



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR PARA PANELES FOTOVOLTAICOS

León, julio de 2015

Autor: Borja Martínez Abella

Tutor: Miguel de Simón Martín

El presente proyecto ha sido realizado por D. Borja Martínez Abella, alumno de la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de la Universidad de León para la obtención del título de Grado en Ingeniería de la Energía.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por D. Miguel de Simón Martín, profesor del Grado en Ingeniería de la Energía.

Visto Bueno

Fdo.: D. Borja Martínez Abella
El autor del Trabajo Fin de Grado

Fdo.: D. Miguel de Simón Martín
El Tutor del Trabajo Fin de Grado

RESUMEN

Este trabajo describe el desarrollo de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar empleando dos ejes motorizados, para su ubicación y uso didáctico en la azotea de la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de León.

El proyecto se estructura en seis capítulos principales. La Memoria del Proyecto describe los componentes y procesos involucrados para alcanzar los objetivos. Después, en los Anexos, se incluyen los cálculos y los documentos técnicos. El tercer capítulo incluye las Condiciones Técnicas donde se describen las especificaciones. A continuación van los Planos con las medidas de las piezas, tolerancias y acabado superficial. Finalmente, la quinta y sexta parte presenta las Mediciones y el Presupuesto, con las unidades de obra y el coste económico de todo el proyecto correspondientemente.

ABSTRACT

This work describes the development of a photovoltaic solar tracking system using two motorized axis, used for teaching and investigation, located at the rooftop of the “Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de León”.

This project is structured in six main chapters. The first one is the Memory of the Project, and it describes the main components and processes involved to achieve the objective. Subsequently, in the Attachments, calculations and technical documents are included. The third chapter encloses the Technical Conditions where specifications are described. This is followed by the Plans that compromise the measurement of the parts, tolerances and the surface ending. Finally the fifth and sixth parts presents the Measurements and Budget with work units and the economic cost of the whole project correspondingly.



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

I. MEMORIA DEL PROYECTO

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	2
1.1	TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	2
1.1.1	<i>Tipos de paneles solares fotovoltaicos</i>	2
1.1.2	<i>Tipos de seguidores solares</i>	4
1.1.3	<i>Comparación de producción entre un sistema fotovoltaico a dos ejes y uno fijo</i>	6
2	FUNDAMENTOS DEL MOVIMIENTO TERRESTRE	10
3	DATOS CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS DE LA CIUDAD DE LEÓN	17
4	ALCANCE DEL PROYECTO	20
5	ANTECEDENTES	21
5.1	CARACTERÍSTICAS DEL SEGUIDOR MS-2E TRACKER 10 ⁺ DE MECASOLAR®	22
6	DISEÑO DEL SEGUIDOR	25
6.1	MARCO DEL PANEL FOTOVOLTAICO	25
6.2	CUERPO PRINCIPAL	29
6.3	BASE DEL SISTEMA	36
7	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	41
8	TRATAMIENTOS APLICABLES FRENTE A LA CORROSIÓN	48
9	PROGRAMACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR	49
9.1	DESCRIPCIÓN BÁSICA DE EQUIPOS	49
9.2	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO ASTRONÓMICO	51
10	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO	61
10.1	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN EL EJE DE SEGUIMIENTO AZIMUTAL	61
10.1.1	<i>Motor</i>	66
10.2	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN EL EJE DE SEGUIMIENTO CENITAL	69
11	PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO	71

11.1	ESTUDIO PREVIO	72
11.1.1	<i>Determinación de N_d y N_c</i>	72
11.1.2	<i>Determinación del nivel de protección</i>	76
12	MONTAJE DEL SEGUIDOR SOLAR	77
	REFERENCIAS	78

ÍNDICE DEL FIGURAS

FIGURA 1.1 – EVOLUCIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (SEGÚN EL NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (EE.UU.)	3
FIGURA 1.2 – SEGUIDOR EN UN EJE POLAR.....	4
FIGURA 1.3 – SEGUIDOR EN UN EJE AZIMUTAL DE MECASOLAR®	5
FIGURA 1.4 – SEGUIDOR SOLAR EN UN EJE HORIZONTAL	5
FIGURA 1.5 – SEGUIDOR SOLAR A DOS EJES DE MECASOLAR®	6
FIGURA 1.6 – ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA MENSUAL	8
FIGURA 1.7 – ESTIMACIÓN DE IRRADIACIÓN MENSUAL RECIBIDA.....	8
FIGURA 2.1 – TRAYECTORIA SOL-TIERRA (LOS NOMBRES DE LOS SOLSTICIOS ESTÁN INDICADOS PARA EL HEMISFERIO NORTE). (PROPIEDAD DE OSCAR PERPIÑÁN LAMIGUEIRO)	11
FIGURA 2.2 – VARIACIÓN DE LA DECLINACIÓN RESPECTO AL DÍA DEL AÑO. (PROPIEDAD DE OSCAR PERPIÑÁN LAMIGUEIRO)	12
FIGURA 2.3 – SISTEMA DE COORDENADAS TERRESTRES O GLOBALES.	13
FIGURA 2.4 – SISTEMA DE COORDENADAS LOCALES	16
FIGURA 3.1 – CLIMOGRAMA DE LA CIUDAD DE LEÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	19
FIGURA 5.1 – SEGUIDOR SOLAR DE MECASOLAR® INSTALADO EN GOLPEJAR DE LA SOBARRIBA (LEÓN)..	22
FIGURA 5.2 – SEGUIDOR SOLAR INSTALADO EN GOLPEJAR DE LA SOBARRIBA, DE LA COMPAÑÍA MECASOLAR®	23
FIGURA 6.1 – MARCO DE FIJACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO	26
FIGURA 6.2 – DETALLE DE LA PLETINA DEL EJE.....	27
FIGURA 6.3 – DETALLE DEL ENGANCHE DEL ACTUADOR LINEAL AL PANEL.....	27
FIGURA 6.4 – VISTA GENERAL DEL CUERPO DEL SEGUIDOR	30
FIGURA 6.5 – DETALLE DEL ENGANCHE DEL ACTUADOR LINEAL	30
FIGURA 6.6 – CARTELAS DE LA ESTRUCTURA	31
FIGURA 6.7 – BASE DEL EJE HORIZONTAL (SEGUIDOR CENITAL).....	32
FIGURA 6.8 – PASADOR “TIPO BETA”	32
FIGURA 6.9 – DETALLE DE LA BASE DEL EJE DE SEGUIMIENTO CENITAL	33
FIGURA 6.10 – ÁNGULO DE CORTE DE LOS PERFILES PRINCIPALES.....	33
FIGURA 6.11 – PARÁMETROS DE UBICACIÓN DE LOS PERFILES EN EL ANILLO METÁLICO	34
FIGURA 6.12 – PARÁMETROS DE UBICACIÓN DE LOS PERFILES EN LA BASE DEL EJE DE SEGUIMIENTO CENITAL.....	35
FIGURA 6.13 – DISTANCIA ENTRE CENTROS DE LAS BASES DEL EJE DE SEGUIMIENTO CENITAL	36
FIGURA 6.14 – BASE DEL SEGUIDOR	37

FIGURA 6.15 – BASE CON SOLUCIÓN PARA PROBLEMA DE CARGA Y FIJACIÓN PARA ARMARIO ELÉCTRICO	38
FIGURA 6.16 – SISTEMA DE FIJACIÓN DEL ARMARIO ELÉCTRICO	39
FIGURA 6.17 – MONTAJE DE LA BASE CON EL CUERPO DE LA ESTRUCTURA	39
FIGURA 6.18 – CONFIGURACIÓN FINAL DEL SEGUIDOR	41
FIGURA 6.19 – VISTA LATERAL DEL CONJUNTO	42
FIGURA 9.1 – CUADRO DE CONTROL DE LOS SEGUIDORES SOLARES INSTALADOS EN GOLPEJAR DE LA SOBARRIBA	51
FIGURA 9.2 – DETERMINACIÓN DEL AJUSTE HORARIO CON LÓGICA DE CONTACTOS EN EL TIA PORTAL DE SIEMENS	53
FIGURA 10.1 – VISTA DEL ANILLO DE CARGA (SIN CORONA DENTADA)	62
FIGURA 10.2 – PLANTA DEL ANILLO DE CARGA (SIN CORONA DENTADA)	62
FIGURA 10.3 – SECCIÓN DEL ANILLO CON LA V EXTERNA	63
FIGURA 10.4 – ESQUEMA DE LOS RODAMIENTOS	63
FIGURA 10.5 – DETALLE DEL RODAMIENTO CONCÉNTRICO	64
FIGURA 10.6 – PLANTA DEL RODAMIENTO CONCÉNTRICO	64
FIGURA 10.7 – PLANTA DEL RODAMIENTO EXCÉNTRICO	65
FIGURA 10.8 – PIÑÓN HPX24	65
FIGURA 10.9 – DETALLE DEL PIÑÓN HPX24	66
FIGURA 10.10 – DETALLE DEL PIÑÓN HPX24 DE LA ZONA DE FIJACIÓN	66
FIGURA 10.11 – DIMENSIONES DEL ACTUADOR LINEAL	70
FIGURA 11.1 – CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE CAPTURA EQUIVALENTE	73

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 – PRODUCCIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO FIJO EN EL CAMPUS DE VEGAZANA.....	7
TABLA 1.2 – PRODUCCIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CON SEGUIMIENTO A DOS EJES EN EL CAMPUS DE VEGAZANA	7
TABLA 3.1 – DATOS METEOROLÓGICOS DE LEÓN PARA LA SERIE 1981-2010. (AEMET. <i>GUÍA RESUMIDA DEL CLIMA 1981-2010</i>)	18
TABLA 5.1 – DATOS DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE REFERENCIA	23
TABLA 7.1 – VALOR DEL CARBONO EQUIVALENTE (CEV) PARA LAS COLADAS DE LOS DIFERENTES ACEROS NO ALEADOS LAMINADOS EN CALIENTE.....	43
TABLA 7.2 - % DE FÓSFORO Y AZUFRE EN EL PRODUCTO	43
TABLA 7.3 – LÍMITE ELÁSTICO Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARA LOS DIFERENTES ACEROS NO ALEADOS LAMINADOS EN CALIENTE	44
TABLA 7.4 – GRADO DE LOS ACEROS	44
TABLA 7.5 – DESIGNACIONES DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES Y COMPOSICIÓN EN COLADA	45
TABLA 7.6 – PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS A TEMPERATURA AMBIENTE PARA PRODUCTOS LARGOS Y PRODUCTOS PLANOS (1/2)	46
TABLA 7.7 – PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS A TEMPERATURA AMBIENTE PARA PRODUCTOS LARGOS Y PRODUCTOS PLANOS (2/2)	46
TABLA 11.1 – CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS Y EFECTOS DEL RAYOS SEGÚN ANEXO B, NORMA UNE 21186:2011.....	71
TABLA 11.2 – DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE C_1	74
TABLA 11.3 – COEFICIENTE DE ESTRUCTURA C_2	74
TABLA 11.4 – COEFICIENTE DE CONTENIDO DE LA ESTRUCTURA C_3	75
TABLA 11.5 – COEFICIENTE DE OCUPACIÓN DE LA ESTRUCTURA C_4	75
TABLA 11.6 – COEFICIENTE DE CONSECUENCIAS SOBRE EL ENTORNO C_5	75

1 INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la energía solar ha sido una constante a lo largo de la historia para la humanidad, y en la actualidad su empleo se está potenciando hasta cotas nunca vistas al generar energía eléctrica y calor gracias a esta fuente energética primaria.

La energía solar tiene unas características muy atractivas como un escaso impacto ambiental y un carácter prácticamente inagotable a escala humana que hacen que sea una fuente primaria de energía cuyo uso se debe fomentar en mayor medida.

Dentro de todos sus usos potenciales, una opción de aprovechamiento es el empleo de sistemas solares fotovoltaicos.

Un sistema solar fotovoltaico es un conjunto de dispositivos tanto eléctricos como electrónicos cuya misión es producir energía eléctrica a partir de la radiación solar. Dentro de ese sistema, el elemento fundamental es el panel o módulo fotovoltaico, formado por fotocélulas, que son capaces de transformar la energía lumínica en energía eléctrica de corriente continua gracias al efecto fotoeléctrico.

1.1 TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

1.1.1 Tipos de paneles solares fotovoltaicos

Dentro del extenso mercado de la energía solar fotovoltaica nos encontramos con diversos tipos de paneles cuyo rendimiento es variable debido al material semiconductor que forman las células del panel, destacando de dicho mercado las siguientes:

- ***Células solares monocristalinas***

Tienen un rendimiento del 18 al 21% aunque se ha llegado a obtener un 24% en laboratorio.

- ***Células solares policristalinas***

Presentan un rendimiento de entre el 14 y el 17%.

- ***Células de silicio amorfo***

Tienen un rendimiento de entre un 10 y un 13%.

- ***Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre***

Rendimiento limitado, sobre el 10%.

- ***Células de arseniuro de galio***

Presentan un 27 o 28% de rendimiento.

La gráfica siguiente nos muestra la evolución de los diferentes tipos de células fotovoltaicas tanto comerciales como de laboratorio. Durante los últimos 30 años se han conseguido avances realmente buenos en cuanto al rendimiento de las células fotovoltaicas, pero los mejores resultados hasta la fecha se han logrado en laboratorios con condiciones muy controladas y que luego en la práctica son muy complicadas de obtener.

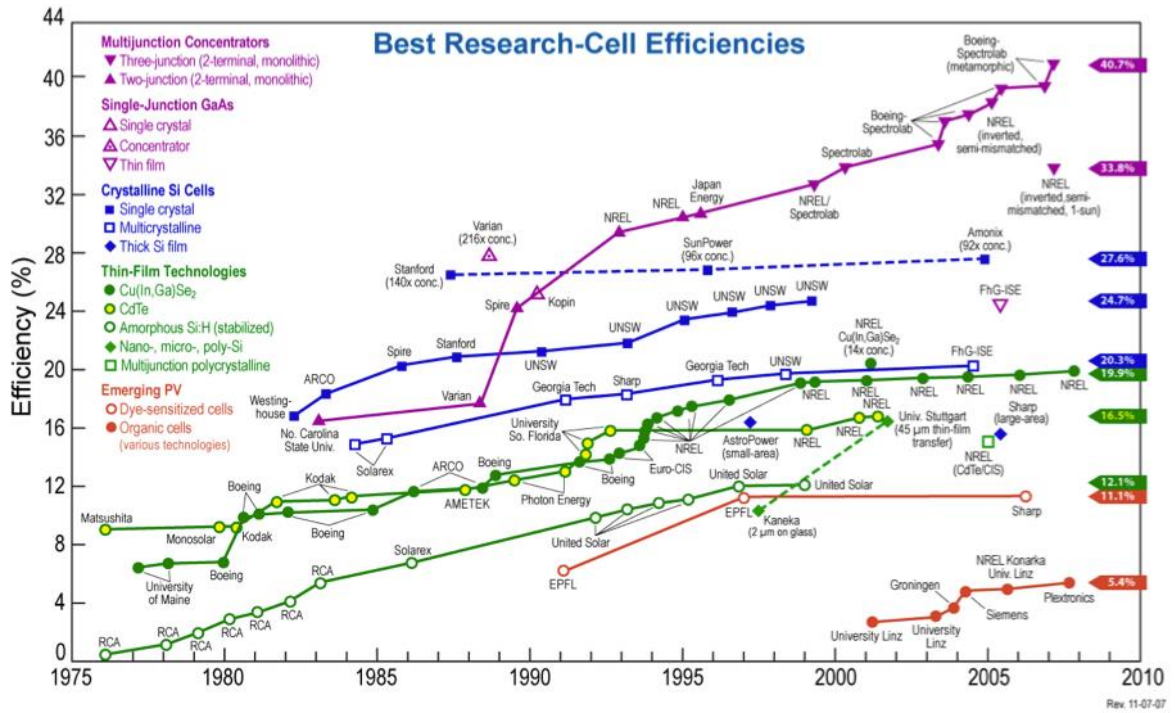


Figura 1.1 – Evolución de la eficiencia de las células fotovoltaicas (según el National Renewable Energy Laboratory (EE.UU.))

La tecnología fotovoltaica se encuentra en la actualidad en pleno desarrollo, por ello los rendimientos en placa son todavía bajos en general. Una de las formas de mejorar la producción de una instalación fotovoltaica es conseguir un mejor ángulo de incidencia de la radiación solar mediante seguidores que desplacen al módulo en función del movimiento del Sol.

Por esto, el empleo de seguidores solares está implantándose cada vez en mayor medida frente a los sistemas estáticos que si bien son menos costosos también presentan menor rendimiento y por tanto producción anual.

1.1.2 Tipos de seguidores solares

Un seguidor solar es un dispositivo capaz de orientar los módulos fotovoltaicos de manera que éstos permanezcan lo más perpendiculares posibles a los rayos del Sol desde el alba hasta el ocaso. Existen diversos tipos en función del número de ejes y del tipo de seguimiento que realicen:

1- *Seguidor solar en un eje polar*

Este tipo de seguidor mueve la superficie de paneles sobre un eje orientado al sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta de manera que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contenga al Sol. Presenta una velocidad de giro de 15° por hora como si de un reloj se tratara.



Figura 1.2 – Seguidor en un eje polar

2- *Seguidor solar en un eje azimutal*

La superficie de paneles gira sobre un eje vertical y el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud. El giro se programa para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al Sol, la velocidad de giro en este caso es variable a lo largo del día.



Figura 1.3 – Seguidor en un eje azimutal de MECASOLAR®

3- Seguidor solar en un eje horizontal

La superficie en este tipo de seguidores gira respecto a un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se programa para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol.

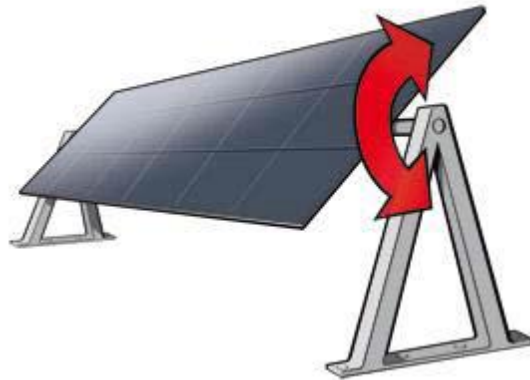


Figura 1.4 – Seguidor solar en un eje horizontal

4- Seguidor solar a dos ejes

Los seguidores solares a dos ejes se mueven en un eje vertical y otro horizontal de manera que buscan mantener la superficie de paneles lo más perpendicular posible al Sol.

Son los paneles que mejor seguimiento solar realizan puesto que mantienen en todo momento una inclinación igual al ángulo cenital del Sol y una orientación igual al ángulo azimutal del astro.



Figura 1.5 – Seguidor solar a dos ejes de MECASOLAR®

1.1.3 Comparación de producción entre un sistema fotovoltaico a dos ejes y uno fijo

El siguiente proyecto tiene por objetivo diseñar un sistema de seguimiento en dos ejes siguiendo como modelo el seguidor de la compañía Mecasolar® de la figura 1.5, cuya vida útil se desarrollará en la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de León, cuya sede se encuentra en el Campus Universitario de Vegazana.

Empleando como herramienta informática el PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) de la Comisión Europea, vamos a realizar una estimación de producción de nuestro sistema fotovoltaico y compararlo con uno fijo para la zona del Campus de Vegazana.

Esto nos ayudará a comprender en qué medida la libertad de orientación en un sistema solar fotovoltaico mejora la producción y por tanto el rendimiento global de una instalación generadora.

DATOS DE PARTIDA DE LA SIMULACIÓN

Localización. 42°35'55" Norte, 5°34'1" Oeste

Elevación. 845 m.s.n.m.

Base de datos solar. PVGIS-CMSAF

Potencia nominal del sistema. 0,2 kW (Silicio cristalino)

Pérdidas combinadas del sistema. 15,4%

Inclinación (optimizada). 36°

Azimut (optimizado). -2°

Tabla 1.1 – Producción de sistema fotovoltaico fijo en el Campus de Vegazana

Fixed system: inclination=36 deg., orientation=-2 deg. (optimum)				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.68	20.9	2.99	92.8
Feb	1.01	28.2	4.52	127
Mar	1.23	38.2	5.74	178
Apr	1.26	37.9	5.95	179
May	1.35	41.9	6.48	201
Jun	1.41	42.4	6.92	208
Jul	1.49	46.1	7.37	228
Aug	1.44	44.7	7.13	221
Sep	1.33	39.8	6.41	192
Oct	1.03	32.0	4.82	149
Nov	0.80	24.0	3.58	108
Dec	0.66	20.6	2.93	90.9
Year	1.14	34.7	5.41	164
Total for year		417		1970

Tabla 1.2 – Producción de sistema fotovoltaico con seguimiento a dos ejes en el Campus de Vegazana

2-axis tracking system				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.84	26.1	3.77	117
Feb	1.27	35.5	5.73	160
Mar	1.60	49.5	7.42	230
Apr	1.71	51.2	7.99	240
May	1.93	59.7	9.15	284
Jun	2.12	63.6	10.30	309
Jul	2.26	70.0	11.10	343
Aug	2.04	63.2	9.98	309
Sep	1.75	52.6	8.43	253
Oct	1.30	40.4	6.08	189
Nov	1.01	30.2	4.53	136
Dec	0.84	26.2	3.77	117
Year	1.56	47.3	7.36	224
Total for year		568		2690

Siendo:

- E_d – producción media diaria del sistema en kWh.
- E_m – producción media mensual del sistema en kWh.
- H_d – radiación media diaria recibida por el módulo fotovoltaico en kWh/m².
- H_m – radiación media mensual recibida por el módulo fotovoltaico en kWh/m².

Los resultados se pueden ver también gráficamente:

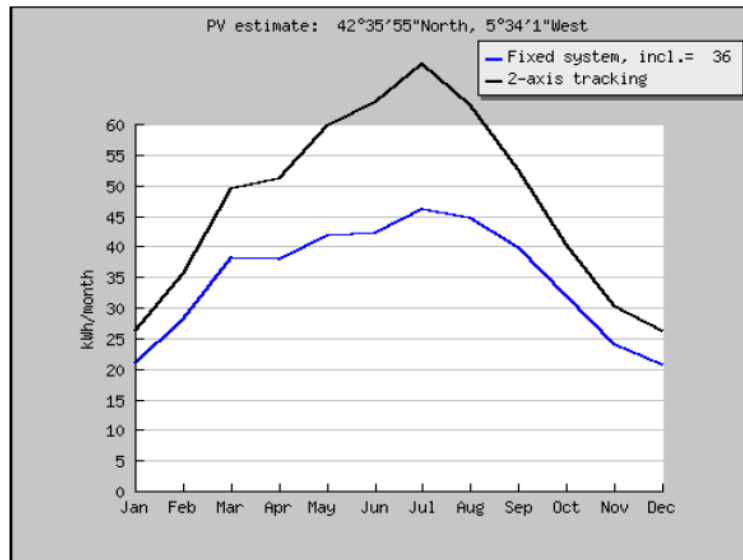


Figura 1.6 – Estimación de producción de energía mensual

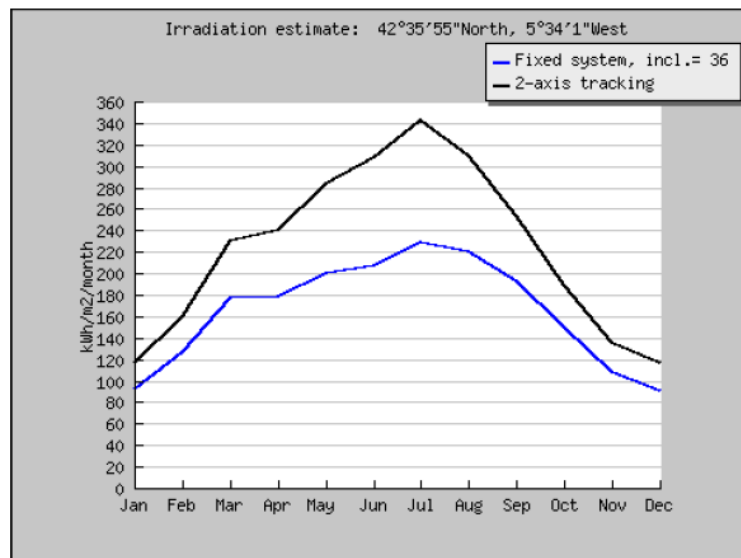


Figura 1.7 – Estimación de irradiación mensual recibida

Como se puede observar tanto la producción energética como la radiación captada por el panel son mayores al tener un sistema de seguimiento incorporado frente a uno fijo.

Esto se debe a que la producción energética es directamente proporcional al seno del ángulo de incidencia de la radiación solar y al tenerlo orientado lo más perpendicularmente posible a la radiación (90° respecto al panel) ese seno tomará un valor máximo y la producción será por tanto mayor.

2 FUNDAMENTOS DEL MOVIMIENTO TERRESTRE

El seguidor solar se deberá mover durante las horas de luz del día siguiendo la trayectoria del Sol y manteniéndose lo más perpendicularmente posible al astro. Para comprender en profundidad este hecho es necesario introducir la dinámica terrestre.

El movimiento terrestre alrededor del Sol se compone de un movimiento de traslación alrededor del astro y uno de rotación sobre su propio eje.

El movimiento de traslación que describe la Tierra en torno al Sol se realiza siguiendo una elipse cuya excentricidad es pequeña, es decir, cuya forma se desvía ligeramente con respecto a una circunferencia y en la cual el Sol ocupa uno de sus focos. La duración de un giro completo a esta elipse compone un año. El plano en el que se desarrolla este movimiento se denomina plano de la eclíptica.

A causa de esta baja excentricidad la distancia entre el Sol y la Tierra no es constante a lo largo del año (durante la duración de este movimiento) y podemos expresarlo mediante una ecuación:

(Ecuación 2.1)

$$r = r_0 \cdot \left(1 + 0,017 \cdot \text{sen} \left[\frac{2 \cdot \pi \cdot (d_n - 93)}{365} \right] \right)$$

Siendo d_n el día del año (considerando día 1 al 1 de enero) y r_0 la distancia promedio en este trayecto, denominada unidad astronómica, $r_0 = 1,496 \times 10^8 = 1 \text{ UA}$.

Debido a la excentricidad de la elipse en la que orbita la Tierra es necesario imponer una corrección que se introduce con la siguiente ecuación:

(Ecuación 2.2)

$$\epsilon_0 = \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \text{cos} \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d_n}{365} \right)$$

Siendo r el valor de la distancia entre el Sol y la Tierra en un día determinado.

A la vez que la Tierra se desplaza alrededor del Sol, también lo hace sobre sí misma describiendo un movimiento de rotación alrededor de su eje polar que es perpendicular al

plano terrestre. Entre este eje polar y el plano de la eclíptica antes mencionado existe un ángulo constante de $23,45^\circ$. Por el contrario, el ángulo que forma el plano ecuatorial y la línea imaginaria que une Tierra y Sol es variable a lo largo del año y esta variabilidad es la que causa las estaciones y que el Sol aparezca más alto en los mediodías del Solsticio de Verano, y además que los días del Solsticio de Invierno sean sensiblemente más cortos.

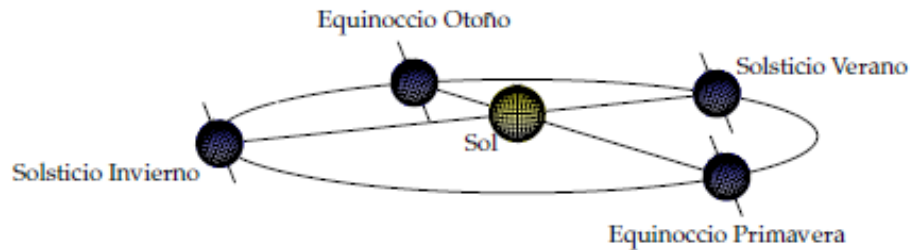


Figura 2.1 – Trayectoria Sol-Tierra (los nombres de los solsticios están indicados para el hemisferio Norte). (Propiedad de Oscar Perpiñán Lamigueiro)

Si empleamos la ecuación 2.1 podemos ver sin embargo que la distancia Sol-Tierra es mayor en verano que en invierno en el hemisferio Norte. De esto se deduce que en la meteorología es mucho más apreciable la inclinación de los rayos solares que la propia distancia entre el planeta y el astro.

El ángulo que forman el Sol y el plano ecuatorial se denomina declinación y se calcula (en grados) mediante la siguiente expresión:

(Ecuación 2.3)

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left(360 \cdot \frac{284 + d_n}{365} \right)$$

El valor de la declinación toma ciertos valores característicos que definen las estaciones y sus fechas de transición. En los equinoccios (primavera 21-22 de marzo y otoño 22-23 de septiembre) la declinación es nula de manera que el Sol amanece y anochece exactamente por el Este y Oeste respectivamente, siendo por tanto la duración del día y la noche la misma. En el caso de los solsticios no ocurre lo mismo, y la declinación en el de verano (21-22 de junio) toma un valor de $23,45^\circ$ y en el de invierno (21-22 de diciembre) toma un valor de $-23,45^\circ$, correspondiéndose con los días más largos y más cortos del año respectivamente.

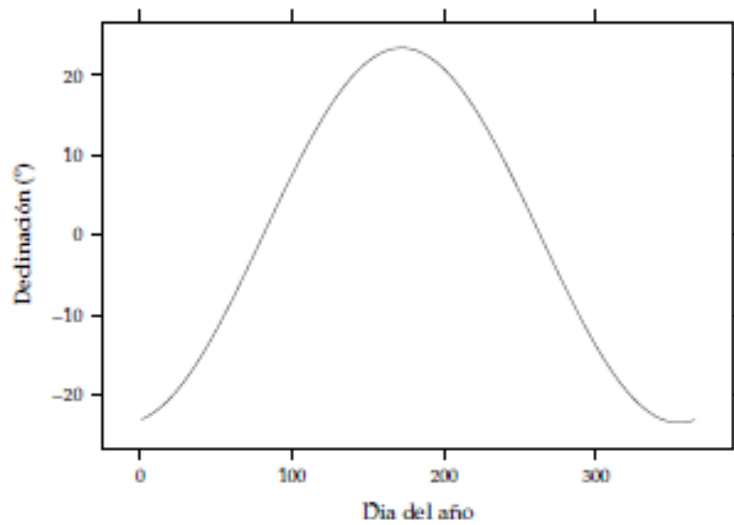


Figura 2.2 – Variación de la declinación respecto al día del año. (Propiedad de Oscar Perpiñán Lamigueiro)

Desde la superficie terrestre el movimiento combinado que realiza la Tierra es percibido como un movimiento aparente del Sol a través de la esfera celeste. Este movimiento puede ser descrito mediante ecuaciones ligadas a dos sistemas de referencia, uno relativo a los ejes terrestres y otro a los ejes locales. Para poder trabajar respecto a estas coordenadas locales y terrestres debemos ubicar el punto de observación en la superficie terrestre mediante la asignación de un meridiano y su distancia angular al plano del ecuador.

Un meridiano es un arco imaginario que recorre la Tierra de Norte a Sur reuniendo a los puntos con la misma longitud, el mediodía solar es el momento en el que todos los puntos pertenecientes a un mismo meridiano observan al Sol en un lugar intermedio entre el ocaso y el amanecer en el que además el Sol se encuentra a la máxima altura en el cielo.

Por otro lado un paralelo es la intersección de un plano paralelo al plano ecuatorial con la superficie terrestre y acoge a los puntos con la misma distancia angular respecto al Ecuador que estén a la misma latitud. Por convenio se ha adoptado que las latitudes por debajo del Ecuador sean negativas y las que se encuentren por encima tengan signo positivo.

Las coordenadas globales o terrestres se componen de un ángulo horario y de la declinación solar. El ángulo horario (ω_s) es el ángulo formado por la dirección del mediodía solar y la proyección de la posición del astro en el plano ecuatorial. Se corresponde directamente con la hora solar (H_s).

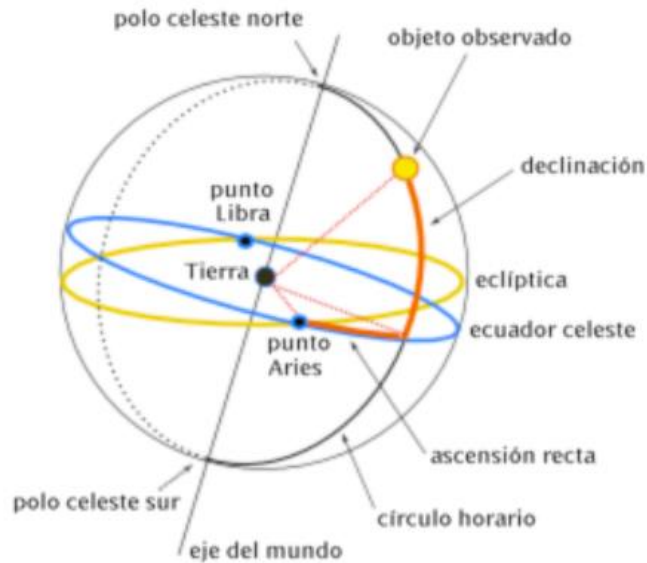


Figura 2.3 – Sistema de coordenadas terrestres o globales.

La ecuación con la que se obtiene el ángulo horario es la siguiente:

(Ecuación 2.4)

$$\omega = 15 \cdot (H_s - 12)$$

El ángulo horario es negativo antes del mediodía solar y positivo tras este.

La hora solar que necesitamos para calcular el ángulo horario se obtiene mediante la aplicación de unos factores de corrección a la hora civil del punto considerado. Ya que la hora solar es la escala de tiempos cuyo mediodía solar viene dado por el paso del Sol por el Sur del lugar de observación o máxima altura diaria sobre el horizonte y la hora civil no se corresponde con ese paso. La ecuación de cálculo de la hora solar es:

(Ecuación 2.5)

$$H_{solar} = H_{civil} + \Delta H_{ah} + \Delta H_{long} + \Delta H_{et}$$

ΔH_{ah} se corresponde con la corrección por adelanto horario que se aplica por motivos económicos y políticos y que en España vale -60 minutos en horario de verano y 0 minutos en horario de invierno.

ΔH_{long} es la corrección por longitud y se aplica porque el Sol se pone antes cuanto más al Este nos encontremos (se calcula en minutos).

(Ecuación 2.6)

$$\Delta H_{long} = 4(\lambda_0 - \lambda)$$

Siendo λ la longitud del lugar y λ_0 la longitud de referencia horaria.

ΔH_{et} es la corrección por ecuación de tiempo y es debida al carácter elíptico de la órbita terrestre (se calcula en minutos)

(Ecuación 2.7)

$$\Delta H_{et} = 9,87 \cdot \text{sen}(2 \cdot B) - 7,53 \cdot \text{cos}(B) - 1,50 \cdot \text{sen}(B)$$

Siendo B un ángulo auxiliar (en grados):

(Ecuación 2.8)

$$B = 360 \cdot \frac{N - 81}{364}$$

La declinación que también forma parte de este sistema como hemos mencionado, se corresponde con la ecuación 2.3.

El sistema de coordenadas locales se define por el azimut (γ_s) y el zenit (θ_{zs}).

El azimut es el ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forma el punto cardinal Sur y la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador. Se mide en grados desde el punto cardinal Sur en sentido horario.

El azimut se define por:

(Ecuación 2.9)

$$\tan(\gamma) = \frac{\cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega)}{\cos(\delta) \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \cos(\omega) - \text{sen}(\delta) \cdot \cos(\phi)}$$

En el que ϕ es la latitud geográfica.

El zenit se define como el ángulo o longitud de arco formado por la posición del astro y la vertical al lugar de observación. Su ecuación es:

(Ecuación 2.10)

$$\cos(\sigma) = \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)$$

Gráficamente el zenit y el azimut se representan de la siguiente manera:

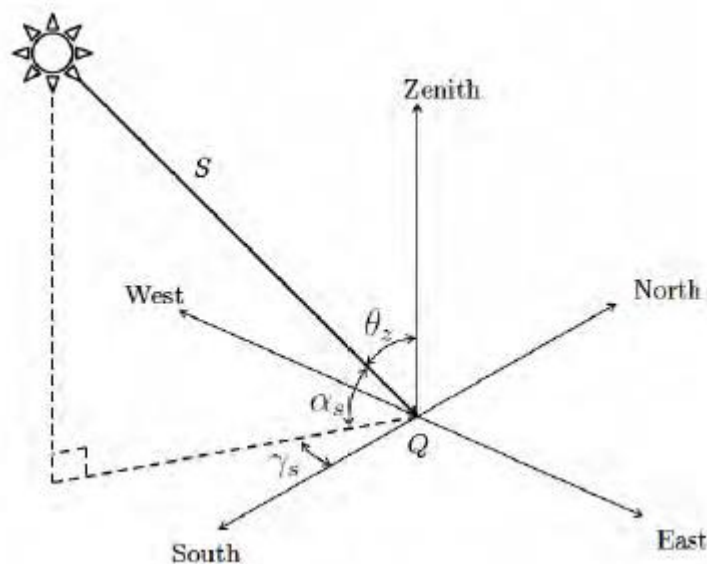


Figura 2.4 – Sistema de coordenadas locales

Estas ecuaciones son la base del sistema de seguimiento solar. El objetivo es conseguir la máxima perpendicularidad posible de la superficie de captación respecto a la radiación solar para maximizar el rendimiento.

Un seguidor a dos ejes como el que estamos diseñando debe mantener su orientación lo más similar posible al azimut solar y una inclinación lo más próxima posible al ángulo cenital.

3 DATOS CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS DE LA CIUDAD DE LEÓN

El seguidor solar se instalará en una terraza a la intemperie, por ello es necesario conocer los datos climatológicos de la ciudad de León de manera que podamos prever los fenómenos a los que estará sometido nuestro seguidor.

El clima en la ciudad de León se considera *Csb* en la clasificación de Köppen-Geiger lo que implica que en la ciudad se dan conjuntamente un clima mediterráneo típico y ciertas características de un clima continental. Se define principalmente por ser templado y por tener temperaturas extremas en ciertas épocas del año debido a la lejanía del mar, con oscilaciones que van desde los 30 e incluso 35°C en la época estival a amplios descensos por debajo de los 0°C en la época invernal, con lo que se dan nevadas esporádicas y numerosos días de heladas que pueden superar los 60 días al año.

Las precipitaciones son similares a las del clima mediterráneo con máximas en otoño y primavera de 400-600 mm pero siendo un clima mucho más seco debido a la lejanía del mar.

En el caso de León, al igual que se da en la ciudad de Burgos, existe una anomalía térmica que hace que las temperaturas sean varios grados inferiores a otras ciudades con este clima, esto se debe principalmente a la altitud de estos núcleos que ronda los 900-1000 m.s.n.m.

Los datos climatológicos más importantes para la ciudad de León para la serie histórica que transcurre entre el 1981 y el 2010 son:

Tabla 3.1 – Datos meteorológicos de León para la serie 1981-2010. (AEMET. Guía Resumida del Clima 1981-2010)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	AÑO
TEMPERATURA MÁXIMA ABSOLUTA	19	18,8	25,2	29,2	31,8	36	36,4	38,2	37,4	28	22	19	38,2
TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA	7,1	9,5	13,3	14,8	18,6	24	27,4	26,9	22,9	16,7	11,2	8	16,7
TEMPERATURA MEDIA	3,2	4,7	7,6	9	12,6	17,1	19,8	19,6	16,5	11,7	7	4,2	11,1
TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA	-0,7	0	1,9	3,3	6,6	10,2	12,2	12,3	10,1	6,7	2,8	0,4	5,5
TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA	-12,4	-8,4	-11,2	-5,4	-2,6	0	4,2	4,2	0,4	-3,4	-7,2	-15	-15
PRECIPITACIÓN MÁXIMA (mm)	253,3	129,7	127,5	126,5	144,6	119,8	72,6	84	142,5	150,1	166,4	221,6	733,9
PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)	50	34,4	32	44,8	56,3	30,7	19,4	22,8	38,9	61,1	59,1	65,6	515,2
PRECIPITACIÓN MÍNIMA (mm)	0,5	4,6	0	6,1	8,4	2,6	0	0	1,3	6,7	0	5,2	328
PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA (mm)	36,4	29,5	26,6	35,1	47	31,8	56,5	74,6	98,5	32,2	40,5	40,1	98,5
HUMEDAD RELATIVA (%)	82	74	66	65	62	56	52	54	62	74	80	83	67
NÚMERO MEDIO MENSUAL DE HORAS DE SOL	129,7	160,6	214,5	228,2	259	314,5	358,2	326,8	246,2	177,8	136,9	120,5	2672,9
NÚMERO DE DÍAS DESPEJADOS	5,8	5,8	6,9	4,1	3,6	7,3	12,3	11,8	9	4,9	5,4	6,3	83
NÚMERO DE DÍAS NUBOSOS	15	15,6	17,8	18,1	20,3	19,1	17	17,4	16,8	18,3	15,8	15	206,6
NÚMERO DE DÍAS CUBIERTOS	10,2	6,8	6,3	7,8	7	3,6	1,7	1,7	4,2	7,8	8,8	9,8	75,7
NÚMERO DE DÍAS DE NIEBLA	8,1	2,8	1	0,3	0,6	0,2	0,1	0,1	0,2	1,7	4,8	7,9	27,8
NÚMERO DE DÍAS DE HELADA	18,6	15	9,4	5,2	0,7	0	0	0	0	0,7	7,3	14,6	71,6
NÚMERO DE DÍAS DE PRECIP. APRECIABLE	11,1	8,6	8,5	11,3	11,9	7,1	4,6	4,2	7	11,2	11,2	12,1	108,8
NÚMERO DE DÍAS DE NIEVE	4,1	3,1	1,6	0,9	0,1	0	0	0	0	0	0,8	2,2	13
NÚMERO DE DÍAS DE TORMENTA	0	0,1	0,3	1,2	3,9	2,9	3	2,6	1,5	0,4	0	0,1	16,1
NÚMERO DE DÍAS DE GRANIZO	0	0,2	0,3	1,2	1,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0	0	4
DÍAS DE VIENTO >=91 km/h	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,3

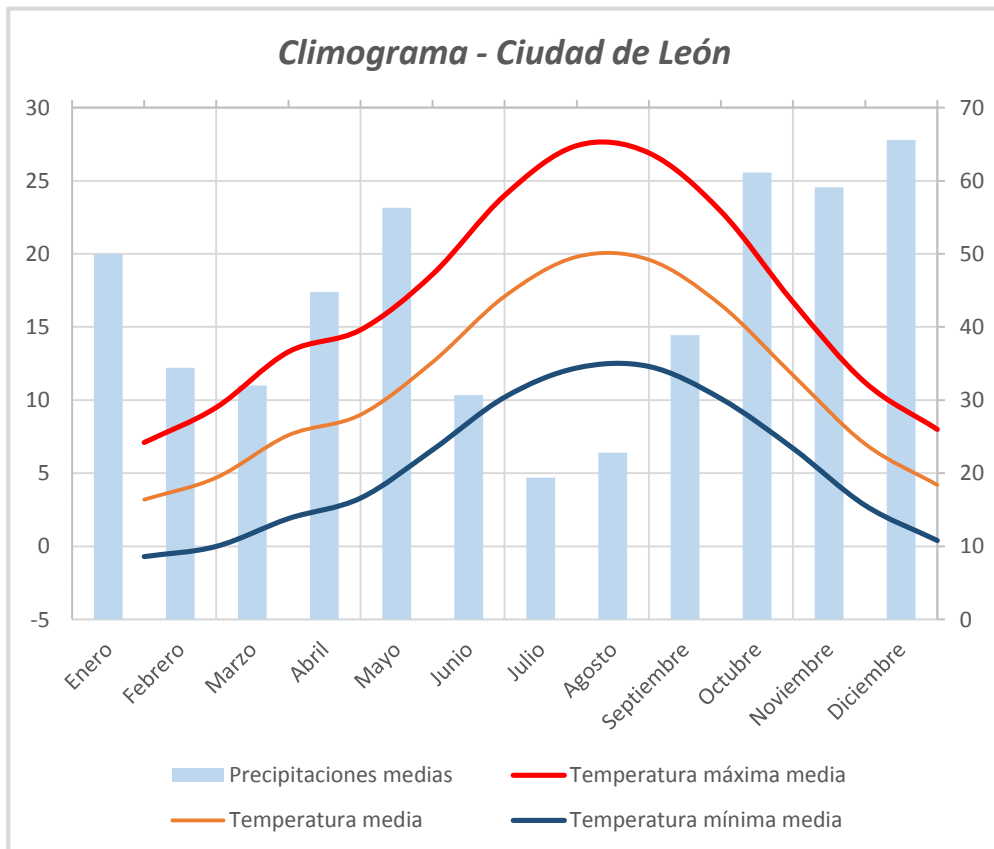


Figura 3.1 – Climograma de la Ciudad de León (Elaboración propia)

Como se puede observar, las precipitaciones se concentran principalmente en primavera y otoño y las temperaturas oscilan mucho entre el periodo estival y el periodo invernal siendo cálidas por lo general en el primero y muy frías con muchas heladas y días de nevadas en el segundo.

Uno de los parámetros climatológicos que más nos puede interesar es el viento. Como vemos en la tabla, los días de viento en los que se alcanza o supera los 91 km/h no llegan a ser una cifra considerable. Existe una clasificación de los vientos en función de su velocidad y les asigna unas consecuencias que se podrían dar en caso de alcanzar esa velocidad, esta es la Escala de Beaufort.

A 91 km/h, según la Escala de Beaufort, el viento puede ser capaz de arrancar árboles de cierta entidad y dañar estructuras y es considerado un viento de temporal pero en la serie histórica no existe un mes que de media contenga al menos un día de viento de temporal con lo que este episodio será considerado como esporádico.

4 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto que se va a desarrollar en esta memoria consiste en el diseño, implementación y programación de un sistema de seguimiento solar a dos ejes (seguimiento cenital y azimutal).

Como referencia tomaremos el modelo MS-2E TRACKER 10+ de la compañía Mecasolar®.

El objetivo final del proyecto es la creación del seguidor a escala al que se le darán usos diversos dentro de la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de León entre ellos el uso docente y el investigador.

Como objetivo nos hemos propuesto crear una estructura lo más económica posible evitando gastos innecesarios a la Escuela. Además, deberá de ser ligera pero resistente y estar debidamente protegida contra las inclemencias meteorológicas.

Toda la estructura se construirá en acero S275JR al que se le aplicarán tratamientos que eviten fenómenos como la oxidación.

Para la transmisión de movimiento se incorporará un anillo de carga pesada que se fija al cuerpo principal pero que tiene libertad de giro respecto a la base del seguidor gracias a unos rodamientos y a un conjunto motor-reductora, y también un sistema de actuación lineal que permita variar la inclinación del panel fotovoltaico.

El gobierno de estos equipos de transmisión de potencia se realizará con un autómata programable (PLC) de la compañía Siemens modelo Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC de 24 voltios.

El programa empleado se basará en el seguimiento astronómico descartándose el seguimiento por punto luminoso por la imprecisión de este sistema.

La placa fotovoltaica a instalar será de la compañía Hyundai modelo HS 175G6S de 175 Wp.

Su ubicación principal será la terraza superior del edificio de la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de la Universidad de León, ubicada en el Campus de Vegazana, con coordenadas $42^{\circ}36'48.4''N$ y $5^{\circ}33'37.3''W$.

5 ANTECEDENTES

El proyecto se basa en el diseño, implementación y programación de un sistema de seguimiento solar para la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de León. Este sistema se empleará con diversos fines destacando la investigación y la docencia.

Su ubicación será una de las terrazas superiores de la Escuela con lo que se verá forzado a soportar las inclemencias meteorológicas de la zona con lo que se deberán considerar a la hora de realizar el cálculo estructural y la protección del sistema y su equipamiento ya sea eléctrico o no.

Como modelo base, se considerará un seguidor solar comercial de la compañía Mecasolar®, el modelo en concreto es el MS-2E TRACKER 10+, que son los instalados en la planta fotovoltaica de Golpejar de la Sobarriba (León).



Figura 5.1 – Seguidor solar de Mecasolar® instalado en Golpejar de la Sobarriba (León)

Tomando como referencia este modelo se propondrá uno similar con ciertas variaciones adaptando el tamaño al presumible uso del seguidor.

5.1 Características del seguidor MS-2E TRACKER 10+ de Mecasolar®

Vamos a describir el seguidor solar de referencia en las facetas que más nos interesan que son la estructural y la de transmisión de movimiento.

El seguidor solar de referencia se compone de dos subestructuras de perfilaría metálica de acero galvanizado en caliente por inmersión. El cuerpo central del seguidor está formado por una estructura en “V” sobre la que se levanta el bastidor sobre el que se colocan los módulos fotovoltaicos.

El bastidor está ideado para que permita la implementación de cualquier tipo de panel.



Figura 5.2 – Seguidor solar instalado en Golpejar de la Sobarriba, de la compañía Mecasolar®

La superficie máxima de paneles fotovoltaicos que se puede instalar es de 85 m² alcanzándose valores de producción que van en un rango de 7,5 a 12 kWp.

La estructura en “V” se asienta en una cimentación de hormigón armado a la que se fija mediante pernos de anclaje de acero. La cimentación suele ser de sección circular.

La estructura modelo se compone de perfiles de acero que siguen las siguientes normas:

- Acero laminado en caliente (Norma UNE EN 10025)
- Perfiles huecos acabados en caliente (Norma UNE EN 10210)
- Perfiles huecos de acero conformados en frío (Norma UNE EN 10219)

El accionamiento del seguidor de referencia en su movimiento azimutal se realiza mediante el accionamiento de un moto reductor planetario sobre corona dentada situada en la base del seguidor. El seguimiento del ángulo cenital se realiza mediante el accionamiento de un gato mecánico con alimentación eléctrica.

El control del sistema se realiza mediante un PLC de la marca Siemens modelo Simatic S7-1200. La programación de este PLC es astronómica. En este modelo el PLC también controla ciertas variables ambientales como la velocidad del viento mediante un anemómetro. Esto permite colocar al sistema en posición de defensa frente al viento al sobrepasar en cierto margen un límite de velocidad del viento máxima, este valor suele estar en torno a los 70 km/h.

El resumen de las características se puede observar en esta tabla.

Tabla 5.1 – Datos del sistema de seguimiento solar de referencia

Seguidores solares mecasolar MS TRACKER 10 y MS TRACKER 10+	
MS TRACKER 10. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Estructura	Estructura metálica de acero galvanizado en caliente
Superficie de módulos máxima	85 m ²
Potencia fotovoltaica máxima	11 kWp (en función de cantidad y potencia de los módulos instalados)
Tecnología de seguimiento	Programación astronómica de PLC
Sistema protección contra viento	Programable. Posicionamiento horizontal a velocidades mayores de 70 km/h
Altura del seguidor	3.300 mm (desde la cimentación y en posición horizontal)
Peso sin módulos y sin cimentación	2.000 kg (3.000 kg)
Cimentación	Cimentación superficial de hormigón con armado - mallazo
Ejes de seguimiento	2 ejes: azimutal y elevación
Ángulos de giro	Eje azimutal: -120° a 120° Elevación: 0° a 60°
Giro azimutal	Sobre corona dentada y accionamiento mediante motorreductor eléctrico planetario
Elevación	Mediante actuador lineal con accionamiento electromecánico
Alimentación de servicio a motores	400 V Trifásico
Consumo de motores	100 kWh/año
Automatización	Autómata programable PLC totalmente independiente en cada seguidor, con

	posibilidades de teleoperación e interconexión
Rodamiento y regulación de giro	Corona dentada. Rodamiento motorizado para seguimiento azimutal accionado por reductor epicicloidal y motor-freno tarable (permite el resbalamiento ante vientos extraordinariamente fuertes y protege el mecanismo de transmisión)
Armarios eléctricos de automata y protección	Metálicos, estancos, totalmente cableados. IP66. Incluye protecciones de motores.
Mantenimiento	Revisión anual de partes mecánicas y eléctricas
Sistema antirrobo	Alarma ante desconexión de módulos (OPCIONAL)
Monitorización	In situ, Ethernet, Internet (OPCIONAL)
Garantía	10 años en Piezas y Mano de Obra.

6 DISEÑO DEL SEGUIDOR

El diseño del seguidor solar sigue el modelo anteriormente citado. Sin embargo se ha decidido suprimir y modificar ciertas partes con el fin de aligerar la estructura y adaptarla a su nuevo uso. Uno de los objetivos es que el sistema se adapte todo lo posible a futuros cambios y reposiciones, esto se logra permitiendo un rápido montaje y desmontaje de piezas y partes sometidas a desgaste o susceptibles de avería como son enganches, ejes y transmisores de movimiento, como el actuador o el motor.

Nuestra estructura se puede dividir en subestructuras entre las que destacaremos tres, que son:

- Marco del panel fotovoltaico
- Cuerpo principal o cuerpo del seguidor
- Base de apoyo

Cada una se detallará de manera independiente aunque finalmente se genere un ensamblaje que incorpore a las tres subestructuras.

6.1 Marco del panel fotovoltaico

El marco del panel fotovoltaico es el que se encarga de fijar el panel a la estructura. Se compone de perfiles cuadrados de acero S275JR no aleado y laminado en caliente de dimensiones normalizadas 40x40x2 mm. Los perfiles van taladrados de manera que se atornillen al marco de aluminio que protege al panel.

