



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Estudio de alternativas para anclajes en seguidores solares de un eje en instalaciones de pequeña potencia

Study of alternatives for anchorages in single axis solar trackers in small power installations

Autor

Ángel Viar Aisa

Director

Tirso Vázquez Pulido

Ponente

Javier Domínguez Hernández

Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) – Universidad de Zaragoza

Máster en Ingeniería Industrial

Curso 2020 - 21

Estudio de alternativas para anclajes en seguidores solares de un eje en instalaciones de pequeña potencia

RESUMEN

El objetivo del Trabajo de Fin de Máster ha consistido en diseñar y calcular una alternativa al uso generalizado de postes hincados en el terreno como cimentación en seguidores solares de un eje en instalaciones de pequeña potencia, de manera que cumpla tanto con las especificaciones del fabricante como con las condiciones climatológicas de la ubicación elegida.

Para ello, en primer lugar, se revisó el estado del arte de los diferentes tipos de seguidores solares, su uso y comparativa energética. Posteriormente se estudió analíticamente las cargas, y las diferentes combinaciones posibles entre ellas teniendo en cuenta los coeficientes de seguridad y de simultaneidad, soportadas por la estructura comercial elegida.

A continuación se analiza la estructura del seguidor para diferentes inclinaciones y velocidades de viento dependiendo de las especificaciones del fabricante y su emplazamiento según el Código Técnico de la Edificación. Una vez elegida la disposición más desfavorable en cuanto a reacciones se refiere, se procede a exponer las distintas alternativas de cimentaciones diseñadas.

El procedimiento llevado a cabo ha sido el siguiente: en primer lugar, se ha diseñado el modelo y sus componentes en Autodesk Inventor; y después se ha importado dicho archivo en ANSYS para poder observar mediante elementos finitos el comportamiento de todas las alternativas. Asimismo se valora económicamente cada opción realizando un presupuesto aproximado que contempla tanto el importe de los materiales como el de los servicios prestados para su instalación.

Finalmente, una vez recogidos los resultados en una tabla comparativa que permita contrastar los resultados, se procede a elegir una de las tres opciones mostradas atendiendo a los dos aspectos fundamentales, el comportamiento estructural a los esfuerzos calculados y el coste económico de la instalación. Como último apartado se incluye una sección que recoge las conclusiones finales del trabajo además del trabajo futuro a realizar una vez finalizado el presente proyecto.

Índices

Memoria

1. Introducción	9
1.1. Alcance y Objetivos	9
1.2. Organización del Proyecto	9
1.3. Descripción seguidor solar	9
1.3.1. Comparación energética entre estructura fija y seguidor solar	10
1.4. Tipos de seguidores	10
1.5. Descripción Seguidor solar 1 eje N-S	11
2. Hipótesis de cargas consideradas en el diseño actual.	13
2.1. Modelo Analítico.	13
2.1.1. Consideraciones de Cargas	13
2.1.2. Combinaciones de Acciones.	17
3. Diseño y análisis de cimentaciones.	19
3.1. Diagramas de esfuerzos.	20
3.2. Cimentación mediante hincadora de postes.	22
3.2.1. Descripción.	22
3.2.2. Diseño y componentes.	22
3.2.3. Modelo de elementos finitos.	22
3.2.4. Resultados y discusiones.	23
3.3. Cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada.	25
3.3.1. Descripción.	25
3.3.2. Diseño y componentes.	25
3.3.3. Modelo de elementos finitos.	26
3.3.4. Resultados y discusiones.	27
3.4. Cimentación mediante zapata y plancha enterrada.	29
3.4.1. Descripción.	29
3.4.2. Diseño y componentes.	29
3.4.3. Modelo de elementos finitos.	30
3.4.4. Resultados y discusiones.	30
4. Conclusiones y futuro trabajo.	33
5. Bibliografía	35
ANEXO I: Planos Seguidor STi-H250	36
ANEXO II: Ficha Técnica STi-H250	39

ANEXO III: Procedimiento Instalación	41
ANEXO IV: Cálculo de Cargas y Combinaciones de Acciones	67
ANEXO V: Diseño y análisis de las cimentaciones.	85

Figuras

Figura 1: Comparación producción energética entre estructura fija y seguidor solar [1]	10
Figura 2: Tipos de seguidores solares según su eje de giro [2]	11
Figura 3: Orientación del seguidor. [3]	11
Figura 4: Componentes del seguidor [3].....	12
Figura 5: Seguidor Solar modelo Sti-H250. [5]	13
Figura 6: Distancia entre postes del seguidor STi-H250.....	13
Figura 7: Poste sometido a la resultante de las fuerzas X e Y (Comp.).....	20
Figura 8: Diagramas de esfuerzos del poste sometido a la resultante de las fuerzas X e Y (Comp.).....	21
Figura 9: Poste sometido a la resultante de las fuerzas X e Y (Tracc.)	21
Figura 10: Diagramas de esfuerzos del poste sometido a la resultante de las fuerzas X e Y (Tracc.)	21
Figura 11: Cimentación mediante hincadora de postes.....	22
Figura 12: Diseño cimentación mediante hincadora de postes.....	23
Figura 13: Colocación del poste con los perfiles del anclaje del seguidor en el agujero del terreno.	25
Figura 14: Cimentación correctamente instalada.	26
Figura 15: Diseño cimentación mediante zapata y unión roscada	27
Figura 16: Diseño de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada.	29
Figura 17: Diseño cimentación mediante plancha enterrada.	30
Figura 18: Modelo 3D RFEM tramo STi-H250.....	67
Figura 19: Perfil en forma de C del poste STI-H250.	68
Figura 20: Perfil cuadrado hueco del eje de torsión STI-H250.	68
Figura 21: Perfil soportes módulos fotovoltaicos STI-H250.	69
Figura 22: Características técnicas módulos TSM-PE14H. [7]	69
Figura 23: Dimensiones módulos TSM-PE14H. [7]	70
Figura 24: Principales propiedades Acero Q345B. [10].....	71
Figura 25: Zonas climáticas de invierno. [6]	72
Figura 26: Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal. [6].....	72
Figura 27: Valor básico de la velocidad del viento. [6].....	74
Figura 28: Coeficientes para cada tipo de entorno. [6]	74
Figura 29: Zonas A y C para el cálculo de la q_e equivalente o promedio	79
Figura 30: Coeficientes de presión exterior. [6]	80
Figura 31: Coeficientes parciales de seguridad para las acciones. [8]	81
Figura 32: Coeficientes de simultaneidad para las acciones. [6]	82
Figura 33: Propiedades del Acero Estructural Q345B [9].	85
Figura 34: Propiedades del Cemento Reforzado [9].....	85
Figura 35: Propiedades de la Tierra [9].	86
Figura 36: Factores de fricción entre acero-tierra y cemento-tierra [11].....	86
Figura 37: Tabla 15.3 del Capítulo IV del EAE.	87
Figura 38: Perfil cimentación mediante hincadora de postes.....	88
Figura 39: Tierra cimentación mediante hincadora de postes.	89
Figura 40: Cimentación mediante hincadora de postes.....	89
Figura 41: Operarios trabajando con hincadora de postes.	90
Figura 42: Diseño cimentación mediante hincadora de postes.....	91
Figura 43: Reacciones cimentación mediante hincadora de postes (Compresión).....	92

Figura 44: Reacciones cimentación mediante hincadora de postes (Tracción)	92
Figuras 45: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante hincadora de postes (Compresión)	94
Figuras 46: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante hincadora de postes (Tracción).....	96
Figura 47: Anclaje del seguidor cimentación mediante zapata y unión roscada	98
Figura 48: Perfiles cuadrados anclaje del seguidor.	99
Figura 49: Unión de perfiles del anclaje del seguidor.	99
Figura 50: “Nivelador”	100
Figura 51: Plancha metálica con agujeros en las esquinas.	100
Figura 52: Colocación del poste con los perfiles del anclaje del seguidor en el agujero del terreno	101
Figura 53: Cimentación correctamente instalada.	101
Figura 54: Diseño cimentación mediante zapata y unión roscada	103
Figura 55: Reacciones cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Compresión)	103
Figura 56: Reacciones cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Tracción).....	104
Figuras 57: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Compresión).....	106
Figuras 58: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Tracción).	108
Figura 59: Diseño de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada.	110
Figura 60: Comprobaciones cimentaciones. [13].....	111
Figura 61: Tabla 2.1. del DB-SE-Cimientos con los coeficientes de seguridad parciales para las comprobaciones de las cimentaciones. [12]	112
Figura 62: Dibujo explicativo de las dimensiones de una zapata. [13].....	112
Figura 63: Esfuerzos respecto al centro de la base de la zapata. [13].....	113
Figura 64: Comprobaciones a vuelco. [13].....	113
Figura 65: Comprobaciones a deslizamiento. [13].....	114
Figura 66: Comprobaciones a hundimiento. [13].....	115
Figura 67: Distribución de tensiones trapecial y triangular. [13].....	115
Figura 68: Ecuaciones de equilibrio en distribución de tensiones triangular. [13]	117
Figura 69: Tabla D.25 con las presiones admisibles a efectos orientativos del DB-SE-Cimientos. [12].....	118
Figura 70: Diseño cimentación mediante plancha enterrada	119
Figura 71: Reacciones cimentación mediante plancha enterrada (Compresión)	120
Figura 72: Reacciones cimentación mediante plancha enterrada (Tracción).....	120
Figuras 73: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada I (Compresión).....	122
Figuras 74: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada I (Tracción).....	124
Figura 75: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada II (Compresión).	129
Figura 76: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada II (Tracción).....	130

Tablas

Tabla 1: q_e equivalente o promedio para las distintas combinaciones de inclinación y velocidad.....	16
Tabla 2: Resultados para el Estado Límite Último para cada una de las velocidades e inclinaciones del seguidor.	18
Tabla 3: Cargas de peso propio, nieve y viento utilizadas.....	19
Tabla 4: Reacciones provocadas por las cargas de peso propio, nieve y viento.	19
Tabla 5: Tabla 15.3 del Capítulo IV del EAE.	20
Tabla 6: Resultados cimentación mediante hincadora de postes.	23
Tabla 7: Resultados cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada.....	27
Tabla 8: Resultados cimentación mediante zapata y plancha enterrada.	30
Tabla 9: Tabla comparativa de las tres cimentaciones.	32
Tabla 10: Valores de la presión estática para: Inclinación de 0° ; Velocidad de 10 m/s.....	75
Tabla 11: Valores de la presión estática para: Inclinación de 0° ; Velocidad de 27 m/s.....	76
Tabla 12: Valores de la presión estática para: Inclinación de 0° ; Velocidad de 39 m/s.....	76
Tabla 13: Valores de la presión estática para: Inclinación de 30° ; Velocidad de 10 m/s.....	76
Tabla 14: Valores de la presión estática para: Inclinación de 30° ; Velocidad de 27 m/s.....	77
Tabla 15: Valores de la presión estática para: Inclinación de 30° ; Velocidad de 39 m/s.....	77
Tabla 16: Valores de la presión estática para: Inclinación de 45° ; Velocidad de 10 m/s.....	77
Tabla 17: Valores de la presión estática para: Inclinación de 45° ; Velocidad de 27 m/s.....	78
Tabla 18: Valores de la presión estática para: Inclinación de 45° ; Velocidad de 39 m/s.....	78
Tabla 19: q_e para las distintas combinaciones de inclinación y velocidad.....	79
Tabla 20: Resultados para el ELU para cada una de las velocidades e inclinaciones del seguidor.	84
Tabla 21: Cargas de peso propio, nieve y viento utilizadas.	87
Tabla 22: Reacciones provocadas por las cargas de peso propio, nieve y viento.	87
Tabla 23: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante hincadora de postes (Compresión).	93
Tabla 24: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante hincadora de postes (Tracción).....	94
Tabla 25: Resultados cimentación mediante hincadora de postes.	97
Tabla 26: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Compresión).....	104
Tabla 27: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Tracción).	106
Tabla 28: Resultados cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada.	109
Tabla 29: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada (Compresión) I.	121
Tabla 30: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada (Tracción) I.....	122
Tabla 31: Resultados cimentación mediante zapata y plancha enterrada.	125
Tabla 32: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada (Compresión) II.	127
Tabla 33: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada (Tracción) II.....	129
Tabla 34: Resultados cimentación mediante zapata y plancha enterrada II.	131

Ecuaciones

Ecuación 1: Carga de Peso Propio.	14
Ecuación 2: Carga de Nieve.....	14
Ecuación 3: Carga de Viento.....	15
Ecuación 4: Presión dinámica.....	15
Ecuación 5: Coeficiente de exposición.....	15
Ecuación 6: Coeficientes de presión exterior.....	15
Ecuación 7: Cálculo q_e equivalente.....	79
Ecuación 8: Cálculo de la acción permanente.....	81
Ecuación 9: Cálculo de la acción variable.....	81
Ecuación 10: Condición 2.1 del DB-SE-Cimientos.....	111
Ecuación 11: Condición 2.2 del DB-SE-Cimientos.....	112
Ecuación 12: Peso de la zapata.....	112
Ecuación 13: Esfuerzo axial desplazado al centro de la base de la zapata.....	113
Ecuación 14: Momento desplazado al centro de la base de la zapata.....	113
Ecuación 15: Momento de Vuelco.....	114
Ecuación 16: Valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras.....	114
Ecuación 17: Momento estabilizante.....	114
Ecuación 18: Valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras.....	114
Ecuación 19: Coeficiente de seguridad a vuelco.....	114
Ecuación 20: Fuerza de deslizamiento.....	114
Ecuación 21: Fuerza de rozamiento máxima.....	115
Ecuación 22: Coeficiente de seguridad a deslizamiento.....	115
Ecuación 23: Caso límite de tensiones para determinar el tipo de distribución:.....	115
Ecuación 24: Cálculo de la excentricidad de la carga.....	116
Ecuación 25: Cálculo de la profundidad de la línea neutra.....	117

1. Introducción

1.1. Alcance y Objetivos

Los seguidores solares son equipos fundamentales para conseguir un aumento de producción de energía solar en instalaciones fotovoltaicas. El objetivo principal del presente proyecto es el estudio de alternativas al uso de la hincadora de postes para los anclajes de los seguidores solares realizados por la empresa MEASWIND RENEWABLE SERVICES S.L. para soluciones de instalaciones de bombeo solar de pequeña potencia. Para ello es fundamental:

- Diseñarlo teniendo en cuenta el emplazamiento de la instalación y las condiciones climatológicas derivadas.
- Obtener un ahorro en cuanto a coste económico y tiempo de instalación de la alternativa diseñada respecto a las ya existentes e instaladas.
- Lograr que el anclaje diseñado cumpla con las limitaciones estructurales establecidas en las instrucciones correspondientes.
- Conseguir que la cimentación diseñada pueda competir técnicamente y económicamente con otras de uso más común.

1.2. Organización del Proyecto

El proyecto se va a estructurar de la siguiente manera: en primer lugar se va a realizar una revisión del estado del arte de los tipos de seguidores solares y de las cimentaciones más utilizadas para su anclaje en el terreno, además de una descripción de los tipos de seguidores evaluando las ventajas y desventajas desde el punto de vista energético y económico.

Posteriormente se van a diseñar posibles alternativas a las cimentaciones ya existentes realizando un modelo 3D y estudiando su comportamiento mediante elementos finitos.

Finalmente se va a comparar los resultados obtenidos de las diferentes cimentaciones tanto desde el punto de vista estructural como económico.

1.3. Descripción seguidor solar

Un seguidor solar es un dispositivo mecánico, que mediante una estructura soporta uno o varios paneles solares. Esta estructura, que puede moverse sobre uno o sobre dos ejes, es capaz de orientar los paneles solares para que sigan la trayectoria del sol durante el día, lo que optimiza el ángulo con el que los paneles reciben la radiación solar.

Cuando los paneles solares están expuestos a la luz solar, el ángulo de incidencia (ángulo con el que los rayos llegan a la superficie de la placa solar) determina la capacidad que el panel solar tiene para convertir la radiación en electricidad. Los seguidores solares orientan

los paneles fotovoltaicos de manera que su superficie forme 90° con los rayos solares, cuanto más perpendicular sea el ángulo más energía produce el panel fotovoltaico.

1.3.1. Comparación energética entre estructura fija y seguidor solar

Ambas estructuras tienen ventajas e inconvenientes, el seguidor solar tiene una mayor producción energética que una estructura fija, ya que la radiación solar incide de forma perpendicular sobre los paneles fotovoltaicos durante más horas al día. Por lo contrario, estas estructuras móviles requieren más terreno, ya que la separación entre estructuras ha de ser mayor para no arrojar sombras entre ellas y necesitan un mayor mantenimiento al disponer de mayores partes mecánicas.

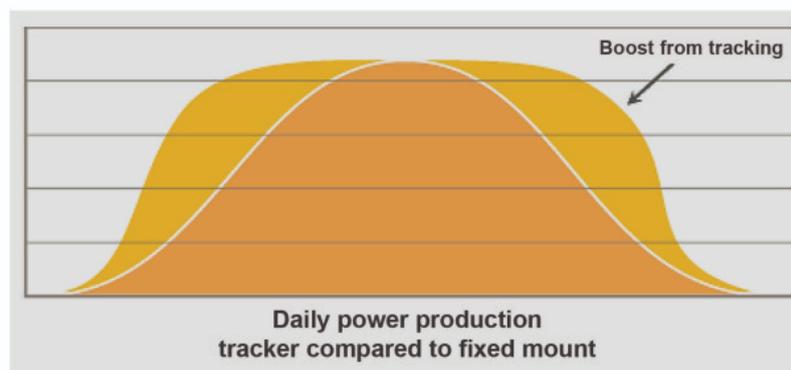


Figura 1: Comparación producción energética entre estructura fija y seguidor solar [1]

1.4. Tipos de seguidores

Dependiendo del número de ejes del seguidor, los seguidores solares se pueden diferenciar entre:

Seguidor solar de 1 eje: este tipo de seguidor solo posee un único grado de libertad. Este tipo de seguidores se suelen denominar Seguidores Norte-Sur ya que siguen al sol de Este a Oeste, esto se consigue gracias al movimiento del seguidor en su eje horizontal, esta configuración es la más común. También podemos hablar de seguidores solares en los que su eje de movimiento sea el polar o el azimutal.

Seguidor solar de 2 ejes: este tipo de seguidor posee un grado de libertad más que el anterior, de esta manera la superficie siempre estará perpendicular al sol. La ventaja de este tipo de seguidores es que disponen de una mayor eficiencia respecto a instalaciones fijas (>30%), pero por el contrario necesitan de un mayor mantenimiento debido a sus componentes mecánicos y de una mayor superficie para que no se produzcan sombras entre diferentes seguidores.

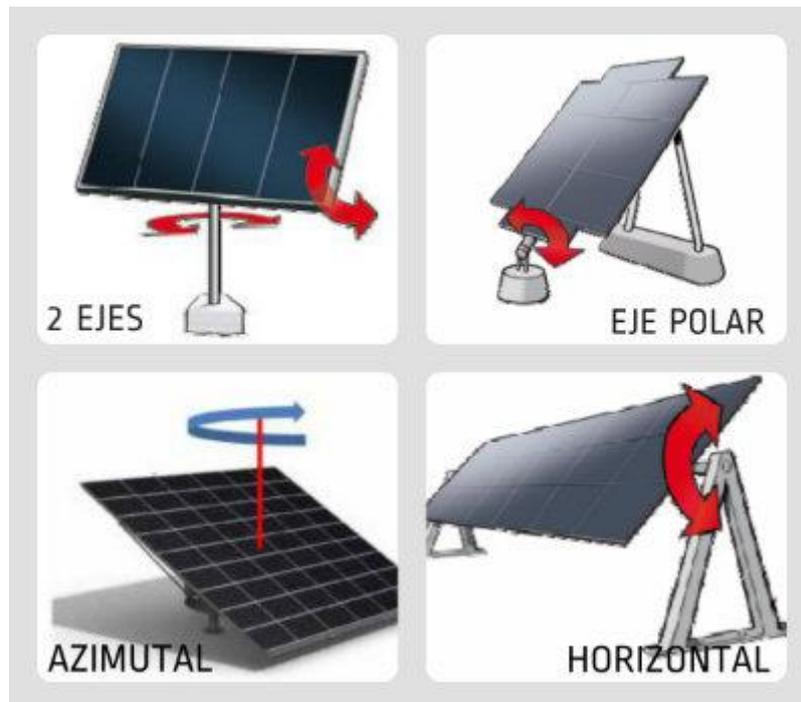


Figura 2: Tipos de seguidores solares según su eje de giro [2]

1.5. Descripción Seguidor solar 1 eje N-S

Como se ha descrito anteriormente, el seguidor solar de 1 eje N-S está alineado de tal manera que permite moverse al panel de Este a Oeste, permitiendo de esta manera seguir al sol desde su salida hasta su puesta.

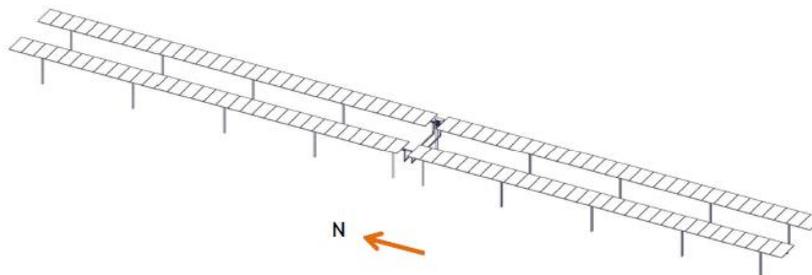


Figura 3: Orientación del seguidor. [3]

La configuración y diseño de la estructura utilizada por el fabricante *STi-Norland* es el descrito a continuación [3]. En él se pueden ver diferencias los diferentes componentes que forman el seguidor: sistema de accionamiento, soportes del seguidor y del accionamiento, barras de torsión y brazos de accionamiento.

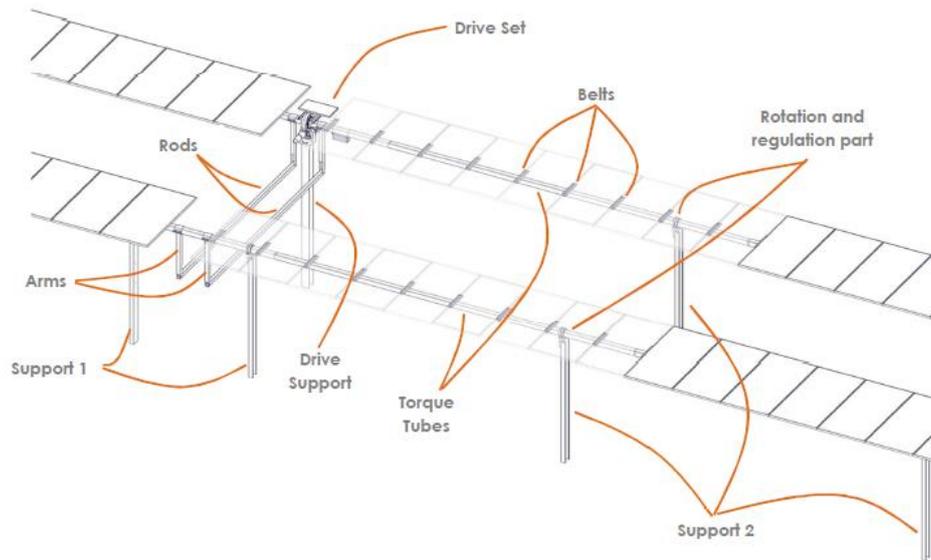


Figura 4: Componentes del seguidor [3]

Existen diferentes tipos de anclajes para los seguidores [4]:

- Hinca: para terrenos cohesivos de consistencia media-firme y terrenos granulares de consistencia media a densa.
- Micropilote de Hormigón: para terrenos con características geomecánicas pobres, elevada corrosión o con presencia de roca.
- Tornillo de Cementación: para suelos con alto contenido vegetal y también para terrenos mixtos con roca en profundidad y estratos granulares en superficie.
- Zapata de Hormigón: para zonas de vertederos.

El presente Trabajo de Fin de Máster parte de la necesidad de encontrar y/o optimizar las alternativas al uso de la hincadora de postes para los anclajes de los seguidores solares. Debido a la poca disponibilidad de esta máquina en España, el coste de alquiler y de transporte hace que esta opción no sea viable económicamente para instalaciones de pequeña potencia. Además de los costes derivados de la hincadora, hay que añadir los costes de traslado y uso de la máquina de pre-drilling. El pre-drilling se realiza antes del hincado de perfiles y tiene como objetivo confirmar que no existen conducciones subterráneas o elementos enterrados.

2. Hipótesis de cargas consideradas en el diseño actual.

Para el presente proyecto se va a diseñar y estudiar la cimentación necesaria para un seguidor solar monofila con 60 módulos fotovoltaicos con eje horizontal N-S modelo *STi-H250* del fabricante español “*STi Norland*”.



Figura 5: Seguidor Solar modelo *Sti-H250*. [5]

Para el cálculo de las reacciones que ha de soportar la cimentación se ha analizado un único tramo de poste a poste de 6900 mm para, de esta manera, minimizar los cálculos. Para obtener más información acerca de los planos del seguidor, acudir al ANEXO I.

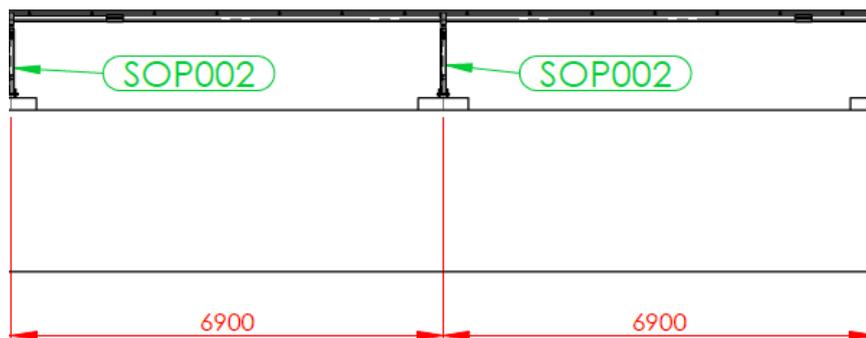


Figura 6: Distancia entre postes del seguidor *STi-H250*.

2.1. Modelo Analítico.

2.1.1. Consideraciones de Cargas

En un primer lugar se van a estudiar las cargas soportadas por la estructura, éstas vienen dadas principalmente por la acción del peso propio, de la nieve y del viento. La ubicación elegida para el cálculo de las cargas es la localidad de Lumpiaque (Zaragoza).

Para el cálculo de dichas cargas se va a tener en cuenta tanto la ubicación de nuestro seguidor solar cómo las recomendaciones del fabricante “STI Norland”. El cálculo detallado de las cargas se encuentra en el ANEXO IV del presente proyecto, lo expuesto en los siguientes apartados es una síntesis de lo expuesto en dicho Anexo.

Peso Propio

Las acciones producidas por el propio peso de los diferentes elementos que componen el seguidor se pueden diferenciar en dos grandes grupos de elementos o materiales, estos elementos son el acero estructural y los módulos fotovoltaicos.

Los módulos tienen un peso propio de 23 kg por unidad, por lo que la fuerza por unidad de superficie de los módulos que la estructura debe de soportar es:

$$q_{MF} = \frac{23 \cdot 9,81}{(0,992 \cdot 2)} = 113,72 \frac{N}{m^2} = 0,11372 \frac{kN}{m^2}$$

Ecuación 1: Carga de Peso Propio.

Los diferentes componentes estructurales de nuestro seguidor son de acero Q345B.

Nieve

El valor de la carga de nieve en proyección horizontal por unidad de superficie es:

$$q_n = c_t \cdot c_e \cdot \mu \cdot s_k$$

Ecuación 2: Carga de Nieve.

Siendo:

c_t	Coeficiente Térmico
c_e	Coeficiente de Exposición
μ	Coeficiente de Forma
s_k	Carga de Nieve

El Coeficiente Térmico debe de tenerse en cuenta para cubiertas con alta transmitancia térmica, en nuestro caso $c_t = 1$. Tomamos $c_e = 1,2$, ya que consideramos la peor de las situaciones en cuanto a topografía.

El coeficiente de forma (μ) de nuestro seguidor depende de la inclinación del mismo. Como vamos a estudiar diferentes inclinaciones por las razones explicadas en el ANEXO IV, para las inclinaciones de 0° , 30° y 45° :

$$\frac{\mu - 1}{0 - 1} = \frac{X^\circ - 30^\circ}{60^\circ - 30^\circ}$$

	0°	30°	45°
μ	1	1	0,5

Para una altura de unos 300 m.s.n.m. en la Zona Climática 2 (Zaragoza) el valor es de 0,55 kN/m². Recopilados todos los valores, la carga de nieve en proyección horizontal para nuestro seguidor es:

$$q_n = C_t \cdot C_e \cdot \mu \cdot s_k$$

$$q_n(0^\circ) = q_n(30^\circ) = 1 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 0.55 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$q_n(45^\circ) = 1 \cdot 1.2 \cdot 0.5 \cdot 0.55 = 0,33 \text{ kN/m}^2$$

Viento

Por último la acción del viento se expresa de la siguiente manera:

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

Ecuación 3: Carga de Viento.

Siendo:

q_b	Presión dinámica del viento
c_e	Coefficiente de Exposición
c_p	Coefficiente Eólico o de Presión

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse de la expresión [6]:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

Ecuación 4: Presión dinámica.

Donde δ es la densidad del aire (en general puede adoptarse el valor de 1,25 kg/m³) y v_b el valor básico de velocidad del viento. El valor básico del aire se obtiene del mapa de la figura 27 del ANEXO IV entrando por el emplazamiento de nuestra instalación. STI Norland especifica que para velocidades por debajo de 10 m/s el seguidor puede trabajar dentro de su rango de +/- 55°, pero para velocidades superiores el seguidor solar se pone en posición de bandera (Horizontal, 0°) llegando a resistir velocidades de hasta 140 km/h.

De esta manera, los valores básicos de las presiones dinámicas del viento para las tres velocidades son:

$$q_b(10 \text{ m/s}) = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 10^2 = 0,062 \text{ kN/m}^2$$

$$q_b(27 \text{ m/s}) = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 0,456 \text{ kN/m}^2$$

$$q_b(39 \text{ m/s}) = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 39^2 = 0,945 \text{ kN/m}^2$$

El coeficiente de exposición para alturas sobre terreno (z) no mayores de 200 m, puede determinarse de la siguiente manera, siendo k , L , Z parámetros característicos de cada tipo de entorno.

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

Ecuación 5: Coeficiente de exposición.

$$F = k \cdot \ln(\max(z, Z)/L)$$

Ecuación 6: Coeficientes de presión exterior.

Sabiendo la altura y que el entorno donde estará alojada nuestra instalación el valor del coeficiente de exposición será de:

$$F(0^\circ) = 0,19 \cdot \ln(2/0,05) = 0,701$$

$$c_e(0^\circ) = 0,701 \cdot (0,701 + 7 \cdot 0,19) = 1,423$$

$$F(30^\circ) = 0,19 \cdot \ln(2/0,05) = 0,701$$

$$c_e(30^\circ) = 0,701 \cdot (0,701 + 7 \cdot 0,19) = 1,423$$

$$F(45^\circ) = 0,19 \cdot \ln(2,187/0,05) = 0,718$$

$$c_e(45^\circ) = 0,718 \cdot (0,718 + 7 \cdot 0,19) = 1,47$$

El coeficiente eólico o de presión (c_p), dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Para las inclinaciones de 0° , 30° , 45° y para las velocidades de 10 m/s, 27 m/s y 39 m/s los valores de la presión estática se encuentran en el ANEXO IV.

Finalmente y con todos los datos recogidos, las q_e equivalente o promedio para las distintas combinaciones de inclinación y velocidad son:

Inclinación [°]	Velocidad [m/s]	Efecto de Presión [kN/m ²]	Efecto de Succión [kN/m ²]
0	10	0,057	-0,069
	27	0,415	-0,509
	39	0,861	-1,056
30	10	0,199	-0,277
	27	1,452	-2,023
	39	3,013	-4,197
45	10	0,205	-0,286
	27	1,5	-2,089
	39	3,112	-4,335

Tabla 1: q_e equivalente o promedio para las distintas combinaciones de inclinación y velocidad.

2.1.2. Combinaciones de Acciones.

La acción permanente y las acciones variables son las descritas a continuación:

- CC1: Peso Propio *Permanente*
- CC2: Nieve *Variable*
- CC3: Viento (Succión) *Variable*
- CC4: Viento (Presión) *Variable*

Una vez definidos y calculados en el apartado anterior, las diferentes combinaciones de cargas posibles teniendo en cuenta los coeficientes de seguridad y de simultaneidad son las descritas a continuación:

- CO1: $1,35 \cdot CC1$
 - CO2: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC2$
 - CO3: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC2 + 0,9 \cdot CC3$
 - CO4: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC2 + 0,9 \cdot CC4$
 - CO5: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC3$
 - CO6: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC4$
 - CO7: $1,35 \cdot CC1 + 0,75 \cdot CC2 + 1,5 \cdot CC3$
 - CO8: $1,35 \cdot CC1 + 0,75 \cdot CC2 + 1,5 \cdot CC4$
 - CO9: CC1
 - CO10: CC1 + CC2
 - CO11: CC1 + CC2 + 0,6·CC3
 - CO12: CC1 + CC2 + 0,6·CC4
 - CO13: CC1 + CC3
 - CO14: CC1 + CC4
 - CO15: CC1 + 0,5·CC2 + CC3
 - CO16: CC1 + 0,5·CC2 + CC4
 - CO17: CC1 + 0,2·CC2
 - CO18: CC1 + 0,5·CC3
 - CO19: CC1 + 0,5·CC4
-
- CR1: ELU - Permanente / transitoria
 - CR2: ELS - Característica
 - CR3: ELS - Frecuente
 - CR4: ELS - Cuasi permanente

A continuación se muestran los resultados, en valor absoluto, para el Estado Límite Último (ELU) para cada una de las velocidades de viento e inclinaciones del seguidor:

[kN]		Velocidad			Combinación de Carga
Inclinación	Esfuerzo	10 m/s	27 m/s	39 m/s	
0°	F _x	0,03	0,21	0,42	CO7
	M _z	0,04	0,29	0,56	CO7
	F _y - Comp.	22,82	27,28	32,07	CO4
	F _y - Tracc.	2,12	6,99	16,77	CO5
30°	F _x	3	20,94	43,37	CO7
	M _z	4,47	28,49	57,48	CO7
	F _y - Comp.	14,24	34,16	72,99	CO4
	F _y - Tracc.	3,08	33,09	61,01	CO5
45°	F _x	4,24	30,59	63,46	CO7
	M _z	6,27	44,39	70,21	CO7
	F _y - Comp.	7,99	30,59	45,56	CO4
	F _y - Tracc.	2,13	21,96	63,46	CO5

Tabla 2: Resultados para el Estado Límite Último para cada una de las velocidades e inclinaciones del seguidor.

3. Diseño y análisis de cimentaciones.

A continuación se exponen los diseños de las cimentaciones analizadas. Las cargas y reacciones son las estudiadas para las condiciones de 45° de inclinación y 10 m/s de velocidad del viento. Al igual que el apartado anterior, lo expuesto en este apartado es una síntesis de lo expuesto en dicho ANEXO V.

El procedimiento llevado a cabo ha sido el siguiente: en primer lugar, se ha diseñado el modelo y sus componentes en Autodesk Inventor; posteriormente se ha importado dicho archivo CAD 3D (.stp) en ANSYS, software encargado de analizar el modelo mediante elementos finitos. Los materiales utilizados en el modelo 3D son el acero estructural Q345B, cemento reforzado y tierra.

Para cada una de las cimentaciones se van a examinar los siguientes resultados:

- . Deformación Total [m]
- . Tensión Principal Máxima [MPa]
- . Tensión de Von Mises [MPa]
- . Coeficiente de Seguridad: Tensión de Von Mises
Esfuerzo a Cortante
Esfuerzo a Tracción

Las cargas utilizadas para el estudio de viabilidad de esta cimentación son las calculadas en el apartado 2.1.2 del proyecto:

Carga [kN/m ²]	
Peso Propio	0,1137
Nieve	0,33
Viento (Presión)	0,2058
Viento (Succión)	0,2867

Tabla 3: Cargas de peso propio, nieve y viento utilizadas.

Como ya se han calculado anteriormente, las reacciones provocadas por las acciones de peso propio, nieve y viento para una inclinación de 45° y una velocidad de 10m/s son:

Reacción [kN - kN·m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Comp.	7,99
F_y - Tracc.	2,13

Tabla 4: Reacciones provocadas por las cargas de peso propio, nieve y viento.

Los valores de los coeficientes parciales de seguridad de los materiales para el estudio de los Estados Límite Últimos (ELU) son los que se indican en la tabla 15.3 del Capítulo IV de la Instrucción de Acero Estructural (EAE).

Situación de proyecto	Hormigón γ_c	Acero pasivo y activo γ_s
Persistente o transitoria	1,5	1,15
Accidental	1,3	1,0

Tabla 5: Tabla 15.3 del Capítulo IV del EAE.

3.1. Diagramas de esfuerzos.

Una vez conocidas las reacciones provocadas por las cargas ya descritas, se procede a dibujar los diagramas de esfuerzos del poste del seguidor solar.

