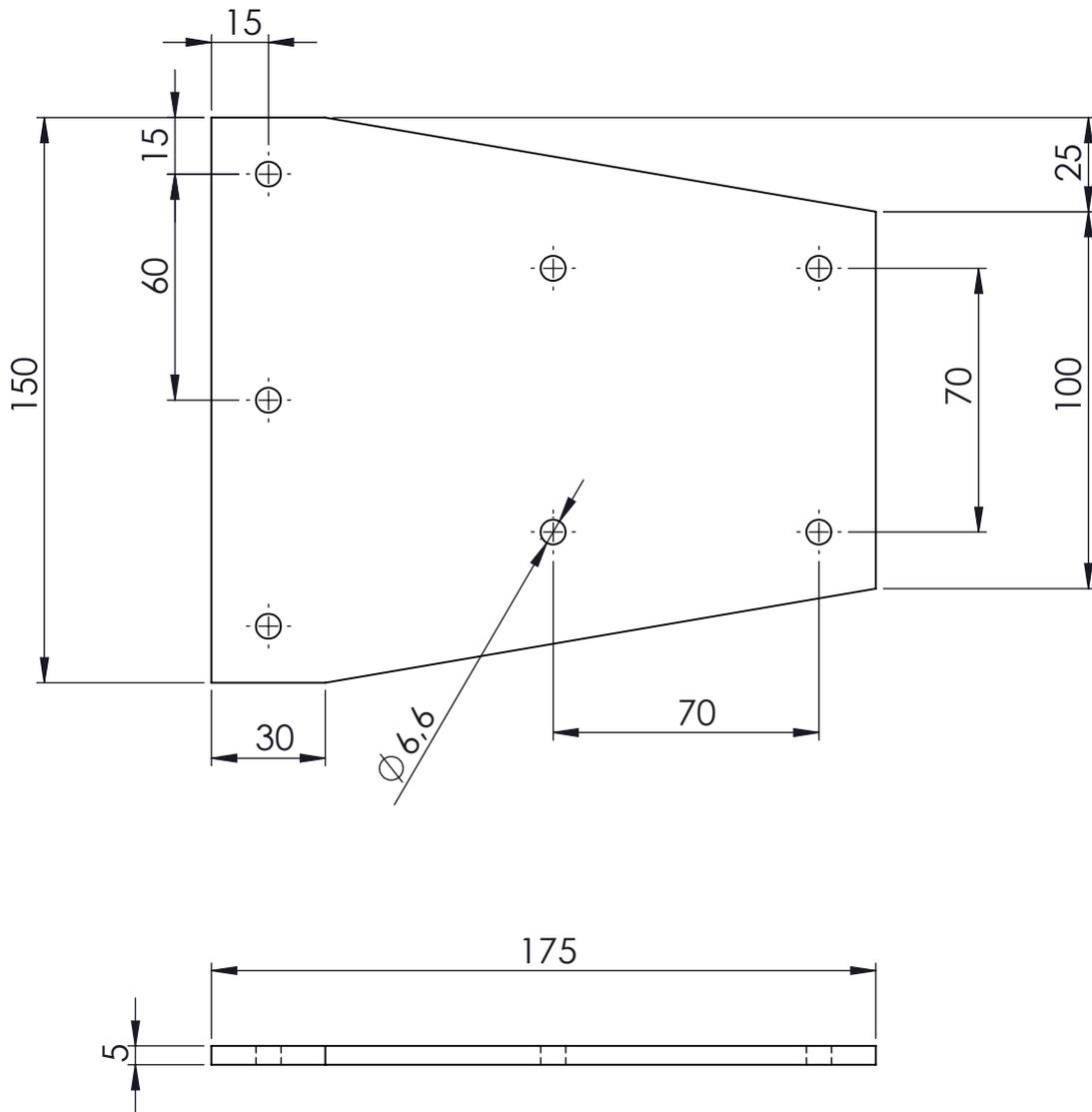
ESCALA: 1 : 5



Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR
Título: ESTRUCTURA

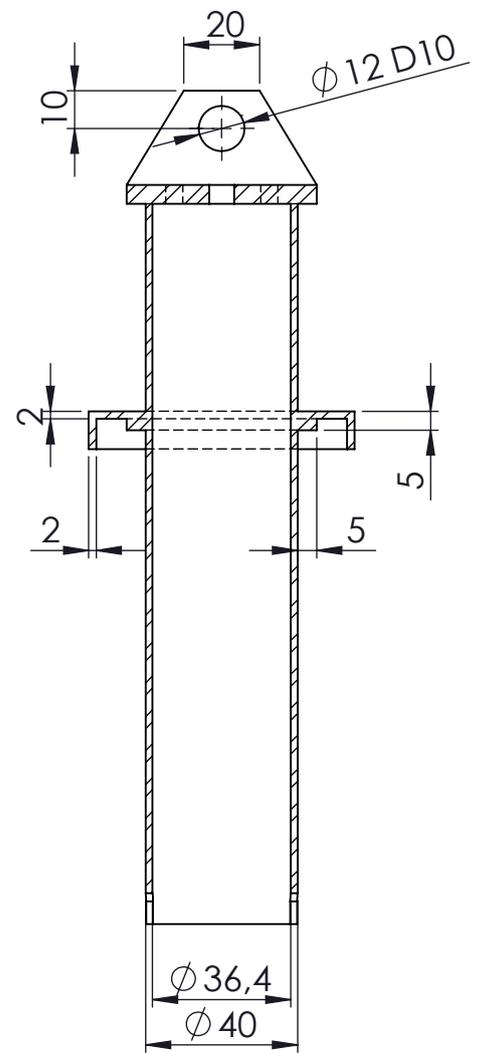
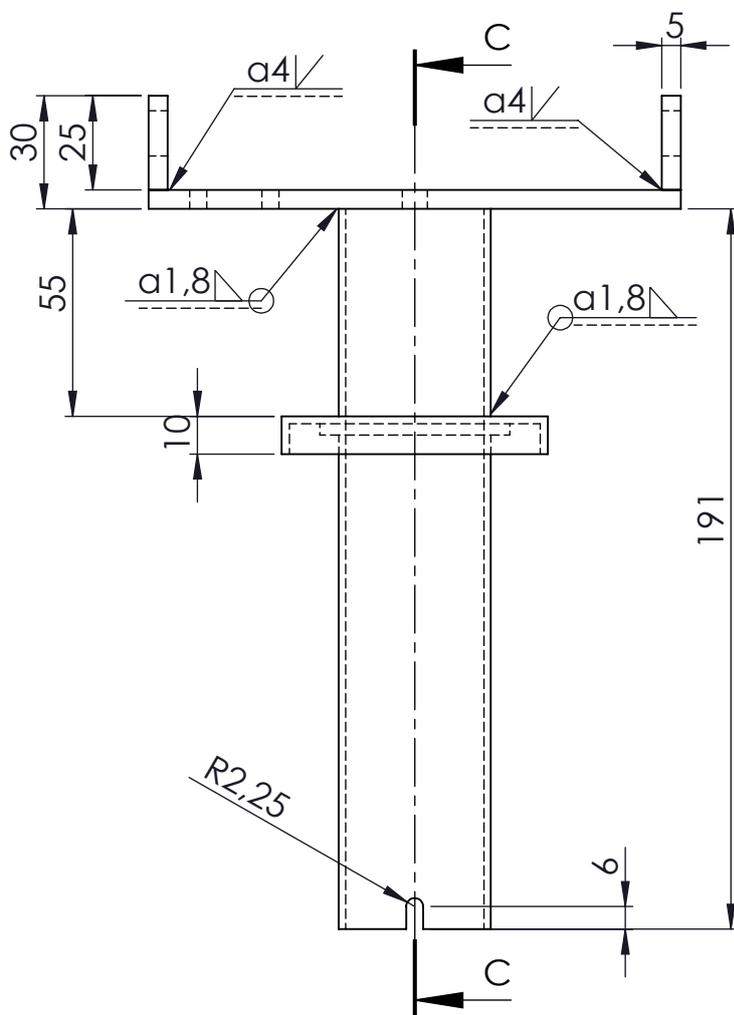
CONJUNTO Nº: 1.00

PLANO Nº: 1.01

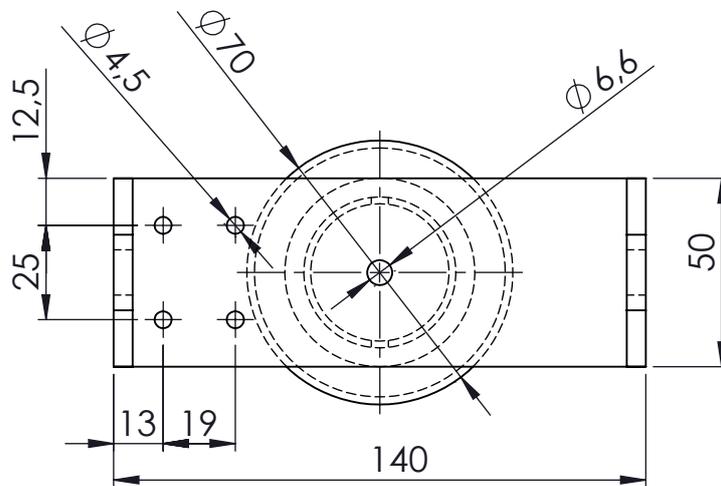


ESCALA 1:5

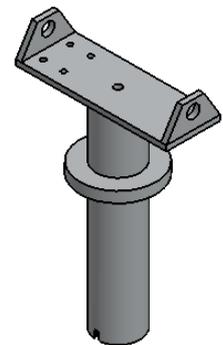
5	1	SOPORTE FAROLA	AL 6063-T5	1.05
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre	JUNIO	Manuel		
Apellidos	2014	Barbuzano Asen		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
ESCALA: 1:2	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR		CONJUNTO Nº: 1.00	
	Título: SOPORTE FAROLA		PLANO Nº: 1.05	



SECCIÓN C-C



ESCALA 1:5

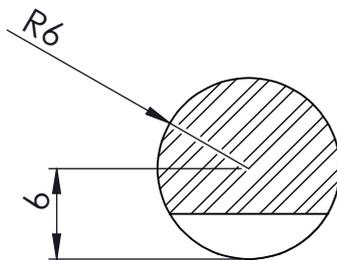
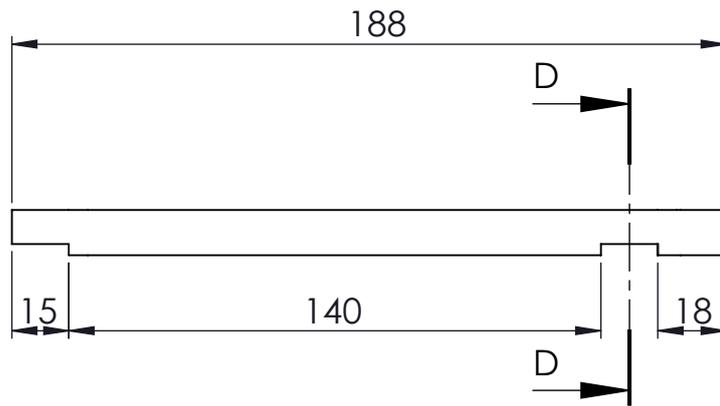


9	1	EJE VERTICAL	AL 6063-T5	1.09
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA

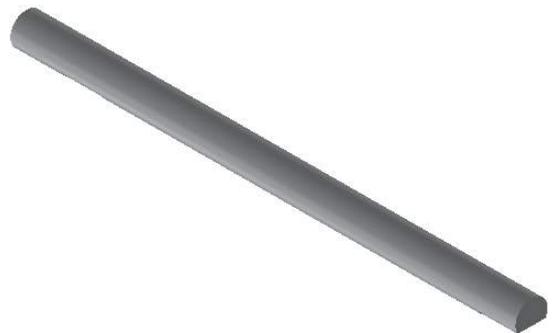
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Apellidos	2014	Barbuzano Asen	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

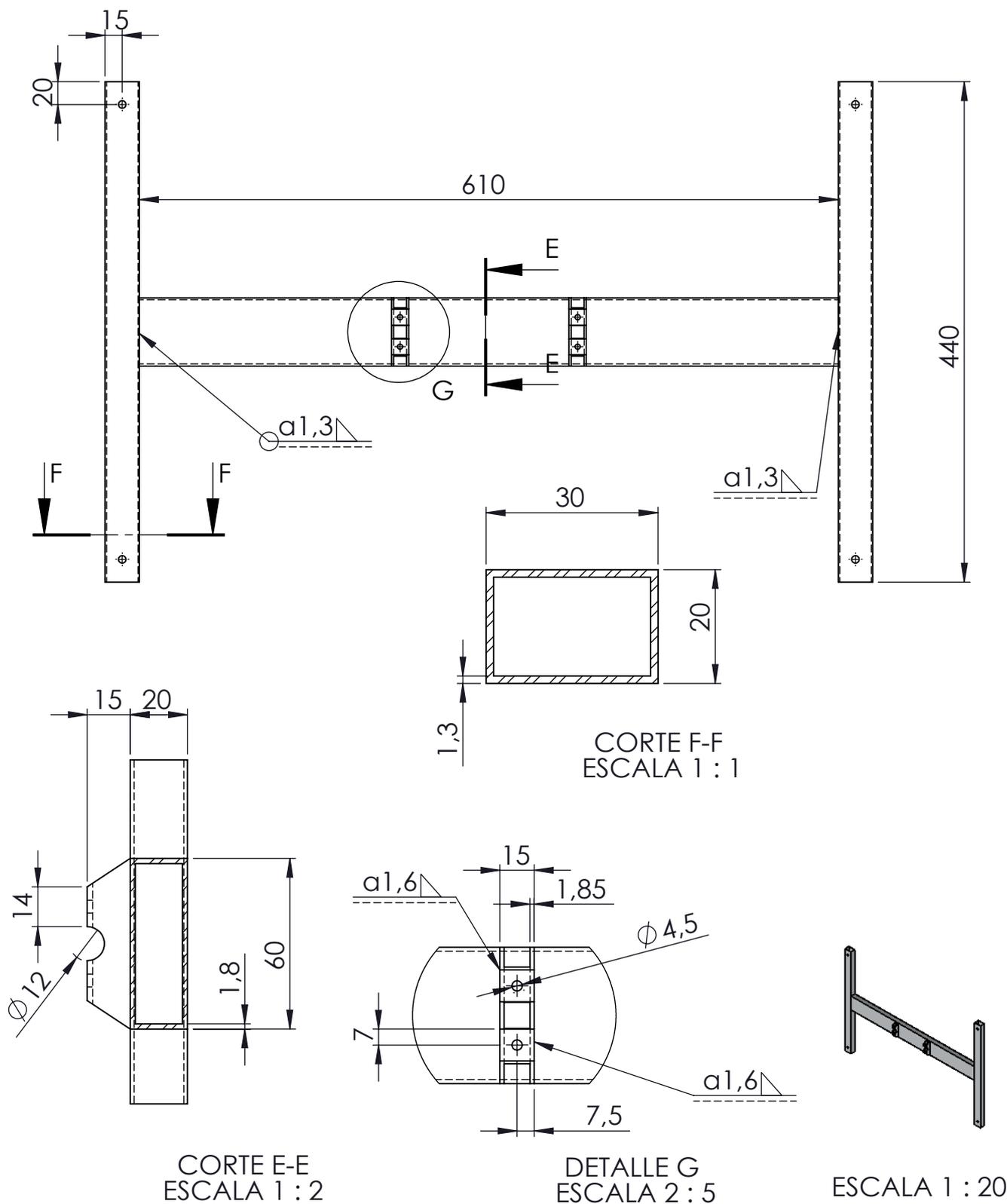
ESCALA: 1/2	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR	CONJUNTO Nº: 1.00
	Título: EJE VERTICAL	PLANO Nº: 1.09