La unión de los perfiles entre sí se realizará mediante soldadura por arco eléctrico con electrodo metálico revestido de manera que el metal del electrodo sirva de material de aportación que se funde y se integre en la unión gracias a la temperatura generada por el arco eléctrico generado.

El marco además contará con dos pletinas de acero de 8 mm de grosor y taladradas, que serán las encargadas de acoplar esta subestructura con el cuerpo mediante un pasador y un casquillo de bronce que realizará la función de cojinete del eje que permite el movimiento de seguimiento cenital.

El marco contará con un enganche atornillado que facilite la unión con un actuador lineal que permitirá al marco y por extensión al panel adquirir cierta inclinación en función del ángulo cenital y así ubicarse lo más perpendicular posible respecto al Sol.

La vista general del marco es la siguiente.

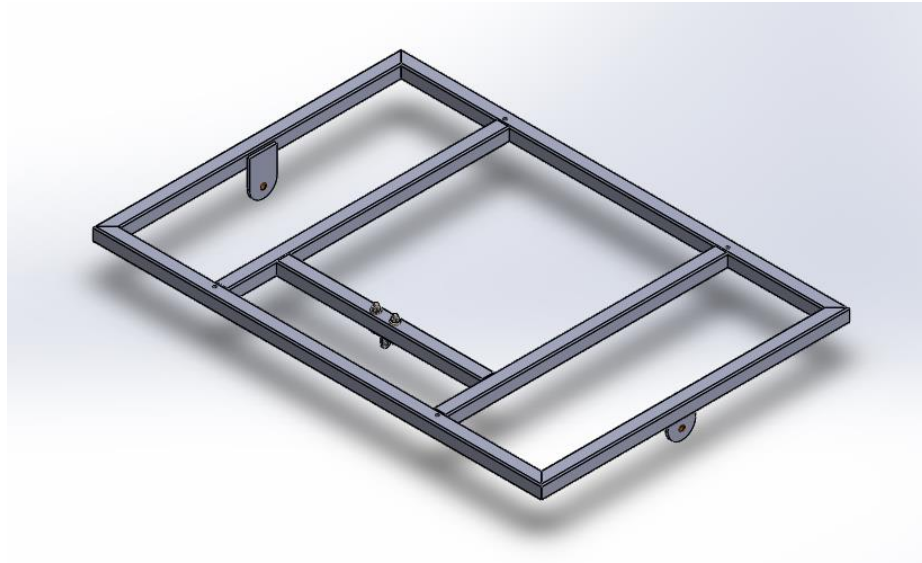


Figura 6.1 – Marco de fijación del panel fotovoltaico

Una de las partes más importantes son las pletinas que llevan acoplado el casquillo de bronce, su ubicación en una cara interior no obedece a ningún criterio que no sea estético.

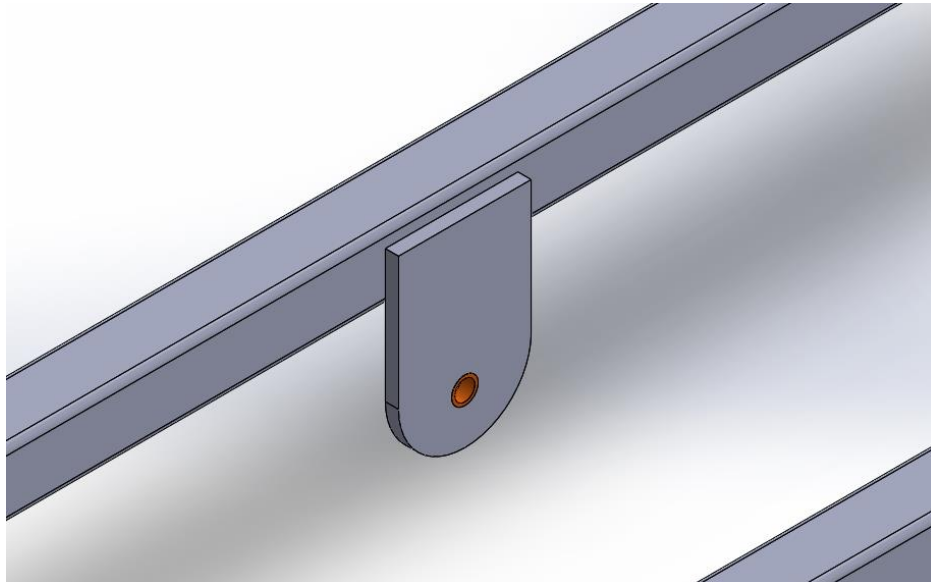


Figura 6.2 – Detalle de la pletina del eje

El enganche del actuador será atornillado de manera que se facilite su recambio en caso de necesidad por rotura o avería del actuador lineal. Los tornillos empleados serán de

cabeza hexagonal y de rosca métrica 10 (M10) normalizados según la DIN EN ISO 24017. Además llevarán una arandela cada uno, también normalizada según norma DIN EN ISO 7089. Como cierre se emplearán dos tuercas hexagonales para M10 normalizados según DIN EN ISO 24032.

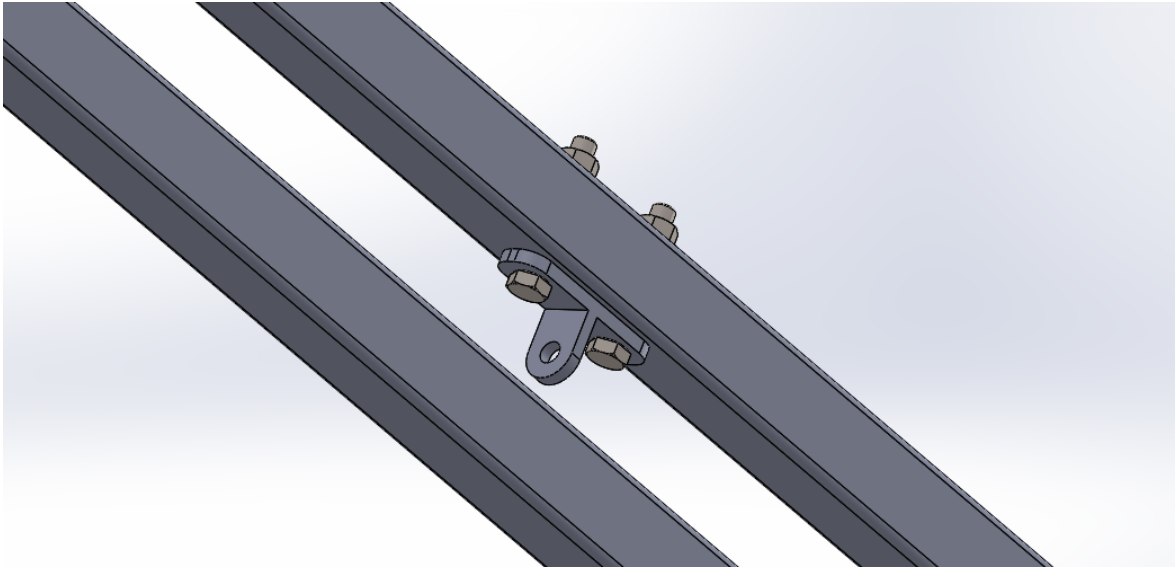


Figura 6.3 – Detalle del enganche del actuador lineal al panel

La pieza se realizará en el mismo acero que compone los perfiles. Los tornillos, es aconsejable que sean de diferente material que las tuercas ya que debido a las inclemencias del tiempo y al deterioro ambas tienden a “griparse”. De esta manera no ocurre ese fenómeno.

El marco irá taladrado en cuatro puntos para que se facilite el amarre del panel fotovoltaico mediante tornillos de rosca métrica 8 (M8) de 50 mm de longitud, contarán además con arandela y tuerca de cierre normalizadas de M8. Las cotas de los taladros se adjuntan en el capítulo Planos.

El casquillo de bronce tiene una longitud de 8 mm coincidiendo con el grosor de la pletina de acero. Su diámetro exterior es de 16 mm y su diámetro interior de 12 mm. El casquillo será del tipo autolubricado mediante inmersión en aceite en el proceso de fabricación del mismo de manera que el mantenimiento de esta parte sea mínima. Su función será la de absorber el desgaste en el giro y facilitar el mismo. Se emplea este sistema en vez de rodamientos debido a que el giro que tenemos es de una velocidad muy baja y la carga es también poco pesada. Todas las tolerancias de los casquillos de bronce siguen la Norma ISO 2795 (DIN 1850 Parte 3). El casquillo y su disposición están ideados para que se extraigan fácilmente en caso de deterioro.

6.2 Cuerpo principal

El cuerpo principal del seguidor es la parte que recoge las cargas que el panel y el marco generan, se une al marco mediante las pletinas de acero que conforman el eje y el punto de enganche del actuador. Se estructura de manera que forme una "V" mediante cuatro perfiles de acero S275JR no aleado y laminado en caliente con dimensiones 60x40x2 mm. Estos perfiles salen de una chapa base de 10 mm de grosor y van hasta dos bases sobre las que se sustenta el eje.

Los perfiles se unen dos a dos con un perfil angular del mismo acero de dimensiones 35x35x5 mm que contribuye a aumentar su resistencia a flexión y da rigidez global al conjunto. Además entre estos dos perfiles angulares se asienta otro perfil de 40x40x2 mm cuya función será la de soporte del actuador lineal y recogerá un tercio de las cargas generadas en la subestructura superior. La vista global de la estructura es la siguiente.

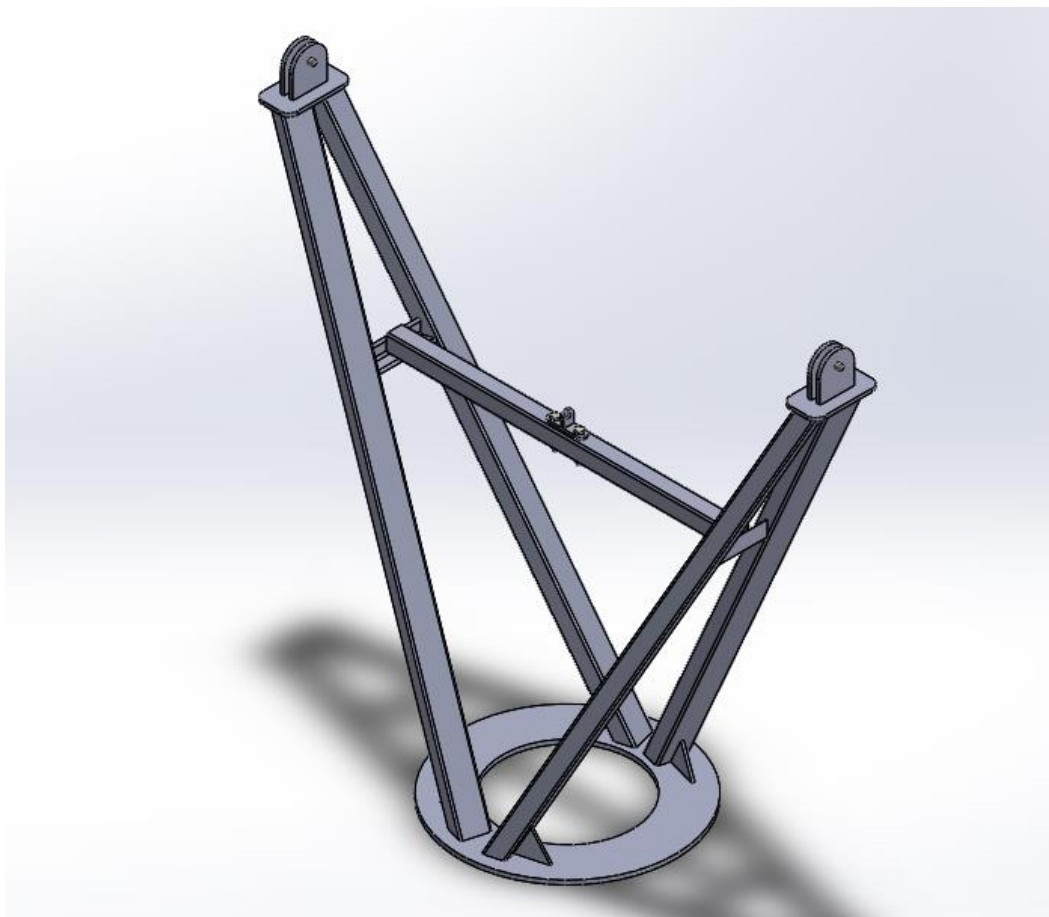


Figura 6.4 – Vista general del cuerpo del seguidor

Las uniones se realizarán soldadas mediante arco eléctrico y con electrodo metálico revestido de manera que el metal realice la función de material de aporte.

De la misma manera que en el marco del panel, el enganche del actuador lineal deberá ir atornillado de manera que su retirada y reposición sean rápidas y sencillas, y teniendo en cuenta futuras modificaciones contarán con espacio suficiente para realizar cambios en la pletina de enganche. Los tornillos empleados serán de cabeza hexagonal y de rosca métrica 10 (M10) normalizados según la DIN EN ISO 24017. Además llevarán una arandela cada uno también normalizada según norma DIN EN ISO 7089. Como cierre se emplearán dos tuercas hexagonales para tornillos M10 normalizados según DIN EN ISO 24032.

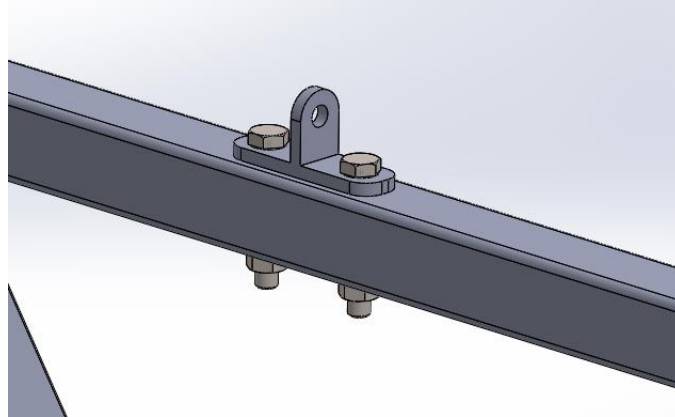


Figura 6.5 – Detalle del enganche del actuador lineal

Como refuerzo, en la base de los perfiles principales se colocarán cartelas de dimensiones 70x70x6 mm soldadas al centro de la cara externa de los mismos y a la base, de manera que las cargas que transmiten los perfiles no ejerzan de punzón sobre la placa y por tanto estas estén mejor distribuidas.

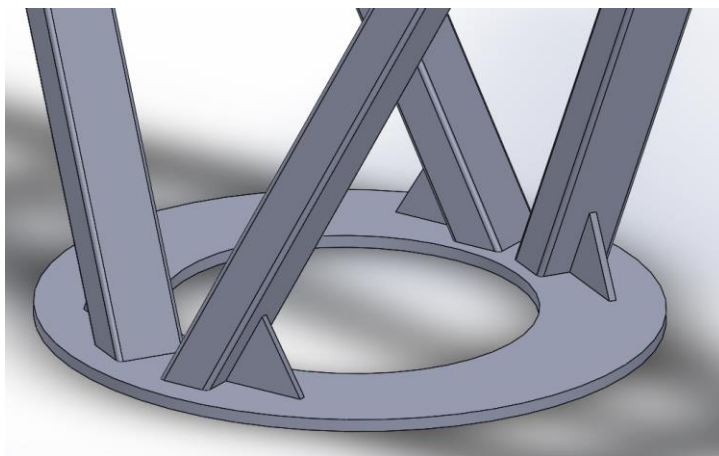


Figura 6.6 – Cartelas de la estructura

Las dos bases del eje son de 8 mm de espesor y van apoyadas en los perfiles principales. Sobre ellas se soldarán dos pletinas para cada una. Estas pletinas incorporarán taladros de 12 mm de diámetro de manera que podamos insertar unos pasadores cilíndricos de acero normalizados según DIN EN ISO 2338. Estos pasadores irán además taladrados en sus extremos para poder insertar unos pasadores “tipo beta” también normalizados según norma DIN 11024 que ejercerán de tope para que el eje no se desplace y se extraiga con el rozamiento del giro.

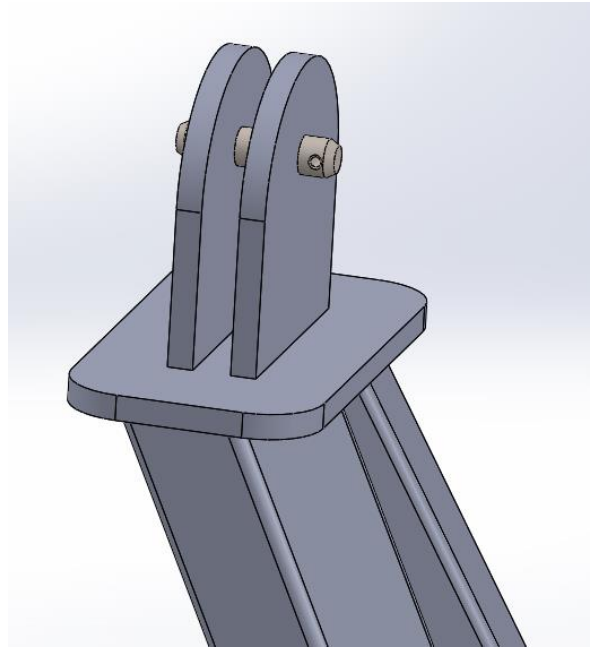


Figura 6.7 – Base del eje horizontal (seguidor cenital)

Los orificios sobre los pasadores horizontales serán de 4 mm y los pasadores “tipo beta” serán de 3,6 mm de grosor (d_3), longitud (L) de 64 mm y un diámetro en cabeza (d_4) de 20 mm.

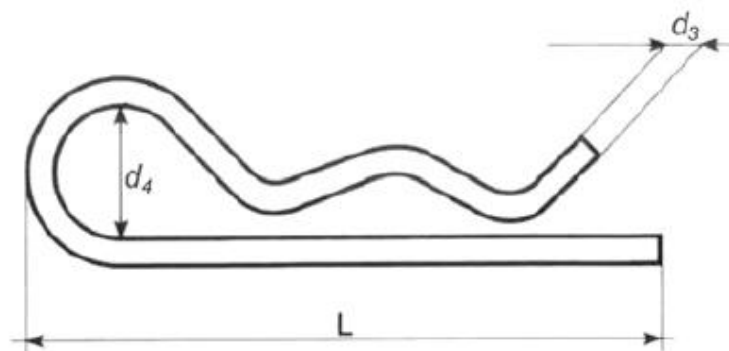


Figura 6.8 – Pasador “tipo beta”

Para evitar problemas a la hora de la construcción los perfiles principales no se tocan en ningún punto. Con esto evitamos la aparición de formas relativamente complejas en los extremos lo cual puede aumentar costes y dificultar la ejecución.

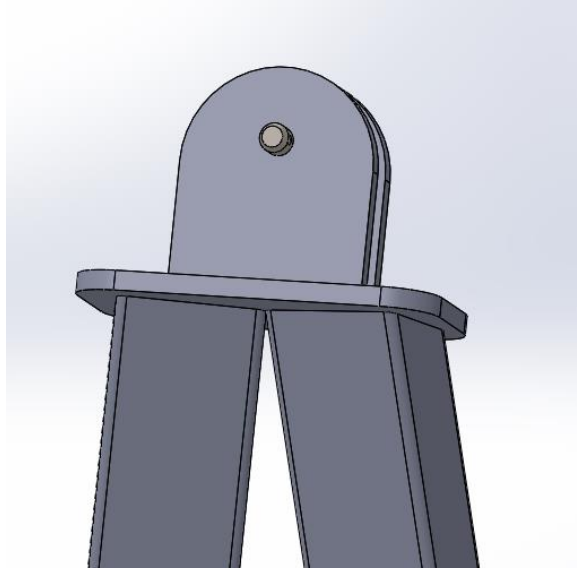


Figura 6.9 – Detalle de la base del eje de seguimiento cenital

El ángulo de corte de los perfiles principales es de $61,76^\circ$, esto se puede comprobar midiendo directamente en el modelo realizado durante el diseño con el software SolidWorks. El ángulo es único ya que realizamos el corte en un único plano.

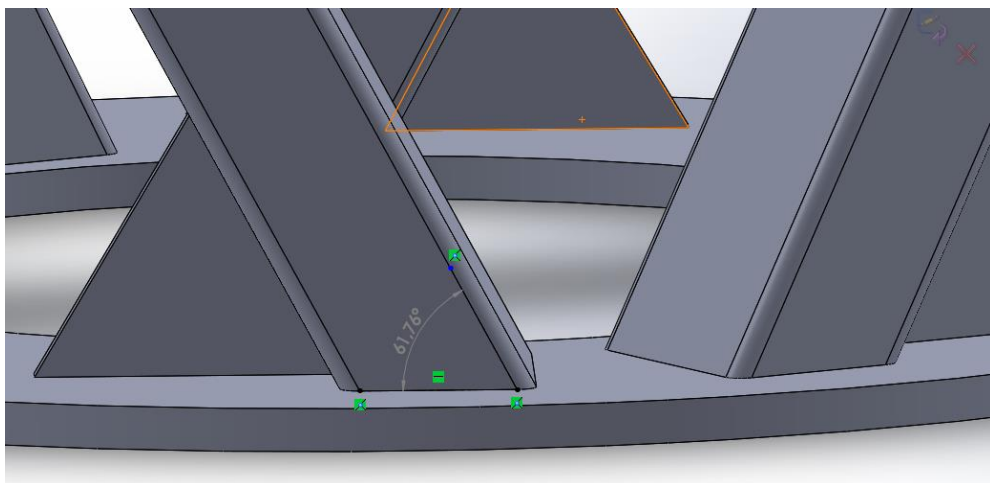


Figura 6.10 – Ángulo de corte de los perfiles principales

El corte en la parte superior que va soldada a la base del eje de seguimiento cenital también se realiza en ese ángulo.

La ubicación del perfil en la base de chapa de 10 mm de grosor la definiremos con un ángulo que formará la línea de corte del perfil con la proyección del eje del anillo de chapa. Además, se fijará también la distancia entre el centro de las caras de los perfiles, que en este caso es de 3,19 cm.

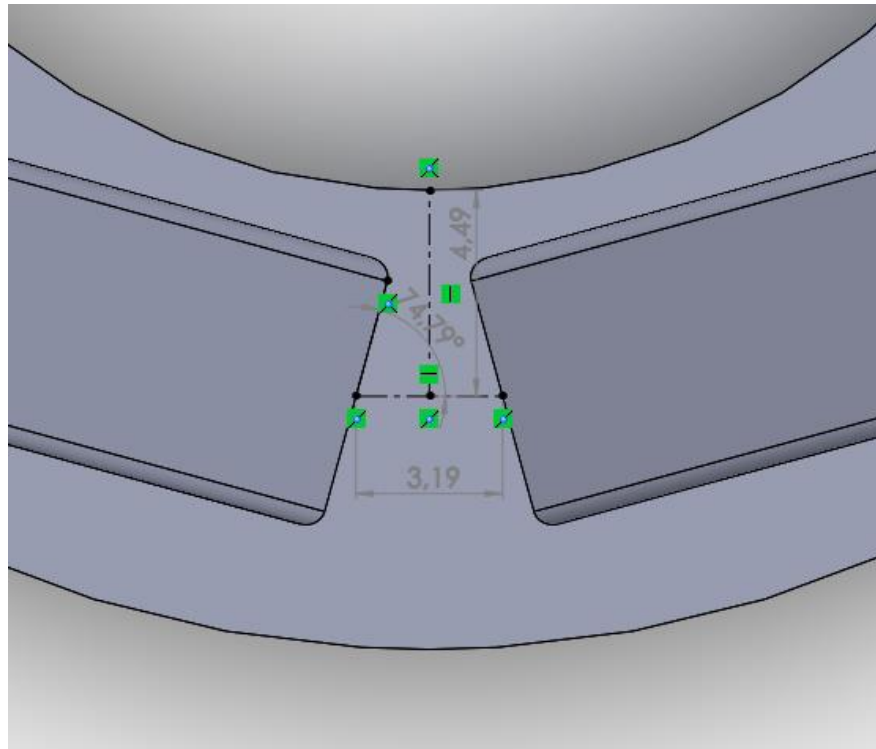


Figura 6.11 – Parámetros de ubicación de los perfiles en el anillo metálico

En el caso de la base del eje de seguimiento cenital la referencia la tomamos sobre el lado largo y su punto central. Tras determinar el centro proyectaremos el punto cortando toda la pieza hasta el centro del lado opuesto. También se deberá determinar el punto medio de la cara exterior en la línea de corte del perfil y proyectar una perpendicular hasta cortar a esta transversal que va de lado a lado de la cara inferior de la base. Aquí se tomarán como referencia el ángulo que forma la perpendicular entre el punto medio de la cara del perfil y la transversal y también las distancias entre el lado largo y el punto de corte de la perpendicular mencionada, y la distancia entre los puntos medios de las caras de los perfiles. Es fundamental mantener la distancia entre ambas bases de los perfiles ya que si no las pletinas del marco del panel no encajarán o lo harán con rozamientos imprevistos e indeseables.

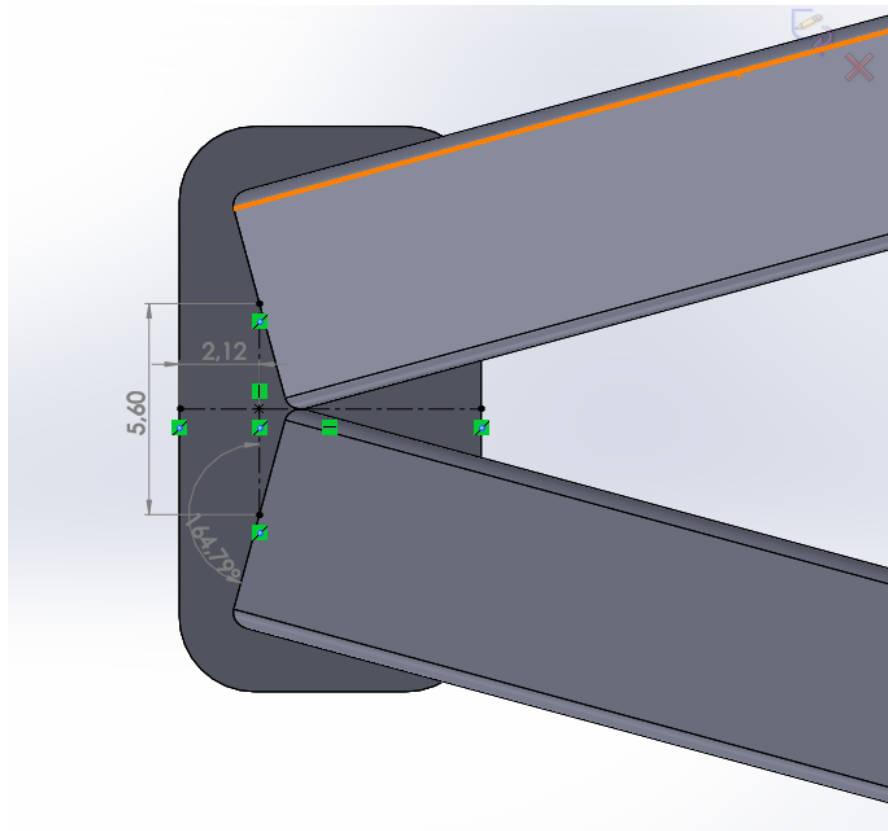


Figura 6.12 – Parámetros de ubicación de los perfiles en la base del eje de seguimiento cenital

Es absolutamente imprescindible mantener la distancia entre el centro de las bases del eje de seguimiento cenital, la distancia a respetar es de 122,20 cm como se muestra a continuación.

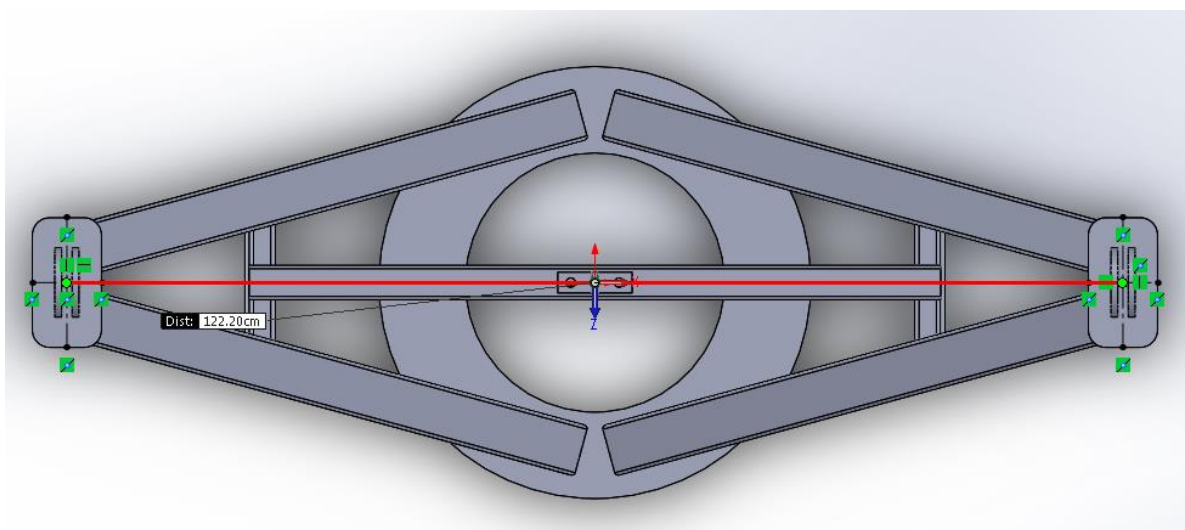


Figura 6.13 – Distancia entre centros de las bases del eje de seguimiento cenital

6.3 Base del sistema

Para la construcción de la base se emplearán perfiles de 50x40x2 mm que estarán en contacto con el firme y una chapa que servirá de apoyo y reparto de carga al sistema. Los perfiles serán de acero S275JR no aleado y laminado en caliente de la misma manera que la chapa. Esta además contará con un grosor de 12 mm y unas dimensiones de 700x700 mm.

La chapa será la encargada de recoger todos los esfuerzos generados en la estructura y deberá resistir las tensiones sin deformarse para no introducir errores en el seguimiento y para evitar daños en los equipos que conforman el sistema.

Los perfiles transmitirán toda la carga al forjado y lo harán sin estar fijados a él. Como método de “sujeción” colocaremos unos contrapesos en los extremos de los perfiles de manera que podamos recortar su longitud y resistir cualquier carga que pueda generar un vuelco.

La unión chapa-perfil y perfil-perfil se realizará mediante soldadura por arco eléctrico mediante electrodo metálico recubierto ya que el empleo de tornillos impediría el correcto asentamiento sobre el forjado.

La base deberá contar con unas dimensiones adecuadas que permitan mantener un estado estable frente a las acciones meteorológicas, principalmente el viento, cuando la placa fotovoltaica se encuentra en posición de bandera.

Los cálculos de estabilidad se encuentran en el documento de Cálculos y Simulación.

Sobre uno de los perfiles se instalará la caja del autómata, la cual deberá permanecer suficientemente elevada de la gravilla que cubre el forjado para evitar la penetración de polvo y humedad.

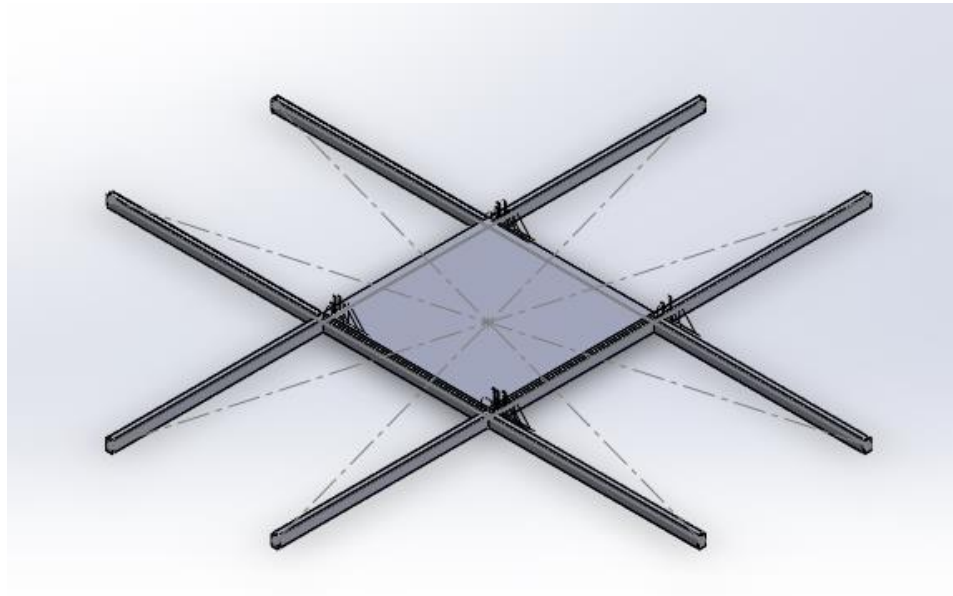


Figura 6.14 – Base del seguidor

Además de garantizar la estabilidad, la base debe repartir las cargas sobre el forjado. Este reparto no debe superar los 3000 N/m^2 .

Con la configuración anteriormente mostrada la carga por metro cuadrado se dispara por lo que como medida correctora hemos planteado la instalación de una base de chapa sobre la que se asienten los perfiles. Esta base de chapa se encargará de aumentar la superficie que transmite carga al forjado con lo que disminuirá esta por metro cuadrado hasta los valores aceptables.

Además debemos considerar al armario eléctrico y diseñar unos puntos de fijado con los que mantenerlo en posición.

La fijación consistirá en dos perfiles cuadrados de $40 \times 40 \times 2 \text{ mm}$ soldados a esa chapa que reparte la carga y taladrados con el diámetro y distancias de los orificios de fijación que estime el fabricante del propio armario. En el diseño se ha empleado el modelo AE 1038.500 de la compañía RITTAL y los fijadores utilizados son los AE 2508.010.

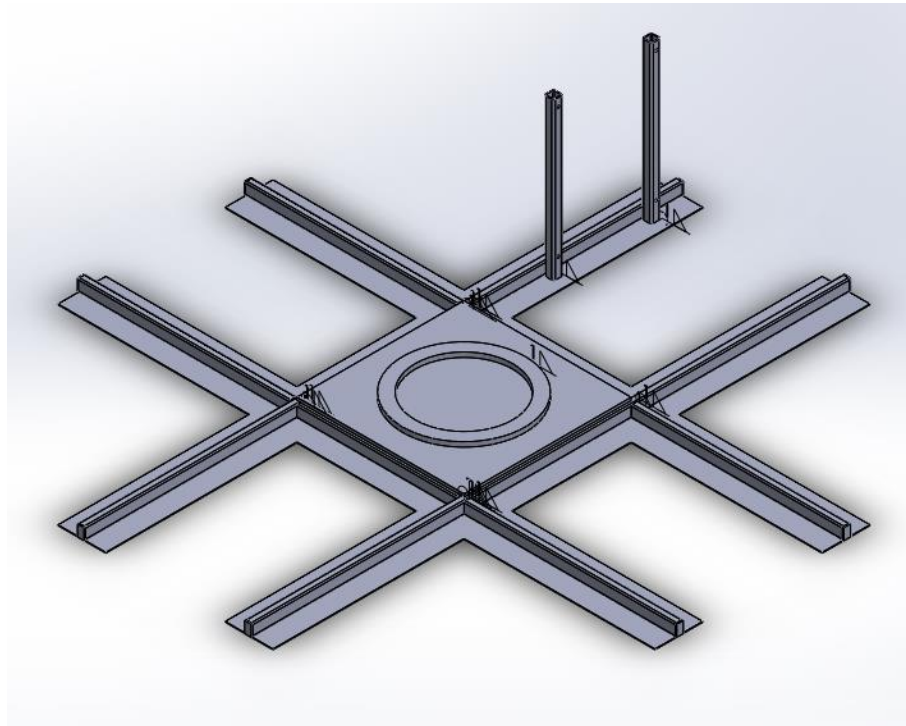


Figura 6.15 – Base con solución para problema de carga y fijación para armario eléctrico

En la imagen anterior hemos añadido un anillo que simula al anillo de carga sobre el que se asentará el cuerpo a modo ilustrativo.



Figura 6.16 – Sistema de fijación del armario eléctrico

Se deberá comprobar en la simulación que no existen interferencias entre componentes.

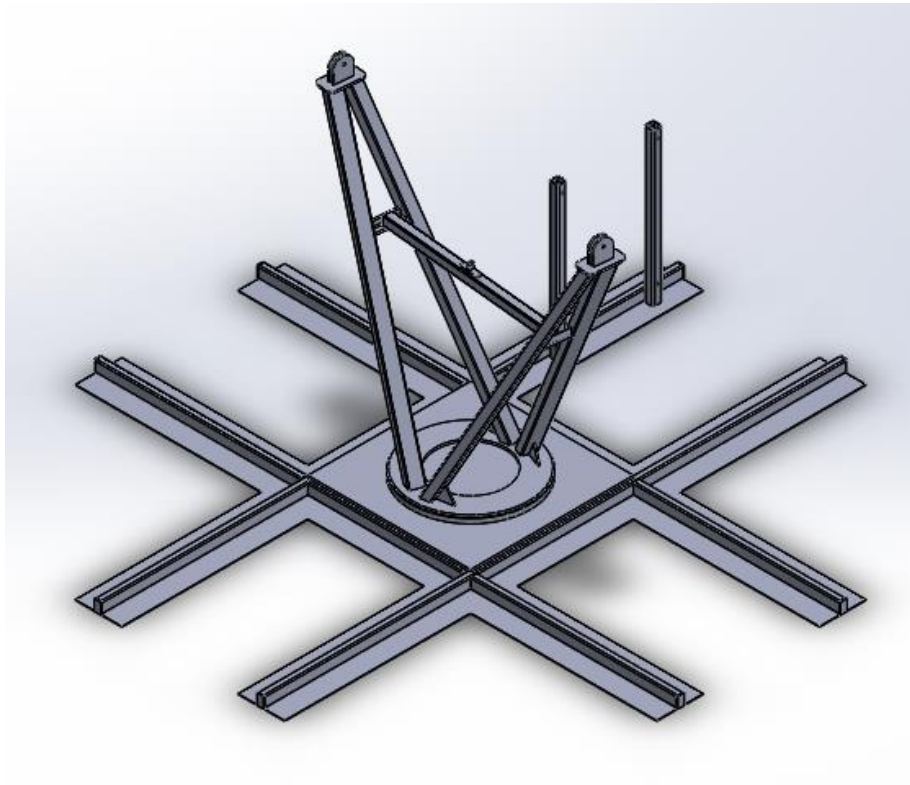


Figura 6.17 – Montaje de la base con el cuerpo de la estructura

La chapa base se ha configurado de un tamaño muy superior al anillo. Esto es porque existe la posibilidad de tener que instalar otros dispositivos y elementos de componentes en ella de manera que se debe dejar un espacio suficiente para los elementos a instalar (rodamientos exteriores, finales de carrera...)

Con esta configuración conseguimos la máxima estabilidad y una aceptable distribución de cargas. El conjunto además es lo suficientemente sólido como para que no se deforme por cargas dinámicas externas como viento o nieve.

Sobre esta base irá fijada mediante taladros y tornillos el soporte del motor. No se adjunta en la memoria ya que el montaje del sistema de carga del cual forma parte el motor no está incorporado ya que es responsabilidad de una empresa ajena. Esta empresa será la encargada de remitir unas instrucciones de montaje del sistema, una vez estudiadas, podremos evaluar el tipo de soporte para el motor y su ubicación final. Realizar este paso ahora puede comprometer variaciones del diseño, ya que como hemos mencionado, ese sistema se escapa de nuestro control.

La configuración final del seguidor sin actuador lineal y sin motor inferior será la siguiente:

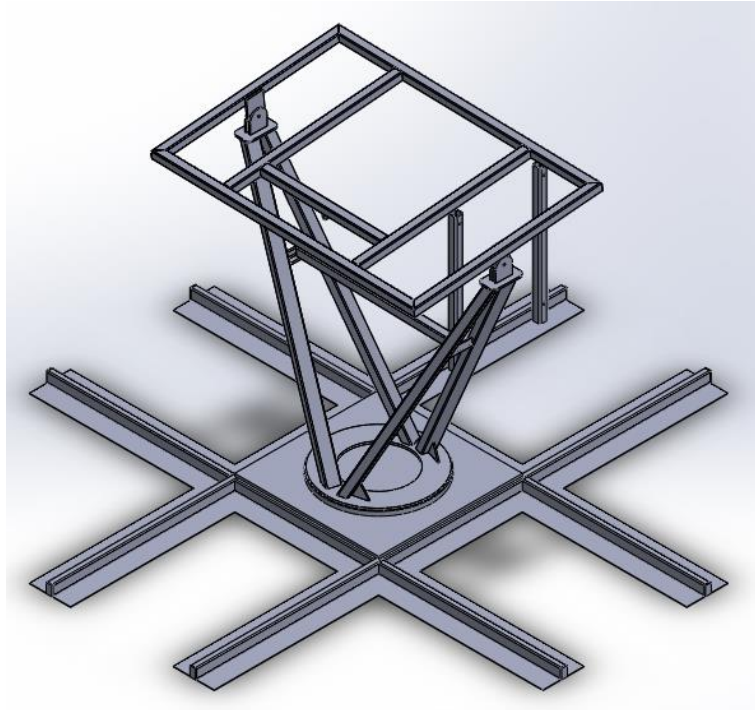


Figura 6.18 – Configuración final del seguidor

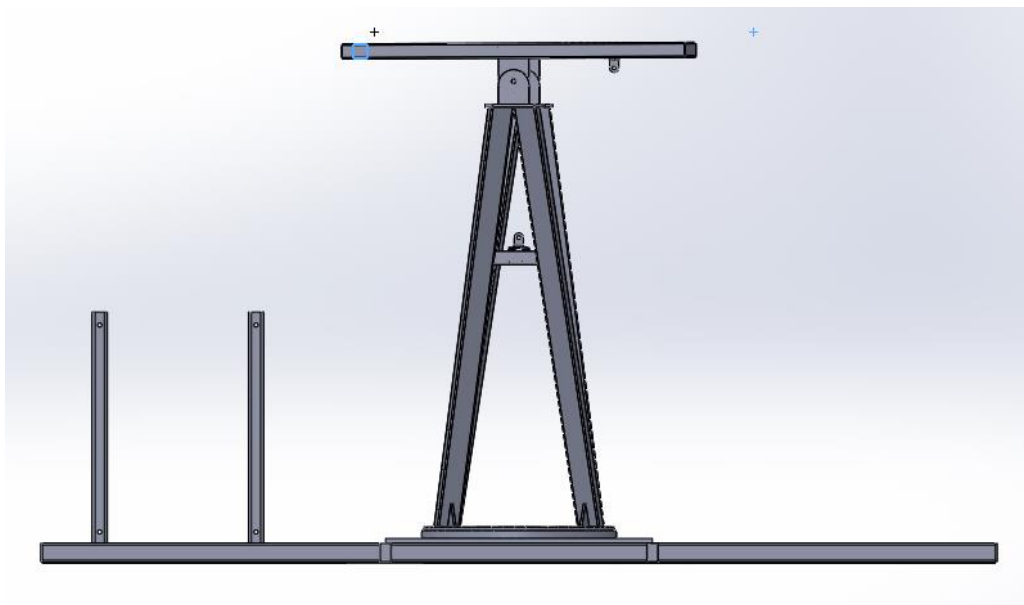


Figura 6.19 – Vista lateral del conjunto

7 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Como material base para la estructura hemos optado por un acero estructural. Este acero está normalizado, su designación simbólica se realiza según la norma UNE EN 10027-1 y su designación numérica se realiza acorde a lo estipulado en la UNE EN 10027-2.

La designación simbólica del acero empleado (UNE EN 10027-1) se corresponde con:

S – ya que es un acero estructural (Structural Steel).

275 – valor mínimo garantizado del límite elástico en MPa.

JR – indica las especificaciones de resiliencia en Julios y la temperatura de ensayo (R=temperatura ambiente).

El acero empleado, el S275JR, es un acero no aleado laminado en caliente.

Los aceros normalizados como este necesitan cumplir por norma ciertas especificaciones, a continuación se detallan las más importantes. La norma de referencia para este tipo de aceros estructurales no aleados y laminados en caliente es la UNE EN 10025.

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá cumplir:

Tabla 7.1 – Valor del carbono equivalente (CEV) para las coladas de los diferentes aceros no aleados laminados en caliente

Tipo	Espesor nominal de producto t (mm)			
	≤ 30	30 < t ≤ 40	40 < t ≤ 150	150 < t ≤ 250
S 235	0,35	0,35	0,38	0,40
S 275	0,40	0,40	0,42	0,44
S 355	0,45	0,47	0,47	0,49

Existen porcentajes de fósforo (P) y azufre (S) máximos en el análisis de producto.

Tabla 7.2 - % de fósforo y azufre en el producto

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S235 JR, S275 JR, S355 JR	0,045	0,045
S235 J0, S275 J0, S355 J0	0,040	0,040
S235 J2, S275 J2, S355 J2, S355 K2	0,035	0,035

Las especificaciones que deben cumplir correspondiente al límite elástico (f_y) y resistencia a la tracción f_u para los distintos tipos de acero son las siguientes.

Tabla 7.3 – Límite elástico y resistencia a la tracción para los diferentes aceros no aleados laminados en caliente

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 235	235	360 < f_u < 510	215	360 < f_u < 510
S 275	275	430 < f_u < 580	255	410 < f_u < 560
S 355	355	490 < f_u < 680	335	470 < f_u < 630

También se especifica por norma la resiliencia de los distintos grados de acero:

Tabla 7.4 – Grado de los aceros

Grado	Temperatura de ensayo (°C)	Resiliencia (J)		
		t ≤ 150	150 < t ≤ 250	250 < t ≤ 400
JR	20	27	27	-
J0	0	27	27	-
J2	-20	27	27	27
K2	-20	40 (*)	33	33

La designación numérica de los aceros (UNE EN 10027-2) se realiza según los siguientes preceptos:

- 1 – indica el tipo de material, en este caso acero.
- 00 – indica el tipo de acero, en este caso acero básico.
- 44 – es el número de orden dentro del grupo.

Las tablas donde se designan los aceros con sus propiedades y sus designaciones se adjuntan a continuación.

Tabla 7.5 – Designaciones de los aceros estructurales y composición en colada

Designación según		Método de desoxidación ²	% C máx para un espesor nominal del producto en mm			Mn % máx	Si % máx	P % máx 4	S % máx 4	N % máx 5	Cu % máx 6	Otros % máx 7
UNE EN 10027-1 y CR 10260	UNE EN 10027-2		≤16	>16 ≤40	>40 ³							
S 235 JR	1.0038	FN	0,17	0,17	0,20	1,40	-	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S 235 JO	1.0114	FN	0,17	0,17	0,17	1,40	-	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S 235 J2	1.0117	FF	0,17	0,17	0,17	1,40	-	0,025	0,025	-	0,55	-
S 275 JR	1.0044	FN	0,21	0,21	0,22	1,50	-	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S 275 JO	1.0143	FN	0,18	0,18	0,18 ⁹⁾	1,50	-	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S 275 J2	1.0145	FF	0,18	0,18	0,18 ⁹⁾	1,50	-	0,025	0,025	-	0,55	-
S 355 JR	1.0045	FN	0,24	0,24	0,24	1,60	0,55	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S 355 JO	1.0553	FN	0,20 ⁸⁾	0,20 ¹⁰⁾	0,22	1,60	0,55	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S 355 J2	1.0577	FF	0,20 ⁸⁾	0,20 ¹⁰⁾	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-	0,55	-
S 355 K2	1.0596	FF	0,20 ⁸⁾	0,20 ¹⁰⁾	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-	0,55	-
S 450 JO ¹¹⁾	1.0590	FF	0,20	0,20 ¹⁰⁾	0,22	1,70	0,55	0,030	0,030	0,025	0,55	12)

- 1) Ver apartado 7.2 de la norma UNE EN 10025-2
- 2) Grado de desoxidación:
FN: No se admite acero efervescente.
FF: Acero calmado.
- 3) Para los perfiles y barras con un espesor nominal > 100 mm: el contenido en carbono se establecerá por acuerdo. Ver opción 26
- 4) Para los productos largos, el contenido en P y en S puede ser un 0,005% mayor.
Para los productos largos, el contenido máximo de S se puede incrementar, por acuerdo previo, en un 0,015 % con el fin de mejorar su conformación, si se trata el acero con el fin de modificar la morfología de los sulfuros y la composición química muestra un contenido mínimo de Ca del 0,0020 %. Ver opción 27
- 5) El contenido máximo en nitrógeno no se aplica si en la colada existe aluminio (contenido Al total >0,020%) o alternativamente un mínimo de 0,015% de ácido soluble de Al u otros elementos fijadores del nitrógeno en cantidad suficiente. Se deben citar estos elementos en el documento de inspección.
- 6) Contenidos de Cu por encima de 0,40% pueden producir fragilidad durante el conformado en caliente.
- 7) Si se añaden otros elementos, deberán mencionarse en el documento de inspección.
- 8) Para espesores nominales > 150 mm el contenido máximo de C será del 0,20%.
- 9) En los grados adecuados para la conformación en frío (ver 7.4.2.2.3) el contenido máximo de C será del 0,22%.
- 10) Para espesores nominales > 30 mm el contenido máximo de C será del 0,22%.
- 11) Aplicable sólo a productos largos
- 12) El acero puede contener como máximo un 0,05% de Nb, 0,13% max. de V y 0,05% max. de Ti

FF, significa acero calmado que implica que ha sido desoxidado mediante la aplicación de otros metales en colada. FN significa que no se admite acero efervescente, un acero efervescente es aquel que no ha sido desoxidado por completo en el proceso de colada.

Tabla 7.6 – Propiedades mecánicas de los aceros a temperatura ambiente para productos largos y productos planos (1/2)

Designación según		Límite elástico, mínimo, R_{eH}^a , en MPa ^b										Resistencia a tracción R_m^a , en MPa ^b				
UNE EN 10027-1 y CR 10260	UNE EN 10027-2	Espesor nominal, en milímetros										Espesor nominal en milímetros				
		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c	≤ 3	> 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c	
S 235 JR S 235 JO S 235 J2	1.0038 1.0114 1.0117	235 235 235	225 225 225	215 215 215	215 215 215	215 215 215	195 195 195	185 185 185	175 175 175	- - 165	360 a 510 360 a 510 360 a 510	360 a 510 360 a 510 360 a 510	350 a 500 350 a 500 350 a 500	340 a 490 340 a 490 340 a 490	- - 330 a 480	
S 275 JR S 275 JO S 275 J2	1.0044 1.0143 1.0145	275 275 275	265 265 265	255 255 255	245 245 245	235 235 235	225 225 225	215 215 215	205 205 195	- - -	430 a 580 430 a 580 430 a 580	410 a 560 410 a 560 410 a 560	400 a 540 400 a 540 400 a 540	380 a 540 380 a 540 380 a 540	- - 380 a 540	
S 355 JR S 355 JO S 355 J2 S 355 K2	1.0045 1.0553 1.0577 1.0596	355 355 355 355	345 345 345 345	335 335 335 335	325 325 325 325	315 315 315 315	295 295 295 295	285 285 285 285	275 275 275 275	- - 265 265	510 a 680 510 a 680 510 a 680 510 a 680	470 a 630 470 a 630 470 a 630 470 a 630	450 a 600 450 a 600 450 a 600 450 a 600	450 a 600 450 a 600 450 a 600 450 a 600	- - 450 a 600 450 a 600	
S 450 J0 ^d	1.0590	450	430	410	390	380	380	-	-	-	-	550 a 720	530 a 700	-	-	

- a Para chapas, bandas y planos de anchura > 600 mm, los valores se aplican a la dirección transversal "t". Para los demás productos los valores se aplican a la dirección paralela "l" a la laminación.
- b 1 MPa = 1 N/mm²
- c Los valores son aplicables a los productos planos.
- d Aplicable a productos largos solamente

Tabla 7.7 – Propiedades mecánicas de los aceros a temperatura ambiente para productos largos y productos planos (2/2)

Designación según		Posición de las probetas en el ensayo ^a	Porcentaje mínimo de alargamiento tras la factura % ^a											
UNE EN 10027-1 y CR 10260	UNE EN 10027-2		$L_0 = 80$ mm Espesor nominal en mm					$L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$ Espesor nominal en mm						
			≤ 1,0	> 1,0 ≤ 1,5	> 1,5 ≤ 2,0	> 2,0 ≤ 2,5	> 2,5 ≤ 3,0	> 3,0 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ^c ≤ 400 sólo para los grados J2 y K2	
S 235 JR S 235 JO S 235 J2	1.0038 1.0114 1.0117	l t	17 15	18 16	19 17	20 18	21 19	26 24	25 23	24 22	22 22	21 21	- 21 (l y t)	
S 275 JR S 275 JO S 275 J2	1.0044 1.0143 1.0145	l t	15 13	16 14	17 15	18 16	19 17	23 21	22 20	21 19	19 19	18 18	- 18 (l y t)	
S 355 JR S 355 JO S 355 J2 S 355 K2	1.0045 1.0553 1.0577 1.0596	l t	14 12	15 13	16 14	17 15	18 16	22 20	21 19	20 18	18 18	17 17	- 17 (l y t) 17 (l y t)	
S 450 J0 ^d	1.0590	l	-	-	-	-	-	17	17	17	17	-	-	

- a Para chapas, bandas y planos de anchura > 600 mm, los valores se aplican a la dirección transversal "t". Para los demás productos los valores se aplican a la dirección paralela "l" a la laminación.
- b Los valores son aplicables a los productos planos.
- c Aplicable a productos largos solamente

Como se puede observar, cada acero laminado en caliente tiene sus propias características. Pero existen ciertas propiedades que se pueden considerar comunes a todos los aceros independientemente de su composición.