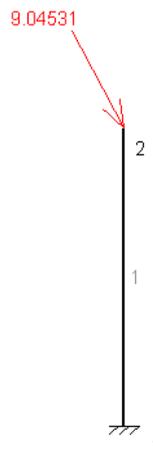


Figura 7: Poste sometido a la resultante de las fuerzas X e Y (Comp.).

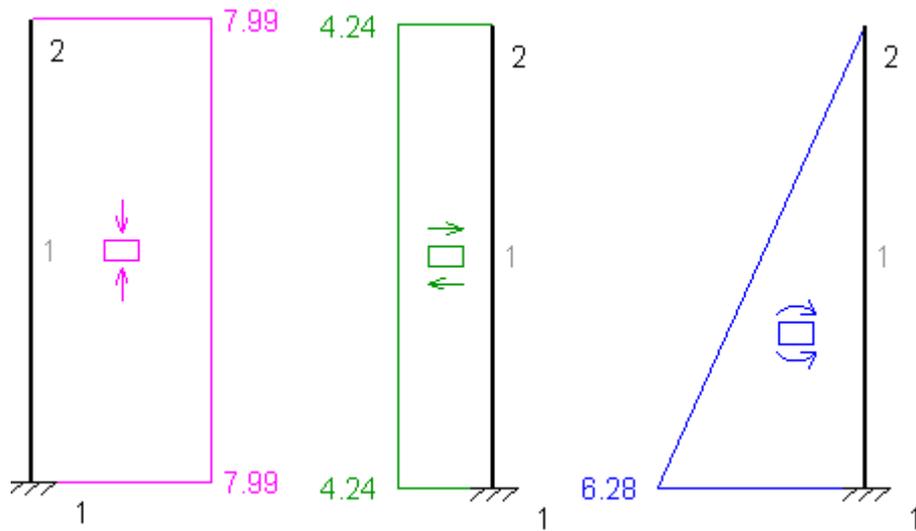


Figura 8: Diagramas de esfuerzos del poste sometido a la resultante de las fuerzas X e Y (Comp.).



Figura 9: Poste sometido a la resultante de las fuerzas X e Y (Tracc.).

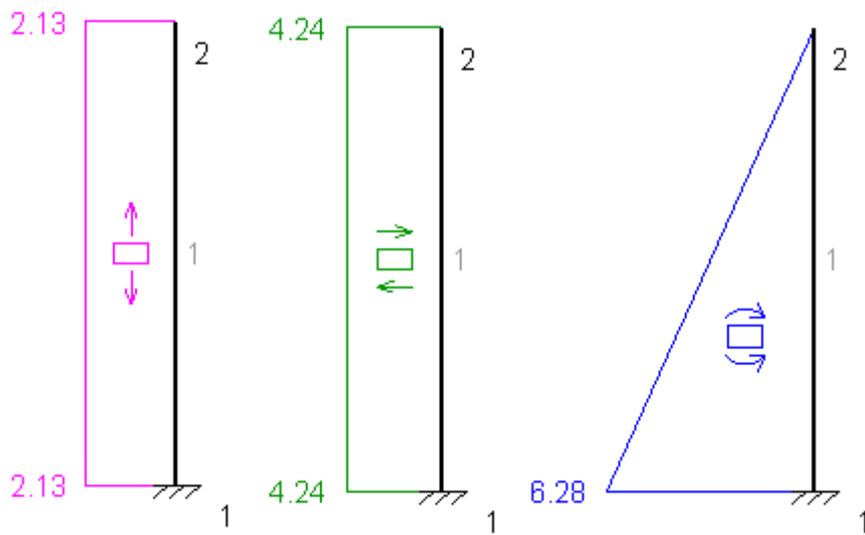


Figura 10: Diagramas de esfuerzos del poste sometido a la resultante de las fuerzas X e Y (Tracc.).

Estos diagramas de esfuerzos se han dibujado asimilando el poste como una barra empotrada en uno de sus extremos y sometido a dos fuerzas (vertical y horizontal).

3.2. Cimentación mediante hincadora de postes.

3.2.1. Descripción.

Es el diseño más simple en cuanto a diseño y componentes que se va a exponer en el presente trabajo. Se introduce el perfil metálico directamente sobre el terreno mediante una máquina especial que golpea repetidas veces la cabeza del mismo introduciéndolo progresivamente en el terreno. Se introduce el perfil hasta una profundidad de 2 metros.

3.2.2. Diseño y componentes.

Para este tipo de cimentación solo es necesario el perfil metálico y el terreno donde se va a instalar. Se trata de un perfil en C con las dimensiones descritas en la Figura 16, este poste se encuentra enterrado 2 metros en el terreno y tiene una longitud total de 3,48 metros.

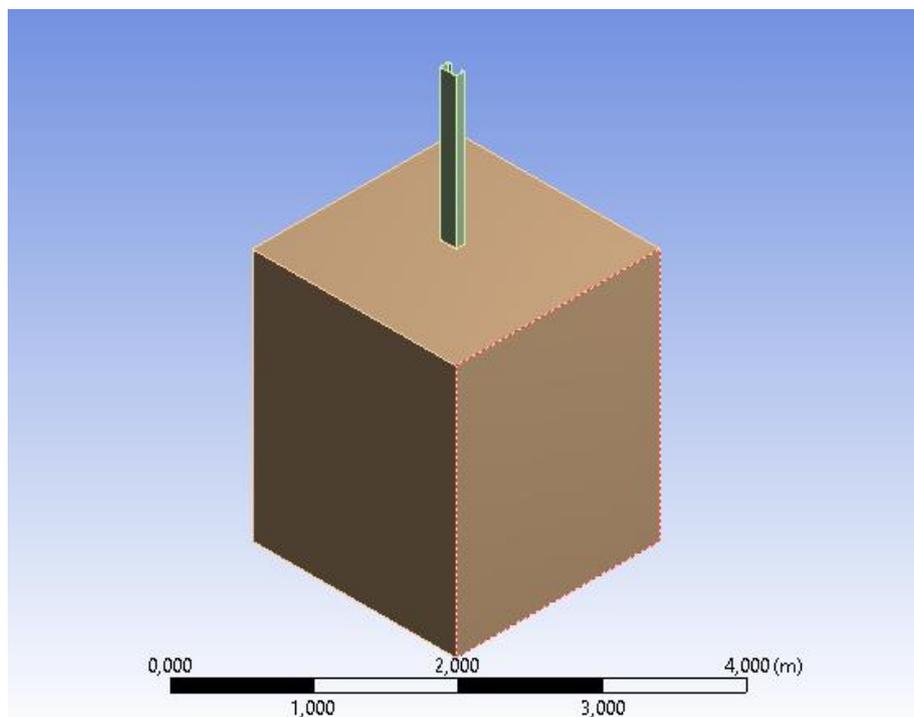


Figura 11: Cimentación mediante hincadora de postes.

3.2.3. Modelo de elementos finitos.

Una vez diseñado y modelado, se importa el archivo CAD 3D en ANSYS y se le asignan los diferentes materiales, las conexiones entre componentes y se somete el modelo a las reacciones calculadas. El perfil es de acero Q345B, el terreno donde se hinca es tierra y el coeficiente de fricción entre ambos materiales es 0,4.

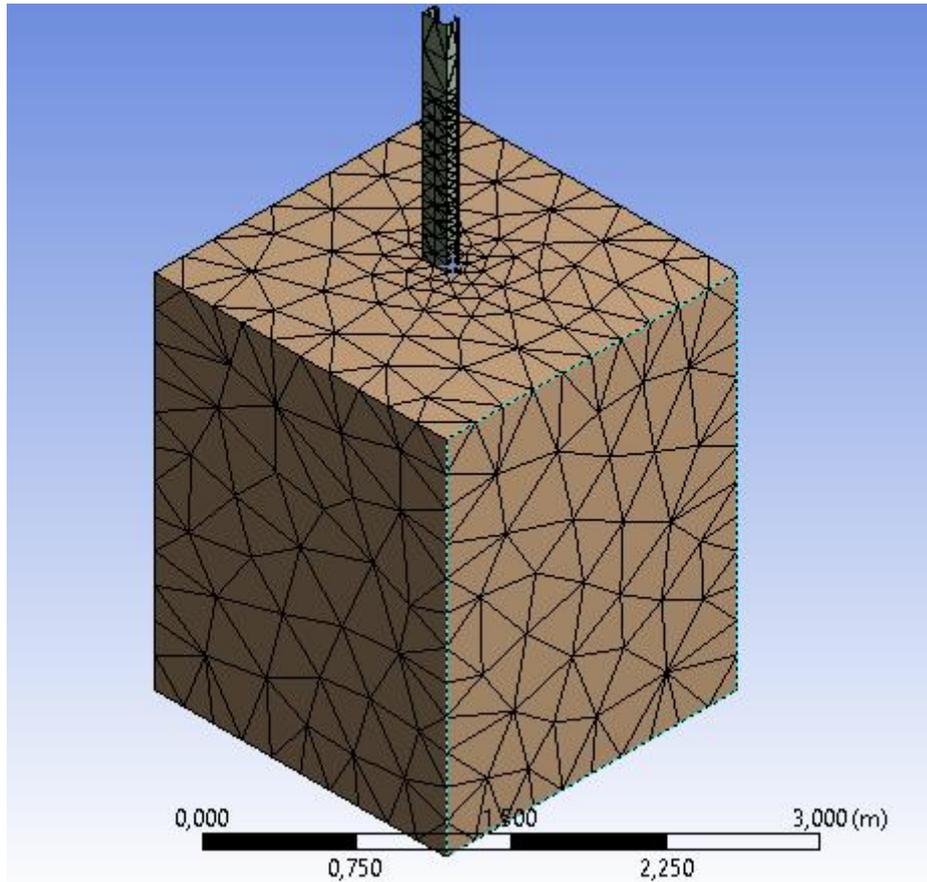


Figura 12: Diseño cimentación mediante hincadora de postes.

3.2.4. Resultados y discusiones.

Los resultados obtenidos para las reacciones anteriormente especificadas son:

	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Comp.} = 7,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Tracc.} = 2,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Deformación Total	0,0188 m	0,0189 m
Tensión Máxima Principal	137,21 MPa	145,85 MPa
Tensión de Von Mises	152,8 MPa	148,5 MPa
CS: Tensión de Von Mises	1,84	1,75
CS: Esfuerzo Cortante	1,70	1,63
CS: Esfuerzo Tracción	2,51	2,36

Tabla 6: Resultados cimentación mediante hincadora de postes.

Una vez analizada la cimentación y con los resultados delante, observamos que los coeficientes de seguridad obtenidos son mayores que los establecidos en la Instrucción del Acero Estructural (Tabla [5]). Con ello, corroboramos que la cimentación estudiada es apta

para su uso en este tipo de cimentaciones, no obstante, se trata de una solución poco viable. Como se ha comentado anteriormente en capítulos anteriores, el proyecto parte de la necesidad de encontrar y/o optimizar las alternativas al uso de este tipo de cimentaciones para los anclajes de los seguidores solares ya que debido a la poca disponibilidad de esta máquina en España, el coste de alquiler y de transporte hace que esta opción no sea viable económicamente para instalaciones de pequeña potencia.

En el ANEXO V se puede observar que el precio de alquiler y transporte de tanto la hincadora de postes como de la máquina de pre-drilling es mucho mayor que el precio por unidad de hincado del poste y de análisis del terreno. Si además de estos precios se añade la necesidad de planificar con la empresa contratista fecha y disponibilidad, podemos confirmar que se trata de una opción menos factible que las estudiadas a continuación.

3.3. Cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada.

3.3.1. Descripción.

Este diseño surge de la necesidad de evitar el uso de la hincadora de postes como método de anclaje de los seguidores solares al terreno. Se trata, básicamente, de dos perfiles cuadrados en paralelo unidos entre sí y ensamblados al poste del seguidor que posteriormente se recubrirá con cemento. La misión principal del uso de estos dos perfiles en paralelo es evitar los efectos posibles no deseables de los momentos originados por las cargas a soportar, ya que es el principal problema que las cimentaciones de los seguidores han de soportar.

3.3.2. Diseño y componentes.

Podemos decir que los componentes de este tipo de cimentación son principalmente cuatro: el anclaje del seguidor, las varillas roscadas, el “nivelador” y el perfil metálico de la viga que va a soportar el seguidor.

El anclaje del seguidor está formado por dos perfiles cuadrados paralelos y unidos entre sí por un tercero perpendicular a ellos. A través de los dos primeros se hacen pasar las cuatro varillas roscadas que posteriormente se encargaran de nivelar la cimentación mediante tuercas en ambos extremos. Las varillas metálicas son de 20 mm de diámetro y de 1 metro de largo.

Posteriormente se procede a introducir el perfil del poste del seguidor, soldado a una plancha metálica de 280 mm x 210 mm x 10 mm, por las varillas. A continuación se llena el agujero excavado con cemento y se crea una zapata en la base del poste de 1,1 m x 0,6 m x 0,8 m.

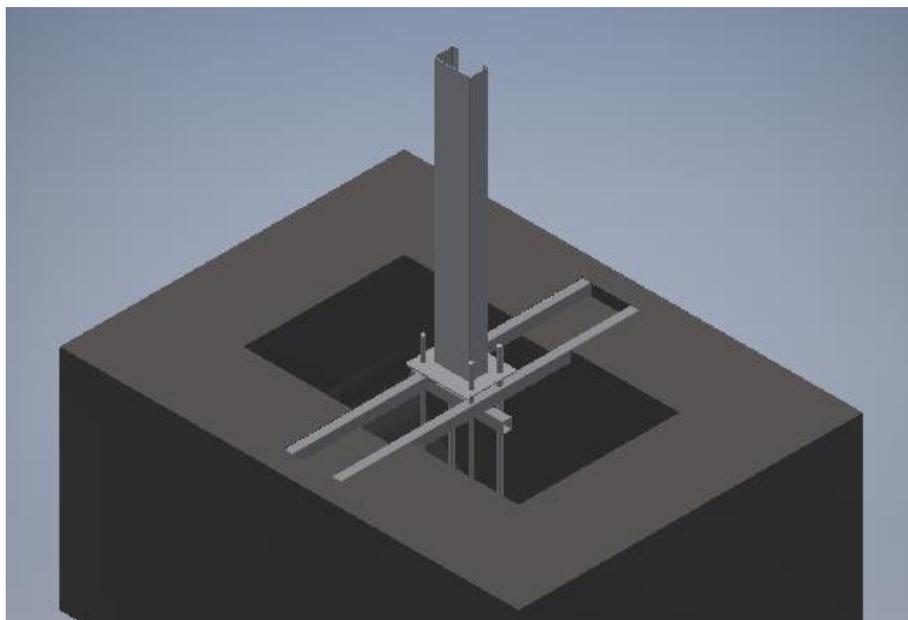


Figura 13: Colocación del poste con los perfiles del anclaje del seguidor en el agujero del terreno.

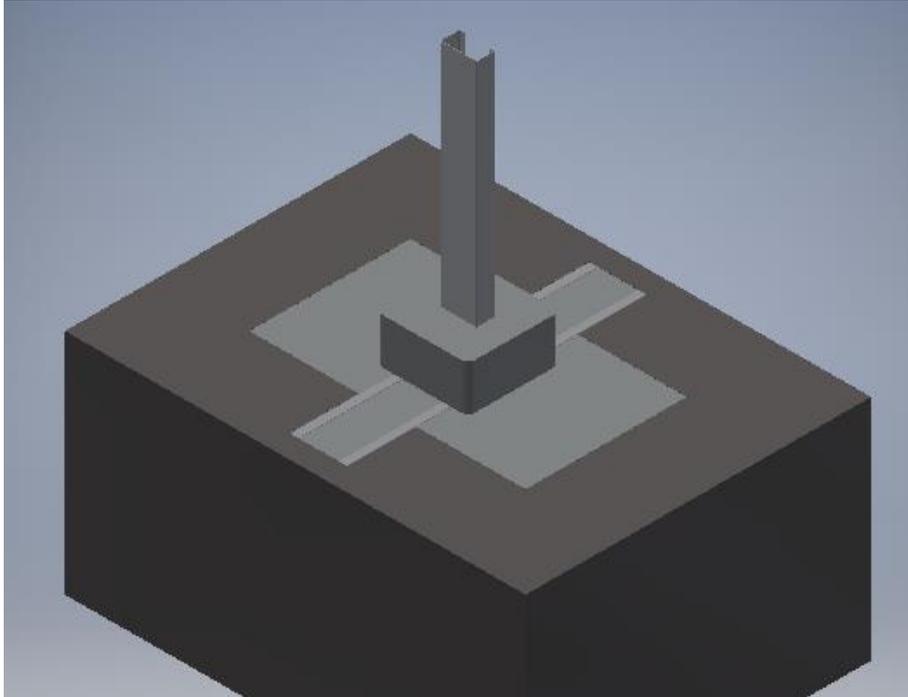


Figura 14: Cimentación correctamente instalada.

3.3.3. Modelo de elementos finitos.

Una vez diseñado y modelado, se importa el archivo CAD 3D en ANSYS y se le asignan los diferentes materiales, las conexiones entre componentes y se somete el modelo a las reacciones calculadas. El perfil es de acero Q345B, el terreno es tierra y el hueco en ella se rellena de cemento reforzado. Se toma un coeficiente de fricción de 0,4 entre el hormigón y la tierra, y para el contacto entre el hormigón y el acero se establece una unión de tal manera que no exista deslizamiento o separación entre caras o bordes.

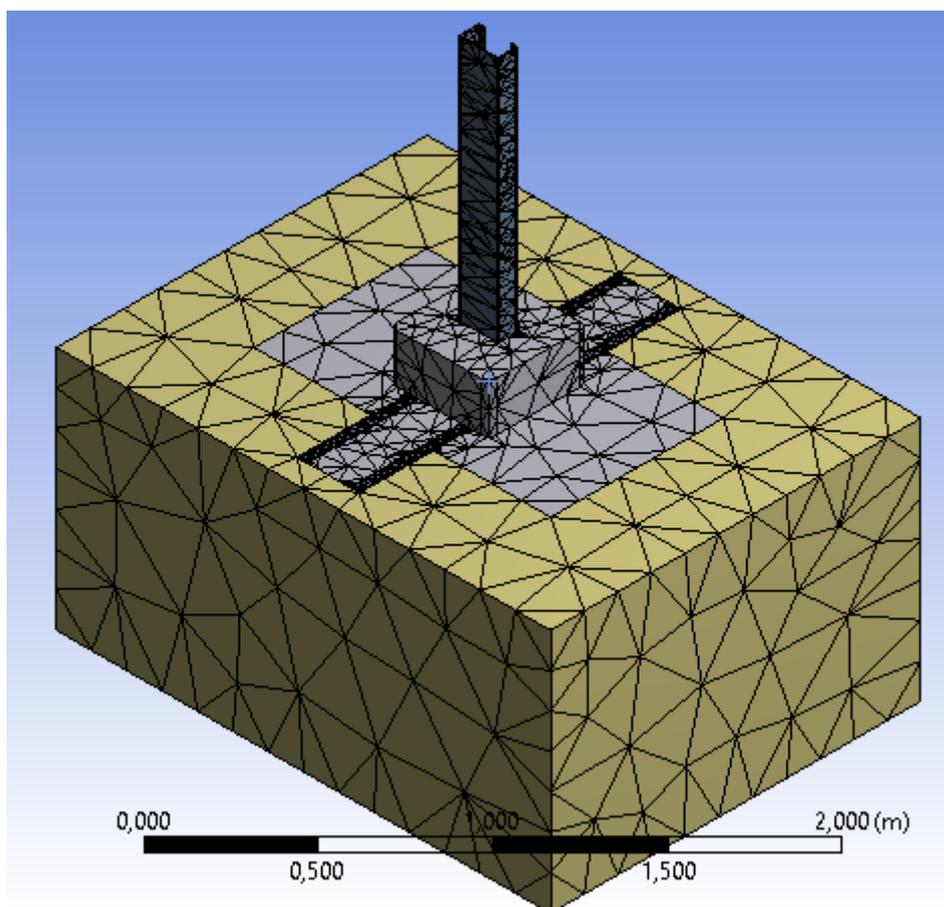


Figura 15: Diseño cimentación mediante zapata y unión roscada.

3.3.4. Resultados y discusiones.

Los resultados obtenidos para las reacciones anteriormente especificadas son:

	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Comp.} = 7,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Tracc.} = 2,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Deformación Total	0,0087 m	0,0089 m
Tensión Máxima Principal	149,91 MPa	156,55 MPa
Tensión de Von Mises	168,46 MPa	168,92 MPa
CS: Tensión de Von Mises	1,48	1,47
CS: Esfuerzo Cortante	1,28	1,28
CS: Esfuerzo Tracción	2,30	2,20

Tabla 7: Resultados cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada.

Como se puede apreciar, los coeficientes de seguridad obtenidos tanto a cortante, a tracción como Von Mises superan lo establecido en la instrucción. Las tensiones que ha de soportar

el acero son mayores si las comparamos con las obtenidas en el apartado 3.1.6., sin embargo, la deformación obtenida en el extremo del poste es menor.

La ventaja de este modelo es el no depender de la disponibilidad y transporte de tanto la hincadora de postes como de la máquina de pre-drilling, además del precio que conlleva. El inconveniente de este tipo de cimentación es que, al contrario que la cimentación mediante hincadora, el proceso de instalación es más laborioso y requiere un mayor tiempo para su instalación.

3.4. Cimentación mediante zapata y plancha enterrada.

3.4.1. Descripción.

Aunque la anterior cimentación se ha llegado a implementar en instalaciones de MEASWIND, se trata de una opción que necesita mucho tiempo para su montaje. Debido a esto, se propone un nuevo tipo de cimentación que cumpla las mismas necesidades y que además requiera una menor cantidad de tiempo para su montaje.

Se propone un diseño más simple en el que se suelda una plancha en el poste metálico y se entierra para después cubrirse con cemento reforzado. Para nivelar el poste, se utilizan tuercas y varillas roscadas introduciéndolas en la plancha.

3.4.2. Diseño y componentes.

Las dimensiones de la plancha son 270 mm x 210 mm x 10 mm con esquinas redondeadas de 10 mm de radio. En las esquinas se encuentran 4 agujeros de 20 mm de diámetro por los que posteriormente se introducirán los anclajes para fijar el poste al hormigón. Sobre la profundidad a la que se va a enterrar el poste, en un principio va a ser de 60 cm y posteriormente se estudiará si se puede reducir esta profundidad.

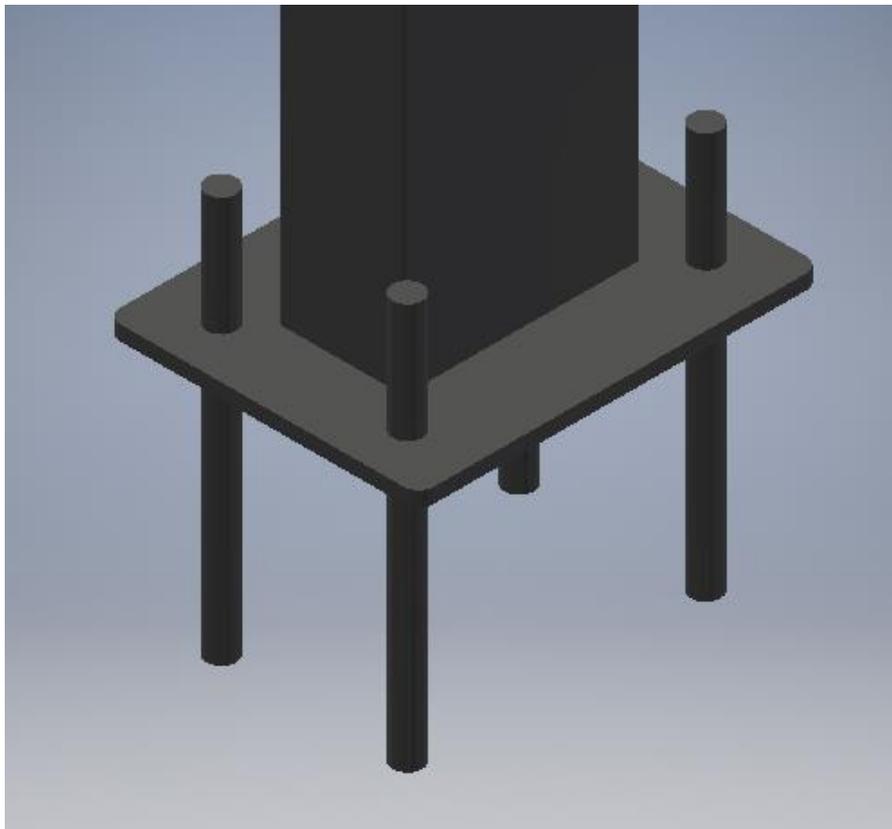


Figura 16: Diseño de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada.

3.4.3. Modelo de elementos finitos.

Al igual que en las anteriores cimentaciones, se importa el archivo en ANSYS y se le asignan los diferentes materiales, las conexiones entre componentes y se somete el modelo a las reacciones calculadas. El perfil es de acero Q345B, el terreno es tierra y el hueco en ella se rellena de cemento reforzado. Se toma un coeficiente de fricción de 0,4 entre el hormigón y la tierra, y para el contacto entre el hormigón y el acero se establece una unión de tal manera que no exista deslizamiento o separación entre caras o bordes. El cálculo del tamaño de la zapata se encuentra en el ANEXO V, dicho tamaño es de 1,2 m x 1 m x 0,7 m.

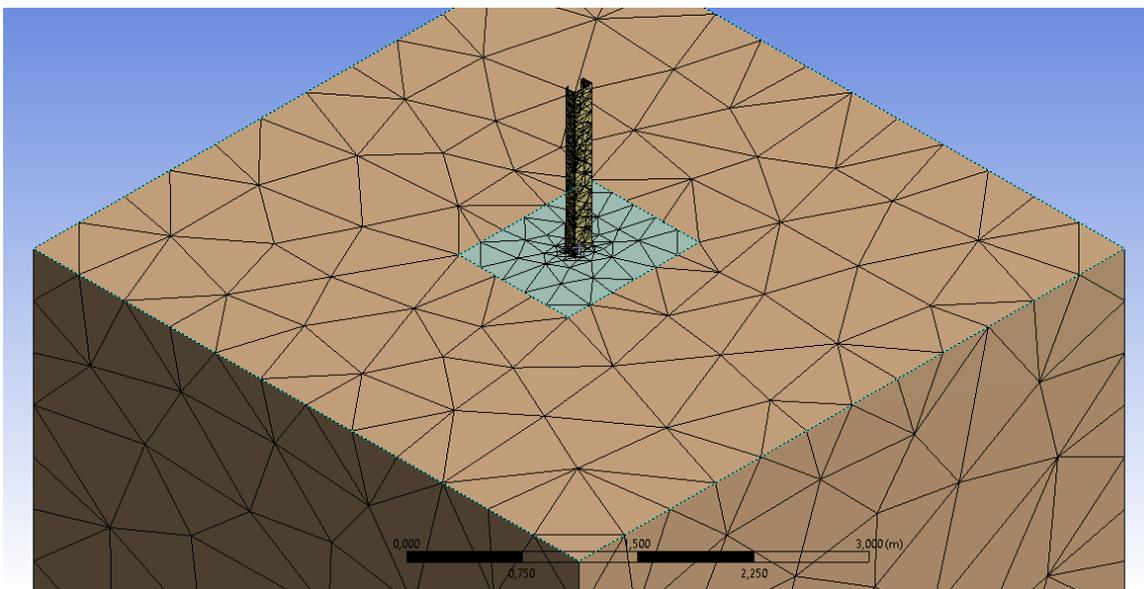


Figura 17: Diseño cimentación mediante plancha enterrada.

3.4.4. Resultados y discusiones.

Los resultados obtenidos para las reacciones anteriormente especificadas son:

	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Comp.} = 7,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Tracc.} = 2,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Deformación Total	0,0149 m	0,0228 m
Tensión Máxima Principal	163,86 MPa	170,67 MPa
Tensión de Von Mises	184,21 MPa	178,86 MPa
CS: Tensión de Von Mises	1,87	1,92
CS: Esfuerzo Cortante	1,72	1,77
CS: Esfuerzo Tracción	2,10	2,02

Tabla 8: Resultados cimentación mediante zapata y plancha enterrada.

Fijándonos nuevamente en los coeficientes de seguridad obtenidos, contemplamos que el diseño propuesto cumple con los requisitos solicitados. Comparando los resultados con los obtenidos a una profundidad de 70 centímetros, vemos que tanto las deformaciones como los esfuerzos son ligeramente mayores, situación que era de esperar. Este aumento en los esfuerzos está directamente relacionado con la ligera disminución de los coeficientes de seguridad, esto se ve en los casos de compresión.

	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_x = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Comp.} = 7,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$						$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_x = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Tracc.} = 2,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$						Presupuesto (ANEXO V)
	Deformación Total [m]	Tensión Principal Máxima [MPa]	Tensión de Von Mises [MPa]	CS: Tensión de Von Mises	CS: Esfuerzo Cortante	CS: Esfuerzo Tracción	Deformación Total [m]	Tensión Principal Máxima [MPa]	Tensión de Von Mises [MPa]	CS: Tensión de Von Mises	CS: Esfuerzo Cortante	CS: Esfuerzo Tracción	
Cimentación mediante Hincadora de Postes	0,0188	137,21	152,8	1,84	1,7	2,51	0,0189	145,85	148,5	1,75	1,63	2,36	21.479,08 €
Cimentación mediante zapata y unión roscada	0,0087	149,91	168,46	1,48	1,28	2,3	0,0089	156,55	168,92	1,47	1,28	2,2	20.087,18 €
Cimentación mediante plancha enterrada	0,0149	163,86	184,21	1,87	1,72	2,1	0,0228	170,67	178,86	1,92	1,77	2,02	19.888,58 €

Tabla 9: Tabla comparativa de las tres cimentaciones.

4. Conclusiones y futuro trabajo.

Se ha diseñado la cimentación de una instalación formada por un seguidor solar monofila con eje horizontal N-S modelo *STi-H250* y por 60 módulos fotovoltaicos. El objetivo último, es disponer de una instalación que permitiera prescindir del uso de la máquina hincadora de postes para anclar dicho seguidor al terreno, ya que como se ha mencionado a lo largo de la memoria, la poca disponibilidad de esta máquina en España, el coste de alquilarla y transportarla hace que no sea viable económicamente su uso para instalaciones de pequeña potencia.

A lo largo de este trabajo se han expuesto tres diseños de cimentaciones para el seguidor solar elegido.

- La primera de ellas se trata de la opción más utilizada para el anclaje de los seguidores al terreno. A la vista de los resultados obtenidos en el capítulo 3.2.4. vemos que la cimentación cumple con las expectativas depositadas en ella, pero vemos que económicamente solo puede ser viable si se utiliza para las cimentaciones de grandes parques solares, ya que la relación tiempo de montaje – coste es mucho menor. Dicho esto, nace la necesidad de encontrar alternativas para instalaciones más pequeñas en cuanto a potencia y superficie.
- La primera alternativa al uso de la opción anterior fue la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada, opción que también cumple con las especificaciones de diseño y con las cargas calculadas. Una vez que se prescinde del uso de la hincadora, el nuevo inconveniente para la implementación de esta opción es la complejidad de nivelar el poste. Aunque sea una alternativa útil, surge la necesidad de encontrar otra más simple, con menor probabilidad de fallo y mayor rapidez en cuanto a instalación se refiere.
- Como segunda y última alternativa se ha diseñado una cimentación mediante zapata y plancha enterrada. Se trata de una opción ligeramente más económica y con una mayor facilidad de instalación. Es principalmente por estas dos opciones por lo que finalmente se ha decidido por usar esta opción para futuras instalaciones que se decidan llevar a cabo. Al igual que su predecesora y la primera alternativa, la cimentación cumple con todos los requisitos para su implementación.

En este último apartado del Trabajo de Fin de Máster se reflejan los estudios y cálculos que al autor le hubiese gustado incluir en el proyecto, pero que por causas de falta de recursos, tanto materiales como temporales, se ha decidido no realizar y que le gustaría retomar en un futuro.

- Cálculo optimizado y más detallado del tamaño de la zapata para la cimentación mediante zapata y plancha enterrada. Se entiende por cálculo detallado el incluir distintos dispositivos, perfilería, tornillería, etc... que no se ha tenido en cuenta o por falta de información por parte del fabricante o por despreciar su influencia. Si se

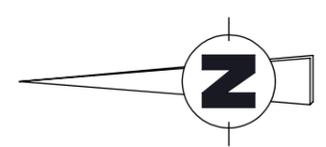
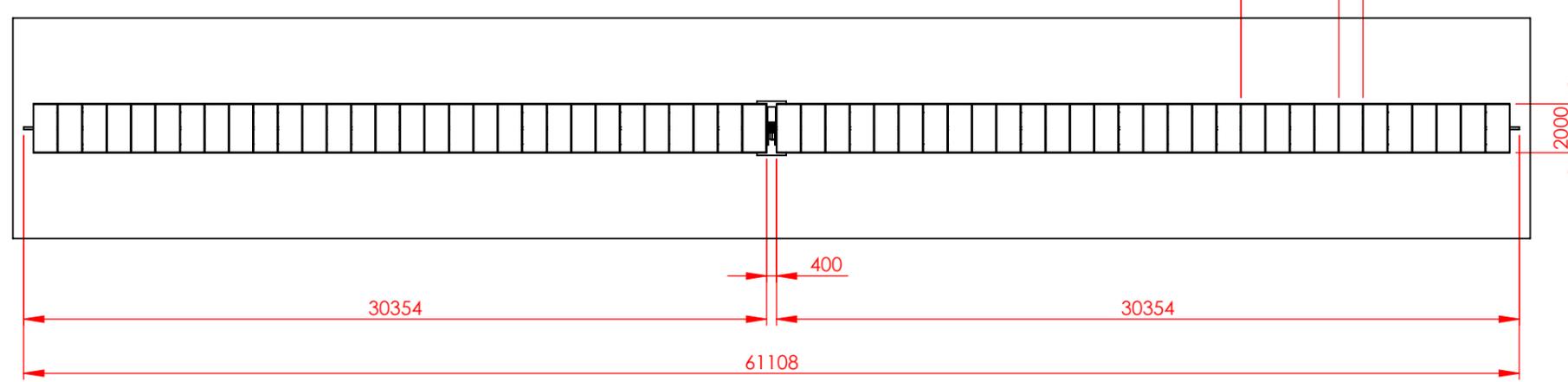
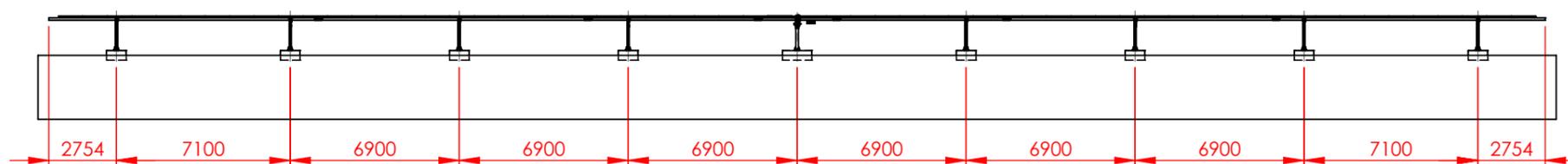
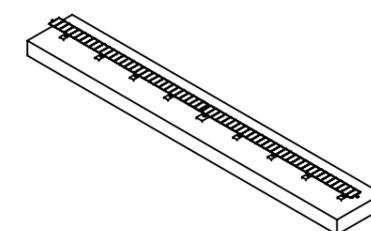
hubiera tenido en cuenta estas consideraciones, se podría haber diseñado el tamaño de la zapata de forma más exacta.

- Crear una herramienta de cálculo en la que introduciendo parámetros como localización, altura respecto al nivel del mar, peso de las placas y distancia entre ellas, te devuelva las dimensiones de la zapata a instalar. Esto sería muy útil si siempre se utilizara el mismo modelo de seguidor solar para todas las instalaciones, ahorraría tiempo de cálculo y de redacción de proyecto.
- Lo idóneo sería someter a un túnel de viento o a un análisis computacional de fluidos la estructura ya que debido a la falta de una norma vigente que ofrezca coeficientes eólicos válidos para marquesinas entre 35° y 70° o estructuras similares al diseñado en este proyecto, se han utilizado valores ligeramente diferentes a los que realmente serían si se realizara dicho estudio.