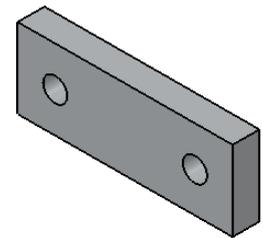
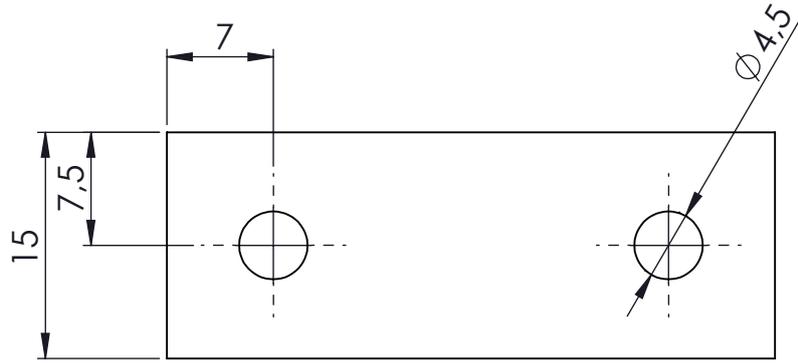
CORTE D-D
ESCALA 2 : 1



12	1	EJE HORIZONTAL	AL 6063-T5	1.12
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre	JUNIO	Manuel		
Apellidos	2014	Barbuzano Asen		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
ESCALA: 1 : 2	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR		CONJUNTO Nº: 1.00	
	Título: EJE HORIZONTAL		PLANO Nº: 1.12	

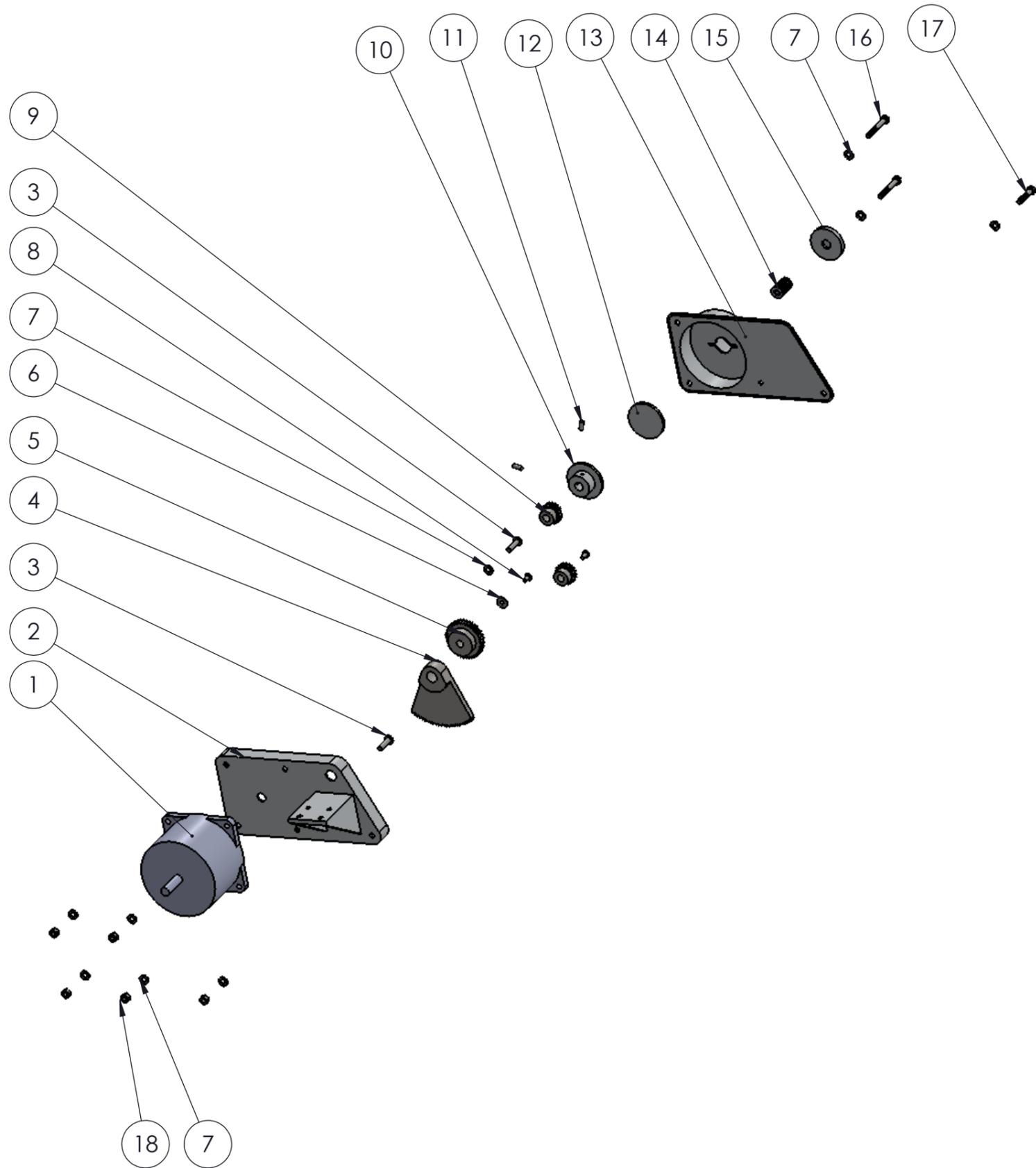


13	1	SOPORTE PLACA	AL 6063-T5	1.13
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre	JUNIO	Manuel		
Apellidos	2014	Barbuzano Asen		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1 : 5	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR		CONJUNTO Nº: 1.00	
	Título: SOPORTE PLACA		PLANO Nº: 1.13	



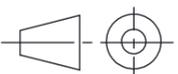
ESCALA 1 : 1

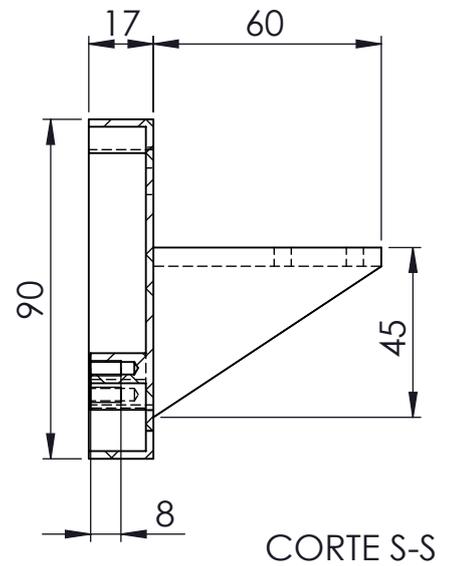
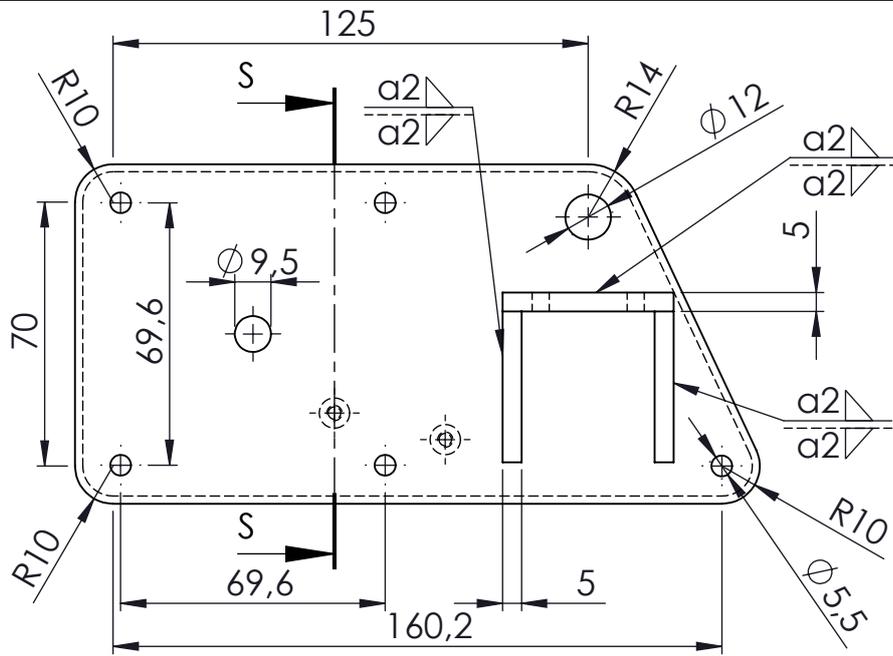
18	2	PLACA SOPORTE EJE HORIZONTAL	AL 6063-T5	1.18
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre	JUNIO	Manuel		
Apellidos	2014	Barbuzano Asen		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 2 : 1	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR		CONJUNTO Nº: 1.00	
	Título: PLACA SOPORTE EJE HOTIZONTAL		PLANO Nº: 1.18	



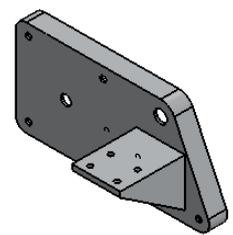
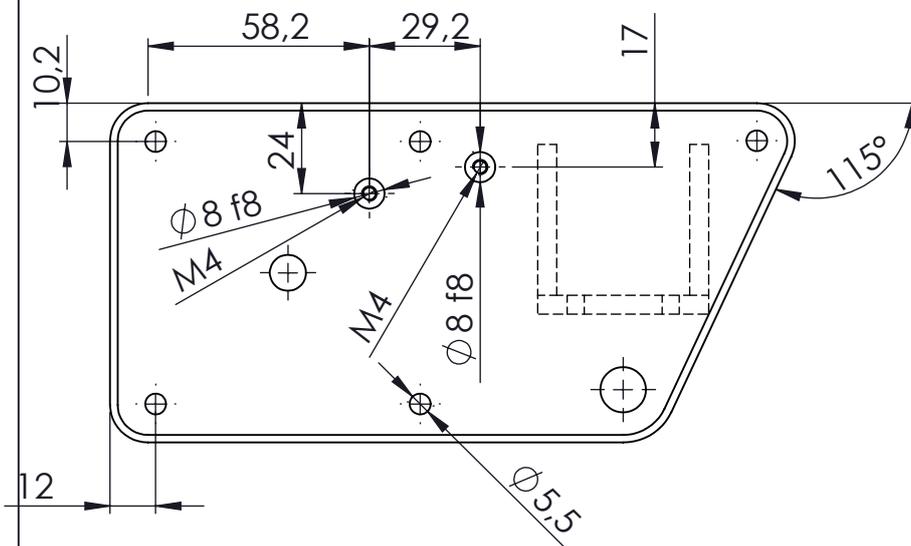
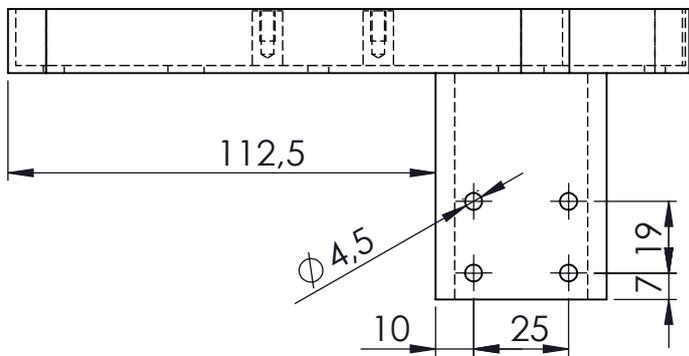
18	5	TUERCA HEXAGONAL M5-N	INOX A2-70	ISO 7720
17	1	TORNILLO HEXAGONAL M5 x 25 x 16-S	INOX A2-70	ISO 4014
16	2	TORNILLO HEXAGONAL M5 x 35 x 16-S	INOX A2-70	ISO 4014
15	1	TUERCA REGULACION RESORTE	AL 6063-T5	1.20.15
14	1	RESORTE CARGA LIGERA V16-025		ISO 10243
13	1	TAPA ENGRANAJES EXTERNA	AL 6063-T5	1.20.13
12	1	DISCO FRICCIÓN EXTERNO	AL 6063-T5	1.20.12
11	2	VARILLA ROSCADA RANURADA M4 x 12-N	ACERO 4.6	ISO 7434
10	1	DISCO FRICCIÓN INTERNO	AL 6063-T5	1.20.10
9	2	ENGRANAJE DIENTES RECTO	F-1140	SSY-20
8	2	VARILLA ROSCADA CON HEXÁGONO INTERIOR M4 x 8	INOX A2-70	ISO 7380
7	10	ARANDELA PLANA $\phi 5$	INOX A2-70	ISO 7089
6	1	ARANDELA PLANA $\phi 4$	INOX A2-70	ISO 7093
5	1	ENGRANAJE DIENTES RECTOS	F-1140	SSY-40A
4	1	ENGRANAJE DIENTES RECTOS RECTIFICADO SSY-120A	F-1140	1.20.04
3	2	TORNILLO CABEZA ALOMADA HEXÁGONO INTERIOR M5 x 20	INOX A2-70	ISO 7380
2	1	TAPA ENGRANAJES INTERNA	AL 6063-T5	1.20.02
1	1	MOTOR ELECTRICO		440-464
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA

SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Apellidos	2014	Manuel Barbuzzano Asen	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:5	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR		CONJUNTO Nº: 1.00
	Título: PLANO SUBCONJUNTO REDUCTORA		PLANO Nº: 1.20



CORTE S-S

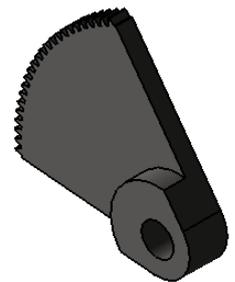
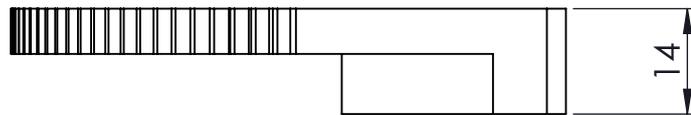
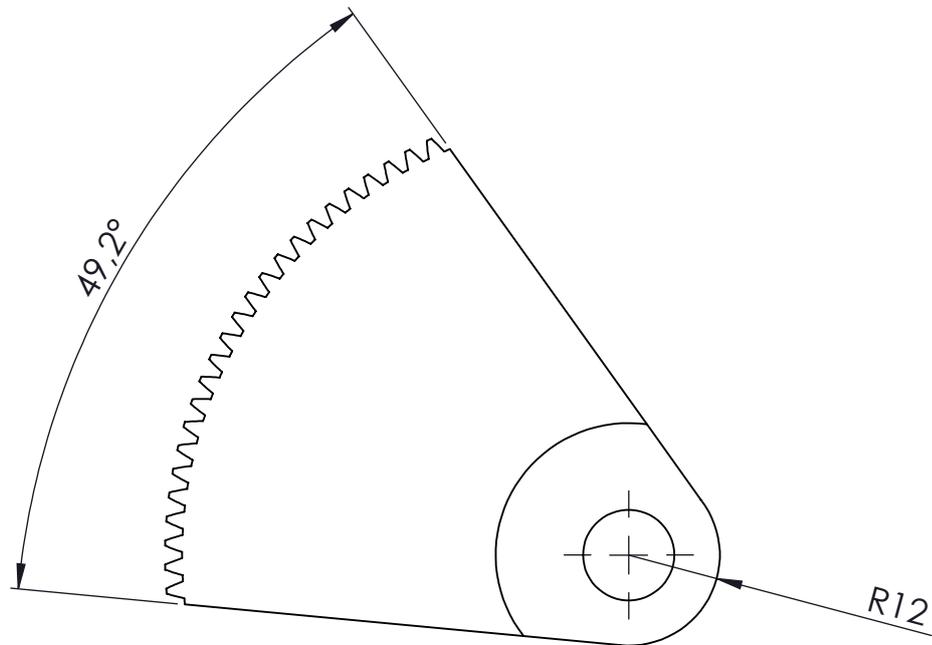