Las propiedades comunes a todos los aceros son las siguientes:

- **Módulo de elasticidad** – $E = 2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
- **Módulo de elasticidad transversal** – $G = E/[2(1+\nu)] = 81.000 \text{ Mpa}$
- **Coefficiente de Poisson** – $\nu = 0,3$
- **Coefficiente de dilatación lineal** – $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- **Densidad** – $\gamma = 7.850 \text{ kg/m}^3$

Además de acero también se empleará bronce principalmente en los casquillos de rozamiento del eje del seguidor cenital.

El bronce comercial es una aleación de cobre y estaño que puede llevar además otros metales en su composición.

El bronce que emplearemos en los casquillos será un 90% cobre (Cu) y un 10% estaño (Sn). Su denominación es C22000 en la norma americana ASTM B36. La norma europea que normaliza las aleaciones de cobre es la UNE EN 1982:2009.

Las características más relevantes son:

- **Módulo de elasticidad** – $E = 1,15 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
- **Módulo de elasticidad transversal** – $G = 43.000 \text{ MPa}$
- **Coefficiente de Poisson** – $\nu = 0,31$
- **Coefficiente de dilatación lineal** – $\alpha = 1,84 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- **Densidad** – $\gamma = 8.800 \text{ kg/m}^3$

8 TRATAMIENTOS APLICABLES FRENTE A LA CORROSIÓN

El acero empleado para la construcción irá galvanizado como medida frente a la corrosión. El galvanizado consiste en un proceso electroquímico en el que se recubre un metal con otro. El metal empleado como recubrimiento suele ser el zinc que actúa como ánodo al recubrir al acero que actúa como cátodo.

La técnica para depositar el zinc sobre el metal a recubrir, en este caso acero, puede ser:

- Galvanización en caliente
- Galvanización en frío
- Metalizado por pistola
- Zincado electrolítico
- Galvanizado por laminación

Además de ir galvanizada, se aplicará un tratamiento mediante una imprimación antioxidante transparente a toda la estructura y componentes metálicos que protegerá de la corrosión. Esa imprimación transparente podrá aplicarse mediante pintado manual o mediante pistola de pintura, procurando que la distribución sea uniforme y alcance a todos los componentes metálicos.

Este proceso se repetirá cíclicamente (según el tiempo indicado por el fabricante de la imprimación) para preservar la integridad estética y mecánica de la estructura.

En caso de ser necesario, se podrán pintar todas las partes exteriores de la estructura con una pintura de color que proteja de la corrosión y el óxido.

9 PROGRAMACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR

9.1 Descripción básica de equipos

El seguidor solar es el encargado de que el área de captación fotovoltaica se mantenga siempre en una orientación óptima en la que la radiación solar incida lo más perpendicular posible maximizando el rendimiento del sistema.

Este movimiento se programará de manera astronómica que a diferencia de los seguidores por punto luminoso, realiza los cálculos matemáticos necesarios que indican la posición del Sol mientras que los otros llevan una fotocélula que va siguiendo al punto más luminoso que detecta, que en este caso sería el propio Sol.

La complejidad en esta parte es la de coordinar los dos parámetros de seguimiento y los correspondientes elementos mecánicos que garantizan el movimiento, como son el actuador lineal para el seguimiento cenital y el anillo de carga para el seguimiento azimutal.

Para realizar los cálculos, fijar las coordenadas y en consecuencia enviar una señal que active ambos sistemas de transmisión de movimiento emplearemos un autómata programable con capacidad para desarrollar todas las tareas requeridas.

El seguidor solar se gobernará con un autómata programable Siemens modelo Simatic S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC, con número de referencia 6ES7 214-1AE0-0XB0. El autómata trabaja a 24 voltios en corriente continua con lo que lleva incorporada una fuente de alimentación que adapta la tensión del enchufe de 230V en alterna a los 24V del equipo.

El modelo S7-1200 con CPU 1214 DC/DC/DC y referencia 6ES7 214-1AE0-0XB0 presenta 24 entradas/salidas integradas y permite el acoplamiento de módulos de conexión como son 1 signal board, 8 signal modules y un máximo de 3 módulos de comunicaciones.

Éste PLC trabaja con una memoria de trabajo de 75 kbyte y una memoria de carga de 4 Mbyte y no cuenta con sistema de respaldo ante cortes de energía.

Los tiempos medios de ejecución de la CPU son:

- Operaciones de bits – 0,085 μ s; instrucción
- Operaciones de palabras – 1,7 μ s; instrucción
- Aritmética en coma flotante – 2,5 μ s; instrucción

El autómata tiene una capacidad de remanencia de datos de 8 kbyte y es capaz de realizar tareas de reloj que son muy útiles en nuestro caso para realizar consultas cada cierto intervalo de tiempo.

En el equipo hay presentes 14 entradas digitales de las cuales 6 son HSC (High Speed Counting) para funciones tecnológicas, además de 2 entradas analógicas con tensiones de entrada de 0 a 10 V.

Las salidas son 10 del tipo digital de las que 4 son rápidas con un tren de impulsos de 100 kHz.

La interfaz es PROFINET con norma física Ethernet.

Los lenguajes de programación admitidos son:

- KOP – es un lenguaje que se basa en los esquemas de contacto.
- FUP – emplea diagramas de funciones trabajando con los símbolos gráficos del álgebra booleana.
- SCL – es un lenguaje de alto nivel, de texto estructurado, basado en Pascal.

El programa que se cargará en el autómata está programado en SCL.

El autómata se ubica en un bastidor metálico acompañado de la fuente de alimentación y los módulos de comunicaciones que se instalarán en función de la comunicación autómata-máquina con los transmisores de movimiento. Además dentro del cuadro de control se encuentran 4 contactores que se encargan de la inversión de giro de los equipos de transmisión de movimiento.

También se instalarán las correspondientes protecciones que variarán en función del tipo de motor y actuador instalado.

Para los equipos de corriente continua se instalarán fusibles del alcance estimado en función de los valores de corriente de los equipos dispuestos y se retirarán los térmicos instalados en la actualidad.

Por el contrario si algún equipo es de corriente alterna se dispondrá de un interruptor automático y un térmico como protección para él.

Todo el bastidor se instalará dentro de un armario eléctrico metálico cuyas protecciones sean de exterior garantizando su estanqueidad frente a polvo y agua.

El armario eléctrico será de la marca Rittal, su material principal acero y contará con un grado de protección IP66 frente a polvo y agua. El modelo es el AE1338500.

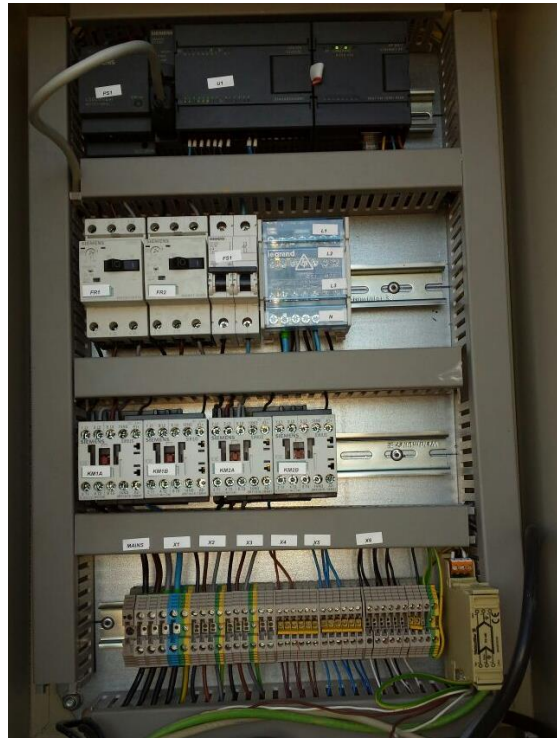


Figura 9.1 – Cuadro de control de los seguidores solares instalados en Golpejar de la Sobarriba

El armario contará con unas dimensiones de 600x380x210mm y tendrá una chapa en el interior sobre la que se taladrará para insertar unos tornillos que fijen el bastidor.

Para la fijación del armario se dispondrán dos perfiles separados una distancia suficiente para poder colocar los accesorios de acoplamiento en pared.

En el Anexo de catálogos se especifican las características del armario.

9.2 Programa de seguimiento astronómico

El programa de seguimiento astronómico que se implementará en el autómata y que registrará el giro del sistema de seguimiento es una aproximación que se deberá ir mejorando mediante pruebas a su funcionamiento.

Lo que a continuación se describe es la base sobre la que hay que apoyarse para poder construir un código optimizado para nuestros componentes.

Con el siguiente programa lo que podremos obtener es la elevación del Sol respecto a la horizontal, el azimut respecto al norte, la hora de salida y la puesta de Sol y la duración del día.

Para realizar la programación emplearemos el software de Siemens TIA Portal V13. Además para programar en SCL necesitaremos una versión de firmware en el autómatas 2.2 o superior.

El código que se muestra a continuación ha sido desarrollado de manera ajena al proyecto aunque se va a implementar en el autómatas del seguidor.

Como parámetros de entrada necesitaremos:

- LocalLatitude– número decimal, positivo para el hemisferio norte y negativo para el hemisferio sur.
- LocalLongitude – número decimal, positivos para meridianos al Este de Greenwich y negativos para el Oeste del meridiano de Greenwich.
- Elevation – número decimal que representa la elevación sobre el nivel del mar.
- TimeZone – número decimal que representa la zona horaria de la ubicación.
- DayLightAdjustement – (+1) en horario de verano y (0) en horario de invierno.
- ActualDateAndTime – se obtendrá del reloj del PLC.

Los parámetros de salida que nos dará el Function Bloc (FB) del programa introducido al autómatas serán:

- AltitudeAngle – número decimal que representa la altura del Sol respecto a la horizontal.
- AzimuthAngle – número decimal que representa el ángulo existente entre la referencia (en este caso el Norte) y la proyección de la línea formada entre el Sol y el observador.
- SunriseTime – hora de salida del Sol en datos DTL.
- SunsetTime – hora de puesta del Sol en datos DTL.
- SunDurationTime – duración del día en datos de tiempo
- IsDay – booleano que indica que comienza el día.

- IsNight – booleano que indica que comienza la noche.

La existencia en un país del ajuste horario verano/invierno obedece a criterios económicos y políticos y nos afecta en cuanto a la programación del seguidor ya que la hora solar está determinada por la hora civil y las correcciones pertinentes aplicadas.

El autómata incorpora una función que nos permite obtener la hora real (RD_LOC_T) y si además consulta el RET_VAL de la función se puede obtener el ajuste horario.

En lógica de contactos eso se puede determinar como:

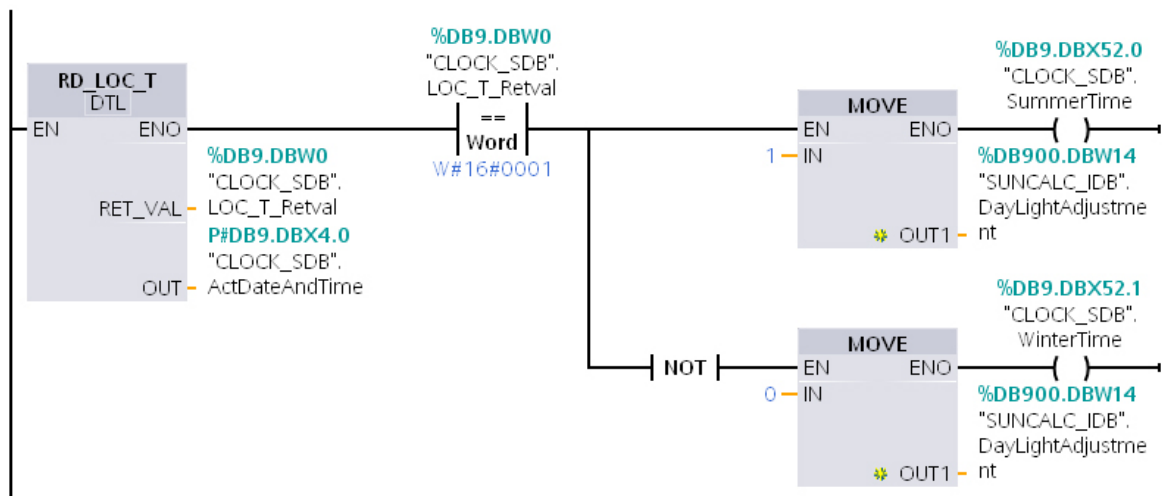


Figura 9.2 – Determinación del ajuste horario con lógica de contactos en el TIA Portal de Siemens

El primer paso en la programación es la declaración de parámetros del programa. Estos parámetros pueden ser tanto variables de entrada o de salida como términos estáticos o contantes que se emplean en operaciones como puede ser el número π o las conversiones angulares.

```
// Input parameters
//-----
// LocalLatitude:      Real
// LocalLongitude:     Real
// Elevation:          Real
// TimeZone:           Int
// DayLightAdjustment: Int
// ActualDateAndTime:  DTL

// Output parameters
//-----
// AltitudeAngle:     Real
```

```
// AzimuthAngle:      Real
// SunRiseTime:       DTL
// SunSetTime:        DTL
// SunDurationTime:   Time
// IsDay:             Bool
// IsNight:           Bool
// PreSet:            Bool

// Static declarations
//-----
// #RadiansToDegrees      Real
// #DegreesToRadians      Real
// #Meridian              Real
// #HoursAfterMidnight    Real
// #MinutesAfterMidnight  Real
// #UT                    Real
// #CorrectedYear         UInt
// #CorrectedMonth        UInt
// #t                     Real
// #g                     Real
// #gn                    Real
// #C                     Real
// #L                     Real
// #Alpha                 Real
// #GHA                   Real
// #GHAn                  Real
// #Obliquity             Real
// #Declination           Real
// #EotAdjustment         Real
// #ClockTimeToLSOTAdjustment Real
// #SolarHourAngle        Real
// #ApparentSolarTime     Real
// #SolarMinutesAfterMidnight Real
// #whichDay              Int
// #HourAngle             Real
// #PreAzimuthAngle       Real
// #x                     Bool
// #SunRiseSetLSOTMinutes Real
// #SunRiseTime_R         Real
// #SunSetTime_R          Real
// #SunDurationTime_R     Real
// #RHour                 Real
// #RMin                  Real
// #RSec                  Real
// #IHOURL                Int
// #IMIN                  Int
// #ISEC                  Int
```

Una vez realizada la definición de parámetros de operación se introducirá el código que nos permitirá obtener los datos necesarios para conocer la posición del Sol de manera que el autómatas envíe una señal que inicie el movimiento. El código deberá ser compilado como un bloque de función o FB dentro del TIA Portal.

```

// Define Radians and Degrees conversion
// -----
#RadiansToDegrees := 57.295779513082323;
#DegreesToRadians := 0.017453292519943295;

#Meridian := -15.0 * INT_TO_REAL(#TimeZone);

// Calculate Hours after midnight
// -----
#HoursAfterMidnight := INT_TO_REAL(#ActualDateAndTime.HOUR) +
                      INT_TO_REAL(#ActualDateAndTime.MINUTE) / 60.0 +
                      INT_TO_REAL(#ActualDateAndTime.SECOND) / 3600.0;

// Calculate Minutes after midnight
// -----
#MinutesAfterMidnight := INT_TO_REAL(#ActualDateAndTime.HOUR) * 60.0 +
                        INT_TO_REAL(#ActualDateAndTime.MINUTE) +
                        INT_TO_REAL(#ActualDateAndTime.SECOND) / 60.0;

// calculate Universal Time
// -----
#UT := #HoursAfterMidnight - INT_TO_REAL(#TimeZone) -
INT_TO_REAL(#DayLightAdjustment);

IF #ActualDateAndTime.MONTH > 2 THEN
    #CorrectedYear := #ActualDateAndTime.YEAR;
    #CorrectedMonth := #ActualDateAndTime.MONTH - 3;
ELSE
    #CorrectedYear := #ActualDateAndTime.YEAR - 1;
    #CorrectedMonth := #ActualDateAndTime.MONTH + 9;
END_IF;

#t := ((#UT / 24.0) + USINT_TO_REAL(#ActualDateAndTime.DAY) +
      DINT_TO_REAL(FLOOR(30.6 * USINT_TO_REAL(#CorrectedMonth) + 0.5)) +
      DINT_TO_REAL(FLOOR(365.25 * (UINT_TO_REAL(#CorrectedYear) -
1976.0))) - 8707.5) / 36525.0;

#g := 357.528 + 35999.05 * #t;

#gn := "NormalizeTo360"(#g);

#C := (1.915 * SIN(#gn * #DegreesToRadians)) +

```

```

        (0.02 * SIN((2.0 * #gn) * #DegreesToRadians));

#L := 280.46 + (36000.77 * #t) + #C;

#Alpha := #L - 2.466 * SIN((2.0 * #L) * #DegreesToRadians) +
          0.053 * SIN((4.0 * #L) * #DegreesToRadians);

#GHAn := #UT * 15.0 - 180.0 - #C + #L - #Alpha;
#GHA := "NormalizeTo360"(#GHAn);

#Obliquity := 23.4393 - 0.013 * #t;

#Declination := ATAN(TAN(#Obliquity * #DegreesToRadians) * SIN(#Alpha *
#DegreesToRadians));
#Declination := #Declination * #RadiansToDegrees;

#EotAdjustment := (#L - #C - #Alpha) / 15.0; // EOT adjustment in
hours

#ClockTimeToLSOTAdjustment := ((#LocalLongitude - #Meridian) / 15.0) -
                               #EotAdjustment + #DayLightAdjustment;

#SolarHourAngle := 0.0;
#SolarHourAngle := #GHA - #LocalLongitude;
#TempReal := "NormalizeTo180"(#SolarHourAngle);
#SolarHourAngle := #TempReal;

#ApparentSolarTime := 0.0;
#TempReal := 12.0 + #SolarHourAngle / 15.0;
#ApparentSolarTime := "NormalizeTo24"(#TempReal);

#SolarMinutesAfterMidnight := #MinutesAfterMidnight -
(#ClockTimeToLSOTAdjustment * 60.0);

#whichDay := 0;

#HourAngle := (#SolarMinutesAfterMidnight - 720.0) / 4.0 * -1.0;

#AltitudeAngle := #RadiansToDegrees *
                  (ASIN((SIN(#LocalLatitude * #DegreesToRadians) *
SIN(#Declination * #DegreesToRadians)) -
(COS(#LocalLatitude * #DegreesToRadians) *
COS(#Declination * #DegreesToRadians) *
COS((#SolarHourAngle + 180.0) *
#DegreesToRadians))));

#PreAzimuthAngle := #RadiansToDegrees * ACOS((COS(#Declination *
#DegreesToRadians) *
((COS(#LocalLatitude * #DegreesToRadians) *
TAN(#Declination * #DegreesToRadians)) +
(SIN(#LocalLatitude * #DegreesToRadians) *

```

```

        COS((#SolarHourAngle + 180.0) * #DegreesToRadians)))) /
        COS(#AltitudeAngle * #DegreesToRadians));

#x := False;
IF (#HourAngle > 0.0) THEN
    IF (#HourAngle < 180.0) THEN
        #x := True;
    END_IF;
END_IF;

IF #x THEN
    #AzimuthAngle := (360.0 - #PreAzimuthAngle);
ELSE
    #AzimuthAngle := #PreAzimuthAngle;
END_IF;

#SunRiseSetLSotMinutes := #RadiansToDegrees * ACOS(-1.0 *
    (SIN(#LocalLatitude * #DegreesToRadians) *
    SIN(#Declination * #DegreesToRadians) -
    SIN((-0.8333 - 0.0347 * SQRT((#Elevation))) *
#DegreesToRadians)) /
    COS(#LocalLatitude * #DegreesToRadians) /
    COS(#Declination * #DegreesToRadians)) * 4.0;

#SunRiseTime_R := ((720.0 - #SunRiseSetLSotMinutes +
(#ClockTimeToLSOTAdjustment * 60.0));
#TempReal := #SunRiseTime_R;
#RSec := DINT_TO_REAL(FLOOR((#TempReal - DINT_TO_REAL(FLOOR(#TempReal)))
* 60.0));
#RSec := #RSec + DINT_TO_REAL(FLOOR(#TempReal)) * 60.0;
#RHour := DINT_TO_REAL(FLOOR(#RSec / 3600.0));
#RMin := DINT_TO_REAL(FLOOR((#RSec / 3600.0 - #RHour) * 60.0));
#RSec := #RSec - #RHour * 3600.0 - #RMin * 60.0;
IF #RSec >= 30.0 AND #RMin < 59 THEN
    #RMin := #RMin + 1.0;
END_IF;
#IHOURL := REAL_TO_INT(#RHour);
#IMIN := REAL_TO_INT(#RMin);
#ISEC := REAL_TO_INT(#RSec);
#SunRiseTime := #ActualDateAndTime;
#SunRiseTime.HOUR := INT_TO_USINT(#IHOURL);
#SunRiseTime.MINUTE := INT_TO_USINT(#IMIN);
#SunRiseTime.SECOND := INT_TO_USINT(#ISEC);

#SunSetTime_R := ((720.0 + #SunRiseSetLSotMinutes +
(#ClockTimeToLSOTAdjustment * 60.0));
#TempReal := #SunSetTime_R;
#RSec := DINT_TO_REAL(FLOOR((#TempReal - DINT_TO_REAL(FLOOR(#TempReal)))
* 60.0));

```



```

#RSec := #RSec + DINT_TO_REAL(FLOOR(#TempReal)) * 60.0;
#RHour := DINT_TO_REAL(FLOOR(#RSec / 3600.0));
#RMin := DINT_TO_REAL(FLOOR((#RSec / 3600.0 - #RHour) * 60.0));
#RSec := #RSec - #RHour * 3600.0 - #RMin * 60.0;
IF #RSec >= 30.0 AND #RMin < 59 THEN
    #RMin := #RMin + 1.0;
END_IF;
#IHOURL := REAL_TO_INT(#RHour);
#IMIN := REAL_TO_INT(#RMin);
#ISEC := REAL_TO_INT(#RSec);
#SunSetTime := #ActualDateAndTime;
#SunSetTime.HOUR := INT_TO_USINT(#IHOURL);
#SunSetTime.MINUTE := INT_TO_USINT(#IMIN);
#SunSetTime.SECOND := INT_TO_USINT(#ISEC);

#SunDurationTime_R := (#SunSetTime_R - #SunRiseTime_R) / 60.0;

IF #ActualDateAndTime >= #SunRiseTime AND #ActualDateAndTime <=
#SunSetTime THEN
    #IsDay := true;
    #IsNight := false;
ELSE
    #IsDay := false;
    #IsNight := true;
END_IF;

IF #ActualDateAndTime >= (#SunSetTime - 1) THEN
    #PreSet := true;
ELSE
    #PreSet := false;
END_IF;

```

Dentro del código existen funciones de “NormalizeTo”. Estas operaciones lo que hacen es normalizar a formatos específicos números decimales que representan fechas, horas y ángulos. Estas operaciones también deberán de ser especificadas y detalladas en el código.

La primera es:

```

//*****
// Assign to the FUNCTION the name=NormalizeTo24
//*****

// Input parameters
//-----
// aTime:      Real

// Return variable
//-----

```

```
// Ret_Val      Real

#NormalizeTo24 := (#aTime - DINT_TO_REAL(FLOOR(#aTime / 24.0)) * 24.0);
```

Con esta función lo que se busca es convertir las horas dadas en número decimal, en formato hora.

También tenemos la conversión en ángulos por ello la siguiente función es la de "NormalizeTo180"

```
/**
// Assign to the FUNCTION the name=NormalizeTo180
**/

// Input parameters
//-----
// Angle:      Real

// Temporary variables
//-----
// TempAngle:  Real

// Return variable
//-----
// Ret_Val     Real

#TempAngle := "NormalizeTo360"(#Angle);
IF "NormalizeTo360"(#Angle) > 180.0 THEN
  #TempAngle := "NormalizeTo360"(#Angle) - 360.0;
END_IF;
#NormalizeTo180 := #TempAngle;
```

Se deberá definir otra función que normalice ángulos a 360.

```
/**
// Assign to the FUNCTION the name=NormalizeTo360
**/

// Input parameters
//-----
// Angle:      Real

// Return variable
//-----
// Ret_Val     Real
```

```
#NormalizeTo360 := (#Angle - DINT_TO_REAL(FLOOR(#Angle / 360.0)) * 360.0);
```

Lo que este código realiza es ubicar la posición del Sol y parámetros temporales importantes como la duración del día, las horas de salida y puesta del Sol y si en determinado momento es día o noche. Es necesario a posteriori, conociendo los datos técnicos de los equipos de transmisión de movimiento, programar el giro en función de estos parámetros calculados.

El código por tanto no queda cerrado y es necesario aplicarle modificaciones en cada caso concreto y en función de los dispositivos instalados. Además se deberán realizar pruebas hasta dar con un código que sea lo más preciso posible.

Para la elaboración del control de movimiento se empleará el manual Simatic S71200 Motion Control.

10 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

La transmisión de movimiento es parte esencial en el seguidor solar. La mayor o menor precisión del movimiento serán fundamentales para mejorar la eficiencia.

Tenemos dos movimientos principalmente dentro del seguidor. El primero se realiza sobre un eje vertical que lo que consigue es mantener el panel orientado lo más perpendicular al azimut solar. El segundo movimiento se realiza en un eje horizontal de manera que el panel se mantenga perpendicular al cenit solar.

10.1 Transmisión de movimiento en el eje de seguimiento azimutal

Nuestro sistema de seguimiento contará en su parte de seguimiento azimutal con un sistema guía de carga pesada que se compondrá de una corona dentada interiormente, fijada a la base del cuerpo de la estructura, y que contará con cuatro rodamientos laterales fijos que facilitarán el giro e impedirán desplazamientos laterales además de mantener el anillo elevado de la base, y un piñón con un motor también estático que se encargará de accionar la corona dentada y por extensión el cuerpo de la estructura lo que posibilitará el seguimiento de este ángulo acimutal. El sistema guía estará suministrado por la compañía HEPCO® y su montaje no se describe en este proyecto debido a que es la propia compañía suministradora la que se encarga de su disposición.

El anillo como hemos mencionado contiene en su cara interior la corona dentada y en la exterior cuenta con un acabado específico para adaptarse a los rodamientos.

Está fabricado íntegramente en acero inoxidable.

El modelo se denomina HDRE512SS.

Lo que esto implica es que están realizados con la V externa (cara de contacto con el rodamiento), su diámetro exterior es de 512 mm y que está realizado en acero inoxidable (SS).



Figura 10.1 – Vista del anillo de carga (sin corona dentada)

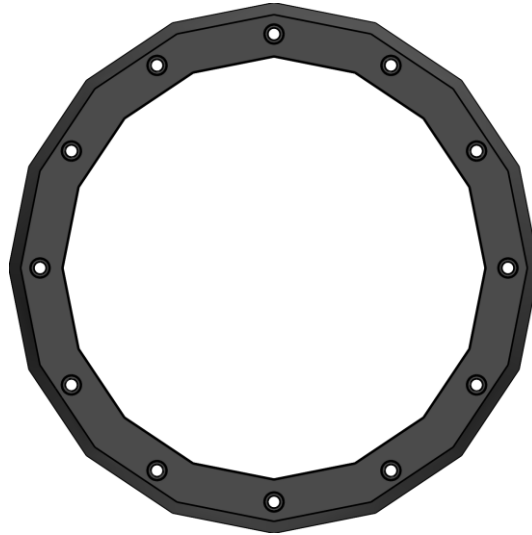


Figura 10.2 – Planta del anillo de carga (sin corona dentada)

Los tornillos mediante los que se fijará la base al anillo son M10 normalizados según DIN 912 y se corresponden con tornillos de cabeza cilíndrica y hexágono interior.

Para la fijación a la base se realizarán 12 taladros en la chapa metálica que sean coincidentes con los taladros del anillo. Los taladros que por configuración de los perfiles del seguidor no se puedan realizar se omitirán previa valoración del cambio sobre el anillo de carga. En la parte inferior de la chapa se incorporarán los cierres del conjunto (tuercas) con lo que no será necesario que los taladros sean roscados. Toda la tornillería vendrá incorporada con el sistema de carga pesada.

La V externa tiene una sección similar a la de la siguiente figura.

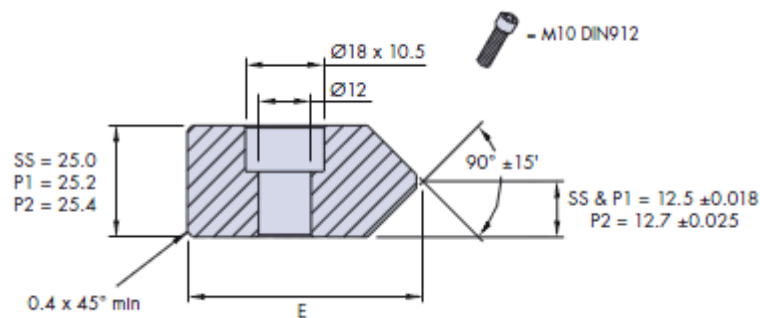


Figura 10.3 – Sección del anillo con la V externa

Otra parte importante del conjunto son los rodamientos. Estos rodamientos están compuestos por una doble hilera de bolas con elevada capacidad de carga radial y axial. Además están pavonados y cuentan con un tornillo de alta resistencia y un casquillo separador.

Dentro del diseño tenemos presentes dos tipos de rodamientos.

- THJR95CNS22 – que son rodamientos con fijación mediante agujero pasante de 95 mm de diámetro, concéntricos, con sello de nitrilo y con un grosor de placa interna (T) de 22 mm.
- THJR95CNS22 - que son rodamientos con fijación mediante agujero pasante de 95 mm de diámetro, excéntricos, con sello de nitrilo y con un grosor de placa interna (T) de 22 mm.

El número de cada uno será de 2 unidades.

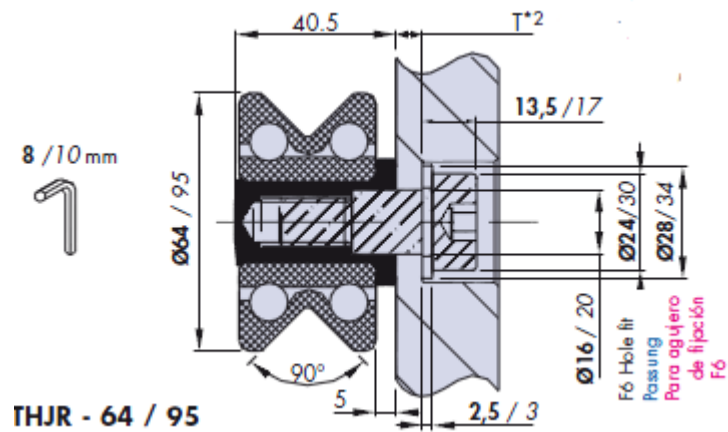


Figura 10.4 – Esquema de los rodamientos

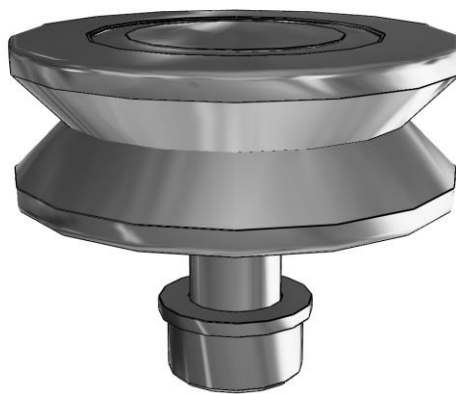


Figura 10.5 – Detalle del rodamiento concéntrico



Figura 10.6 – Planta del rodamiento concéntrico

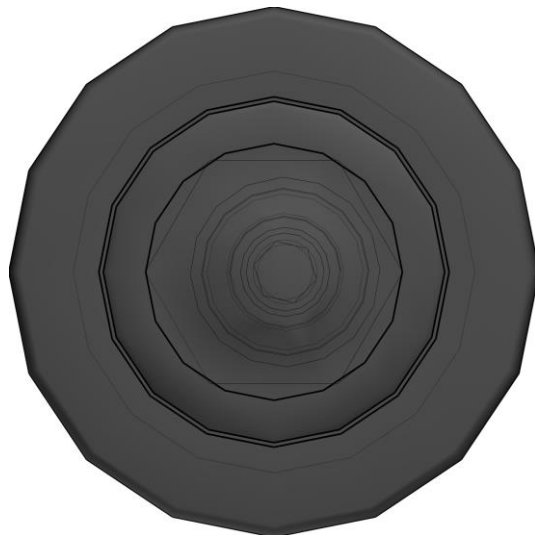


Figura 10.7 – Planta del rodamiento excéntrico

En la imagen se puede apreciar la excentricidad del rodamiento en su configuración interna.

La otra parte fundamental es el piñón que transmite el movimiento generado por el motor a la corona dentada.

El piñón es un modelo HP4X24.

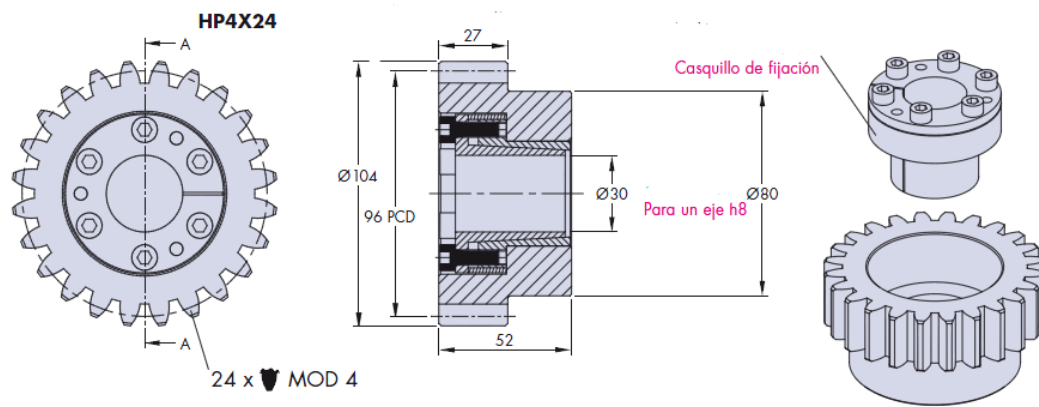


Figura 10.8 – Piñón HPX24

El piñón cuenta con 24 dientes con un ángulo de presión de 20° . Viene con casquillo de fijación para acoplarlo a un motor con eje de tolerancia h8.

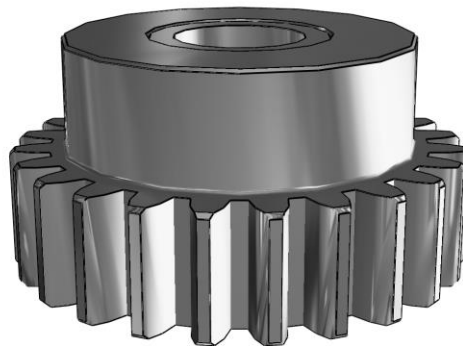


Figura 10.9 – Detalle del piñón HPX24



Figura 10.10 – Detalle del piñón HPX24 de la zona de fijación

Durante su funcionamiento se deberá lubricar de manera que se mejore el movimiento y se evite corrosión y fricción innecesarias y que pueden deteriorar el dispositivo.

La lubricación se realizará mediante la aplicación de aceites minerales tanto en forma aerosol como grasa de aplicación directa. Se deberán mantener reconocimientos visuales periódicos para comprobar que la lubricación no se ha perdido en alguna zona, detectar suciedad que pueda dañar el sistema y además comprobar el apriete de pernos, pasadores o tornillos de amarre.

10.1.1 Motor

El motor será el encargado de transmitir el giro desde el piñón que acopla en su eje hasta la corona dentada que va acoplada a la estructura. Este motor deberá tener una capacidad de carga que ronde los 2000 N, con lo que el par motor, para un piñón de 96 mm de diámetro como el nuestro, será de:

$$Par\ motor = F(N) \cdot r(m) = 2000N \cdot 0.048m = 96Nm$$

Además la velocidad de giro no deberá ser especialmente elevada ya que por cada ciclo de cálculo de posición solar por el autómata nos moveremos unos pocos grados, aproximadamente 7°, con lo que si la velocidad es elevada pueden generarse desajustes en la posición final debido a la inercia.

A causa de estos requisitos instalaremos un motor con reductora que nos de unos parámetros de salida adecuados a nuestra aplicación.

El motor será de la casa Parvalux modelo SD8 LWS. El motor es de corriente alterna con lo que no necesitamos adaptador. Las características más importantes son:

- Potencia 35 W
- Velocidad de giro del motor 1400 r.p.m.
- Velocidad de giro con reducción 0,62 r.p.m.
- Par motor 100 Nm
- Monofásico
- Protección IP 54

El grado de protección del motor es la IP 54 por lo que es apto para intemperie.

El eje del motor elegido presenta un diámetro de eje de 15 mm frente a los 30 que tiene nuestra hembra del piñón con lo que necesitaremos un adaptador en cabeza del eje que nos permita alcanzar ese diámetro o la otra posible solución es la de encargar a un tornero que nos realice de un sólido de acero una pieza con un vaciado de 15 mm y cuyo diámetro exterior sea de 30mm para poder insertar dentro el eje del motor y también en el piñón que tenemos prediseñado. Esto se valorará a posteriori.

Es importante que el motor lleve un freno interno que permita el bloqueo mientras no existe movimiento en el eje, así lo que se consigue es que en caso de que exista viento racheado, este no consiga hacer retroceder al seguidor provocando la pérdida de posicionamiento y por tanto precisión en el seguimiento del Sol.

Los datos del conjunto motor-reductora elegido vienen en el Anexo de catálogos.

Para colocar el motor se creará una base sobre la que atornillar el conjunto. Esta base se atornillará también a la base del seguidor para facilitar un posible cambio debido a deterioro del motor y la imposibilidad de sustituirlo por el mismo modelo u otro similar.

La elección de un motor de corriente alterna responde principalmente a que los de continua necesitan mucho más mantenimiento y por lo general son más costosos ya que internamente tienen una elevada complejidad.

Además el motor de alterna no requiere de un convertidor de continua acoplado por lo que también se disminuyen costes y espacio.

10.2 Transmisión de movimiento en el eje de seguimiento cenital

En el eje de seguimiento cenital lo que necesitamos es un brazo telescópico que permita el movimiento lineal del marco del panel.

Para esta aplicación se ha escogido un actuador lineal eléctrico con husillo de la compañía Linak®.

La diferencia de longitud entre la posición extendida y la más recogida es de 33 cm, con lo que la suma de brazo y cuerpo del actuador deberán alcanzar esta cifra para conseguir las posiciones requeridas para la placa fotovoltaica.

En cuanto a la carga que el actuador deberá de soportar debemos diferenciar entre la dinámica y la estática.

La carga estática será la que soporte mientras no exista movimiento en el actuador y deberá resistir las cargas dinámicas de viento y nieve más el peso del conjunto marco-panel.

La carga dinámica no considerará efecto de nieve ya que cuando se desarrolle la fase de extensión del brazo del actuador la nieve no estará acumulada debido a que tendrá cierta inclinación previa y parte de esta deslizará.

El modelo elegido como actuador lineal es el Linak LA-30. Este actuador cumple los requisitos mecánicos mínimos exigidos por nuestro seguidor además de contar con potenciómetro mediante el cual controlaremos el movimiento y la posición. El motor del actuador será un motor de corriente continua de 24 V. Las protecciones asociadas serán unos fusibles insertados en el armario eléctrico.

El paso del husillo será de 6 mm. La carga máxima tanto en estático como en movimiento será de 3000 N. La velocidad de desplazamiento a media carga alcanza un valor de 13,8 mm/s y a plena carga de 7 mm/s.

La corriente a 24 V es de 4 amperios.

Durante la fase de prueba del seguidor se desarrollarán mejoras sobre el actuador que mejoren la precisión en el movimiento y la posición y además faciliten el control por medio del autómatas. Una de las mejoras planteadas será la de implementar sensores de principio y final de carrera.

Las características de la familia de actuadores LA-30 vienen detalladas en el Anexo de catálogos.

El modelo de referencia tomado será el LA 30 2 1 X 0 – 4 0 400 4 2 X.

La referencia podrá variar en función del presupuesto y de las necesidades finales de actuación y control.

La fijación a la estructura y al marco se realizará mediante la pieza indicada en los planos y que se puede ver también en la figuras de ambos componentes y también un pasador cilíndrico de diámetro 10 mm que irá taladrado en sus extremos para introducirle un pasador “tipo beta” que fije al pasador cilíndrico y evite desplazamientos axiales. El mecanismo es similar al del pasador del eje horizontal relativo al seguimiento cenital del Sol.

La longitud de este pasador será de 35 mm.

Las principales dimensiones del actuador son las siguientes.

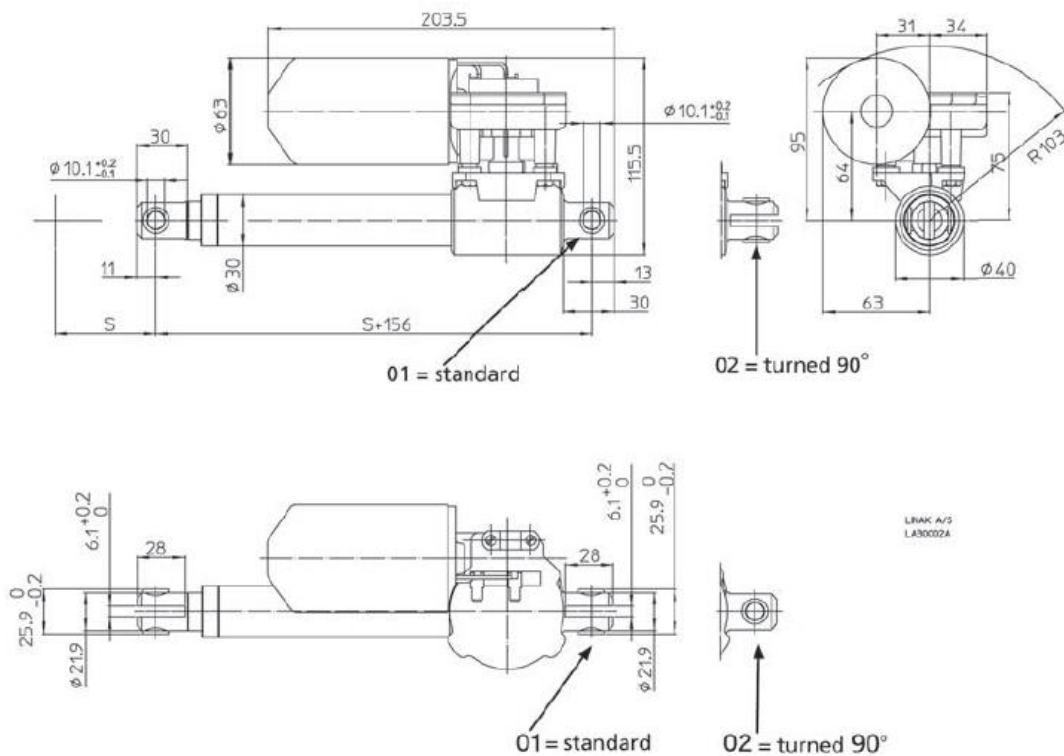


Figura 10.11 – Dimensiones del actuador lineal

11 PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO

La norma de referencia para el cálculo de la protección contra el rayo es la norma UNE 21186:2011.

Una instalación de protección frente al rayo diseñada acorde a esta norma no puede, como en todo proceso en el que intervienen fenómenos naturales, garantizar la protección absoluta, pero si reduce significativamente el riesgo de daño debido a impactos de rayos en las estructuras protegidas.

La norma trata la protección, mediante pararrayos con dispositivo de cebado, contra los impactos directos del rayo en estructuras corrientes (de altura inferior a 60 m) y zonas abiertas.

Existen lugares en los que la protección frente al rayo resulta evidente, por ejemplo:

- Zonas donde se agrupen personas
- Zonas donde el suministro de servicios básicos es imprescindible
- Zonas de gran densidad de impacto de rayo
- Edificios muy altos o aislados
- Edificios que contengan materiales sensibles (explosivos o inflamables), o patrimonio cultural irremplazable

La norma clasifica las estructuras en función del tipo y los posibles efectos del rayo en ellas.

Tabla 11.1 – Clasificación de estructuras y efectos del rayo según Anexo B, Norma UNE 21186:2011

Clasificación de las estructuras	Tipo de estructura	Efectos de rayo
	Casa particular	Perforación de las instalaciones eléctricas, incendio y daños materiales que se limitan normalmente a los objetos próximos al punto de impacto o de paso de la descarga
Estructuras comunes (véase nota)	Granja	Riesgos de incendio y de chispas peligrosas. Riesgo de corte de corriente: muerte del ganado debido a la pérdida de control de la ventilación y de la distribución de los alimentos. Riesgo de tensión de paso
	Teatros, escuelas, grandes superficies, áreas deportivas.	Riesgo de pánico y de fallo de las alarmas de incendio, causando retraso en la lucha contra el fuego
	Bancos, compañías de seguros, sociedades comerciales, centro de salud	Como los anteriores, más problemas con pacientes de cuidados intensivos y dificultad de auxilio a las personas impedidas
	Industrias	Efectos adicionales dependiendo del contenido de las fábricas, desde daños menores hasta inaceptables y a la pérdida de producción
	Museos y emplazamientos arqueológicos	Pérdidas irremplazables de patrimonio cultural

La evaluación de los riesgos se realiza en función de diversos factores.

- Entorno del edificio
- Naturaleza de la estructura del edificio
- Valor de su contenido
- Ocupación humana y riesgo de pánico
- Consecuencias que tendrían sobre el entorno

Como primer paso en el cálculo de estas instalaciones exteriores de protección contra el rayo (IEPR) realizaremos un estudio previo compuesto de dos partes.

- Estudio del riesgo de caída de rayos y elección del nivel de protección.
- Emplazamiento de los diferentes elementos de la instalación.

11.1 Estudio previo

La selección de un nivel de protección adecuado se basa en la frecuencia de impactos de rayo N_d , prevista sobre la estructura o zona a proteger, y en la frecuencia anual aceptable de rayos N_c , establecida para esa zona.

11.1.1 Determinación de N_d y N_c

Para el cálculo de N_d necesitamos primero establecer la densidad de impacto de rayos sobre el terreno N_g . La densidad de impactos de rayo sobre el terreno, expresado en número de rayos por km^2 , se determina mediante el empleo del nivel cerámico local N_k .

$$N_g = 0,02 \cdot N_k^{1,67}$$

El valor de N_k para la ciudad de León es de 18.

Por tanto la densidad de impactos sobre el terreno es:

$$N_g = 0,02 \cdot 18^{1,67} = 2,5 \text{ } N_g / \text{km}^2, \text{ año}$$

La frecuencia anual media N_d alcanza un valor de:

$$N_d = N_g \cdot 1,1 \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} / \text{año}$$

Donde:

- 1,1 es un coeficiente de seguridad
- A_e es la superficie de captura equivalente de la estructura aislada (m^2)
- C_1 es el coeficiente relacionado con el entorno

El parámetro A_e se define como la superficie sobre el suelo que tiene la misma probabilidad anual que la estructura de recibir el impacto de un rayo.

Vamos a considerar el seguidor como un único prisma de manera que nos coloquemos de lado de la seguridad.

La fórmula para determinar A_e es.

$$A_e = L \cdot l + 6 \cdot H \cdot (L + l) + 9 \cdot \pi \cdot H^2$$

Siendo:

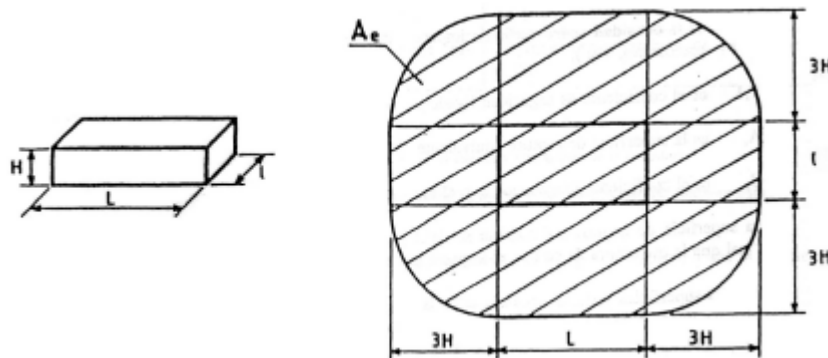


Figura 11.1 – Cálculo de la superficie de captura equivalente

En nuestra estructura $L=l=2,5$ m y $H=1,6$ m.

Por tanto:

$$A_e = 2,5 \cdot 2,5 + 6 \cdot 1,6 \cdot 5 + 9 \cdot \pi \cdot 1,6^2 = 126,6 \text{ m}^2$$

El coeficiente C_1 se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 11.2 – Determinación del coeficiente C_1

Situación relativa a la estructura	C_1
Estructura situada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altos	0.5
Estructura rodeada de estructuras más bajas	0.75
Estructuras aislada	1
Estructura aislada situada sobre una colina o promontorio	2

En el caso de nuestra estructura C_1 tomará un valor de 0,75.

El valor de la frecuencia anual media de impactos directos de rayos sobre la estructura será:

$$N_d = 2,5 \cdot 1,1 \cdot 126,6 \cdot 0,75 \cdot \frac{10^{-6}}{\text{año}} = 0,000261 \text{ impactos/año}$$

En el caso de N_c necesitaremos definir cuatro parámetros como paso previo a su determinación.

$$N_c = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{C}$$

Siendo:

$$C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$$

C_2 es un coeficiente relacionado con la estructura.

Tabla 11.3 – Coeficiente de estructura C_2

Estructura \	7.3.2 Metal	7.3.3 Común	Inflamable
Metal	0.5	1	2
Común	1	1	2.5
Inflamable	2	2.5	3

El valor en este caso será de 0,5 al ser una estructura de metal casi íntegramente.

C_3 es un coeficiente definido en función del contenido de la estructura.

Tabla 11.4 – Coeficiente de contenido de la estructura C_3

Sin valor o no inflamable	0.5
Valor común o normalmente inflamable	2
Gran valor o particularmente inflamable	5
Valor excepcional, irremplazable o muy inflamable, explosivo	10

En nuestra estructura se encuentran equipos de valor común por lo que el coeficiente tomará un valor de 2.

C_4 es un coeficiente que toma su valor en función de la ocupación de la estructura.

Tabla 11.5 – Coeficiente de ocupación de la estructura C_4

	0.5
Ocupada normalmente	3
De difícil evacuación o riesgo de pánico	7

El empleo de la estructura como equipo docente implica la presencia de humanos en las cercanías. Si bien no es siempre, como medida de seguridad vamos a considerar un valor de 3.

C_5 es un coeficiente que se define en función de las consecuencias sobre el entorno.

Tabla 11.6 – Coeficiente de consecuencias sobre el entorno C_5

Sin necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	1
Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	5
Consecuencia para el entorno	10

En este caso consideraremos un valor 1 ya que el servicio no es totalmente imprescindible y las consecuencias para el entorno no se especialmente elevadas.

C agrupa a todas las posibles consecuencias en función de diversos parámetros considerados. Su valor es:

$$C = C_2 + C_3 + C_4 + C_5 = 3$$

N_c tendrá un valor de:

$$N_c = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{C} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{3} = 0,001$$

11.1.2 Determinación del nivel de protección

Para determinar el nivel de protección se realizará una comparativa entre el valor de la frecuencia aceptable de rayos N_c y el de la frecuencia esperada de rayos N_d .

Esta comparación nos permitirá decidir si es necesaria una protección contra el rayo.

- Si $N_d \leq N_c$ el sistema no requiere de protección.
- Si $N_d \geq N_c$ se debe instalar un sistema de protección contra el rayo. La eficiencia de este sistema de protección será $E \geq 1 - N_c/N_d$.

En nuestro caso particular N_c tiene un valor de 0,001 y N_d de 0,000261 por tanto $N_d < N_c$ y por tanto no necesitamos sistema de protección frente al rayo.

Además, en la azotea del edificio aledaño a la Escuela de Minas donde se va a ubicar el seguidor ya existe un pararrayos y su zona eficaz cubre a la Escuela de Minas También.

Lo que si se realizará será el conexionado de nuestra estructura metálica a la toma de tierra del edificio de minas por si ocurre algún tipo de fallo eléctrico.

12 MONTAJE DEL SEGUIDOR SOLAR

Vamos a detallar cual será el procedimiento de montaje del seguidor de manera resumida marcando unos pasos básicos. El procedimiento puede variar en función de las modificaciones finales del proyecto.