5. Bibliografía

- [1] EE Publishers. *Solar PV tracking systems can increase output*. 2016.
<<https://www.ee.co.za/article/solar-pv-tracking-systems-can-increase-output.html>>
- [2] LA ENERGÍA SOLAR. *Seguidor solar*.
<<https://www.laenergiasolar.org/energia-fotovoltaica/seguidor-solar/#:~:text=de%20ejes%20m%C3%B3viles%3A-.Seguidor%20solar%20de%20un%20eje%3A,sur%20y%20una%20inclinaci%C3%B3n%20fi>>
- [3] STI NORLAND (2018). "STi-H250 Foundations Procedure".
- [4] STI NORLAND. *Tipos de instalación disponibles*.
<<https://www.stinorland.com/es/productos/seguidor-solar-centralizado-multifila>>
- [5] STI NORLAND. <https://www.stinorland.com/es>
- [6] España. Documento Básico Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación (DB SE-AE), de Abril de 2009.
- [5] SPLITMAX TSM-PE14H Datasheet.
- [8] BEL CACHO, D. (2016). Apuntes de la asignatura "Teoría de Estructuras y Construcciones Industriales". Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- [9] Biblioteca de materiales ANSYS.
- [10] TODECA. *Procedimiento constructivo Hincado Fotovoltaico*.
<http://www.todecaperforaciones.es/pdfs_maquinas/Proc.%20Cons.%20Hinca.%20Fotovoltaico.pdf>
- [11] FINE SOFTWARE. *Tabla de factores de fricción de diferentes materiales*.
<<https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/tabla-de-factores-de-friccion-de-diferentes-materiales-01/>>
- [12] España. Documento Básico Seguridad Estructural - Cimientos (DB SE-C), de Diciembre de 2009.
- [13] Profesores del Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras (2018). Apuntes de la asignatura "Construcciones Industriales y Teoría de Estructuras". Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

ANEXO I: Planos Seguidor STi-H250



REV.	DESCRIPTION	DATE
V01	Emisión de plano	25/06/19

DRAWN	DATE
AJC	25/06/19

APPROVED	DATE
-	-

MATERIAL	WEIGHT
-	-

COVERING	REVISION
-	V02

SCALE	FORMAT
1:250	A3

	TOLERANCIES
	-

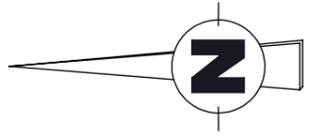
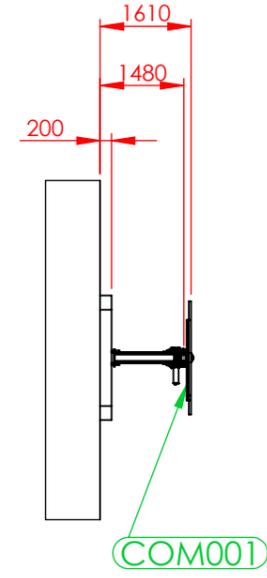
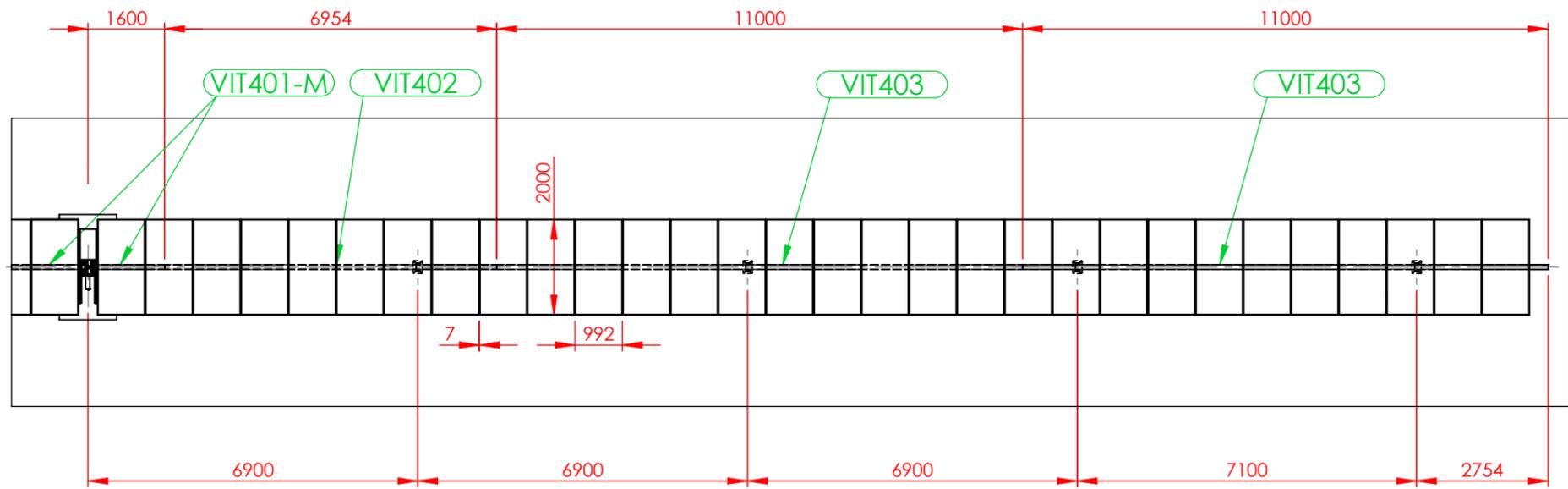
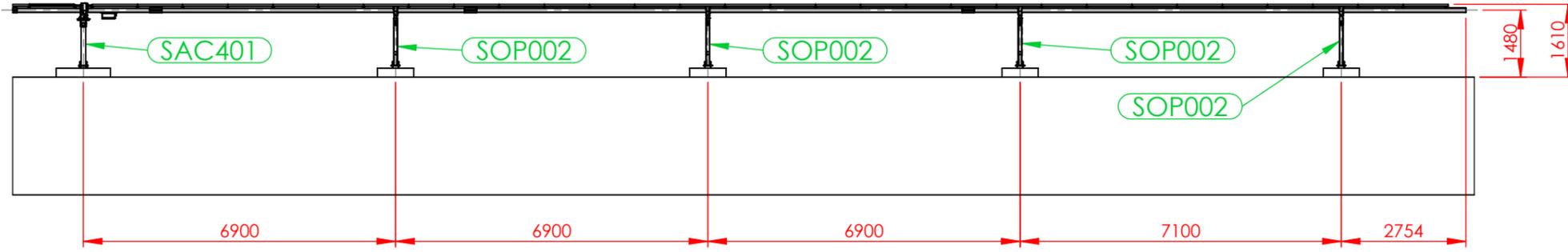
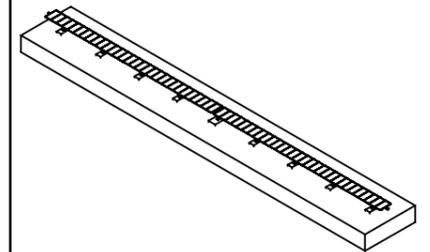
NOMBRE
Layout General Seguidor H250 1x60

NAME
General Layout H250 Tracker 1x60

DRAWING	CODE
KTR00486	-

KTRSOLAR

Calle San Martín 26 | Oficina 2
31489 Egües (Spain)



REV.	DESCRIPTION	DATE
V01	Emisión de plano	02/07/19

DRAWN	DATE
AJC	02/07/19

APPROVED	DATE
-	-

MATERIAL	WEIGHT
-	-

COVERING	REVISION
-	V01

SCALE	FORMAT
1:125	A3

TOLERANCIES
-

NOMBRE
Detalle media viga torsión 1x60

NAME
Half torque tube detail 1x60

DRAWING	CODE
KTR00498	-

KTRSOLAR
 Calle San Martín 26 | Oficina 2
 31489 Egües (Spain)

ANEXO II: Ficha Técnica STI-H250



Adaptación al terreno



Carga de viento



Carga de nieve



Carga de sismo



Sin engrase y mínimo mantenimiento



Túnel de viento



Test Dinámico



10 años
Garantía



Patentado

Diseño

- Accionamiento rotativo electromecánico irreversible con motor reductor de alta eficiencia de únicamente 100W de potencia.
- Self power con panel PV externo, alimentado desde la red.
- Amplio recorrido de giro: $110^\circ (\pm 55^\circ)$.
- Tolerancia a las pendientes elevadas.
- Gran adaptación a terrenos irregulares.
- Disponibilidad superior al 99,9%.
- Compatible con diferentes soluciones de cimentación: hinca metálica, pre-taladros, micropilotes, zapatas.
- Compatible con todo tipo de paneles (con marco, glass-glass, thin-film, bifacial).

Operación y Mantenimiento

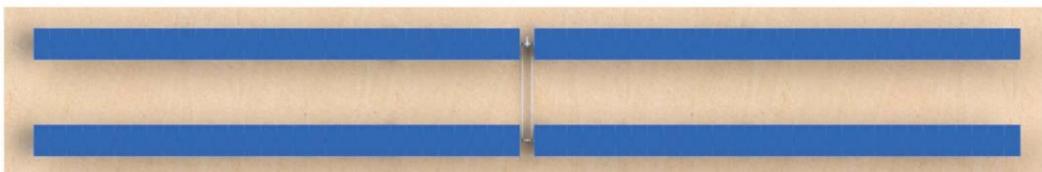
- Acceso libre para limpieza de paneles.
- Mínima inversión en labores de O&M gracias al reducido número de componentes, la sencillez y robustez del sistema.
- Mantenimiento mínimo.
- Elementos de rotación libres de lubricación.

Sistema de control

- Alta fiabilidad de operación.
- Gestión de alarma completamente configurable por el cliente.
- Algoritmo de Backtracking personalizado a cada seguidor solar STI-H250™, evitando sombras y aumentando la producción.
- Fácil integración en el sistema de comunicaciones y SCADA de la planta gracias al Modbus TCP / IP standard.
- Sistema de comunicación Wireless Zigbee®.
- Monitorización remota y mantenimiento predictivo (evita paradas y aumenta la disponibilidad).
- Rápida puesta en marcha & herramientas de backtracking.

Montaje

- Mínimo tiempo de instalación, rápido y simple.
- Altas tolerancias al error de posicionamiento de cimentación, tanto en los tres ejes (X,Y,Z) como al giro en los ejes Y y Z.
- Altura baja del panel para un fácil montaje.
- Conexiones 100% atornilladas. Sin perforación, corte o soldadura en el sitio.



T. +34 948 260 129
Avda. Sancho el Fuerte, 26. Oficina 1
31008 Pamplona, Navarra (Spain)

info@stinorland.com
www.stinorland.com

stinorland

Especificaciones técnicas



CARACTERÍSTICAS GENERALES

Tipo de seguidor	Seguidor de un eje horizontal (HSAT). Descentralizado. DUAL-ROW
Ratio de cobertura en el suelo (GCR)	Configurable según proyecto, standard 33%
Área de seguidor	Aprox. 250 m ²

DIMENSIONES (seguidor ESTÁNDAR con módulos de 72 cél. y 1/GCR = 3)*

Módulos por viga de torsión	60
Número de filas	2
Potencia pico instalada (con módulo de 350Wp)	42 Kwp
Número de postes por seguidor	19
Altura de módulo. Seguidor en posición horizontal 0°	Aprox. 1.35m
Altura de módulo. Seguidor en posición de 55°	Aprox. 2.25m

ACCIONAMIENTO DE GIRO

Tipo de accionamiento	Actuador Electromecánico rotativo
Alimentación conjunto de accionamiento	LiFe PO4 Batería o alimentado desde la red
Consumo eléctrico conjunto de accionamiento	< 0.45Kwh/day
Potencia motor	100W / 24VDC self-powered

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Rango de giro	110° (+/-55°)
V max. viento (en posición horizontal)	140km/h (*)
Estructura	Acero Galvanizado en caliente S235, S275, S355, S350GD ZM310 o equivalente
Normativa	Grounding bonding UL2703/Diseño estructural ASCE7-10 o Eurocódigo
Topografía	15% N-S / 10% E-O en el mismo seguidor Sin Límites E-O en seguidores diferentes (Validar para valores más altos)

SISTEMA DE CONTROL

Control de seguimiento	NREL SOLPOS algoritmo astronómico con PLC (Exactitud ±0.01°)
Gestión de sombras	Algoritmo Backtracking personalizado
Gestión de viento	Gestión de abanderamiento personalizable
Estándar de comunicaciones	Modbus RS485 or Modbus Wireless option (Zigbee®)

MANTENIMIENTO

Mantenimiento	Mínimo (Revisión anual)
---------------	-------------------------

GARANTÍA

Estructural / Accionamiento y motores	10 años estructural / 5 años Accionamiento y Motores
---------------------------------------	--

(*) Configurable según proyecto. Disponibles otras opciones.

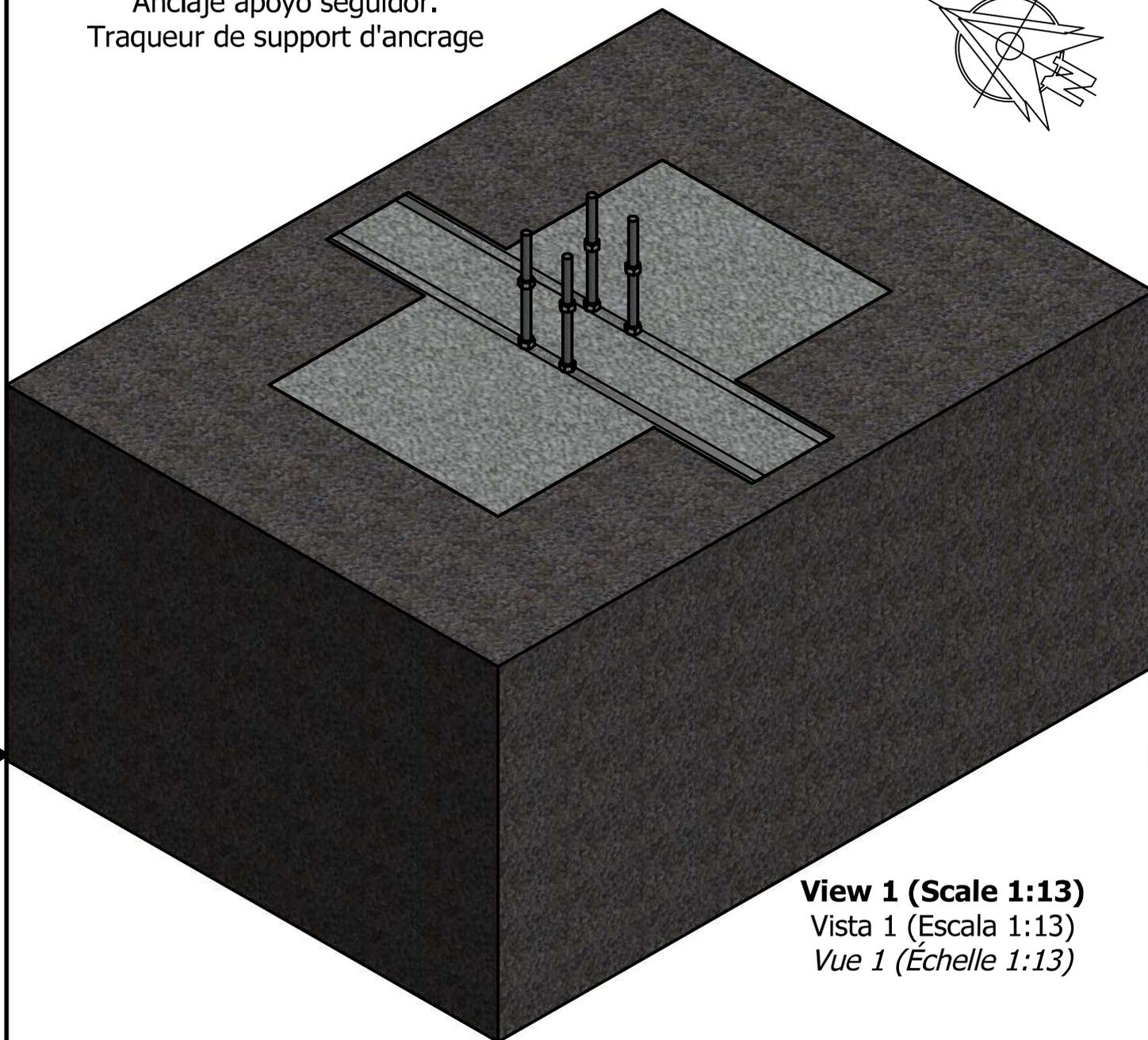
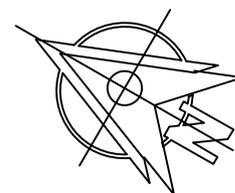
T. +34 948 260 129
Avda. Sancho el Fuerte, 26. Oficina 1
31008 Pamplona, Navarra (Spain)

info@stinorland.com
www.stinorland.com

stinorland

ANEXO III: Procedimiento Instalación

Anchor support tracker
 Anclaje apoyo seguidor.
 Traqueur de support d'ancrage



View 1 (Scale 1:13)
 Vista 1 (Escala 1:13)
 Vue 1 (Échelle 1:13)

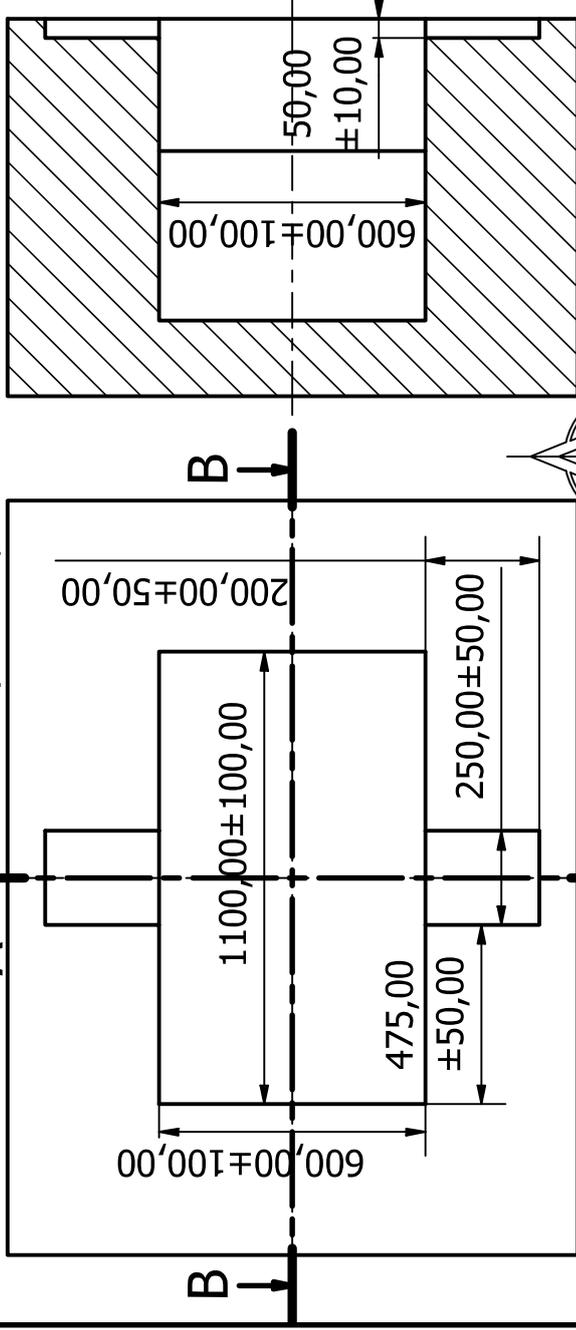
The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or or use any part of it.

La información incluida en este documento (incluidos los anexos y piezas adjuntas) es confidencial y tienen todos los derechos reservados. No se debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date	Scale 1:13	Date 1/20/2020	
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086		Sun Tracker support base				
		BTEC.STSB.01	Edition 01	Sheet 1 / 25		

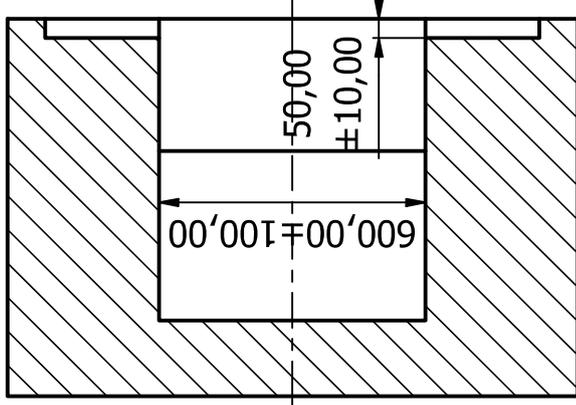
View 2, Vista 2, Vue 2



A-A (1 : 20)



A-A (1 : 20)



1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.

3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

1. Sin quemaduras en los bordes.
2. Todas las dimensiones están en mm, salvo que se mencione lo contrario.
3. Tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares, según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.

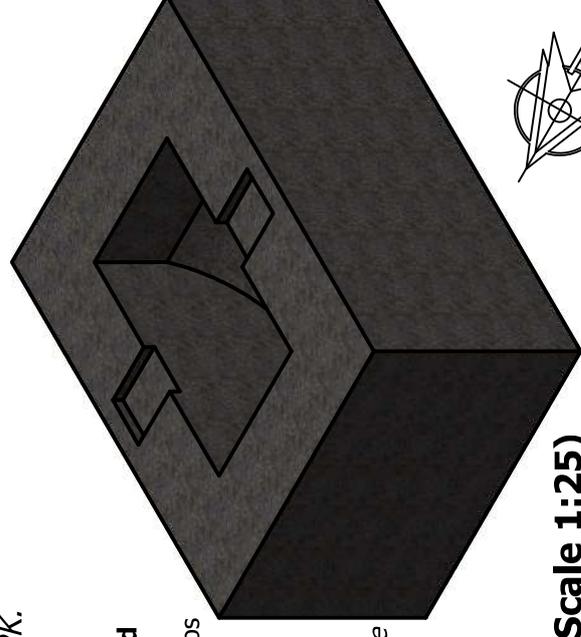
1. Aucune brûlure sur les bords.
2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.

3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.

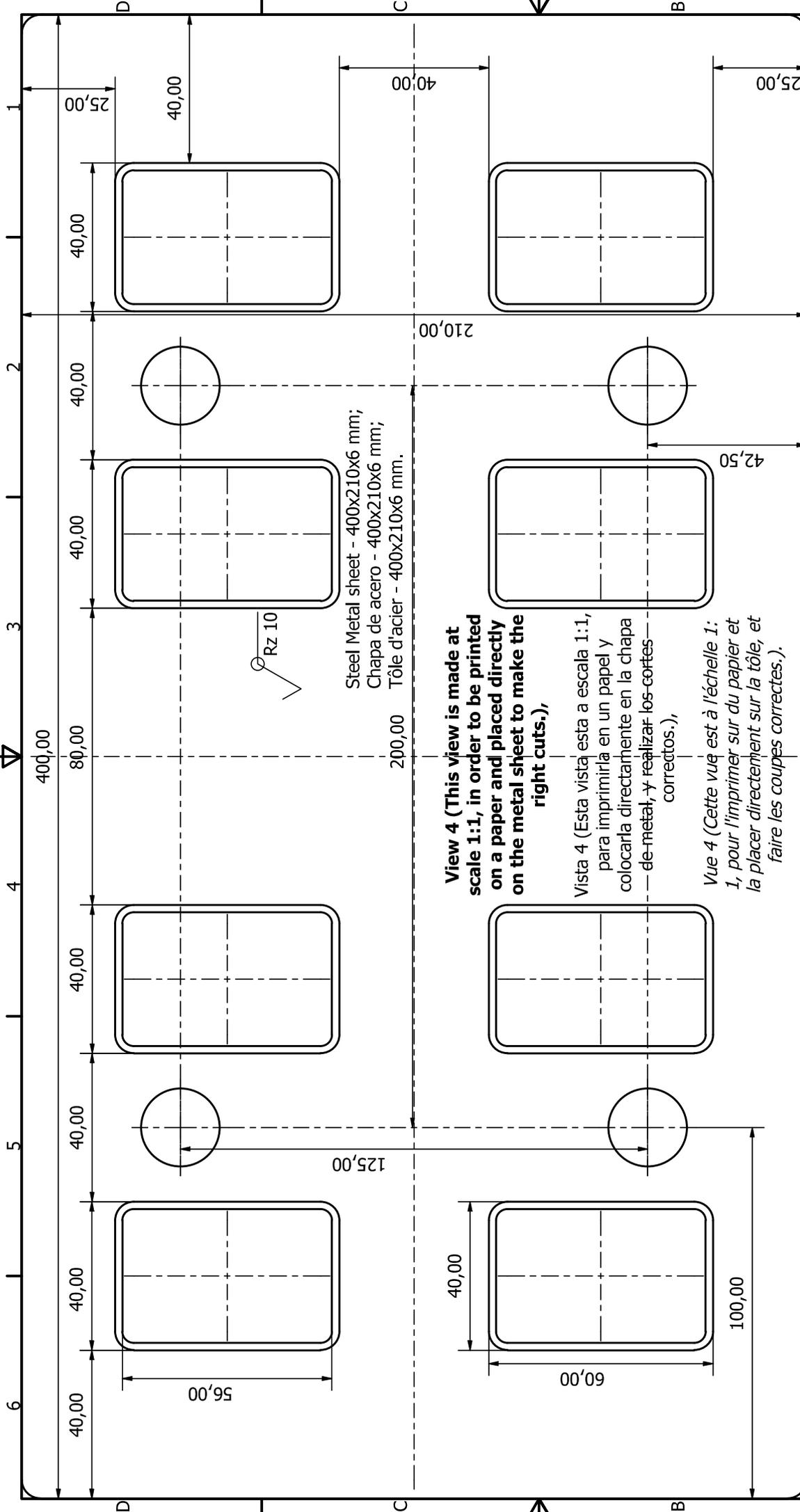
La información incluida en este documento (incluidos los anexos y piezas adjuntas) es confidencial y tienen todos los derechos reservados. No se debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.



View 3 (Scale 1:25)
Vista 3 (Escala 1:25)
Vue 3 (Échelle 1:25)

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	Scale 1:20	Date	Sheet 2 / 25
 Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086			BTEC.STSB .00.00.01		Edition 01	



View 4 (This view is made at scale 1:1, in order to be printed on a paper and placed directly on the metal sheet to make the right cuts,)

Vista 4 (Esta vista esta a escala 1:1, para imprimirla en un papel y colocarla directamente en la chapa de metal, y realizar los cortes correctos,)

Vue 4 (Cette vue est à l'échelle 1:1, pour l'imprimer sur du papier et la placer directement sur la tôle, et faire les coupes correctes.)

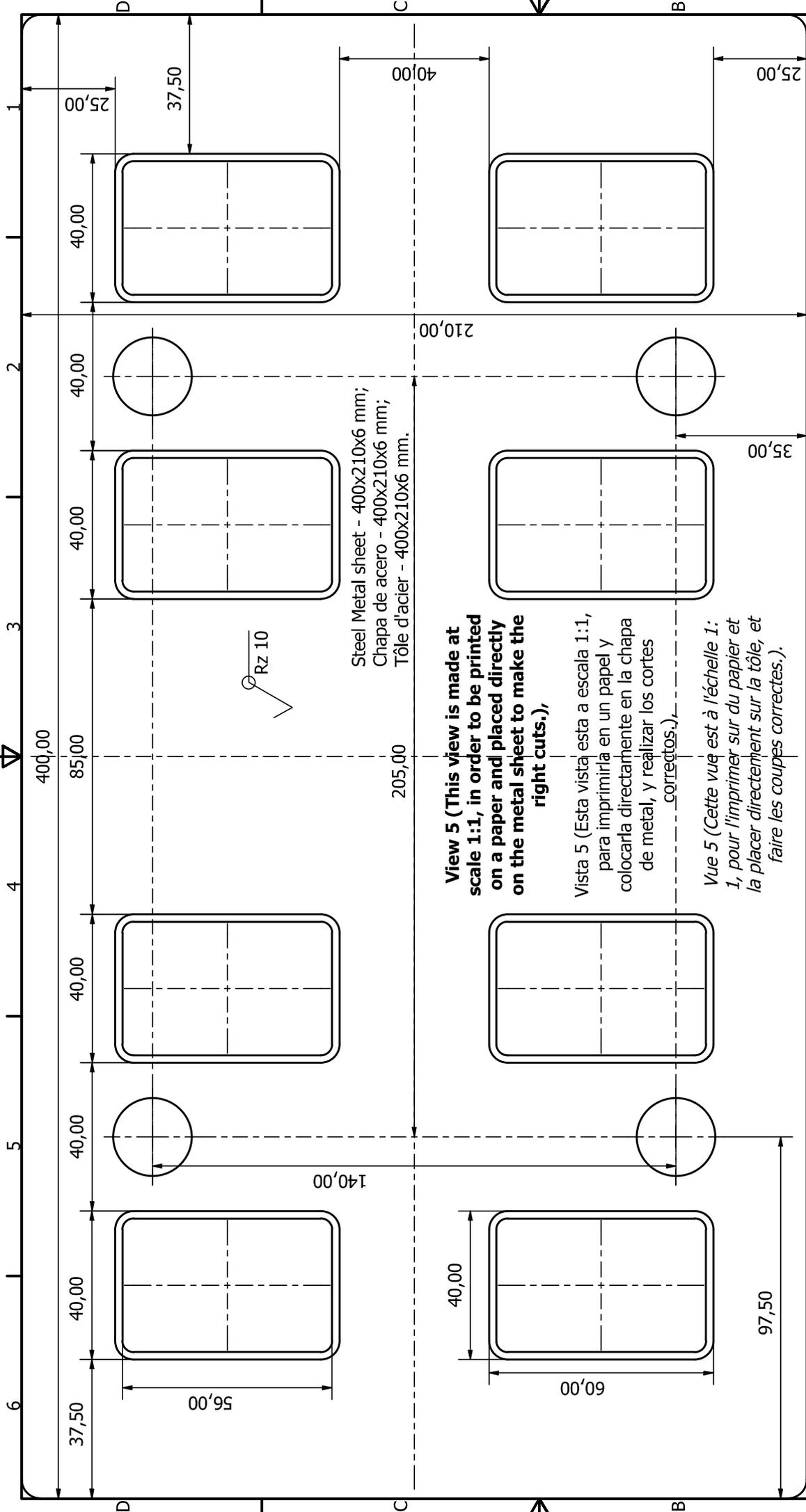
The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.
 La información incluida en este documento (incluidos los anexos y piezas adjuntas) es confidencial y tienen todos los derechos reservados. No se debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.
Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

1. Sin quemaduras en los bordes.
 2. Todas las dimensiones están en mm, salvo que se mencione lo contrario.
 3. Tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares, según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.

1. Aucune brûlure sur les bords.
 2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
 3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	Scale 1:1
Sun Tracker support base				
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086			Edition 01	
BTEC.STSB .01.01.01A			Sheet 3 / 25	

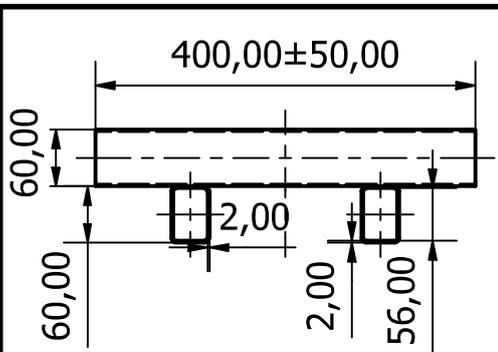


The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.
 La información incluida en este documento (incluidos los anexos y piezas adjuntas) es confidencial y tienen todos los derechos reservados. No se debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.
Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

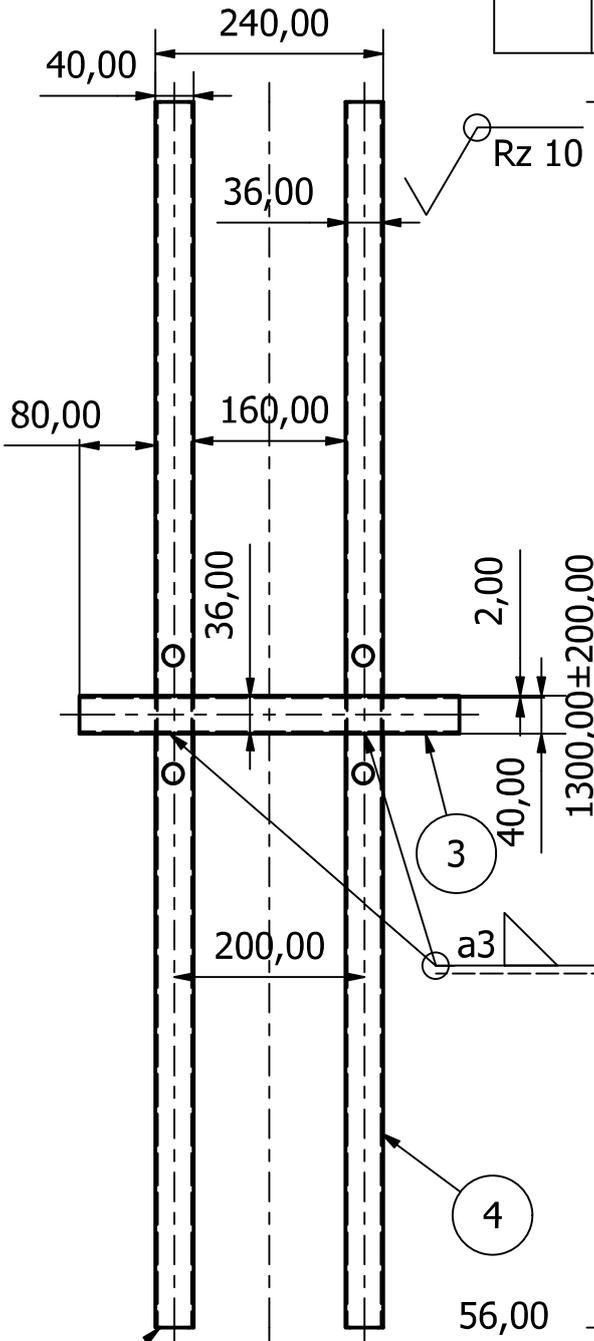
1. Sin quemaduras en los bordes.
 2. Todas las dimensiones están en mm, salvo que se mencione lo contrario.
 3. Tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares, según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.
1. Aucune brûlure sur les bords.
 2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
 3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	Scale 1:1
Sun Tracker support base				
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086			Edition 01	
BTEC.STSB .01.01.01B			Sheet 4 / 25	

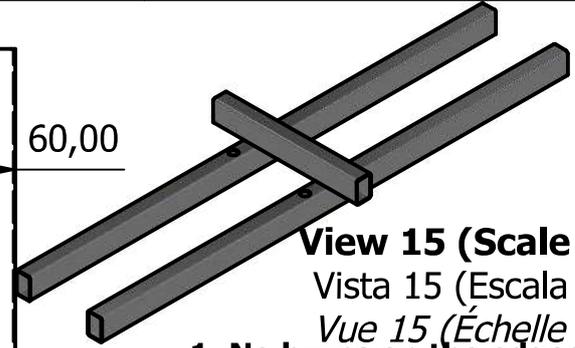


View 12, Vista 12, Vue 12

View 13, Vista 13, Vue 13



View 14, Vista 14, Vue 14



View 15 (Scale 1:15)
 Vista 15 (Escala 1:15)
 Vue 15 (Échelle 1:15)

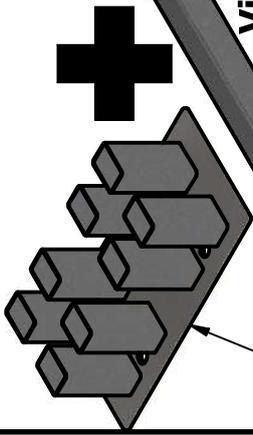
- 1. No burns on the edges.**
 - 2. All the dimensions are in mm, if no other mention.**
 - 3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.**
1. Sin quemaduras en los bordes.
 2. Todas las dimensiones están en mm, salvo que se mencione lo contrario.
 3. Tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares, según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.
1. Aucune brûlure sur les bords.
 2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
 3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
4	3000.000 mm	Steel J 60x40x2-1 300 GB/T 6728-2002	Cold formed steel hollow sections steel for general structure; Secciones huecas de acero conformado en frío para estructura general; Profilés creux en acier formé à froid pour structure générale.

4

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date	Scale 1:8	Date 1/20/2020	
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086			Sun Tracker support base BTEC.STSB .01.01.03A			
			Edition 01	Sheet 7 / 25		

View 20, Vista 20, Vue 20



View 21, Vista 21, Vue 21

Full welding at the connection of the square bar 1 with square bar 2;
Soldadura completa en la conexión entre la barra cuadrada 1 y la barra cuadrada 2;
Soudure complète au raccordement de la barre carrée 1 avec la barre carrée 2.

View 22, Vista 22, Vue 22.

Spot welding at the connection of the square bar 1 with square bar 2;

Puntos de soldadura en la conexión entre la barra cuadrada 1 y la barra cuadrada 2;
Soudage par points au raccordement de la barre carrée 1 avec la barre carrée 2.

View 24, Vista 24, Vue 24

View 23, Vista 23, Vue 23

1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

1. Sin quemaduras en los bordes.
2. Todas las dimensiones están en mm, salvo que se mencione lo contrario.
3. Tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares, según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.

1. Aucune brûlure sur les bords.
2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

Turn around and drill the holes, through the guidance holes.

Dé la vuelta y perforo los agujeros, a través de los agujeros guía.

Retournez-vous et percez les trous à travers les trous de guidage.

Rz 10

4

View 25, Vista 25, Vue 25

PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	BTEC.STSB.01.01.02A or B
2	1	BTEC.STSB.01.01.03A or B

Date	Scale	Date
	1:10	1/20/2020

Sun Tracker support base	
Edition	01
Sheet	9 / 25

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano
-----------------------	--------------------------	--------------------------

mw
Measwind R.S.S.L.
Calle Hermana Matilde, 37 - NAV,
Cariñena, 50400, Zaragoza.
CIF: B99113086

The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.

La información incluida en este documento (incluidos los anexos y piezas adjuntas) es confidencial y tienen todos los derechos reservados. No se debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.