ESCALA 1:5

2	1	TAPA ENGRANAJE INTERNA	AL 6063-T5	1.20.02
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA

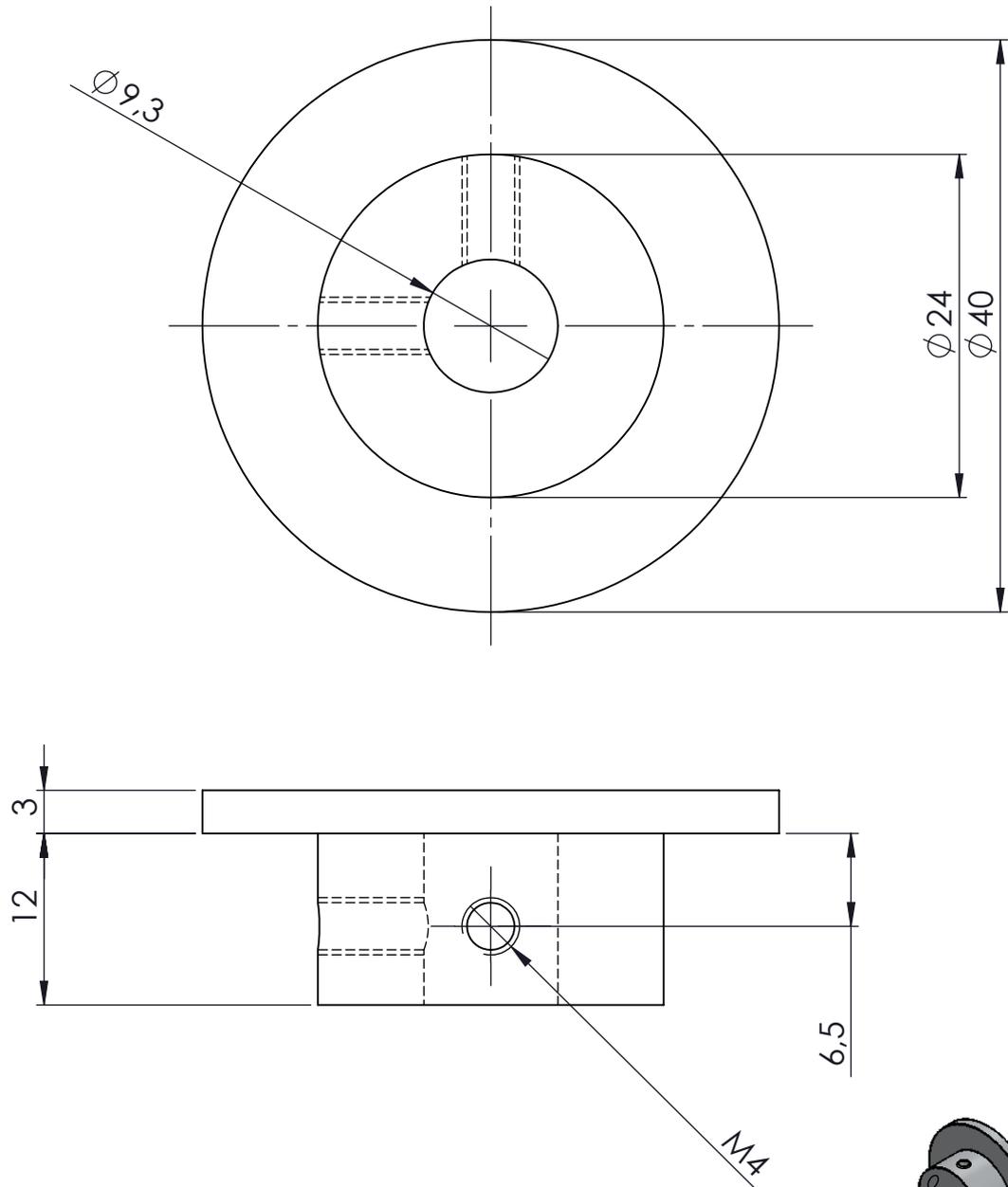
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Apellidos	2014	Barbuzano Asen	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:2	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR Subconjunto: REDUCTORA Título: TAPA ENGRANAJE INTERNA		CONJUNTO Nº: 1.00 PLANO Nº: 1.20.02



ESCALA 1:2

4	1	ENGRANAJE DIENTES RECTOS SSY-120A RECTIFICADO	F-1140	1.20.04
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre	JUNIO	Manuel		
Apellidos	2014	Barbuzano Asen		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:1	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR Subconjunto: REDUCTORA Título: ENGRANAJE DIENTES RECTOS SSY-120A RECTIFICADO		CONJUNTO Nº: 1.00	PLANO Nº: 1.20.04
				

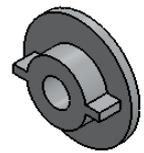
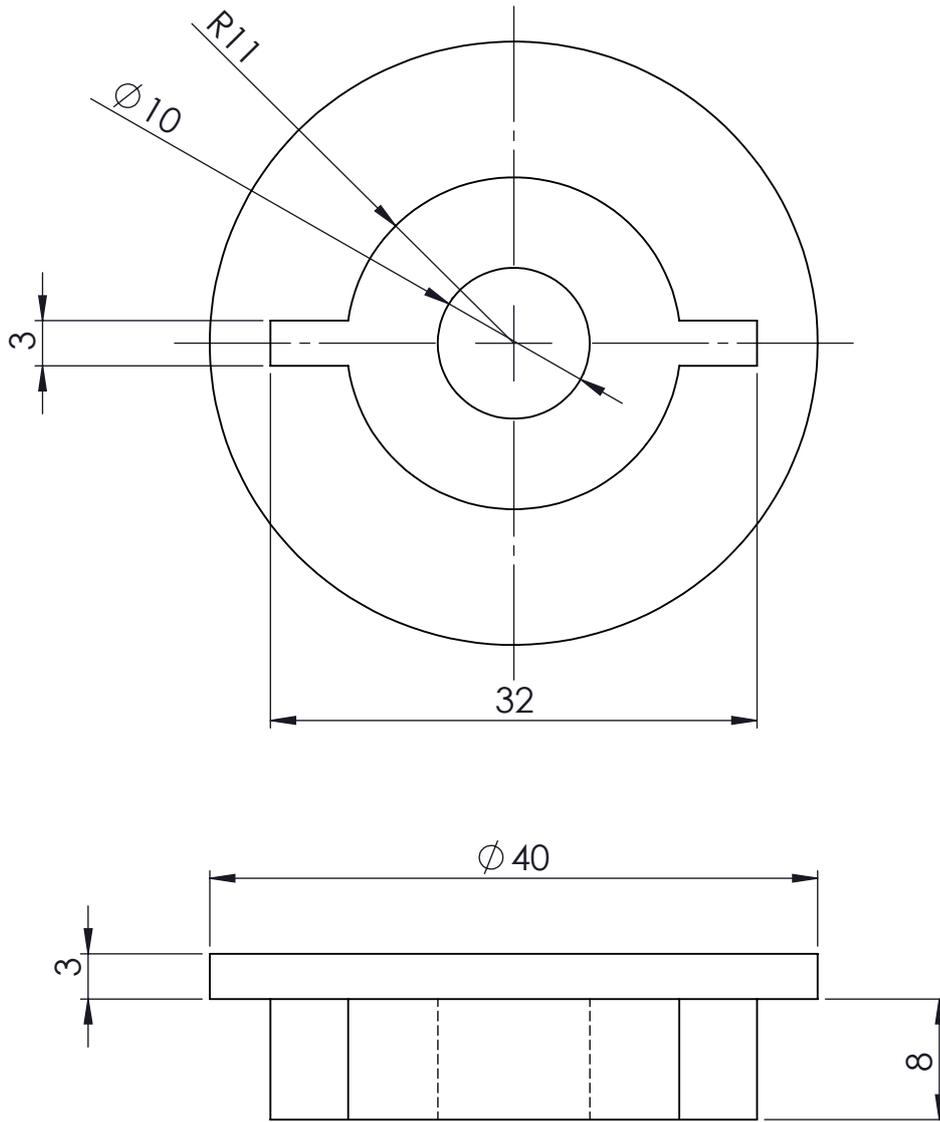


ESCALA 1: 2

10	1	DISCO FRICCIÓN INTERNO	AL 6063-T5	1.20.10
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA

SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Nombre	JUNIO	Manuel	
Apellidos	2014	Barbuzano Asen	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna
ESCALA: 2:1	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR Subconjunto: REDUCTORA Título: DISCO FRICCIÓN INTERNO		CONJUNTO Nº: 1.00 PLANO Nº: 1.20.10



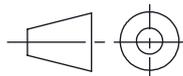
ESCALA 1: 2

12	1	DISCO FRICCIÓN EXTERNO	AL 6063-T5	1.20.12
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA

SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Apellidos	2014	Manuel Barbuzzano Asen	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

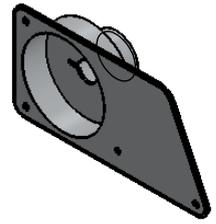
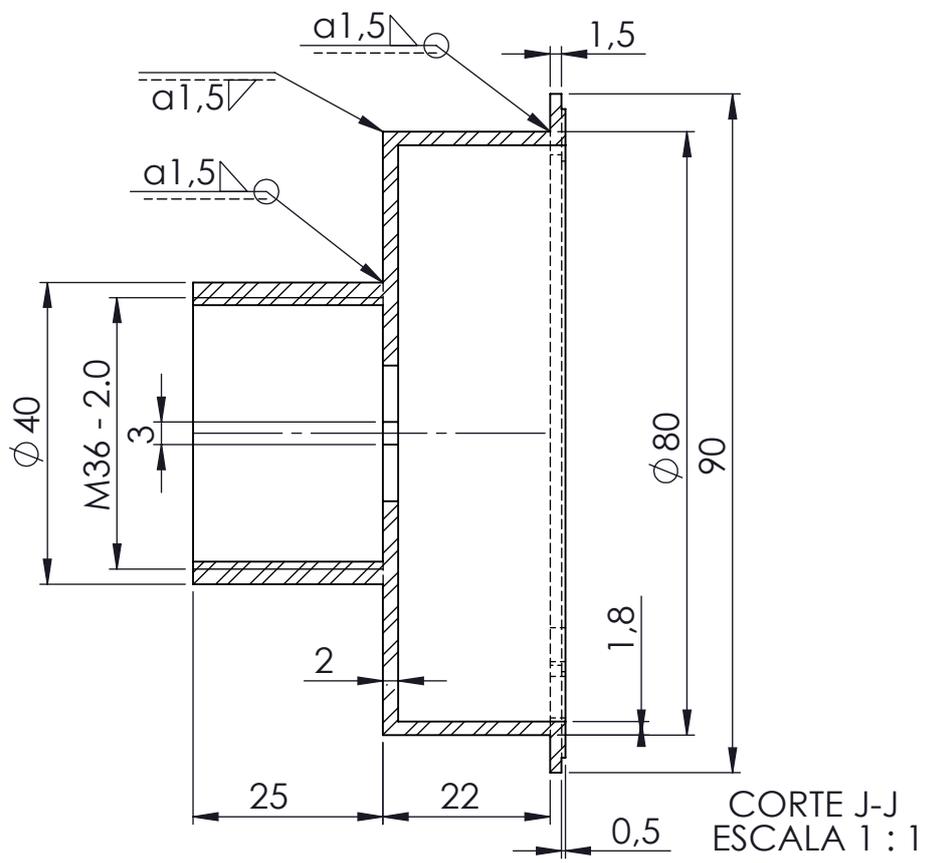
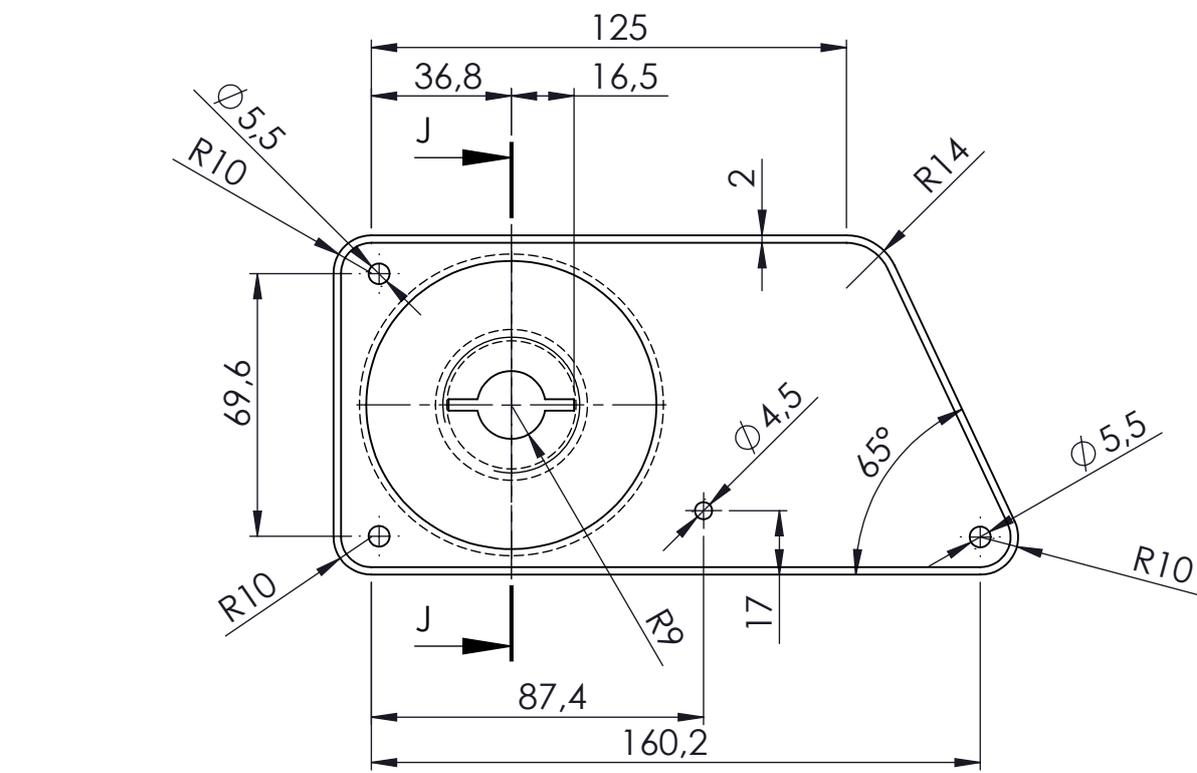
ESCALA: 2:1



Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR
 Subconjunto: REDUCTORA
 Título: DISCO FRICCIÓN EXTERNO

CONJUNTO Nº: 1.00

PLANO Nº: 1.20.12



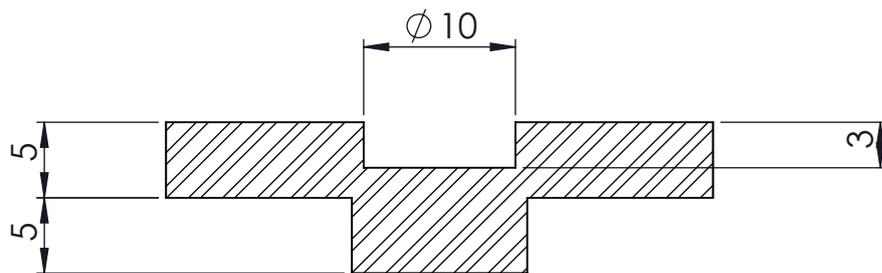
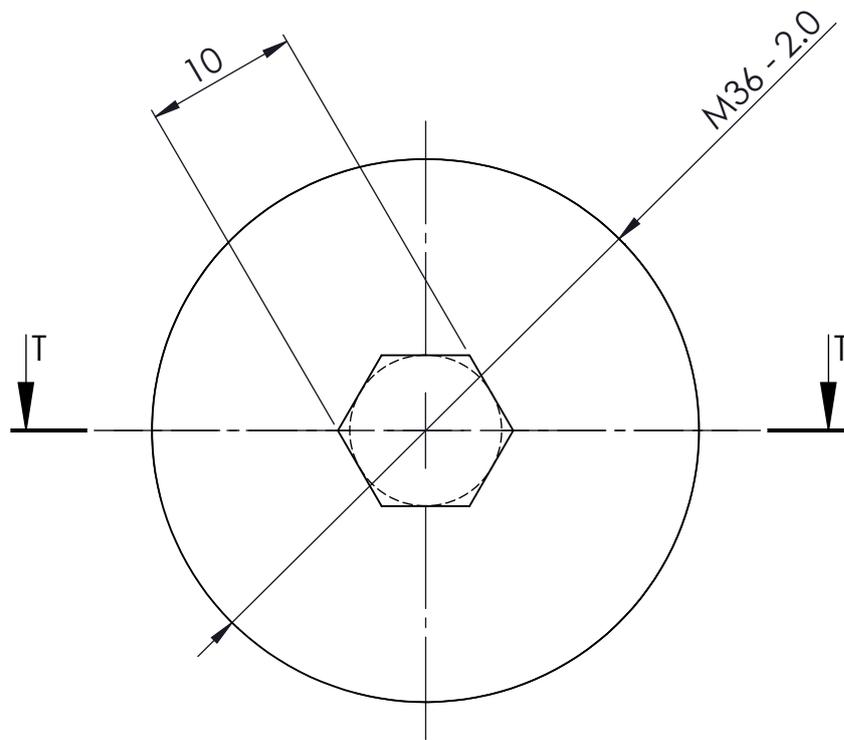
ESCALA 1 : 5

13	1	TAPA ENGRANAJE EXTERNA	AL 6063-T5	1.20.13
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA

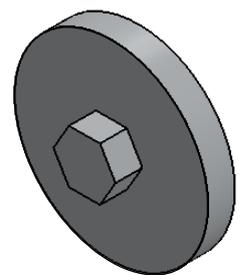
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Apellidos	2014	Barbuzano Asen	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

ESCALA: 1 : 2 	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR Subconjunto: REDUCTORA Título: TAPA ENGRANAJE EXTERNA	CONJUNTO Nº: 1.00 PLANO Nº: 1.20.13
--	---	--

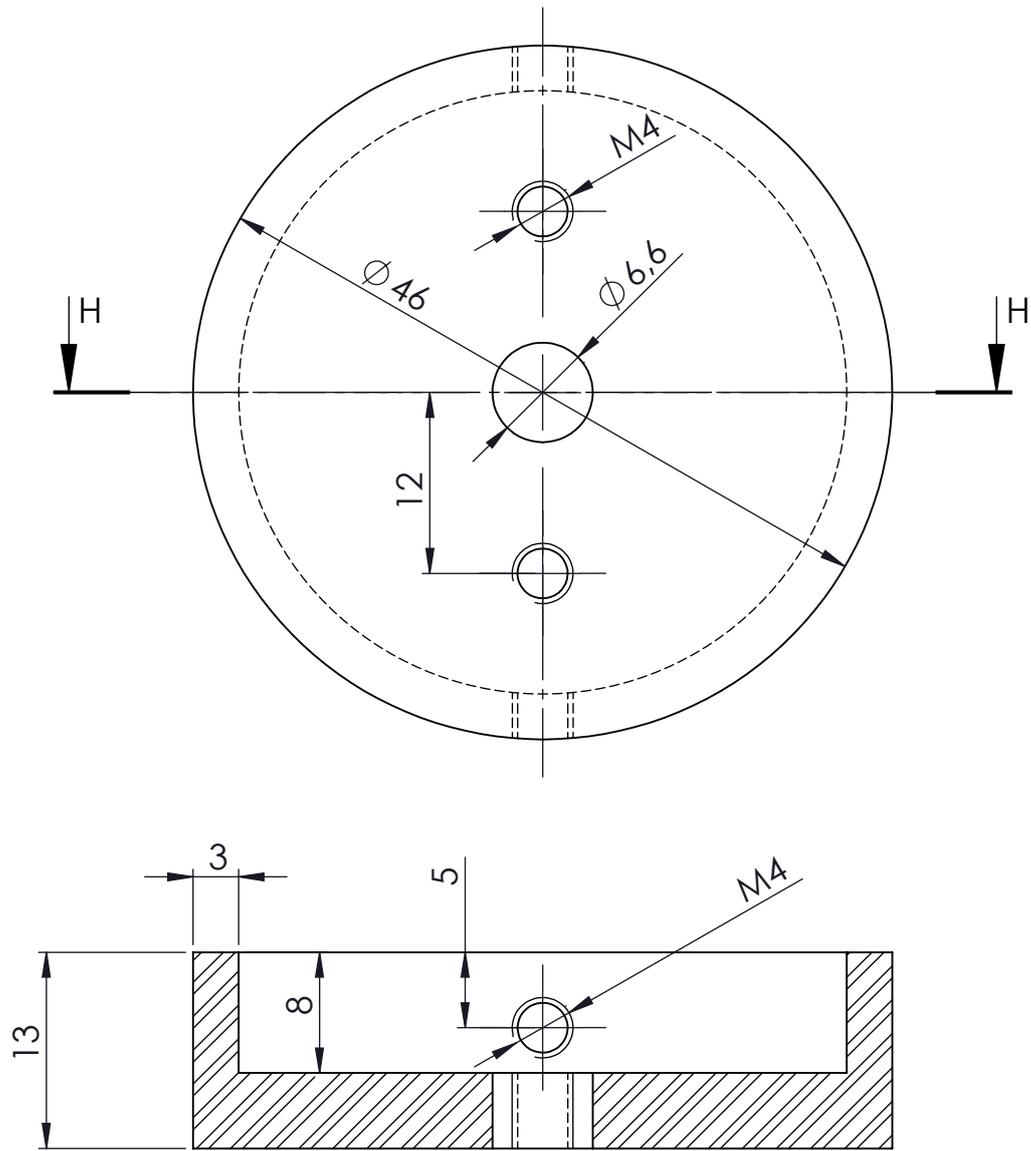


CORTE T-T

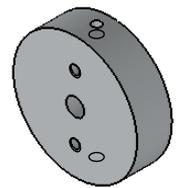


ESCALA 1: 1

15	1	TUERCA REGULACIÓN RESORTE	AL 6063-T5	1.20.15
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
Nombre	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Apellidos	2014	Barbuzano Asen		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 2: 1	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR Subconjunto: REDUCTORA Título: TUERCA REGULACIÓN RESORTE		CONJUNTO Nº: 1.00	PLANO Nº: 1.20.15

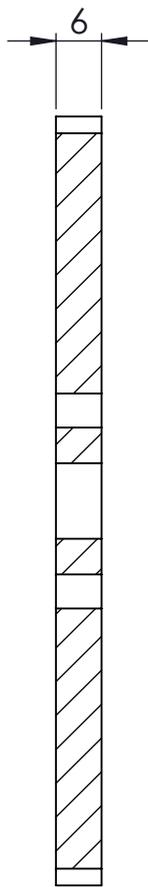


CORTE H-H

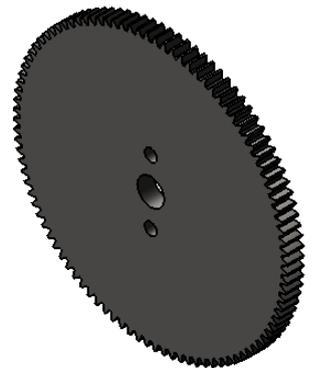
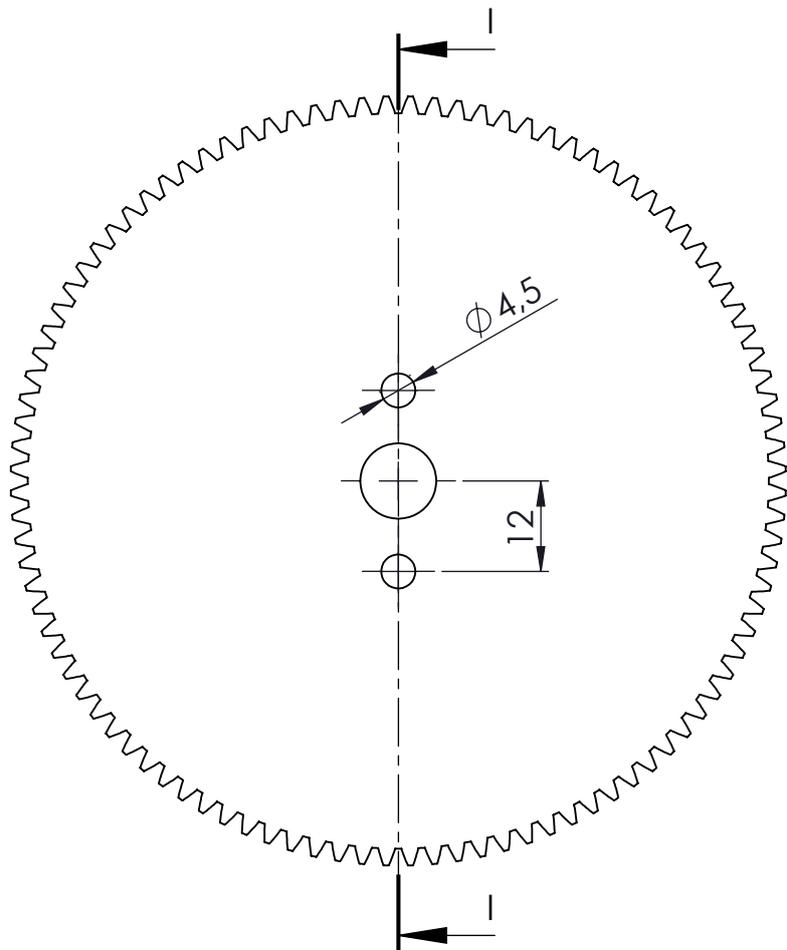


ESCALA 1: 2

22	1	SUJECIÓN ENGRANAJE Y EJE VERTICAL	AL 6063-T5	1.22
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre	JUNIO	Manuel		
Apellidos	2014	Barbuzano Asen		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
ESCALA: 2: 1	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR		CONJUNTO Nº: 1.00	
	Título: SUJECIÓN ENGRANAJE Y EJE VERTICAL		PLANO Nº: 1.22	



SECCIÓN I-I



ESCALA 1:2

23	1	ENGRANAJE DIENTES RECTOS SSAY-100 RECTIFICADO	F-1140	1.23
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN Y OBSERVACIONES	MATERIAL	REFERENCIA
SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre	JUNIO	Manuel		
Apellidos	2014	Barbuzano Asen		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
ESCALA: 1:1	Conjunto: MECANISMO SEGUIMIENTO SOLAR Título: ENGRANAJE DIENTES RECTOS SSAY-100 RECTIFICADO		CONJUNTO Nº: 1.00 PLANO Nº: 1.23	

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Pliego de Condiciones.

TRABAJO FIN DE GRADO.

TÍTULO

**SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.**

AUTOR

Manuel Barbuzano Asencio.

Índice.

1 Definición y alcance del pliego.	1
2 Condiciones generales.	2
3 Condiciones facultativas.	4
<i>3.1 Funciones técnicas.</i>	<i>4</i>
3.1.1 Funciones del ingeniero director.	4
3.1.2 Funciones del fabricante.	4
<i>3.2 Recepción de las piezas mecanizadas.</i>	<i>5</i>
4 Condiciones técnicas.	6
<i>4.1 Material.</i>	<i>6</i>
4.1.1 Piezas estructurales.	6
4.1.2 Elementos de unión desmontables.	7
4.1.3 Uniones permanentes.	8
<i>4.2 Actuador.</i>	<i>8</i>
<i>4.3 Módulo fotovoltaico.</i>	<i>10</i>
<i>4.4 Elementos de transmisión.</i>	<i>10</i>
4.4.1 Eje horizontal.	10
4.4.2 Eje vertical.	12
<i>4.5 Rodamientos.</i>	<i>13</i>
<i>4.6 Resorte.</i>	<i>14</i>
<i>4.7 Sistema de control del seguimiento solar.</i>	<i>14</i>
<i>4.8 Cableado.</i>	<i>15</i>
<i>4.9 Cajas de protección.</i>	<i>15</i>
<i>4.10 Tolerancias.</i>	<i>16</i>
<i>4.11 Montaje.</i>	<i>16</i>

1 Definición y alcance del pliego.

El presente pliego de condiciones hace referencia al Diseño y cálculo de un mecanismo motorizado para realizar un seguimiento solar de dos ejes sobre el que ubicar un panel fotovoltaico.

El objeto del presente pliego de condiciones es definir principalmente las obligaciones del fabricante, para llevar a cabo los trabajos con la garantía necesaria. También contiene las prescripciones y técnicas que se han de regir en la ejecución del proyecto.

En el pliego de condiciones técnicas se especificará, más especialmente aquellos capítulos que no están debidamente definidos en el resto de los documentos del proyecto, profundizando menos, en aquellos otros que quedan perfectamente definidos en los Planos y Memoria.

Quedan excluidos del proyecto y con ello del pliego de condiciones todo lo referente a los acumuladores de energía, reguladores de carga, inversores y cargas de consumo.

2 Condiciones generales.

Según la normativa interna de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial de la Universidad e La Laguna, para la redacción del proyectos académicos se deben tener en cuenta las directrices presentes en la norma UNE 157001: “Criterios generales para la elaboración de proyectos”.

Además serán de aplicación toda la normativa vigente referente que afecte directamente e indirectamente al diseño y construcción del sistema de seguimiento solar, así como la correspondiente a sistemas fotovoltaicos aislados de la red.