Como se puede observar a lo largo de la memoria, el proyecto cuenta con diversos componentes que son subcontratados a empresas diversas.

Lo primero que realizaremos una vez construido acorde a los planos y las condiciones de este proyecto la estructura en todos sus componentes procederemos a realizar su ensamblaje en el lugar donde se va a instalar.

Lo primero que se realizará será el acondicionamiento del lugar. Se verificará que se disponen de los servicios básicos necesarios para poder trabajar y poner en funcionamiento el dispositivo como electricidad. Además se retirará la grava de la zona para facilitar la instalación de la base y su asentamiento en el forjado.

Una vez verificada la zona de trabajo se procederá a la colocación de la base en posición la posición óptima para la captación solar que es función de la ubicación.

Una vez asentada la base se instalará el anillo de carga y el cuerpo de la estructura, el cual se fijará al propio anillo. Además se fijará a la base el soporte del motor de continua.

Tras la instalación del cuerpo del seguidor se colocará el marco del panel y la placa fotovoltaica y se restringirá su movimiento mediante los pasadores cilíndricos y los pasadores "tipo beta". Los casquillos de rozamiento se instalarán en el taller dentro de los taladros destinados a ello.

Una vez armada la estructura completa se colocará el motor y se ajustará su altura mediante el taladrado del soporte y la posterior fijación a él mediante unos tornillos.

Finalmente se colocará el actuador lineal que será fijado al cuerpo de la estructura y al marco mediante unos pasadores cilíndricos y unos pasadores "tipo beta" a modo de cierre.

Como finalización se fijará el armario eléctrico y se cablearán tanto el actuador como el motor. Se deberán realizar pruebas de calibrado del movimiento y del programa de seguimiento cargado al autómata.

REFERENCIAS

- AENOR. (2011). *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado*. Madrid
- Junta de Castilla y León – EREN. (2002). *Energía solar fotovoltaica, manual del arquitecto*. León
- MECASOLAR®. *Seguidor solar MS Tracker 10+. Manual de usuario, ensamblaje y mantenimiento*.
- Ministerio de Fomento del Gobierno de España. (2008). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Acero*
- Perpiñán Lamigueiro, O. (2009). *Energía Solar Fotovoltaica*.
- De Simón Martín, M. *Fundamentos de Energía Solar*. Universidad de León

- es.rs-online.com
- www.aemet.es
- www.bytex.it
- www.hepcomotion.com
- www.linak.es
- www.mecasolar.com
- www.rittal.com



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

II. ANEXOS



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

CÁLCULOS Y SIMULACIÓN ESTRUCTURAL

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	2
2	TEORÍA DE FALLO DE VON MISES. TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN	3
3	CARGAS DINÁMICAS	8
3.1	CARGA DE NIEVE.....	8
3.2	CARGA DE VIENTO.....	10
3.3	PESO PROPIO	15
4	COMBINACIÓN DE ACCIONES	17
5	ESTABILIDAD DE LA BASE DEL SEGUIDOR	19
6	SIMULACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	25
6.1	BASE Y PASADOR DEL EJE DE SEGUIMIENTO CENITAL.....	25
6.1.1	<i>Distribución de tensiones</i>	26
6.1.2	<i>Desplazamientos generados</i>	28
6.1.3	<i>Deformación unitaria</i>	30
6.1.4	<i>Factor de seguridad</i>	31
6.2	ENGANCHE DEL ACTUADOR LINEAL	33
6.2.1	<i>Distribución de tensiones</i>	34
6.2.2	<i>Desplazamientos generados</i>	35
6.2.3	<i>Deformación unitaria</i>	36
6.2.4	<i>Factor de seguridad</i>	37
6.3	CUERPO DE LA ESTRUCTURA.....	39
6.3.1	<i>Desplazamientos generados</i>	39
6.3.2	<i>Distribución de tensiones</i>	41
6.3.3	<i>Deformación unitaria</i>	43
6.3.4	<i>Factor de seguridad</i>	44
6.4	BASE DEL SISTEMA	46
6.4.1	<i>Distribución de tensiones</i>	47
6.4.2	<i>Desplazamientos generados</i>	48
6.4.3	<i>Deformación unitaria</i>	48
6.4.4	<i>Factor de seguridad</i>	49
	REFERENCIAS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – ENERGÍA DE DISTORSIÓN	4
FIGURA 2.2 – REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN.....	7
FIGURA 3.1 – VALOR BÁSICO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA LA PENÍNSULA IBÉRICA	11
FIGURA 5.1 – CONDICIONES DESESTABILIZADORAS.....	20
FIGURA 5.2 – CONDICIONES DE VUELCO EN DIRECCIÓN NO PREFERENTE (1).....	22
FIGURA 5.3 – CONDICIONES DE VUELCO EN DIRECCIÓN NO PREFERENTE (2).....	22
FIGURA 6.1 – BASE DEL EJE DE SEGUIMIENTO ACIMUTAL.....	26
FIGURA 6.2 – TENSIONES DE VON MISES EN LA BASE DEL EJE DE SEGUIMIENTO CENITAL (1).....	27
FIGURA 6.3 - TENSIONES DE VON MISES EN LA BASE DEL EJE DE SEGUIMIENTO CENITAL (2).....	28
FIGURA 6.4 – DESPLAZAMIENTOS EN LA PIEZA (1).....	29
FIGURA 6.5 – DESPLAZAMIENTOS EN LA PIEZA (2).....	30
FIGURA 6.6 – DESPLAZAMIENTOS EN LA PIEZA (3).....	30
FIGURA 6.7 – DEFORMACIONES UNITARIAS EN LA PIEZA.....	31
FIGURA 6.8 – FACTOR DE SEGURIDAD EN LA PIEZA (1)	32
FIGURA 6.9 – FACTOR DE SEGURIDAD EN LA PIEZA (2)	33
FIGURA 6.10 – DESCOMPOSICIÓN DE LA CARGA A APLICAR	34
FIGURA 6.11 – TENSIONES DE VON MISES EN EL ENGANCHE DEL ACTUADOR LINEAL.....	35
FIGURA 6.12 – DESPLAZAMIENTOS EN GENERADOS EN EL ENGANCHE DEL ACTUADOR LINEAL	36
FIGURA 6.13 – VISTA LATERAL DE LOS DESPLAZAMIENTOS GENERADOS SOBRE LA PIEZA.....	36
FIGURA 6.14 – DEFORMACIÓN UNITARIA EN LA PIEZA	37
FIGURA 6.15 – COMPROBACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA PIEZA	38
FIGURA 6.16 – DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA PIEZA	39
FIGURA 6.17 – DESPLAZAMIENTO EN EL MARCO APLICANDO RESTRICCIÓN.....	40
FIGURA 6.18 – DESPLAZAMIENTO EN EL MARCO SIN APLICAR RESTRICCIÓN.....	40
FIGURA 6.19 – TENSIONES DE VON MISES EN EL CUERPO DE LA ESTRUCTURA	42
FIGURA 6.20 – TENSIONES DE VON MISES CON LA VISTA EN PLANTA.....	43
FIGURA 6.21 – DEFORMACIÓN UNITARIA DE LA ESTRUCTURA	44
FIGURA 6.22 – FACTOR DE SEGURIDAD EN LA ESTRUCTURA.....	45
FIGURA 6.23 – DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA ESTRUCTURA	46
FIGURA 6.24 – REPARTO DE TENSIONES EN LA BASE DEL SISTEMA.....	47
FIGURA 6.25 – DISTRIBUCIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LA BASE	48
FIGURA 6.26 – DEFORMACIÓN UNITARIA EN LA BASE	49

FIGURA 6.27 – DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA BASE	50
FIGURA 6.28 – ZONAS DE LA ESTRUCTURA EN LAS QUE NO SE CUMPLE EL FACTOR DE SEGURIDAD.....	51

INDICE DE TABLAS

TABLA 3.1 – SOBRECARGA DE NIEVE EN CAPITALS DE PROVINCIA Y CIUDADES AUTÓNOMAS.....	9
TABLA 3.2 – TABLA DE COEFICIENTES EÓLICOS PARA DIFERENTES TIPOS DE ENTORNO.....	12
TABLA 3.3 – COEFICIENTES EÓLICOS EN PLANOS Y DIEDROS EXENTOS	13

1 INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar la construcción del seguidor debemos someter el modelo a diversas pruebas que determinarán su aptitud estructural. Esto es de vital importancia ya que el seguidor se va a ubicar en una zona exterior donde se verá sometido a esfuerzos y a efectos que pueden dañar la estructura. Por ello debemos sobredimensionar los componentes con el objetivo de que soporte al menos ciertos esfuerzos de considerable magnitud permitiéndole mantener su integridad y operatividad.

El programa de diseño empleado, el SolidWorks de la compañía Dassault, ofrece un módulo de simulación con el que se pueden determinar diversos parámetros que son interesantes desde el punto de vista estructural y de la resistencia de materiales. Con estos parámetros que obtenemos y con una correcta interpretación de los mismos debemos ser capaces de concluir si la estructura resistirá o no. Uno de los cálculos fundamentales es la tensión de Von Mises que es la tensión a partir de la cual un material dúctil comienza a ceder en un punto si esta iguala o sobrepasa cierto valor de referencia que suele ser el del límite elástico del material que es la tensión máxima que un material elastoplástico soporta sin deformarse permanentemente.

La simulación consistirá en comprobar que el límite elástico no se iguala o se supera en ningún punto del modelo, en observar la posible deformación provocada y además emplear un factor de seguridad como comprobante final de la estabilidad estructural de las diversas piezas a estudio y de la estructura global.

Para realizar los cálculos, el SolidWorks emplea en su módulo Simulation el Modelo de Elementos Finitos que se basa en subdividir un sólido sometido a cargas y con restricciones aplicadas en partes más pequeñas (elementos) interconectadas entre sí a través de nudos del elemento. De esta manera se puede suponer que el campo de desplazamientos en el interior de cada elemento puede expresarse en función de los desplazamientos que sufren los nudos del elemento (desplazamientos nodales); a posteriori se determinará la matriz de rigidez de cada elemento las cuales una vez ensambladas (empleando los criterios del análisis matricial de estructuras) permitirán la obtención de los desplazamientos en los nudos de cada elemento y una vez definidos esos desplazamientos se pueden aproximar los valores de las tensiones. Este modelo no ofrece los resultados exactos de cada problema pero arroja una muy buena aproximación.

Para poder realizar la simulación debemos realizar ciertos cálculos. Los más importantes serán la determinación de las cargas bajo las que el seguidor puede encontrarse en algún momento de su vida útil, y el cálculo de la estabilidad de la base del seguidor que deberá garantizar su resistencia al vuelco y a flexión en todo momento.

2 TEORÍA DE FALLO DE VON MISES. TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN

Vamos a realizar una somera introducción a la Teoría de Fallo de Von Mises para comprender un poco mejor en que basamos nuestros cálculos e hipótesis de resistencia estructural.

Un fallo es la pérdida de función de un elemento tanto por deformación como por fractura. Los mecanismos de fallo que se pueden dar en un material dependen principalmente de su estructura microscópica y de la forma de sus enlaces.

Existen diversas teorías de fallo que se pueden agrupar en función del material que vayamos a estudiar. Una de las más importantes aplicada a los materiales dúctiles como los que conforman nuestra estructura, es la Teoría de la Energía de Distorsión o Teoría de Von Mises.

Entendemos por material dúctil aquél que antes de la fractura presenta una deformación plástica importante y por tanto es capaz de absorber y devolver una gran energía de deformación.

Las teorías más importantes para este grupo de materiales son las siguientes:

- *Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo o Teoría de Tresca*
- *Teoría de la Energía de Distorsión o Teoría de Von Mises*
- *Teoría de la Fricción Interna o Teoría de Coulomb-Mohr Dúctil*

La Teoría de Von Mises es en la que nos vamos a centrar ya que es el valor de tensión que tomaremos como referencia para determinar la aptitud de la estructura.

La Teoría de la Energía de Distorsión establece que el fallo se producirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen, debida a esfuerzos máximos absolutos en el punto crítico, sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad de volumen de una probeta de ensayo de tensión en el momento de producirse la fluencia.

La energía de distorsión es la diferencia entre la energía total de deformación por unidad de volumen y la energía de deformación por unidad de volumen debida a los esfuerzos hidrostáticos.

Las tensiones hidrostáticas se pueden obtener como:

(Ecuación 2.1)

$$\sigma_h = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

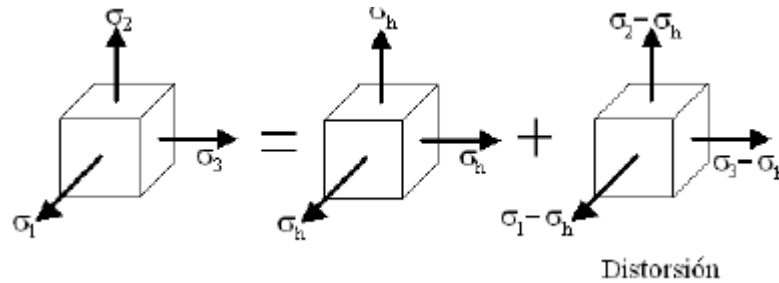


Figura 2.1 – Energía de distorsión

La energía total de deformación por unidad de volumen para el elemento es la siguiente:

(Ecuación 2.2)

$$U = \frac{1}{2} \sigma_1 \varepsilon_1 + \frac{1}{2} \sigma_2 \varepsilon_2 + \frac{1}{2} \sigma_3 \varepsilon_3$$

Esto se debe a que el material se encuentra en el rango elástico ya que el fallo se produce antes de llegar a la zona plástica.

Las deformaciones que se producen son:

(Ecuación 2.3)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu \\ -\nu & 1 & -\nu \\ -\nu & -\nu & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{bmatrix}$$

Reemplazando la ecuación 2 en la 1 obtenemos la energía total de deformación:

(Ecuación 2.4)

$$U = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)]$$

La energía de deformación debida a los esfuerzos hidrostáticos es:

(Ecuación 2.5)

$$U_h = \frac{3(1-2\nu)}{2E} \sigma_h^2 = \frac{3(1-2\nu)}{2E} \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \right)^2$$

La energía de distorsión es por tanto:

(Ecuación 2.6)

$$U_d = U - U_h$$

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3)$$

En el ensayo de tensión al producirse la fluencia se dan las siguientes condiciones:

$$\sigma_2 = \sigma_3 = 0; \sigma_1 = S_y$$

Por tanto la energía de distorsión de la probeta de ensayo es de:

(Ecuación 2.7)

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} S_y^2$$

Igualando las ecuaciones 5 y 6 como indica el enunciado de la teoría tenemos:

(Ecuación 2.8)

$$\frac{1+\nu}{3E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3) = \frac{1+\nu}{3E} S_y^2$$

$$\sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3)} = S_y$$

$$\sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} = S_y$$

Se define entonces el esfuerzo de Von Mises como:

(Ecuación 2.9)

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3)} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

Entonces el fallo se produce cuando:

(Ecuación 2.10)

$$\sigma' = S_y$$

En el caso bidimensional, $\sigma_2 = 0$ y el esfuerzo de Von Mises es:

(Ecuación 2.11)

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_3}$$

Podemos representar gráficamente lo postulado en la teoría.

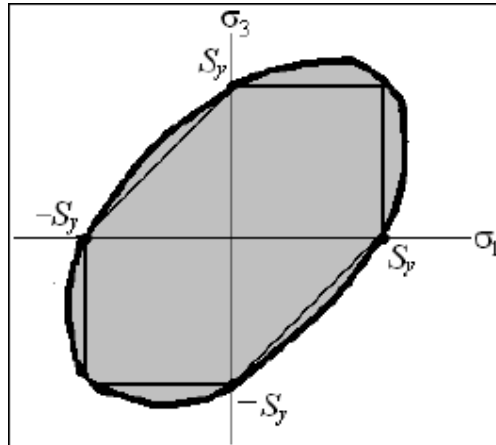


Figura 2.2 – Representación gráfica de la Teoría de la Energía de Distorsión

El fallo se producirá cuando el punto determinado por σ_1 y σ_3 se encuentra fuera del área coloreada de la figura anterior. La línea exterior de mayor grosor representa el fallo según Von Mises y las líneas interiores lo hacen según la Teoría de Tresca con lo que podemos afirmar que la Teoría de Tresca es más restrictiva y conservadora a la hora de realizar los cálculos estructurales.

Si se considera un elemento que esté bajo el efecto de un esfuerzo cortante puro en el momento del fallo, el esfuerzo de Von Mises resulta de:

(Ecuación 2.12)

$$\sigma' = \sqrt{3}S_{sy}$$

Siendo S_{sy} el esfuerzo cortante a la fluencia.

La falla en este caso se dará:

(Ecuación 2.13)

$$\sqrt{3}S_{sy} = S_y$$

Siendo S_y el esfuerzo de fluencia a la tensión.

Por tanto nos queda finalmente:

(Ecuación 2.14)

$$S_{sy} = 0,577S_y$$

3 CARGAS DINÁMICAS

A efectos del cálculo estructural se tendrán en cuenta las acciones variables típicas que pueden actuar sobre cualquier tipo de estructura como son la carga de viento, la carga de nieve y el peso propio.

El caso que se tomará como referencia será el más desfavorable en la carga de viento y la de nieve. El peso propio de los diferentes componentes nos permitirá realizar cálculos a posteriori sobre estabilidad y también sobre resistencia estructural

Como referencia base de cálculo tomaremos el DB SE-AE y el NBE AE-88.

El CTE DB SE-AE presenta una incompatibilidad en el cálculo sobre este tipo de sistemas, por lo que implementaremos su sistema de cálculo con los coeficientes de viento del NBE AE-88 ya que nuestro sistema no entra en el ámbito de aplicación del CTE y no es necesario obtener un cálculo de combinación de acciones que sea exhaustivo, sino más bien orientativo y que nos permita obtener unos valores de carga a los que someter el modelo en la simulación estructural.

3.1 Carga de nieve

La distribución y la intensidad de la carga de nieve dependen del clima, tipo de precipitación, relieve, forma de cubierta, efectos del viento...

El cálculo de la carga de nieve se determinará en las dos situaciones límite del sistema que se corresponden con los casos de placa totalmente horizontal y placa a máxima inclinación.

La carga de nieve se define por:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

En la que:

- μ es el coeficiente de forma.
- s_k es la sobrecarga de nieve.

1- Coeficiente de forma

Para su determinación nos remitiremos al capítulo 3.5.3 del DB SE-AE.

Consideraremos una zona sin impedimento de circulación nieve en los dos casos.

- Para pendiente de 0° , el coeficiente de forma será $\mu = 1$

- Para pendiente máxima ($> 60^\circ$), el coeficiente será de $\mu = 0$

Para la determinación del coeficiente de forma consideraremos que la nieve se distribuirá de manera uniforme sobre la placa y que no se acumulará carga proveniente de otros faldones de estructuras anexas.

2- Sobrecarga de nieve

Para la determinación de la sobrecarga de nieve emplearemos la tabla 3.8 del capítulo 3.5.2 del CTE SE-AE.

Tabla 3.1 – Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	1.130	1,0	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Badajoz	180	0,2	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,3
Barcelona	0	0,4	León	820	1,2	Segovia	10	0,7
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Burgos	860	0,6	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,9
Cáceres	440	0,4	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cádiz	0	0,2	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,2
Castellón	0	0,2	Málaga	0	0,6	Teruel	550	0,9
Ciudad Real	840	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,5
Córdoba	100	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	690	0,2
Coruña / A Coruña	0	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,4
Cuenca	0	0,3	Palencia	740	0,5	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Gerona / Girona	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,4	Zamora	210	0,4
Granada	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Para la ciudad de León (820 m.s.n.m.) tomamos como valor de sobrecarga de nieve 1,2 kN/m².

Por tanto los valores correspondientes a la sobrecarga de nieve para los dos casos que planteamos son los siguientes:

- **Placa totalmente horizontal** $\rightarrow q_n = 1 \cdot 1,2 \rightarrow q_n = 1,2 \text{ kN/m}^2$
- **Placa a máxima inclinación** $\rightarrow q_n = 0 \cdot 1,2 \rightarrow q_n = 0 \text{ kN/m}^2$

3.2 Carga de viento

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento dependen de la forma, las dimensiones de la construcción, de las características y permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, intensidad y racheo del viento.

La carga de viento se define por:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

- q_b es la presión dinámica del viento.
- c_e es el coeficiente de exposición.
- c_p es el coeficiente eólico o coeficiente de presión.

Como hemos mencionado antes, el procedimiento de cálculo está basado en el CTE SE-AE, pero ciertos coeficientes se obtienen del NBE-AE-88 por incompatibilidad de nuestra estructura con el CTE.

1- Presión dinámica del viento

Para la determinación de este parámetro podemos tomar 0,5 kN/m² de media para todo el territorio español.

En el caso de que queramos afinar más el valor podemos acudir al Anexo D del CTE SE-AE. Este anexo nos permite obtener el resultado subdividiendo el territorio español en zonas según la velocidad media del viento. Para la zona B, que sería la que correspondería con la ciudad de León, tenemos como valor de la presión dinámica del viento 0,45 kN/m².

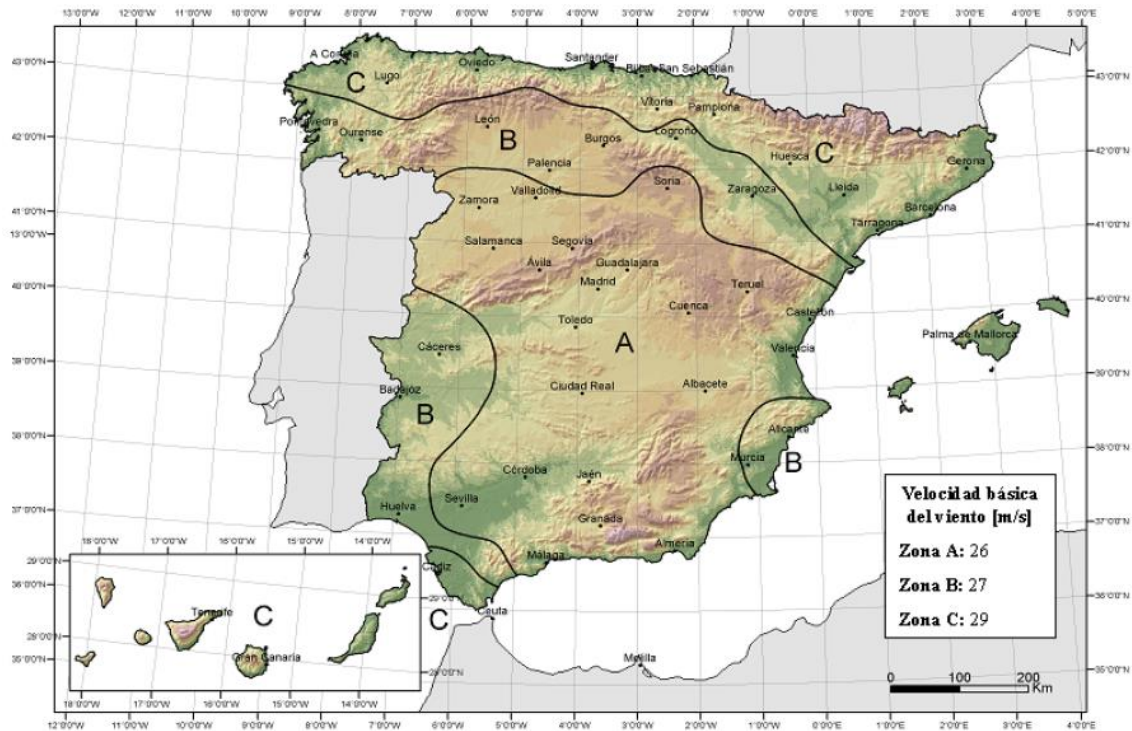


Figura 3.1 – Valor básico de la velocidad del viento para la Península Ibérica

No se tomará ninguna otra consideración para su determinación.

2- Coeficiente de exposición

El coeficiente de exposición toma en consideración las turbulencias generadas por el relieve y la topografía del terreno.

Para su cálculo se encuentra en el capítulo 3.3.3 y Anexo D del CTE DB SE-AE.

Tomaremos como grado de aspereza del entorno el IV, zona urbana en general, industrial o forestal.

El valor de este coeficiente lo calcularemos con la fórmula que nos indica el Anexo D y que es la siguiente:

$$c_e = F \cdot (F + 7k)$$

$$F = k \cdot \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right)$$

Siendo k, Z y L parámetros característicos del entorno que se obtienen de la tabla D.2 del CTE SE-AE.

Tabla 3.2 – Tabla de coeficientes eólicos para diferentes tipos de entorno

Grado de aspereza del entorno		Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno		
		k	L (m)	Z (m)
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V	Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Los parámetros de nuestro grado de aspereza son:

$$k = 0,22$$

$$L = 0,3$$

$$Z = 5 \text{ (ya que } Z_{\text{estructura}} \leq Z_{\text{tabla}})$$

Por tanto tenemos que:

$$F = 0,22 \cdot \ln\left(\frac{5}{0,3}\right) \rightarrow F = 0,61895$$

$$c_e = 0,61895 \cdot (0,61895 + 7 \cdot 0,22) \rightarrow c_e = 1,336$$

3- Coeficiente eólico o de presión

En este punto es en el que acudimos a la norma NBE AE-88. El área de resistencia frente al viento es de 1,18 m² que es la que corresponde al área de la placa fotovoltaica que será la que más resistencia ejerza frente al viento considerando la que ejerce la estructura despreciable.

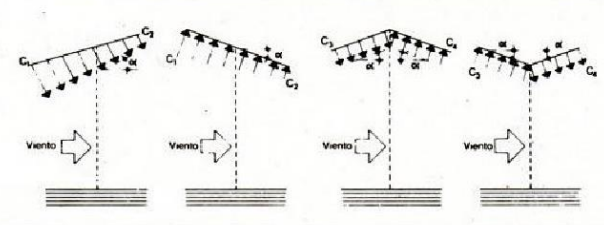
Para la determinación de este coeficiente tomaremos como situaciones límite las mismas que son tomadas en el apartado de cálculo de la carga de nieve. Estas son:

- Placa completamente horizontal
- Placa a máxima inclinación (75° respecto a la horizontal)

La tabla en la que se recogen los valores de los coeficientes para planos es la siguiente:

Tabla 3.3 – Coeficientes eólicos en planos y diedros exentos

Tabla 5.4
Coeficiente eólico en planos y diedros exentos



Ángulo de incidencia del viento α	Coeficiente eólico en:					
	Planos exentos Se calcularán los efectos más desfavorables con $\alpha \pm 10^\circ$		Diedros exentos Se calculará cada elemento en los casos más desfavorables			
	En el borde a barlovento c_1	En el borde a sotavento c_2	Caso I		Caso II	
			En el plano a barlovento c_3	En el plano a sotavento c_4	En el plano a barlovento c_3	En el plano a sotavento c_4
90° a 60°	1,2	1,2	1,2	0	0,8	0,4
50°	1,4	1,0	1,2	0	0,6	0,6
40°	1,6	0,8	1,2	0	0,4	0,8
30°	1,6	0,8	1,2	0	0,4	0,8
20°	1,2	0,4	1,0	0	0,2	0,8
10°	0,8	0	0,8	0	0	0,8
0°	0	0	0	0	0	0

Valores intermedios pueden interpolarse linealmente.

a) Caso I – Placa fotovoltaica completamente horizontal (referenciar al artículo)

El efecto del viento sobre un plano exento depende del ángulo formado entre la dirección preferente del viento y el plano del panel. Este efecto no tiene por qué ser uniforme como se ve en los coeficientes de la tabla anterior en la que se discrimina entre el borde a sotavento (a resguardo del viento) y a barlovento (sometido directamente a la acción del viento).

La dirección del viento no es completamente constante y esto puede hacer que no sea paralela al terreno pudiéndose considerar ciertas variaciones del ángulo de incidencia que pueden sobrepasar en $\pm 10^\circ$ la horizontal.

Por tanto, la posición de defensa frente al viento no exime al panel de soportar cargas dinámicas del viento.

A efectos de cálculo se suele tomar por norma un ángulo de incidencia de entre 20° y 30° de manera que se obtenga un valor que sobrecargue teóricamente la estructura en pos de la seguridad. En nuestro caso tomaremos un valor intermedio de 25°.

Como en la tabla no tenemos los valores de los coeficientes interpolaremos linealmente para obtener los que corresponden a los 25° considerados.

ÁNGULO (α)	c_1	c_2
20°	1,2	0,4
25°	X	Y
30°	1,6	0,8

Interpolando para c_1 tenemos:

$$X = 1,2 + (25 - 20) \cdot \left(\frac{1,6 - 1,2}{30 - 20} \right) \rightarrow X = 1,4$$

Interpolando para c_2 obtenemos un valor:

$$Y = 0,4 + (25 - 20) \cdot \left(\frac{0,8 - 0,4}{30 - 20} \right) \rightarrow Y = 0,6$$

Por tanto para esta situación límite obtenemos una carga de viento de:

$$q_{c1} = 0,45 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,336 \cdot 1,4 \rightarrow q_{e1} = 0,842 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{c2} = 0,45 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,336 \cdot 0,6 \rightarrow q_{e1} = 0,361 \text{ kN/m}^2$$

El valor medio de las cargas en el borde a barlovento c_1 y en el borde a sotavento c_2 será:

$$q_{medio1} = \frac{(0,842 + 0,361) \text{ kN/m}^2}{2} \rightarrow q_{medio1} = 0,602 \text{ kN/m}^2$$

b) Caso II – Placa a máxima inclinación (75°)

En este caso para ángulos de entre 60° y 90° los valores son constantes. Y en ambos casos iguales a 1,2.

ÁNGULO (α)	c_1	c_2
60° a 90°	1,2	0,4

Por tanto la carga en cada borde será:

$$q_{c1} = q_{c2} = 0,45 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,336 \cdot 1,2 \rightarrow q_{e1} = 0,721 kN/m^2$$

Para obtener los parámetros de simulación estructural deberemos combinar las acciones anteriores de viento y nieve conjuntamente con el peso propio de la parte superior de la estructura, que se compone del marco de apoyo y fijación de la placa fotovoltaica y la propia placa.

3.3 Peso propio

La estructura se compone de dos partes claramente diferenciadas cuyo límite es el eje horizontal. La parte inferior o cuerpo de la estructura es la que soportará en definitiva todas las cargas a las que se vea sometido el sistema. Por el contrario el marco del panel hará de fijación y apoyo para la placa.

1 - MARCO + PANEL FOTOVOLTAICO

- Perfiles que componen el marco $\rightarrow 6,65 m \cdot 2,48 \frac{kg}{m} = 16,5 kg$
- Chapas metálicas correspondientes al eje $\rightarrow 0,017 m^2 \cdot 65,5 \frac{kg}{m^2} = 1,11 kg$
- Panel fotovoltaico $\rightarrow \approx 12 kg$ (estimado por falta de datos de la placa)

$$PESO TOTAL \rightarrow 29,60 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 290,47 N$$

2 - CUERPO ESTRUCTURAL PRINCIPAL

- Perfiles principales $\rightarrow 4 \text{ uds} \cdot 1,254 \frac{\text{m}}{\text{ud}} \cdot 3,45 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 17,30 \text{ kg}$
- Perfiles angulares $\rightarrow 2 \text{ uds} \cdot 0,117 \frac{\text{m}}{\text{ud}} \cdot 2,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 0,51 \text{ kg}$
- Perfil central transversal $\rightarrow 1 \text{ ud} \cdot 0,79 \frac{\text{m}}{\text{ud}} \cdot 3,45 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 2,73 \text{ kg}$
- Chapa principal (10 mm grosor) $\rightarrow 0,126 \text{ m}^2 \cdot 82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 10,33 \text{ kg}$
- Chapas metálicas (eje horizontal) $\rightarrow (0,021 \text{ m}^2 + 0,026 \text{ m}^2) \cdot 65,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 3,08 \text{ kg}$
- Cartelas $\rightarrow (0,0086 \text{ m}^2) \cdot 49,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0,42 \text{ kg}$
- Actuador lineal $\rightarrow \approx 4 \text{ kg}$

$$\text{PESO TOTAL} \rightarrow 38,4 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 376,41 \text{ N}$$

3 – BASE DEL SEGUIDOR

- Chapa metálica base (12 mm de grosor) $\rightarrow (0,49 \text{ m}^2) \cdot 98,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 48,23 \text{ kg}$
- Perfiles (50x40x2mm) $\rightarrow (10 \text{ m}) \cdot 2,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 28 \text{ kg}$
- Equipos auxiliares (estimada) $\rightarrow 20 \text{ kg}$

$$\text{PESO TOTAL} \rightarrow 96,23 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 944 \text{ N}$$

4 COMBINACIÓN DE ACCIONES

A continuación vamos a identificar las acciones más desfavorables para la estructura para viento y nieve y a combinarlas para obtener un valor de carga que permita dimensionar la estructura con seguridad.

- Cargas con la placa horizontal

La carga de nieve aquí es de $1,2 \text{ kN/m}^2$ y la de viento de $0,602 \text{ kN/m}^2$ y actúa sobre el área de la placa fotovoltaica que es de $1,18 \text{ m}^2$. Por tanto, su combinación supone una sobrecarga de:

$$q_h = 1,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,602 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,802 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,18 \text{ m}^2 = 2,13 \text{ kN}$$

- Cargas con la placa a máxima inclinación

La carga de nieve en este caso es de 0 kN/m^2 ya que no es posible la acumulación y la carga de viento alcanza un valor de $0,721 \text{ kN/m}^2$. Por tanto, la combinación de cargas cuando la placa se encuentra a máxima inclinación alcanza un valor de:

$$q_{m.i.} = 0,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,721 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,721 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,18 \text{ m}^2 = 0,851 \text{ kN}$$

Como podemos observar, la combinación de acciones es mayor y por tanto más desfavorable, cuando la placa está en posición de defensa u horizontal. La sobrecarga total aplicada a toda la placa y por ende a toda la estructura es de $2,13 \text{ kN}$ en el caso más desfavorable, que en caso de considerar el peso propio del marco alcanza un valor en las pletinas del marco de:

$$q_{\text{sobre estructura inferior}} = 2,13 \text{ kN} + 0,29 \text{ kN} = 2,42 \text{ kN}$$

La carga en la base del sistema alcanza un valor máximo de:

$$q_{\text{sobre base}} = 2,42 \text{ kN} + 0,38 \text{ kN} = 2,8 \text{ kN}$$

Además se generará un par de fuerzas en la base debido al efecto pantalla del panel cuando se encuentra en posición de bandera. Este par generará en dicha base un momento de vuelco.

La carga responsable será la de viento cuando el panel se encuentra a máxima inclinación o cercana a ella. La distancia entre el punto aproximado de aplicación y el lugar de soldadura donde se genera el par es de 1,1 metros.

$$\text{Momento generado en la base} = 0,851 \text{ kN} \cdot 1,1 \text{ m} = 0,94 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Para ponernos del lado de la seguridad este valor se aumentará tomándose 1000 N para los cálculos donde se requiera este valor.

A efectos de la estabilidad vamos a tomar como carga favorable el peso propio de la estructura formada por el conjunto marco-cuerpo el cual es de 666,8N.

Finalmente, la estructura deberá soportar una carga máxima de 3000N para adoptar un margen de seguridad.

5 ESTABILIDAD DE LA BASE DEL SEGUIDOR

Para realizar estos cálculos partiremos del peso propio de la estructura completa del panel sin contar cargas externas que sean favorables a la estabilidad como puede ser la de nieve ya que ejerce una fuerza a favor de la gravedad con lo que facilita el asentamiento de la estructura en el forjado pero no está presente constantemente. Si se tendrán en cuenta factores de viento que puedan generar un par en la base y por tanto favorecer el vuelco de la estructura.

La carga transmitida a la base generada por toda la estructura es de 666,88 N sin tener en consideración ninguna acción externa para que la condición de estabilidad sea lo más restrictiva posible.

La situación límite se desarrolla cuando el momento de vuelco generado por la carga de viento de 851 N actúa y la estructura en consecuencia se encuentra apoyada sobre el punto A completamente.

Las condiciones son las siguientes.

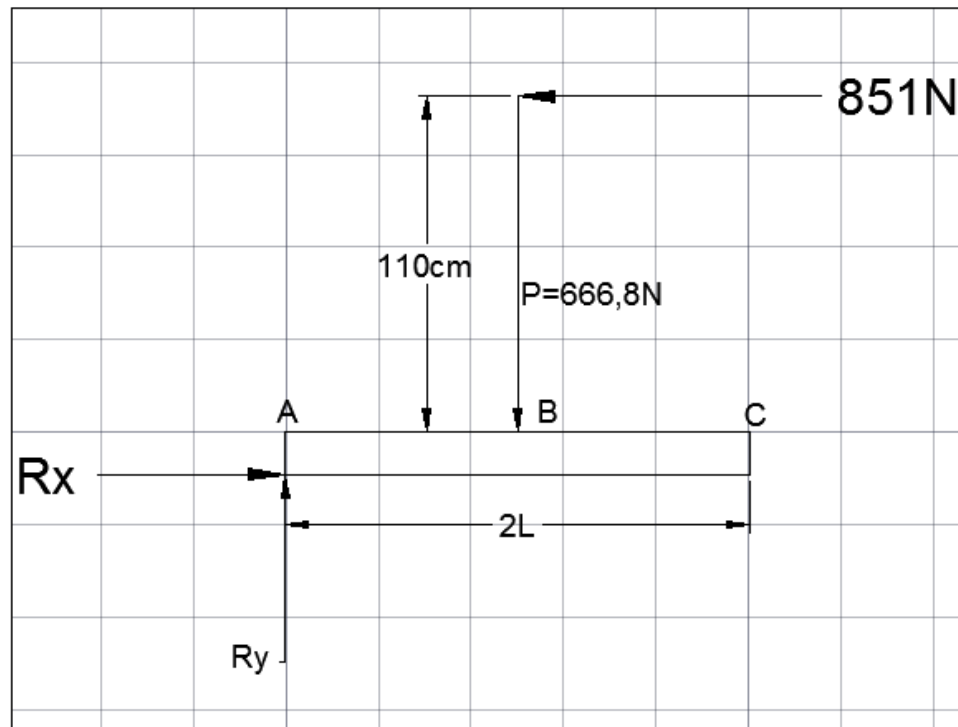


Figura 5.1 – Condiciones desestabilizadoras

La carga P es la carga de toda la estructura concentrada en el centro del perfil. La fuerza de 851 N es la fuerza que ejerce el viento cuando el panel se encuentra en posición de bandera con lo que será el mayor esfuerzo del viento registrado.

Al aplicarse a 110 cm de la base, se generará un momento en ella de 936,1 Nm. A efectos de cálculo tomaremos 1000 Nm.

En el momento de encontrarse apoyada sobre el punto A, se generarán dos reacciones, una en el eje de coordenadas "Y" y otra en el eje de coordenadas "X".

Para asegurar la estabilidad del conjunto deberemos cumplir las condiciones de estabilidad de fuerzas y momentos.

Para el eje X.

$$\begin{aligned}\Sigma F_X &= 0 \\ R_X - F_V &= 0; R_X = F_V \\ R_X &= 851N\end{aligned}$$

Para el eje Y.

$$\begin{aligned}\Sigma F_Y &= 0 \\ R_Y - P &= 0; R_Y = P \\ R_Y &= 666,8N\end{aligned}$$

La reacción X en el punto A puede deberse al rozamiento del perfil con el suelo (que varía linealmente mientras actúa el coeficiente de rozamiento estático y que es constante cuando actúa el coeficiente de rozamiento dinámico) o a la presencia de anclajes.

La estabilidad de momentos la tomaremos respecto al punto A.

$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 \\ -1000N \cdot m + 666,8N \cdot L &= 0 \\ L &\geq 1,5m\end{aligned}$$

Para garantizar la estabilidad de la estructura necesitamos al menos una longitud de base de 3m. Para poder acortar la longitud de los perfiles lo que haremos será colocar unos contrapesos en los extremos de manera que el peso de esos contrapesos ejerza de fuerza estabilizadora y mantenga la estructura en el suelo.

Los contrapesos que se colocarán serán de 25 kg. Si no se encuentran en el mercado de este peso de hormigón se encargarán a medida a una empresa de prefabricados.

Un contrapeso de 25 kg ejerce una fuerza en el extremo C una fuerza de 245,25 N. Esta fuerza actúa como momento respecto a A en el caso de que este la estructura apoyada en este punto y sería estabilizador ya que es contrario al vuelco.

$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 \\ -1000N \cdot m + 666,8N \cdot L + 2 \cdot L \cdot 245,25N &= 0 \\ L &\geq 0,9 m\end{aligned}$$

Vamos a tomar una longitud de base de 1,25 m para colocarnos del lado de la seguridad.

Como el panel no va a estar siempre perpendicular a los perfiles de la base necesitamos evaluar el momento generado por el viento en un ángulo intermedio para conocer si la resistencia al vuelco es óptima.

La situación en este caso para un viento sobre el panel de 851 N es:

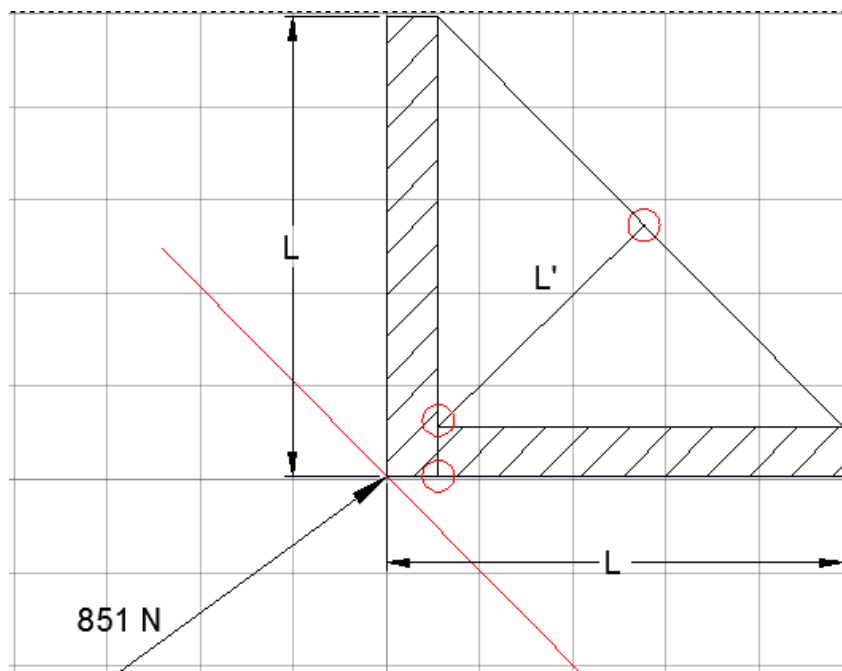


Figura 5.2 – Condiciones de vuelco en dirección no preferente (1)

El plano formado por L' nos da unas condiciones desestabilizadoras diferentes a las anteriores. La distancia que permite mantener el seguidor vertical es menor y tendrá que considerarse la posibilidad de vuelco para que no ocurra.

La distancia L' real es:

$$L'_{real} = \frac{L}{\sqrt{2}} = 0,88 \text{ m}$$

Pero esta no garantiza que exista estabilidad ante un esfuerzo de viento como el generado. Por tanto obtendremos L' teórica que nos permitiría mantener la estabilidad en el seguidor.

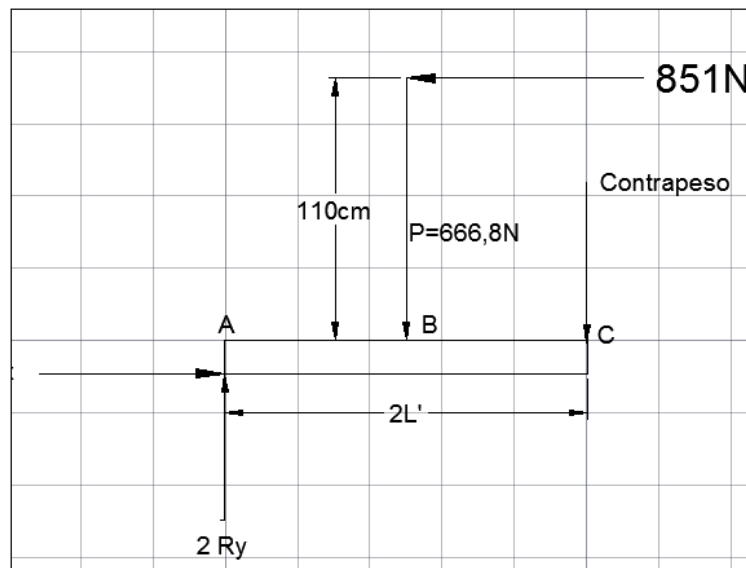


Figura 5.3 – Condiciones de vuelco en dirección no preferente (2)

$$M_A = 0$$

$$-1000 \text{ N} \cdot m + 666,8 \text{ N} \cdot L' + 2 \cdot L' \cdot 245,25 \text{ N} = 0$$

$$L'_{teórica} \geq 0,86 \text{ m}$$

La condición que se deberá de cumplir es que la L' real sea mayor a la L' de cálculo o teórica ya que así garantizamos que la longitud real existente es mayor que la que teóricamente marca el límite de la estabilidad.

En este caso cumplimos con esta condición.

Finalmente, una limitación que debemos aplicar es la de la carga máxima que admite el forjado por metro cuadrado.

Esta condición deberá cumplirse íntegramente por seguridad estructural del edificio de la Escuela de Minas.

La carga máxima será de 3000 N/m^2 .

Para su determinación emplearemos todas las cargas que se pueden dar sobre la estructura. Esto incluye peso propio y cargas de nieve y viento además de los componentes.

$$\frac{\text{Cargas}}{4 \cdot (2L \cdot a)} \leq 3000 \text{ N/m}^2$$

Siendo L el largo de los perfiles y a el ancho de la base de los perfiles.

Las cargas existentes son:

- 3,0 kN de la carga de viento y nieve más peso propio de la estructura, aplicados sobre la base.
- 0,944 kN de peso de la base y sus componentes auxiliares

Estas cargas deberán considerarse a la hora de aplicar la restricción de carga sobre el forjado.

$$\frac{3000 \text{ N} + 944 \text{ N}}{4 \cdot 2,5 \cdot 0,04} = 9860 \text{ N/m}^2$$

La carga total se distribuye por un área muy pequeña debido al ancho del perfil. Por tanto no cumplimos la restricción de carga en el forjado impuesta.

Como solución hemos decidido soldar esos perfiles a una chapa de la misma longitud pero con un ancho mayor de manera que el área generada permita obtener una carga por metro cuadrado que entre dentro de nuestro límite. La chapa contará con grosor de 3 mm.

El peso que la chapa transmitirá al forjado es de:

$$4 \text{ chapas} \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 49,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 965,3 \text{ N}$$

La carga por unidad de área será de:

$$\frac{3000 \text{ N} + 944 \text{ N} + 965,3}{1,84 \text{ m}^2} = 2668,1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Por tanto, entramos dentro de la restricción impuesta de carga máxima sobre el forjado.

Se debe aclarar que al definir las cargas se han sobredimensionado para colocarnos del lado de la seguridad. De esta manera nos aseguramos de que no se dará ningún tipo de problema estructural debido a la presencia del seguidor. Además así preparamos la estructura para soportar cualquier tipo de fenómeno meteorológico sin recibir daños.

6 SIMULACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

6.1 Base y pasador del eje de seguimiento cenital

La base y el pasador del eje de seguimiento cenital es la parte que recibe los esfuerzos del marco del panel y las cargas dinámicas como el viento o la nieve conjuntamente con la viga transversal sobre la que se apoya el actuador lineal.

El pasador se simula sin pasador de fijación tipo “beta” ya que la restricción de movimiento axial y rotacional se le puede aplicar independientemente de la presencia de estos pasadores además de que estructuralmente son totalmente inertes.

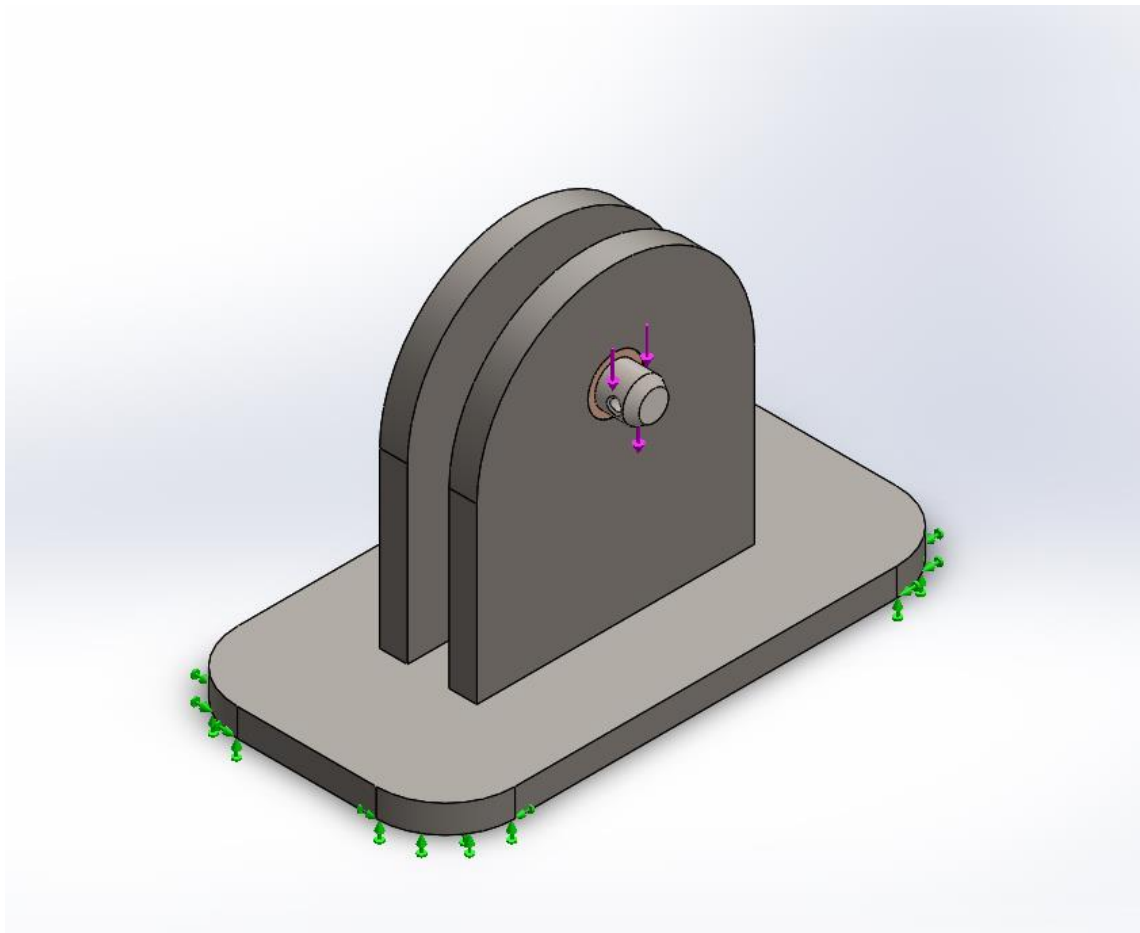


Figura 6.1 – Base del eje de seguimiento acimutal

A efectos de la simulación se ha tomado como sujeción la cara inferior de la base que se correspondería con la que va soldada a los perfiles. La carga aplicada al pasador que será

el encargado de recibir directamente los esfuerzos es de 1000N correspondientes al reparto de los 3000 N que se toman como base de cálculo equitativamente entre los tres puntos de apoyo del marco. La configuración de la carga, que es perpendicular al plano planta, se ha definido así ya que es la situación más desfavorable por la combinación de acciones para esta pieza.

Los contactos definidos entre los diferentes componentes son los siguientes:

- CASQUILLO DE BRONCE – PLETINAS. Unión rígida
- CASQUILLO DE BRONCE – PASADOR. Unión sin penetración, sin rotación y sin traslación axial.

Con estos parámetros definidos la simulación arroja los siguientes resultados.