1. No burns on the edges.

2. All the dimensions are in mm, if no other mention.

3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

1. Sin quemaduras en los bordes.

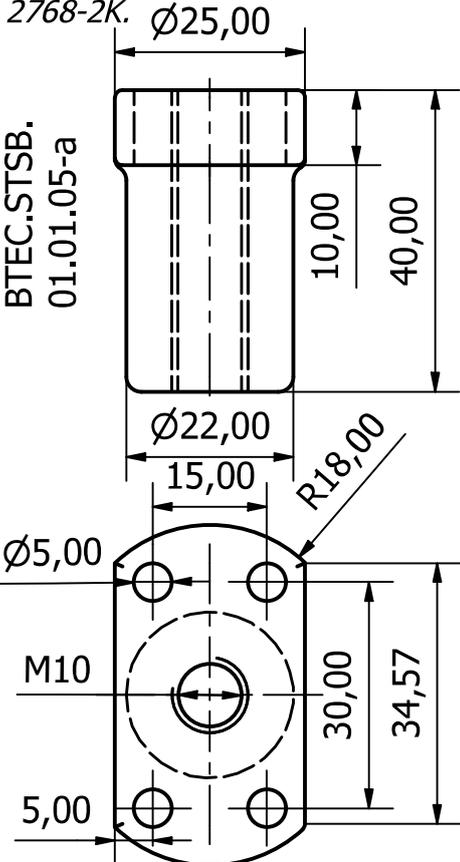
2. Todas las dimensiones están en mm, salvo que se mencione lo contrario.

3. Tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares, según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.

1. Aucune brûlure sur les bords.

2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.

3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

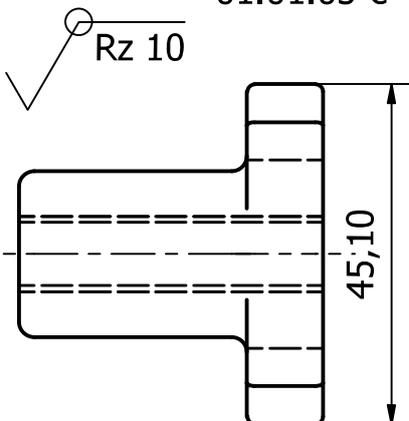
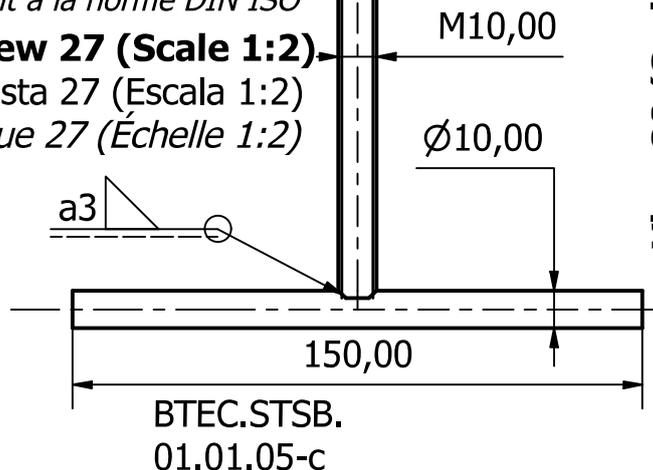


View 26, Vista 26, Vue 26

View 29, Vista 29, Vue 29

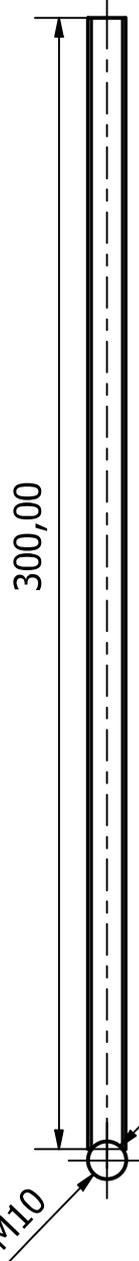
View 27 (Scale 1:2)

Vista 27 (Escala 1:2)
Vue 27 (Échelle 1:2)



View 30, Vista 30, Vue 30

View 28 (Scale 1:2), Vista 28 (Escala 1:2), Vue 28 (Échelle 1:2)



Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

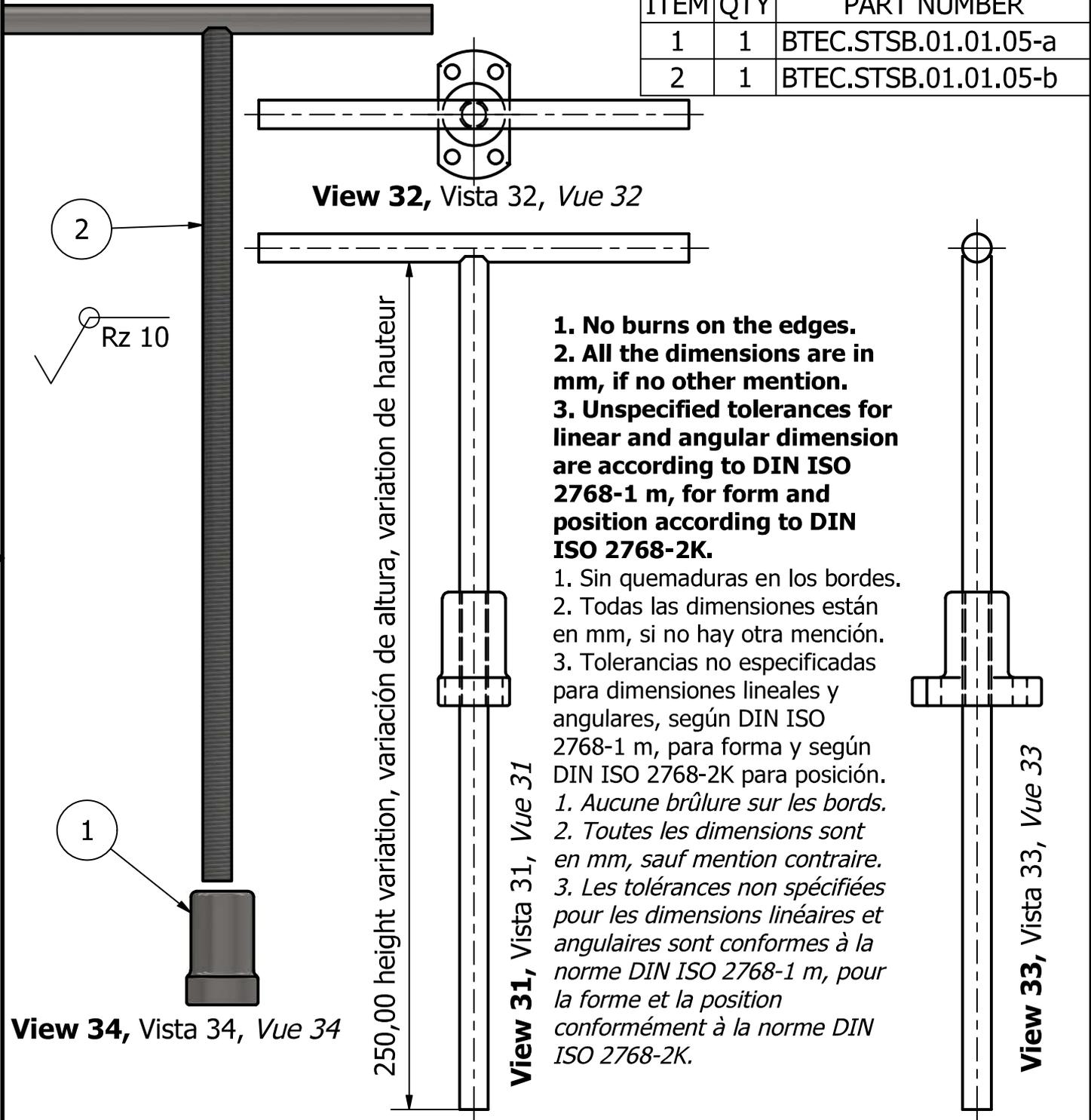
Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date	Scale 1:1	Date 1/20/2020	
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086			Sun Tracker support base			
BTEC.STSB .01.01.05				Edition 01	Sheet 10 / 25	

The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.

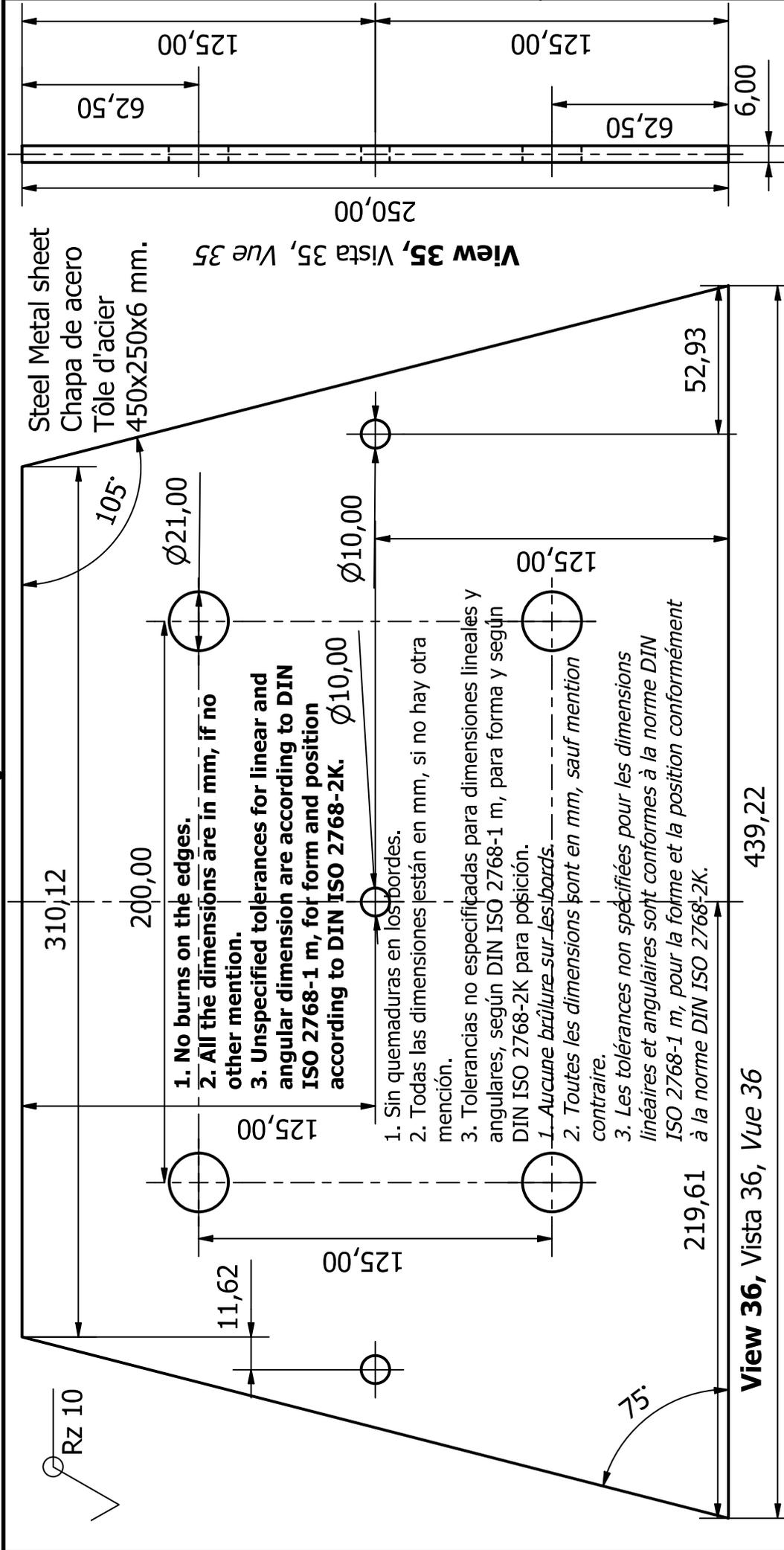
La información incluida en este documento (incluidos los anexos y piezas adjuntas) es confidencial y tienen todos los derechos reservados. No se debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	BTEC.STSB.01.01.05-a
2	1	BTEC.STSB.01.01.05-b



Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date	Scale 1:2	Date 1/20/2020	
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086			Sun Tracker support base			
BTEC.STSB .01.01.05				Edition 01	Sheet 11 / 25	



Steel Metal sheet
Chapa de acero
Tôle d'acier
450x250x6 mm.

View 35, Vista 35, Vue 35

View 36, Vista 36, Vue 36

1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K. $\varnothing 10,00$

1. Sin quemaduras en los bordes.
2. Todas las dimensiones están en mm, si no hay otra mención.
3. Tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares, según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.

1. Aucune brûlure sur les bords.
2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

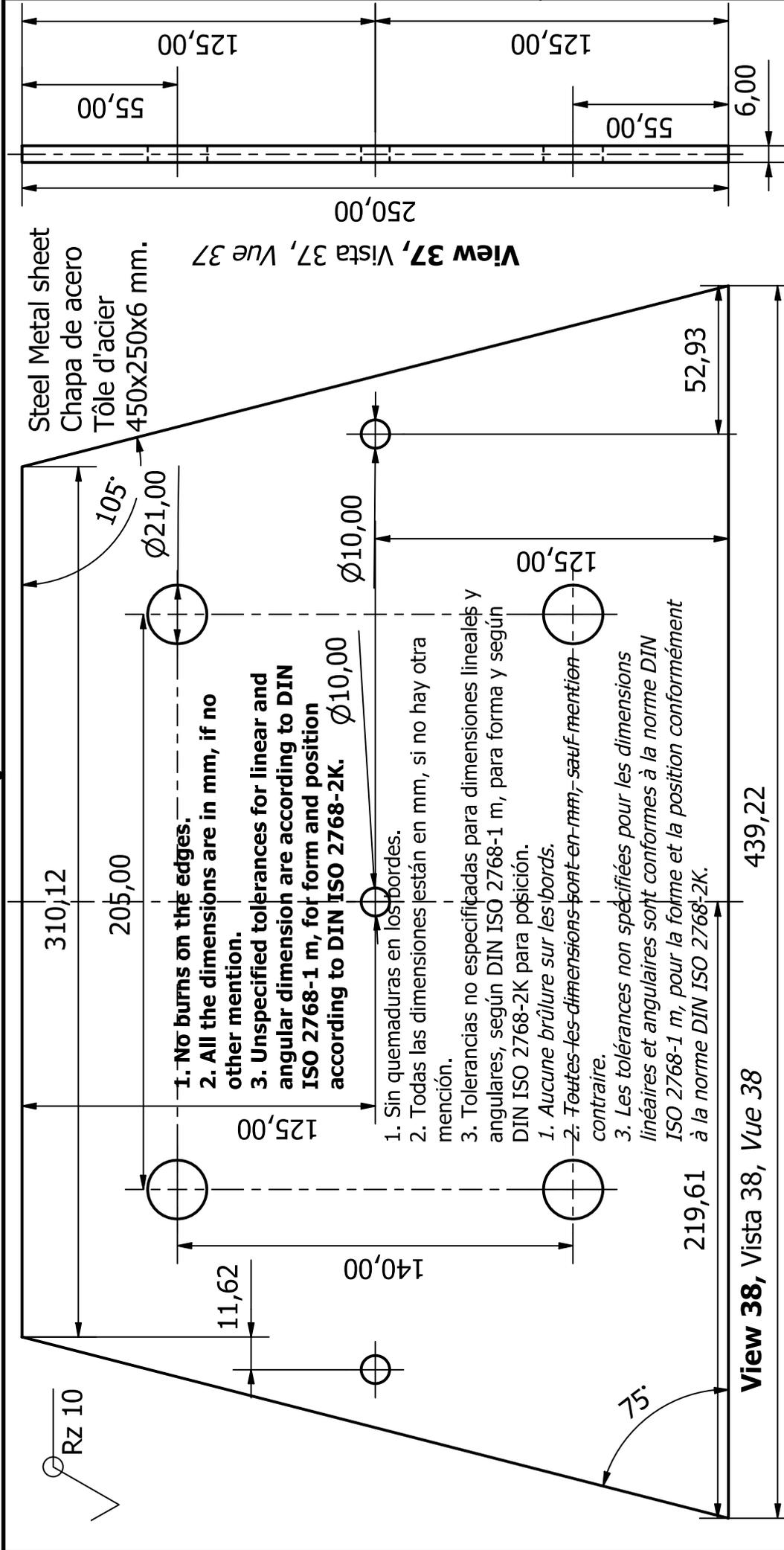
The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.

La información incluida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgarse, copiarse o usarse ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	Scale 1:2	Date 1/20/2020	
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV Cariñena, 50400, Zaragoza. CTE: B99113086			Sun Tracker support base			Sheet 12 / 25
BTEC.STSB .01.01.06A			Edition 01			





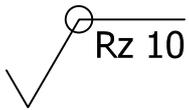
The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.

La información incluida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgarse, copiarse o usarse ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	Scale 1:2	Date 1/20/2020	
			Sun Tracker support base		Edition 01	Sheet 13 / 25
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV Cariñena, 50400, Zaragoza. CTE: B99113086			BTEC.STSB .01.01.06B		BTEC.STSB .01.01.06B	

1. No burns on the edges.
 2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
 3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.



1. Aucune brûlure sur les bords.
 2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
 3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

1. Sin quemaduras en los bordes.
 2. Todas las dimensiones están en mm, si no hay otra mención.
 3. Tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares, según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.

Steel Metal sheet - 150x180x6 mm;
 Chapa de acero - 150x180x6 mm;
 Tôle d'acier - 150x180x6 mm.

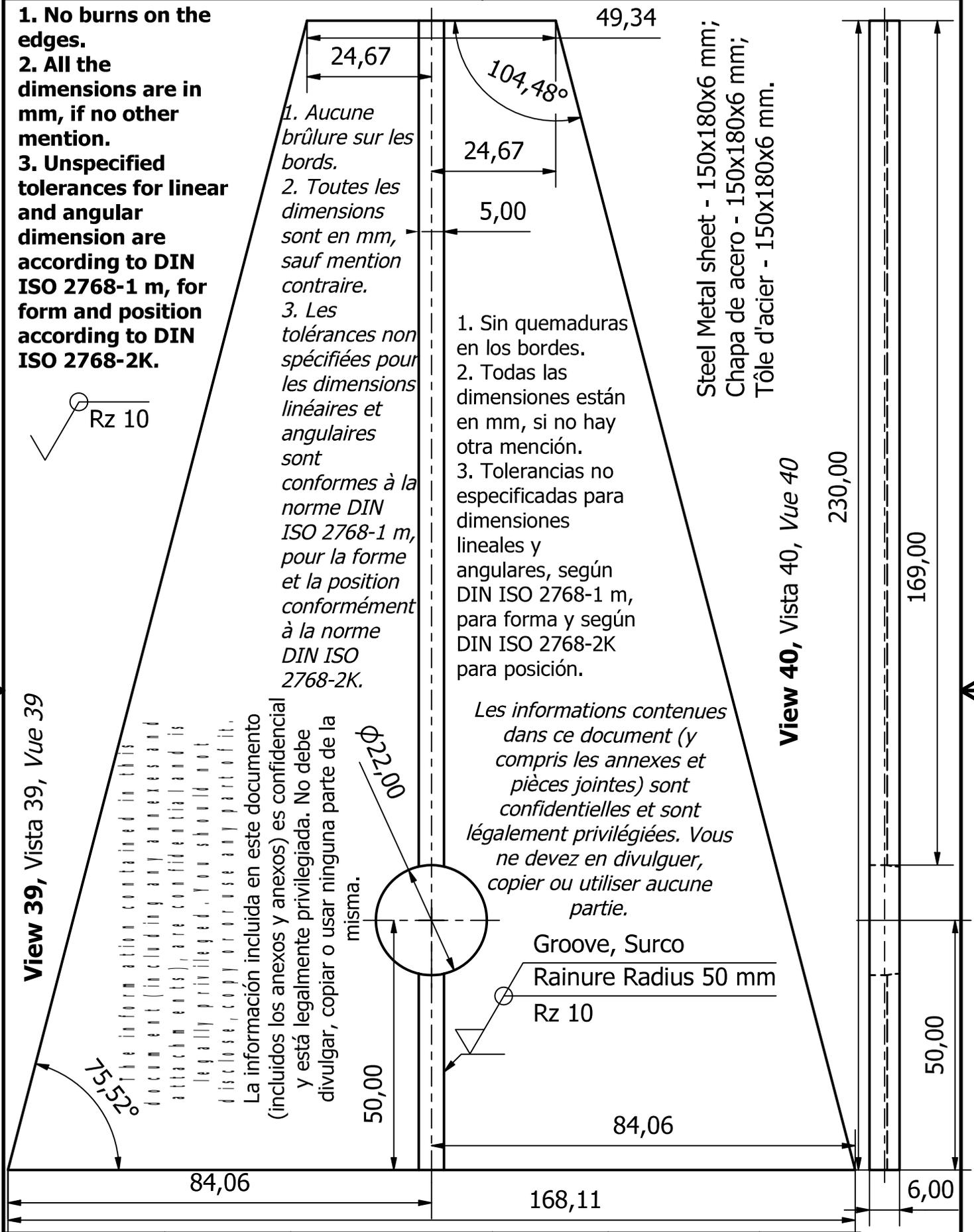
Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

View 39, Vista 39, Vue 39

View 40, Vista 40, Vue 40

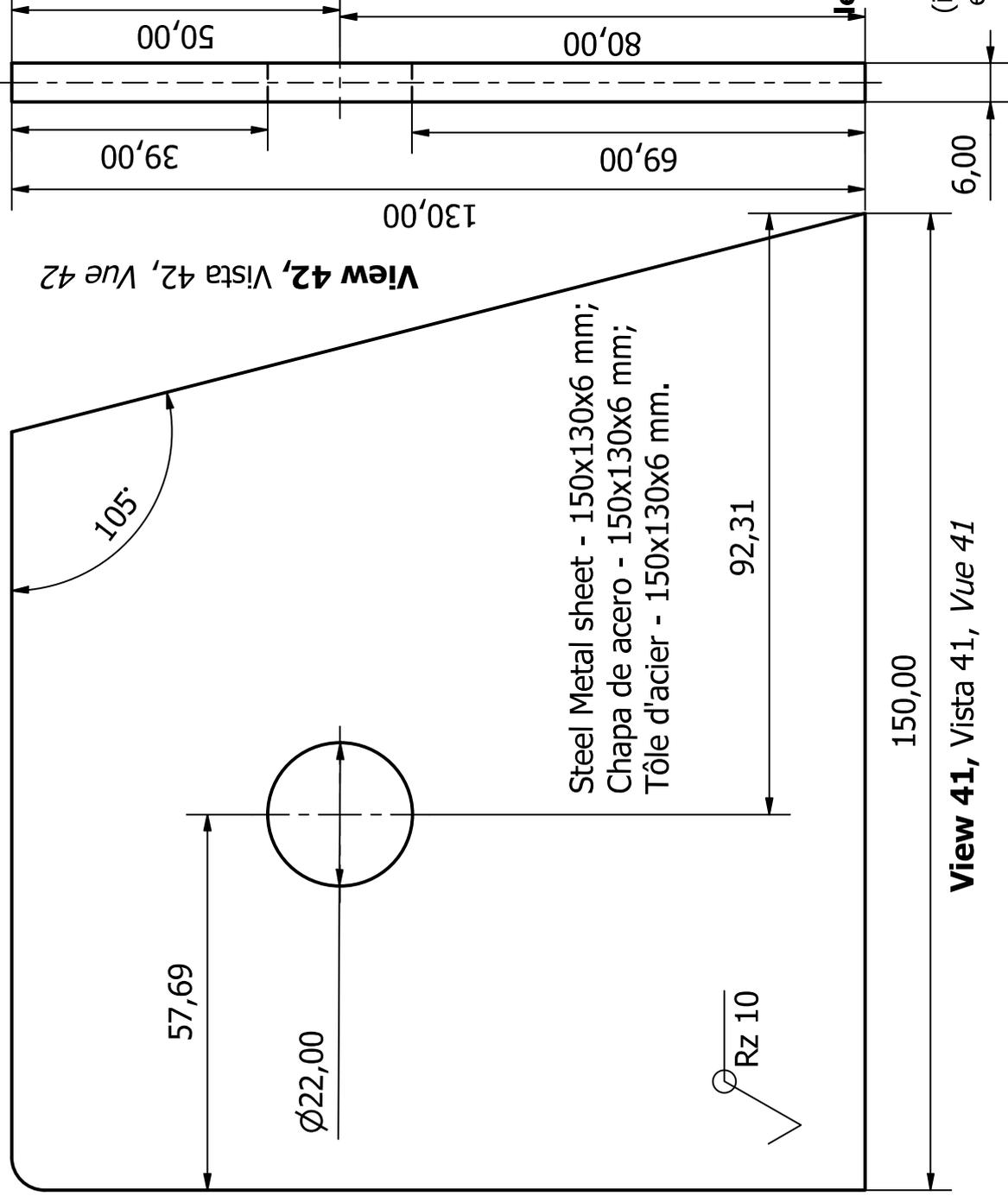
The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and legally privileged. You should not disclose, copy or reuse any part of it.

La información incluida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.



Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date	Scale 1:1	Date 1/20/2020
-----------------------	--------------------------	--------------------------	------	--------------	-------------------

Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086	Sun Tracker support base	
	BTEC.STSB.01.01.07	Edition 01



Steel Metal sheet - 150x130x6 mm;
 Chapa de acero - 150x130x6 mm;
 Tôle d'acier - 150x130x6 mm.

1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

1. Sin quemaduras en los bordes.
2. Todas las dimensiones están en mm, si no hay otra mención.
3. Las tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares son según DIN ISO 2768-1 m, para forma y posición según DIN ISO 2768-2K.

1. Aucune brûlure sur les bords.
2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.

3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or or use any part of it.

La información incluida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	
	Scale 1:1			
				Sun Tracker support base Edition 01 Sheet 15 / 25
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086				
BTEC.STSB.01.01.08				

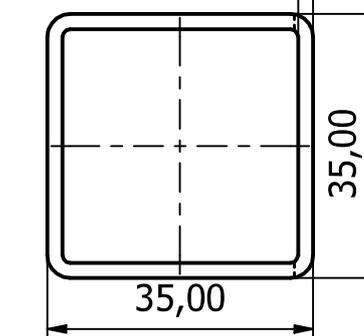
1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

1. Aucune brûlure sur les bords.
2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

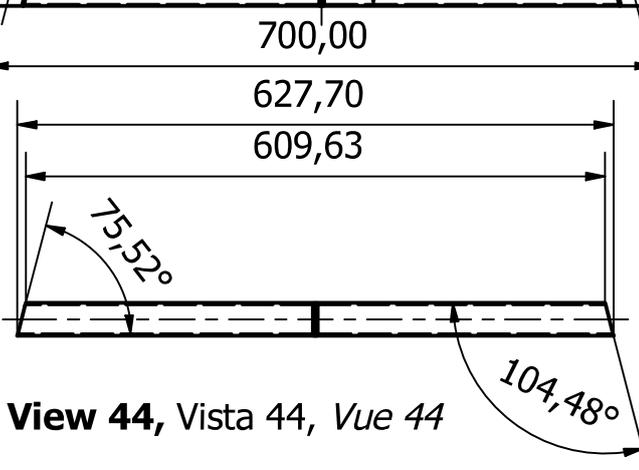
View 46, Vista 46, Vue 46

View 47, Vista 47, Vue 47

View 45, Vista 45, Vue 45



View 43 (Scale 1:1)
 Vista 43 (Escala 1:1)
 Vue 43 (Échelle 1:1)



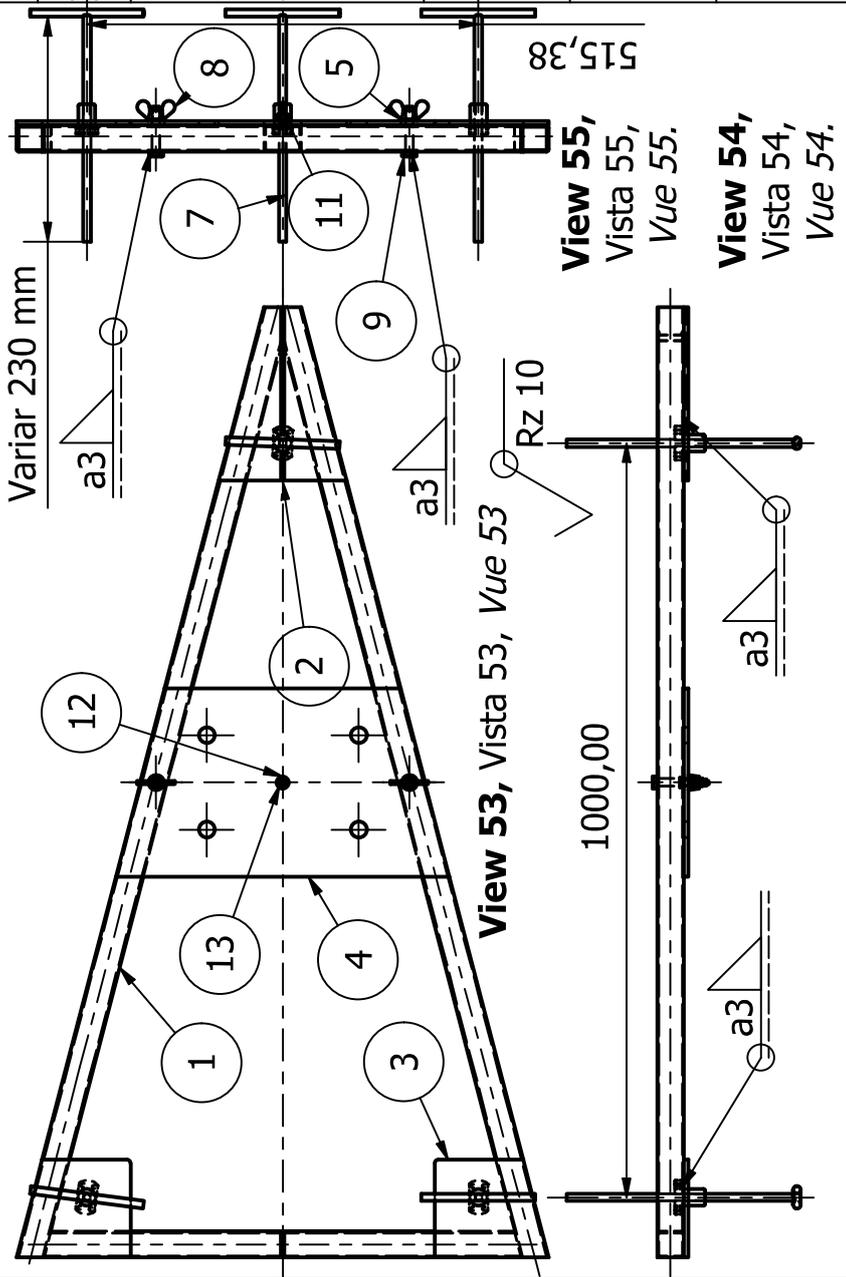
View 44, Vista 44, Vue 44

1. Sin quemaduras en los bordes.
2. Todas las dimensiones están en mm, si no hay otra mención.
3. Las tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares son según DIN ISO 2768-1 m, para forma y posición según DIN ISO 2768-2K.

Rz 10

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date	Scale 1:9	Date 1/20/2020	
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086			Sun Tracker support base BTEC.STSB .01.01.09			
			Edition 01	Sheet 16 / 25		

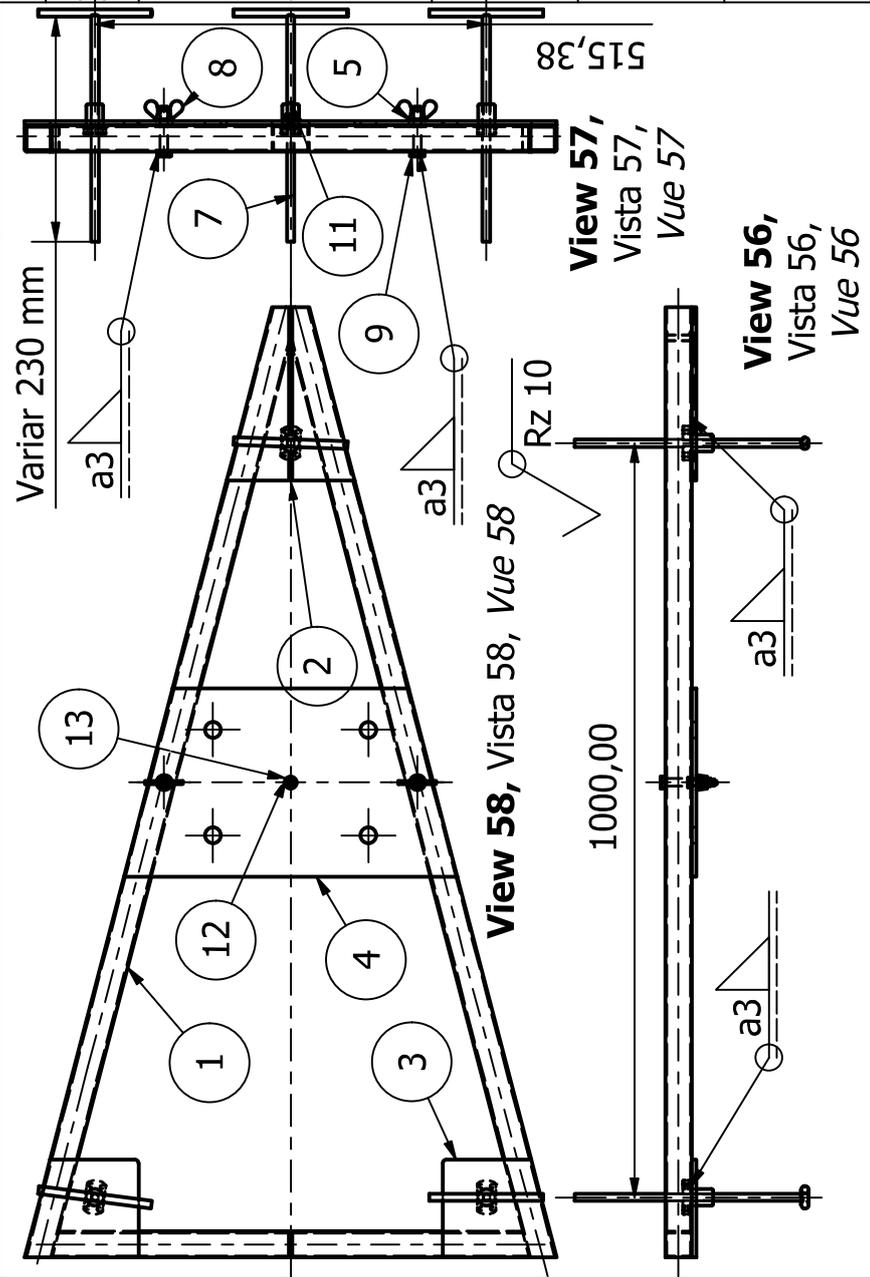
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3300	DIN EN 10305-5 - 35 x 35 mm	Steel tubes for precision applications; Tubos de acero para aplicaciones de precisión; Tubes en acier pour applications de précision.
2	1	BTEC.STS B.01.01.07	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 150x180x6 mm;
3	2	BTEC.STS B.01.01.08	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 150x130x6 mm;
4	1	BTEC.STS B.01.01.06	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 450x250x6 mm;
5	2	DIN 126 - 11	Washers for hexagon bolts; Arandelas para tornillos hexagonales; Rondelles pour boulons hexagonaux;
7	1	BTEC.STS B.01.01.05	
8	2	IS 2636 - M 10	Wing Nuts; Tuercas con alas; Noix ailées.
9	2	Bolt GB/T 5783 M10 x 60	Hexagon; Tornillos; Boulons.



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
11	1	ISO 4015 - M8 x 30	Hexagon head bolts; Tornillos de cabeza hexagonal; Boulons à tête hexagonale.
12	1	DIN 126 - 9	Washers; Arandelas; Rondelles.
13	1	ISO 4032 - M8(1)	Hex Nut; Tuerca hexagonal; Écrou hexagonal.

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	Date 1/20/2020	Scale 1:10	Symbol
Sun Tracker support base						
BTEC.STSB.01.01.11A			Edition 01	Sheet 18 / 25		

Measwind R.S.S.L.
Calle Hermana Matilde, 37 - NAV,
Cariñena, 50400, Zaragoza.
CIF: B99113086



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3300	DIN EN 10305-5 - 35 x 35 mm	Steel tubes for precision applications; Tubos de acero para aplicaciones de precisión; Tubes en acier pour applications de précision.
2	1	BTEC.STS B.01.01.07	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 150x180x6 mm;
3	2	BTEC.STS B.01.01.08	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 150x130x6 mm;
4	1	BTEC.STS B.01.01.06	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 450x250x6 mm;
5	2	DIN 126 - 11	Washers for hexagon bolts; Arandelas para tornillos hexagonales; Rondelles pour boulons hexagonaux;
7	1	BTEC.STS B.01.01.05	
8	2	IS 2636 - M 10	Wing Nuts; Tuercas con alas; Noix ailées.
9	2	Bolt GB/T 5783 M10 x 60	Hexagon; Tornillos; Boulons.

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
11	1	ISO 4015 - M8 x 30	Hexagon head bolts; Tornillos de cabeza hexagonal; Boulons à tête hexagonale.
12	1	DIN 126 - 9	Washers; Arandelas; Rondelles.
13	1	ISO 4032 - M8(1)	Hex Nut; Tuerca hexagonal; Écrou hexagonal.