Alguna de las normas que afectan directamente al proyecto son:

- Reglamento de seguridad en máquinas, Real Decreto 1595-1986, de 26 de mayo y 830-1991 de 24 de mayo.
- Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre Conservación de la Energía.
- Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, Real Decreto 485/1997, de 14 de abril.
- Certificado de profesionalidad de la ocupación de instalador de sistemas fotovoltaicos y eólicos de pequeña potencia, Real Decreto 2224/98.
- Pliego de condiciones técnicas de instalaciones Aisladas de Red, PCT IDAE.
- Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y homologación, UNE-EN 61215.
- Parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos (FV) autónomos, UNE-EN 61194.
- Sistemas fotovoltaicos (FV) terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía, UNE-EN 61727.
- Criterios generales para la elaboración de proyectos, UNE 15701, febrero 2002.

- Reglamento y normas de presentación de los trabajos fin de grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial.
- Dibujos técnicos, plegado de planos, UNE 1027.
- Dibujos técnicos, principios generales de representación, UNE 1032.
- Dibujos técnicos, cuadro de rotulación, UNE 1035.
- Dibujos técnicos, acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales, UNE 1039.

3 Condiciones facultativas.

3.1 Funciones técnicas.

3.1.1 Funciones del ingeniero director.

Las funciones del ingeniero director serán las siguientes:

- a) Comprobar que las características dimensionales de los elementos prefabricados recibidos son las correctas.
- b) Redactar los complementarios o rectificadores del proyecto que se precisen.
- c) Asistir al taller, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución.
- d) Redactar el documento de estudios y análisis del proyecto.
- e) Planificar, en vistas de la repercusión del proyecto, la política de calidad.
- f) Ordenar y dirigir la ejecución del material con arreglo al proyecto.
- g) Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones, etc. según las frecuencias de muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable.
- h) Verificar que las dimensiones geométricas del conjunto final ya fabricado, así como los acabados superficiales, son los señalados en el proyecto. En caso contrario tomar las medidas oportunas para corregir estos defectos.

3.1.2 Funciones del fabricante.

Las funciones que debe realizar el fabricante son:

- a) Organizar trabajos de fabricación.
- b) Disponer en todo caso de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observación de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.
- c) Ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en las tareas de fabricación.
- d) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales que se utilicen, comprobando los preparativos en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del Ingeniero Director, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- e) Facilitar al Ingeniero Director, con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.

3.2 Recepción de las piezas mecanizadas.

Los productos finales deben estar en perfectas condiciones, además de ser entregados bien sellados y embalados adecuadamente para protegerlos de golpes o de ambientes inadecuados.

Se deberá verificar que los productos finales cumplen todas las disposiciones señaladas en el proyecto original o en caso de que hayan surgido cambios esenciales durante la etapa de fabricación, que hayan sido aprobados anteriormente por el ingeniero director.

Por último deberá corroborarse que no se han detectado irregularidades que puedan repercutir en una disminución de la seguridad que se ha tratado de garantizar en todo el proceso de diseño.

4 Condiciones técnicas.

4.1 Material.

4.1.1 Piezas estructurales.

El material que se empleara para fabricar las piezas estructurales del sistema de seguimiento solar será el aluminio 6063-T5.

En esta aleación se usan como elementos aleantes el magnesio y el silicio en proporciones adecuadas para que se forme el Mg_2Si . La composición química de este aluminio es:

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Mínimo	0,30	0,10			0,40					
Máximo	0,60	0,30	0,10	0,10	0,90	0,05	0,15	0,20	0,15	Resto

Tabla 4.1. Composición química aluminio 6063.

Además, se le realiza un tratamiento térmico T5. Para conseguir éste tipo de tratamiento, se realiza un temple desde la temperatura de extrusión y maduración artificial Aplicado a los semi-productos que desde la temperatura de extrusión reciben un enfriamiento con aire forzado a velocidad suficiente (temple), de manera que con una maduración artificial posterior se incrementan sus propiedades mecánicas. Se incluyen en este estado los productos que después del enfriamiento son sometidos a un aplanado o enderezado por tracción, sin efectos sensibles sobre las propiedades mecánicas.

Las equivalencias internacionales del aluminio 6063 son:

USA	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA	G.B	SUECIA	SUIZA
A.A.	U.N.E.	AFNOR	DIN(1712-1725)	B.S.	S.I.S.	VSM
6063	L-3441	A-GS	AlMg ₄ Si _{0,5} 33.206	H9	4.013	AlMgSi 0,5
Austria	Japón	Hungría	Noruega	Polonia	CANADA	ITALIA
Ónorm	J.I.S.	M.S.Z.	N.S.	P.L.	ALCAN	UNI
AlMgSi 0,5	A 2x6	AlMgSi	173190	PA 38	GS10	3569

Tabla 4.2. Equivalencias internacionales aluminio 6063.

El aluminio empleado deberá tener como mínimo las siguientes características:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad en X	69000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.33	N/D
Módulo cortante en XY	25800	N/mm ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción en X	185	N/mm ²
Límite de compresión en X		N/mm ²
Límite elástico	145	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica en X	2.34e-005	/K
Conductividad térmica en X	209	W/(m·K)
Calor específico	900	J/(kg·K)

Tabla 4.3. Propiedades aluminio 6063-T5.

Fuente: SolidWorks.

4.1.2 Elementos de unión desmontables.

El material designado para éstas piezas fundamentales ha sido el acero inoxidable austenítico A2-70.

Este material también es denominado 18/8 debido a que contiene un 18% Cromo y un 8% de Níquel. Al tener esta composición posee una resistencia a la corrosión excelente bajo acciones atmosféricas, en medios húmedos, ácidos oxidantes y orgánicos, muchas soluciones alcalinas y salinas.

Por otro lado se ha elegido una clasificación 70, ya que es la clase de calidad más utilizada comúnmente, por lo que existe un gran stock disponible.

La composición química del acero inoxidable A2 es:

%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Mínimo						17,00	8,00
Máximo	0,08	1,00	2,00	0,05	0,03	20,00	13,00

Tabla 4.4. Composición química acero inoxidable A2.

4.1.3 Uniones permanentes.

Para realizar las uniones permanentes se empleará una soldadura TIG, con una varilla de aportación estandarizada DIN EN ISO 18273: S Al 5356-AlMg5Cr A.

Ésta es una varilla para soldar aleaciones de metales bases de aluminio y magnesio, con un 5% de magnesio máximo. Presenta una alta resistencia a la corrosión y se suele aplicar en la construcción de buques, tanques de almacenamiento, vías férreas y en la industria del automóvil.

Los materiales o campos de aplicación vienen dados por la tabla 8.1.

Al Mg 5	Al Mg Mn	Al Mg3	Al Mg Si 0.7	G-Al Mg5 Si
Al Zn Mg1	Al Mg 1 Si Cu	G-Al Mg 10	G-Al Mg3 Si	

Tabla 4.5. Campo de aplicación varilla de aluminio para soldar.

Fuente: Ficha técnica CODESOL.

Además la composición química del hilo es:

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Be
resto	<0.25	<0.40	<0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	<0.10	0.06-0.20	<0.0003

Tabla 4.6. Composición química en % de la varilla de aluminio para soldar.

Fuente: Ficha técnica CODESOL.

La varilla de aportación deberá ser de unas características similares, teniendo como mínimo un límite de rotura de 185 N/mm², para garantizar las resistencias de las uniones.

4.2 Actuador.

El actuador del sistema es el encargado de generar el movimiento en los dos ejes que hacen girar el módulo fotovoltaico para orientarlo correctamente con la radiación solar.

El actuador debe estar alimentado con corriente continua, por lo que debe ser un motor eléctrico.

El motor eléctrico debe ser un paso a paso, debido a que el movimiento efectuado debe ser preciso y controlado.

Las características deben ser similares al motor eléctrico paso a paso elegido, las cuales son:

RS stock no.	440-420	440-436	440-442	440-458	440-464	440-470
Rated voltage (V)	5	12	5	12	3	2.5
Rated current (I)	0.5	0.16	1	0.6	2	4.5
Resistance (Ω)	10	75	5	20	1.5	0.56
Inductance (mH)	6	36	9	32	4.5	2.8
Detent torque (mHm)	5	4	30	30	40	100
Holding torque (mNm)	70	70	500	500	1200	2200
Step angle accuracy (%)	5	5	5	5	5	5
Step angle	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Insulation class	B	B	B	B	B	B

Tabla 4.7. Especificaciones técnicas motores paso a paso RS.
Fuente: Catálogo motores eléctricos paso a paso RS.

Además, las dimensiones del alzado no podrán exceder de 94 x 94 mm. Esto es así para que pueda encajar perfectamente en la pieza de la estructura. El diámetro del eje de giro no podrá ser inferior a 8 mm, debido a que es el diámetro interno de los engranajes que van a transmitir el movimiento al módulo fotovoltaico.

Las dimensiones entre los agujeros para los tornillos de anclaje deberán tener las mismas dimensiones. Si no pudiera ser el caso, habrá que corregir las posiciones de los agujeros en la tapa de engranajes interna y externa de la reductora del eje horizontal, y en la estructura.

Por otro lado, su potencia deberá ser de un valor cercano a los 6 W, para que no afecte excesivamente a la generación de electricidad del sistema.

Para que este tipo de motores funcione correctamente, se debe colocar un sistema de control, que controle la cantidad de pasos que realice. Por ello se deberá instalar en el sistema de seguimiento solar un controlador para cada uno de los dos motores paso a paso.

4.3 Módulo fotovoltaico.

El módulo deberá tener un tipo de célula policristalina. La potencia pico debe ser 50 W_p, o en su defecto, deberá tener unas dimensiones no superiores a 680 x 680 mm. Con ello se garantiza que las fuerzas externas actuantes sobre el módulo debido a la presión ejercida por el viento o la nieve no superen las estudiadas en las resistencias de los materiales que forman el sistema de seguimiento solar.

Además, el módulo deberá satisfacer las especificaciones UNE-EN 61215 para módulos de silicio cristalino., o UNE-EN 61646 para módulos fotovoltaicos capa delgada, así como estar cualificado por algún laboratorio reconocido, lo que acreditará mediante la presentación del certificado oficial correspondiente.

El panel fotovoltaico llevará de forma claramente visible e indeleble el modelo y nombre o logotipo del fabricante, así como una identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación.

Por otro lado, deberá estar equipado con una caja de conexión de un grado de protección mínimo IP-65.

Por último deberá tener un marco exterior de aluminio anodizado, con unas perforaciones de 6,6 mm de diámetro por donde se sujetará el módulo fotovoltaico al sistema de seguimiento solar.

4.4 Elementos de transmisión.

La potencia generada por los motores eléctricos debe ser transmitida hacia los mecanismos de giro de cada uno de los dos ejes. Para ello se emplean engranajes de dientes rectos.

4.4.1 Eje horizontal.

La relación de transmisión del conjunto de engranajes que logran transmitir el movimiento del motor al eje horizontal debe ser 1/6. Además se deberán colocar los engranajes en las siguientes posiciones:

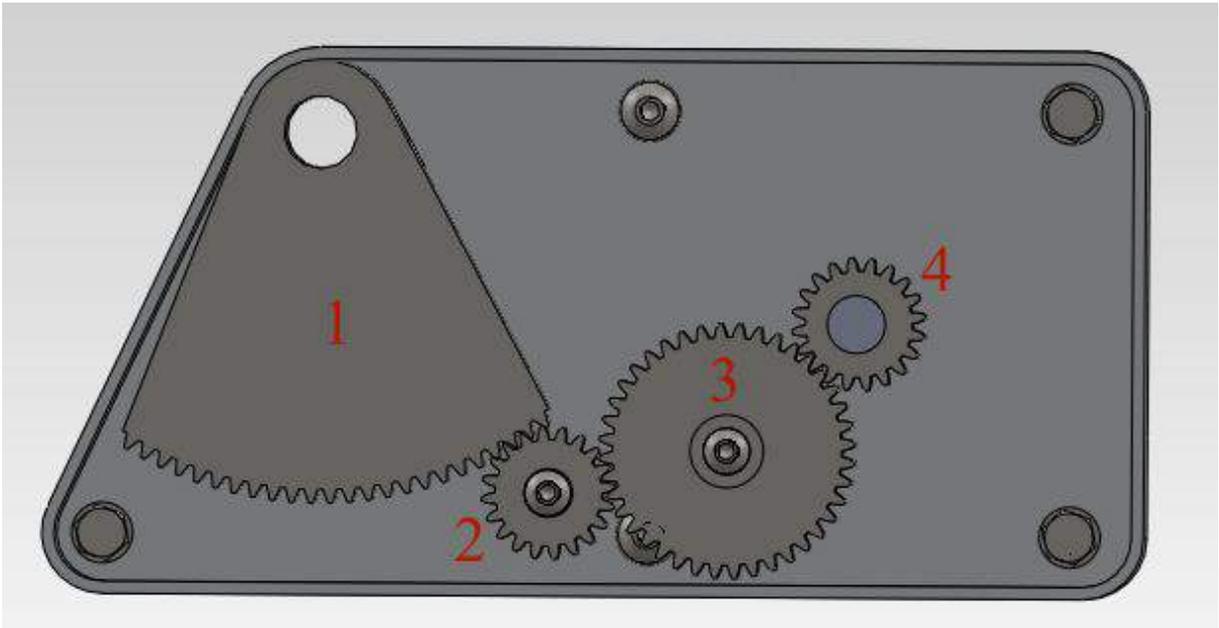


Figura 4.1. Disposición engranajes dentro de la reductora del eje horizontal.

Además, los engranajes deberán tener las siguientes características:

Engranaje	Modulo	Nº of teeth	Shape	A H7	B	C	D	E	F	G
1	1	120	S1K	12	35	120	122	6	8	14
2 y 4	1	20	S1T	8	16	20	22	6	8	14
3	1	40	S1	8	28	40	42	6	8	14

Tabla 4.7. Dimensiones engranajes eje horizontal.

Dónde las dimensiones corresponden con los de la figura 4.2:

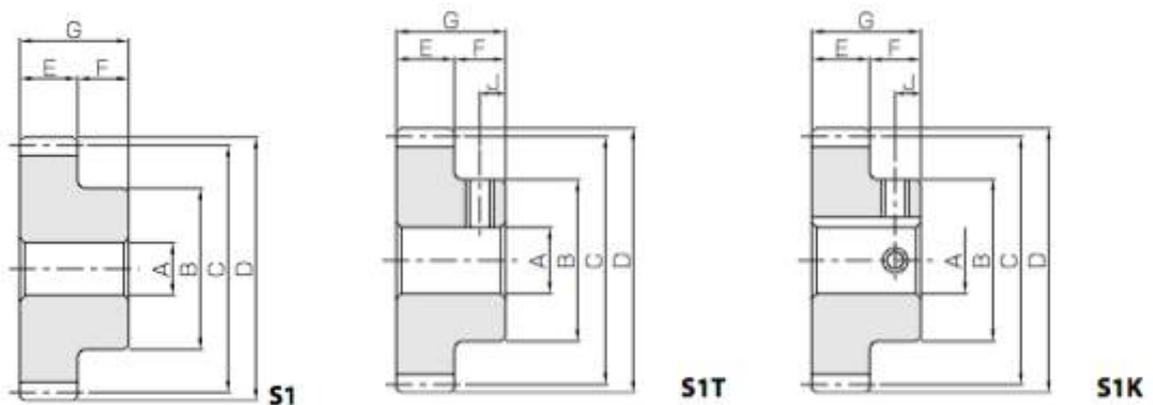


Figura 4.2. Geometrías engranajes.
Fuente: Catálogo KHK.