6.1.1 Distribución de tensiones

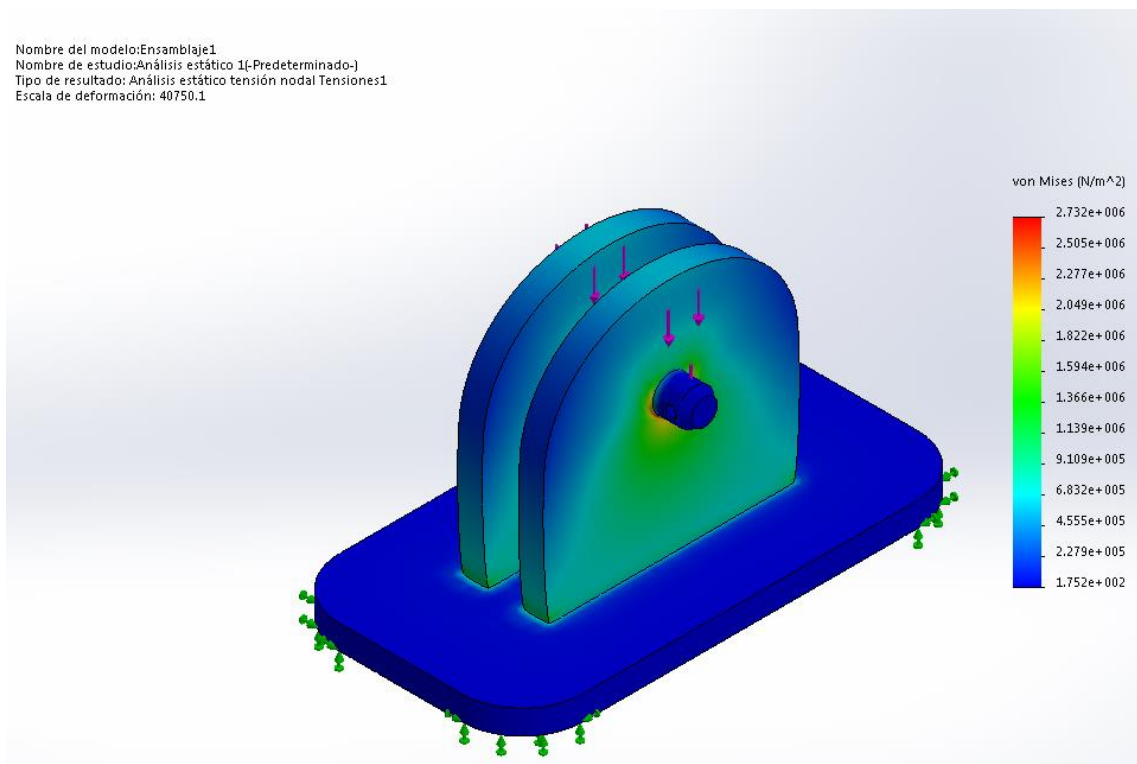


Figura 6.2 – Tensiones de Von Mises en la base del eje de seguimiento cenital (1)

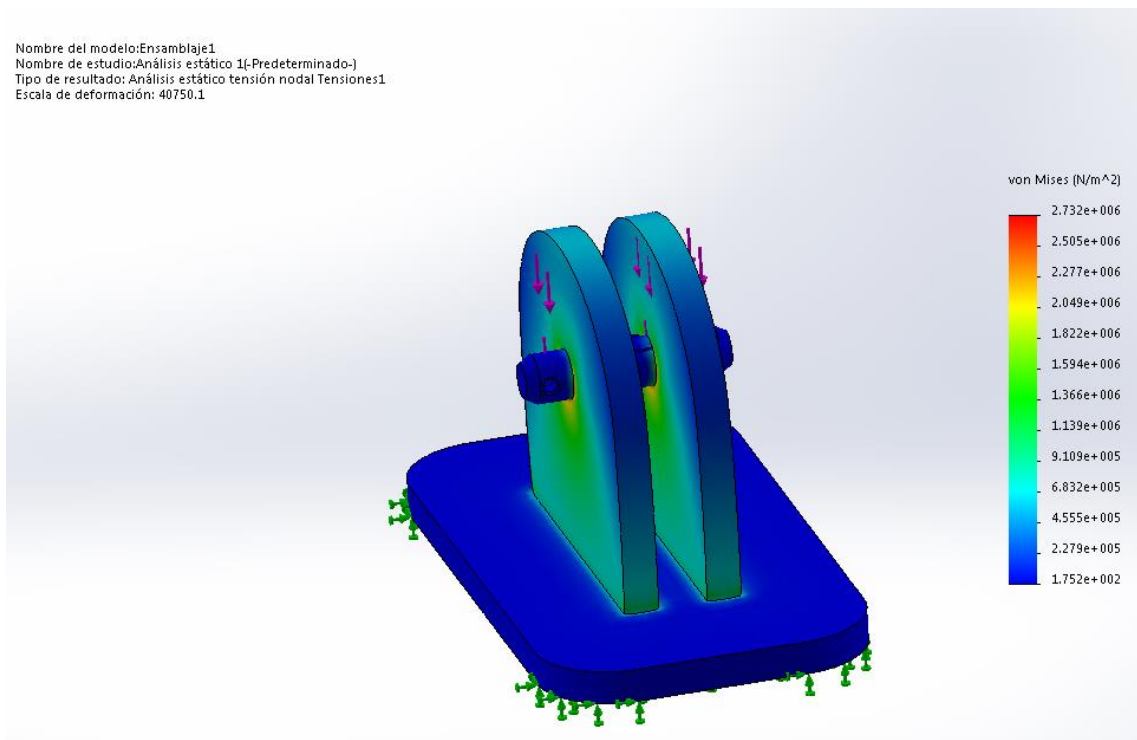


Figura 6.3 - Tensiones de Von Mises en la base del eje de seguimiento cenital (2)

Los módulos elásticos de los diferentes materiales empleados son los siguientes:

- Acero = $2,0 \times 10^{11}$ N/m²
- Cobre = $1,15 \times 10^{11}$ N/m²

Como se puede ver en la escala coloreada, en ningún punto se sobrepasan estos valores con lo que la pieza puede resistir la carga máxima estimada. La zona más cargada es la circundante al eje, sobre todo en la zona de apoyo inferior, desde donde se realiza la transmisión del esfuerzo directamente desde el pasador a la pletina.

El pasador que tiene un diámetro de 12 mm resiste bien las tensiones generadas a pesar de que el esfuerzo cortante en él es importante.

6.1.2 Desplazamientos generados

Los desplazamientos generados en la pieza nos dan una idea de cómo se va a deformar la pieza de manera que nos podamos adelantar y aplicar correcciones que permitan controlar estos desplazamientos en la estructura.

El desplazamiento máximo se encuentra en el pasador y en la zona circundante al taladro sobre el que se apoya. La magnitud no es importante ya que hablamos de una deformación del orden de $3,681 \times 10^{-4}$ mm como máximo con lo que no será apreciable.

Nombre del modelo: Ensamblaje1
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 40750.1

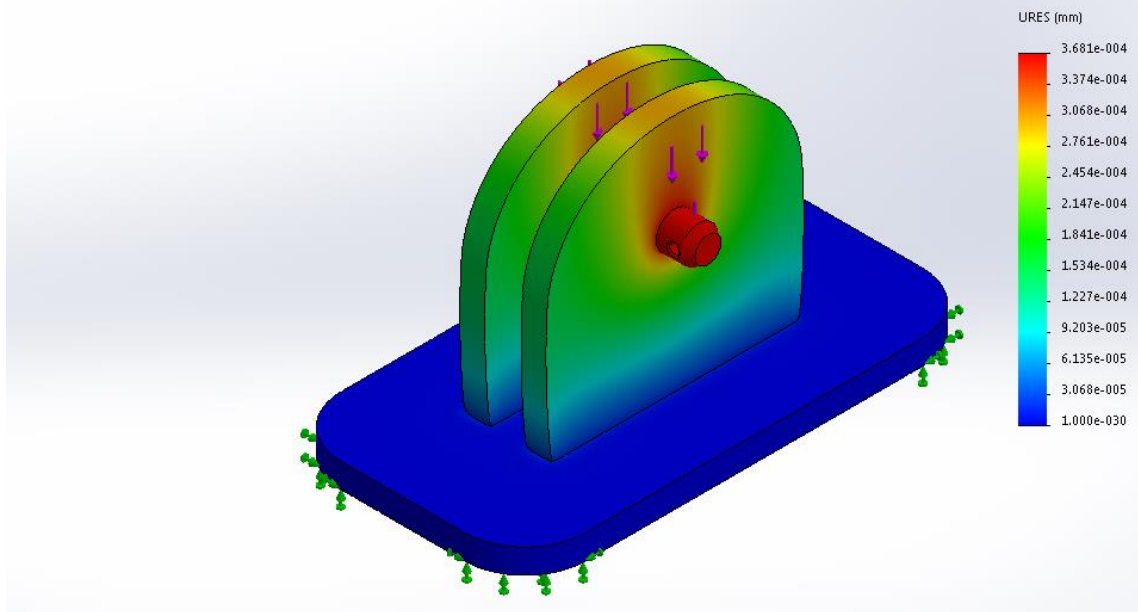


Figura 6.4 – Desplazamientos en la pieza (1)

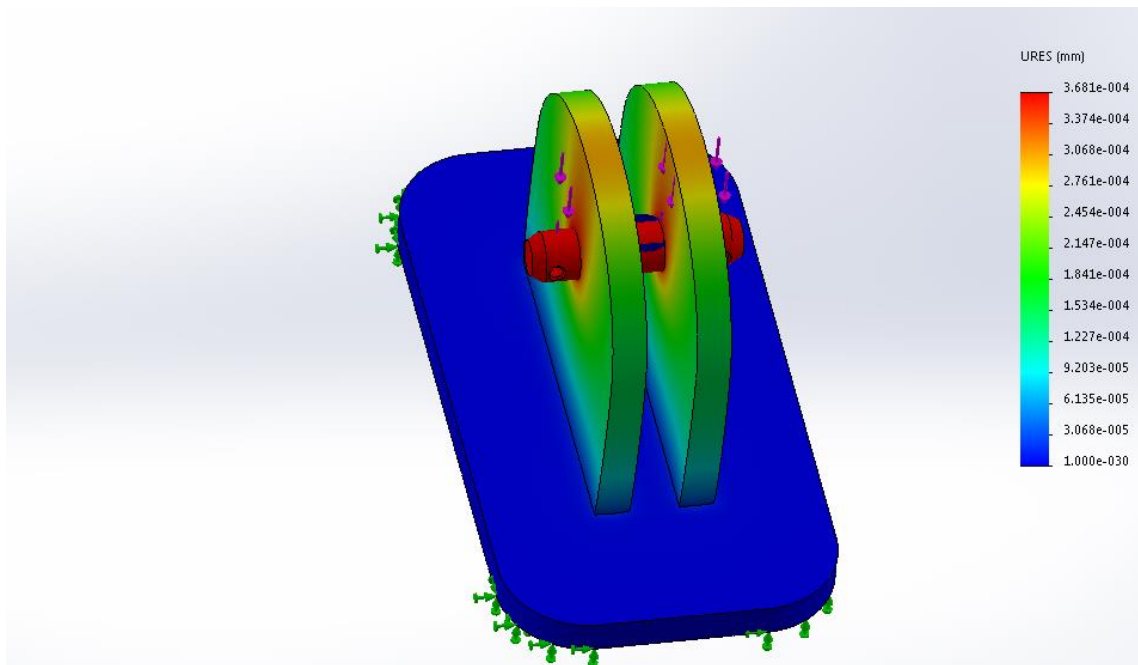


Figura 6.5 – Desplazamientos en la pieza (2)

En la simulación se puede observar como muy ligeramente las pletinas se doblan hacia el interior, si bien es cierto que esta deformación será inapreciable ya que el software muestra una escala de deformación de 40750.1 unidades.

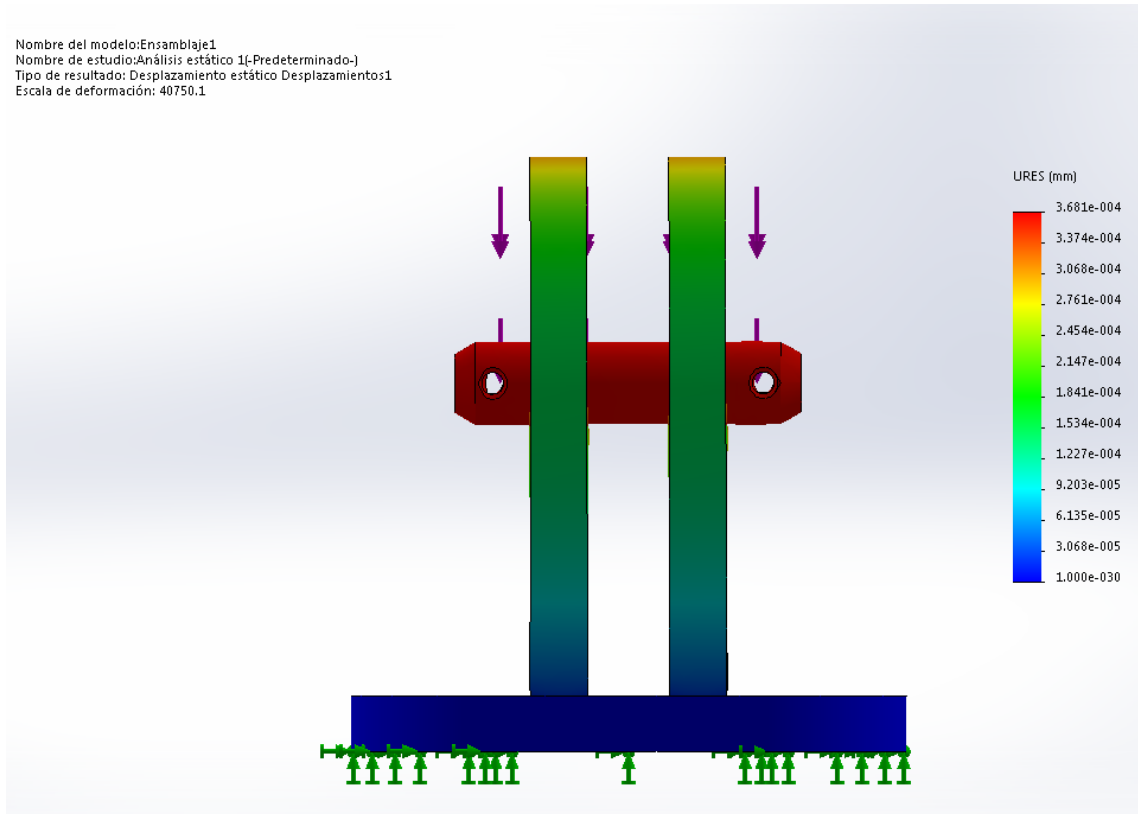


Figura 6.6 – Desplazamientos en la pieza (3)

6.1.3 Deformación unitaria

La deformación unitaria que es el cambio de longitud por unidad de longitud es la siguiente en la pieza.

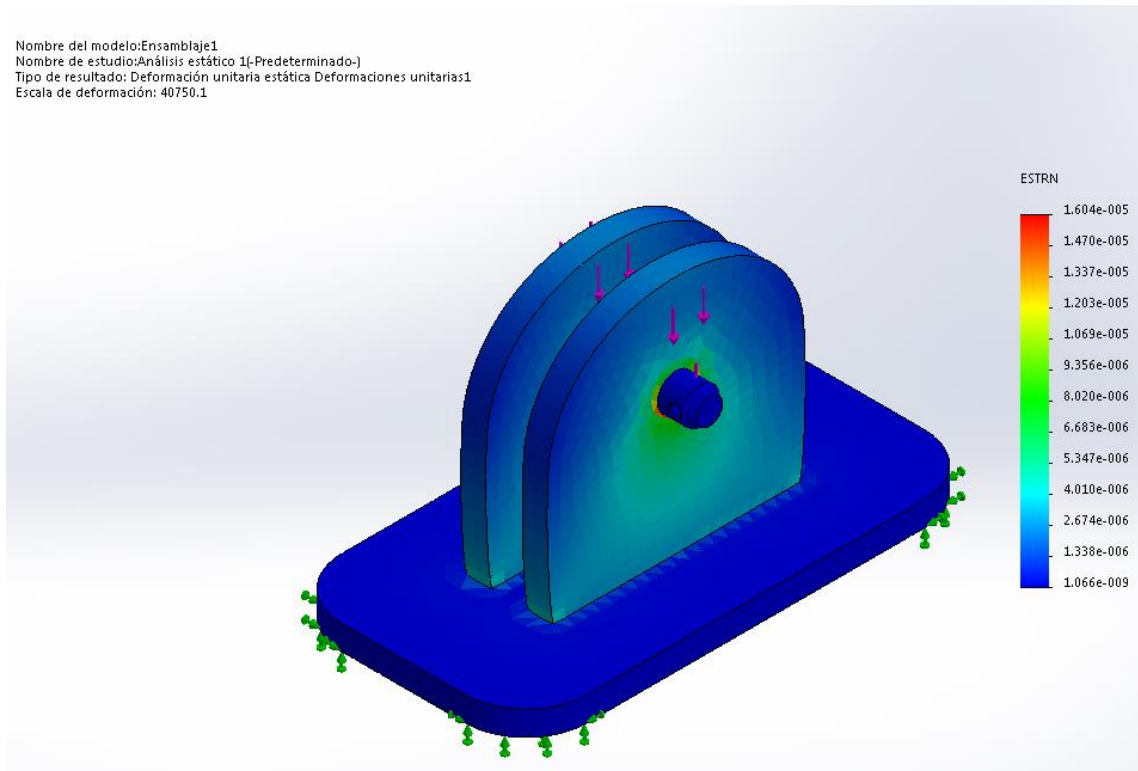


Figura 6.7 – Deformaciones unitarias en la pieza

Las tensiones más importantes se centran en el casquillo de bronce que actuará como cojinete y en los alrededores del taladro donde se ubica por tanto será en esa misma zona donde se centren los desplazamientos y deformaciones más importantes.

6.1.4 Factor de seguridad

Como comprobación final se aplicará un factor de seguridad. El factor de seguridad FDS indica si alguna de las partes de la pieza no es capaz de soportar la carga aplicada. Hemos fijado el FDS en 1 por lo que cualquier zona coloreada de rojo indicará que el FDS no alcanza ese valor de 1 y por tanto que la carga es demasiado pesada para la pieza y esta puede deformarse plásticamente o incluso llegar a la rotura física.

Nombre del modelo:Ensamblaje1
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Rojo < FOS = 1 < Azul

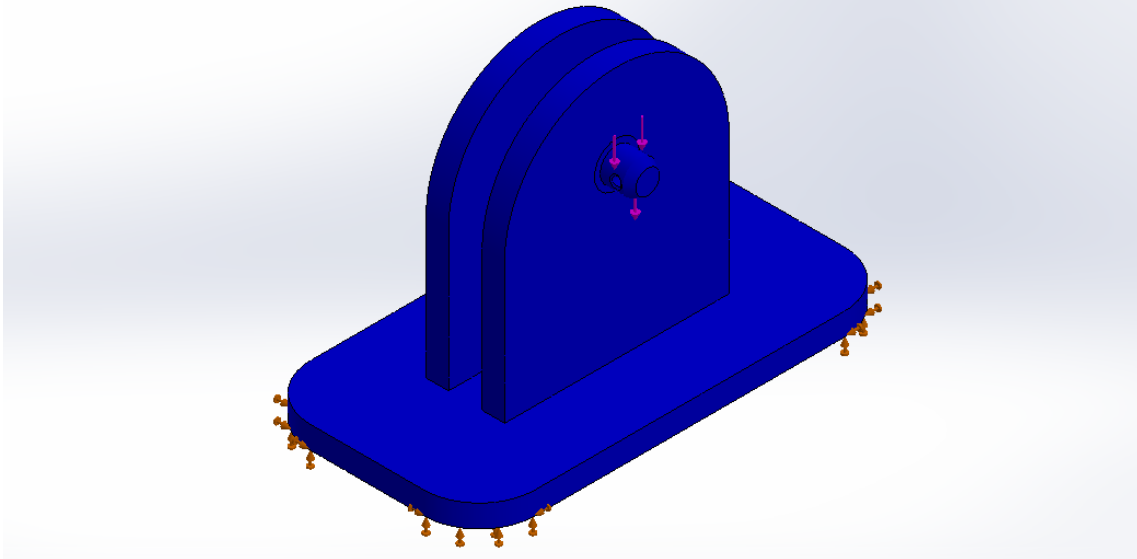


Figura 6.8 – Factor de seguridad en la pieza (1)

Nombre del modelo:Ensamblaje1
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Rojo < FOS = 1 < Azul

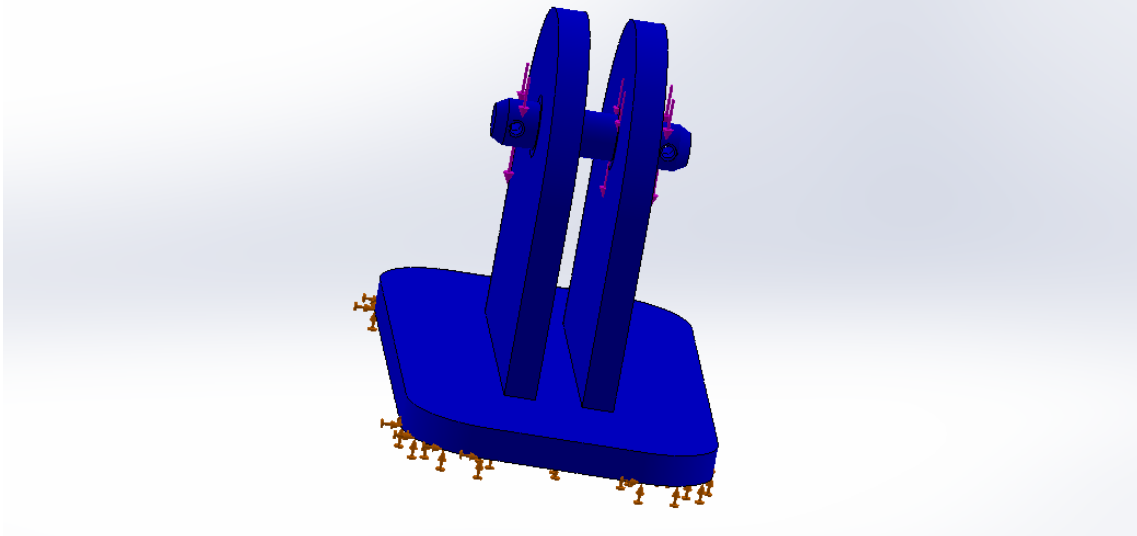


Figura 6.9 – Factor de seguridad en la pieza (2)

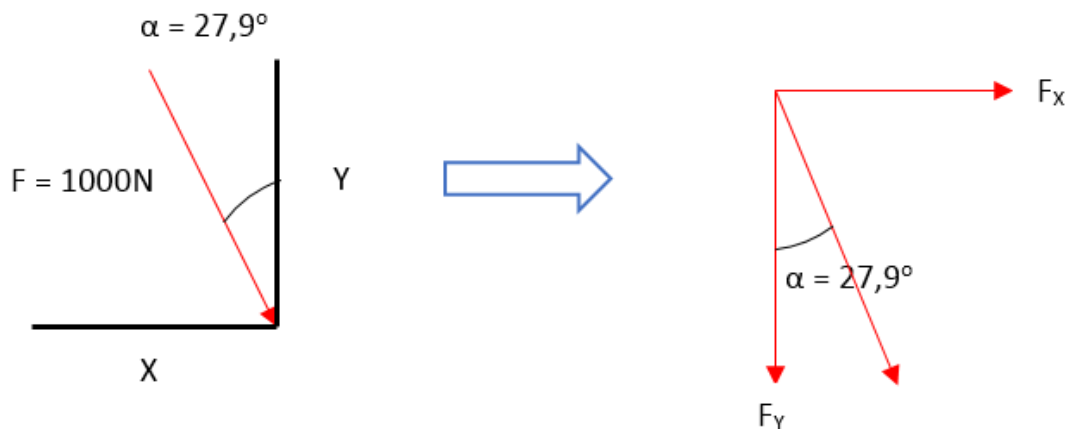
6.2 Enganche del actuador lineal

El enganche del actuador lineal será el encargado de recibir un tercio de la carga generada en el panel y el marco. Comprobaremos que el pasador es capaz de resistir el esfuerzo transmitido y que la pieza principal no se deforma de manera excesiva provocando así daños al conjunto.

El criterio principal volverá a ser el de las tensiones máximas de Von Mises pero se analizarán también desplazamientos y el factor de seguridad.

Los parámetros que introducimos en la simulación consisten en fijar una sujeción en la parte inferior de la pieza, que además será la parte fija dentro del conjunto del seguidor, asignar una configuración de pasador con impedimento de rotación y traslación al propio pasador de acero y aplicar dos cargas, una horizontal y otra vertical que se correspondan con la descomposición de la fuerza que llega a $27,9^\circ$ transmitida por el actuador. El valor de la carga a descomponer ascenderá a 1000 N, lo que supone un tercio de la transmitida por el conjunto marco-panel y las cargas dinámicas de viento y nieve.

La descomposición de las cargas corresponde con el siguiente esquema:



$$F_X = \text{sen}(\alpha) \cdot F$$

$$F_Y = \text{cos}(\alpha) \cdot F$$

$$F_X = \text{sen}(27,9^\circ) \cdot 1000 = 468 \text{ N}$$

$$F_Y = \text{cos}(27,9^\circ) \cdot 1000 = 883,7 \text{ N}$$

Figura 6.10 – Descomposición de la carga a aplicar

De esta manera la resultante de las dos cargas aplicadas será la misma que si aplicáramos una carga de 1000 N a 27,9° de la vertical.

Una vez introducidos los datos en el SolidWorks obtenemos las siguientes conclusiones de los gráficos.

6.2.1 Distribución de tensiones

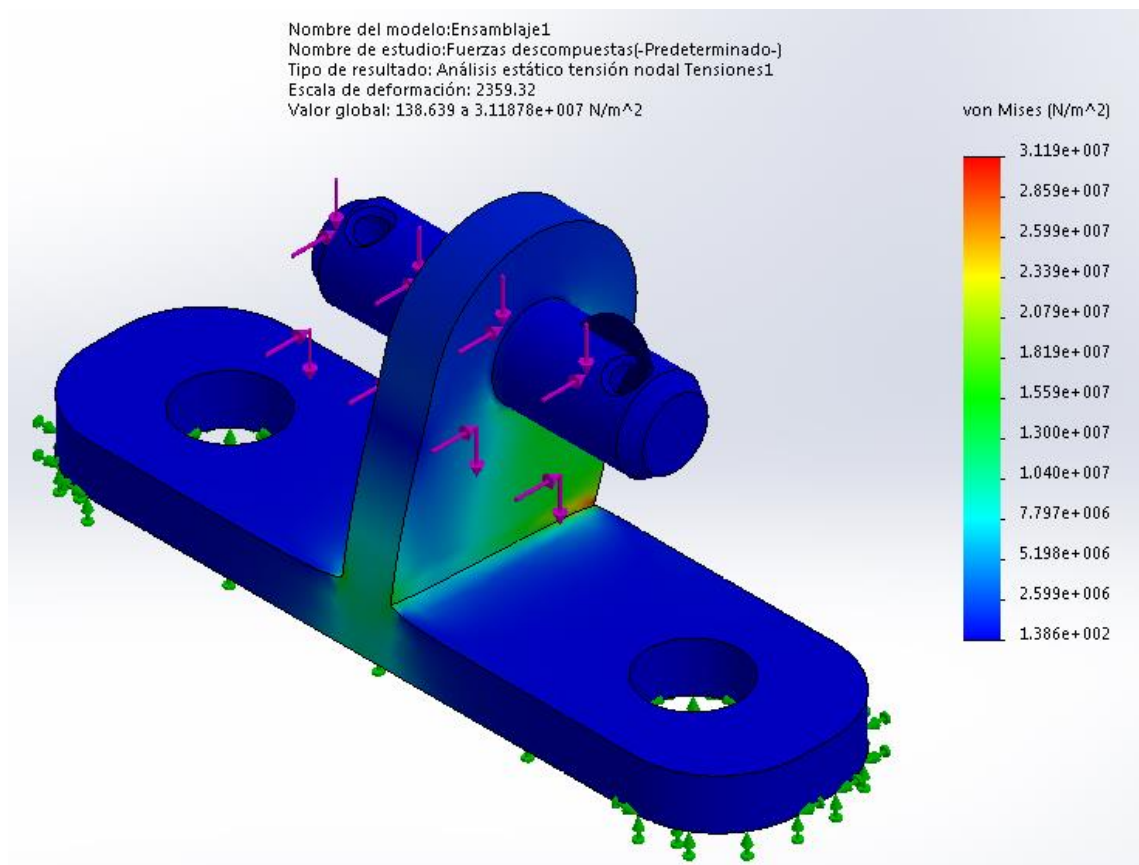


Figura 6.11 – Tensiones de Von Mises en el enganche del actuador lineal

El valor máximo registrado se alcanza en la zona de unión entre la base y la pletina que se alza en vertical. El valor máximo es de $3,119 \times 10^7$ N/m². El valor mínimo de tensión registrado en un elemento finito de la pieza es de $1,386 \times 10^2$ N/m².

Como podemos observar las tensiones no son especialmente elevadas exceptuando la zona de unión entre la base y la pletina.

6.2.2 Desplazamientos generados

El desplazamiento generado a causa de la carga es más importante en la parte superior de la pletina ya que es la zona en la que se aplica la carga. En ese punto se generará un par de fuerzas.

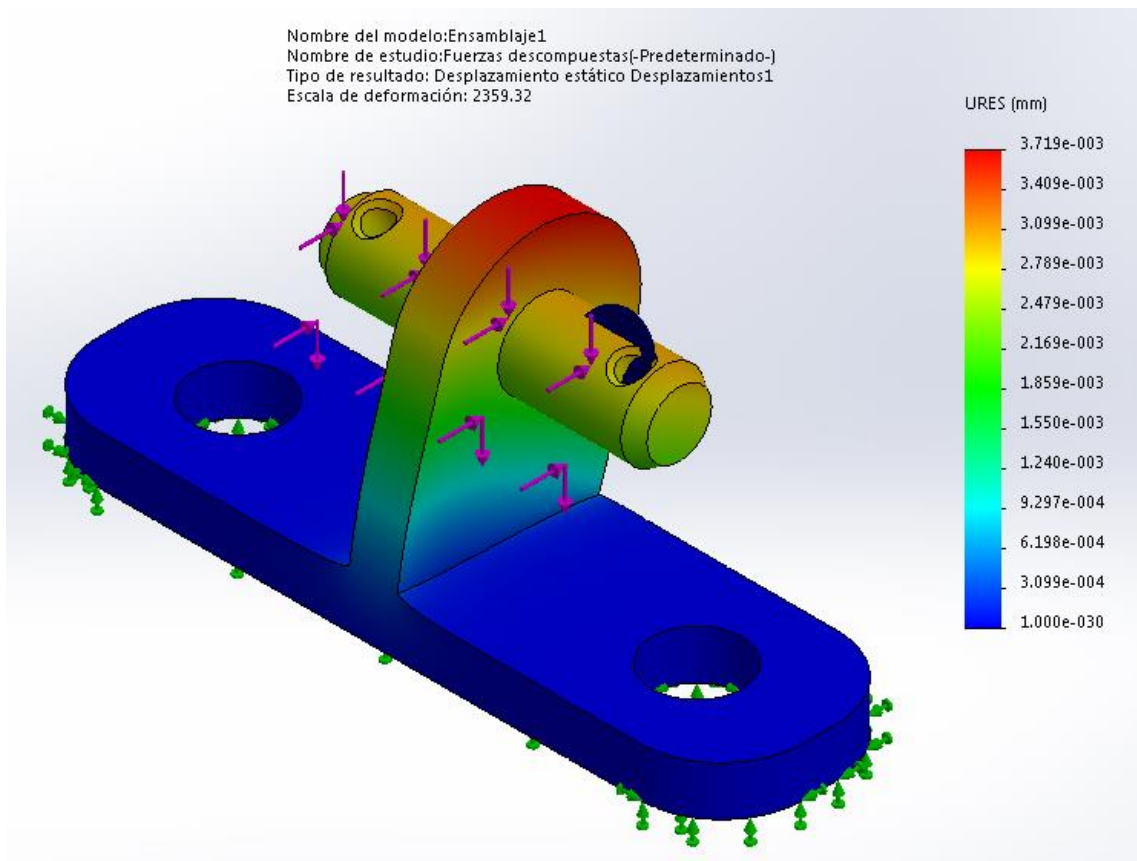


Figura 6.12 – Desplazamientos en generados en el enganche del actuador lineal

El desplazamiento en el modelo se encuentra en una escala de aumentación, con lo que se exagera 2359,32 veces, en la pieza sería prácticamente inapreciable ya que el máximo desplazamiento generado es de $3,719 \times 10^{-3}$ mm.

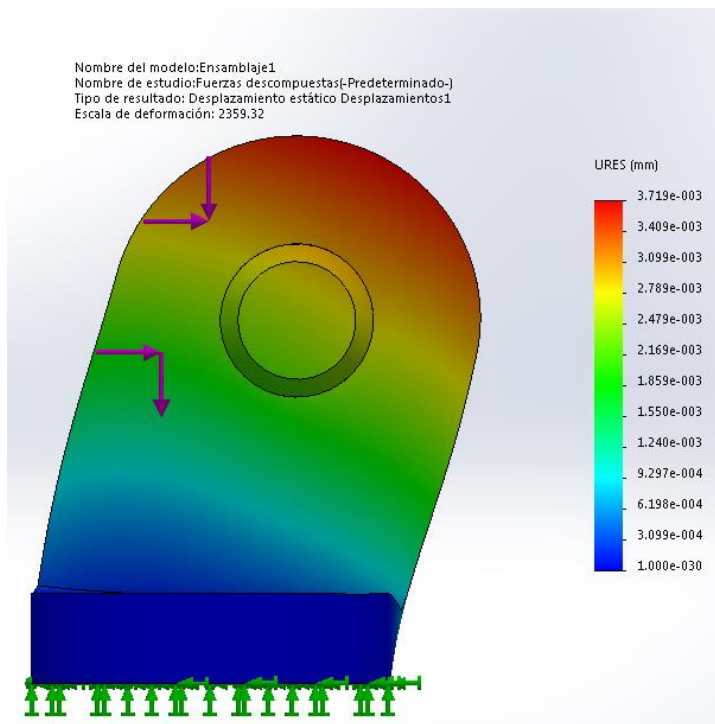


Figura 6.13 – Vista lateral de los desplazamientos generados sobre la pieza

6.2.3 Deformación unitaria

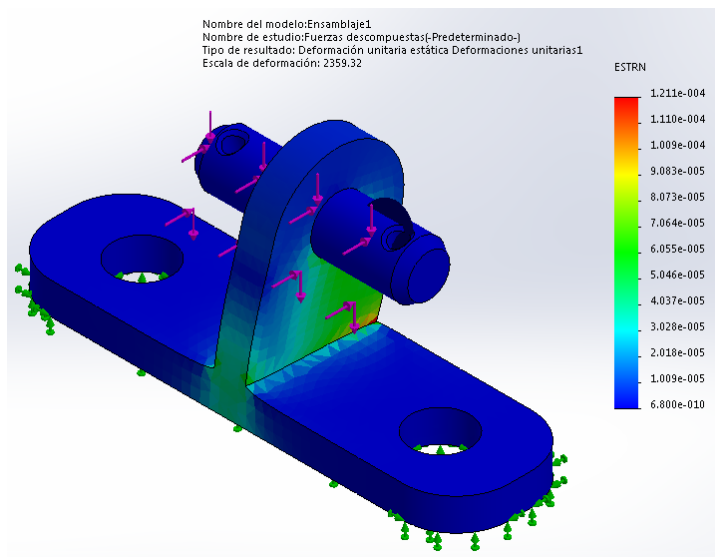


Figura 6.14 – Deformación unitaria en la pieza

La máxima deformación unitaria se localiza en la zona donde se une con la base. Ahí es donde se localizan los mayores valores de tensión con lo que la deformación unitaria por tanto será también máxima

6.2.4 Factor de seguridad

El factor de seguridad no se encuentra por debajo del límite fijado en 1 en ningún punto de la pieza con lo que podemos afirmar que la pieza es resistente y la carga máxima estimada puede ser perfectamente absorbida por la misma.

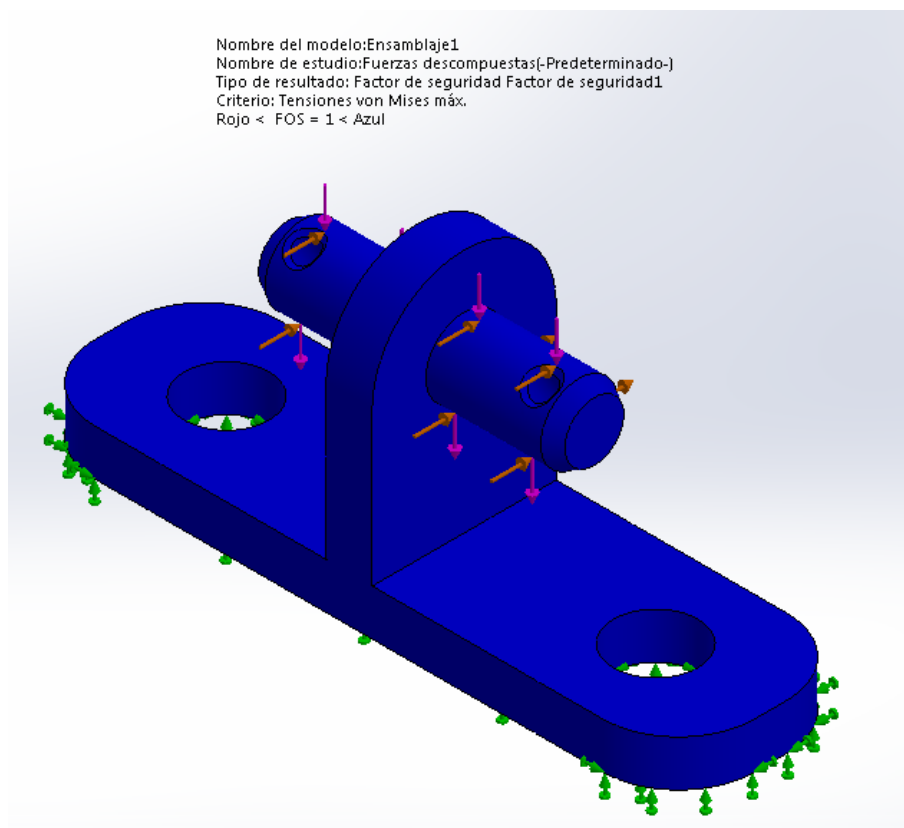


Figura 6.15 – Comprobación del factor de seguridad en la pieza

La distribución del factor de seguridad en el enganche es muy homogénea y muestra que no hay zonas especialmente cerca de ceder y deformarse o romperse. El criterio que se toma como referencia en este caso es el de las tensiones máximas de Von Mises.

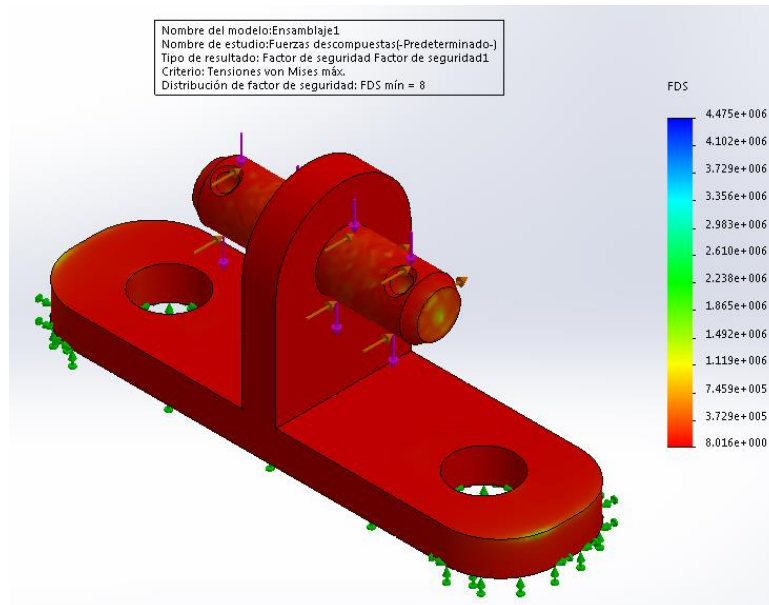


Figura 6.16 – Distribución del factor de seguridad en la pieza

6.3 Cuerpo de la estructura

La estructura será la encargada de soportar todos los esfuerzos generados en el marco como son los dinámicos de viento y nieve combinados con el peso propio de ese componente.

Se procurará que resista las cargas más desfavorables en cualquiera de las posiciones en las que se encuentre. La mayor carga estimada será la de posición totalmente horizontal del panel en la que la combinación de nieve, viento y peso propio alcanza los 2,42 kN.

La carga que se tomará para realizar la simulación será de 3,0 kN y estará repartida entre los tres puntos de apoyo, las dos pletinas del eje de seguimiento cenital y el enganche del actuador, de manera equitativa con 1 kN para cada uno. La carga se descompondrá para simular una carga con el panel a unos 25° respecto a la horizontal y con el actuador a unos 30° respecto a la vertical. Además se ha aplicado una restricción a la hora de simular para intentar aproximar el modelo lo más posible a la realidad. Esta restricción consiste en evitar un desplazamiento lateral en los brazos de la estructura como reacción al esfuerzo generado en el marco, simulando así el efecto de éste gracias al cual los brazos se mantienen a igual distancia con un desplazamiento mínimo e inapreciable. De esta manera evitamos falsear datos y resultados y aproximar lo más real posible la estructura.

6.3.1 Desplazamientos generados

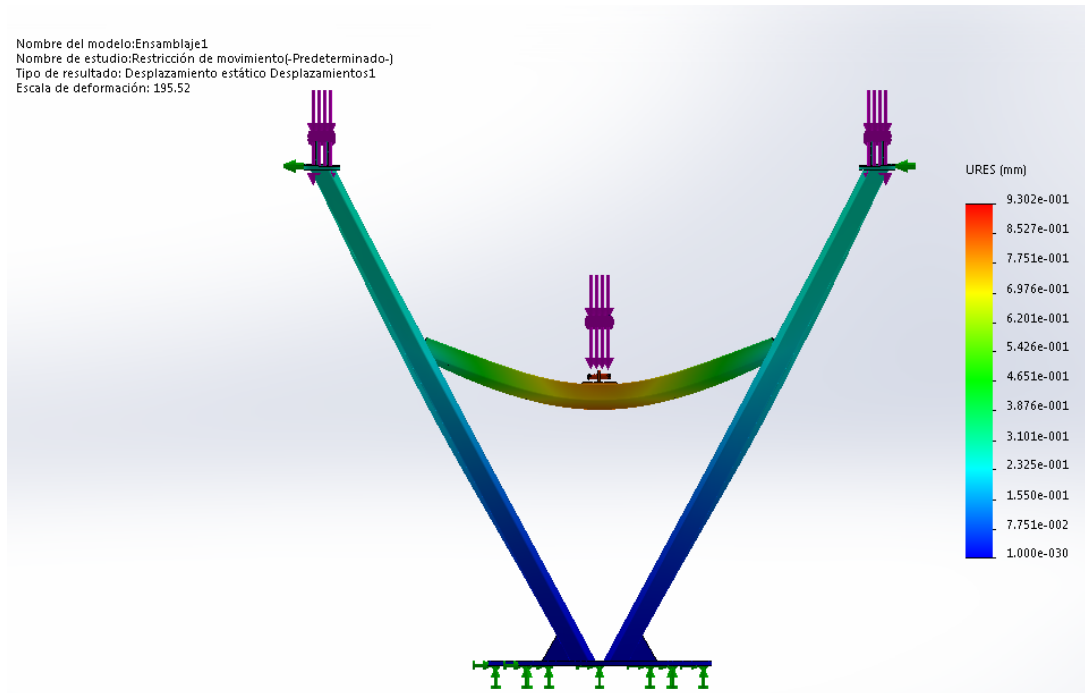


Figura 6.17 – Desplazamiento en el marco aplicando restricción

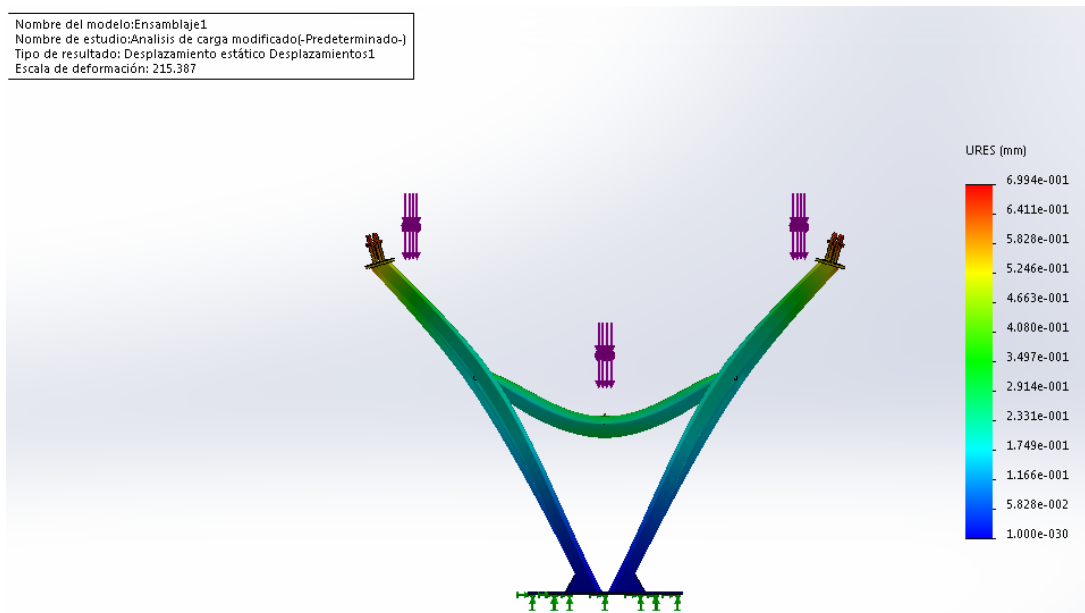


Figura 6.18 – Desplazamiento en el marco sin aplicar restricción

Como podemos observar si no simulamos correctamente podemos llegar a conclusiones erróneas que condicionen otras partes del proyecto.

En la imagen 6.17 vemos como los brazos se mantienen en la misma posición. Esto es debido a que el marco se encargará de fijar a ambos brazos y evitar la flexión y los desplazamientos de los perfiles principales que conforman los brazos.

El desplazamiento máximo como podemos observar en la imagen 6.17 que es la que corresponde con el modelo más cercano a la realidad, se dará en el perfil central en el que se apoyará el actuador lineal, la flexión aquí es importante y las soldaduras involucradas deberán ser íntegras y resistentes para evitar deformaciones en los perfiles que puedan favorecer una rotura en el actuador lineal.

Se observa también como en la zona de unión con la chapa, donde se encuentran además las cartelas, el desplazamiento es prácticamente nulo por lo que podemos decir que las cartelas cumplen su función de rigidizar y distribuir la carga de una manera adecuada lo que favorece que en la chapa no se generen tensiones que puedan provocar deformaciones que perjudiquen el correcto funcionamiento del sistema además de dañar a otros equipos componentes del seguidor. El máximo desplazamiento que tenemos en la estructura en las condiciones dadas será de $9,302 \times 10^{-1}$ mm. En la imagen la escala de deformación es de 195.52 con lo que se ve exagerada para poder apreciar la configuración que tendría la estructura con la deformación sobre ella.

6.3.2 Distribución de tensiones

El parámetro sobre el que basaremos el estudio estructural al igual que se ha realizado con el resto de las piezas es el de las tensiones de Von Mises.

En nuestro modelo cargado y con restricción aplicada la distribución de las tensiones de Von Mises es bastante uniforme siendo mayor en el perfil central.

Esto indica que la estructura no se sobrecargará especialmente en ningún punto y tomando como referencia el valor del límite elástico del acero vemos que no se sobrepasará en ningún punto con lo que de acuerdo a la Teoría del Fallo de Von Mises la estructura resistirá las cargas estimadas y además será capaz de absorber la energía transmitida sin que se genere una deformación o un fallo.

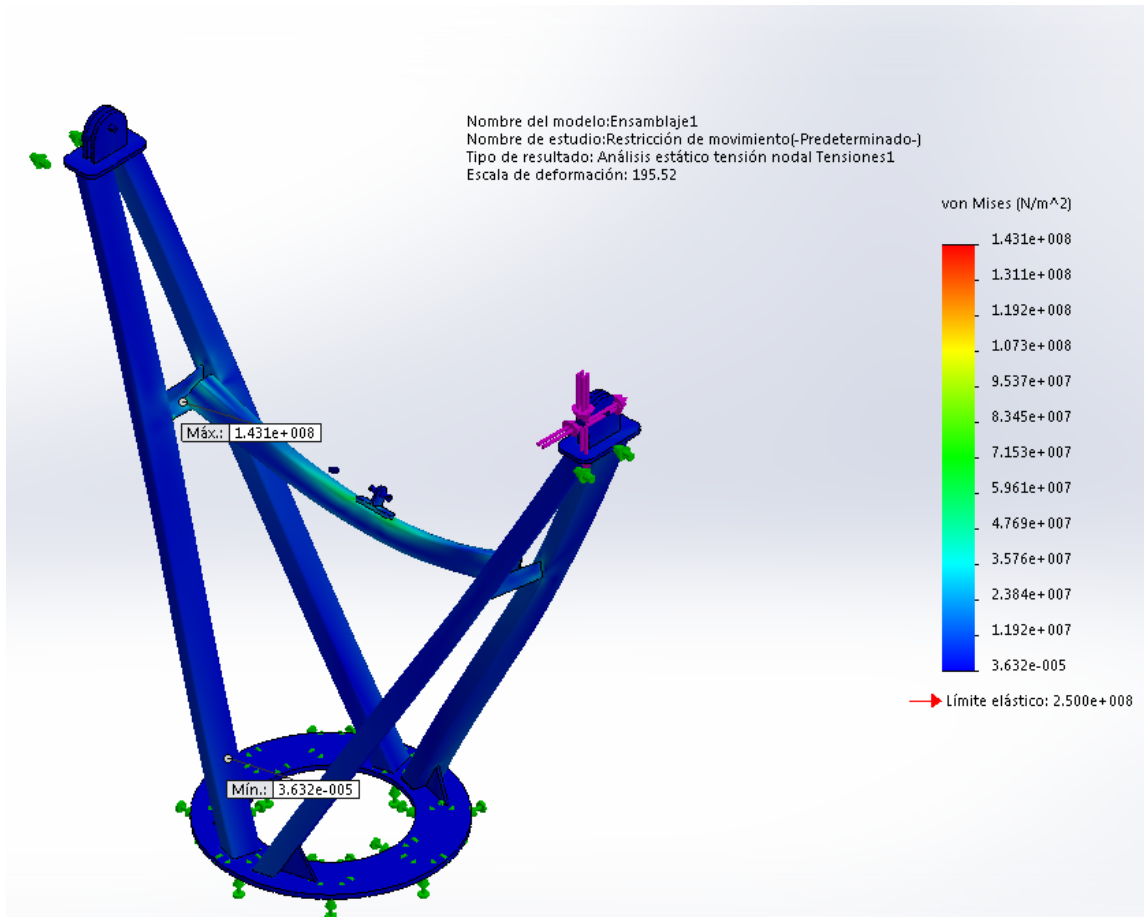


Figura 6.19 – Tensiones de Von Mises en el cuerpo de la estructura

Las zonas que soportarán mayores tensiones son las del perfil trasversal donde como consecuencia se generará mayor desplazamiento como hemos visto en la imagen 6.17. También se darán tensiones importantes (valor máximo de $1,431 \times 10^8$ N/m²) en los perfiles angulares que ejercen de apoyo a ese perfil trasversal, aunque sin superar en ningún caso el valor del límite elástico.

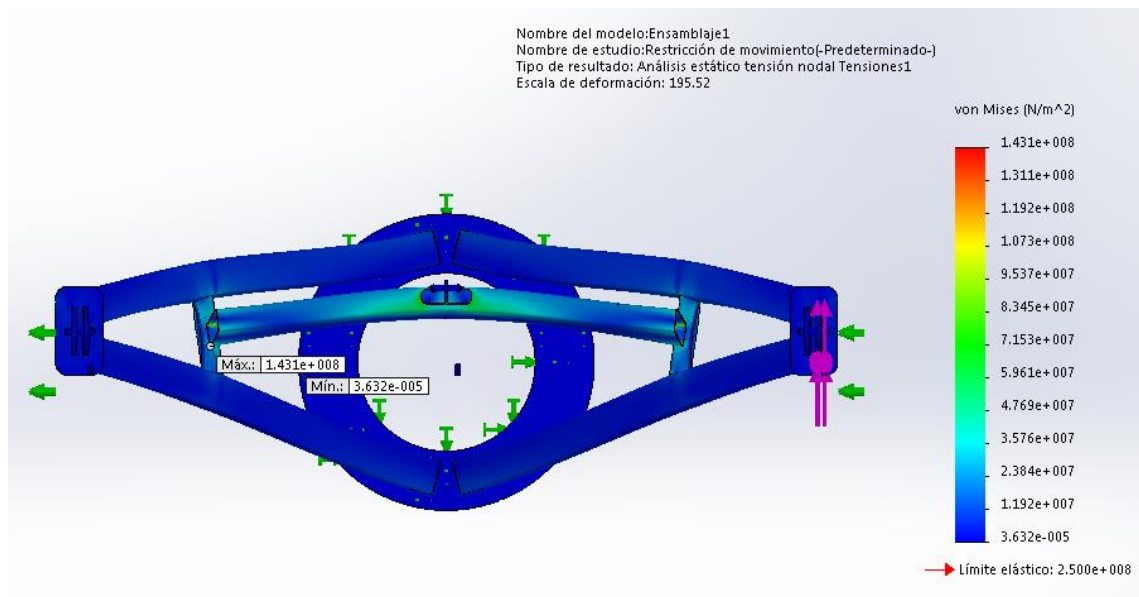


Figura 6.20 – Tensiones de Von Mises con la vista en planta

6.3.3 Deformación unitaria

Otro parámetro que es representativo de la dinámica estructural es el de las deformaciones unitarias.