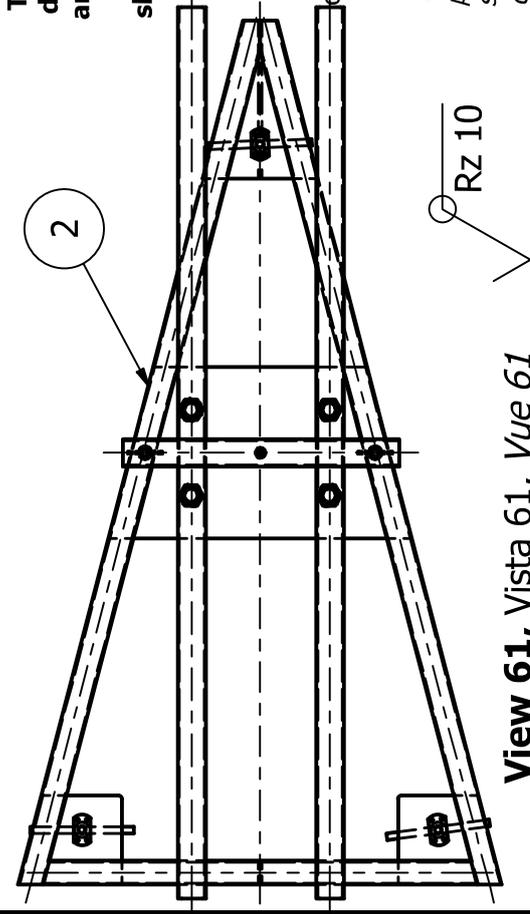
Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	
Scale 1:10				
Sun Tracker support base				
BTEC.STSB.01.01.11B		Edition 01		Sheet 19 / 25

Measwind R.S.S.L.
Calle Hermana Matilde, 37 - NAV,
Cariñena, 50400, Zaragoza.
CIF: B99113086

The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.

La información incluida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgarse, copiar o usar ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.



View 61, Vista 61, Vue 61

PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3000.0 00 mm	BTEC.STSB.01.01.03A Steel J 60x40x1.5-1300 GB/T 6728-2002	Cold formed steel hollow sections steel for general structure; Secciones huecas de acero conformado en frío de acero para estructura general; Profilés creux en acier formé à froid pour structure générale.
2	1	BTEC.STSB.01.01.11A	
3	4000.0 00 mm 1000	BS EN 10060 - 20 - 1000	Threaded steel bars; Barras de acero roscaadas; Barres filetées en acie.
4	16	ISO 4032 - M20(1)	Hex Nut; Tuerca hexagonal; Écrou hexagonal.

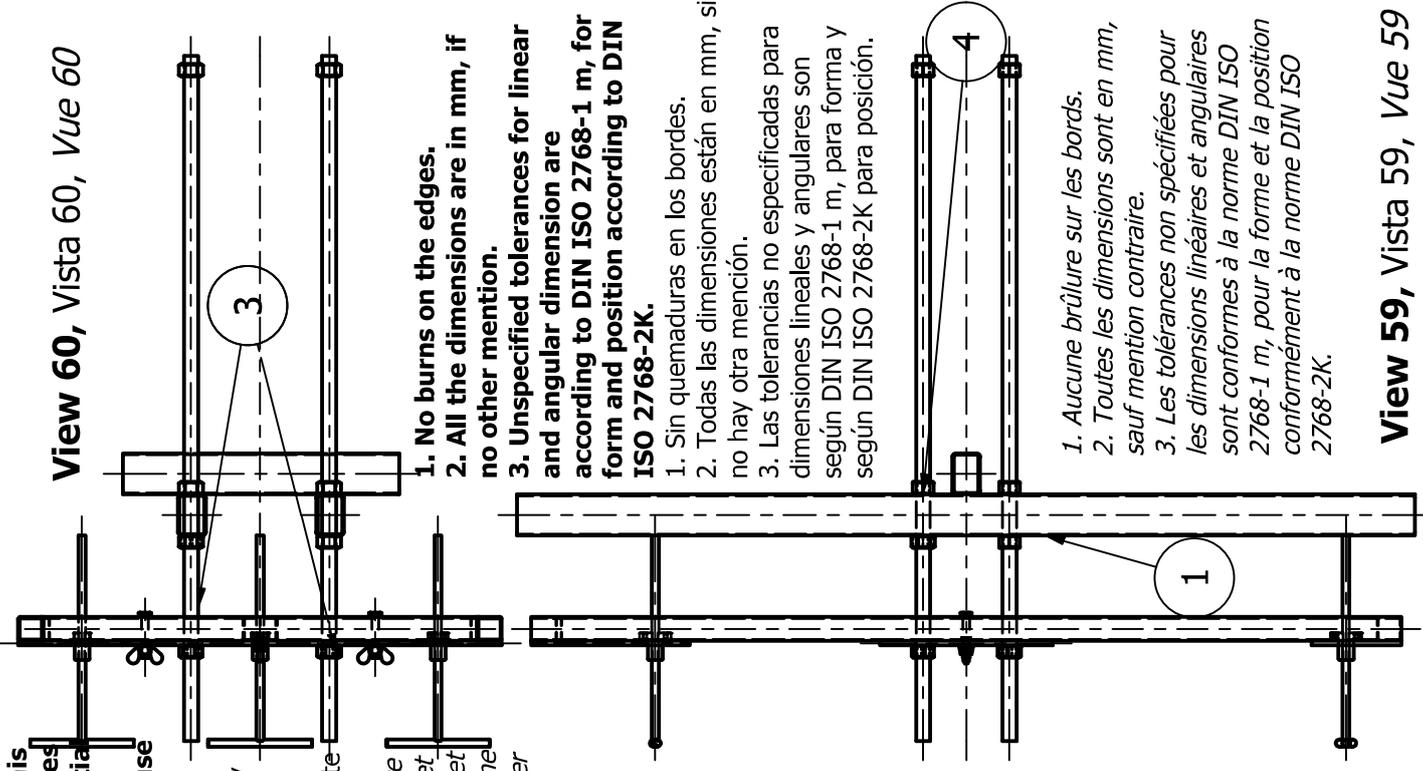
Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	Scale 1:10	Date 1/20/2020	
-----------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------	---------------	-------------------	--

measwind R.S.S.L.
Calle Hermana Matilde, 37 - NAV,
Carriñena, 50400, Zaragoza.
CIF: B99113086

Sun Tracker support base

BTEC.STSB.01.01.12A	Edition 01	Sheet 20 / 25
---------------------	---------------	------------------

View 60, Vista 60, Vue 60



1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

1. Sin quemaduras en los bordes.
2. Todas las dimensiones están en mm, si no hay otra mención.
3. Las tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares son según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.

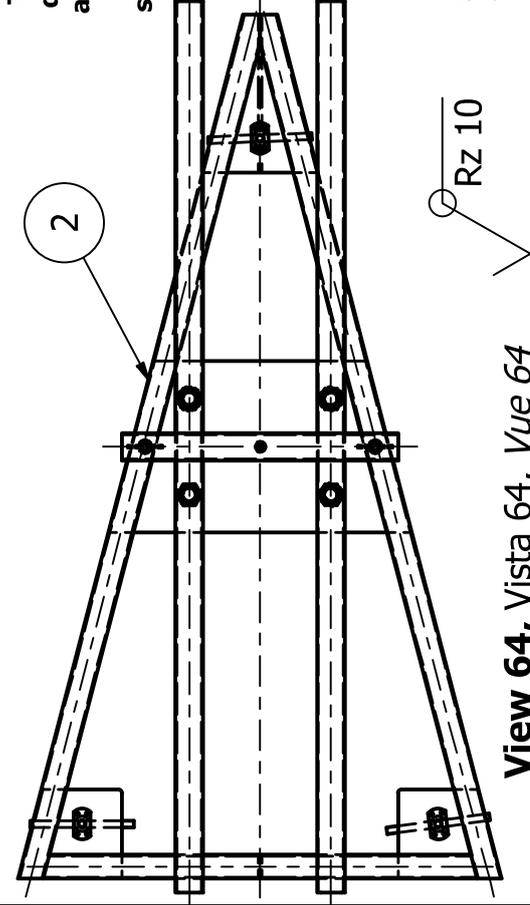
1. Aucune brûlure sur les bords.
2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

View 59, Vista 59, Vue 59

The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.

La información incluida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgarse, copiar o usar ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.



View 64, Vista 64, Vue 64

PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3000.0 00 mm	BTEC.STSB.01.01.03A Steel J 60x40x1.5-1300 GB/T 6728-2002	Cold formed steel hollow sections steel for general structure; Secciones huecas de acero conformado en frío de acero para estructura general; Profilés creux en acier formé à froid pour structure générale.
2	1	BTEC.STSB.01.01.11A	
3	4000.0 00 mm 1000	BS EN 10060 - 20 - 1000	Threaded steel bars; Barras de acero roscaadas; Barres filetées en acie.
4	16	ISO 4032 - M20(1)	Hex Nut; Tuerca hexagonal; Écrou hexagonal.

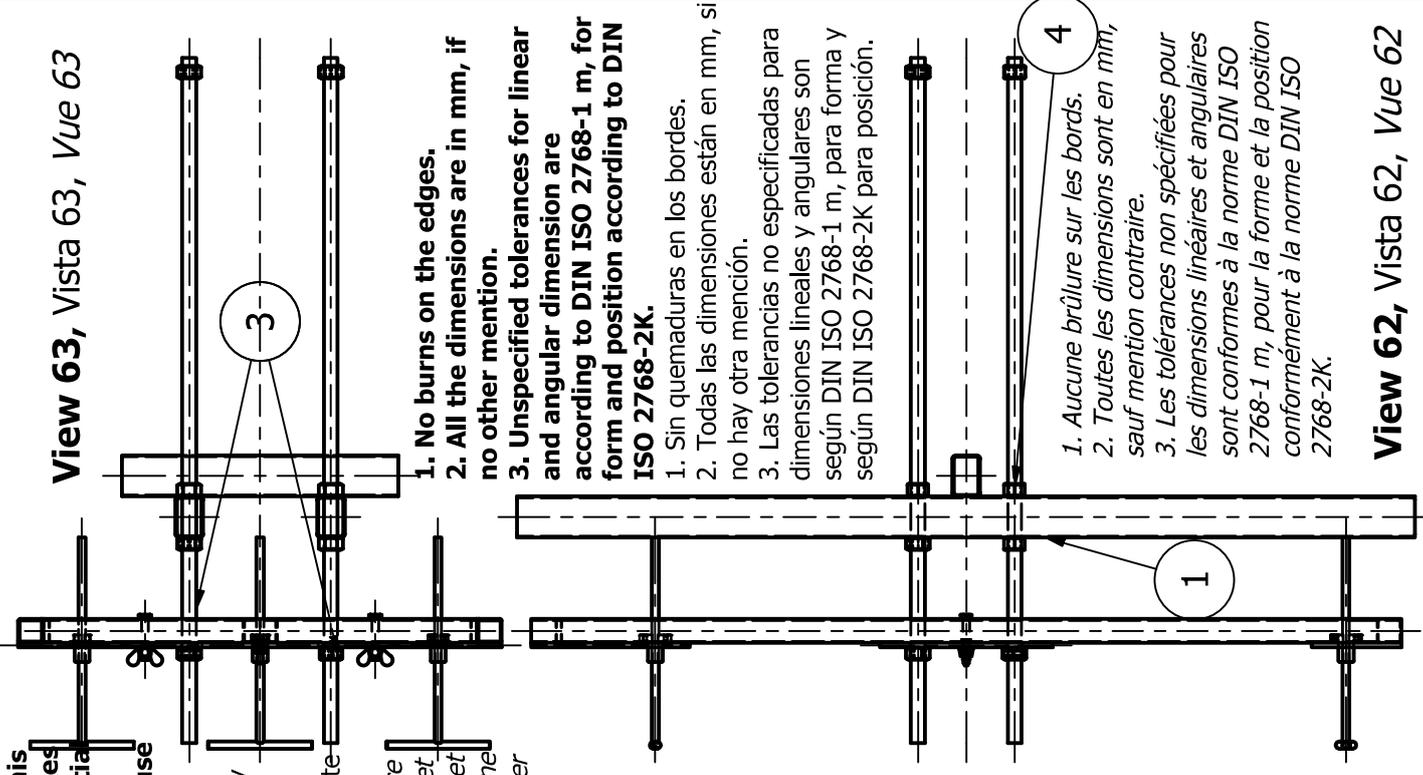
Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date 1/20/2020	Scale 1:10	Date 1/20/2020	
-----------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------	---------------	-------------------	--

mw
Calle Hermana Matilde, 37 - NAV,
Cariñena, 50400, Zaragoza.
CIF: B99113086

Sun Tracker support base

BTEC.STSB.01.01.12B	Edition 01	Sheet 21 / 25
---------------------	---------------	------------------

View 63, Vista 63, Vue 63

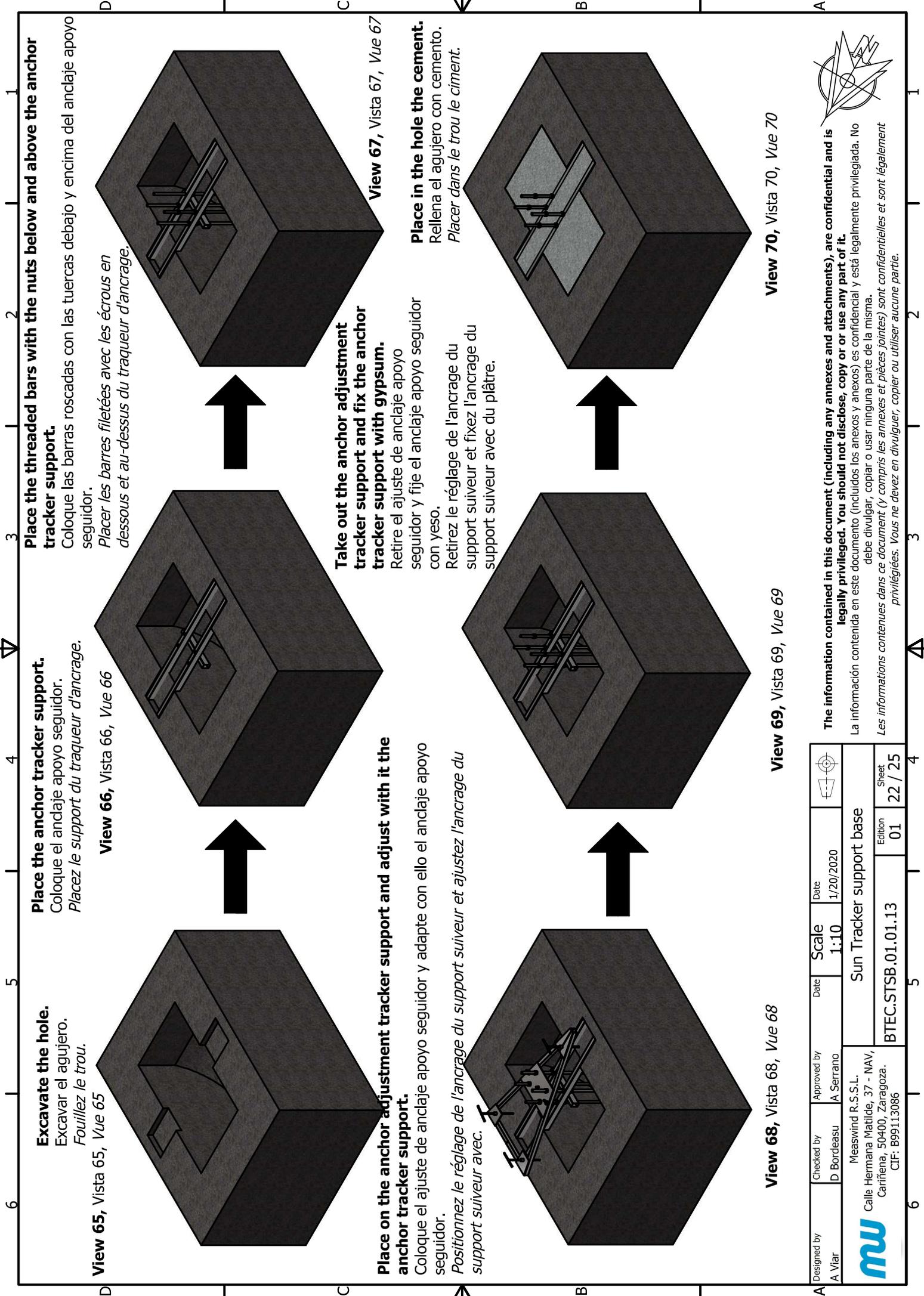


1. No burns on the edges.
2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.

1. Sin quemaduras en los bordes.
2. Todas las dimensiones están en mm, si no hay otra mención.
3. Las tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares son según DIN ISO 2768-1 m, para forma y según DIN ISO 2768-2K para posición.

1. Aucune brûlure sur les bords.
2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.

View 62, Vista 62, Vue 62



Excavate the hole.
Excavar el agujero.
Fouillez le trou.

View 65, Vista 65, Vue 65

Place the anchor tracker support.
Coloque el anclaje apoyo seguidor.
Placez le support du traqueur d'ancrage.

View 66, Vista 66, Vue 66

Place the threaded bars with the nuts below and above the anchor tracker support.
Coloque las barras roscadas con las tuercas debajo y encima del anclaje apoyo seguidor.
Placer les barres filetées avec les écrous en dessous et au-dessus du traqueur d'ancrage.

View 67, Vista 67, Vue 67

Place on the anchor adjustment tracker support and adjust with it the anchor tracker support.
Coloque el ajuste de anclaje apoyo seguidor y adapte con ello el anclaje apoyo seguidor.
Positionnez le réglage de l'ancrage du support suiveur et ajustez l'ancrage du support suiveur avec.

Take out the anchor adjustment tracker support and fix the anchor tracker support with gypsum.
Retire el ajuste de anclaje apoyo seguidor y fije el anclaje apoyo seguidor con yeso.
Retirez le réglage de l'ancrage du support suiveur et fixez l'ancrage du support suiveur avec du plâtre.

Place in the hole the cement.
Rellena el agujero con cemento.
Placer dans le trou le ciment.

View 68, Vista 68, Vue 68

View 69, Vista 69, Vue 69

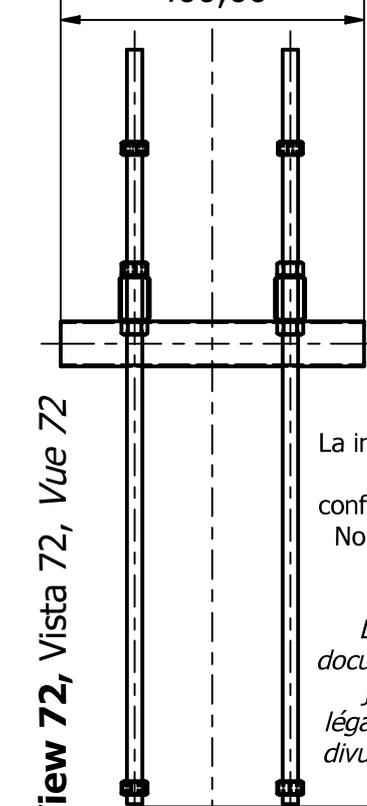
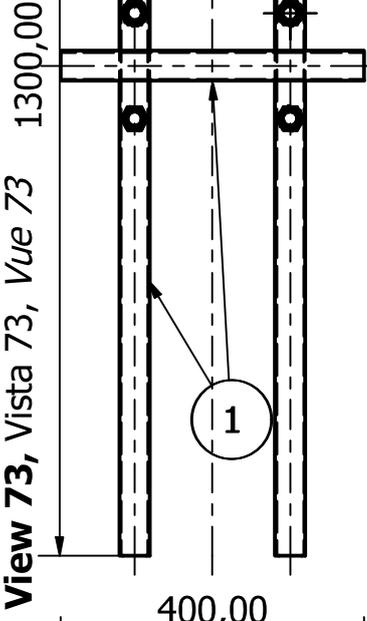
View 70, Vista 70, Vue 70

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Scale 1:10	Date 1/20/2020	Sun Tracker support base	
					Edition 01	Sheet 22 / 25
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086						

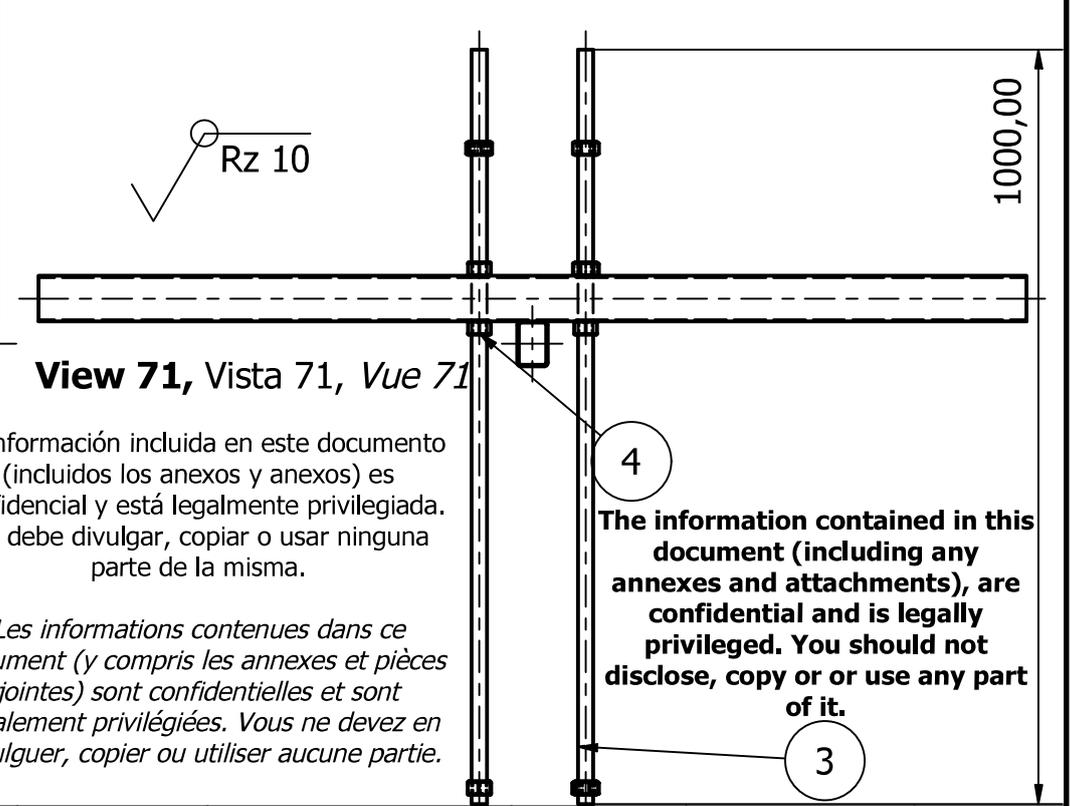
The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or use any part of it.
La información contenida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.
Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.



1. No burns on the edges.
 2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
 3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.
1. Sin quemaduras en los bordes.
 2. Todas las dimensiones están en mm, si no hay otra mención.
 3. Las tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares son según DIN ISO 2768-1 m, para forma y posición según DIN ISO 2768-2K.
1. Aucune brûlure sur les bords.
 2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
 3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3000 .000 mm	BTEC.STSB.0 1.01.03A Steel J 60x40x1.5-1 300 GB/T 6728-2002	Cold formed steel hollow sections steel for general structure; Secciones huecas de acero conformado en frío de acero para estructura general; Profilés creux en acier formé à froid pour structure générale.
3	4000 .000 mm	BS EN 10060 - 20 - 1000	Threaded steel bars; Barras de acero roscadas; Barres filetées en acie.
4	16	ISO 4032 - M20(1)	Hex Nut; Tuerca hexagonal; Écrou hexagonal.



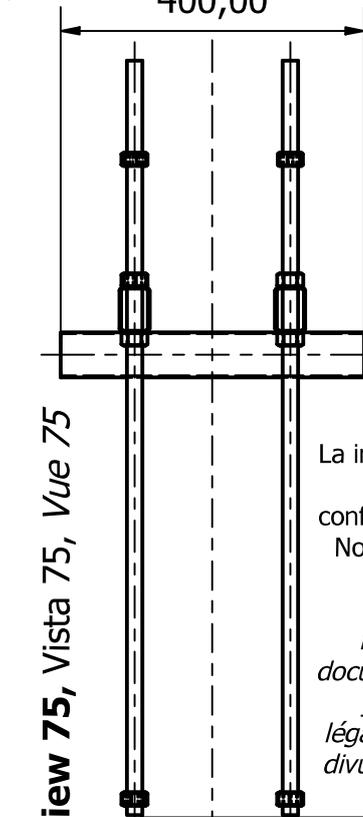
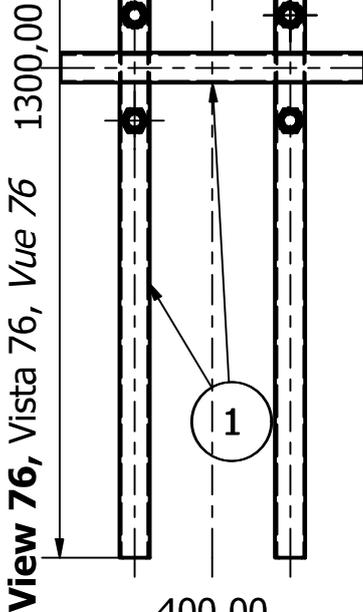
La información incluida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.

Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

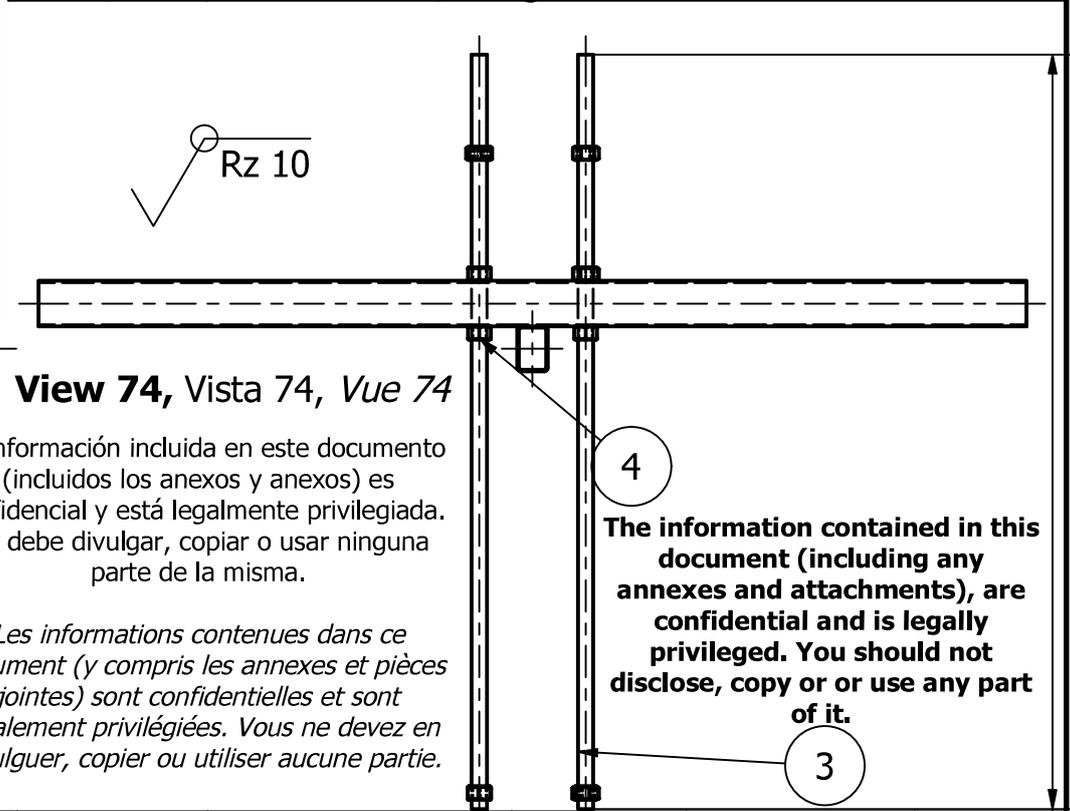
The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or or use any part of it.

Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date	Scale 1:10	Date 1/20/2020	
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086		Sun Tracker support base		BTEC.STSB .01.01.12A	Edition 01	Sheet 23 / 25

1. No burns on the edges.
 2. All the dimensions are in mm, if no other mention.
 3. Unspecified tolerances for linear and angular dimension are according to DIN ISO 2768-1 m, for form and position according to DIN ISO 2768-2K.
1. Sin quemaduras en los bordes.
 2. Todas las dimensiones están en mm, si no hay otra mención.
 3. Las tolerancias no especificadas para dimensiones lineales y angulares son según DIN ISO 2768-1 m, para forma y posición según DIN ISO 2768-2K.
1. Aucune brûlure sur les bords.
 2. Toutes les dimensions sont en mm, sauf mention contraire.
 3. Les tolérances non spécifiées pour les dimensions linéaires et angulaires sont conformes à la norme DIN ISO 2768-1 m, pour la forme et la position conformément à la norme DIN ISO 2768-2K.



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3000 .000 mm	BTEC.STSB.0 1.01.03A Steel J 60x40x1.5-1 300 GB/T 6728-2002	Cold formed steel hollow sections steel for general structure; Secciones huecas de acero conformado en frío de acero para estructura general; Profilés creux en acier formé à froid pour structure générale.
3	4000 .000 mm	BS EN 10060 - 20 - 1000	Threaded steel bars; Barras de acero roscadas; Barres filetées en acier.
4	16	ISO 4032 - M20(1)	Hex Nut; Tuerca hexagonal; Écrou hexagonal.



La información incluida en este documento (incluidos los anexos y anexos) es confidencial y está legalmente privilegiada. No debe divulgar, copiar o usar ninguna parte de la misma.

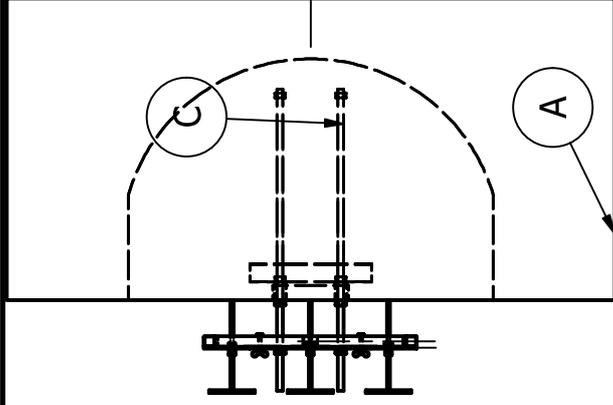
Les informations contenues dans ce document (y compris les annexes et pièces jointes) sont confidentielles et sont légalement privilégiées. Vous ne devez en divulguer, copier ou utiliser aucune partie.

The information contained in this document (including any annexes and attachments), are confidential and is legally privileged. You should not disclose, copy or or use any part of it.

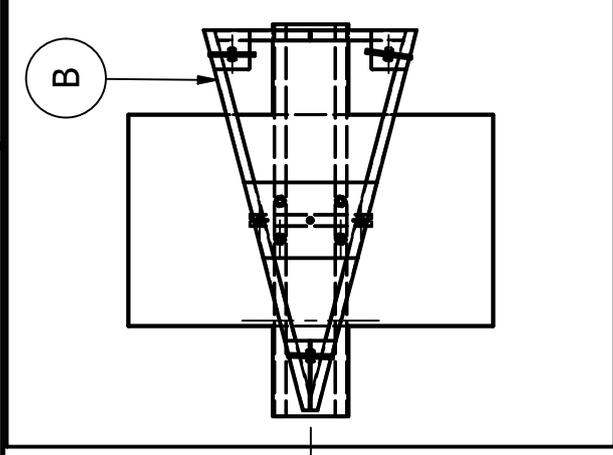
Designed by A Viar	Checked by D Bordeasu	Approved by A Serrano	Date	Scale 1:10	Date 1/20/2020	
Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086		Sun Tracker support base		BTEC.STSB.01.01.12B	Edition 01	Sheet 24 / 25

PARTS LIST	
ITEM QTY	PART NUMBER
A 1	BTEC.STSB.00.00.01
B 1	B00.03.00
C 1	B00.05.02

Rz 10



View 77, Vista 77, Vue 77



View 78, Vista 78, Vue 78

COMPONENTS C

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3000.0 00 mm	BTEC.STSB.01.01.03A Steel J 60x40x1.5-1300 GB/T 6728-2002	Cold formed steel hollow sections steel for general structure; Secciones huecas de acero conformado en frío de acero para estructura general; Profilés creux en acier formé à froid pour structure générale.
3	4000.0 00 mm	BS EN 10060 - 20 - 1000	Threaded steel bars; Barras de acero roscadas; Barres filetées en acier.
4	16	ISO 4032 - M20(1)	Hex Nut; Tuerca hexagonal; Écrou hexagonal.
Designed by		Checked by	Approved by
A Viar		D Bordeasu	A Serrano
		Date	Date
		Scale	1:25
		Date 1/20/2020	
Sun Tracker support base			
		Measwind R.S.S.L. Calle Hermana Matilde, 37 - NAV, Cariñena, 50400, Zaragoza. CIF: B99113086	
BTEC.STSB .01.01.14A		Edition 01	Sheet 25 / 25

COMPONENTS B			
ITEM QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	
1	330 0.00 0 mm	DIN EN 10305-5 - 35 x 35	Steel tubes for precision applications; Tubos de acero para aplicaciones de precisión; Tubes en acier pour applications de précision.
2	1	BTEC.STSB .01.01.07	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 150x180x6 mm;
3	2	BTEC.STSB .01.01.08	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 150x130x6 mm;
4	1	BTEC.STSB .01.01.06	Steel Metal sheet; Chapa de acero; Tôle d'acier. 450x250x6 mm;
5	2 11	DIN 126 - 11	Washers for hexagon bolts; Arandelas para tornillos hexagonales; Rondelles pour boulons hexagonaux;
7	1	BTEC.STSB .01.01.05	
8	2	IS 2636 - M 10	Wing Nuts; Tuercas con alas; Noix ailées.
9	2	Bolt GB/T 5783 M10 x.60	Hexagon; Tornillos; Boulons.

ANEXO IV: Cálculo de Cargas y Combinaciones de Acciones

En un primer lugar se van a estudiar las cargas soportadas por la estructura, éstas vienen dadas principalmente por la acción del peso propio, de la nieve y del viento. Los valores de las acciones permanentes, las sobrecargas de uso y nieve y la acción del viento se encuentran en el Código Técnico de la Edificación dentro del documento de seguridad estructural sobre acciones en la edificación (DB-SE-AE) [6]. Durante la redacción de este Trabajo Fin de Máster, no existe en España una norma específica para seguidores solares por lo que se utilizará dicho código.

La ubicación elegida para el cálculo de las cargas es la localidad de Lumpiaque (Zaragoza).

Para el cálculo de dichas cargas se va a tener en cuenta tanto la ubicación de nuestro seguidor solar cómo las recomendaciones del fabricante "STI Norland". Las cargas se van a introducir en el modelo 3D generado en *Dlubal RFEM 5* y posteriormente estudiar las reacciones generadas en el anclaje al terreno.

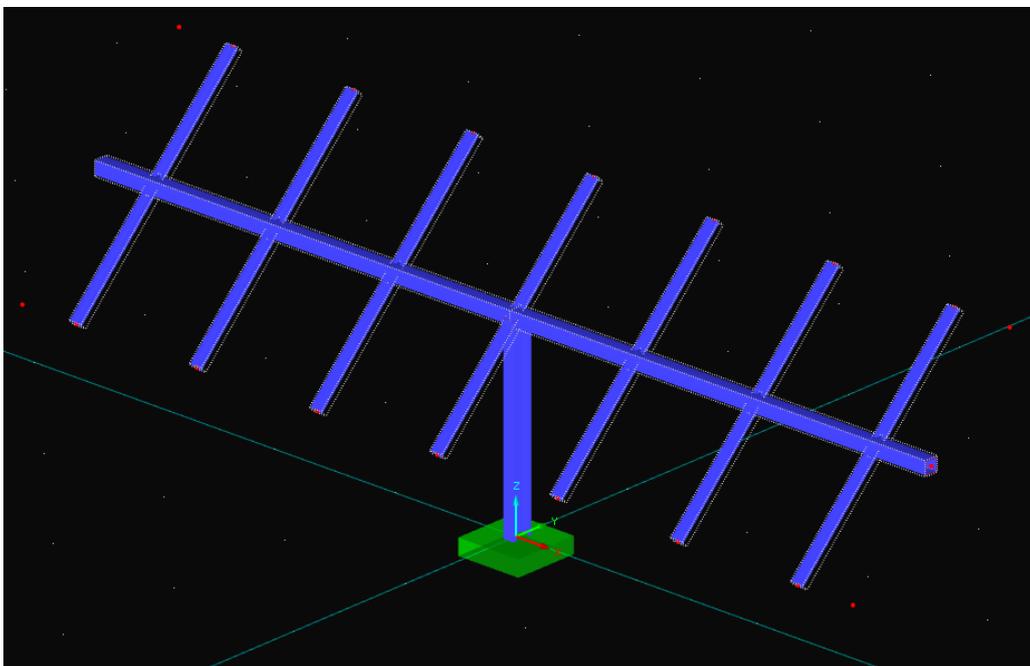


Figura 18: Modelo 3D RFEM tramo STI-H250.

Se han utilizado tres tipos de perfiles metálicos para el seguidor: para el poste de anclaje al terreno, para el eje de torsión y para los soportes de los módulos fotovoltaicos.