Por otro lado, los engranajes seleccionados deberán soportar los momentos torsores que actúan sobre ellos, los cuales aparecen claramente definidos en el anexo de cálculos.

Además, los engranajes 1 y 4 deberán ir fijos al eje horizontal y al eje del motor paso a paso, mientras que los engranajes 2 y 3 girarán libres sobre los correspondientes ejes. Éstos sólo se encargan de mantener la geometría correcta, y deberán ir lubricados con cualquier tipo de aceite para reducir al máximo posible las pérdidas por fricción. Además, el eje horizontal también deberá ser lubricado en los soportes del eje vertical con la misma finalidad.

4.4.2 Eje vertical.

Para la transmisión de potencia del motor eléctrico al eje vertical, se han de emplear engranajes de dientes rectos, los cuales tengan una relación de transmisión 1/2.

Además, las características de estos engranajes deben ser las siguientes:

Para el engranaje que va acoplado al eje del motor eléctrico tendrá que ser de 50 dientes, y tener un módulo igual a 1. Además, sus dimensiones serán:

Catalogo nº	Modulo	Nº of teeth	Shape	A H7	B	C	D	E	F	G
SSY1-50A	1	50	S1T	8	28	50	52	6	8	14

Tabla 4.8. Dimensiones engranaje eje conectado al motor eléctrico.

Dónde las dimensiones corresponden a la figura 4.2.

Por otro lado, el engranaje que se acopla al eje vertical, deberá tener 100 dientes y un módulo igual a 1, para que perfectamente con el que se acopla al motor eléctrico. Sus dimensiones geométricas deberán ser:

Catalog nº	Module	Nº of teeth	Shape	A H7	B	C	D
SSAY1-100A	1	100	S5	10	100	102	6

Tabla 8.9. Dimensiones engranaje eje vertical SSAY1-100.

Fuente: Catálogo KHK.

Dónde las dimensiones corresponden con los de la figura 4.3:

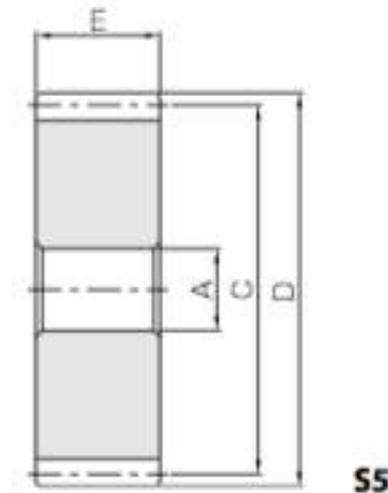


Figura 4.3. Geometría engranajes conectado al eje vertical.
Fuente: Catálogo KHK.

4.5 Rodamientos.

Los rodamientos que se deben colocar en el eje vertical deben ser rodamientos de bolas de contacto angular.

Además, los rodamientos deben soportar las cargas ejercidas sobre ellos, cuya magnitud está perfectamente definido en el anexo de cálculos.

En cuanto a la geometría de los rodamientos, se debe garantizar que encajen en las zonas diseñadas para ellos.

Además, deben tener un ancho de 12 mm, mientras que el diámetro interior deberá ser de 40mm.

Por otro lado, el diámetro exterior tiene que tener unas dimensiones mínimas de 62 mm de diámetro. Con ello se garantiza que la soldadura realizada en las zonas de acoplamiento de los rodamientos soporten las tensiones requeridas.

4.6 Resorte.

El resorte empleado deberá tener unas propiedades similares a las del resorte seleccionado. Deberá ser un resorte de carga ligera, cuya rigidez debe estar en un rango de 6 N/mm y 15 N/mm. Con esto se garantiza que la fuerza ejercida por el resorte sea suficiente para que los discos de fricción generen un momento torsor tal que mantenga estático el módulo fotovoltaico.

Además, en ese rango la compresión ejercida por el mismo está dentro de los márgenes de actuación de la rosca, la cual regula la distancia comprimida.

En cuanto a sus dimensiones, deberán ser tales que se pueda acoplar a las piezas mecanizadas sin interferir en el movimiento del resto de componentes.

El resorte deberá tener los extremos escuadrados y rectificadas para que tenga un buen contacto con los componentes. Además su longitud libre deberá ser de 25 mm.

4.7 Sistema de control del seguimiento solar.

El sistema de control del seguimiento solar que se debe instalar debe ser una plataforma electrónica abierta para la creación de prototipos que esté basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar.

Además, deberá contar con entradas analógicas para obtener los datos de potencia generada por el módulo fotovoltaico, así como salidas para dar las señales a los motores paso a paso para que realicen los giros correspondientes.

Este sistema deberá ir alimentado por corriente continua, y su consumo de energía debe ser reducido, para que no afecte en exceso a la producción total.

La plataforma electrónica debe poder cargar el programa de seguimiento desde cualquier ordenador portátil y almacenarla para ser ejecutada sin tener que disponer de ningún otro recurso informático externo.

4.8 Cableado.

El cableado deberán ir separados y protegidos se acuerdo a la norma vigente. Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores de CC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5% y los de la parte de CA, si la hubiera, para que la caída de tensión sea inferior al 2%, teniendo en ambos casos como referencia las tensiones correspondientes a cajas de conexiones.

Se incluirá toda la longitud de cable CC y AC. Deberán tener la longitud necesaria para no generar esfuerzos en los diversos elementos, ni posibilidad de enganche en las partes móviles del sistema, ni por el posible tránsito de personas en sus inmediaciones. Todo el cableado de corriente continua será de doble aislamiento y adecuado para su uso de intemperie, al aire, o enterrado, de acuerdo con la norma UNE 21123.

4.9 Cajas de protección.

Para los elementos que no dispongan de protección propia contra los agentes ambientales, tales como agua y polvo, se deberán cubrir con cajas de protección.

Estas cajas deben resistir éstos elementos, por lo que deben tener un determinado grado de protección estandarizado. Para cubrir todos los elementos eléctricos se han de instalar dentro de cajas de protección mínima IP65.

Éstas deben ejercer una protección fuerte contra polvo, éste no debe entrar bajo ninguna circunstancia.

Por otro lado, no debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30kN/m² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.

4.10 Tolerancias.

Las tolerancias requeridas en las piezas que se deben fabricar serán las indicadas en los planos. Se debe prestar especial atención a las tolerancias de los agujeros del eje horizontal, debido a que si se fabrican con unas dimensiones inferiores, producirá un rozamiento excesivo provocando así que el motor eléctrico no tenga potencia suficiente para lograr el giro requerido.

4.11 Montaje.

El orden de montaje del mecanismo de seguimiento solar será el impuesto por el orden de las marcas de los planos de conjunto explosionados.

Siguiendo ese orden, se consigue un montaje coherente debido a que no habrán piezas que impidan la colocación de otras.

El instalador deberá verificar el correcto funcionamiento del mecanismo. También tendrá que comprobar que el movimiento de todas las piezas sea el correcto, debiendo modificar el par de apreté de los tornillos para conseguir los requisitos especificados. Así mismo, se lubricaran todas las piezas móviles para reducir las pérdidas de rozamiento, así como el desgaste de las piezas.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Mediciones y Presupuesto.

TRABAJO FIN DE GRADO.

TÍTULO

SISTEMA MECÁNICO DE SEGUIMIENTO SOLAR SOBRE DOS EJES PARA
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

AUTOR

Manuel Barbuzano Asencio.

Índice.

1 Fabricación piezas.	1
1.1 <i>Mano de obra.</i>	1
1.2 <i>Maquinaria.</i>	3
2 Presupuesto piezas mecanizadas.	4
2.1 <i>Estructura.</i>	4
2.1.1 Corte.	4
2.1.2 Taladrado.	5
2.1.3 Soldadura.	5
2.1.4 Coste total fabricación.	5
2.2 <i>Soporte farola.</i>	5
2.2.1 Corte.	6
2.2.2 Taladrado.	6
2.1.4 Coste total fabricación.	6
2.3 <i>Eje vertical.</i>	7
2.3.1 Corte.	7
2.3.2 Taladrado.	8
2.3.3 Soldadura.	8
2.3.4 Torneado.	8
2.3.5 Coste total fabricación.	9
2.4 <i>Eje horizontal.</i>	9
2.4.1 Corte.	10
2.4.2 Fresado.	10
2.4.3 Coste total fabricación.	10
2.5 <i>Soporte placa.</i>	10
2.5.1 Corte.	11
2.5.2 Taladrado.	11
2.5.3 Soldadura.	12
2.5.4 Coste total fabricación.	12
2.6 <i>Placa soporte eje horizontal.</i>	12
2.6.1 Corte.	13
2.6.2 Taladrado.	13

2.6.3 Coste total fabricación.	13
<i>2.7 Sujeción engranaje y eje vertical.</i>	<i>13</i>
2.7.1 Corte.	14
2.7.2 Taladrado.	14
2.3.4 Torneado.	14
2.7.4 Coste total fabricación.	15
<i>2.8 Rectificado engranaje SSAY-100.</i>	<i>15</i>
<i>2.9 Tapa engranajes interna.</i>	<i>16</i>
2.9.1 Corte.	16
2.9.2 Fresado.	16
2.9.3 Taladrado.	17
2.9.4 Soldadura.	17
2.9.5 Coste total fabricación.	17
<i>2.10 Rectificado engranaje SSY-120A.</i>	<i>18</i>
2.10.1 Corte.	18
2.10.2 Fresado.	18
2.10.3 Coste total rectificado.	18
<i>2.11 Disco fricción interno.</i>	<i>19</i>
2.11.1 Corte.	19
2.11.2 Torneado.	19
2.11.3 Taladrado.	20
2.11.4 Coste total fabricación.	20
<i>2.12 Disco fricción externo.</i>	<i>20</i>
2.12.1 Corte.	21
2.12.2 Fresado.	21
2.12.3 Taladrado.	21
2.12.4 Coste total fabricación.	22
<i>2.13 Tapa engranajes externa.</i>	<i>22</i>
2.13.1 Corte.	23
2.13.2 Fresado.	23
2.13.3 Torneado.	23
2.13.4 Taladrado.	24
2.13.5 Soldadura.	24
2.13.6 Coste total fabricación.	24
<i>2.14 Tuerca regulación resorte.</i>	<i>25</i>
2.14.1 Corte.	25

2.14.2 Fresado.	25
2.14.3 Torneado.	26
2.14.4 Coste total fabricación.	26
3 Presupuesto total.	27
3.1 Piezas Fabricadas.	27
3.2 Engranajes.	28
3.3 Rodamientos.	28
3.4 Tornillería.	29
3.5 Componentes eléctricos.	30
3.6 Cajas de protección.	30
3.7 Resorte.	31
3.8 Montaje.	31
3.9 Resumen por bloques.	31
3.10 Presupuesto final.	32

1 Fabricación piezas.

Para realizar el calculo del precio de fabricación de las piezas que componen el sistema de seguimiento solar se emplean los siguientes precios, asimilando que no se va a fabricar un prototipo, sino que se realizarán 200 piezas. El realizar un número elevado reduce el precio de mano de obra , mientras que un prototipo es mucho más caro y el calculo de su coste sería menos preciso.

Además, se tendrá en cuenta la mano de obra, el precio de la maquinaria, así como el coste de los materiales.

Como se puede comprobar en los planos, algunas de las piezas están formadas por distintos perfiles de aluminio, por lo que habrá que tener en cuenta cada uno de ellos, así como los mecanizados que se realizarán.

1.1 Mano de obra.

En primer lugar, los precios de mano de obra de cada uno de los trabajadores que deben intervenir en la fabricación de las piezas son:

- Cortador: 45 €/día.
- Fresador: 60 €/día.
- Taladrador: 50 €/día.
- Tornero: 55 €/día.
- Soldador: 70€/día.

Además se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- 252 días laborales al año.
- Dos pagas extras al año.
- 1625 h/año según convenio.
- Gastos de Seguridad Social 35% sobre la mano de obra directa.
- Gastos generales 50% sobre mano de obra directa.

Por último, con todas las consideraciones tomadas anteriormente, se calcula el salario por hora de cada uno de los trabajadores según la ecuación 1.1:

$$\frac{\text{Salario}}{\text{hora}} = \frac{\text{Precio} \cdot \text{días laborales} \cdot \frac{12 + \text{Pagas}}{12} \cdot (1 + \% \text{SegSoc} + \% \text{GG})}{\text{horas convenio}} \quad (1.1)$$

- Cortador: 14,83 €/h.

$$\frac{\text{Salario}}{\text{hora}} = \frac{45 \frac{\text{€}}{\text{día}} \cdot 252 \text{ días} \cdot \frac{12 + 2}{12} \cdot (1 + 0,35 + 0,5)}{1625 \frac{\text{h}}{\text{año}}} = 14,84 \text{ €/h}$$

- Fresador: 19,78 €/h.

$$\frac{\text{Salario}}{\text{hora}} = \frac{60 \frac{\text{€}}{\text{día}} \cdot 252 \text{ días} \cdot \frac{12 + 2}{12} \cdot (1 + 0,35 + 0,5)}{1625 \frac{\text{h}}{\text{año}}} = 19,78 \text{ €/h}$$

- Taladrador: 16,48 €/h.

$$\frac{\text{Salario}}{\text{hora}} = \frac{50 \frac{\text{€}}{\text{día}} \cdot 252 \text{ días} \cdot \frac{12 + 2}{12} \cdot (1 + 0,35 + 0,5)}{1625 \frac{\text{h}}{\text{año}}} = 16,48 \text{ €/h}$$

- Tornero: 18,13 €/h.

$$\frac{\text{Salario}}{\text{hora}} = \frac{55 \frac{\text{€}}{\text{día}} \cdot 252 \text{ días} \cdot \frac{12 + 2}{12} \cdot (1 + 0,35 + 0,5)}{1625 \frac{\text{h}}{\text{año}}} = 18,13 \text{ €/h}$$

- Soldador: 23,07 €/h.

$$\frac{\text{Salario}}{\text{hora}} = \frac{70 \frac{\text{€}}{\text{día}} \cdot 252 \text{ días} \cdot \frac{12 + 2}{12} \cdot (1 + 0,35 + 0,5)}{1625 \frac{\text{h}}{\text{año}}} = 23,07 \text{ €/h}$$

1.2 Maquinaria.

En el precio de la maquinaria se incluye el coste de los mantenimientos, de recambios de las piezas que sufren desgaste, la potencia eléctrica consumirá, y en el caso de la soldadura, el material de aportación.

Los precios de las maquinarias son:

- Cortadora: 30 €/h.
- Fresadora: 45 €/h.
- Taladradora: 25 €/h.
- Torno: 40 €/h.
- Soldador: 55 €/h.

Con todos estos datos ya se puede calcular el precio de costo de fabricación de cada una de las piezas.

2 Presupuesto piezas mecanizadas.

2.1 Estructura.

Para la fabricación de la estructura se necesitan varios perfiles de aluminio 6063-T5. A todas las longitudes se le añadirá un 10 % que corresponden a los sobrantes de realizar los cortes a los perfiles.

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
1.01	Perfil cuadrado 100x100 e=4 aluminio extruido 6063-T5 anodizado grado 3.	0,76	39,39	29,94
1.02	Perfil cuadrado 60x60 e=1,5 aluminio extruido 6063-T5 anodizado grado 3.	0,11	10,30	1,13
1.03	Perfil circular diámetro 68 e=2 aluminio extruido 6063-T5 anodizado grado 3.	0,03	10,39	0,31
Total material				31,38

Además, para fabricar la estructura se deben realizar operaciones de corte, taladrado y soldadura.