La escala de deformación es aumentativa y toma un valor de 195.52.

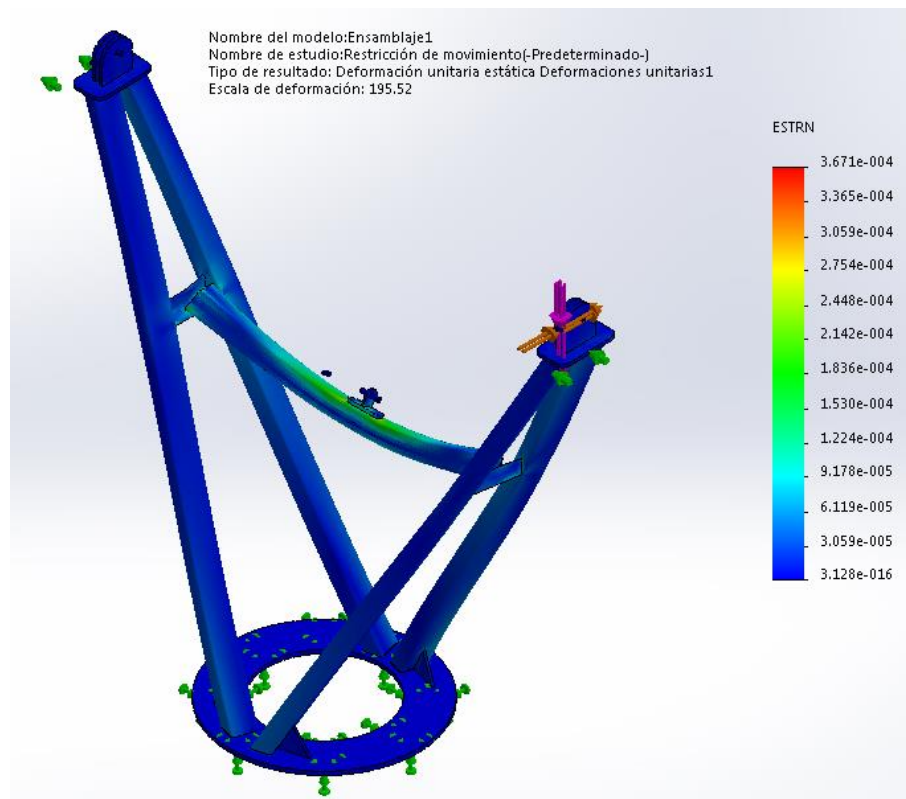


Figura 6.21 – Deformación unitaria de la estructura

La zona donde la deformación unitaria es mayor coincide de nuevo con el perfil transversal donde se registran las mayores tensiones y los mayores desplazamientos.

La configuración de esta parte de la estructura y las características de la carga que incide en el enganche hacen de esta sección de la estructura una zona delicada y susceptible de deformarse.

6.3.4 Factor de seguridad

Como comprobación extra se puede tomar el factor de seguridad y su distribución en la estructura. Esto nos permite conocer el lugar exacto donde la estructura cedería ante la carga simulada generando un fallo.

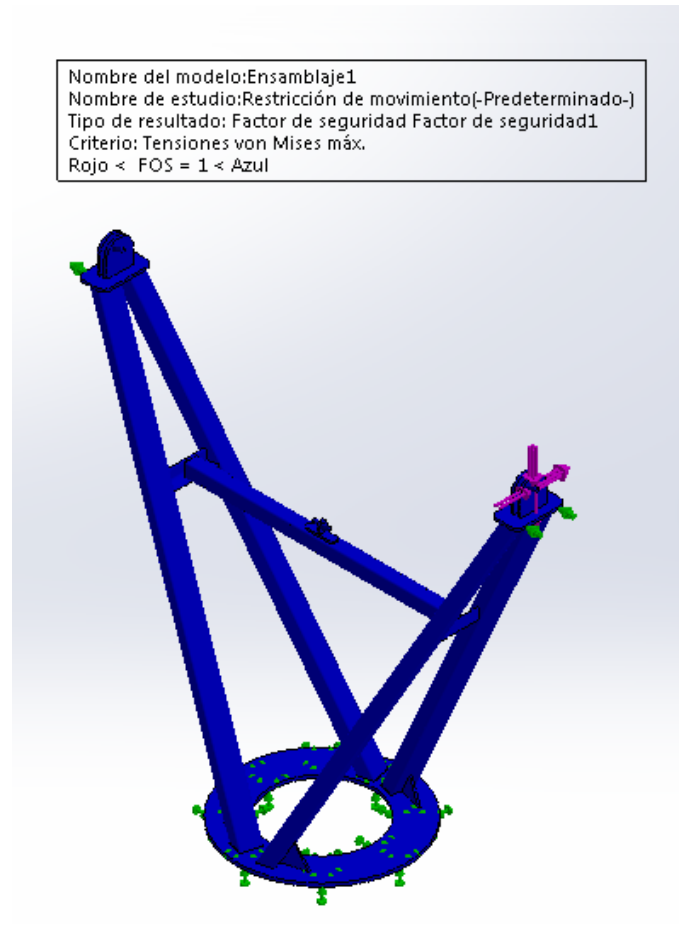


Figura 6.22 – Factor de seguridad en la estructura

El tono azul indica que la estructura mantiene el factor de seguridad por encima del límite mínimo fijado en 1 con lo que la estructura es totalmente estable y resistente ante el caso más desfavorable estudiado.

Como complemento a la comprobación del factor de seguridad podemos observar la distribución del valor del mismo en la estructura para poder tomar idea de en qué zonas se está cerca de rebasar inferiormente ese valor y por tanto las zonas donde un fallo es más posible.

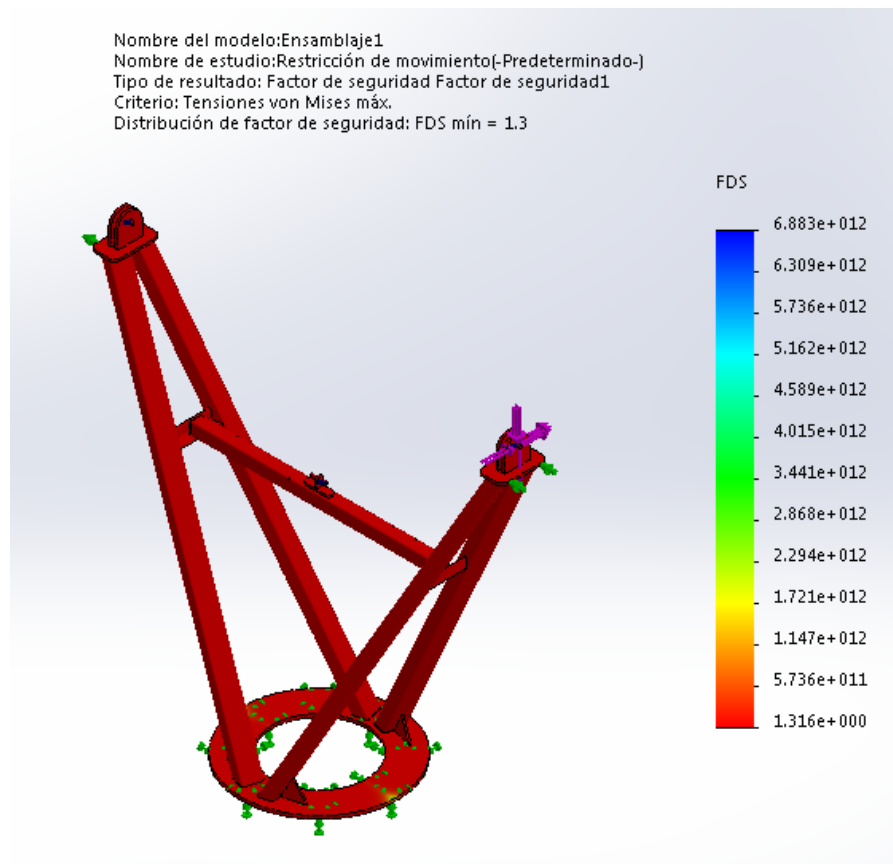


Figura 6.23 – Distribución del factor de seguridad en la estructura

La distribución del factor de seguridad es bastante homogénea en toda la estructura pero con un valor lo suficientemente elevado como para poder afirmar que será estable y resistirá las cargas estimadas como máximas.

6.4 Base del sistema

La base del sistema recoge todos los esfuerzos generados por el cuerpo del seguidor, y el marco además de los sistemas auxiliares instalados, y los transmite al forjado.

La base debe ser resistente al vuelco completamente además de repartir las cargas por el forjado de manera equitativa y nunca superando los 3000 N/m^2 .

Para su simulación y análisis nos basaremos en el criterio de las tensiones máximas de Von Mises como en los anteriores.

Además será necesario prestar atención a los desplazamientos de la chapa base ya que es la que recibe todas las cargas y se encuentra apoyada y soldada en sus laterales por lo que el centro queda libre en la cara inferior y se puede producir flexión.

No se aplicarán restricciones al modelo excepto la geometría fija del sistema, que se fijará en la cara en contacto con el suelo de la chapa del sistema de reparto de carga.

6.4.1 Distribución de tensiones

Las tensiones máximas generadas en la simulación se concentran principalmente en la chapa antes mencionada. Los perfiles apenas soportan tensiones ya que se encuentran apoyados en toda su longitud. De la misma manera ocurre con la chapa del sistema de reparto de cargas, se encuentra totalmente apoyada en el forjado y no soporta apenas tensiones.

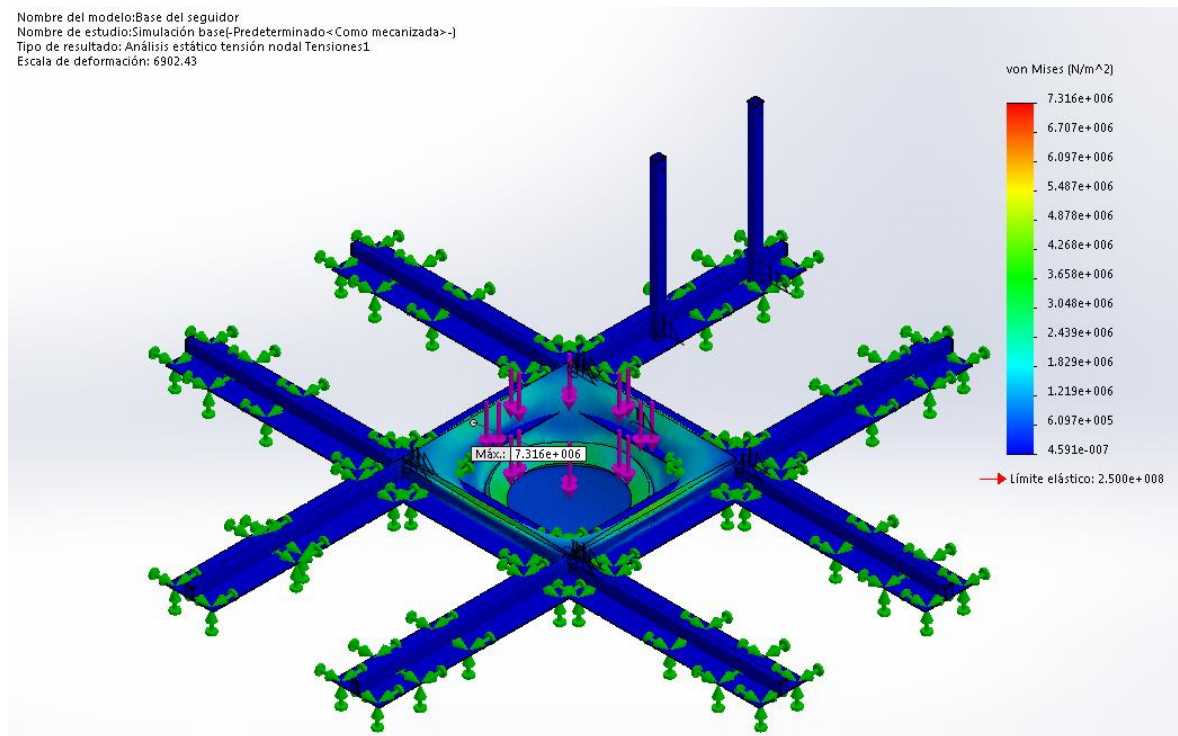


Figura 6.24 – Reparto de tensiones en la base del sistema

El valor máximo alcanzado es de $7,361 \times 10^6$ N/m² de manera que no se supera el límite elástico del material en ningún punto.

La escala de deformación se encuentra exagerada 6902,43 veces.

Como observamos la carga no genera unas tensiones que la configuración estructural y los materiales no puedan soportar con lo que podemos afirmar que resiste lo aplicado.

6.4.2 Desplazamientos generados

A continuación vamos a analizar los desplazamientos generados en la estructura debido a las cargas. Los más importantes ocurren en el centro de la chapa base como es lógico ya que se encuentra libre en cara inferior excepto una franja en los laterales que se encuentra soldada, y por tanto en contacto, con los perfiles.

El valor máximo será de $3,636 \times 10^{-2}$ mm que se corresponden con 36 micras. Ese desplazamiento es prácticamente inapreciable pero se debe considerar en todo momento para evitar problemas con el anillo de carga y el motor además de con el cuerpo de la estructura.

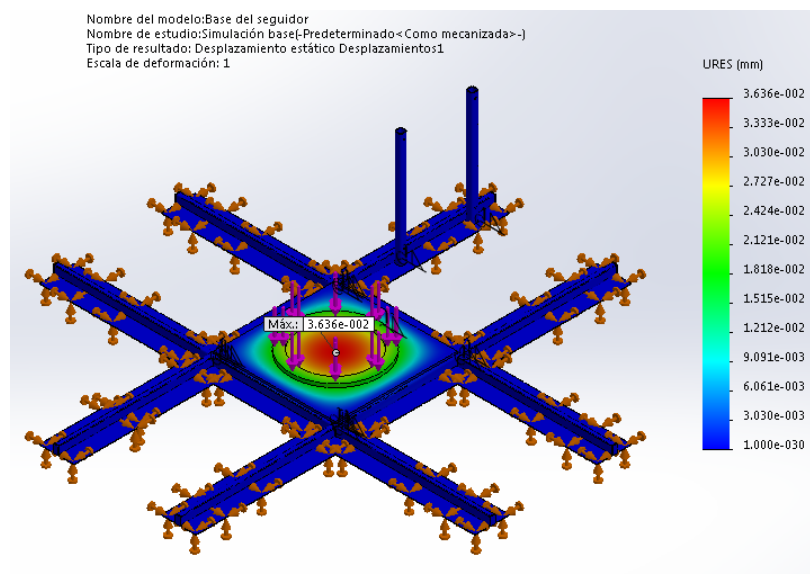


Figura 6.25 – Distribución de los desplazamientos en la base

En caso de ser necesario por cambios en la configuración del seguidor se podrá soldar un perfil a la cara inferior que vaya también fijado a los perfiles a los que se fija la chapa quedando perpendicular a ellos.

6.4.3 Deformación unitaria

La deformación unitaria se encuentra en una escala aumentativa de 6902,43.

Los valores máximos alcanzados se encuentran en la zona de la chapa. La explicación sigue los mismos criterios que la del reparto de tensiones y los desplazamientos y se debe a la configuración del montaje de la chapa que no se encuentra apoyada en su zona central en ningún punto y por tanto se deformará más ahí que en ningún otro punto.

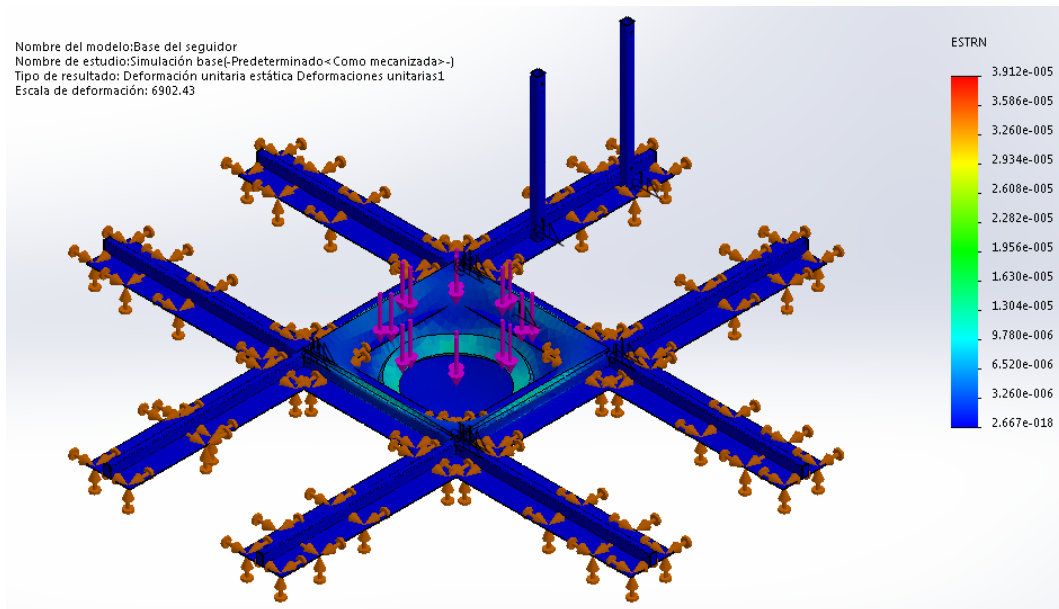


Figura 6.26 – Deformación unitaria en la base

La deformación unitaria se deberá considerar a efectos de diseño y realizar inspecciones visuales para asegurarnos de que se mantiene dentro de las previsiones. El valor que alcanza no es muy grande por lo que en principio no debería generar problemas

6.4.4 Factor de seguridad

El factor de seguridad o FDS nos permite asegurar, en función del criterio empleado para el análisis estructural (Tensiones de Von Mises), que las cargas a las que sometemos el modelo no generarán un fallo en la estructura y por tanto nos permite certificar la seguridad estructural de la base en este caso.

La distribución del factor de seguridad a lo largo de la base es homogénea. Esto nos indica que los criterios empleados para generar este factor son iguales en todos los puntos de la base.

El mínimo factor de seguridad a cumplir se limita a 1. El mínimo generado en la base es 28 con lo que podemos afirmar que no se incumple este criterio.

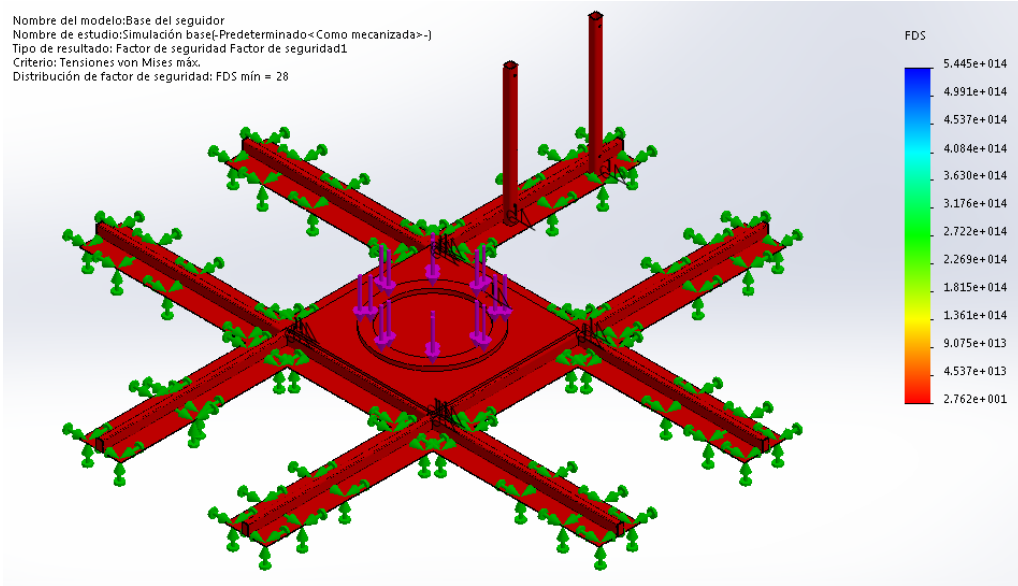


Figura 6.27 – Distribución del factor de seguridad en la base

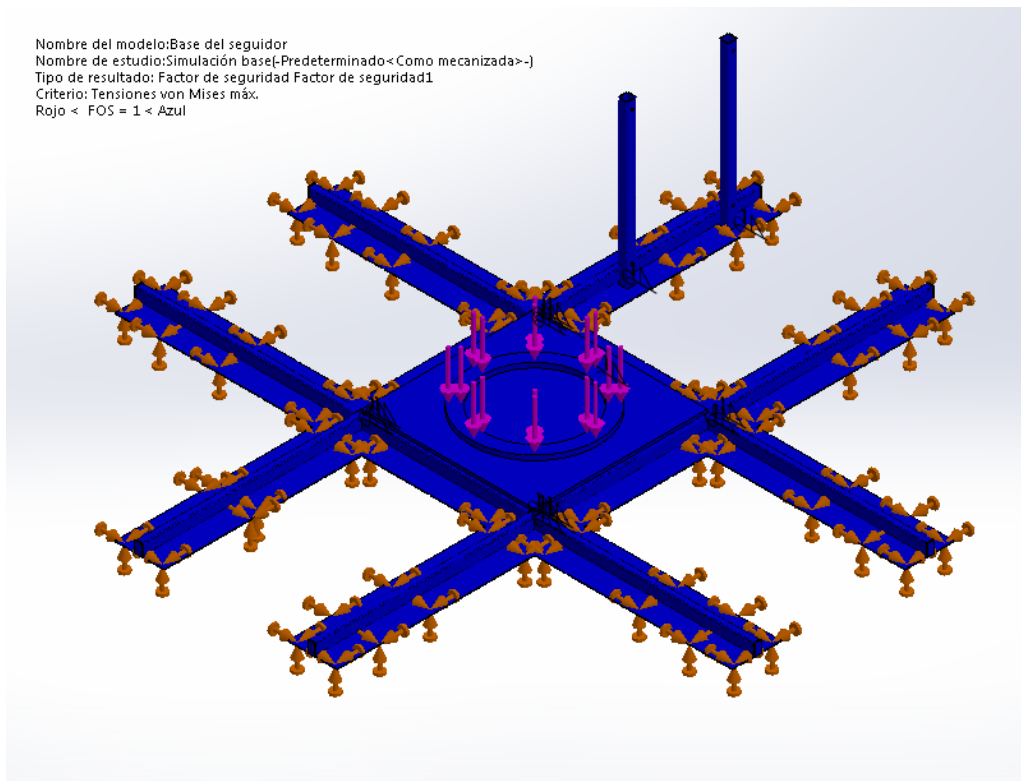


Figura 6.28 – Zonas de la estructura en las que no se cumple el factor de seguridad

La presencia del color azul nos certifica que el criterio del factor de seguridad se cumple íntegramente.

Ninguna de las piezas simuladas ofrece unos resultados que nos indiquen que puede producirse una falla. Como medida preventiva hemos sobredimensionado los cálculos de manera que nos coloquemos del lado de la seguridad y hemos aplicado además los criterios más restrictivos en todos los campos.

Por tanto podemos deducir que la estructura está sobredimensionada y que es capaz de soportar los esfuerzos a los que pueda verse sometida.

REFERENCIAS

- Cabanillas, Juan Pablo. (2009). *El viento y la panacea de las posiciones de defensa en los seguidores solares.*
- De Castro, Carlos Armando. *Teorías de falla bajo cargas estáticas.*
- Dassault Systèmes. *Guía del instructor para la enseñanza de software SolidWorks®.* Concord (Massachusetts, EEUU).
- Dassault Systèmes. *Proyecto de diseño de un puente con el software SolidWorks®.* Concord (Massachusetts, EEUU).
- Ministerio de Fomento del Gobierno de España. (2008). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.*
- Ministerio de Fomento del Gobierno de España. (1988). *Norma Básica de Edificación: Acciones en la edificación.*
- Ministerio de Fomento del Gobierno de España. (2008). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Acero.*
- www.solidworks.es/sw/edication



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

DOCUMENTACIÓN

ÍNDICE

1	DATOS PLC SIEMENS® SIMATIC S7-1200.....	2
2	CATÁLOGO MOTORES PARVALUX® DE CORRIENTE ALTERNA	4
3	DATOS ACTUADOR LINEAL LINAK® LA-30.....	6
4	DATOS TÉCNICOS ARMARIOS ELÉCTRICOS RITTAL.....	12
5	CATÁLOGO CASQUILLOS DE BRONCE.....	14
6	PRONTUARIO DE ACEROS.....	16

SIMATIC S7-1200

Módulos centrales

CPU 1214C

Sinopsis



- La CPU compacta de alto rendimiento
- Con 24 entradas/salidas integradas
- Ampliable con:
 - 1 Signal Board (SB) o Communication Board (CB)
 - 8 Signal Modules (SM)
 - Máx. 3 módulos de comunicaciones (CM)

Datos técnicos

	6ES7 214-1BG31-0XB0 CPU 1214C AC/DC/relé	6ES7 214-1AG31-0XB0 CPU 1214C DC/DC/DC	6ES7 214-1HG31-0XB0 CPU 1214C DC/DC/relé
Información general			
Ingeniería con			
• Paquete de programación	STEP 7 V11.0 SP2 o superior	STEP 7 V11.0 SP2 o superior	STEP 7 V11.0 SP2 o superior
Tensión de alimentación			
24 V DC		Sí	Sí
120 V AC	Sí		
230 V AC	Sí		
Alimentación de sensores			
Alimentación de sensores 24 V			
• 24 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V
Pérdidas			
Pérdidas, típ.	14 W	12 W	12 W
Memoria			
Memoria de trabajo			
• integrada	75 kbyte	75 kbyte	75 kbyte
Memoria de carga			
• integrada	4 Mbyte	4 Mbyte	4 Mbyte
Respaldo			
• sin pila	Sí	Sí	Sí
Tiempos de ejecución de la CPU			
para operaciones de bits, típ.	0,085 µs; /instrucción	0,085 µs; /instrucción	0,085 µs; /instrucción
para operaciones de palabras, típ.	1,7 µs; /instrucción	1,7 µs; /instrucción	1,7 µs; /instrucción
para aritmética en coma flotante, típ.	2,5 µs; /instrucción	2,5 µs; /instrucción	2,5 µs; /instrucción
Áreas de datos y su remanencia			
Marcas			
• Cantidad, máx.	8 kbyte; Tamaño del área de marcas	8 kbyte; Tamaño del área de marcas	8 kbyte; Tamaño del área de marcas
Área de direcciones			
Imagen del proceso			
• Entradas, configurables	1 kbyte	1 kbyte	1 kbyte
• Salidas, configurables	1 kbyte	1 kbyte	1 kbyte
Hora			
Reloj			
• Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Sí	Sí	Sí

Datos técnicos (continuación)

	6ES7 214-1BG31-0XB0 CPU 1214C AC/DC/relé	6ES7 214-1AG31-0XB0 CPU 1214C DC/DC/DC	6ES7 214-1HG31-0XB0 CPU 1214C DC/DC/relé
Entradas digitales			
Cantidad/entradas binarias • De ellas, entradas usable para funciones tecnológicas	14; integrada 6; HSC (High Speed Counting)	14; integrada 6; HSC (High Speed Counting)	14; integrada 6; HSC (High Speed Counting)
Salidas digitales			
Número/salidas binarias • De ellas, salidas rápidas	10; Relé	10 4; Salida de tren de impulsos 100 kHz	10; Relé
Entradas analógicas			
Canales integrados (AI)	2; 0 a 10 V	2; 0 a 10 V	2; 0 a 10 V
Rangos de entrada • Tensión	Sí	Sí	Sí
1. Interfaz			
Tipo de interfaz	PROFINET	PROFINET	PROFINET
Norma física	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Funcionalidad • PROFINET IO-Controller	Sí	Sí	Sí
Funciones de comunicación			
Comunicación S7 • Soporta servidor iPAR	Sí	Sí	Sí
Comunicación IE abierta • TCP/IP • ISO-on-TCP (RFC1006) • UDP	Sí Sí Sí	Sí Sí Sí	Sí Sí Sí
servidores web • Soporta servidor iPAR	Sí	Sí	Sí
Funciones integradas			
Nº de contadores	6	6	6
Frecuencia de contaje (contadores), máx.	100 kHz	100 kHz	100 kHz
Frecuencímetro	Sí	Sí	Sí
Posicionamiento en lazo abierto	Sí	Sí	Sí
Regulador PID	Sí	Sí	Sí
Nº de entradas de alarma	4	4	4
Nº de salidas de impulsos		2	
Frecuencia límite (impulsos)		100 kHz	
Condiciones ambientales			
Temperatura de empleo • mín. • máx.	-20 °C 60 °C	-20 °C 60 °C	-20 °C 60 °C
Configuración			
programación • Lenguaje de programación - KOP - FUP - SCL	Sí Sí Sí	Sí Sí Sí	Sí Sí Sí
Dimensiones			
Anchura	110 mm	110 mm	110 mm
Altura	100 mm	100 mm	100 mm
Profundidad	75 mm	75 mm	75 mm
Peso			
Peso, aprox.	455 g	415 g	435 g

Gearbox Type:

LWS

Speed Range: 0.22 – 90 r.p.m.

Worm and Multi-Spur Reduction Gear Units

1 or 3 Phase Induction Motors – Constant Speed

Enclosures: Standard – Ventilated Internal Fan Cooled (IP 20)

Alternative – Totally Enclosed (IP 50) with Terminal Box or T.E.F.C. (IP 54)



SD 21 LWS



SD 29 LWS



SD 13 LWS (T.E.F.C.)



SD 18 LWS

Voltage, Construction, Connections, Motor Performance Specifications and

Note: 17mm diameter shaft available with gear ratio's 115:1, 56:1.

Optional Extras see pages 6, 8 and 10 for full details.

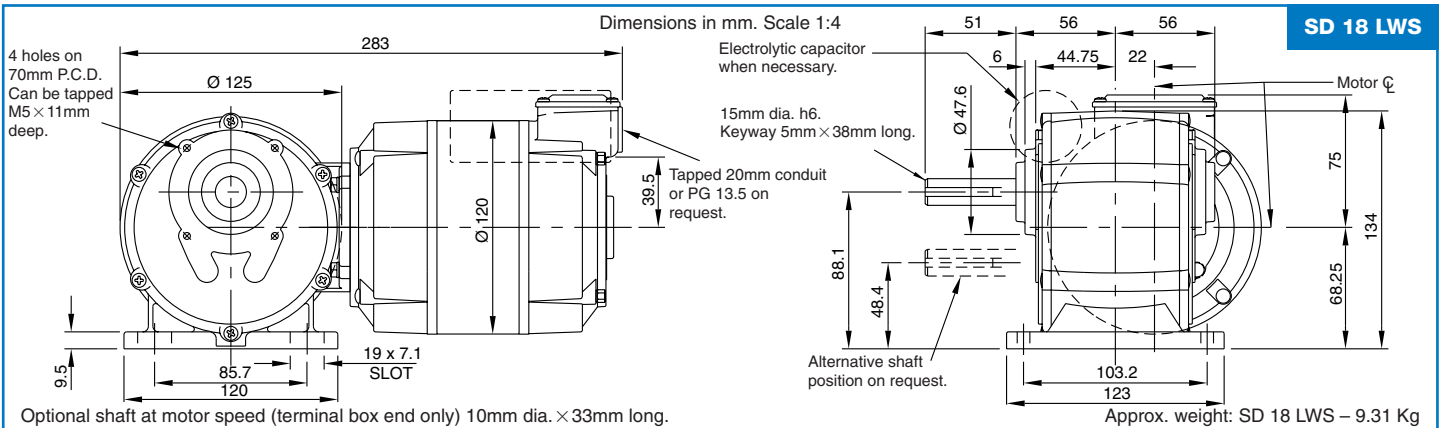
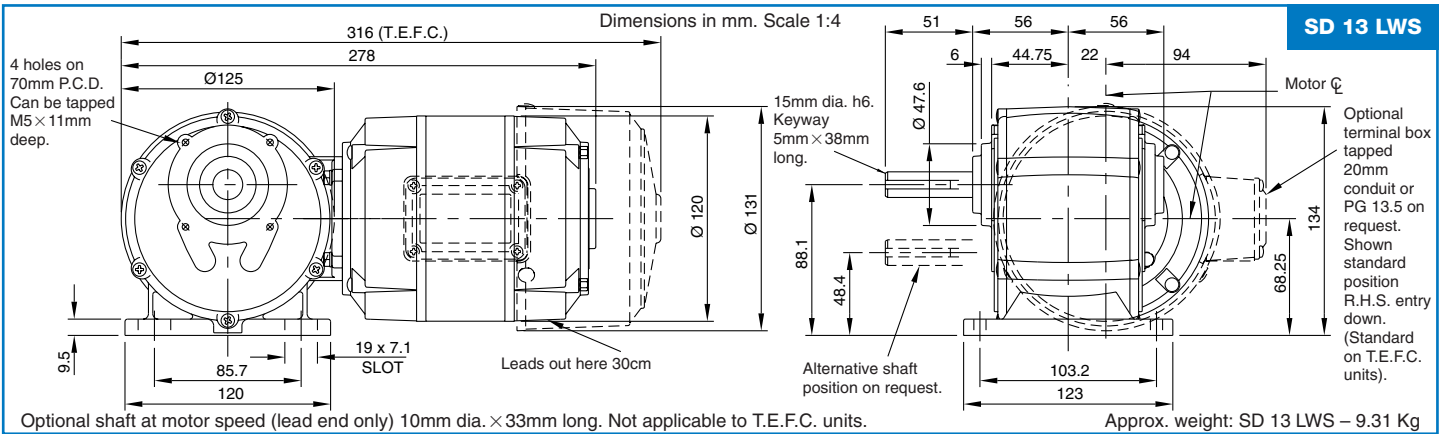
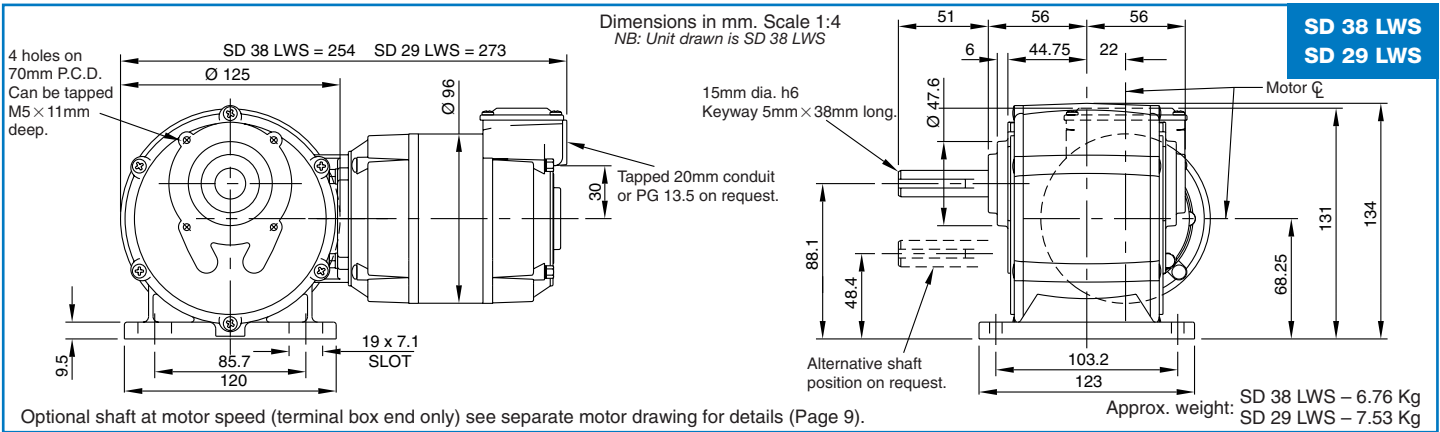
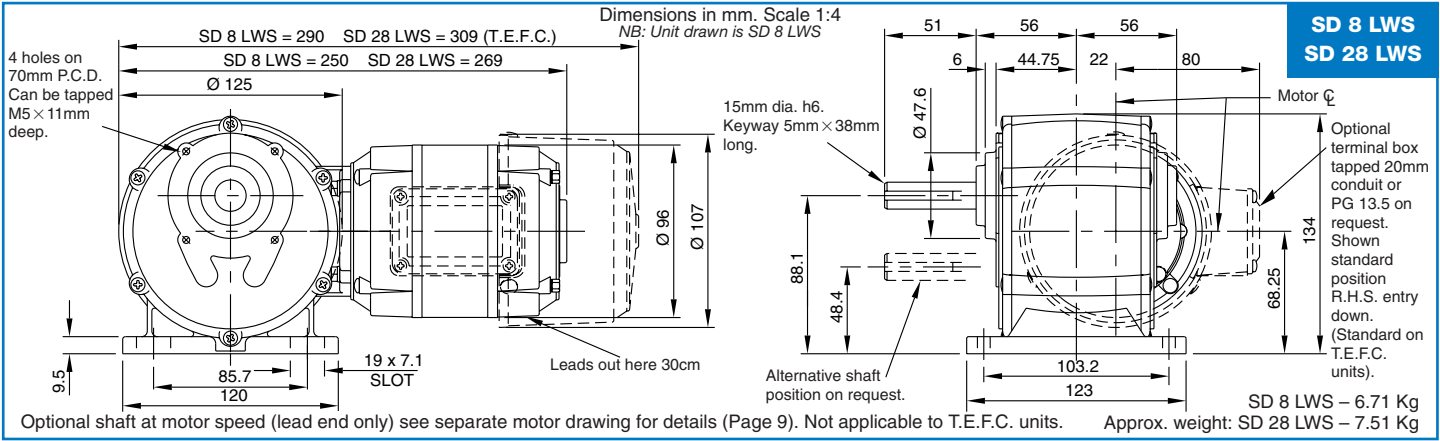
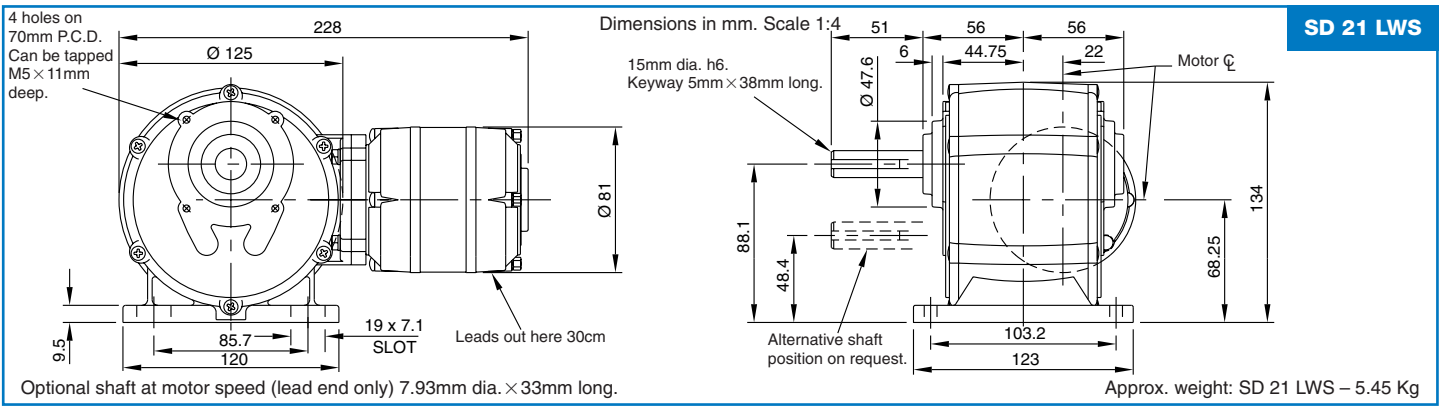
Minimum speed of 0.15 r.p.m. obtainable using 900 r.p.m. motor (SD 8/13/18).

On request gearbox available without feet, can be mounted off of gearbox spigot tappings.

(1 Nm = 8.85 lbs. ins.) (1 Nm = 10.2 cmkp)

Gearbox Specification Motor Speed 1400 r.p.m.		SD 21 LWS		SD 8 LWS - SD 38 LWS		SD 28 LWS - SD 29 LWS		SD 18 LWS		SD 13 LWS - SD 18 LWS			
		1 Phase Capacitor		1 or 3 Phase		1 or 3 Phase		1 Phase Capacitor Start Induction Run		1 Phase		3 Phase	
		Motor Rating 8 watts		Motor Rating 35 watts		Motor Rating 55 watts		Motor Rating 95 watts		Motor Rating 100watts		Motor Rating 125 watts	
FINAL R.P.M.	RATIO		OUTPUT TORQUE (Nm)										
	WORM	SPUR											
0.22	54:1	115:1	100		100		100		100		100		100
0.45	27:1	115:1	67		100		100		100		100		100
0.62	40:1	56:1	45		100		100		100		100		100
0.92	27:1	56:1	35		100		100		100		100		100
1.5	16 1/2:1	56:1	25		100		100		100		100		100
1.85	13 1/2:1	56:1	22		93		100		100		100		100
2.2	11 1/3:1	56:1	20		83		100		100		100		100
2.4	10 1/3:1	56:1	18		78		100		100		100		100
3	8 1/3:1	56:1	15.5		66		100		100		100		100
3.4	16 1/2:1	25:1	11		49		62		62		62		62
4	14 1/2:1	25:1	10		44		62		62		62		62
4.5	12 1/2:1	25:1	9		40		62		62		62		62
5	11 1/3:1	25:1	8		35		55		62		62		62
6	9 1/3:1	25:1	7		30		49		62		62		62
7	8 1/3:1	25:1	6.5		28		45		62		62		62
8	7 1/4:1	25:1	6		26		41		62		62		62
9	6 1/4:1	25:1	5.6		24.5		37		62		62		62
11	5 1/6:1	25:1	5		20		32		55		58		62
13.5	4 1/8:1	25:1	4		17		27		47		50		62
16	14 1/2:1	6:1	2.5		11		17		30		32		39
18.5	12 1/2:1	6:1	2.3		10		16		27		28		35
22.5	10 1/3:1	6:1	1.9		8		13		23		23		28
28	8 1/3:1	6:1	1.7		7		11		20		21		26
32	7 1/4:1	6:1	1.5		6		10		18		18		23
37	6 1/4:1	6:1	1.4		5		9		16		16		21
45	5 1/6:1	6:1	1.2		4.8		8		13.5		14		18
56.5	4 1/8:1	6:1	1.0		4		6.6		11.3		12		15

Gearbox Specification Motor Speed 2800 r.p.m.		SD 21 LWS		SD 8 LWS - SD 38 LWS		SD 28 LWS - SD 29 LWS		SD 18 LWS		SD 13 LWS - SD 18 LWS					
		1 Phase Capacitor		1 or 3 Phase		1 Phase		3 Phase		1 Phase		3 Phase			
		Motor Rating 20 watts		Motor Rating 60 watts		Motor Rating 100 watts		Motor Rating 120 watts		Motor Rating 125 watts		Motor Rating 150 watts		Motor Rating 190 watts	
FINAL R.P.M.	RATIO		OUTPUT TORQUE (Nm)												
	WORM	SPUR													
0.9	27:1	115:1	84		100		100		100		100		100		
1.25	40:1	56:1	57		100		100		100		100		100		
1.85	27:1	56:1	43		100		100		100		100		100		
3.0	16 1/2:1	56:1	32		93		100		100		100		100		
4	12 1/2:1	56:1	26		79		100		100		100		100		
5	10 1/3:1	56:1	20		60		100		100		100		100		
5.4	9 1/3:1	56:1	21		59		100		100		100		100		
7	7 1/4:1	56:1	17		50		84		100		100		100		
8	6 1/4:1	56:1	15		45.5		76		91		95		100		
10	11 1/3:1	25:1	10.6		32		53		62		62		62		
12	9 1/3:1	25:1	9		27		45		54		57		62		
15.5	7 1/4:1	25:1	7.5		22.5		37.5		45		46		62		
22	5 1/6:1	25:1	6		17		29		35		36		56		
27	4 1/8:1	25:1	5		15		25		30		31		47		
37	12 1/2:1	6:1	3		8.4		14		17		17.5		26		
45	10 1/3:1	6:1	2.1		6.3		10.5		12.6		13		19		
56	8 1/3:1	6:1	2.0		6		10		12		12.5		18		
74	6 1/4:1	6:1	1.6		4.8		8		9.6		10		15		
90	5 1/6:1	6:1	1.4		4.2		7		8.4		8		13		



ACTUATOR LA30

Features and options:

- 12/ 24V DC permanent magnet motor
- Max. thrust up to 6000 N (LA30LK)
- Stainless steel piston rod
- Elegant and compact construction with small installation dimensions
- Protection Class: IPX0/66
- Colour: Black
- Speed max. 65 mm/s (LA30 S-motor with 12 mm pitch)
- Low noise level
- Steel construction for all bearing parts
- Acme thread spindle for optimum efficiency
- Extra powerful motor (S-motor)
- L-motor for system actuator
- IP66 (by ordering LA30 with plastic housing)
- Double-acting brake - increased self-locking ability (LA30 with 6 or 9 mm pitch + LA30 S-motor with 6 or 9 mm pitch and LA30L) which ensures that all these types are fully self-locking
- Potentiometer for positioning the actuator 0-1 K ohm, 0-5 K ohm or 0-10 K ohm
- Reed switch (only LA30 L-motor versions): 8 pulses pr. spindle revolution
- Mechanical spline function. Safety feature by using the mechanical spline, the actuator can only push
- Safety nut (only in push)
- Terminal cover (only LA30 L-motor versions)
- Ball screw (K) (only LA30 L-motor versions)
- Ball screw and safety nut (KAS) (only LA30 L-motor versions)
- Ball screw, safety nut and splines (KSM) (only LA30 L-motor versions)

Usage:

- Duty cycle: 10%, 2 minutes continuous use followed by 18 minutes not in use
- Ambient temperature +5° to +40°C
- Storage temperature -40° to +70°C
- Compatible with control boxes CB8, CB12,
- Should LA30 be used with a non LINAK control unit, please ask the nearest LINAK representative for further details



CARELINE[®]
IMPROVING EFFICIENCY
TECHLINE[™]
IMPROVING FLEXIBILITY

LA30 is a powerful actuator yet small enough to fit most applications. The actuator can be supplied with options such as built-in potentiometer for servo operation or an extra powerful motor for increased speed and strength (S-motor). In addition to industrial and agricultural applications, the actuator is also ideal for positioning satellite dishes.

Technical specifications:

New type	Spindle pitch (mm)	Thrust max. Push (N)	Thrust max. Pull (N)	*Self-lock max. With/without brake (N)	Typical speed 0/ full load (mm/s)	Stroke length									Typical amp. at full load	
						(mm)									12V	24V
						50	100	150	200P	250	300	350	400P			
307xx0-4xxxx0/5xx	12	1000	1000	1000/0	48/24	50	100	150	200P	250	300	350	400P	14	7	
303xx0-4xxxx0/5xx	9	1500	1500	1500/400	42/20	50	100	150P	200	250	300P	350	400	14	7	
302xx0-4xxxx0/5xx	6	2000	2000	2000/500	18.5/14	50	100P	150	200P	250	300	350	400P	14	7	
301xx0-xxxx0/5xx	3	3000	3000	3000/3000	16/9	50P	100P	150	200P	250	300	350	400	14	6.4	
307xx0-4xxxx1/2xx	12	1000	1000	1000/0	65/35	50	100	150	200P	250	300	350	400P	20	10	
303xx0-4xxxx1/2xx	9	1800	1800	1800/0	52/25	50	100	150P	200	250	300P	350	400	20	10	
302xx0-4xxxx2xx	6	2000	2000	2000/500	34/20.3	50	100P	150	200P	250	300	350	400P	18	-	
302xx0-4xxxx1xx	6	2400	2400	2400/500	34/20.3	50	100P	150	200P	250	300	350	400P		9	
301xx0-xxxx1/2xx	3	3500	3000	3500/3500	17/9.5	50P	100P	150	200P	250	300	350	400	18	9	
307xx0-4xxxx4xx	12	1000	1000	1000/0	26/20	50	100	150	200P	250	300	350	400P	-	2.5	
303xx0-4xxxx4xx	9	2000	2000	2000/0	20/13	50	100	150P	200	250	300P	350	400	-	4.4	
302xx0-4xxxx4xx	6	3000	3000	3000/2000	13.8/7	50	100P	150	200P	250	300	350	400P	-	4	
301xx0-xxxx4xx	3	4000	3000	4000/4000	7/4.5	50P	100P	150	200P	250	300	350	400	-	5.5	
30Kxx0-0xxxx4xx	4	6000	3000	6000/n/a	8.7/5.5	-	-	150	200	250	300	350	400	-	4.7	
30Kxx0-1xxxx4xx	4	6000	3000	6000/n/a	8.7/5.5	-	-	150	200	250	300	350	400	-	4.7	
30Kxx0-3xxxx4xx	4	6000	3000	6000/n/a	8.7/5.5	-	100	150	200	250	300	350	400	-	4.7	

The above measurements are made with the actuators connected to a stable power supply, LA30 L-motor versions with a CB12.

S = Strong motor; L = Slow motor; K = Ball screw; KAS = Ball screw, safety nut; KSM = Ball screw, safety nut, spline.

LA30

Ordering example:

30 1 1 0 0 - 1 0 2 5 0 0 0 0

Cables:

General tolerance +/- 70 mm

N = No cable when IPX0 (except reed)

0 = Straight with jack plug, 2.3 m with IP-housing and 2.45 m without IP-housing

1 = Straight with jack plug, 1.05 m with IP-housing and 1.2 m without IP-housing

2 = Coiled with jack plug 400 mm

3 = Coiled with jack plug 200 mm

4 = Straight without plug 500 mm (Potentiometer)

5 = Straight without plug 1200 mm (with IP66 housing)

X = Other cable / length

Protection class:

0 = IPX0

2 = IP66 with plastic house

Motor:

0 = 24V

1 = 24V S-motor

4 = 24V L-motor for LINAK control boxes

2 = 12V S-motor

5 = 12V motor

7 = 36V motor

Stroke length:

XXX = mm

Max. with 3 & 6 mm pitch 400 mm

Max. with 9 & 12 mm pitch 500 mm

Min. 50 mm

Install. dim.:

0 = Standard

X = Other installation dimension

Options:

1 = Safety nut **RECOMMENDED**

0 = None

4 = Brake

2 = Steel spline

5 = Brake with safety nut

3 = Steel spline with safety nut

Colour:

- = Black

Options:

0 = None

1 = LSD (Not IPX6 max. IPX4)

2 = LS (Not IPX6 max. IPX4)

Options:

0 = None

P = Potentiometer 1 kohm

L = Potentiometer 5 Kohm

T = Potentiometer 10 Kohm

R = Reedswitch

} only with motor 0, 1, 2, 4, 5

} only with motor 4

Back fixture:

1 = Standard (01)

2 = Turned 90° (02)

Spindle type:

1 = 3 mm (1-thread)

2 = 6 mm (2 thread)

3 = 9 mm (3-thread)

4 = 4 mm (2-thread)

5 = 2.5 mm (1-thread)

6 = 2 mm (1-thread)

7 = 12 mm (4-thread)

K = Ball spindle

Old type no.