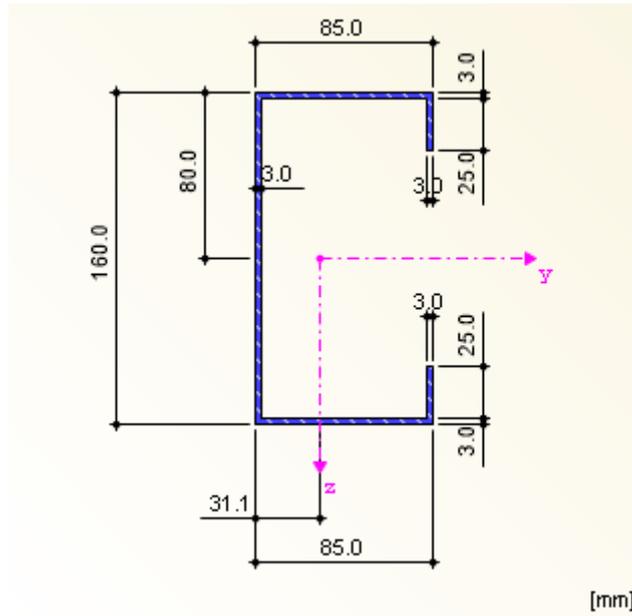


Figura 19: Perfil en forma de C del poste STI-H250.

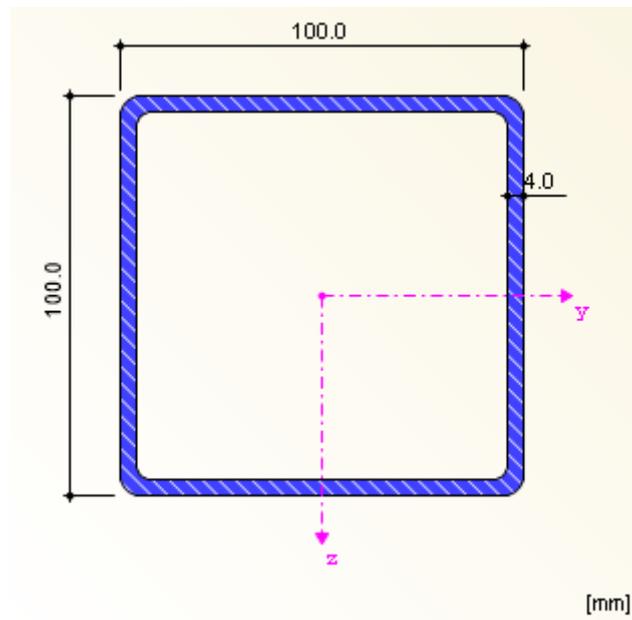


Figura 20: Perfil cuadrado hueco del eje de torsión STI-H250.

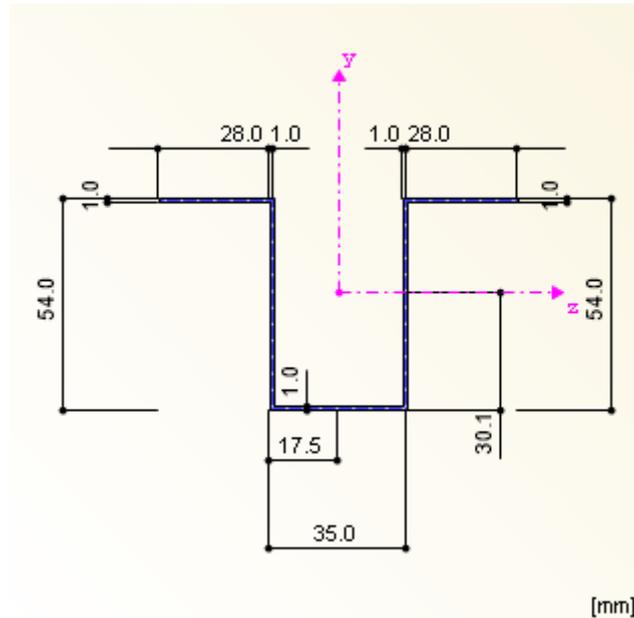


Figura 21: Perfil soportes módulos fotovoltaicos STI-H250.

Peso Propio

Las acciones producidas por el propio peso de los diferentes elementos que componen el seguidor se pueden diferenciar en dos grandes grupos de elementos o materiales, estos elementos son el acero estructural y los módulos fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos utilizados son los del modelo TSM-PE14H del fabricante chino TrinaSolar.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Multicrystalline 156.75 × 78.375 mm
Cell Orientation	144 cells (6 x 24)
Module Dimensions	2000 × 992 × 40 mm
Weight	23 kg
Glass	3.2 mm, high transparency, AR coated and heat tempered solar glass
Backsheet	White
Frame	Silver Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 67 or IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² , Portrait: N 140mm/P 285mm, Landscape: N 1400 mm/P 1400 mm
Connector	MC4 EVO2/UTX/TS4

Figura 22: Características técnicas módulos TSM-PE14H. [7]

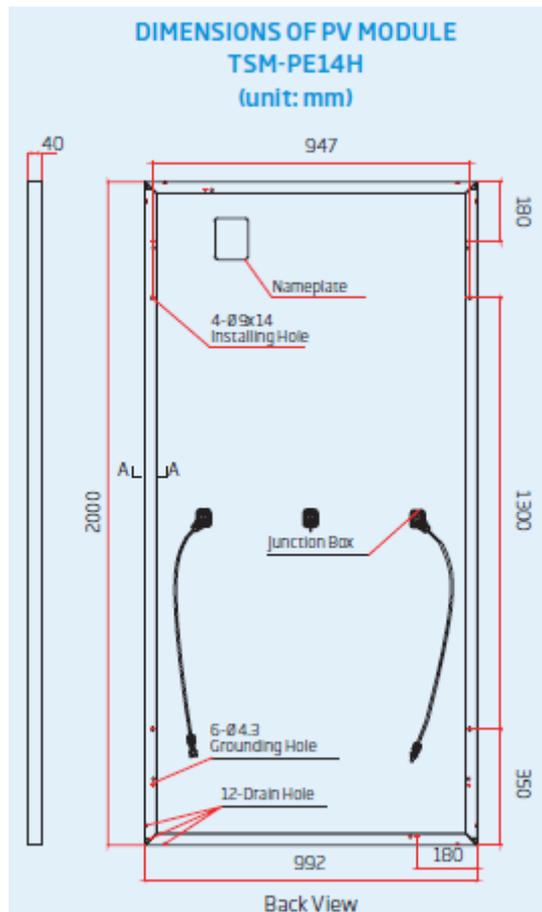


Figura 23: Dimensiones módulos TSM-PE14H. [7]

Los módulos tienen un peso propio de 23 kg por unidad, por lo que la fuerza por unidad de superficie de los módulos que la estructura debe de soportar es:

$$q_{MF} = \frac{23 \cdot 9,81}{(0,992 \cdot 2)} = 113,72 \frac{N}{m^2} = 0,11372 \frac{kN}{m^2}$$

Los diferentes componentes estructurales de nuestro seguidor son de acero Q345B. Las principales propiedades de este acero son:

Properties of Outline Row 4: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	7820	kg m ⁻³	
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
4	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C ⁻¹	
5	Zero-Thermal-Strain Reference Temperature	22	C	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0.25		
10	Bulk Modulus	1.3333E+11	Pa	
11	Shear Modulus	8E+10	Pa	
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	345	MPa	
25	Compressive Yield Strength	400	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	470	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	
28	Isotropic Thermal Conductivity	60.5	W m ⁻¹ ...	
29	Specific Heat	434	J kg ⁻¹ ...	
30	Isotropic Relative Permeability	10000		
31	Isotropic Resistivity	1.7E-07	ohm m	

Figura 24: Principales propiedades Acero Q345B. [10]

Nieve

El valor de la carga de nieve en proyección horizontal por unidad de superficie es:

$$q_n = c_t \cdot c_e \cdot \mu \cdot s_k$$

Siendo:

c_t	Coficiente Térmico
c_e	Coficiente de Exposición
μ	Coficiente de Forma
s_k	Carga de Nieve

El Coeficiente Térmico debe de tenerse en cuenta para cubiertas con alta transmitancia térmica ($>1\text{W/m}^2\text{K}$). En nuestro caso, al no tratarse de una cubierta de dichas características, toma valor $c_t = 1$.

Tomamos $c_e = 1,2$, ya que consideramos la peor de las situaciones en cuanto a topografía: emplazamiento rodeado de árboles y/o rodeado de obras de construcción más altas.

El coeficiente de forma (μ) de nuestro seguidor cumple las condiciones de asemejarse a un techo de una única pendiente, por lo que para una cubierta en la que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para una inclinación

menor o igual que 30° y 0 para aquellas con inclinación de mayor o igual que 60° (para valores intermedios se interpola linealmente) [6]. De esta manera, para inclinaciones de 0°, 30° y 45°:

$$\frac{\mu - 1}{0 - 1} = \frac{X^\circ - 30^\circ}{60^\circ - 30^\circ}$$

	0°	30°	45°
μ	1	1	0,5



Figura 25: Zonas climáticas de invierno. [6]

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Figura 26: Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal. [6]

Viendo las Figuras 25 y 26 extraída del CTE, vemos que para una altura de unos 300 m.s.n.m en la Zona Climática 2 (Zaragoza) el valor es de 0,55 kN/m².

Recopilados todos los valores, la carga de nieve en proyección horizontal para nuestro seguidor es:

$$q_n = C_t \cdot C_e \cdot \mu \cdot s_k$$

$$q_n (0^\circ) = q_n (30^\circ) = 1 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 0.55 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$
$$q_n (45^\circ) = 1 \cdot 1.2 \cdot 0.5 \cdot 0.55 = 0,33 \text{ kN/m}^2$$

Viento

Por último la acción del viento es la presión estática, que es la fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto. Ésta se expresa de la siguiente manera:

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

Siendo:

q _b	Presión dinámica del viento
c _e	Coefficiente de Exposición
c _p	Coefficiente Eólico o de Presión

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse de la expresión [6]:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

Donde δ es la densidad del aire y v_b el valor básico de velocidad del viento. La densidad del aire depende de múltiples factores, como pueden ser la altitud, la temperatura y la fracción de agua en suspensión. En general puede adoptarse el valor de 1,25 kg/m³. El valor básico del aire se obtiene del mapa de la figura 27. Sabiendo el emplazamiento de nuestra instalación, el valor de la velocidad es de 27 m/s [6]. STI Norland especifica que para velocidades por debajo de 10 m/s el seguidor puede trabajar dentro de su rango de +/- 55°, pero para velocidades superiores el seguidor solar se pone en posición de bandera (Horizontal, 0°) llegando a resistir velocidades de hasta 140 km/h.

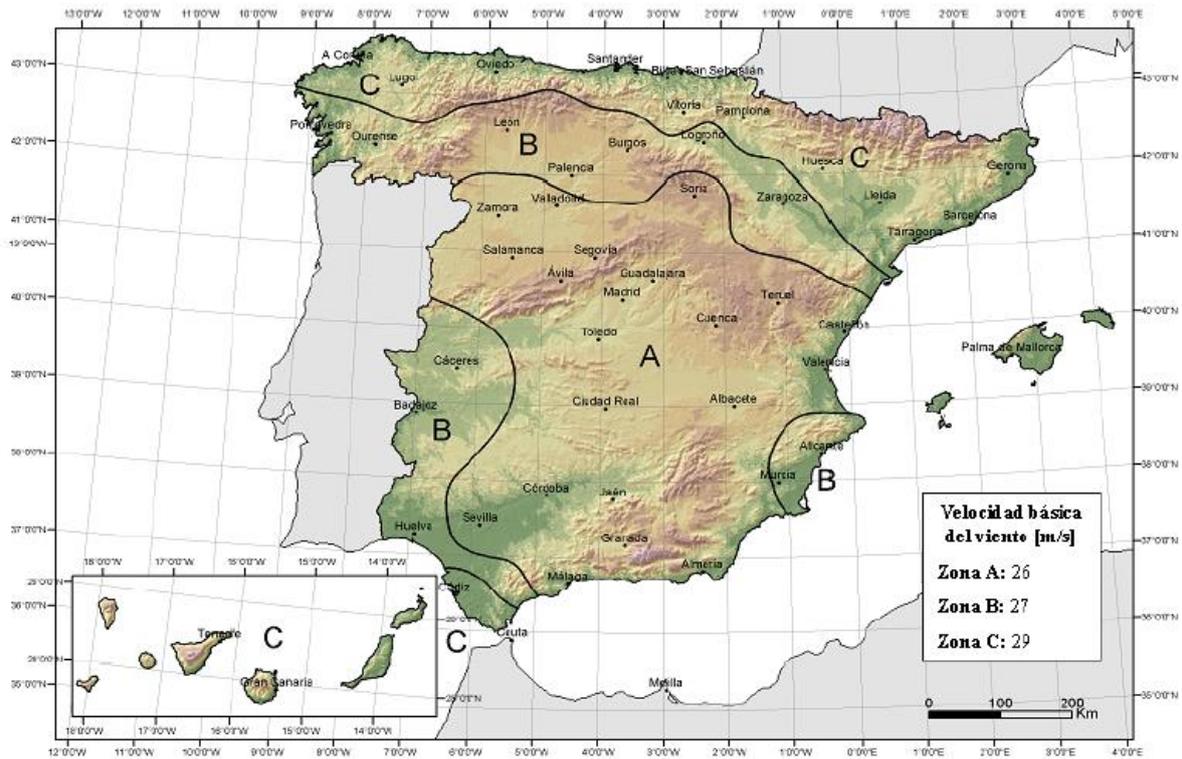


Figura 27: Valor básico de la velocidad del viento. [6]

De esta manera, los valores básicos de las presiones dinámicas del viento para las tres velocidades son:

$$q_b(10 \text{ m/s}) = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 10^2 = 0,062 \text{ kN/m}^2$$

$$q_b(27 \text{ m/s}) = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 0,456 \text{ kN/m}^2$$

$$q_b(39 \text{ m/s}) = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 39^2 = 0,945 \text{ kN/m}^2$$

El coeficiente de exposición para alturas sobre terreno (z) no mayores de 200 m, puede determinarse de la siguiente manera, siendo k , L , Z parámetros característicos de cada tipo de entorno, según Figura 28:

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

$$F = k \cdot \ln(\max(z, Z)/L)$$

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	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

Figura 28: Coeficientes para cada tipo de entorno. [6]

Teniendo en cuenta, que la altura máxima (z) que nuestro seguidor puede tomar para las diferentes inclinaciones es de:

$$z(0^\circ) = z_{\text{pilar}} + z_{\text{módulo } 30^\circ} = 1,48 + \frac{2 \cdot \text{sen}(0^\circ)}{2} = 1,480 \text{ m}$$

$$z(30^\circ) = z_{\text{pilar}} + z_{\text{módulo } 30^\circ} = 1,48 + \frac{2 \cdot \text{sen}(30^\circ)}{2} = 1,980 \text{ m}$$

$$z(45^\circ) = z_{\text{pilar}} + z_{\text{módulo } 45^\circ} = 1,48 + \frac{2 \cdot \text{sen}(45^\circ)}{2} = 2,187 \text{ m}$$

Sabiendo la altura y que el entorno donde estará alojada nuestra instalación será en la Zona III, el valor del coeficiente de exposición será de:

$$F(0^\circ) = 0,19 \cdot \ln(2/0,05) = 0,701$$

$$c_e(0^\circ) = 0,701 \cdot (0,701 + 7 \cdot 0,19) = 1,423$$

$$F(30^\circ) = 0,19 \cdot \ln(2/0,05) = 0,701$$

$$c_e(30^\circ) = 0,701 \cdot (0,701 + 7 \cdot 0,19) = 1,423$$

$$F(45^\circ) = 0,19 \cdot \ln(2,187/0,05) = 0,718$$

$$c_e(45^\circ) = 0,718 \cdot (0,718 + 7 \cdot 0,19) = 1,47$$

El coeficiente eólico o de presión (c_p), dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Al no tratarse de normas específicas para seguidores solares, se debe buscar entre las formas de estructuras incluidas cual es la que mejor se asemeja al seguidor. Esta forma es la de marquesina a un agua, sin embargo, sólo se dan valores de coeficientes eólicos para inclinaciones de 0° a 30° . En el presente proyecto se van a utilizar los valores asociados a una inclinación de 30° . Lo idóneo sería someter a un túnel de viento o a una simulación de fluidos la estructura con una inclinación mayor pero al no ser ese el objetivo de este TFM, este análisis no se va a realizar. Por lo que, para las inclinaciones de 0° , 30° , 45° y para las velocidades de 10 m/s, 27 m/s y 39 m/s los valores de la presión estática son:

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,0625	1,470	0,5	0,046
B			1,8	0,165
C			1,1	0,101

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,0625	1,470	-0,6	-0,055
B			-1,3	-0,119
C			-1,4	-0,129

Tabla 10: Valores de la presión estática para: Inclinación de 0° ; Velocidad de 10 m/s

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,4556	1,470	0,5	0,335
B			1,8	1,206
C			1,1	0,737

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,4556	1,470	-0,6	-0,402
B			-1,3	-0,871
C			-1,4	-0,938

Tabla 11: Valores de la presión estática para: Inclinación de 0°; Velocidad de 27 m/s

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,9452	1,470	0,5	0,695
B			1,8	2,501
C			1,1	1,529

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,9452	1,470	-0,6	-0,834
B			-1,3	-1,806
C			-1,4	-1,945

Tabla 12: Valores de la presión estática para: Inclinación de 0°; Velocidad de 39 m/s

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,0625	1,423	2,2	0,196
B			3,2	0,285
C			2,4	0,214

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,0625	1,423	-3	-0,267
B			-3,8	-0,338
C			-3,6	-0,320

Tabla 13: Valores de la presión estática para: Inclinación de 30°; Velocidad de 10 m/s

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,4556	1,423	2,2	1,427
B			3,2	2,075
C			2,4	1,557

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,4556	1,423	-3	-1,946
B			-3,8	-2,464
C			-3,6	-2,335

Tabla 14: Valores de la presión estática para: Inclinación de 30°; Velocidad de 27 m/s

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,9452	1,423	2,2	2,960
B			3,2	4,305
C			2,4	3,229

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,9452	1,423	-3	-4,036
B			-3,8	-5,113
C			-3,6	-4,844

Tabla 15: Valores de la presión estática para: Inclinación de 30°; Velocidad de 39 m/s

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,0625	1,470	2,2	0,202
B			3,2	0,294
C			2,4	0,221

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,0625	1,470	-3	-0,276
B			-3,8	-0,349
C			-3,6	-0,331

Tabla 16: Valores de la presión estática para: Inclinación de 45°; Velocidad de 10 m/s

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,4556	1,470	2,2	1,474
B			3,2	2,143
C			2,4	1,608

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,4556	1,470	-3	-2,009
B			-3,8	-2,545
C			-3,6	-2,411

Tabla 17: Valores de la presión estática para: Inclinación de 45°; Velocidad de 27 m/s

Efecto de Presión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,9452	1,470	2,2	3,057
B			3,2	4,447
C			2,4	3,335

Efecto de Succión				
Zona	q_b [kN/m ²]	C_e	C_p	q_e [kN/m ²]
A	0,9452	1,470	-3	-4,169
B			-3,8	-5,280
C			-3,6	-5,003

Tabla 18: Valores de la presión estática para: Inclinación de 45°; Velocidad de 39 m/s

Como la q_e es diferente para las zonas A, B y C, debemos de calcular la q_e equivalente o promedio. Al calcular un único tramo de seguidor para simplificar los cálculos y al ver la dirección del viento podemos aumentar las superficies correspondientes a las zonas A y C suprimiendo de esta manera las zonas correspondientes a B, ya que no nos encontramos en los extremos del seguidor.

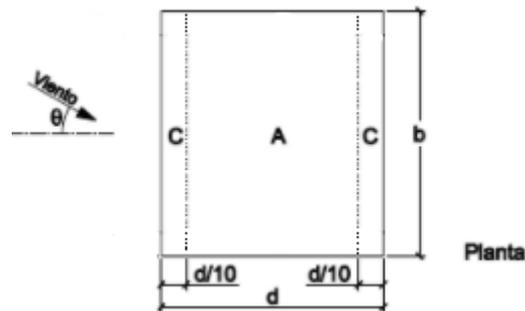


Figura 29: Zonas A y C para el cálculo de la q_e equivalente o promedio

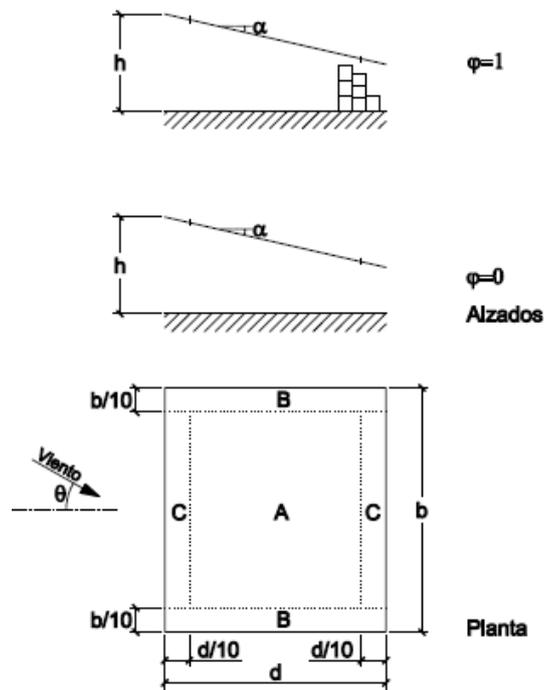
$$q_e = \frac{2}{10} \cdot q_e(C) + \frac{8}{10} \cdot q_e(A)$$

Ecuación 7: Cálculo q_e equivalente

Las q_e equivalente o promedio para las distintas combinaciones de inclinación y velocidad son:

Inclinación [°]	Velocidad [m/s]	Efecto de Presión [kN/m ²]	Efecto de Succión [kN/m ²]
0	10	0,057	-0,069
	27	0,415	-0,509
	39	0,861	-1,056
30	10	0,199	-0,277
	27	1,452	-2,023
	39	3,013	-4,197
45	10	0,205	-0,286
	27	1,5	-2,089
	39	3,112	-4,335

Tabla 19: q_e para las distintas combinaciones de inclinación y velocidad.



		Coeficientes de presión exterior			
		$C_{p,10}$			
Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción φ	Zona (según figura)		
			A	B	C
0°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,5	1,8	1,1
	Arriba	0	-0,6	-1,3	-1,4
	Arriba	1	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,8	2,1	1,3
	Arriba	0	-1,1	-1,7	-1,8
	Arriba	1	-1,6	-2,2	-2,5
10°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,2	2,4	1,6
	Arriba	0	-1,5	-2,0	-2,1
	Arriba	1	-2,1	-2,6	-2,7
15°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,4	2,7	1,8
	Arriba	0	-1,8	-2,4	-2,5
	Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
20°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,7	2,9	2,1
	Arriba	0	-2,2	-2,8	-2,9
	Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
25°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,0	3,1	2,3
	Arriba	0	-2,6	-3,2	-3,2
	Arriba	1	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,2	3,2	2,4
	Arriba	0	-3,0	-3,8	-3,6
	Arriba	1	-1,5	-2,2	-2,7

Figura 30: Coeficientes de presión exterior. [6]

Combinaciones de Acciones

Para las acciones permanentes los valores característicos corresponden a los valores medios del peso de cada material. En las acciones variables el valor característico se determina con un criterio probabilístico. Las acciones características son las que tienen una probabilidad de un 5% de ser superadas en la vida útil de la obra [8].

El valor de cálculo de una acción permanente se define con la siguiente expresión:

$$G_d = \gamma_G \cdot G_k$$

Ecuación 8: Cálculo de la acción permanente

donde:

- γ_G Coeficiente parcial de seguridad para las acciones permanentes.
- G_k Valor característico de la acción permanente.

El valor de cálculo de una acción variable dominante, entendiéndose por tal aquella acción de entre las variables que provoca el efecto más desfavorable en la estructura portante, elemento estructural o unión, queda definido por:

$$Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k$$

Ecuación 9: Cálculo de la acción variable

donde:

- γ_Q Coeficiente parcial de seguridad para las acciones variables.
- Q_k Valor característico de la acción variable.

Los coeficientes parciales de seguridad para las acciones que han aparecido en las expresiones anteriores se recogen en la siguiente figura:

Tipo de verificación	Tipo de acción	Carácter de la acción	
		desfavorable / desestabilizadora	favorable / estabilizadora
Resistencia	Peso propio, cargas permanentes	1,35	0,8
	Variable	1,50	0
Estabilidad	Peso propio, cargas permanentes	1,10	0,9
	Variable	1,50	0

Figura 31: Coeficientes parciales de seguridad para las acciones. [8]

El valor de cálculo de una acción variable concomitante con la acción variable dominante depende de su probabilidad de aparición simultánea. A efectos prácticos, dicho valor podrá ser representado a través de uno de los tres valores representativos siguientes: valor de combinación, valor frecuente, y valor casi permanente, que se obtienen a partir del valor característico ponderado con un coeficiente de simultaneidad ψ [8]. Así, el valor de combinación viene dado por:

$$\psi_0 \cdot Q_K$$

siendo ψ_0 el coeficiente de simultaneidad para el valor de combinación de una acción variable. El valor frecuente viene se calcula según:

$$\psi_1 \cdot Q_K$$

donde ψ_1 es el coeficiente de simultaneidad para el valor frecuente de una acción variable. Finalmente, el valor casi- permanente viene dado por:

$$\psi_2 \cdot Q_K$$

siendo ψ_2 el coeficiente de simultaneidad para el valor casi- permanente de una acción variable.

Los valores numéricos para los coeficientes ψ_0 , ψ_1 y ψ_2 se encuentran, para distintas acciones variables concomitantes, en la tabla de la Figura 32.

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas(Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Figura 32: Coeficientes de simultaneidad para las acciones. [6]

La acción permanente y las acciones variables son las descritas a continuación:

- CC1: Peso Propio *Permanente*
- CC2: Nieve *Variable*
- CC3: Viento (Succión) *Variable*
- CC4: Viento (Presión) *Variable*

Los valores de los coeficientes de seguridad empleados para establecer las combinaciones de acciones que deben ser tenidas en cuenta en el cálculo dependen de que se vaya a

verificar un estado límite último (ELU) o un estado límite de servicio (ELS), siendo más elevados en el primer caso.

Una vez definidos y calculados en el apartado anterior, las diferentes combinaciones de cargas posibles teniendo en cuenta los coeficientes de seguridad y de simultaneidad son las descritas a continuación:

- CO1: $1,35 \cdot CC1$
 - CO2: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC2$
 - CO3: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC2 + 0,9 \cdot CC3$
 - CO4: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC2 + 0,9 \cdot CC4$
 - CO5: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC3$
 - CO6: $1,35 \cdot CC1 + 1,5 \cdot CC4$
 - CO7: $1,35 \cdot CC1 + 0,75 \cdot CC2 + 1,5 \cdot CC3$
 - CO8: $1,35 \cdot CC1 + 0,75 \cdot CC2 + 1,5 \cdot CC4$
 - CO9: $CC1$
 - CO10: $CC1 + CC2$
 - CO11: $CC1 + CC2 + 0,6 \cdot CC3$
 - CO12: $CC1 + CC2 + 0,6 \cdot CC4$
 - CO13: $CC1 + CC3$
 - CO14: $CC1 + CC4$
 - CO15: $CC1 + 0,5 \cdot CC2 + CC3$
 - CO16: $CC1 + 0,5 \cdot CC2 + CC4$
 - CO17: $CC1 + 0,2 \cdot CC2$
 - CO18: $CC1 + 0,5 \cdot CC3$
 - CO19: $CC1 + 0,5 \cdot CC4$
-
- CR1: ELU - Permanente / transitoria
 - CR2: ELS - Característica
 - CR3: ELS - Frecuente
 - CR4: ELS - Cuasi permanente

Para el cálculo de los esfuerzos en los apoyos se ha utilizado el software informático *Dlubal RFEM 5*. Interesa conocer las reacciones en los apoyos empotrados en el suelo del seguidor para posteriormente diseñar los anclajes.

A continuación se muestran los resultados, en valor absoluto, para el Estado Límite Último (ELU) para cada una de las velocidades de viento e inclinaciones del seguidor. Se ha decidido estudiar el seguidor para dicho estado ya que si se sobrepasan dichos valores, se produce colapso de la estructura o agotamiento resistente. Son valores más restrictivos que para el Estado Límite de Servicio (ELS), estado en el que la estructura ya no es capaz de cumplir la función para la cual fue proyectada (deformación excesiva, vibraciones...). El ELU lo define las reacciones más restrictivas de cada una de las combinaciones de cargas, de esta manera:

[kN]		Velocidad			Combinación de Carga
Inclinación	Esfuerzo	10 m/s	27 m/s	39 m/s	
0°	F _x	0,03	0,21	0,42	CO7
	M _z	0,04	0,29	0,56	CO7
	F _y - Comp.	22,82	27,28	32,07	CO4
	F _y - Tracc.	2,12	6,99	16,77	CO5
30°	F _x	3	20,94	43,37	CO7
	M _z	4,47	28,49	57,48	CO7
	F _y - Comp.	14,24	34,16	72,99	CO4
	F _y - Tracc.	3,08	33,09	61,01	CO5
45°	F _x	4,24	30,59	63,46	CO7
	M _z	6,27	44,39	70,21	CO7
	F _y - Comp.	7,99	30,59	45,56	CO4
	F _y - Tracc.	2,13	21,96	63,46	CO5

Tabla 20: Resultados para el ELU para cada una de las velocidades e inclinaciones del seguidor.

ANEXO V: Diseño y análisis de las cimentaciones.

A continuación se exponen los diseños de las cimentaciones analizadas. Las cargas y reacciones son las estudiadas para las condiciones de 45° de inclinación y 10 m/s de velocidad del viento.

El procedimiento llevado a cabo ha sido el siguiente: en primer lugar, se ha diseñado el modelo y sus componentes en Autodesk Inventor; posteriormente se ha importado dicho archivo CAD 3D (.stp) en ANSYS, software encargado de analizar el modelo mediante elementos finitos.

Los materiales utilizados en el modelo 3D son el acero estructural Q345B, cemento reforzado y tierra.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7820	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,25			
10	Bulk Modulus	1,3333E+11	Pa		
11	Shear Modulus	8E+10	Pa		
12	Tensile Yield Strength	345	MPa		
13	Compressive Yield Strength	400	MPa		
14	Tensile Ultimate Strength	470	MPa		
15	Compressive Ultimate Strength	0	MPa		

Figura 33: Propiedades del Acero Estructural Q345B [9].

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2300	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,4E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus...			
8	Young's Modulus	3E+10	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,18			
10	Bulk Modulus	1,5625E+10	Pa		
11	Shear Modulus	1,2712E+10	Pa		
12	Tensile Yield Strength	30	MPa		
13	Compressive Yield Strength	300	MPa		
14	Tensile Ultimate Strength	30	MPa		
15	Compressive Ultimate Strength	450	MPa		

Figura 34: Propiedades del Cemento Reforzado [9].

Properties of Outline Row 6: Soil NL				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	 
2	 Material Field Variables	Table		
3	 Density	1800	kg m ⁻³	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	 Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>
5	Derive from	Young's Modulus...		
6	Young's Modulus	600	MPa	<input type="checkbox"/>
7	Poisson's Ratio	0,35		<input type="checkbox"/>
8	Bulk Modulus	6,6667E+08	Pa	<input type="checkbox"/>
9	Shear Modulus	2,2222E+08	Pa	<input type="checkbox"/>
10	 Tensile Yield Strength	2,5	MPa	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11	 Tensile Ultimate Strength	1	MPa	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
12	 Drucker-Prager			<input type="checkbox"/>
13	 Drucker-Prager Base			<input type="checkbox"/>
14	Uniaxial Compressive Strength	2	MPa	<input type="checkbox"/>
15	Uniaxial Tensile Strength	1	MPa	<input type="checkbox"/>
16	Biaxial Compressive Strength	3	MPa	<input type="checkbox"/>

Figura 35: Propiedades de la Tierra [9].

ANSYS necesita saber el tipo de conexión que existe entre los diferentes componentes. Para el contacto entre acero y cemento se elige una conexión tipo “bonded” (no se permite deslizamiento o separación entre caras o bordes), para el contacto entre el acero-tierra y cemento-tierra se utiliza un factor de fricción de 0,4 [36].

Materiales de interfaz	Factor de fricción $tg(\delta)$	Ángulo de fricción δ°
Pilotes de acero contra los siguientes suelos:		
<i>Gravilla limpia, mezcla de arena-gravilla, rocas bien clasificadas rellena de ripio</i>	0,4	22
<i>Arena limpia, mezcla de arena limosa –gravilla, tamaño único de rocas pesadas rellenas</i>	0,3	17
<i>Arcilla arenosa, gravilla o arena mezclada con limo o arcilla</i>	0,25	14
<i>Arena fina y limosa, limo no plástico</i>	0,20	11
Formado de hormigón o láminas de hormigón vs los siguientes suelos:		
<i>Gravilla limpia, mezcla de arena-gravilla, rocas bien clasificadas rellena de ripio</i>	0,40 - 0,50	22 - 26
<i>Arena limpia, mezcla de arena limosa –gravilla, tamaño único de rocas pesadas rellenas</i>	0,3 - 0,4	17 - 22
<i>Arcilla arenosa, gravilla o arena mezclada con limo o arcilla</i>	0,3	17
<i>Arena fina y limosa, limo no plástico</i>	0,25	14

Figura 36: Factores de fricción entre acero-tierra y cemento-tierra [11].

Para cada una de las cimentaciones se van a examinar los siguientes resultados:

- . Deformación Total [m]
- . Tensión Principal Máxima [MPa]
- . Tensión de Von Mises [MPa]
- . Coeficiente de Seguridad: Tensión de Von Mises
Esfuerzo a Cortante
Esfuerzo a Tracción

Las cargas utilizadas para el estudio de viabilidad de esta cimentación son las calculadas en el apartado 2.1.2 del proyecto:

Carga [kN/m²]	
Peso Propio	0,1137
Nieve	0,33
Viento (Presión)	0,2058
Viento (Succión)	0,2867

Tabla 21: Cargas de peso propio, nieve y viento utilizadas.

Como ya se han calculado anteriormente, las reacciones provocadas por las acciones de peso propio, nieve y viento para una inclinación de 45° y una velocidad de 10m/s son:

Reacción [kN - kN·m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Comp.	7,99
F_y - Tracc.	2,13

Tabla 22: Reacciones provocadas por las cargas de peso propio, nieve y viento.

Los valores de los coeficientes parciales de seguridad de los materiales para el estudio de los Estados Límite Últimos (ELU) son los que se indican en la tabla 15.3 del Capítulo IV de la Instrucción de Acero Estructural (EAE).

Situación de proyecto	Hormigón Y_c	Acero pasivo y activo Y_s
Persistente o transitoria	1,5	1,15
Accidental	1,3	1,0

Figura 37: Tabla 15.3 del Capítulo IV del EAE.

Cimentación mediante hincadora de postes

Descripción

Es el diseño más simple en cuanto a diseño y componentes que se va a exponer en el presente trabajo. Se introduce el perfil metálico directamente sobre el terreno mediante una máquina especial que golpea repetidas veces la cabeza del mismo introduciéndolo progresivamente en el terreno. Se introduce el perfil hasta una profundidad de 2 metros.

Diseño y componentes

Para este tipo de cimentación solo es necesario el perfil metálico y el terreno donde se va a instalar. Se trata de un perfil en C con las dimensiones descritas en la Figura 19, este poste se encuentra enterrado 2 metros en el terreno y tiene una longitud total de 3,48 metros.

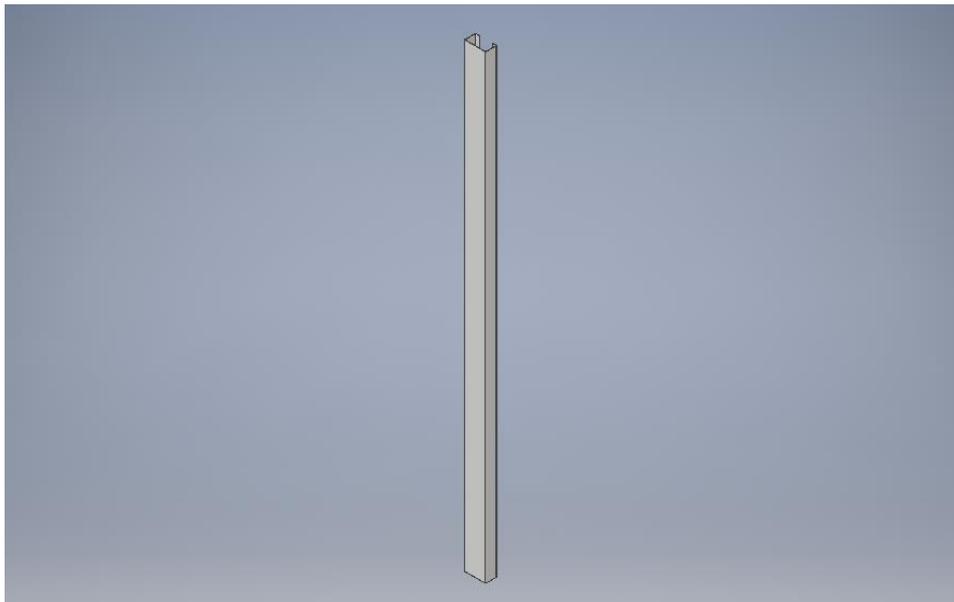


Figura 38: Perfil cimentación mediante hincadora de postes.