2.1.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir los perfiles de aluminio en las partes que se necesitan, además el perfil cuadrado de 100x100 debe realizársele un corte en ángulo en uno de sus extremos. Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 35 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$\text{Corte} = 35 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 26,16 \text{ €}$$

2.1.2 Taladrado.

Se deben realizar un total de 21 agujeros en el perfil 100x100 para que se puedan acoplar el resto de piezas y tornillos. Para realizar esos agujeros, teniendo en cuenta el cambio de broca, es de 25 minutos, por lo que el coste será:

$$\text{Taladrado} = 30 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 17,28 \text{ €}$$

2.1.3 Soldadura.

Para unir los tres perfiles y formar la estructura del mecanismo de seguimiento solar, se deberá realizar 4 soldaduras. El tiempo de preparación y ejecución de las mismas se estima en 15 minutos, por lo que el coste de realizar este trabajo será:

$$\text{Soldadura} = 15 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(20,07 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 55 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 18,78 \text{ €}$$

2.1.4 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de la estructura, teniendo en cuenta los materiales y las operaciones de mecanizado es:

Concepto.	Importe [€]
Material	31,38
Corte	26,16
Taladrado	17,28
Soldadura	18,78
Total Estructura	93,60

2.2 Soporte farola.

Para la fabricación del soporte de la farola se emplea una pletina de aluminio 6063-T5. Las medidas de dicha pletina y su costo es:

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
2.01	Perfil laminado de 150x5 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,18	17,39	3,13
			Total material	3,13

Además, para finalizar el fabricado de la pieza, se necesitan realizar una serie de mecanizados.

2.2.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir la pletina laminada. Además hay que realizarle dos cortes en ángulo, tal como se puede comprobar en los planos. Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 10 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$Corte = 10 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 7,47 \text{ €}$$

2.2.2 Taladrado.

Para completar el mecanizado de esta pieza hay que realizarle siete agujeros. Como todos son del mismo diámetro, no hará falta intercambiar la roca del taladro, por lo que el tiempo de ejecución se ve reducido. Para ello se tarda 10 minutos, por lo que el coste de realizar los agujeros será:

$$Taladrado = 10 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 6,91 \text{ €}$$

2.1.4 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de una de las dos piezas del soporte farola, teniendo en cuenta los materiales y las operaciones de mecanizado es:

Concepto.	Importe [€]
Material	3,13
Corte	7,47
Taladrado	6,91
Total Soporte Farola	17,51

2.3 Eje vertical.

Para la fabricación del eje vertical se emplean pletinas de 70x5 mm de espesor para la parte superior, un perfil circular para la zona central, y para la zona donde se apoya el rodamiento superior se empleará una pletina de 10mm de espesor. Además, se añadirá un 10% en la longitud, la cual corresponde a los recortes desperdiciados de los perfiles completos. Con ello, el presupuesto del material es:

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
3.01	Perfil laminado de 70x5 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,21	8,92	1,87
3.02	Perfil laminado de 100x10 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,08	23,25	1,86
3.03	Perfil circular R20 e=1,8 aluminio extruido 6063-T5 anodizado grado 3.	0,21	6,46	1,36
			Total material	5,09

Además, para fabricar el eje vertical hay que realizar operaciones de corte, de taladrado, soldadura y torneado.

2.3.1 Corte.

Los cortes que se realizarán para poder fabricar el eje vertical son varios. En primer lugar hay que cortar los perfiles de aluminio. Además, hay que recortar la pletina de 70x5 para que tenga un ancho de 50 y posteriormente recortar en ángulo las piezas donde se apoyará el eje horizontal. Además, se realizarán dos cortes en un extremo del perfil circular, tal como

muestran los planos. Para realizar todos estos cortes se empleará un total de 40 minutos, por lo que el coste de los cortes será:

$$Corte = 40 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 29,89 \text{ €}$$

2.3.2 Taladrado.

Para fabricar el eje vertical se deben realizar 4 agujeros de 4,5 mm de diámetro y dos de 12mm sobre las pletinas de 5 mm de espesor. Además, hay que realizar otro agujero en el centro de la pletina, para que pase la varilla roscada y sujete el conjunto. Por último hay que realizar un orificio de 40mm de diámetro sobre la pletina de 10 mm de espesor para poder insertarlo en el perfil circular.

El tiempo necesario para ejecutar las operaciones de taladrado, incluyendo los tiempos de cambio de la herramienta de corte será de 15 minutos, por lo cual, el costo será:

$$Taladrado = 15 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 10,37 \text{ €}$$

2.3.3 Soldadura.

Para unir los tres perfiles y formar la pieza correctamente se deberá realizar 4 soldaduras, de las cuales dos son de 4mm de ancho y las otras dos de 1,8mm. El tiempo de preparación y ejecución de las mismas se estima en 15 minutos, por lo que el coste de realizar este trabajo será:

$$Soldadura = 15 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(20,07 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 55 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 18,78 \text{ €}$$

2.3.4 Torneado.

Para conseguir la pieza central donde se apoya el rodamiento superior, se debe rectificar la pletina de 100x10. Para ello se emplea el torno, debido a las formas circulares que presenta.

Para realizar dicho rectificado se debe emplear 30 minutos. Con ello se obtiene un coste de:

$$\text{Torneado} = 30 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(18,13 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 40 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 29,07 \text{ €}$$

2.3.5 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de del eje vertical, teniendo en cuenta los materiales y las operaciones de mecanizado es:

Concepto.	Importe [€]
Material	5,09
Corte	29,89
Taladrado	10,37
Soldado	18,78
Torneado	29,07
Total Eje Vertical	93,20

2.4 Eje horizontal.

Para la fabricación del eje horizontal se emplea únicamente una barra maciza de aluminio 6063-T5. A la longitud se le añadirá un 10% para compensar la pérdidas que se producen al realizar los recortes en la barra.

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
4.01	Perfil circular macizo diámetro 12 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,21	3,11	0,65
Total material				0,65

Además, para fabricar la pieza como especifican los planos, se le deberá realizar un rectificado con una fresadora, aparte de los cortes que se deben realizar para conseguir la longitud de la barra de 188mm.

2.4.1 Corte.

En esta pieza sólo hay que realizar un corte para obtener de la barra completa la longitud de 188mm, por lo que el tiempo empleado será de 2 minutos. Con esto se obtiene un costo de:

$$\text{Corte} = 2 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 1,49 \text{ €}$$

2.4.2 Fresado.

Como se menciona anteriormente, se debe realizar un fresado sobre la barra de aluminio maciza para obtener las ranuras que se observan en los planos. Para realizar éstas, se necesitarán 7 minutos, por lo que el costo del fresado será:

$$\text{Fresado} = 7 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(19,78 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 45 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 7,56 \text{ €}$$

2.4.3 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de del eje vertical, teniendo en cuenta los materiales y las operaciones de mecanizado es:

Concepto.	Importe [€]
Material	0,65
Corte	1,49
Fresado	7,56
Total Eje Horizontal	9,7

2.5 Soporte placa.

Para la fabricación del soporte de la placa se necesitan varios perfiles de aluminio 6063-T5. A todas las longitudes se le añadirá un 10 % que corresponden a los sobrantes de realizar los cortes a los perfiles.

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
5.01	Perfil rectangular laminado 30x20 e=1,3 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,97	3,85	3,73
5.02	Perfil rectangular laminado 60x20 e=1,3 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,8	9,54	7,63
			Total material	11,37

Además, para fabricar el soporte del módulo fotovoltaico se deben realizar operaciones de corte, taladrado y soldadura.

2.5.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir los perfiles de aluminio en las partes que se necesitan. Además se debe realizar varios cortes para darle forma a las piezas dónde se acopla el eje horizontal.

Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 30 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$Corte = 30 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 22,42 \text{ €}$$

2.5.2 Taladrado.

Se deben realizar cuatro perforaciones de 6.6 mm y otras cuatro de 4,5 mm. Además, para realizar la zona curva de apoyo del eje horizontal, se empleará una broca de 12mm de diámetro. Para realizar esos agujeros, teniendo en cuenta el cambio de broca, es de 25 minutos, por lo que el coste será:

$$Taladrado = 25 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 17,28 \text{ €}$$

2.5.3 Soldadura.

Para unir todas las piezas que componen el soporte de la placa se deberán realizar 6 soldaduras. El tiempo de preparación y ejecución de las mismas se estima en 25 minutos, por lo que el coste de realizar este trabajo será:

$$\text{Soldadura} = 25 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(20,07 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 55 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 31,28 \text{ €}$$

2.5.4 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de la estructura, teniendo en cuenta los materiales y las operaciones de mecanizado es:

Concepto.	Importe [€]
Material	11,37
Corte	22,42
Taladrado	17,28
Soldadura	31,28
Total Soporte Placa	82,35

2.6 Placa soporte eje horizontal.

Para fabricar ésta pieza se empleará una placa laminada de 60x5, la cual se rectificará para que tenga las medidas que se especifican en el plano. A la longitud de la pieza se le añadirá un 10% para estimar el material que se desecha debido a los recortes.

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
6.01	Perfil laminado 60x5 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,02	7,73	0,15
	Total material			0,15

Además, para fabricar el soporte del módulo fotovoltaico se deben realizar operaciones de corte, taladrado.

2.6.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir la pletina de aluminio así como recortar el ancho del mismo hasta los 40mm.

Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 5 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$\text{Corte} = 5 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 3,74 \text{ €}$$

2.6.2 Taladrado.

Se deben realizar dos perforaciones de 4,5 mm de diámetro, empleando para ello 3 minutos, por lo que tendrá un costo de:

$$\text{Taladrado} = 3 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 2,07 \text{ €}$$

2.6.3 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de la placa que soporta el eje horizontal es de:

Concepto.	Importe [€]
Material	0,15
Corte	3,74
Taladrado	2,07
Total Placa Soporte Eje Horizontal	5,96

2.7 Sujeción engranaje y eje vertical.

Para fabricar la piza que sujeta en engranaje y el eje vertical, se empleará una pletina de aluminio de 150x15. Como el diámetro de la pieza es de 46 mm, se cortarán cuadrados de 50mm para realizar cada una, por lo que por cada corte de la pletina, se fabricarán 3 piezas. A dicha pletina se le realizará el mecanizado oportuno para que tenga la forma final requerida.

El coste del material es:

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
7.01	Perfil laminado 150x15 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,05/3	50,50	0,84
Total material				0,84

2.7.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir la pletina de aluminio en cuadrados de 50x50, tal como se especifica anteriormente.

Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 5 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$Corte = 5 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 3,74 \text{ €}$$

2.7.2 Taladrado.

Se deben realizar cuatro perforaciones roscadas con M4. Además, se deberá realizar una perforación de 6,6 mm de diámetro para pasar a través de la pieza la varilla roscada que sujeta el eje vertical. El tiempo empleando para realizar todas las operaciones de taladrado será de 25 minutos, ya que las roscas deben realizarse lentamente.

Con todo esto, el costo de estos mecanizados será:

$$Taladrado = 25 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 17,28 \text{ €}$$

2.3.4 Torneado.

Para conseguir que la pieza tenga la forma circular, se partirá de los cuadrados de 50x50x15, y se rectificará con el torno para conseguir la pieza final.

Para realizar dicho rectificado se debe emplear 25 minutos. Con ello se obtiene un coste de:

$$\text{Torneado} = 25 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(18,13 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 40 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 20,22 \text{ €}$$

2.7.4 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de la placa que soporta el eje horizontal es de:

Concepto.	Importe [€]
Material	0,84
Corte	3,74
Taladrado	17,28
Torneado	20,22
Total Sujeción Engranaje y Eje Vertical	42,08

2.8 Rectificado engranaje SSAY-100.

El rectificado de este engranaje consta en realizarle dos perforaciones de 4.5 de diámetro para que por medio de los tornillos prisioneros que se sujetan en la pieza anterior, transmita el momento al eje vertical. Para realizar estas perforaciones el tiempo empleado es de 3 minutos, por lo que supondrá un costo añadido de:

$$\text{Taladrado} = 3 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 2,07 \text{ €}$$

Con lo que el costo total del engranaje rectificado es de:

Concepto.	Importe [€]
Engranaje SSAY-100	29,53
Taladrado	2,07
Total Engranaje SSAY-100 Rectificado	31,60

2.9 Tapa engranajes interna.

Para la fabricación de esta pieza se empleará como base una pletina de 150x20 mecanizada por medio de una fresadora. Además unirán por medio de soldadura tres pletinas de 60x5 para hacer la parte de anclaje al eje vertical. Además se considerarán un 10% mas las longitudes para contrarrestar las pérdidas de material provocadas por los cortes y sobrantes.

Por ello costo del material empleado viene dado por:

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
9.01	Perfil laminado 150x20 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,2	66,36	13,27
9.02	Perfil laminado 15x3 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,15	7,73	1,16
Total material				14,43

2.9.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir la pletina de 150x20 en piezas de 180 mm de longitud. Además, se cortarán las pletinas de 60x5 para darle las formas que aparecen en los planos.

Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 25 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$Corte = 25 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 18,68 \text{ €}$$

2.9.2 Fresado.

A la pletina de 150x20 se le realizará un vaciado para que tenga la forma requerida, dejando los ejes de los engranajes intermedios. Además, realizará los redondeos que tiene la pieza en su exterior. Esto se realizará por medio de una fresadora, la cual necesitará 50 minutos para completar la operación.

$$Fresado = 50 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(19,78 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 45 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 53,98 \text{ €}$$

2.9.3 Taladrado.

Se deben realizar dos perforaciones roscadas con M4. Además, se deberá realizar cuatro perforación de 5,5 mm de diámetro para sujetar el motor eléctrico paso a paso. También se ejecutarán cuatro perforaciones de 4,5 mm de diámetro para anclar el la pieza al eje vertical. Por último, se realizará una perforación de 12 mm para que pase el eje horizontal y otra de 9,5 para el eje del motor eléctrico. El tiempo empleando para realizar todas las operaciones de taladrado será de 40 minutos, ya que las roscas deben realizarse lentamente y hay muchos cambios de herramienta de corte.

Con todo esto, el costo de estos mecanizados será:

$$Taladrado = 35 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 24,20 \text{ €}$$

2.9.4 Soldadura.

Para unir todas las piezas que componen la pieza global se deberán realizar 6 soldaduras. El tiempo de preparación y ejecución de las mismas se estima en 20 minutos, por lo que el coste de realizar este trabajo será:

$$Soldadura = 20 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(20,07 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 55 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 20,02 \text{ €}$$

2.9.5 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de la tapa interna de los engranajes del eje horizontal es:

Concepto.	Importe [€]
Material	14,43
Corte	18,68
Fresado	53,98
Taladrado	24,2
Soldadura	20,02
Total Tapa Engranajes Interna	131,31

2.10 Rectificado engranaje SSY-120A.

El rectificado de este engranaje consta en un corte en ángulo como aparece en el plano, dejándolo con 24 dientes. Además se le realizará un rectificado con la fresadora para obtener la parte redondeada del otro extremo.