LA30.1

LA30.2

LA30.3

LA30.40

LA30.25

LA30.20

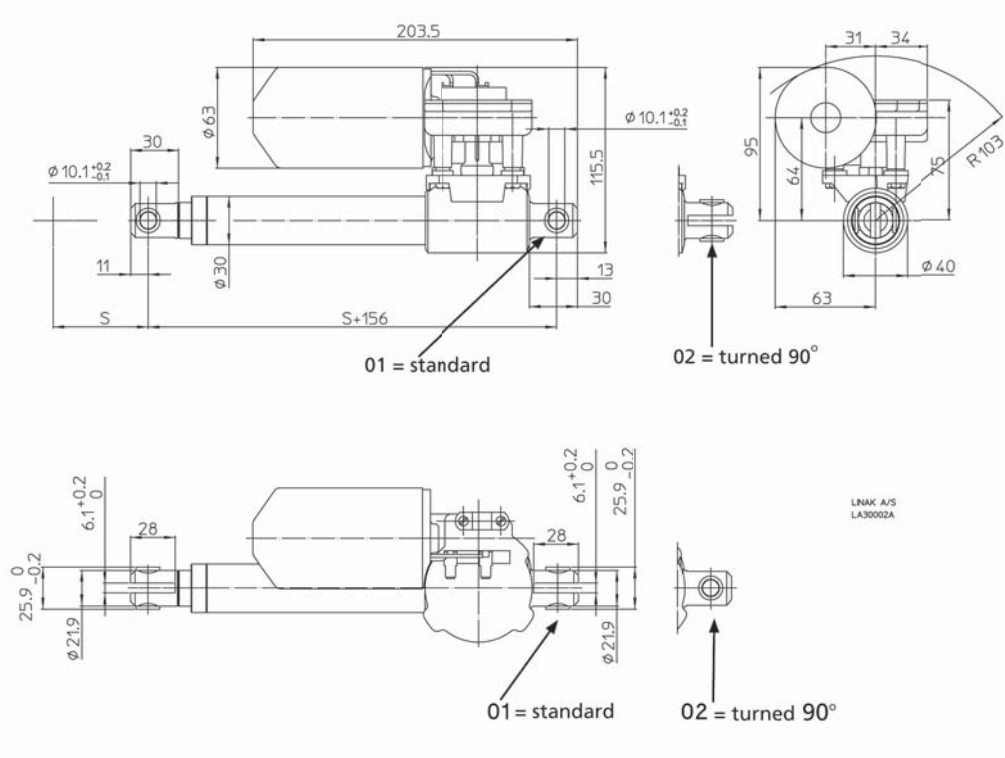
LA30.4

LA30K

Actuator type:

LA30

Dimensions:



Installation dimension:

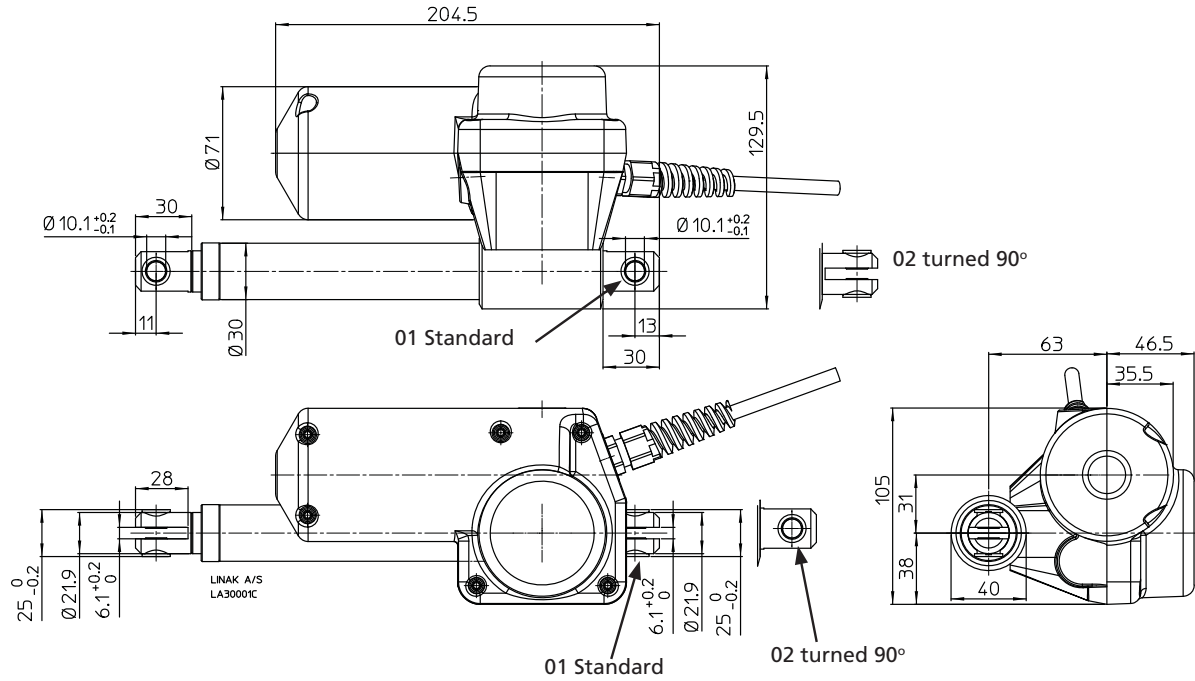
LA30 L-motor + LA30 + LA30 S-motor with 3 or 6 mm pitch	S + 156 mm
LA30 with spline + LA30 S-motor with 9 mm pitch	S + 167 mm
LA30 with brake + LA30 S-motor with 3 or 6 mm pitch with brake	S + 189 mm
LA30 with ball screw and L-motor / LA30 ball screw and safety nut	S + 194 mm
LA30 L-motor with brake + LA30 S-motor 9 or 12 mm pitch with brake	S + 199 mm
LA30 L-motor with ball screw, safety nut and spline	S + 251 mm

Plastic housing for LA30:

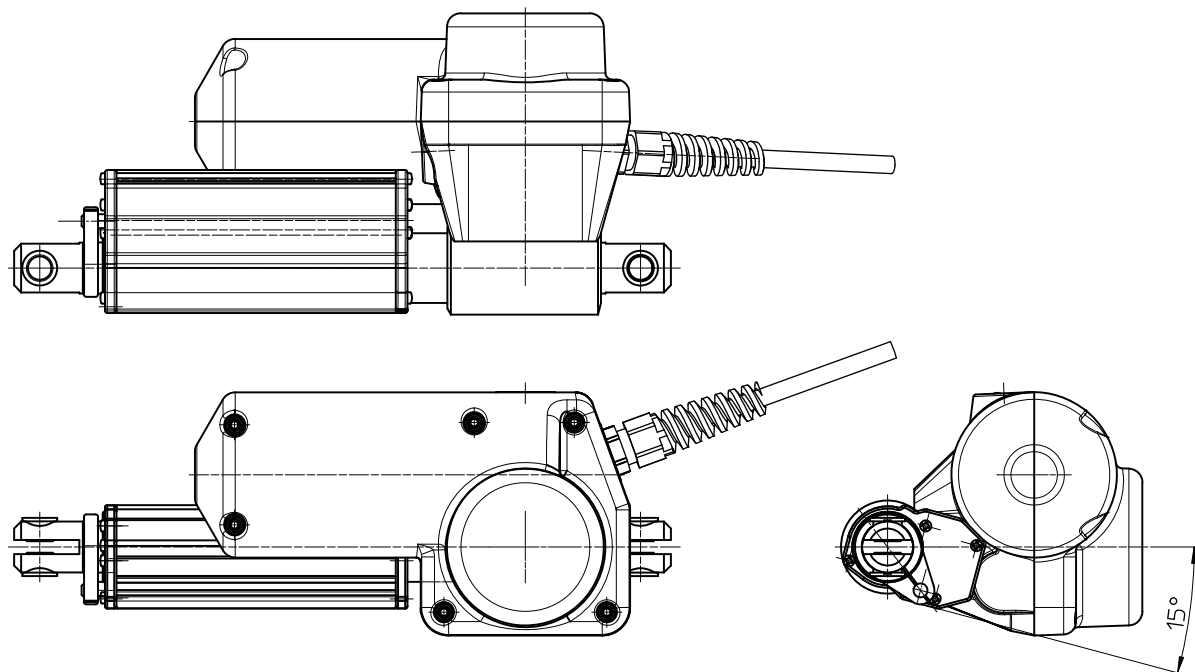
It is possible to order a LA30 with the protection class IP66. This option requires a plastic housing. See drawings below.

The LA30 actuator is mounted with a 1.2 m / 0.5 m cable without plug.

Dimensions:

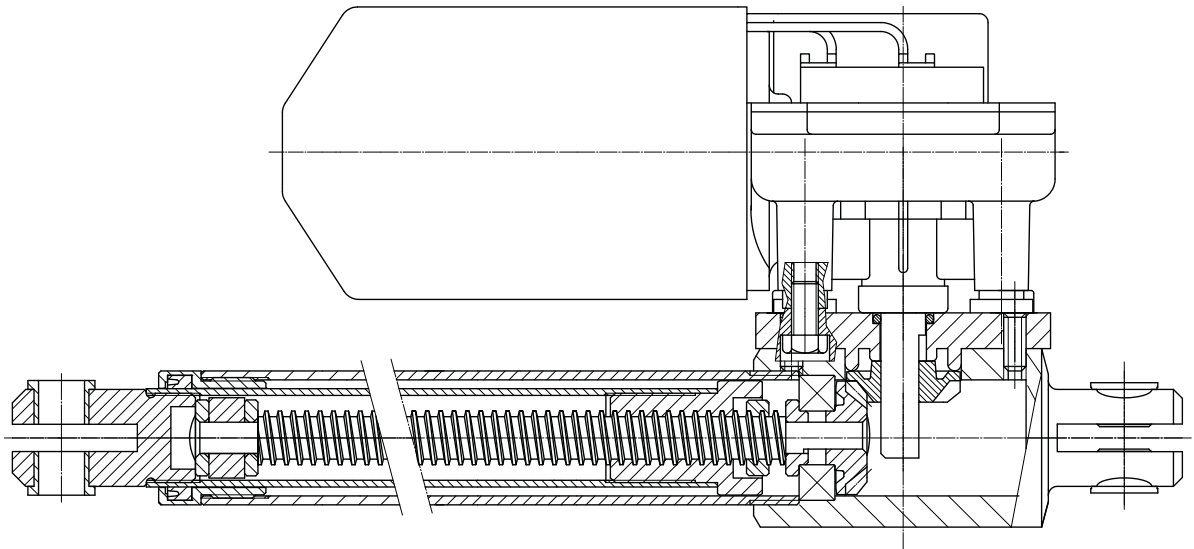


LA30 with housing mounted with LSD (protection class IPX4):



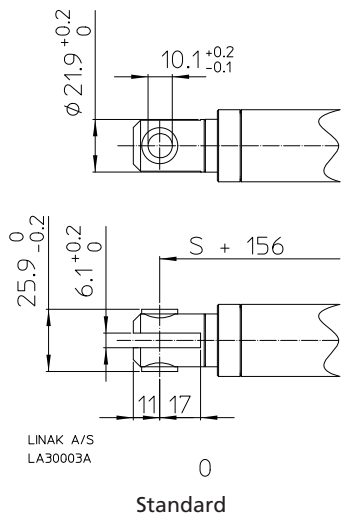
Drawing no.: LA30LSD001B

LA30 Standard:

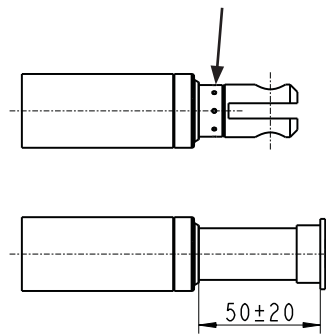


Drawing no.: LA30SNIT001B

Piston Rod eyes:



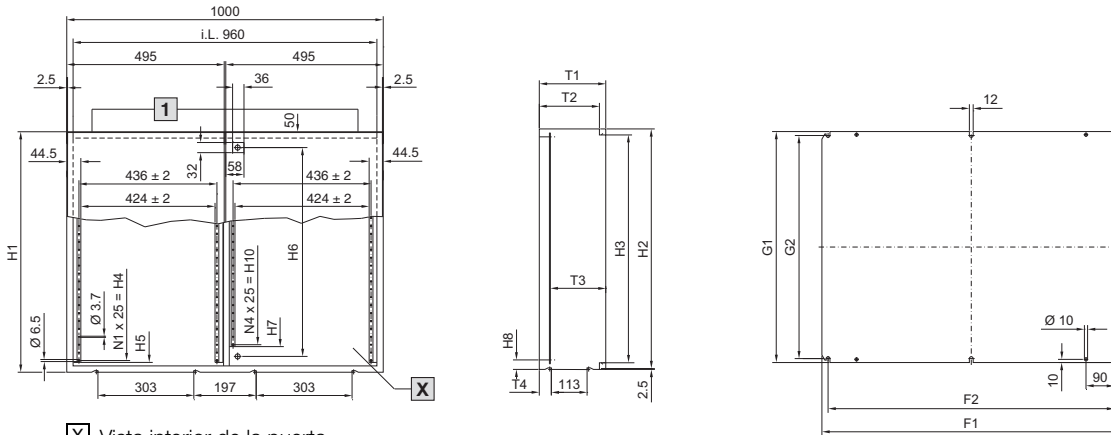
"Crimped" piston rod eye



Piston rod without eye
(Piston rods without eyes are not tested)

Armarios compactos AE

Pintados



X Vista interior de la puerta

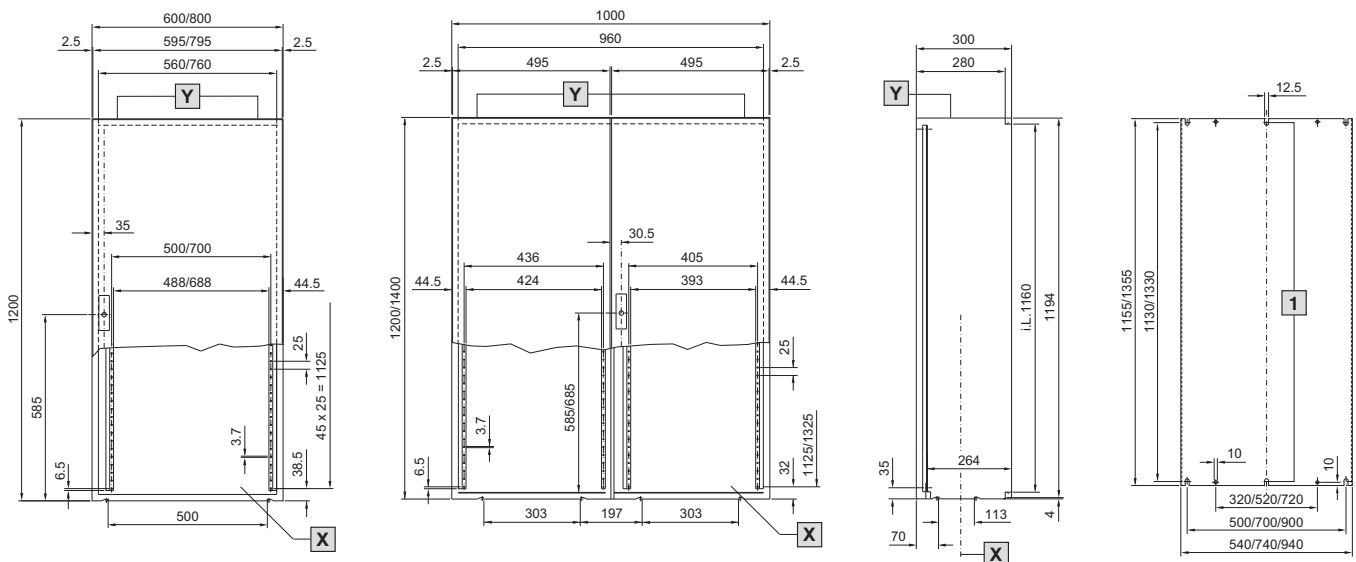
1 AE 1110.500 y AE 1130.500 con taladros para cáncamos de transporte, vista Y, ver página 2 abajo.

i.L. = Clearance width

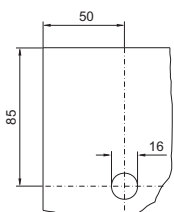
Vista taladros para fijación mural, ver página 1 arriba.

Ref. AE	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H10	N1	N4	T1	T2	T3	T4	F1	F2	G1	G2
1100.500	760	755	720	675	698	660	598	30	575	27	23	210	190	168 – 184	38	944	905	730	705
1130.500	760	755	720	675	698	660	598	30	575	27	23	300	280	258 – 274	70	944	905	730	705
1110.500	1000	995	960	925	938	900	838	35	825	37	33	300	280	258 – 274	70	939	900	955	930

Pintados



Vista Y



X Vista interior de la puerta

Y Taladro para cáncamos de transporte

i.L. = Clearance width

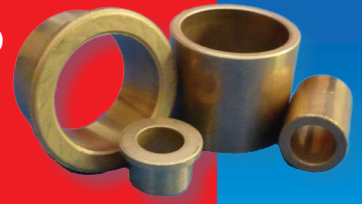
Vista taladros para fijación mural, ver página 1 arriba.

1 Desaparece en AE 1260.500

Ref. AE	B mm	H mm	T mm	Puerta(s)
1260.500	600	1200	300	1
1280.500	800	1200	300	1
1213.500	1000	1200	300	2
1114.500	1000	1400	300	2

Casquillos sinterizados en bronce autolubricado

Información técnica



Materiales

Los **casquillos sinterizados en bronce autolubricado** se fabrican a partir de polvo de bronce de composición **90% de cobre y 10% de estaño** a través de la tecnología pulvimetalúrgica que le confiere una estructura porosa.

El casquillo es sinterizado para dotarlo de una resistencia y una dureza específicas y posteriormente es calibrado a las dimensiones y tolerancias requeridas. Posteriormente se impregnan con aceite conforme a las designaciones ISO 100 (Tmax = 100°C y viscosidad = 5,7-8,3 °E a 50°C). Algunos de los principales aceites utilizados son: Repsol, Cepsa, Shell, Klüber, Aries pesado, Delfin 7, Tellus Oil 100 y Lamora 100.

Funcionamiento

Cuando el eje empieza a girar arrastra el aceite que se encuentra en la superficie de contacto, creando simultáneamente calor de fricción y una acción de bombeo que agiliza la recirculación del aceite existente entre los poros. Se crea así una película de lubricante entre el eje y el casquillo que disminuye el coeficiente de rozamiento entre los materiales en fricción. Al detenerse la rotación, el aceite es reabsorbido por la estructura porosa del casquillo por efecto de capilaridad.

Propiedades

Densidad	6,5 gr/cm ³
Porosidad	18-22%
Resistencia a la tracción	70 N/mm ²
Dureza	25 (HB10)
Carga máxima	200 Kp/cm ²
Velocidad máxima	6 m/s
Coefficiente de fricción	0,10 aprox.
Factor P·V	18 Kp/cm ² ·m/s
Rango de temperaturas	-20°C - 100°C

Las **características principales** de este material son:

- Igual resistencia a la corrosión que el cobre macizo, es decir, buena en presencia del agua o de ácidos no oxidantes.
- Facilidad de **transmisión del calor**.
- Elevada **conductividad eléctrica**, especialmente interesante en máquinas donde la electricidad estática puede ser un problema (industria textil).
- La **velocidad de rotación máxima** es una de las más elevadas en el campo de aplicación de casquillos. Son ideales para movimientos de giro de gran velocidad y poca carga.
- La estructura porosa del casquillo actúa como un filtro que elimina las impurezas que pueda tener el lubricante.
- No existen pérdidas de lubricante por goteo o derrame.
- Apto en requerimientos de trabajo silencioso.

Los casquillos son compatibles con las **normas: Sint A50, AFNOR FUE 10.62, ASTM B438 1 II y BP25.**

La **vida útil** de un casquillo sinterizado es de unas 10.000 horas, mientras continúa con el aceite y el desgaste sea del orden de unas centésimas.

Aplicaciones

Algunas de las principales aplicaciones de los casquillos en bronce sinterizado son: electrodomésticos (aspiradores, secadoras, batidoras, etc.), equipos de oficina (impresoras, fax, etc.), bombas de diversos fluidos, bobinadoras en maquinaria textil y motores eléctricos en general.

Almacenamiento

Deben ser almacenados en bolsas de plástico lejos de sustancias que los puedan corroer así como de materiales porosos, como el papel, que puedan absorber el aceite de su interior.

Mecanización

Debido a la porosidad del casquillo es necesario mecanizarlo en seco, sin taladrinas ni aceites de corte. El mecanizado es similar al de los metales de aleación ligera. Para evitar la obturación de los poros, se aconseja el empleo de herramientas de carburo de wolframio del tipo k20.

	Desbaste	Acabado
Velocidad de corte	180-200 m/min	140-200 m/min
Avance	0,1 - 0,2 mm/vuelta	0,1 mm/vuelta
Prof. de pasada	<1 mm	0,1 - 0,4

Después de la mecanización es necesario sumergir el casquillo en un baño de aceite a 90°C y dejar enfriar a temperatura ambiente dentro del mismo aceite.

Ejemplo de cálculo

Fuerza radial máxima admisible para un casquillo de referencia A-20-26-25 girando a 1.500 rpm.

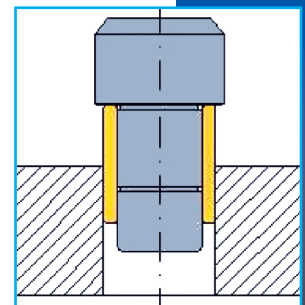
$$V = \frac{\pi \cdot Di \cdot N}{60 \cdot 10^3} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 1500}{60 \cdot 10^3} = 1,57 \text{ m/s}$$

$$P \cdot V = 18 \quad P = 18 / 1,57 = 11,46 \text{ Kp/cm}^2$$

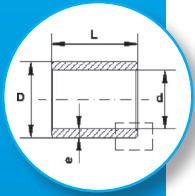
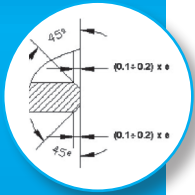
$$P = F / S \quad F = S \cdot P = Di \cdot L \cdot P = 2 \cdot 2,5 \cdot 11,46$$

$$F = 57,3 \text{ Kp}$$

V: velocidad N: rpm
 D: diámetro interior P: carga
 L: longitud F: fuerza



Casquillos cilíndricos tipo A



Ref.	Diámetro Interior (d)	Diámetro Exterior (D)	Longitudes posibles (L)																	
			2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	16							
A	2	5																		
A	3	6																		
A	4	6																		
A	4	7																		
A	4	8																		
A	5	8																		
A	5	9																		
A	5	10																		
A	6	9																		
A	6	10																		
A	6	12																		
A	7	10																		
A	7	11																		
A	7	12																		
A	8	10																		
A	8	11																		
A	8	12																		
A	8	14																		
A	8	15																		
A	8	16																		
A	9	12																		
A	9	13																		
A	9	14																		
A	10	13																		
A	10	14																		
A	10	15																		
A	10	16																		
A	10	18																		
A	10	20																		
A	11	15																		
A	11	17																		
A	12	14																		
A	12	15																		
A	12	16																		
A	12	17																		
A	12	18																		
A	12	20																		
A	14	18																		
A	14	20																		
A	14	22																		
A	15	18																		
A	15	19																		
A	15	20																		
A	15	21																		
A	15	22																		
A	16	19																		
A	16	20																		
A	16	22																		
A	16	24																		
A	17	22																		
A	18	22																		
A	18	24																		

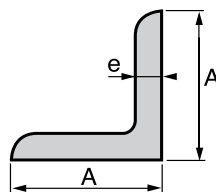
Todas las unidades están en mm.

Perfiles Comerciales

PERFIL ANGULAR

Suministrados en barras de 6 m. Otras longitudes bajo pedido.

Calidad de acero S275JR.



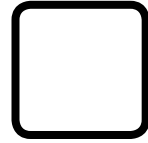
DIMENSIONES EN MM		PESO	SECCIÓN
A x A	e	kg/m	cm ²
20 x 20	3	0,92	1,13
25 x 25	3	1,16	1,43
30 x 30	3	1,62	1,74
35 x 35	4	2,17	2,27
40 x 40	4	2,52	2,78
40 x 40	6	3,66	2,35
45 x 45	5	3,52	2,67
50 x 50	5	3,92	3,28
50 x 50	7	5,36	3,08
55 x 55	6	5,23	3,79
60 x 60	6	5,64	4,48
60 x 60	8	7,37	4,30
65 x 65	7	7,21	4,80
70 x 70	7	7,68	5,69
70 x 70	9	9,69	6,56
75 x 75	8	9,31	6,91
80 x 80	8	10,02	9,03
80 x 80	10	12,38	11,10
90 x 90	9	12,56	9,40
100 x 100	10	15,60	12,30
100 x 100	12	18,51	15,10
110 x 110	8	14,04	17,90
120 x 120	11	20,70	15,50
120 x 120	12	22,46	19,20
150 x 150	14	32,86	22,70
150 x 150	15	35,15	27,50
150 x 150	18	41,70	33,90
180 x 180	18	50,54	43,00
200 x 200	20	62,30	51,00

SOLDADOS CUADRADOS

Laminados en frío, caliente, decapados, galvanizados.

Suministro en barras a largo comercial.

Otras longitudes bajo pedido.



PESO EN KG/M PARA ESPESORES DE:

Medidas (mm)	1	1,5	2	3	4	5	6	8	10	12	12,5
10x10	0,32	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12x12	0,38	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14x14	0,44	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16x16	0,49	0,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18x18	0,54	0,80	1,04	-	-	-	-	-	-	-	-
20x20	0,62	0,90	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-
22x22	0,68	1,00	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-
25x25	0,78	1,14	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-
28x28	0,87	1,29	1,69	-	-	-	-	-	-	-	-
30x30	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-
32x32	1,03	1,52	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-
35x35	1,10	1,63	2,15	2,94	-	-	-	-	-	-	-
38x38	1,21	-	-	3,24	-	-	-	-	-	-	-
40x40	1,26	1,88	2,48	3,43	4,37	-	-	-	-	-	-
45x45	-	2,13	2,80	3,92	-	-	-	-	-	-	-
50x50	-	2,37	3,13	4,42	5,67	6,82	7,86	-	-	-	-
55x55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60x60	-	2,87	3,79	5,40	6,98	8,46	9,83	-	-	-	-
70x70	-	3,37	4,43	6,38	8,29	10,09	11,75	-	-	-	-
75x75	-	-	4,76	-	-	-	-	-	-	-	-
80x80	-	3,85	5,10	7,35	9,59	11,75	13,73	17,06	-	-	-
90x90	-	-	5,75	8,33	10,92	13,31	15,70	19,66	-	-	-
100x100	-	-	6,31	9,32	12,17	14,98	17,68	22,26	26,73	-	-
110x110	-	-	-	10,30	13,52	16,64	19,66	24,86	29,85	-	-
120x120	-	-	-	11,23	14,77	18,20	21,53	27,46	33,28	37,44	38,48
125x125	-	-	-	11,75	15,50	19,03	22,57	28,81	34,84	39,42	40,56
130x130	-	-	-	12,27	16,12	19,86	23,50	30,06	36,40	41,19	42,54
140x140	-	-	-	13,31	17,47	21,53	25,48	32,66	39,73	45,24	46,80
150x150	-	-	-	14,25	18,72	23,19	27,46	35,26	43,16	49,40	50,96
160x160	-	-	-	15,18	20,07	24,75	29,43	37,96	46,28	53,04	54,81
175x175	-	-	-	16,64	22,05	27,25	32,34	41,81	51,48	59,28	61,05
180x180	-	-	-	17,16	22,67	28,08	33,38	43,16	52,73	60,84	62,92
200x200	-	-	-	-	25,27	31,30	37,23	48,36	59,28	68,64	71,03
220x220	-	-	-	-	-	-	41,18	53,56	65,73	76,44	79,25
250x250	-	-	-	-	-	-	47,01	61,46	75,61	88,19	91,52
260x260	-	-	-	-	-	-	-	64,06	78,83	92,14	95,58

SOLDADOS RECTANGULARES

Laminados en frío, caliente, decapados, galvanizados.

Suministro en barras a largo comercial.

Otras longitudes bajo pedido.



PESO EN KG/M PARA ESPEORES DE:

Esesor (mm)	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	10	12	12,5
16x10	0,38	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20x10	0,46	0,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20x15	0,54	0,78	1,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25x10	0,54	0,78	1,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25x15	0,62	0,90	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25x20	0,70	1,02	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30x10	0,62	0,90	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30x15	0,70	1,02	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30x20	0,78	1,14	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30x25	0,87	1,27	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35x10	0,70	1,02	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35x15	0,78	1,14	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35x20	0,87	1,27	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35x25	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40x10	0,78	1,14	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40x15	0,87	1,27	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40x20	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40x25	1,03	1,52	1,99	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-
40x27	-	-	2,80	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-
40x30	1,10	1,63	2,15	2,94	-	-	-	-	-	2,15	-	-
40x35	-	1,76	2,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45x10	-	1,27	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45x15	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45x20	-	1,52	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45x25	-	1,63	2,15	2,94	-	-	-	-	-	-	-	-
45x30	-	1,76	2,31	3,19	-	-	-	-	-	-	-	-
45x35	-	1,88	2,48	3,43	4,37	-	-	-	-	-	-	-
50x10	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50x15	1,03	1,52	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50x20	-	1,63	2,15	2,94	-	-	-	-	-	-	-	-
50x25	-	1,76	2,31	3,19	-	-	-	-	-	-	-	-
50x30	-	1,88	2,47	3,43	4,37	-	-	-	-	-	-	-
50x35	-	2,00	2,64	3,68	-	-	-	-	-	-	-	-
50x40	-	2,13	2,80	3,92	5,02	-	-	-	-	-	-	-
60x10	-	1,63	2,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60x15	-	1,76	2,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60x20	-	1,88	2,48	3,43	-	-	-	-	-	-	-	-
60x25	-	2,00	2,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60x30	-	2,13	2,80	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-
60x40	-	2,37	3,13	4,42	5,67	6,82	7,86	-	-	-	-	-
60x50	-	2,64	3,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70x20	-	2,13	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PESO EN KG/M PARA ESPEORES DE:

Espesor (mm)	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	10	12	12,5
70x25	-	2,29	2,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70x30	-	2,37	3,13	4,42	5,67	6,82	7,10	-	-	-	-	-
70x40	-	2,64	3,45	4,91	6,32	7,63	8,84	-	-	-	-	-
70x50	-	2,87	3,79	5,40	6,98	8,46	9,83	-	-	-	-	-
80x20	-	2,37	3,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80x30	-	2,64	3,45	4,91	6,32	-	-	-	-	-	-	-
80x40	-	2,87	3,79	5,40	6,98	8,46	-	-	-	-	-	-
80x45	-	-	-	5,64	7,30	-	-	-	-	-	-	-
80x50	-	3,14	4,11	5,89	7,63	9,27	10,82	-	-	-	-	-
80x60	-	3,37	4,43	6,38	8,29	10,09	11,75	-	-	-	-	-
90x20	-	2,64	3,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90x30	-	2,87	3,79	5,40	6,98	-	-	-	-	-	-	-
90x40	-	3,14	4,11	5,89	7,63	9,27	-	-	-	-	-	-
90x50	-	3,37	4,43	6,38	8,29	10,09	11,75	-	-	-	-	-
100x20	-	2,94	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100x30	-	3,14	4,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100x40	-	3,37	4,43	6,38	8,29	10,09	11,75	-	-	-	-	-
100x50	-	3,59	4,76	6,86	8,93	10,92	12,79	-	-	-	-	-
100x60	-	-	5,09	7,35	9,59	11,75	13,73	-	17,16	-	-	-
100x80	-	-	5,74	8,33	10,92	13,31	15,70	-	19,76	-	-	-
110x70	-	-	-	8,33	10,92	-	-	-	-	-	-	-
120x40	-	-	5,09	7,35	9,59	11,75	13,73	-	17,16	-	-	-
120x50	-	-	-	7,84	10,24	-	-	-	-	-	-	-
120x60	-	-	5,74	8,33	10,92	13,31	15,70	-	19,76	-	-	-
120x80	-	-	-	9,32	12,17	14,98	17,68	21,11	22,36	26,73	-	-
120x100	-	-	-	10,30	13,52	16,64	22,88	-	-	-	-	-
140x60	-	-	-	9,32	12,17	14,98	17,68	21,11	22,36	-	-	-
140x80	-	-	-	10,30	13,52	16,64	19,66	22,88	24,96	29,85	-	-
140x100	-	-	-	11,23	14,82	18,30	21,42	25,58	27,56	-	-	-
150x100	-	-	-	11,75	15,50	19,03	22,57	26,52	30,16	-	-	-
160x80	-	-	-	11,23	14,77	18,20	21,53	25,58	27,56	33,28	37,44	38,48
160x120	-	-	-	13,21	17,47	21,53	25,48	30,16	34,01	-	-	-
160x140	-	-	-	14,25	18,72	23,19	27,46	-	36,40	-	-	-
180x80	-	-	-	12,27	16,12	19,97	23,50	-	30,06	36,40	41,18	42,54
180x100	-	-	-	13,21	17,47	21,53	25,48	30,16	34,01	39,73	45,24	46,80
180x120	-	-	-	14,25	18,72	23,19	27,46	32,45	36,40	43,16	49,40	50,96
180x140	-	-	-	15,18	20,07	24,75	29,43	34,63	39,31	-	-	-
200x100	-	-	-	14,25	18,72	23,19	27,46	32,45	36,40	43,16	49,40	50,96
200x120	-	-	-	15,18	20,07	24,75	29,43	34,63	39,31	46,28	53,04	54,81
200x150	-	-	-	16,64	22,05	27,25	32,34	38,06	43,06	51,48	59,28	61,05
200x160	-	-	-	17,16	22,67	28,08	33,38	-	43,16	52,73	60,84	62,92
250x100	-	-	-	16,64	22,05	27,25	32,34	38,06	43,06	51,48	59,28	61,05
250x150	-	-	-	-	25,27	31,30	37,23	-	48,36	59,28	68,64	71,03
250x200	-	-	-	-	28,50	35,36	42,12	-	54,91	67,39	78,42	81,22
300x100	-	-	-	-	25,27	31,30	37,23	-	48,36	59,28	68,64	71,03
300x150	-	-	-	-	28,50	35,36	42,12	-	54,91	67,39	78,42	81,22
300x200	-	-	-	-	-	39,52	47,01	-	61,46	75,61	88,19	91,52
300x220	-	-	-	-	-	41,08	48,98	-	64,06	78,83	92,14	95,58



Universidad de León



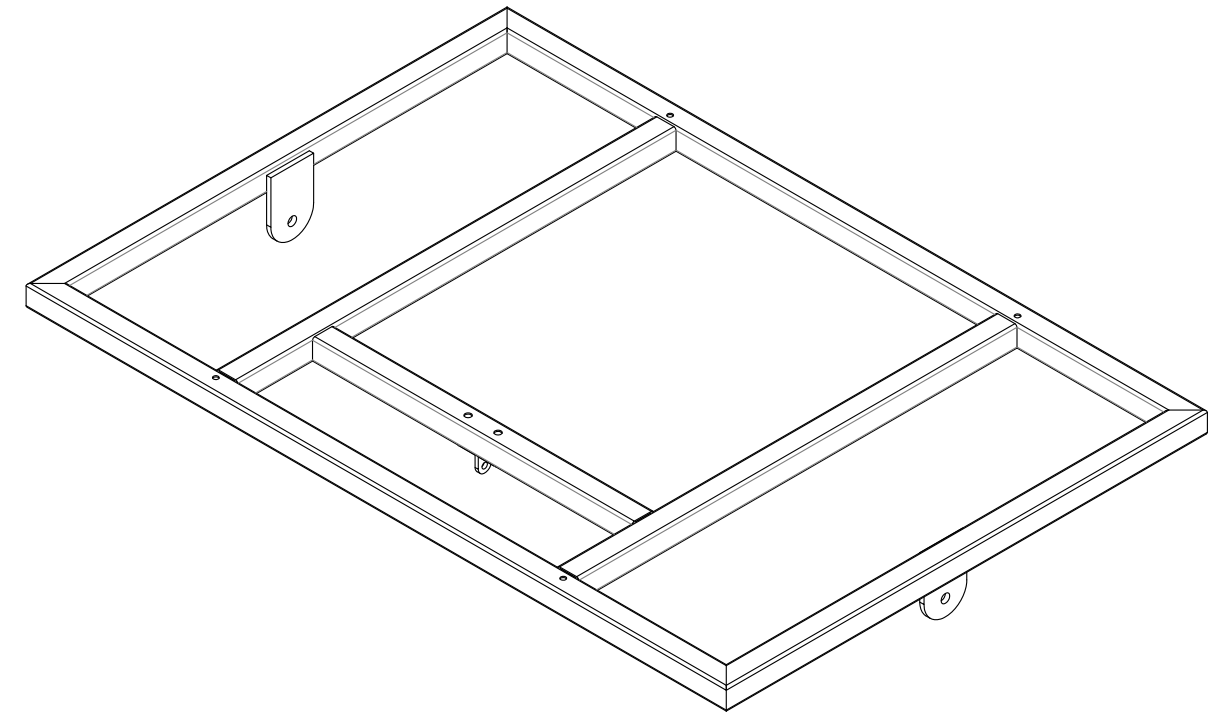
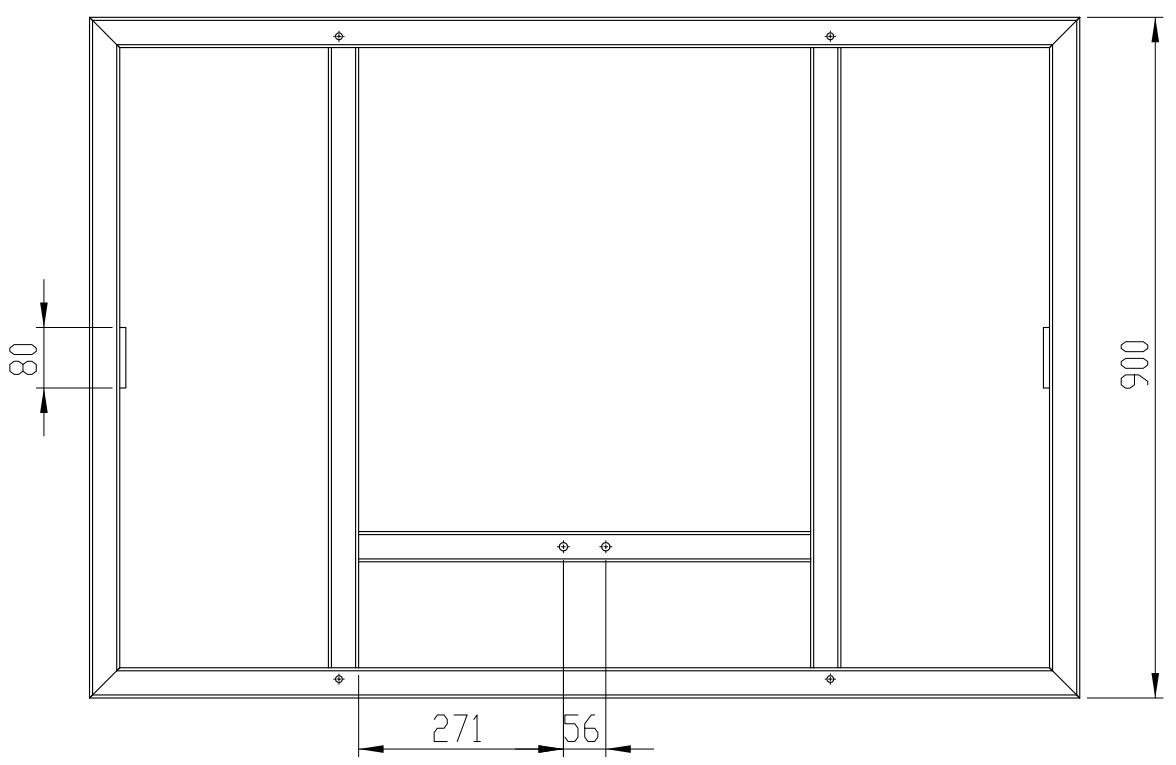
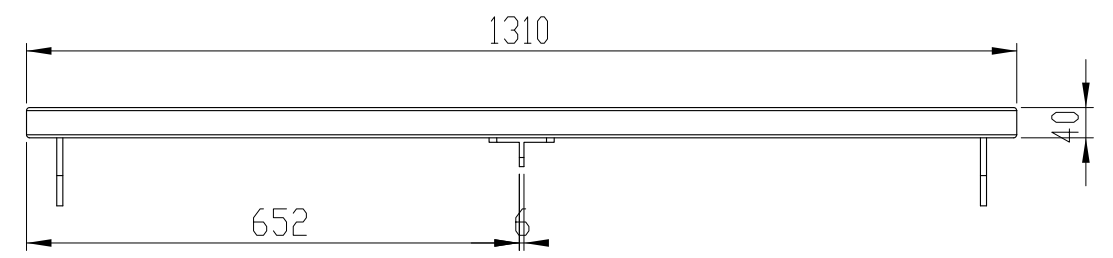
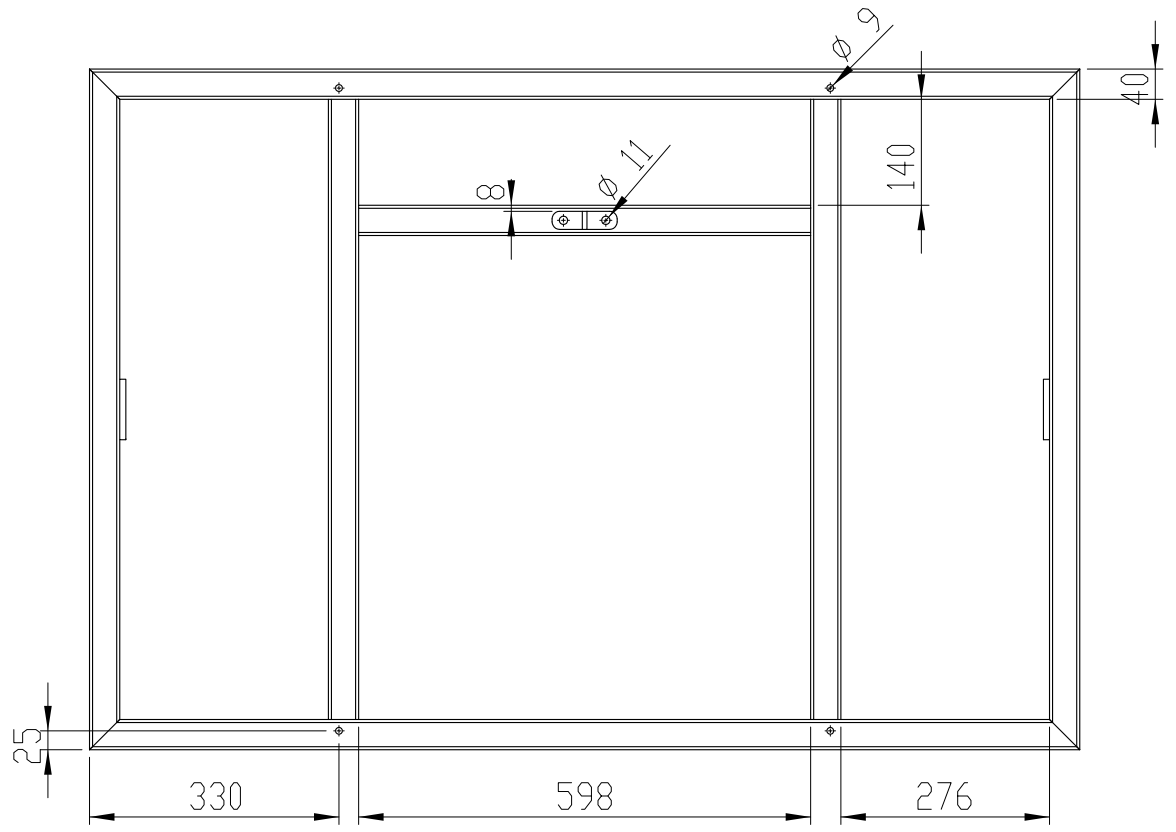
Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

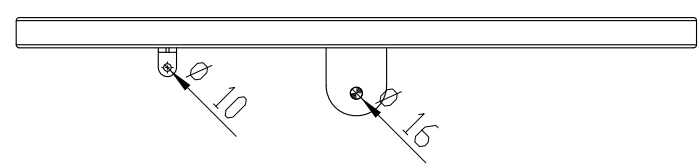
III. PLANOS



ÍNDICE DE PLANOS

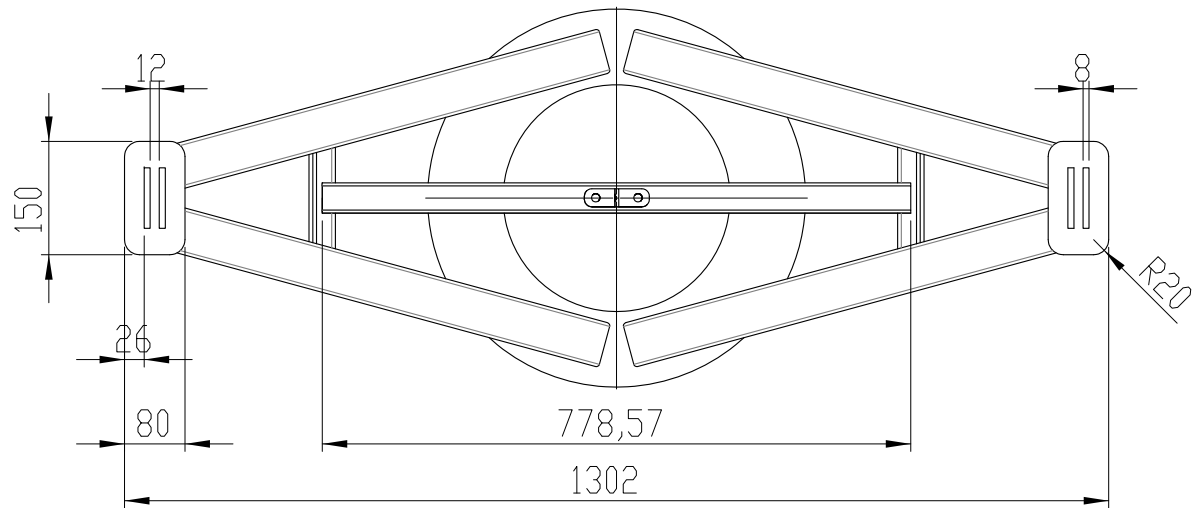
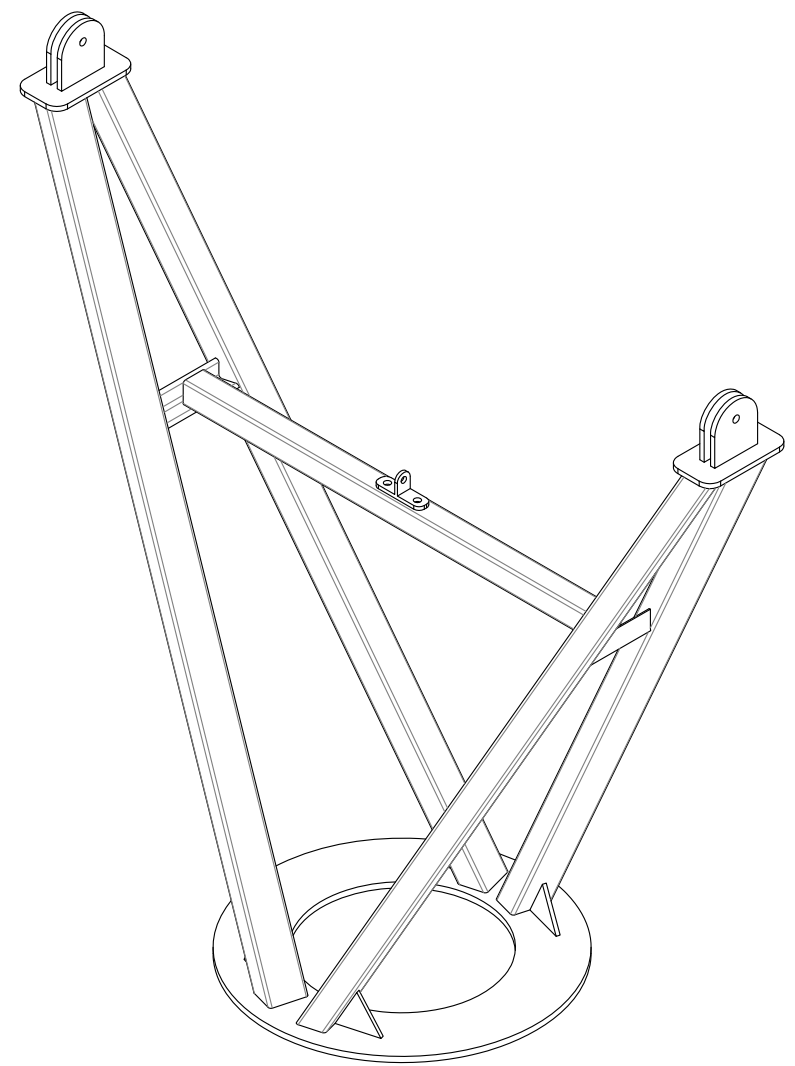
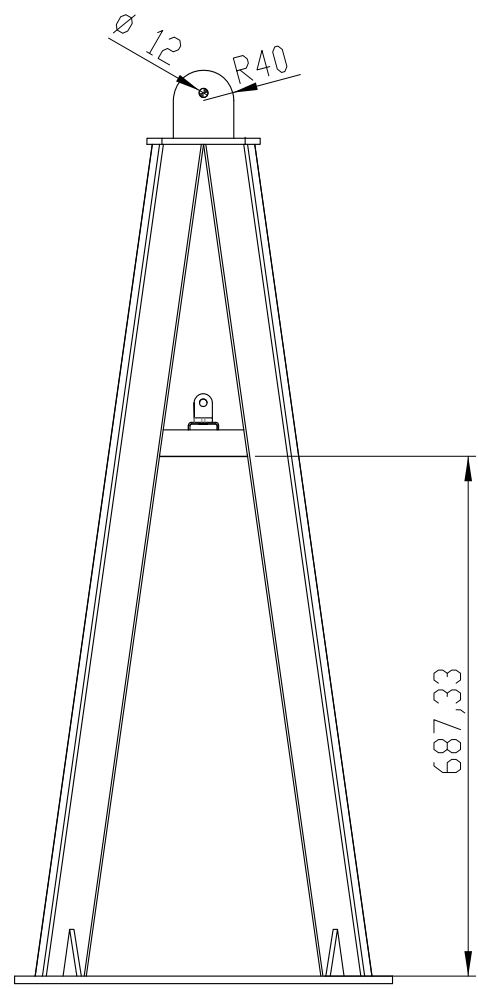
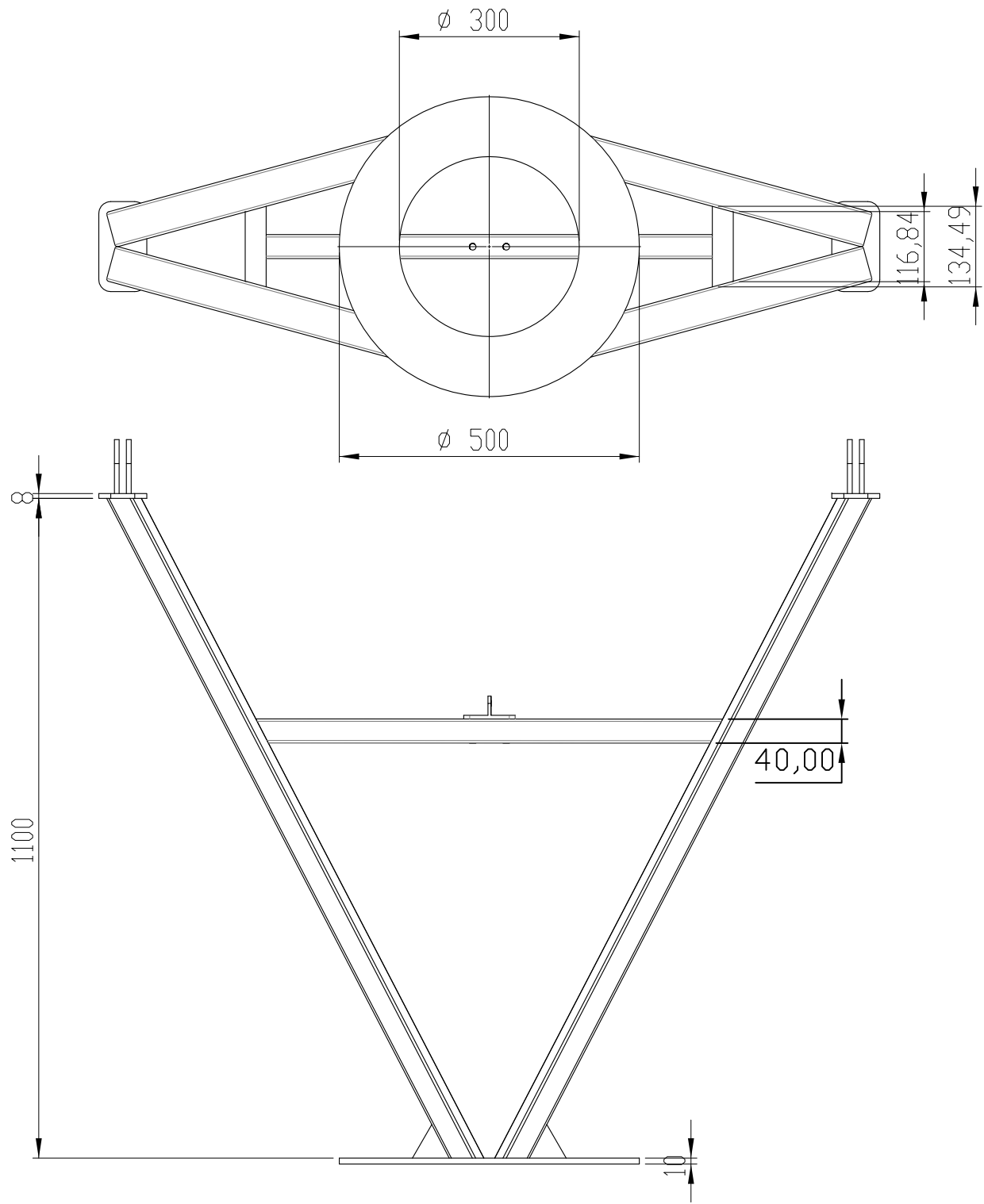
1	MARCO DE ACOPLAMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO.....	2
2	CUERPO DE LA ESTRUCTURA DEL SEGUIDOR SOLAR.....	3
3	PIEZA DE ENGANCHE DEL ACTUADOR LINEAL AL CUERPO DEL SEGUIDOR Y AL MARCO DEL PANEL.....	4
4	BASE DEL EJE DE SEGUIMIENTO CENTRAL.....	5
5	BASE DEL SEGUIDOR SOLAR.....	6
6	SEGUIDOR SOLAR.....	7