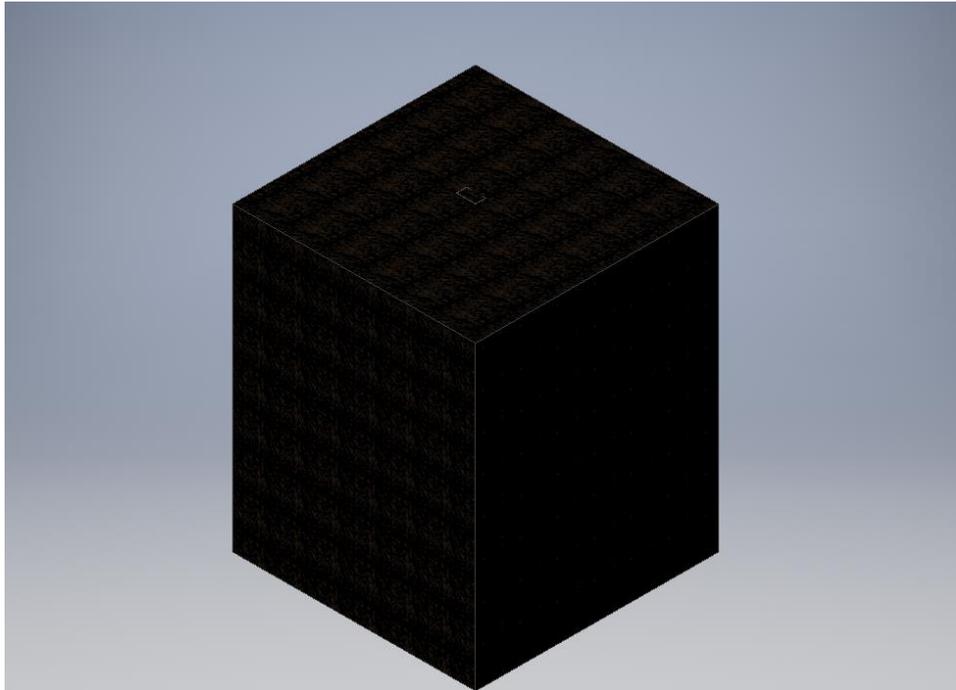


Figura 39: Tierra cimentación mediante hincadora de postes.

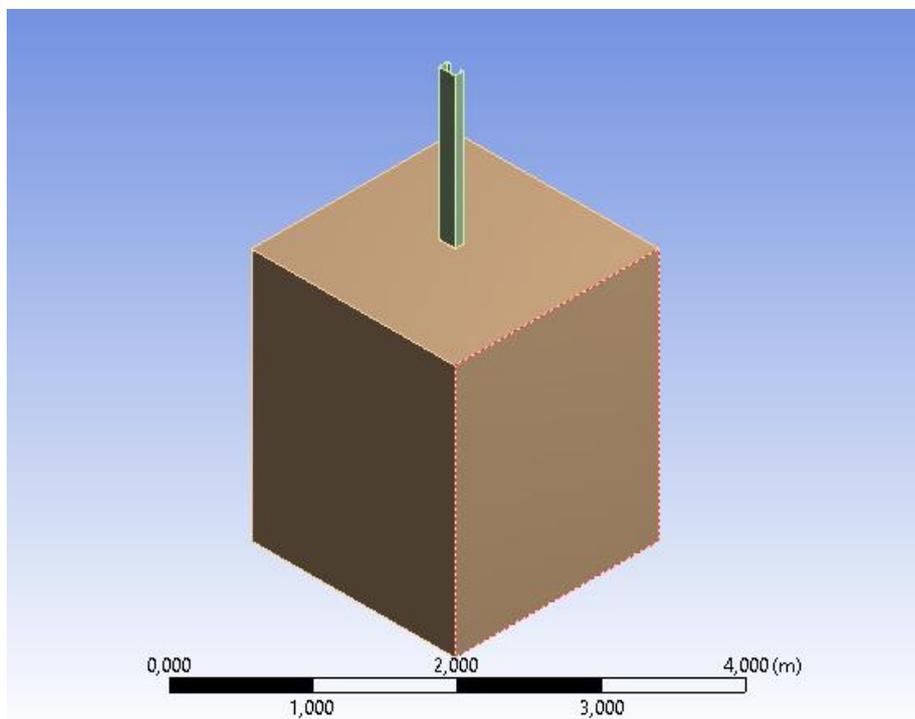


Figura 40: Cimentación mediante hincadora de postes.

Método de instalación

Se comienza realizando el replanteo topográfico para marcar en el terreno todos los puntos en los que se van a tener que hincar los perfiles metálicos. Tras esto, se colocan los perfiles en el terreno junto a sus respectivas marcas para una mayor facilidad del operario a la hora de hincarlos.

Para este trabajo de hincado se utilizan máquinas especializadas ya que la particularidad de este método de trabajo es que es el propio perfil metálico el que se utiliza como herramienta de perforación. Este perfil se va introduciendo en el terreno mediante el golpeteo que efectúa dicha máquina hasta una profundidad que suele estar entre los 1,5 m y los 2 m, dependiendo de lo establecido en el estudio geotécnico [10].



Figura 41: Operarios trabajando con hincadora de postes.

Presupuesto

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO Ud	VALOR
TRACKER 1 EJE STI H250 60 MÓDULOS Ud. Suministro de seguidor de 60 módulos eje horizontal N-S, compuesto por dos únicas filas con motor y actuador situado únicamente en una de las filas	1	5.543,08	5.543,08
TSM-PE14H Módulo solar TrinaSolar, montaje de módulos, recepción y descarga en obra.	60	174,70	10.482,00
Mano de Obra Montaje de Tracker 1 eje STI H250, 60 módulos solar	90	30,00	2.700,00
Hincado directo de postes	9	17,00	153,00
Traslado de máquina	1	750,00	750,00
Predrilling hasta 1,7 mts profundidad	9	39,00	351,00
Traslado de máquina	1	1.500,00	1.500,00
Nota: 21,00% IVA en vigor no incluido		TOTAL	21.479,08 €

Modelo de elementos finitos

Una vez diseñado y modelado, se importa el archivo CAD 3D en ANSYS y se le asignan los diferentes materiales, las conexiones entre componentes y se somete el modelo a las reacciones calculadas. El perfil es de acero Q345B, el terreno donde se hinca es tierra y el coeficiente de fricción entre ambos materiales es 0,4.

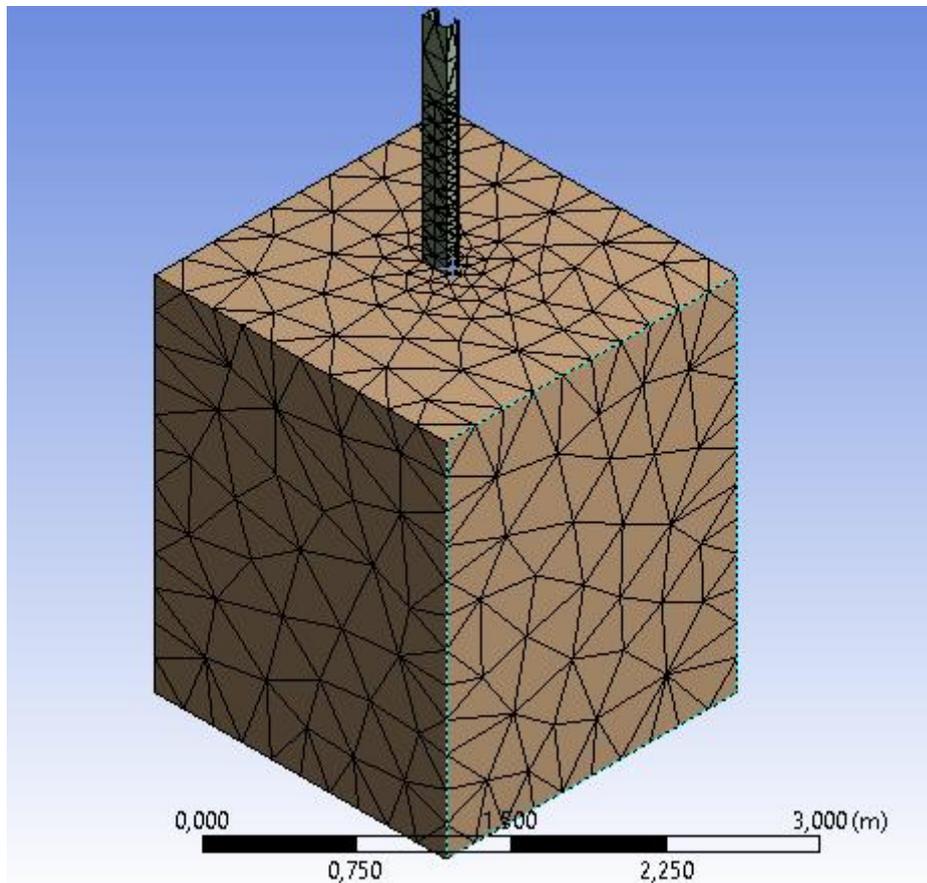


Figura 42: Diseño cimentación mediante hincadora de postes.

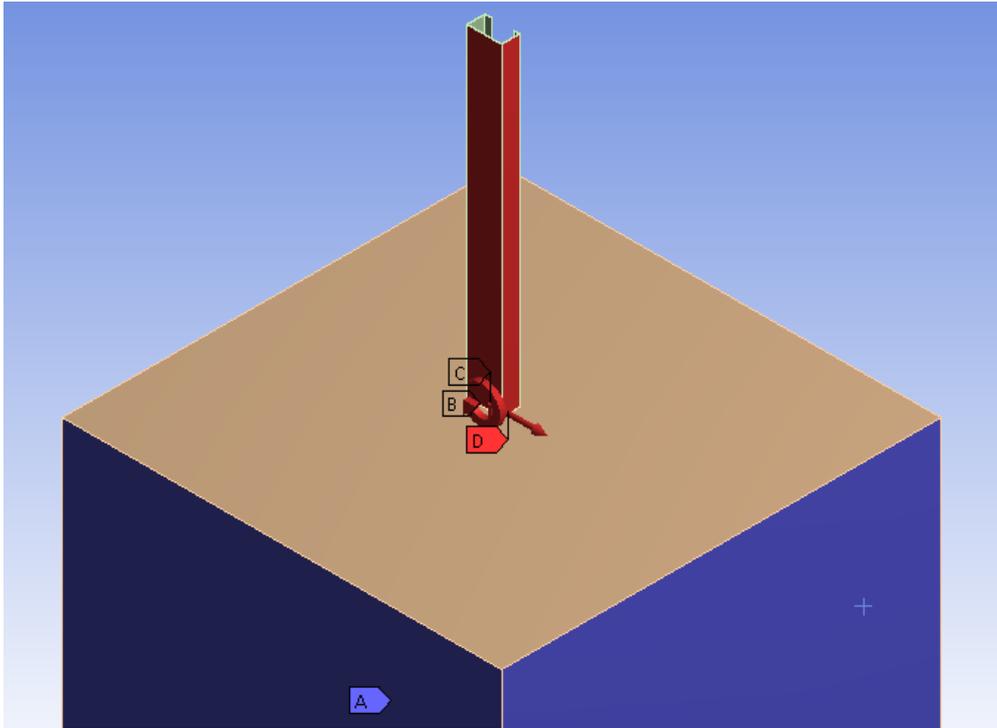


Figura 43: Reacciones cimentación mediante hincadora de postes (Compresión)

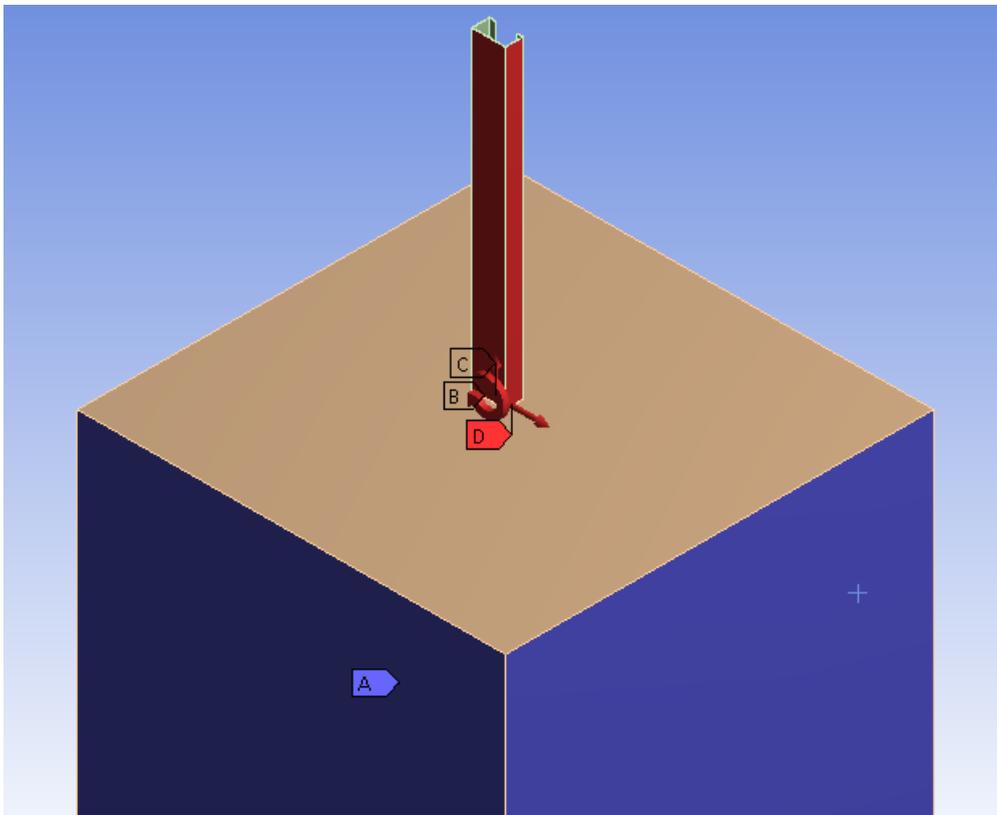


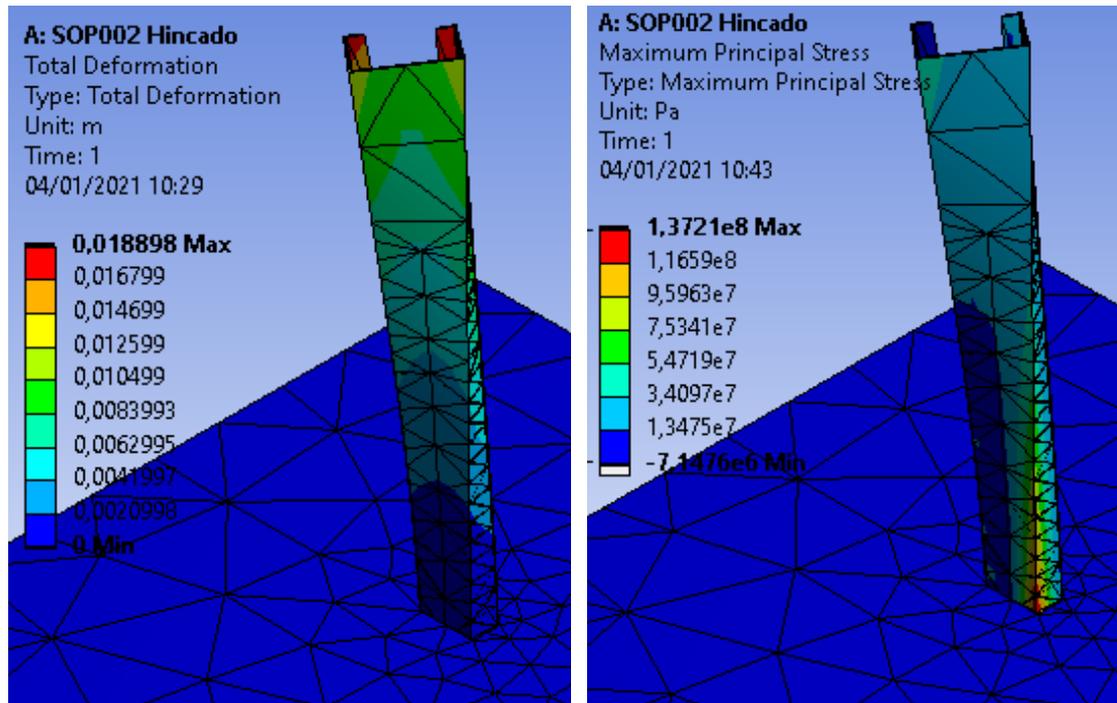
Figura 44: Reacciones cimentación mediante hincadora de postes (Tracción)

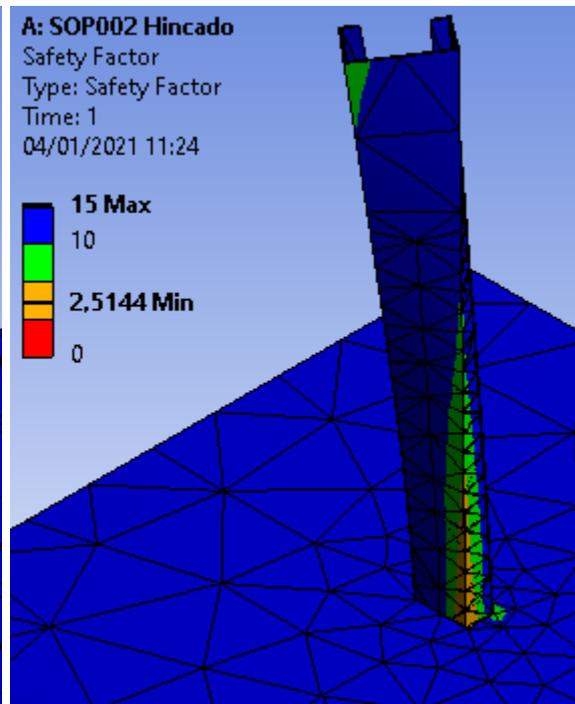
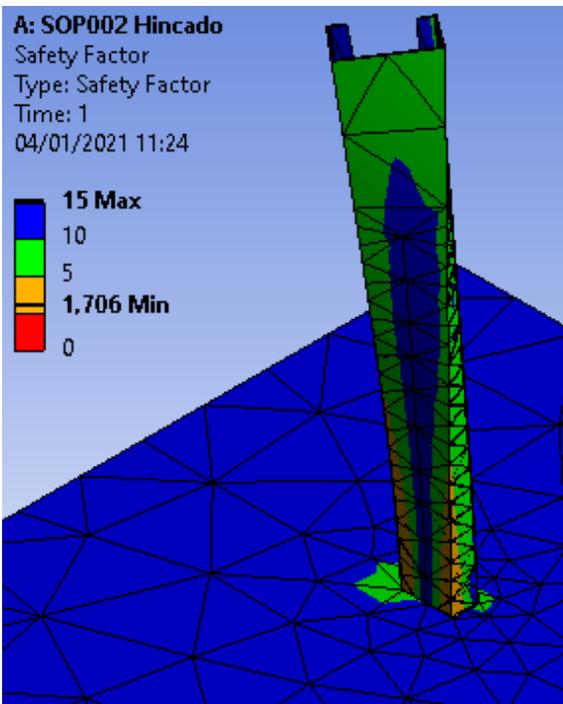
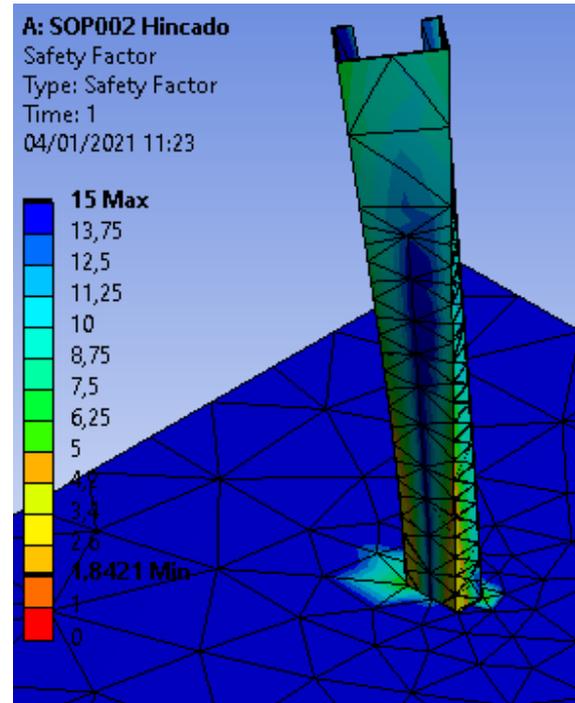
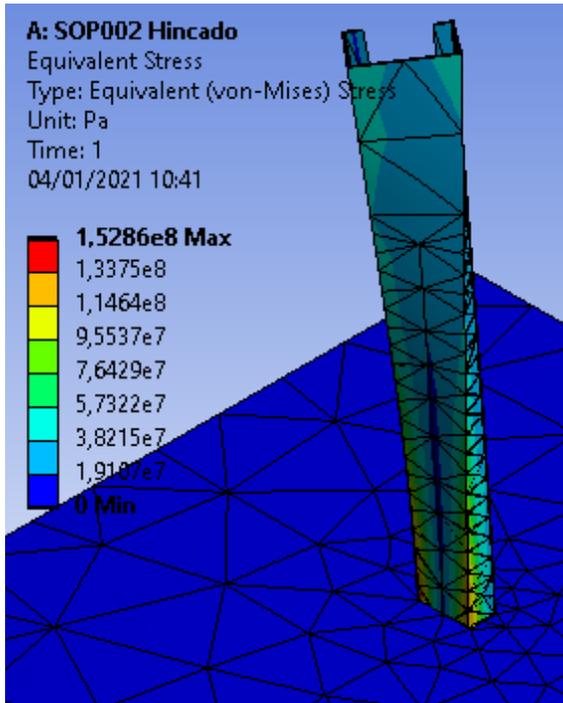
Resultados y discusiones

Los resultados obtenidos para las reacciones anteriormente especificadas son:

Reacción [kN - kN-m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Comp.	7,99

Tabla 23: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante hincadora de postes (Compresión).

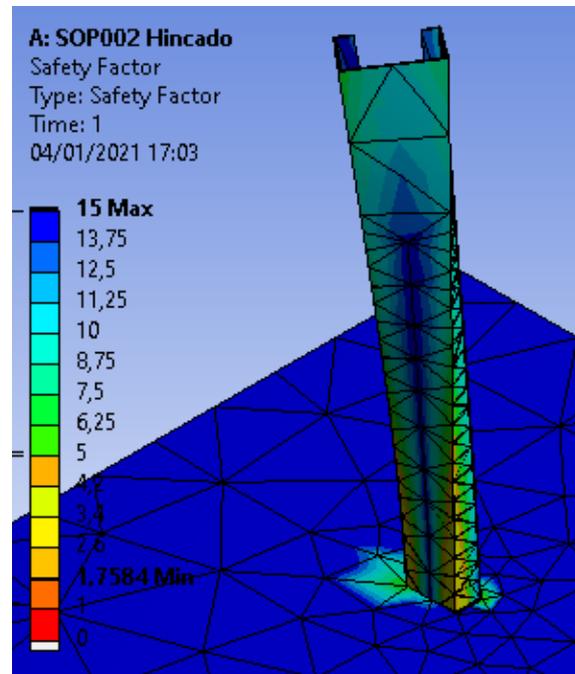
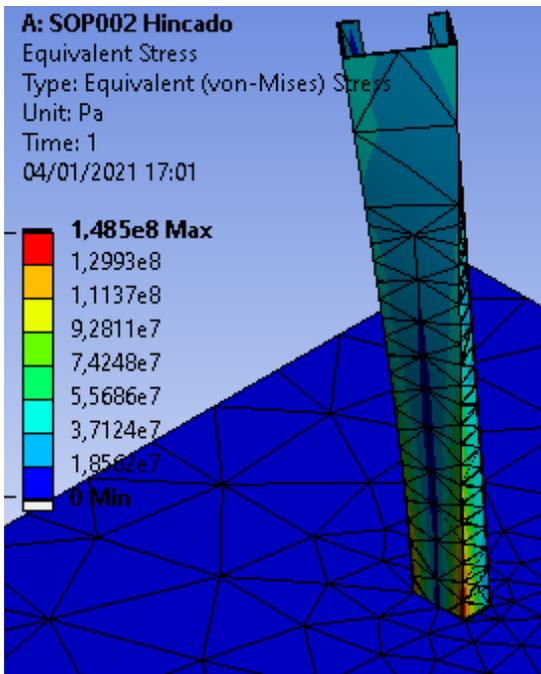
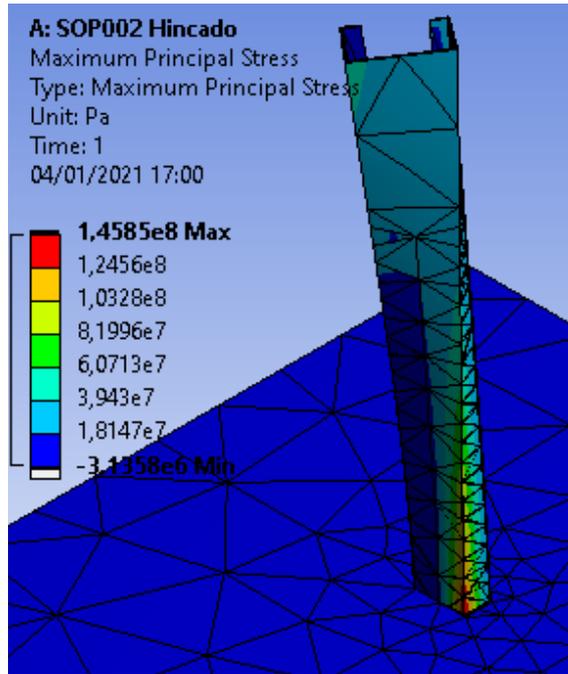
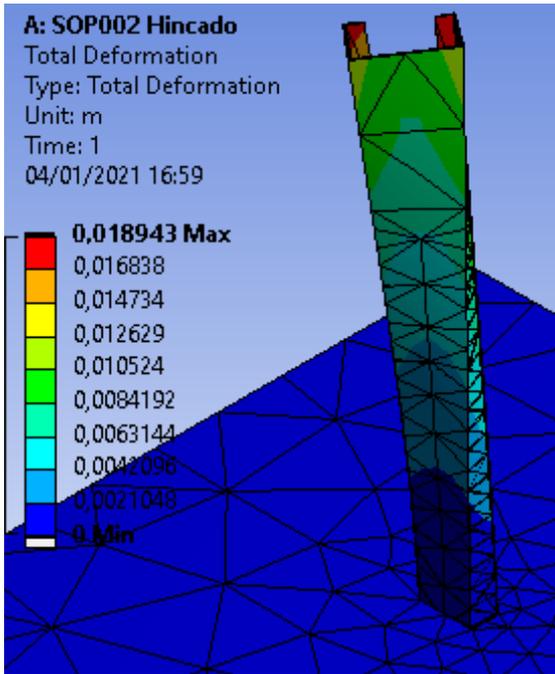


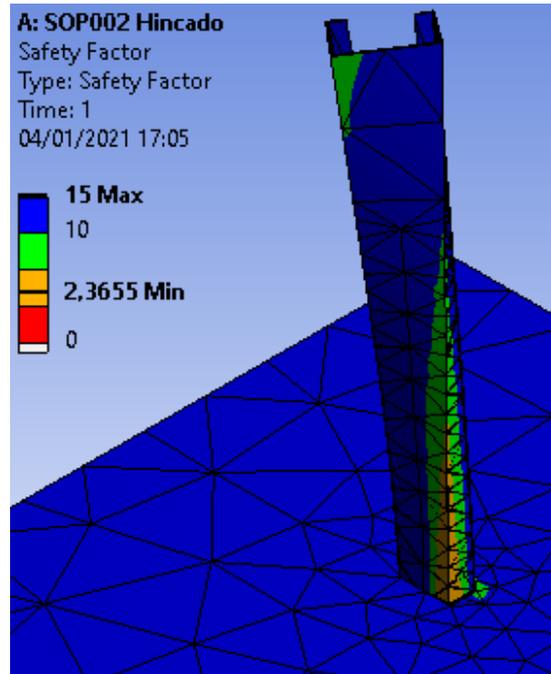
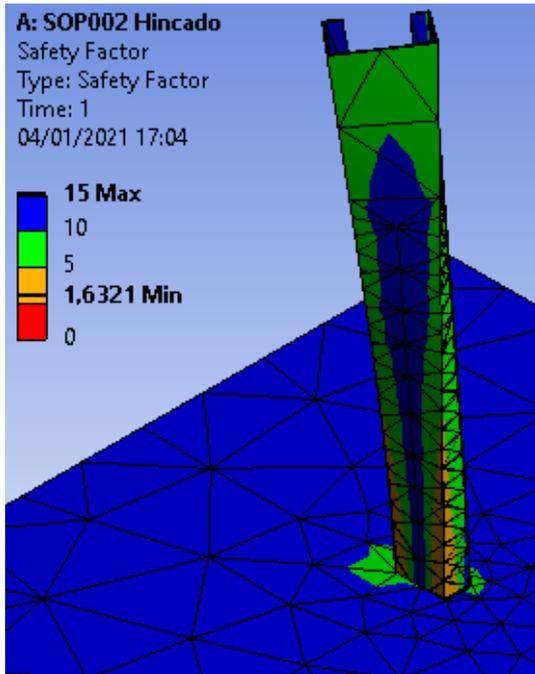


Figuras 45: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante hincadora de postes (Compresión)

Reacción [kN - kN·m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Tracc.	2,13

Tabla 24: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante hincadora de postes (Tracción).





Figuras 46: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante hincadora de postes (Tracción)

	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Comp.} = 7,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Tracc.} = 2,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Deformación Total	0,0188 m	0,0189 m
Tensión Máxima Principal	137,21 MPa	145,85 MPa
Tensión de Von Mises	152,8 MPa	148,5 MPa
CS: Tensión de Von Mises	1,84	1,75
CS: Esfuerzo Cortante	1,70	1,63
CS: Esfuerzo Tracción	2,51	2,36

Tabla 25: Resultados cimentación mediante hincadora de postes.

Una vez analizada la cimentación y con los resultados delante, observamos que los coeficientes de seguridad obtenidos son mayores que los establecidos en la Instrucción del Acero Estructural (Tabla [5]). Con ello, corroboramos que la cimentación estudiada es apta para su uso en este tipo de cimentaciones, no obstante, se trata de una solución poco viable. Como se ha comentado anteriormente en capítulos anteriores, el proyecto parte de la necesidad de encontrar y/o optimizar las alternativas al uso de este tipo de cimentaciones para los anclajes de los seguidores solares ya que debido a la poca disponibilidad de esta máquina en España, el coste de alquiler y de transporte hace que esta opción no sea viable económicamente para instalaciones de pequeña potencia.

En el apartado 3.1.4. se puede observar que el precio de alquiler y transporte de tanto la hincadora de postes como de la máquina de pre-drilling es mucho mayor que el precio por unidad de hincado del poste y de análisis del terreno. Si además de estos precios se añade la necesidad de planificar con la empresa contratista fecha y disponibilidad, podemos confirmar que se trata de una opción menos factible que las estudiadas a continuación.

Cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada

Descripción

Este diseño surge de la necesidad de evitar el uso de la hincadora de postes como método de anclaje de los seguidores solares al terreno. Se trata, básicamente, de dos perfiles cuadrados en paralelo unidos entre sí y ensamblados al poste del seguidor que posteriormente se recubrirá con cemento. La misión principal del uso de estos dos perfiles en paralelo es evitar los efectos posibles no deseables de los momentos originados por las cargas a soportar, ya que es el principal problema que las cimentaciones de los seguidores han de soportar.

Diseño y componentes

Podemos decir que los componentes de este tipo de cimentación son principalmente cuatro: el anclaje del seguidor, las varillas roscadas, el “nivelador” y el perfil metálico de la viga que va a soportar el seguidor.

El anclaje del seguidor está formado por dos perfiles cuadrados paralelos y unidos entre sí por un tercero perpendicular a ellos. A través de los dos primeros se hacen pasar las cuatro varillas roscadas que posteriormente se encargaran de nivelar la cimentación mediante tuercas en ambos extremos. Las varillas metálicas son de 20 mm de diámetro y de 1 metro de largo.

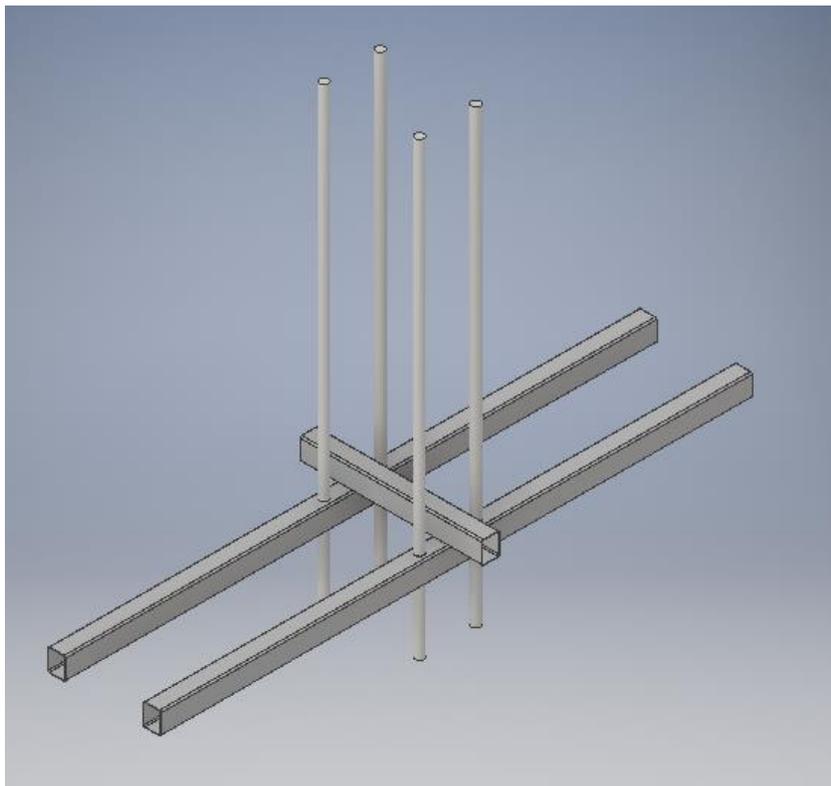


Figura 47: Anclaje del seguidor cimentación mediante zapata y unión roscada

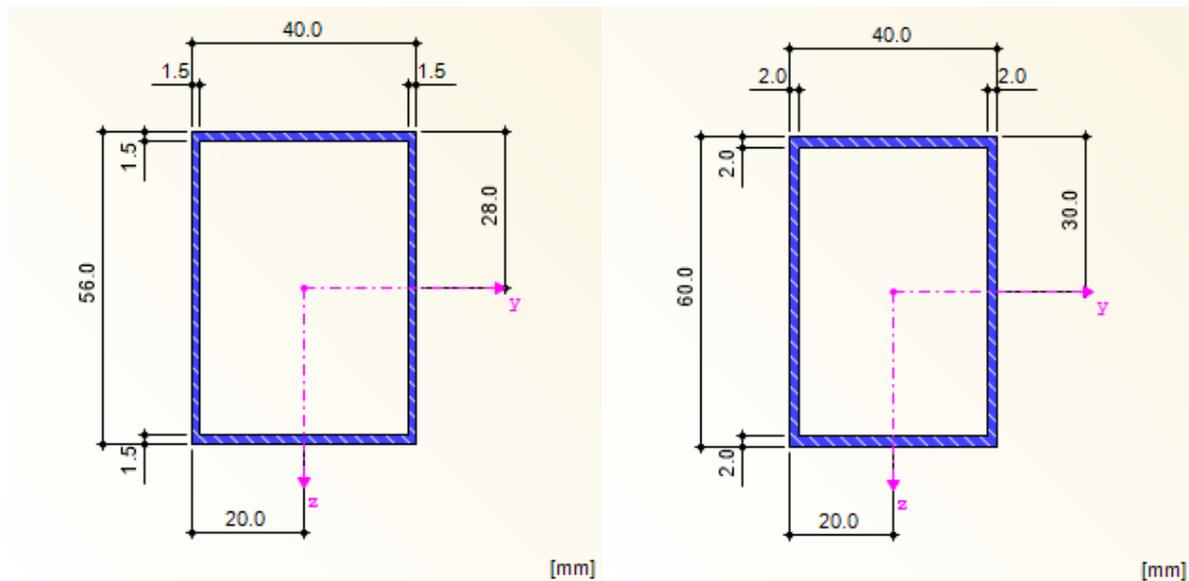


Figura 48: Perfiles cuadrados anclaje del seguidor.