2.10.1 Corte.

Como se menciona anteriormente se deben realizar dos cortes sobre el engranaje, lo cual se necesitarán 8 minutos para ejecutar correctamente.

$$Corte = 8 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 5,98 \text{ €}$$

2.10.2 Fresado.

Para ejecutar el fresado que se debe realizar a esta pieza, se emplean 5 minutos, por lo cual su coste es de:

$$Fresado = 5 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(19,78 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 45 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 5,40 \text{ €}$$

2.10.3 Coste total rectificado.

Con lo que el costo total del engranaje rectificado es de:

Concepto.	Importe [€]
Engranaje SSY-120A	43,65
Corte	5,98
Fresado	5,40
Total Engranaje SSY-120A Rectificado	55,03

2.11 Disco fricción interno.

Para la fabricación de esta pieza se empleará como base una pletina de 150x15 mecanizada por medio de un torno. Como la pieza tiene unas dimensiones de 40mm de diámetro, se cortarán piezas de la pletina de 50x50, con ello, por cada trozo de 50 mm que se corte, se obtendrán tres piezas, por lo que el costo del material será:

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
11.01	Perfil laminado 150x15 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,05/3	50,50	0,84
Total material				0,84

2.11.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir la pletina de aluminio en cuadrados de 50x50, tal como se especifica anteriormente.

Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 5 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$Corte = 5 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 3,74 \text{ €}$$

2.11.2 Torneado.

El siguiente paso es pasar la pieza por el torno, para conseguir la forma circular que presenta.

Para realizar dicho rectificado se debe emplear 25 minutos. Con ello se obtiene un coste de:

$$\text{Torneado} = 25 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(18,13 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 40 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 20,22 \text{ €}$$

2.11.3 Taladrado.

Por último se realizarán dos perforaciones roscada en tamaño M4. El tiempo empleando para realizar dichas operaciones será de 10 minutos, ya que las roscas deben realizarse lentamente.

Con todo esto, el costo de estos mecanizados será:

$$\text{Taladrado} = 10 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 6,91 \text{ €}$$

2.11.4 Coste total fabricación.

Con lo que el costo total de fabricación del disco de fricción interno, incluyendo e material es de:

Concepto.	Importe [€]
Material	0,84
Corte	3,74
Torneado	20,22
Taladrado	6,91
Total Disco Fricción Interno	31,71

2.12 Disco fricción externo.

Del mismo modo que el otro disco de fricción, se empleará como base una pletina de 150x15. Como su forma no es simétrica con respecto a un eje, no se puede emplea un torno, por lo que se usará una fresa. Además, como la pieza tiene unas dimensiones de 40mm de diámetro, se cortarán piezas de la pletina de 50x50, con ello, por cada trozo de 50 mm que se corte, se obtendrán tres piezas, por lo que el costo del material será:

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
12.01	Perfil laminado 150x15 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,05/3	50,50	0,84
			Total material	0,84

2.12.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir la pletina de aluminio en cuadrados de 50x50, tal como se especifica anteriormente.

Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 5 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$\text{Corte} = 5 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 3,74 \text{ €}$$

2.12.2 Fresado.

El siguiente paso es pasar la pieza por la fresadora, para conseguir la forma circular y las ranuras que evitan el giro.

Para realizar dicho rectificado se debe emplear 30 minutos. Con ello se obtiene un coste de:

$$\text{Fresado} = 30 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(19,78 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 45 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 32,39 \text{ €}$$

2.12.3 Taladrado.

Por último se realizará una perforación de 10 mm de diámetro para alojar el resorte. La profundidad será de 8mm, por lo que se emplearán 3 minutos. Con ello, el costo de realizar esta operación es de:

$$\text{Taladrado} = 3 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 2,07 \text{ €}$$

2.12.4 Coste total fabricación.

Con lo que el costo total de fabricación del disco de fricción externo, incluyendo e material es de:

Concepto.	Importe [€]
Material	0,84
Corte	3,74
Torneado	32,29
Taladrado	2,07
Total Disco Fricción Interno	38,94

2.13 Tapa engranajes externa.

Para la fabricación de esta pieza se empleará una chapa de 3000x1250x2 cortada. Como las piezas que se cortarán son de 180x90, se estima que de la pieza se aprovecharan 200 unidades. Además se empleará un perfil laminado circular hueco de diámetro 80mm y un cuadrado macizo de 40x40.

Se considerarán un 10% mas las longitudes para contrarrestar las pérdidas de material provocadas por los cortes y sobrantes. Por ello costo del material empleado viene dado por:

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
13.01	Chapa laminada 3000x1250x2 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	1/200	145,13	0,73
13.02	Perfil laminado circular de diámetro 80 y espesor 1,8 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,026	12,01	0,31
13.03	Perfil laminado cuadrado macizo 40x40 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,028	31,90	0,89
Total material				1,93

2.13.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir 1 chapa de 3000x1250 en piezas de 180x90. Además, se cortará el perfil circular y el cuadrado macizo.

Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 15 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$Corte = 15 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 11,21 \text{ €}$$

2.13.2 Fresado.

A la chapa se le realizarán unas muescas en el extremo, y se le redondearán los laterales esquinados con una fresadora. Además, se mecanizarán las ranuras donde se sujetará el disco de fricción externo. El tiempo empleado para realizar estas operaciones será de 15 minutos, por lo que supondrá un costo de:

$$Fresado = 15 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(19,78 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 45 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 16,20 \text{ €}$$

2.13.3 Torneado.

El perfil cuadrado macizo se pasara por n torno para darle forma circular, además de realizarle la rosca interna M36-2.0. Con ello se mecanizará la zonda donde roscara la tuerca de apriete del resorte. El tiempo empleado en realizar estas operaciones será de 30 minutos, por lo que supondrá un costo de:

$$Torneado = 30 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(18,13 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 40 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 29,07 \text{ €}$$

2.13.4 Taladrado.

En total se realizarán cinco perforaciones, de las cuales tres serán de 5,5 mm, una de 4,5 y la última de diámetro 9. Como hay que realizar varios cambios de brocas, el tiempo empleado será de 15 minutos, suponiendo un costo de:

$$\text{Taladrado} = 15 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(16,48 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 25 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 10,37 \text{ €}$$

2.13.5 Soldadura.

Para unir todas las piezas que componen la tapa externa se deberán realizar 3 soldaduras perimetrales. El tiempo de preparación y ejecución de las mismas se estima en 20 minutos, por lo que el coste de realizar este trabajo será:

$$\text{Soldadura} = 20 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(20,07 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 55 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 20,02 \text{ €}$$

2.13.6 Coste total fabricación.

El coste total de fabricación de la tapa externa de los engranajes del eje horizontal es:

Concepto.	Importe [€]
Material	1,93
Corte	11,21
Fresado	16,20
Torneado	29,07
Taladrado	10,37
Soldadura	20,02
Total Tapa Engranajes Externa.	88,80

2.14 Tuerca regulación resorte.

Para construir la tuerca se empleará como base una pletina de 100x10. Como la pletina es más ancha que la pieza, por cada corte que se le produzca transversal a 50mm, se sacarán dos tuercas, por lo que el costo del material es:

Referencia.	Concepto.	Longitud [m]	Precio [€/m]	Importe [€]
14.01	Perfil laminado 100x10 de aluminio 6063-T5 anodizado grado 3.	0,05/2	23,25	0,58
Total material				0,58

2.14.1 Corte.

Se realizarán los cortes correspondientes para dividir la pletina de aluminio en cuadrados de 50x50, tal como se especifica anteriormente.

Para realizar todos estos cortes, el tiempo empleado es de 5 minutos, por lo que el coste de realizar estas operaciones será:

$$Corte = 5 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(14,84 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 3,74 \text{ €}$$

2.14.2 Fresado.

El siguiente paso es pasar la pieza por la fresadora, realizar la forma exagonal por donde se apretará la tuerca con una llave estándar de 10mm.

Para realizar dicho rectificado se debe emplear 8 minutos. Con ello se obtiene un coste de:

$$Fresado = 8 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(19,78 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 45 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 8,64 \text{ €}$$

2.14.3 Torneado.

Por último se realizará la rosca M36-2.0 del exterior, y se realizará el agujero de diámetro 10mm y profundidad 3mm dónde se insertará el resorte de compresión. Para realizar esto, se empleará un total de 25 minutos, por lo que supondrá un coste de:

$$\text{Taladrado} = 25 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \left(18,13 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 40 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right) = 24,22 \text{ €}$$

2.14.4 Coste total fabricación.

Con lo que el costo total de fabricación del disco de fricción externo, incluyendo e material es de:

Concepto.	Importe [€]
Material	0,58
Corte	3,74
Fresado	8,64
Torneado	24,22
Total Disco Fricción Interno	37,18

3 Presupuesto total.

3.1 Piezas Fabricadas.

Referencia.	Concepto.	Unidades.	Precio unidad [€]	Importe [€]
1.1	Estructura. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.01.	1	93,60	93,60
1.2	Soporte farola. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.05.	2	17,51	35,02
1.3	Eje Vertical. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.09.	1	93,20	93,20
1.4	Eje horizontal. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.12.	1	9,70	9,70
1.5	Soporte placa. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.13.	1	82,35	82,35
1.6	Placa soporte eje. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.18.	2	5,96	11,92
1.7	Tapa engranajes interna. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.20.02.	1	131,31	131,31
1.8	Disco de fricción interno. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.20.10.	1	31,71	31,71
1.9	Disco de fricción externo. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.20.10.	1	38,94	38,94
1.10	Tapa engranajes externa. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.20.13	1	88,80	88,80
1.11	Tuerca regulación resorte. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.20.15.	1	37,18	37,18
1.12	Sujeción engranaje y eje vertical. Realizado en aluminio 6063-T5. Plano 1.22.	1	42,08	42,08
			Total	695,81

3.2 Engranajes.

Referencia.	Concepto.	Unidades.	Precio unidad [€]	Importe [€]
2.1	Engranaje dientes rectos SSAY-100 de módulo 1 y 100 dientes. Marca KHK. Rectificado.	1	31,60	31,60
2.2	Engranaje dientes rectos SSY-120A de módulo 1 y 120 dientes. Marca KHK. Rectificado.	1	55,03	55,03
2.3	Engranaje dientes rectos SSY-50A de módulo 1 y 50 dientes. Marca KHK.	1	15,90	15,90
2.4	Engranaje dientes rectos SSY-40A de módulo 1 y 40 dientes. Marca KHK.	1	10,95	10,95
2.5	Engranaje dientes rectos SSY-20 de módulo 1 y 20 dientes. Marca KHK.	2	6,83	13,66
			Total	127,14

3.3 Rodamientos.

Referencia.	Concepto.	Unidades.	Precio unidad [€]	Importe [€]
3.1	Rodamiento de contacto angular NSK. Diámetro interno 40mm, diámetro externo 62mm y ancho 12mm.	2	37,83	75,66
			Total	75,66

3.4 Tornillería.

Referencia.	Concepto.	Unidades.	Precio unidad [€]	Importe [€]
4.1	Varilla roscada M6 de 1000mm de longitud. Acero inoxidable A2-70. DIN 975.	2	3,98	7,96
4.2	Tornillo cabeza alomada hexágono interior M5x20. Acero inoxidable A2-70. ISO 7380.	6	0,22	1,32
4.3	Tuerca hexagonal con refuerzo M6. Acero inoxidable A2-70. ISO 4161.	20	0,12	2,40
4.4	Arandela plana diámetro 6mm. Acero inoxidable A2-70. ISO 7094	2	0,07	0,14
4.5	Arandela plana diámetro 6mm. Acero inoxidable A2-70. ISO 7089	8	0,05	0,40
4.6	Tornillo cabeza cilíndrica hexagono interior M6x60. Acero inoxidable A2-70. ISO 4762.	4	0,63	2,52
4.7	Tuerca hexagonal rebajada M4. Acero inoxidable A2-70. ISO4035	8	0,12	0,96
4.8	Arandela plana diámetro 4mm. Acero inoxidable A2-70. ISO 7089.	16	0,05	0,80
4.9	Tornillo cabeza alomada hexágono interior M4x12. Acero inoxidable A2-70. ISO 7380.	8	0,22	1,76
4.10	Tuerca hexagonal M5. Acero inoxidable A2-70. ISO 7720.	9	0,01	0,11
4.11	Arandela plana diámetro 4mm. Acero inoxidable A2-70. ISO 7093.	1	0,05	0,05
4.12	Arandela plana diámetro 5mm. Acero inoxidable A2-70. ISO 7089.	18	0,05	0,90
4.13	Varilla roscada ranurada M4x12. Acero calidad 4.6. ISO 7434	6	0,21	1,26
4.14	Tornillohexagonal M5x35. Acero inoxidable A2-70. ISO 4014.	2	0,27	0,54
4.15	Tornillohexagonal M5x25. Acero inoxidable A2-70. ISO 4014.	1	0,41	0,41
			Total	21,53

3.5 Componentes eléctricos.

Referencia.	Concepto.	Unidades.	Precio unidad [€]	Importe [€]
5.1	Módulo fotovoltaico Sunmodule SW50 poly RMA. SolarWorld.	1	89,50	89,50
5.2	Motor eléctrico paso a paso RS. 440-464.	2	81,27	162,54
5.3	Controlador motor eléctrico paso a paso. RS 240-7920.	2	61,59	123,18
5.4	Arduino Uno REV3.	1	25,64	25,64
5.5	Cable para instalaciones fotovoltaicas TecSun PV AS de sección 4mm ² para conexionado del módulo fotovoltaico. PV1-F [AS].	10	0,95	9,50
5.6	Bobina de cable Harmoflex H05VV5-F 3 Core 1,5mm. Código RS 797-0984. 50m por bobina.	1	74,78	74,78
			Total	485,14

3.6 Cajas de protección.

Referencia.	Concepto.	Unidades.	Precio unidad [€]	Importe [€]
6.1	Carcasa para montaje en panel 96x109,5x96. Numero referencia fabricante 1796001.MT1. IP65.	2	16,63	33,26
6.2	Caja protección IP66 182x180x63. PA, PS reforzado con fibra de vidrio. Fabricante Gunther Spelsberg, RS.	1	23,18	23,18
			Total	56,44

3.7 Resorte.

Referencia.	Concepto.	Unidades.	Precio unidad [€]	Importe [€]
7.1	Resorte carga ligera ISO 10243. Fabricante Totalmatrix, número catálogo V10-025.	1	2,54	2,54
			Total	2,54

3.8 Montaje.

Referencia.	Concepto.	Unidades [h].	Precio unidad [€]	Importe [€]
8.1	Montaje sistema de seguimiento solar completo	3	30,00	90,00
			Total	90,00

3.9 Resumen por bloques.

Referencia.	Concepto.	Importe [€]
1	PIEZAS MECANIZADAS	695,81
2	ENGRANAJES	127,14
3	RODAMIENTOS	75,66
4	TORNILLERÍA	21,53
5	COMPONENTES ELÉCTRICOS	485,14
6	CAJAS DE PROTECCIÓN	56,44
7	RESORTE	2,54
8	MONTAJE	90,00

3.10 Presupuesto final.

Precio Ejecución Material	1554,26 €
Gastos Generales 13%	202,05 €
Beneficio Industrial 8%	124,34 €
Total	1880,65 €
IGIC 7%	131,65 €

TOTAL PRESUPUESTO	2012,30 €
-------------------	-----------

El presupuesto del proyecto “Sistema mecánico de seguimiento solar sobre dos ejes para módulos fotovoltaicos” asciende hasta la cantidad de *dos mil doce con treinta euros*.