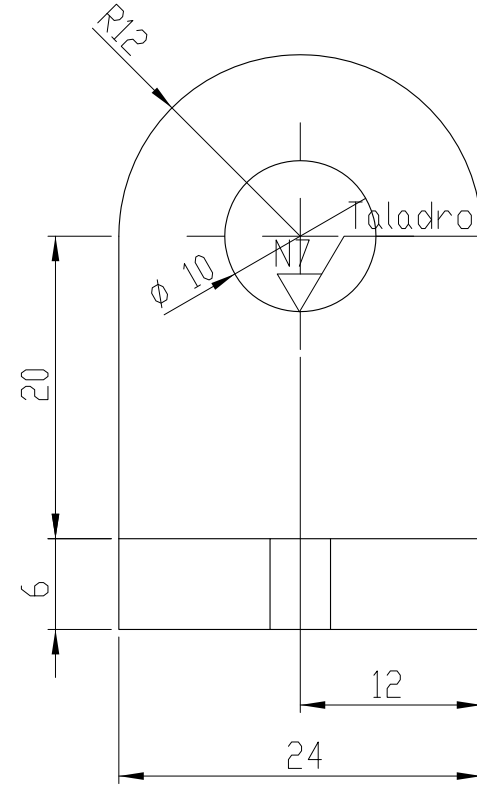
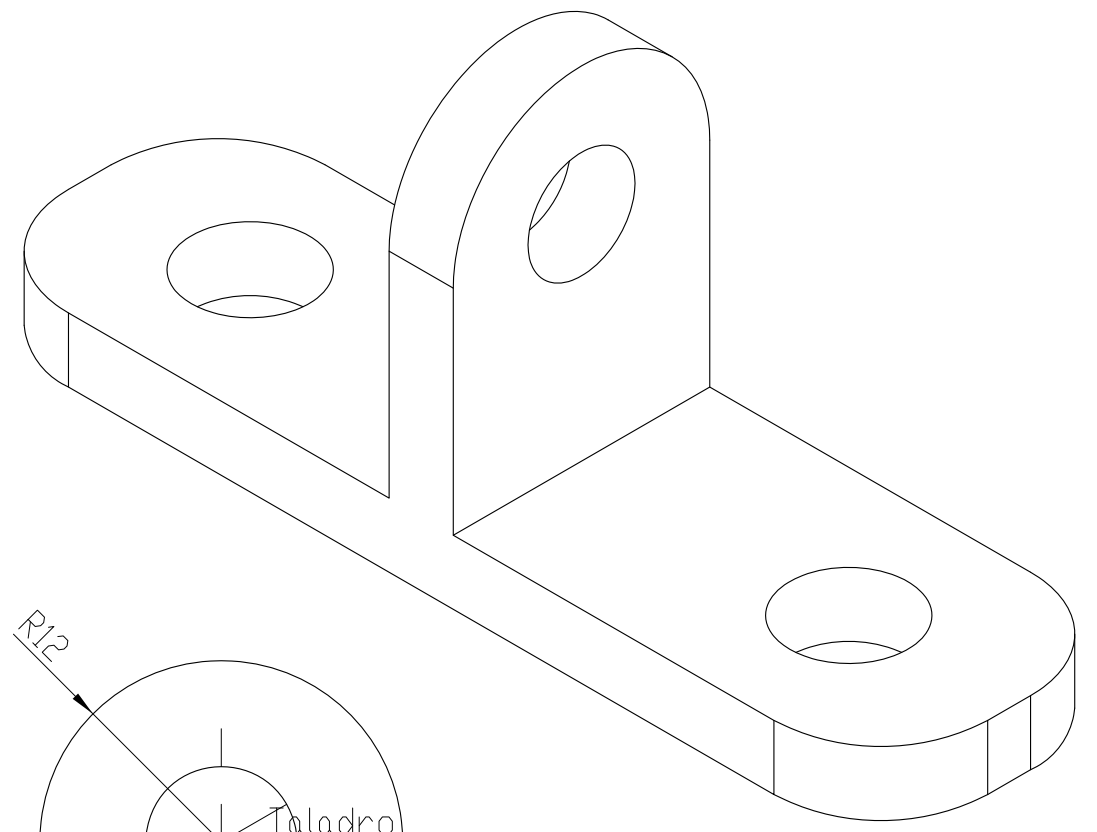
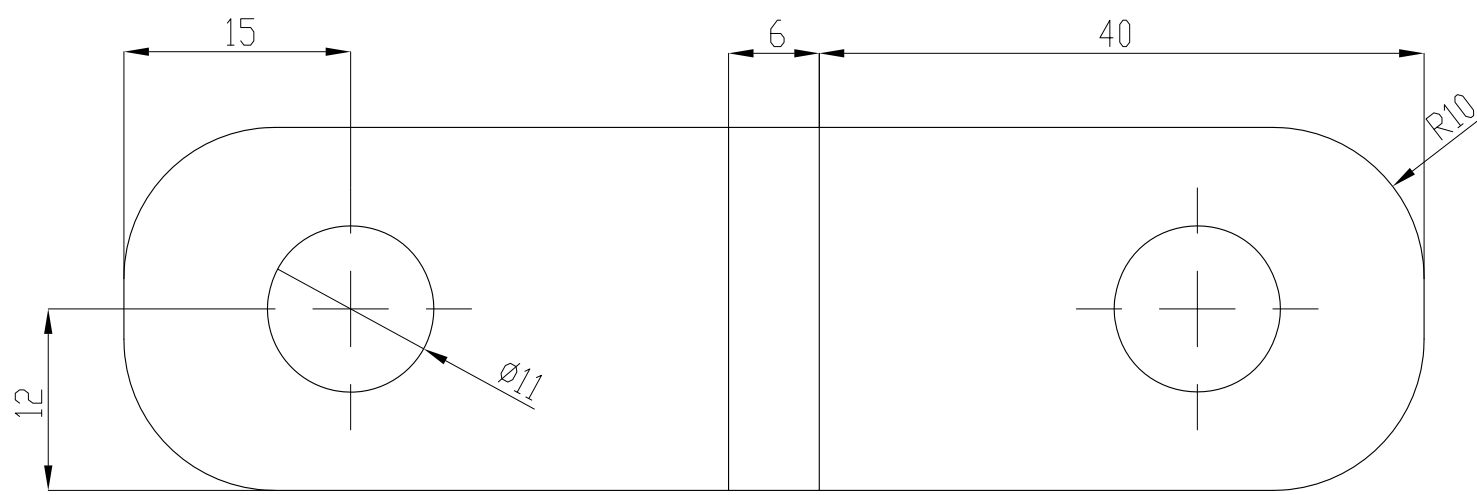
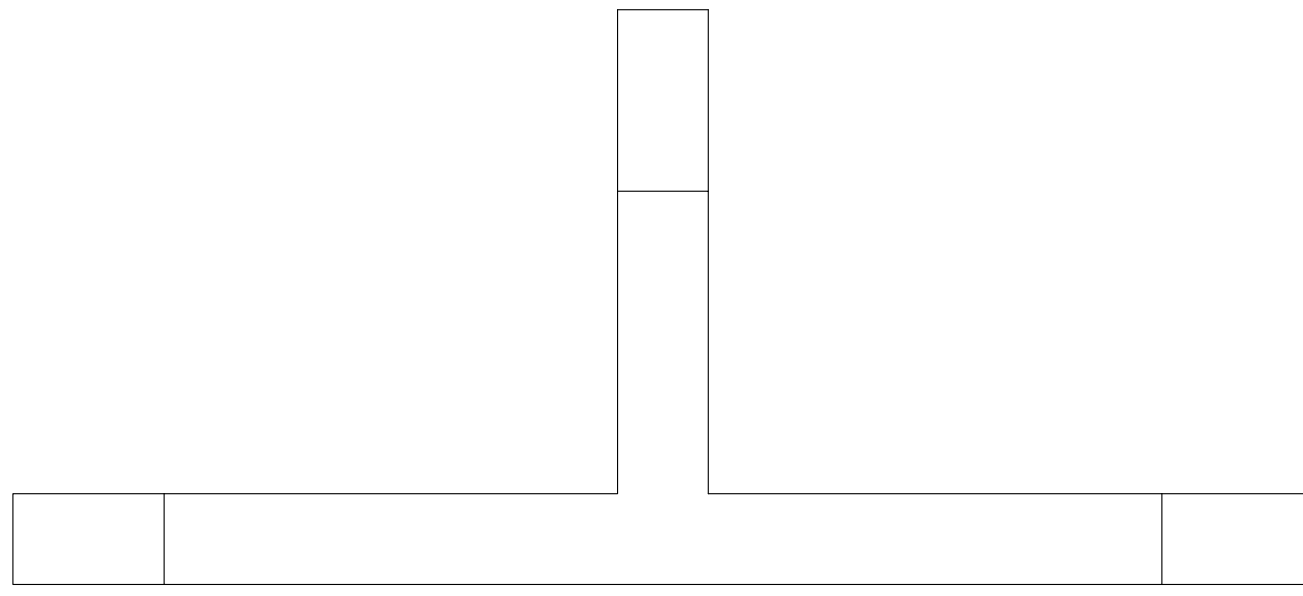
TALADRO
N7
TODOS





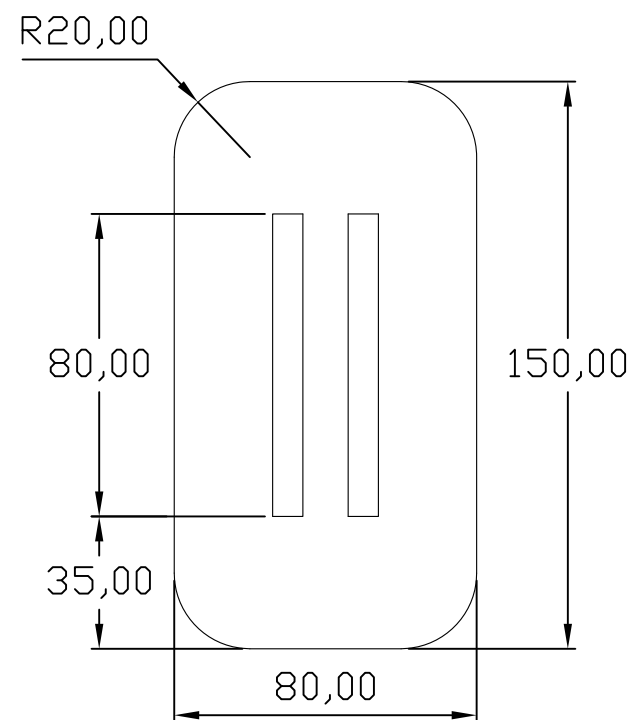
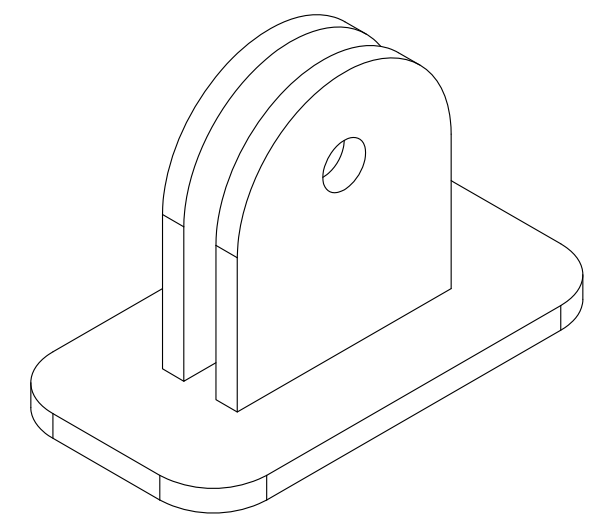
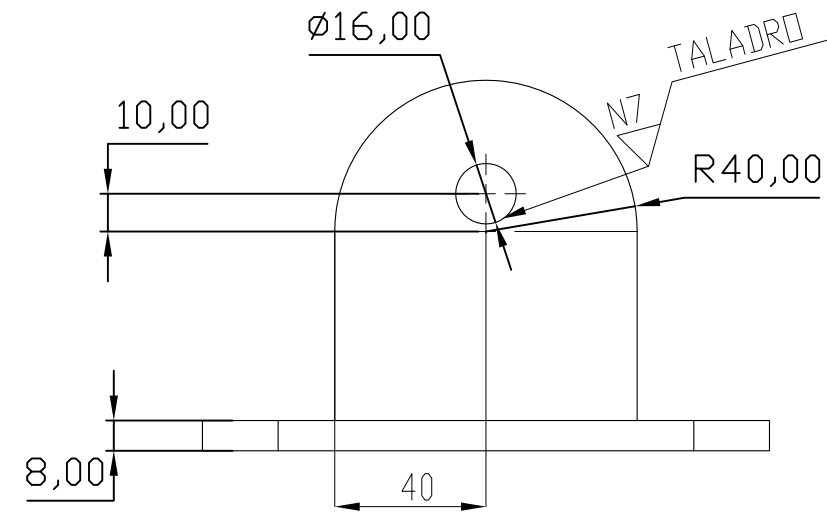
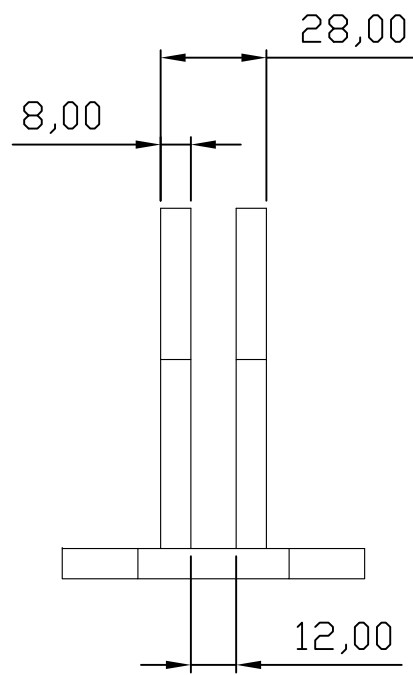
		UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS			
GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA					
PROYECTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR PARA PANELES FOTOVOLTAICOS					
PLANO	MARCO DE ACOPLAMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO				
ESCALA	1:10				PLANO Nº
FECHA	JUNIO 2015	Fdo.: Borja Martínez Abella			1





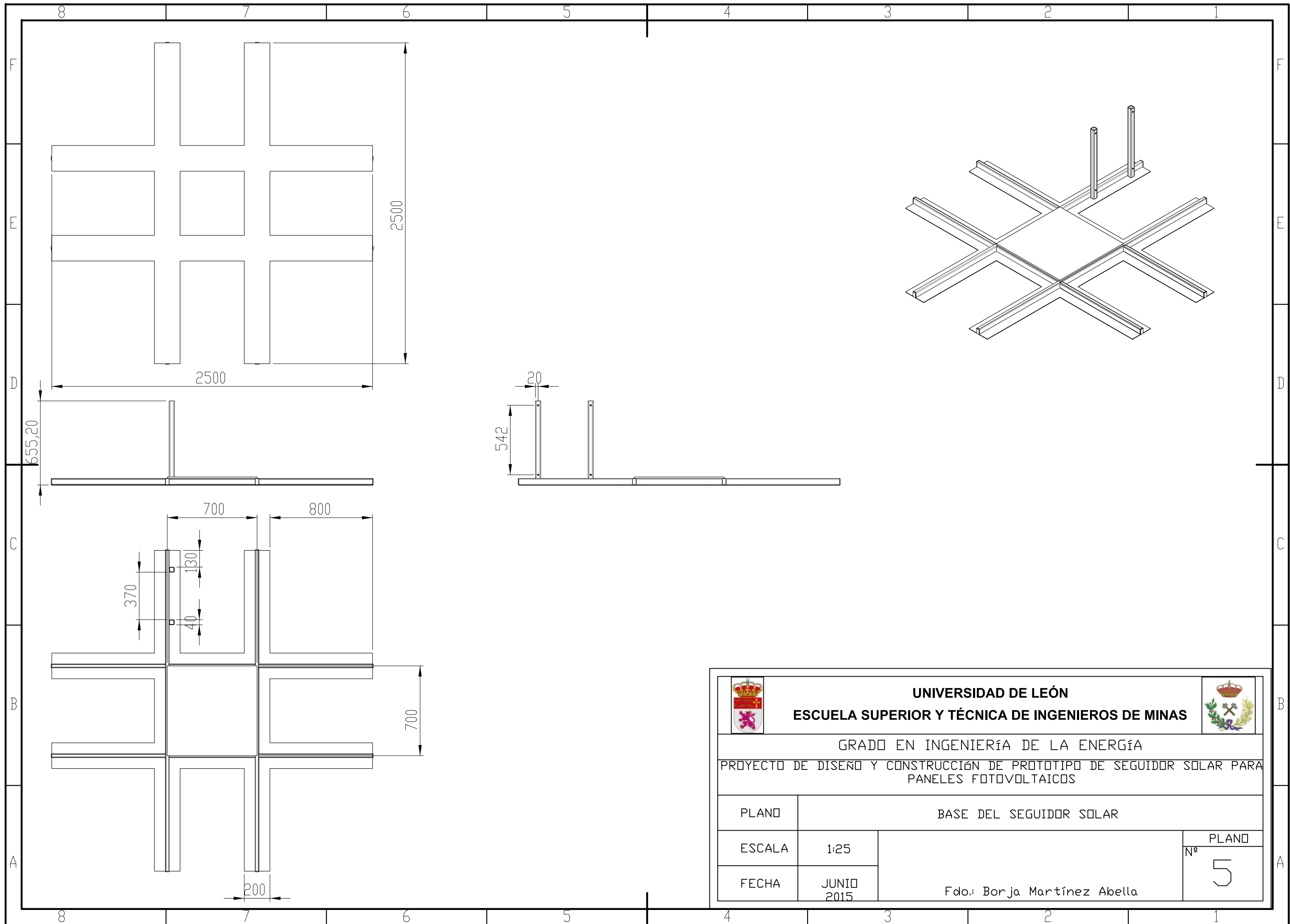
 UNIVERSIDAD DE LEÓN 		
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS		
GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA		
PROYECTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR PARA PANELES FOTOVOLTAICOS		
PLANO	CUERPO DE LA ESTRUCTURA DEL SEGUIDOR SOLAR	
ESCALA	1:10	PLANO
FECHA	JUNIO 2015	Nº
Fdo.: Borja Martínez Abella		2





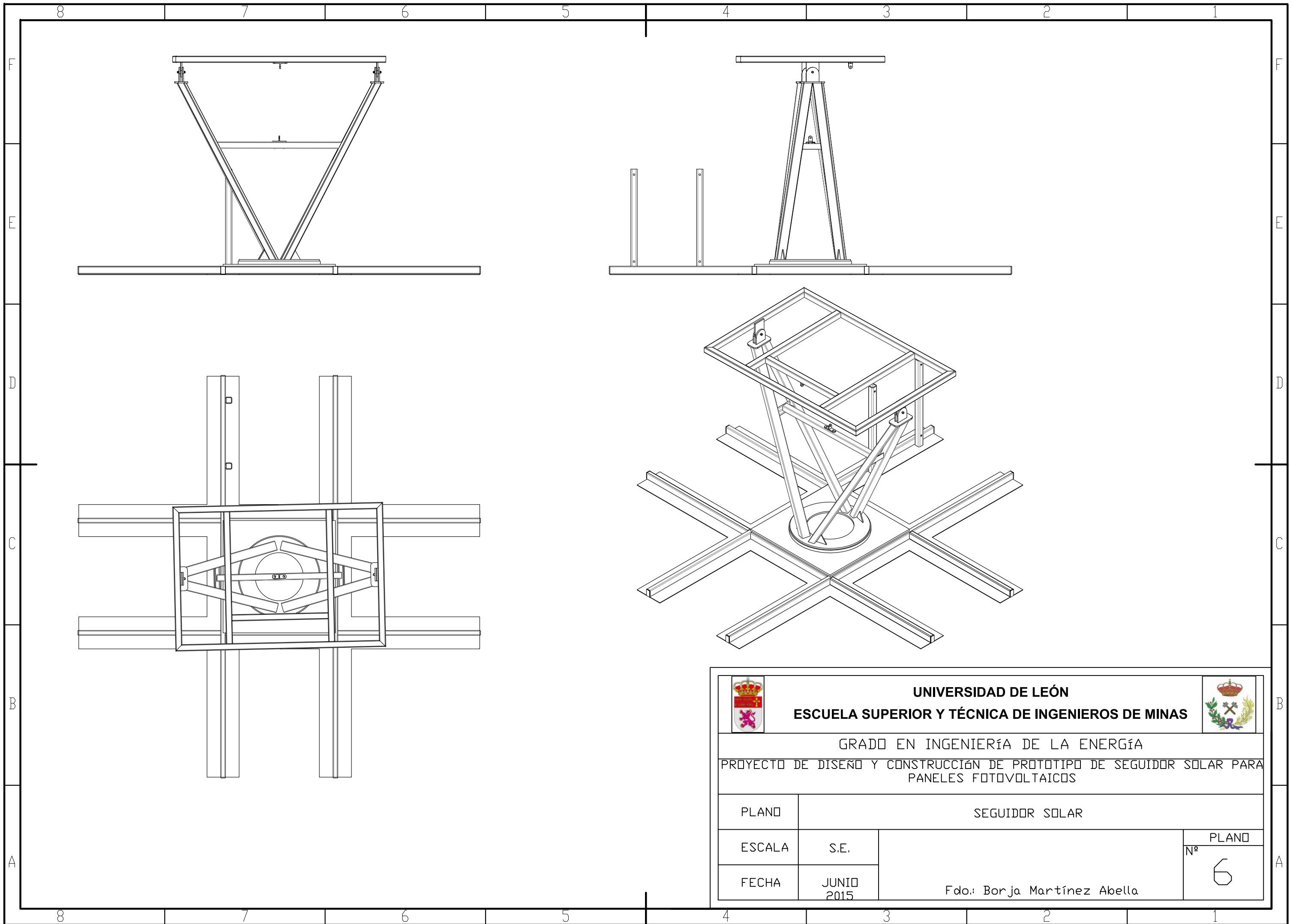
 UNIVERSIDAD DE LEÓN 				
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS				
GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA				
PROYECTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR PARA PANELES FOTOVOLTAICOS				
PLANO	PIEZA DE ENGANCHE DEL ACTUADOR LINEAL AL CUERPO DEL SEGUIDOR Y AL MARCO DEL PANEL			
ESCALA	2:1			
FECHA	JUNIO 2015			
Fdo.: Borja Martínez Abella				
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">PLANO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Nº</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; font-size: 2em;">3</td> </tr> </table>		PLANO	Nº	3
PLANO				
Nº				
3				





 UNIVERSIDAD DE LEÓN 		
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS		
GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA PROYECTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR PARA PANELES FOTOVOLTAICOS		
PLANO	BASE DEL EJE DE SEGUIMIENTO CENTRAL	
ESCALA	1:2	PLANO Nº
FECHA	JUNIO 2015	4
Fdo.: Borja Martínez Abella		



 UNIVERSIDAD DE LEÓN 	
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS	
GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA PROYECTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR PARA PANELES FOTOVOLTAICOS	
PLANO	BASE DEL SEGUIDOR SOLAR
ESCALA	1:25
FECHA	JUNIO 2015
Fdo.: Borja Martínez Abella	
PLANO Nº 5	



		UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS			
GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA PROYECTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR PARA PANELES FOTOVOLTAICOS					
PLANO		SEGUIDOR SOLAR			
ESCALA	S.E.				PLANO Nº
FECHA	JUNIO 2015	Fdo.: Borja Martínez Abella			6



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

IV. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

ÍNDICE

1	CONDICIONES PARA LOS MATERIALES	2
1.1	ACEROS EMPLEADOS	2
1.2	RECEPCIÓN DE MATERIALES	2
1.3	TORNILLERÍA.....	2
2	CONDICIONES EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN	4
2.1	MONTAJE EN TALLER	4
2.2	MONTAJE EN OBRA	5
2.3	SOLDADURAS.....	5
2.4	ACABADOS	7
2.5	RECUBRIMIENTOS	8
2.6	PRESCRIPCIONES GENERALES SOBRE EL DISEÑO	8
3	CONDICIONES SOBRE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO	10
4	CONDICIONES PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....	11
4.1	CONCEPTOS GENERALES.....	11
4.2	ENTUBADO DE CABLES	11
4.3	CUADROS ELÉCTRICOS	12
4.4	CONTACTORES	13
4.5	PRENSAESTOPAS Y ETIQUETAS	13
4.6	PUESTA A TIERRA	14
5	CONDICIONES EN EL MANTENIMIENTO	16

1 CONDICIONES PARA LOS MATERIALES

1.1 Aceros empleados

- El acero empleado en los perfiles y chapas de la estructura será S275JR no aleado y laminado en caliente.
- Se permitirá el empleo de otro tipo de acero siempre que las características mecánicas similares a las del acero prescrito y que no se comprometa la estabilidad de la estructura. Además deberá ser un acero estandarizado. Se podrán consultar las especificaciones del acero en el capítulo 7 del documento I.

1.2 Recepción de materiales

- Se comprobará mediante los documentos suministrados con los materiales y productos fabricados, que éstos coinciden con los pedidos. Si no se incluye una declaración del suministrador de que los productos o materiales cumplen con el presente Pliego de Condiciones, se tratarán como productos o materiales no conformes.
- La recepción de los materiales tiene, en todo caso, carácter provisional hasta que se compruebe su comportamiento en la obra.

1.3 Tornillería

- Pernos, tuercas, arandelas, pasadores y demás piezas de tornillería deberán cumplir las normas estándar que existen para cada uno.
- Todas las piezas de tornillería serán un material para tornillos y de otro para tuercas para evitar así la acumulación de corrosión y suciedad, y evitar también el gripaje que se pueda generar entre ellos y que puede dañar la rosca y evitar la manipulación normal del conjunto.
- Los casquillos de bronce empleados como cojinetes serán de bronce sinterizado y del tipo autolubricados de manera que no sea necesario engrasarlos periódicamente aunque sí revisarlos visualmente.

- Los valores mínimos de resistencia de tornillos, tuercas y arandelas serán los indicados en la siguiente tabla.

Características mecánicas de los aceros de los tornillos, tuercas y arandelas					
Clase	Ordinarios			De alta resistencia	
	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)	240	300	480	640	900
Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	400	500	600	800	1000

- Los tornillos, tuercas y arandelas normalizados podrán combinarse según normas de aplicación de la siguiente manera.

Compatibilidad de uso de tornillos, tuercas y arandelas

Tornillos normalizados	Tuercas normalizadas	Arandelas normalizadas
EN ISO 4014:2000 EN ISO 4016:2000 UNE EN ISO 4017:2001 EN ISO 4018:2000	EN 24032:1991 EN ISO 4034:2000 ISO 7413:1984	ISO 7089:2000 ISO 7090:2000 ISO 7091:2000
ISO 7411:1984	ISO 4775:1984	ISO 7415:1984 ISO 7416:1984
ISO 7412:1984	ISO 7414:1984	ISO 7415:1984 ISO 7416:1984

2 CONDICIONES EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN

2.1 Montaje en taller

- La elaboración de la estructura metálica en taller, requiere que éstos estén equipados con las instalaciones adecuadas y con personal con la idoneidad necesaria, apropiados para la envergadura de la obra que se edificará, de tal forma que garantice la ejecución de la misma sin problemas, ya sea en lo referido a plazos de ejecución, organización, aspectos técnicos y económicos. Los talleres deberán demostrar su capacidad técnica, de acuerdo a cualificación, certificación, experiencia en obras similares, procedimientos homologados, etc. y su capacidad física, de acuerdo a la superficie cubierta, instalaciones montadas, parque de almacenamiento, maquinaria y medios de elevación.
- La estructura será provisional y cuidadosamente montada en el taller para asegurar la perfecta coincidencia de los elementos que han de unirse y su exacta configuración geométrica.
- La sujeción provisional de los elementos estructurales se efectuará con grapas o tornillos, o mediante cualquier otro elemento en el que su uso quede avalado por la experiencia, teniendo, además, la certeza de que puedan resistir adecuadamente los esfuerzos generados en esta fase. No se procederá a ejecutar ninguna unión definitiva soldada, mientras no se certifique que los elementos estructurales quedan dispuestos correctamente, de acuerdo con lo especificado en los planos de proyecto y en los de taller.
- Las uniones de montaje y otros dispositivos auxiliares empleados se retirarán solamente cuando la autoestabilidad de la estructura quede garantizada.
- Una vez comprobado que los distintos elementos estructurales metálicos fabricados en taller satisfacen todos los requisitos anteriores, se recepcionarán autorizándose su envío a la obra.
- Se procurará reducir al mínimo las uniones a efectuar en obra, estudiando cuidadosamente los planos de taller para resolver los problemas de transporte y montaje que esto pueda ocasionar.
- Si durante la ejecución fuese necesario introducir modificaciones de detalle respecto a lo definido en los planos de taller, se harán con la aprobación del Ingeniero-Director, y se anotarán en los planos de taller todas las modificaciones. Habrá de procederse a la rectificación de los planos de taller que corresponda, de

manera que acaben reflejando exactamente las soluciones finalmente adoptadas. En el caso de que haga falta modificar detalles, se requerirá la autorización expresa de la Dirección Facultativa, debiendo quedar constancia en los planos de taller de las variaciones introducidas.

2.2 Montaje en obra

- Como paso previo al montaje en obra se realizará la adecuación del espacio destinado al emplazamiento de la estructura.
- Nos aseguraremos que la zona donde se va a asentar la estructura sea estable.
- Se deberá comprobar la presencia de todos los servicios básicos necesarios para el montaje y la operación de la estructura.

2.3 Soldaduras

El proceso de soldadura a aplicar a las uniones deberá estar incluido entre la siguiente relación y ser acorde con la definición indicada en UNE-EN 24063.

- 111. Soldeo por arco eléctrico manual con electrodo revestido.
- 114. Soldeo por arco con hilo tubular si protección gaseosa.
- 121. Soldeo por arco sumergido con hilo.
- 122. Soldeo por arco sumergido con electrodo desnudo.
- 131. Soldeo por arco con gas inerte. MIG.
- 135. Soldeo por arco con gas activo. MAG.
- 136. Soldeo por arco con hilo tubular, protección con gas activo.
- 137. Soldeo con arco con hilo tubular, protección con gas inerte.
- 141. Soldeo con electrodo de wolframio y gas inerte. TIG.
- 781. Soldeo por arco de conectadores.

- Las superficies y los bordes deben ser apropiados para el proceso de soldeo que se utilice; los componentes a soldar deben estar correctamente colocados y fijos mediante dispositivos adecuados o soldaduras de punteo, pero no mediante soldaduras adicionales y ser accesibles para el soldador; los dispositivos provisionales para el montaje deben ser fáciles de retirar sin dañar la pieza; se debe considerar la utilización de precalentamiento cuando el tipo de acero y/o la velocidad de enfriamiento puedan producir enfriamiento en la zona térmicamente afectada por el calor.
- Se comprobará que las dimensiones finales están dentro de las tolerancias, estableciéndose los márgenes adecuados para la distorsión o contracción.
- Las soldaduras que se utilicen deben ejecutarse siguiendo las especificaciones generales y, si se cortan al final del proceso, la superficie del metal base debe alisarse por amolado. Se eliminarán todas las soldaduras de punteo no incorporadas a las soldaduras finales.
- Se debe considerar la utilización de precalentamiento cuando el tipo de material del acero y/o la velocidad de enfriamiento puedan producir un endurecimiento de la zona térmicamente afectada por el calor. Cuando se utilice, se extenderá 75 mm en cada componente del metal base.
- Las piezas que hayan de unirse con soldadura se presentarán y fijarán en su posición relativa mediante dispositivos adecuados que aseguren, sin una coacción excesiva, la inmovilidad durante el soldeo y el enfriamiento subsiguiente. El orden de ejecución de los cordones y la secuencia de soldeo dentro de cada uno de ellos, y del conjunto, se elegirán con vistas a conseguir que, después de unidas las piezas, obtengan su forma y posición relativas definitivas sin necesidad de un enderezado o rectificación posterior, al mismo tiempo que se mantengan dentro de límites aceptables las tensiones residuales.
- Entre los medios de fijación provisional pueden utilizarse puntos de soldadura depositados entre los bordes de las piezas a unir; el número e importancia de estos puntos se limitará al mínimo compatible con la inmovilización de las piezas. Se permite englobar estos puntos en la soldadura definitiva, con tal que no presenten fisuras ni otros defectos y hayan quedado perfectamente limpios de escoria.
- Se prohíbe la práctica de fijar las piezas a los gálibos de armado con puntos de soldadura. Antes del soldeo se limpiarán los bordes de la costura, eliminando cuidadosamente toda la cascarilla, herrumbre o suciedad y, muy especialmente, las manchas de grasa o de pintura. Durante el soldeo se mantendrán bien secos, y protegidos de la lluvia, tanto los bordes de la costura como las piezas a soldar, por

lo menos en una superficie suficientemente amplia alrededor de la zona en que se está soldando.

- Después de ejecutar cada cordón elemental, y antes de depositar el siguiente, se limpiará su superficie con piqueta y cepillo de alambres, eliminando todo rastro de escorias. Para facilitar esta operación, y el depósito de los cordones posteriores, se procurará que las superficies exteriores de tales cordones no formen ángulos diedros demasiado agudos, ni entre sí ni con los bordes de las piezas; y, también, que las superficies de los cordones sean lo más regulares posibles.
- Para conseguir una soldadura con coacciones mínimas, y reducir tensiones residuales al mínimo posible, se operará de acuerdo con las siguientes prescripciones:
 - El volumen de metal depositado tendrá en todo momento la máxima simetría posible.
 - Las piezas a soldar se dispondrán de modo que puedan seguir los movimientos producidos en el soldeo con la máxima libertad posible.
 - El soldador tendrá en todo momento acceso fácil y posición óptima de trabajo, para asegurar el depósito limpio y perfecto del material de aportación.
 - La disposición de las piezas y el orden de los cordones será tal que se reduzca al mínimo la acumulación de calor en zonas locales.
- Tras el proceso de soldado se inspeccionarán todas las soldaduras en búsqueda de defectos en las mismas.

2.4 Acabados

- Previamente a la aplicación de los tratamientos de protección, se prepararán las superficies reparando todos los defectos detectados en ellas, tomando como referencia los principios generales de la norma UNE EN ISO 8504-1:2002, particularizados por UNE EN ISO 8504-2:2002 para limpieza con chorro abrasivo y por UNE EN ISO 8504-3:2002 para limpieza por herramientas motorizadas y manuales.

- No se utilizarán materiales que perjudiquen la calidad de una soldadura a menos de 150 mm de la zona a soldar y tras realizar la soldadura, no se debe pintar sin antes haber eliminado las escorias.

2.5 Recubrimientos

- **Galvanización.** Se realizará de acuerdo con UNE EN ISO 1460:1996 y UNE EN ISO 1461:1999, sellando las soldaduras antes de un decapado previo a la galvanización si se produce, y con agujeros de venteo o purga si hay espacios cerrados, donde indique el presente Pliego; las superficies galvanizadas deben limpiarse y tratarse con pintura de imprimación anticorrosiva con diluyente ácido o chorreado barredor antes de ser pintadas.
- **Pintura.** Se seguirán las instrucciones del fabricante en la preparación de superficies, aplicación del producto y protección posterior durante un tiempo; si se aplica más de una capa se usará en cada una sombra de color diferente.
- La pintura se recepcionará y almacenará en recipientes cerrados y precintados, con la etiqueta de su fabricante.
- Si no se especifica lo contrario, la pintura en los elementos estructurales envueltos por otros materiales o expuestos al aire en interiores, asegurará una protección no menor que la proporcionada por dos capas de pintura tradicional, que contenga un 30% de aceite de linaza cocido, y en los elementos expuestos a la intemperie, no menor que la proporcionada por tres capas de la misma pintura.
- Antes del pintado se presentarán muestras de pintura para realizar los análisis y ensayos prescritos en el proyecto, y se pintarán muestras para juzgar el color y el acabado.

2.6 Prescripciones generales sobre el diseño

- La distancia entre el centro de las bases que incorporan las pletinas del eje cenital deberán estar a una distancia de 122,2cm con una tolerancia de +-0.
- Los acabados de piezas realizadas específicamente para el proyecto tendrán los bordes romos para evitar peligro de cortes en la manipulación y uso del equipo.

- Los cortes de perfiles y su ubicación en las chapas a las que van soldados serán los descritos en el capítulo 6 del documento I y tendrán una tolerancia de ± 0 .
- El acoplamiento de los subsistemas del seguidor se realizará in situ.

3 CONDICIONES SOBRE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

- Los sistemas de transmisión de movimiento podrán ser modificados si se mantiene el esquema de funcionamiento del seguidor proyectado.
- Se procurará que los sistemas de transmisión de movimiento tengan una protección mínima frente a intemperie según la IEC 60529.
- Se deberán cumplir las condiciones técnicas indicadas por los fabricantes de ambos equipos como norma general.

4 CONDICIONES PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

4.1 Conceptos generales

- Todos los materiales a emplear en la presente instalación serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y demás disposiciones vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.
- Todos los materiales podrán ser sometidos a los análisis o pruebas, por cuenta de la contrata, que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro que haya sido especificado y sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección Técnica, bien entendiendo que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buena práctica de la instalación.
- Los materiales no consignados en proyecto que dieran lugar a precios contradictorios reunirán las condiciones de bondad necesarias, a juicio de la Dirección Facultativa, no teniendo el contratista derecho a reclamación alguna por estas condiciones exigidas.
- Todos los trabajos incluidos en el presente proyecto se ejecutarán esmeradamente, con arreglo a las buenas prácticas de las instalaciones eléctricas, de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección Facultativa, no pudiendo, por tanto, servir de pretexto al contratista la baja en subasta, para variar esa esmerada ejecución ni la primerísima calidad de las instalaciones proyectadas en cuanto a sus materiales y mano de obra, ni pretender proyectos adicionales.

4.2 Entubado de cables

- Los cables se colocarán dentro de tubos o canales, fijados directamente sobre las paredes, enterrados, directamente empotrados en estructuras, en el interior de huecos de la construcción, bajo molduras, en bandeja o soporte de bandeja.
- Los tubos protectores pueden ser:
 - Tubo y accesorios no metálicos.
 - Tubo y accesorios compuestos (constituidos por materiales metálicos y no metálicos).

- Los tubos se clasifican según lo dispuesto en las normas siguientes:
 - UNE-EN 50.086 -2-1: Sistemas de tubos rígidos.
 - UNE-EN 50.086 -2-2: Sistemas de tubos curvables.
 - UNE-EN 50.086 -2-3: Sistemas de tubos flexibles.
 - UNE-EN 50.086 -2-4: Sistemas de tubos enterrados.

- Las características de protección de la unión entre el tubo y sus accesorios no deben ser inferiores a los declarados para el sistema de tubos.

- La superficie interior de los tubos no deberá presentar en ningún punto aristas, asperezas o fisuras susceptibles de dañar los conductores o cables aislados o de causar heridas a instaladores o usuarios.

4.3 Cuadros eléctricos

- Todos los cuadros eléctricos serán nuevos y se entregarán en obra sin ningún defecto. Estarán diseñados siguiendo los requisitos de estas especificaciones y se construirán de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y con las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

- Cada circuito en salida de cuadro estará protegido contra las sobrecargas y cortocircuitos.

- La protección contra corrientes de defecto hacia tierra se hará por circuito o grupo de circuitos, mediante el empleo de interruptores diferenciales de sensibilidad adecuada, según ITC-BT-24.

- Los cuadros serán adecuados para trabajo en servicio continuo. Las variaciones máximas admitidas de tensión y frecuencia serán del + 5 % sobre el valor nominal.

- Los cuadros serán diseñados para servicio exterior, completamente estancos al polvo y la humedad, ensamblados en fábrica, y estarán constituidos por paneles de cerramiento de chapa de acero de fuerte espesor, o de cualquier otro material que sea mecánicamente resistente y no inflamable.

- Alternativamente, la cabina de los cuadros podrá estar constituida por módulos de material plástico, con la parte frontal transparente.

- Las puertas estarán provistas con una junta de estanquidad de neopreno o material similar, para evitar la entrada de polvo.

- Todos los cables se instalarán dentro de canaletas provistas de tapa desmontable. Los cables de fuerza irán en canaletas distintas en todo su recorrido de las canaletas para los cables de mando y control.
- Los aparatos se montarán dejando entre ellos y las partes adyacentes de otros elementos una distancia mínima igual a la recomendada por el fabricante de los aparatos, en cualquier caso nunca inferior a la cuarta parte de la dimensión del aparato en la dirección considerada.
- Los aparatos indicadores (lámparas, amperímetros, voltímetros, etc), dispositivos de mando (pulsadores, interruptores, conmutadores, etc), paneles sinópticos, etc, se montarán sobre la parte frontal de los cuadros.
- Todos los componentes interiores, aparatos y cables, serán accesibles desde el exterior por el frente.

4.4 Contactores

- Los contactores serán adecuados para el arranque directo de motores, con corriente de arranque máxima del 600 % de la nominal y corriente de desconexión igual a la nominal.
- La longevidad del aparato, sin tener que cambiar piezas de contacto y sin mantenimiento, en condiciones de servicio normales (conecta estando el motor parado y desconecta durante la marcha normal) será de al menos 500.000 maniobras.

4.5 Prensaestopas y etiquetas

- Los cuadros irán completamente cableados hasta las regletas de entrada y salida.
- Se proveerán prensaestopas para todas las entradas y salidas de los cables del cuadro; los prensaestopas serán de doble cierre para cables armados y de cierre sencillo para cables sin armar.
- Todos los aparatos y bornes irán debidamente identificados en el interior del cuadro mediante números que correspondan a la designación del esquema. Las etiquetas serán marcadas de forma indeleble y fácilmente legible.

- En la parte frontal del cuadro se dispondrán etiquetas de identificación de los circuitos, constituidas por placas de chapa de aluminio firmemente fijadas a los paneles frontales, impresos al horno, con fondo negro mate y letreros y zonas de estampación en aluminio pulido. El fabricante podrá adoptar cualquier solución para el material de las etiquetas, su soporte y la impresión, con tal de que sea duradera y fácilmente legible.

4.6 Puesta a tierra

- Las puestas a tierra se establecen principalmente con objeto de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.
- La puesta o conexión a tierra es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo, mediante una toma de tierra con un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo.
- Mediante la instalación de puesta a tierra se deberá conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o las de descarga de origen atmosférico.
- La elección e instalación de los materiales que aseguren la puesta a tierra deben ser tales que:
 - El valor de la resistencia de puesta a tierra esté conforme con las normas de protección y de funcionamiento de la instalación y se mantenga de esta manera a lo largo del tiempo.
 - Las corrientes de defecto a tierra y las corrientes de fuga puedan circular sin peligro, particularmente desde el punto de vista de sollicitaciones térmicas, mecánicas y eléctricas.
 - La solidez o la protección mecánica quede asegurada con independencia de las condiciones estimadas de influencias externas.
 - Contemplan los posibles riesgos debidos a electrólisis que pudieran afectar a otras partes metálicas.
- Para la toma de tierra se pueden utilizar electrodos formados por:
 - Barras, tubos

- Pletinas, conductores desnudos;
 - Placas;
 - Anillos o mallas metálicas constituidos por los elementos anteriores o sus combinaciones;
 - Armaduras de hormigón enterradas; con excepción de las armaduras pretensadas;
 - Otras estructuras enterradas que se demuestre que son apropiadas.
- Como existe toma de tierra en el edificio, se pondrá el seguidor a tierra mediante esta toma.

5 CONDICIONES EN EL MANTENIMIENTO

- Se realizarán revisiones periódicas del engrasado de piezas susceptibles de desgaste o que por su función así lo requieran.
- Se engrasarán periódicamente todos los rodamientos y piñones con grasas o aceites minerales.
- Se realizarán inspecciones visuales para detectar anomalías o deformaciones estructurales. En caso de su presencia se detendrá el sistema para evitar daños mayores en equipos.
- Se revisará el motor y el actuador anualmente para comprobar su estado.
- Se realizarán mediciones de la precisión de los equipos de transmisión para detectar posibles desajustes. En caso de existir desfases en el movimiento se calibrará todo el sistema.
- Se limpiará la estructura semestralmente para evitar acumulaciones de materiales que puedan causar daños o desgastes.
- En caso de que los fabricantes de los sistemas de transmisión de movimiento prescriban condiciones mantenimiento, se deberán cumplir de la misma manera que las indicadas en este documento.
- Se inspeccionarán los casquillos de bronce para detectar desgastes. En caso de un desgaste pronunciado se procederá a su recambio.



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

V. MEDICIONES

ÍNDICE

1	MEDICIONES Y UNIDADES DE OBRA	2
---	-------------------------------------	---

1 MEDICIONES

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	LONGITUD	ALTURA	ANCHURA	TOTAL
1 - EQUIPOS						
1.01	ACTUADOR LINEAL (unidades) Encargo del sistema de actuación lineal para transmisión de movimiento para eje de seguimiento cenital					
		1				1
1.02	SISTEMA GUÍA (unidades) Diseño y construcción del sistema guía por la empresa HEPCO® para uso como seguidor del azimut solar.					
		1				1
1.03	MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA (unidades) Motor de corriente alterna para giro en eje de seguimiento azimutal.					
		1				1
1.04	ARMARIO ELÉCTRICO (unidades) Armario de protección para el aparillaje eléctrico y electrónico.					
		1				1
2 - OPERACIONES						
2.01	TRABAJO METÁLICO (horas) Agrupa todo el tiempo de trabajo de montaje metálico de la estructura. Incluye cualquier tipo de operación necesaria (taladros, cortes, soldadura...).					
		1				45
2.02	ACOPLAMIENTO DEL SEGUIDOR (horas) Montaje del seguidor solar en la azotea de la Escuela de Minas de León					
		1				12
2.03	PROGRAMACIÓN DEL SEGUIDOR (horas) Tiempo de programación del autómatas para que desempeñe las tareas de seguimiento estipuladas en la memoria.					
		1				12

3 - MATERIALES						
3.01	PERFILES METÁLICOS RECTANGULARES DE 60x40x2 mm (m)					
						5,01
3.02	PERFILES METÁLICOS RECTANGULARES DE 50x40x2 mm (m)					
						9,88
3.03	PERFILES METÁLICOS RECTANGULARES DE 40x40x2 mm (m)					
						8,75
3.04	PERFILES METÁLICOS ANGULARES DE 35x35x5 mm (m)					
						0,235
3.05	CHAPA DE ACERO 3 mm DE ESPESOR (m²)					
						1,84
3.06	CHAPA DE ACERO 6 mm DE ESPESOR (m²)					
						0,0086
3.07	CHAPA DE ACERO 8 mm DE ESPESOR (m²)					
						0,055
3.08	CHAPA DE ACERO 10 mm DE ESPESOR (m²)					
						0,126
3.09	CHAPA DE ACERO 12 mm DE ESPESOR (m²)					
						0,49

4 - TORNILLERÍA						
4.01	PASADORES CILÍNDRICOS DE 12 mm DE DIÁMETRO (unidades)					
		2				2
4.02	PASADORES CILÍNDRICOS DE 10 mm DE DIÁMETRO (unidades)					
		2				2
4.03	PASADORES TIPO BETA (unidades)					
		8				8
4.04	TORNILLOS DE CABEZA HEXAGONAL (DIN EN ISO 24017) M8					
		4				4
4.05	TORNILLOS DE CABEZA HEXAGONAL (DIN EN ISO 24017) M10					
		4				4
4.06	TORNILLOS DE CABEZA CILÍNDRICA Y HEXÁGONO INTERIOR (DIN 912) M12					
		12				12
4.07	ARANDELAS PLANAS PARA TORNILLO M8 (DIN EN ISO 7089)					
		4				4
4.08	ARANDELAS PLANAS PARA TORNILLO M10 (DIN EN ISO 7089)					
		4				4
4.09	TUERCA HEXAGONAL PARA TORNILLO M8 (DIN EN ISO 24032)					
		4				4
4.10	TUERCA HEXAGONAL PARA TORNILLO M10 (DIN EN ISO 24032)					
		4				4
4.11	CASQUILLOS DE BRONCE SINTERIZADOS Y AUTOLUBRICADOS DE DIÁMETRO EXTERIO 16 mm Y DIÁMETRO INTERIOR 12 mm.					
		2				2



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

VI. PRESUPUESTO

ÍNDICE

1	CUADRO DE PRECIOS Nº1.....	2
2	CUADRO DE PRECIOS Nº2.....	4
3	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	5

1 CUADRO DE PRECIOS Nº1

CAPÍTULO 1 – EQUIPOS

- **MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA (Código 1.01)**

1 Ud. Motor monofásico de corriente alterna con potencia de 35W, par motor de 100 Nm y velocidad de giro 0,62 r.p.m. de la marca Parvalux y modelo SD 8 LWS.

Precio- 451,27 €

CUATROCIENTOS CINCUENTA Y UN EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS

- **ACTUADOR LINEAL (Código 1.02)**

1 Ud. Actuador lineal marca Linak. Modelo LA-30.

Precio- 418,11€

CUATROCIENTOS DIECIOCHO EUROS CON ONCE CÉNTIMOS

- **ANILLO DE CARGA PESADA (Código 1.03)**

1 Ud. Anillo de carga pesada de acero inoxidable con dos rodamientos concéntricos y dos rodamientos excéntricos más piñón de eje 30h8. Incluye 55€ (CINCUENTA Y CINCO EUROS CON CERO CÉNTIMOS) de costes de portes y embalaje.

Precio- 3027,40€

TRES MIL VEINTISIETE EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS

- **ARMARIO ELÉCTRICO (Código 1.04)**

1 Ud. Armario eléctrico para alojamiento del bastidor del autómeta y las protecciones. Modelo AE1038.500 de dimensiones 600x380x210 mm. Marca Rittal.

Precio- 104,36€

CIENTO CUATRO EUROS CON TREINTA Y SEIS CÉNTIMOS

TOTAL CAPÍTULO – 4001,14€

CUATRO MIL UN EUROS CON CATORCE CÉNTIMOS

SUBCAPÍTULO 1. Costes del anillo de carga pesada.**- ANILLO DE ACERO INOXIDABLE (Código 1.03.1)**

1 Ud. Anillo de acero inoxidable con corona dentada interna modelo HDRE512 G 4SS

Precio- 1813,30€

MIL OCHOCIENTOS TRECE EUROS CON TREINTA CÉNTIMOS

- RODAMIENTO CONCÉNTRICO DE ACERO INOXIDABLE (Código 1.03.2)

2 Ud. Rodamiento concéntrico de acero inoxidable con sello de nitrilo modelo SSTHJR95CNS22.

Precio- 472,18€

CUATROCIENTOS SETENTA Y DOS EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS

- RODAMIENTO EXCÉNTRICO DE ACERO INOXIDABLE (Código 1.03.3)

2 Ud. Rodamiento excéntrico de acero inoxidable con sello de nitrilo modelo SSTHJR95ENS22.

Precio- 495,26€

CUATROCIENTOS NOVENTA Y CINCO EUROS CON VEINTISÉIS CÉNTIMOS

- PIÑÓN DE ACERO INOXIDABLE (Código 1.03.4)

1 Ud. Piñón de acero inoxidable modelo SSHP4X24.

Precio- 191,67€

CIENTO NOVENTA Y UN EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS

TOTAL SUBCAPÍTULO – 3027,40€

TRES MIL VEINTISIETE EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS

2 CUADRO DE PRECIOS Nº2

- CONSTRUCCIÓN DE COMPONENTES METÁLICOS DEL SEGUIDOR (Código CONSM1)

Construcción en taller metálico de la estructura del seguidor sin realizar el ensamblaje completo en taller. Incluye todos los materiales metálicos, procesos y tornillería además del trabajo del especialista metálico.

MANO DE OBRA- 540,00€

RESTO DEL PROCESO Y MATERIALES- 310,00€

TOTAL- 850,00€

OCHOCIENTOS CINCUENTA EUROS CON CERO CÉNTIMOS

- MONTAJE DEL SEGUIDOR (Código MONTS1)

Ensamblaje del seguidor solar realizado por el personal del Laboratorio de Energía de la Universidad de León y el alumno que ha realizado el proyecto.

MANO DE OBRA- 0,00€

RESTO DEL PROCESO Y MATERIALES- 30,00€

TOTAL- 30,00€

TREINTA EUROS CON CERO CÉNTIMOS

- PROGRAMACIÓN DEL PLC (Código PROGP1)

Programación y ensayo del PLC que gobierna el giro del seguidor solar. Realizado por el personal del Laboratorio de Energía de la Universidad de León y el alumno que ha realizado el proyecto.

MANO DE OBRA- 0,00€

RESTO DEL PROCESO Y MATERIALES- 26,00€

TOTAL- 26,00€

VEINTISÉIS EUROS CON CERO CÉNTIMOS

3 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

1- EQUIPOS.....	4001,14€
2- OPERACIONES.....	906,00€
3- GASTOS VARIOS (10% DE LAS PARTIDAS 1 Y 2).....	490,71€
TOTAL.....	5397,71€

Asciende el presupuesto de la obra de construcción de un seguidor solar a dos ejes a un presupuesto de CINCO MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON SETENTA Y UN CÉNTIMOS (5387,53€)

León, junio de 2015