La unión entre los perfiles cuadrados se realiza mediante puntos de soldadura. Para su correcta unión se utiliza el accesorio de la Figura 49, de tal manera que:

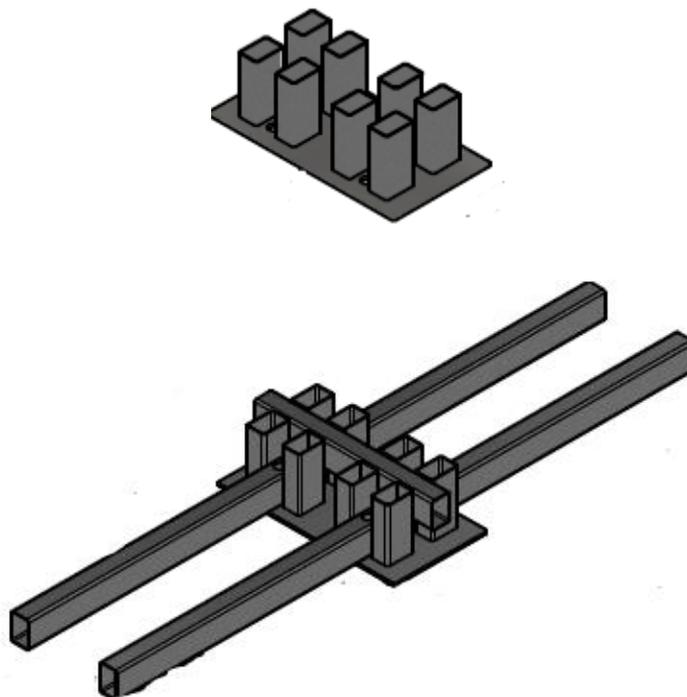


Figura 49: Unión de perfiles del anclaje del seguidor.

Una vez ya soldados los componentes y con las varillas introducidas en los perfiles cuadrados se procede a su nivelación y/o ajuste. Para ello se utiliza el nivelador especialmente diseñado para esta función.

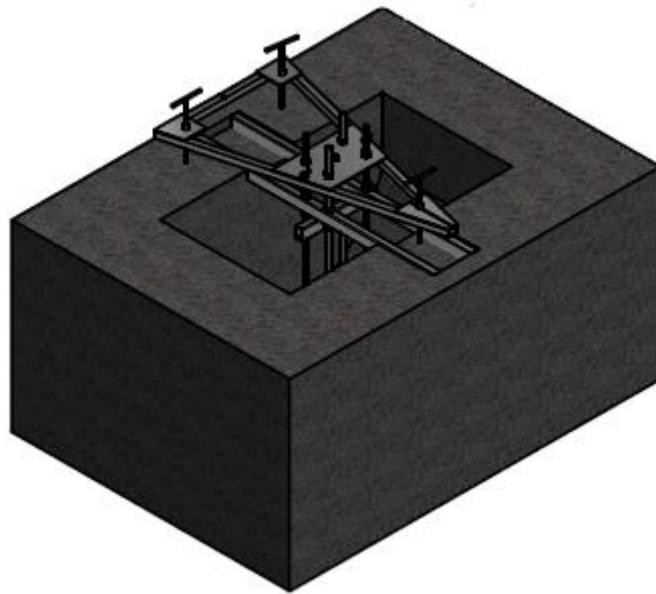


Figura 50: "Nivelador"

Tras la nivelación se procede a introducir el perfil del poste del seguidor, soldado a una plancha metálica de 280 mm x 210 mm x 10 mm, por las varillas. A continuación se llena el agujero excavado con cemento y se crea una zapata en la base del poste de

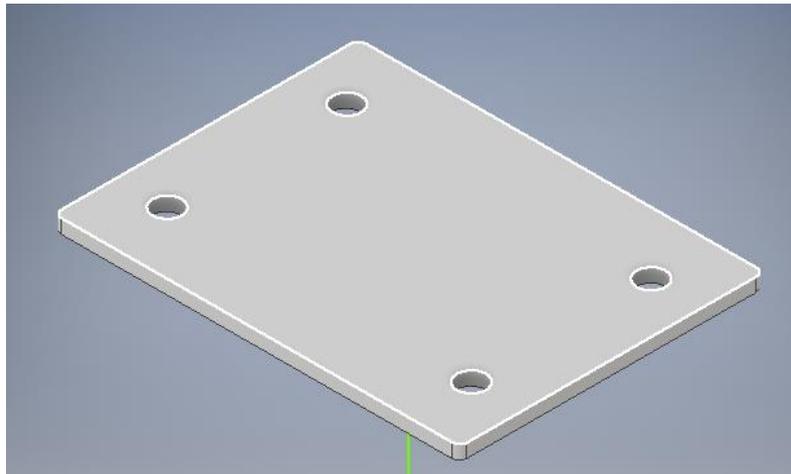


Figura 51: Plancha metálica con agujeros en las esquinas.

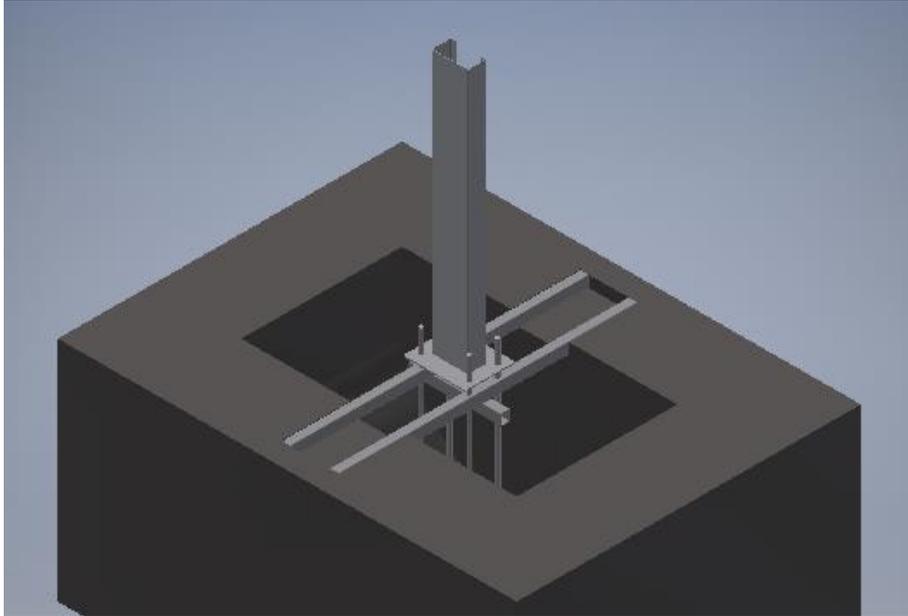


Figura 52: Colocación del poste con los perfiles del anclaje del seguidor en el agujero del terreno .

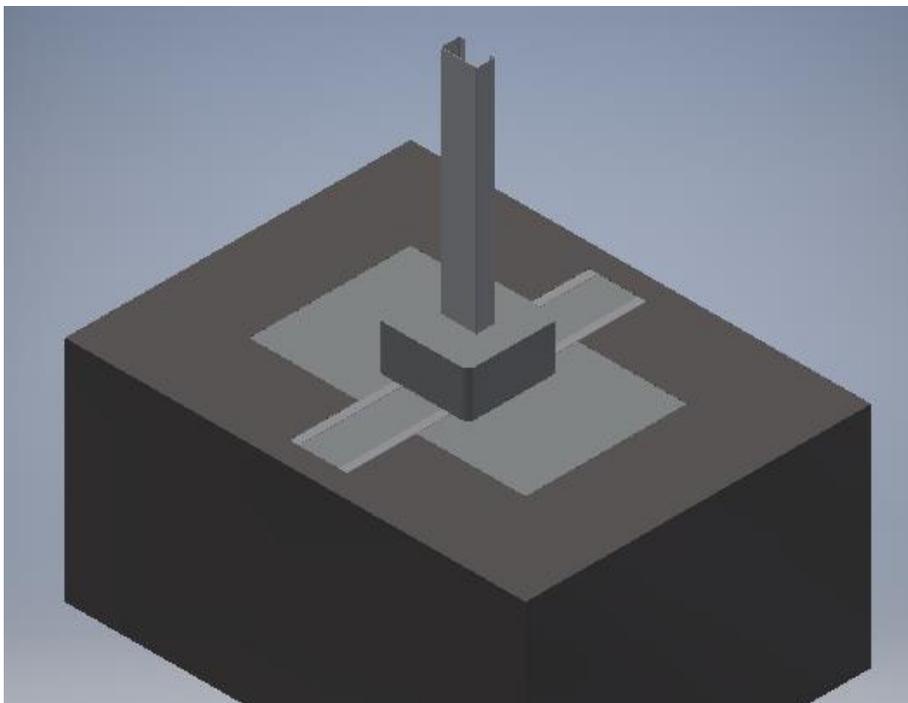


Figura 53: Cimentación correctamente instalada.

Método de instalación

En primer lugar se excava un agujero de 1,2 metros de largo, 0,7 metros de ancho y 0,8 metros de profundidad. Una vez hecho se coloca el anclaje del apoyo del seguidor formado por las barras de sección cuadrada. A continuación se instalan las varillas roscadas en los agujeros del anclaje del seguidor y posteriormente se procede a su nivelación. Para llevar a cabo esta acción se utilizan las tuercas colocadas en la parte superior e inferior de las varillas roscadas ya introducidas en el apoyo, para ello se utiliza la herramienta especialmente diseñada para dicha función.

Una vez ya nivelado, se procede a la retirada de la herramienta utilizada para la nivelación y se llena el agujero de hormigón hasta que fragüe. Para más información consultar ANEXO III.

Presupuesto

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO Ud	VALOR
TRACKER 1 EJE STI H250 60 MÓDULOS Ud. Suministro de seguidor de 60 módulos eje horizontal N-S, compuesto por dos únicas filas con motor y actuador situado únicamente en una de las filas	1	5.543,08	5.543,08
TSM-PE14H Módulo solar TrinaSolar, montaje de módulos, recepción y descarga en obra.	60	174,70	10.482,00
Mano de Obra Montaje de Tracker 1 eje STI H250, 60 módulos solar	90	30,00	2.700,00
Material Bases Tracker Cimentación Incluye todo el material necesaria para anclaje del tracker al terreno	9	67,50	607,50
M Cúbico de Hormigón en Obra	7	107,80	754,60
Nota: 21,00% IVA en vigor no incluido		TOTAL	20.087,18 €

Modelo de elementos finitos

Una vez diseñado y modelado, se importa el archivo CAD 3D en ANSYS y se le asignan los diferentes materiales, las conexiones entre componentes y se somete el modelo a las reacciones calculadas. El perfil es de acero Q345B, el terreno es tierra y el hueco en ella se rellena de cemento reforzado. Se toma un coeficiente de fricción de 0,4 entre el hormigón y la tierra, y para el contacto entre el hormigón y el acero se establece una unión de tal manera que no exista deslizamiento o separación entre caras o bordes.

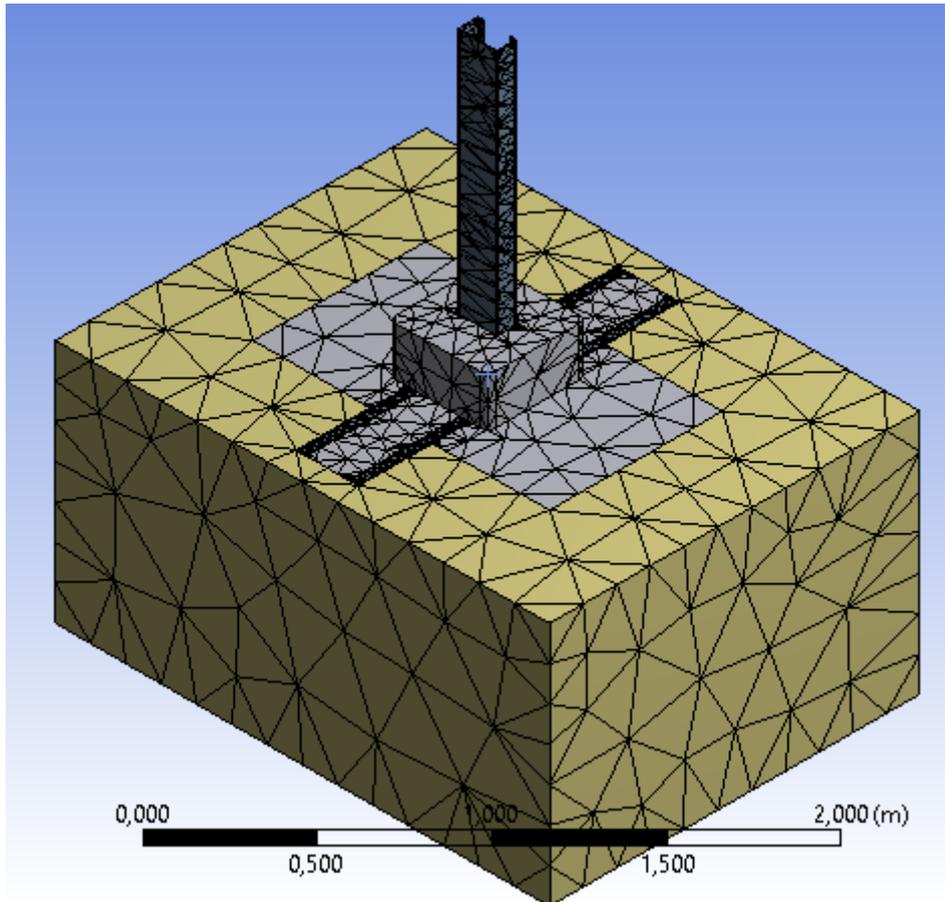


Figura 54: Diseño cimentación mediante zapata y unión roscada

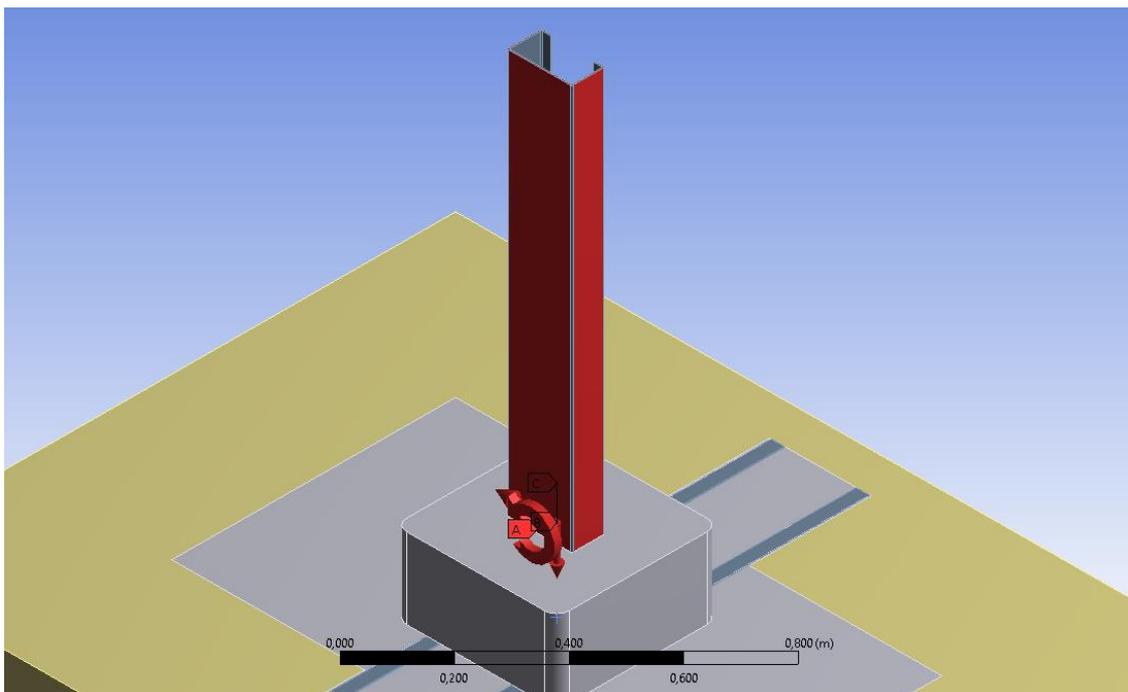


Figura 55: Reacciones cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Compresión)

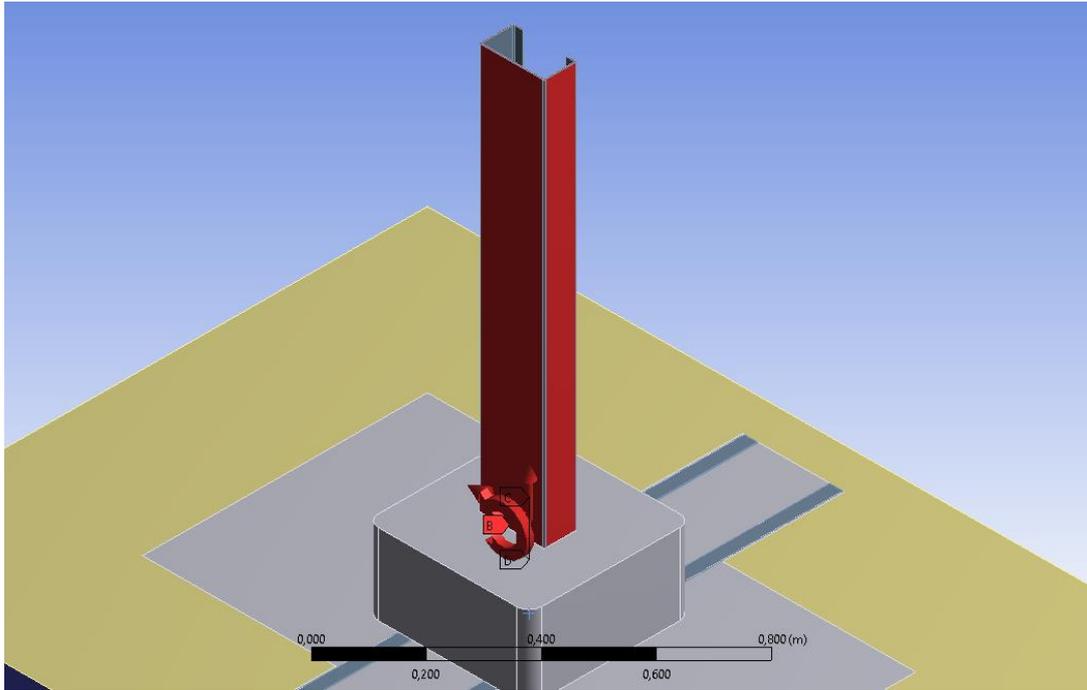


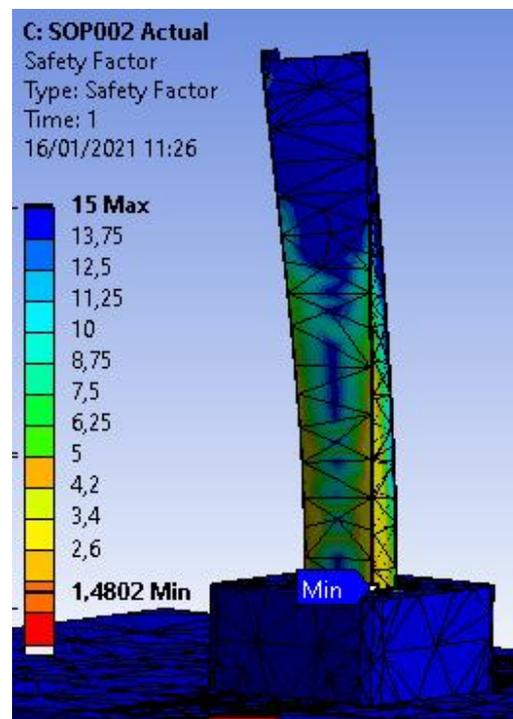
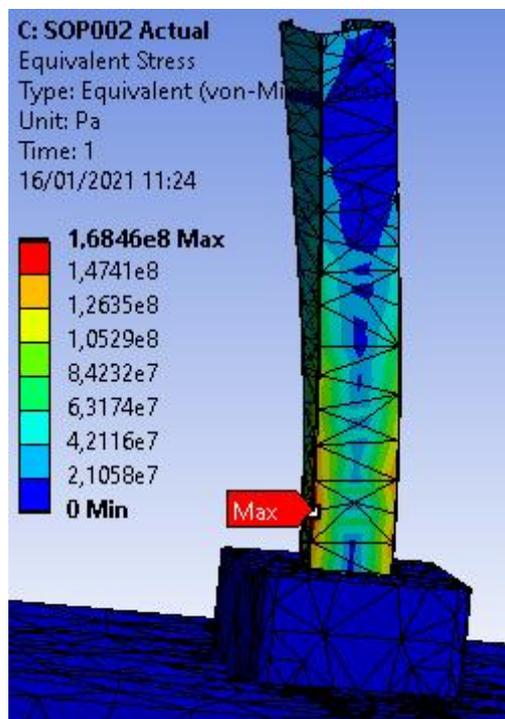
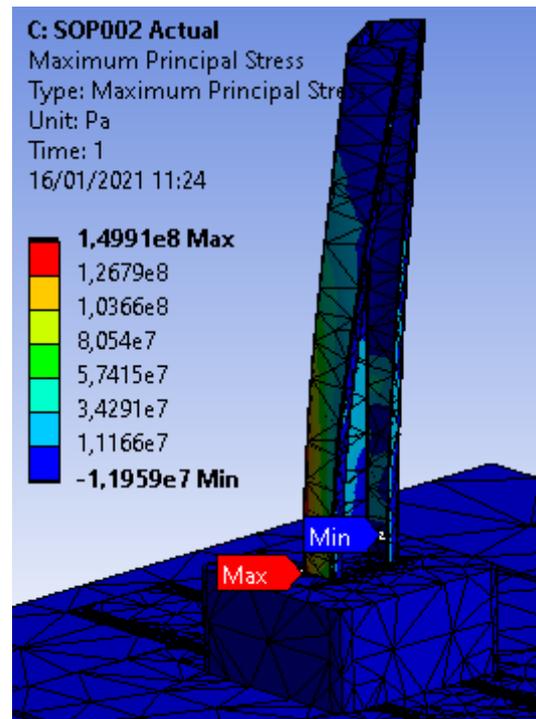
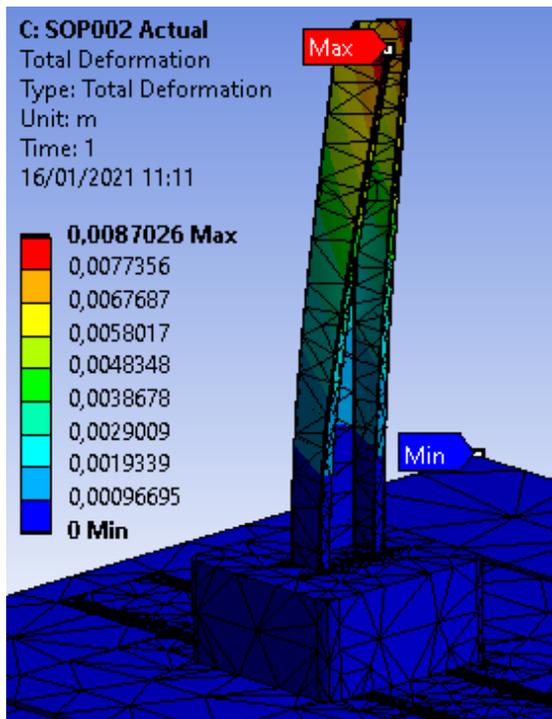
Figura 56: Reacciones cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Tracción)

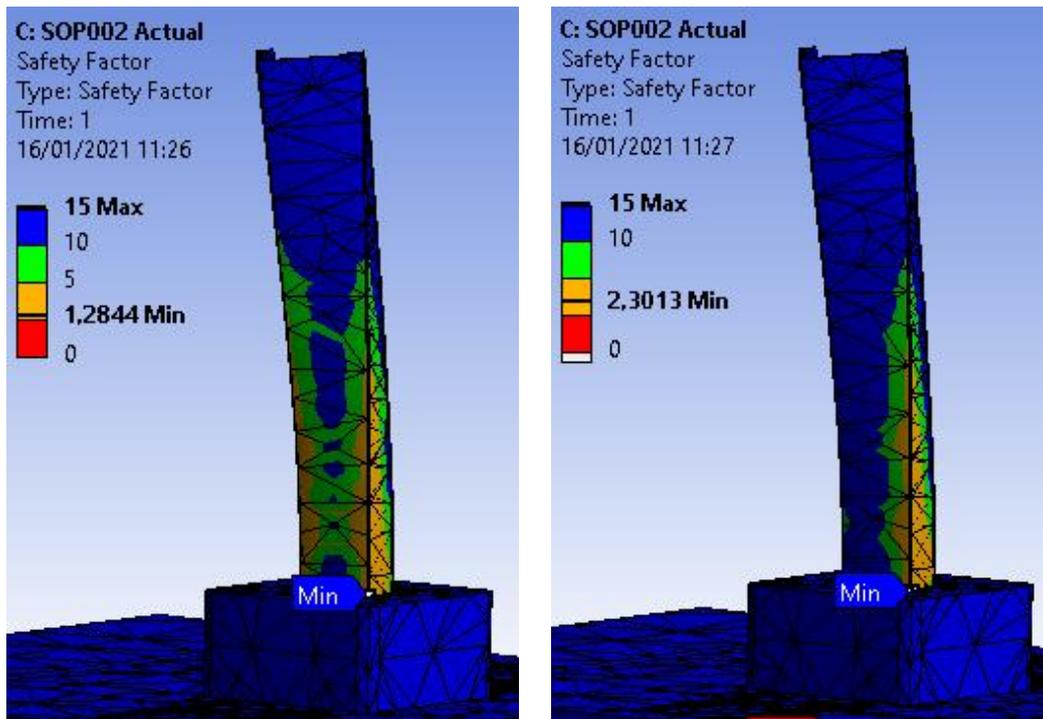
Resultados y discusiones

Para las reacciones del apartado 3 del presente proyecto, los resultados son:

Reacción [kN - kN·m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Comp.	7,99

Tabla 26: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Compresión).

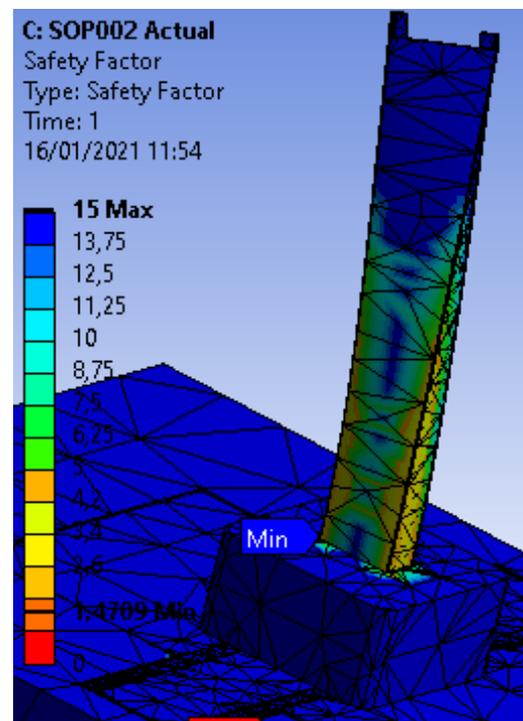
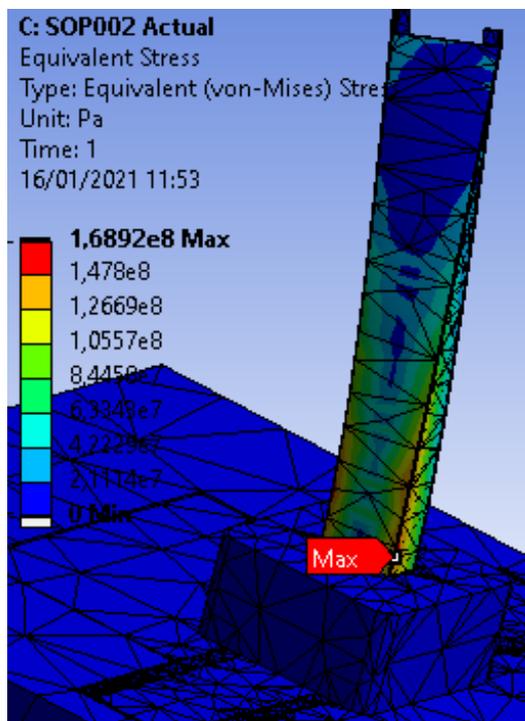
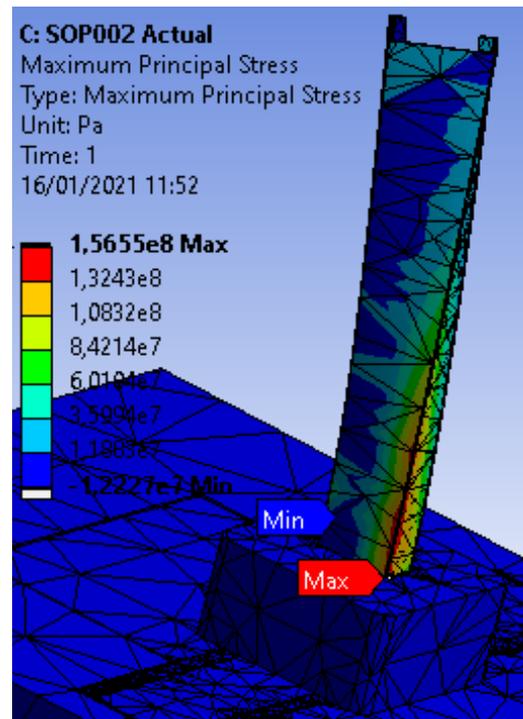
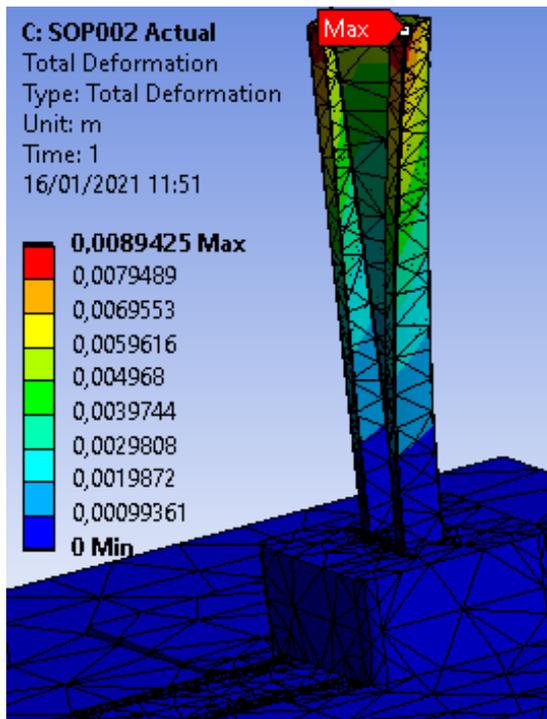


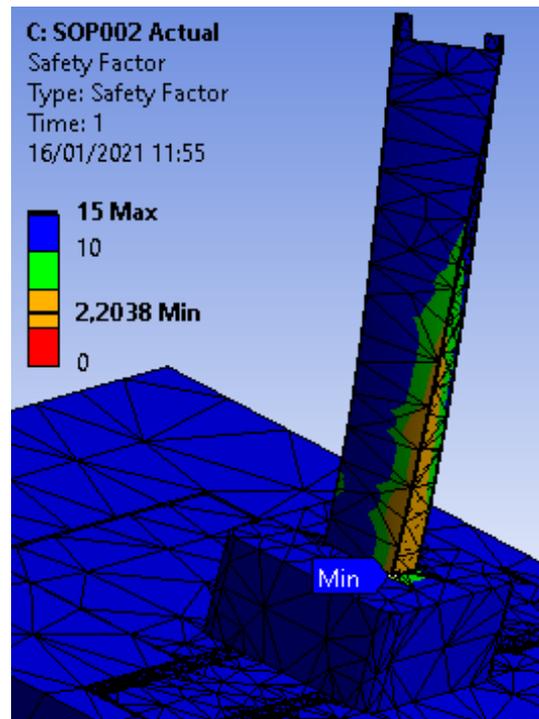
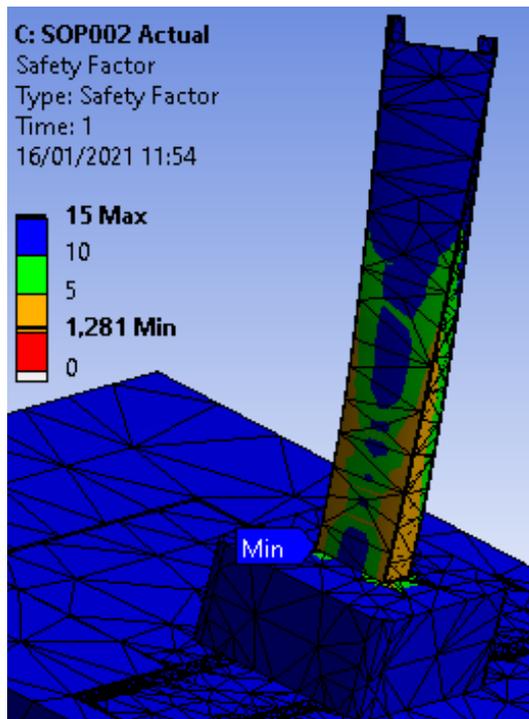


Figuras 57: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Compresión).

Reacción [kN - kN·m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Tracc.	2,13

Tabla 27: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Tracción).





Figuras 58: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada (Tracción).

	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Comp.} = 7,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Tracc.} = 2,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Deformación Total	0,0087 m	0,0089 m
Tensión Máxima Principal	149,91 MPa	156,55 MPa
Tensión de Von Mises	168,46 MPa	168,92 MPa
CS: Tensión de Von Mises	1,48	1,47
CS: Esfuerzo Cortante	1,28	1,28
CS: Esfuerzo Tracción	2,30	2,20

Tabla 28: Resultados cimentación mediante zapata, perfiles cuadrados y unión roscada.

Como se puede apreciar, los coeficientes de seguridad obtenidos tanto a cortante, a tracción como Von Mises superan lo establecido en la instrucción. Las tensiones que ha de soportar el acero son mayores si las comparamos con las obtenidas en el apartado 3.1.6., sin embargo, la deformación obtenida en el extremo del poste es menor.

La ventaja de este modelo es el no depender de la disponibilidad y transporte de tanto la hincadora de postes como de la máquina de pre-drilling, además del precio que conlleva. El inconveniente de este tipo de cimentación es que, al contrario que la cimentación mediante hincadora, el proceso de instalación es más laborioso y requiere un mayor tiempo para su instalación.

Cimentación mediante zapata y plancha enterrada

Descripción

Aunque la anterior cimentación se ha llegado a implementar en instalaciones de MEASWIND, se trata de una opción que necesita mucho tiempo para su montaje. Debido a esto, se propone un nuevo tipo de cimentación que cumpla las mismas necesidades y que además requiera una menor cantidad de tiempo para su montaje.

Se propone un diseño más simple en el que se suelda una plancha en el poste metálico y se entierra para después cubrirse con cemento reforzado. Para nivelar el poste, se utilizan tuercas y varillas roscadas introduciéndolas en la plancha.

Diseño y componentes

Las dimensiones de la plancha son 270 mm x 210 mm x 10 mm con esquinas redondeadas de 10 mm de radio. En las esquinas se encuentran 4 agujeros de 20 mm de diámetro por los que posteriormente se introducirán los anclajes para fijar el poste al hormigón. Sobre la profundidad a la que se va a enterrar el poste, en un principio va a ser de 60 cm y posteriormente se estudiará si se puede reducir esta profundidad.

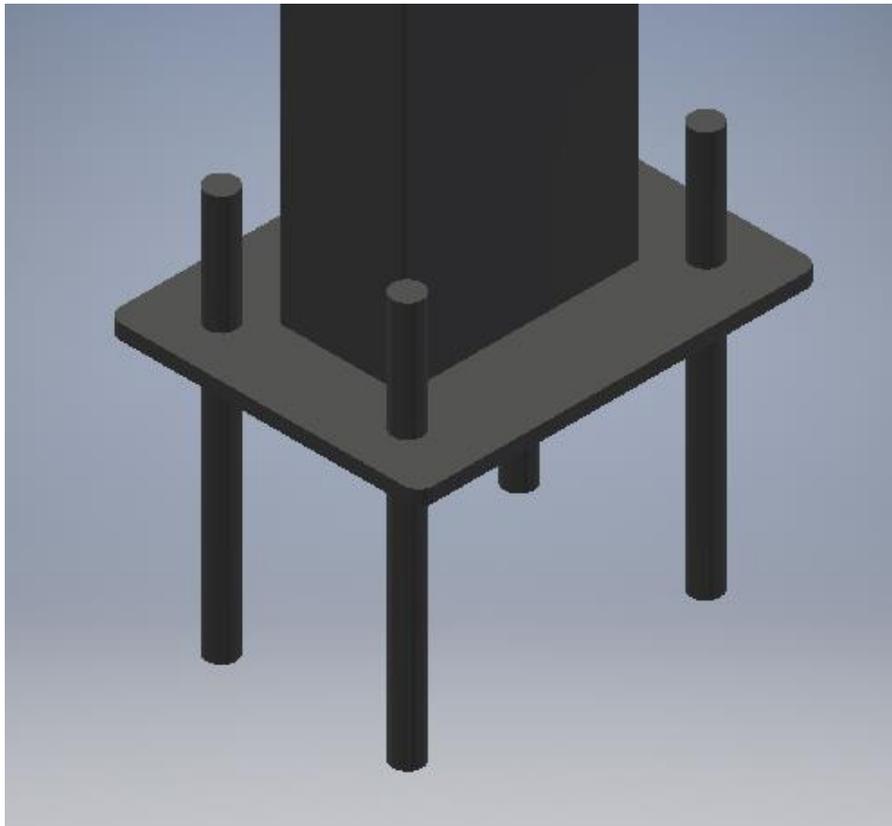


Figura 59: Diseño de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada.

Dimensionamiento de la zapata

Como en métodos anteriores, en primer lugar se excava un agujero con la peculiaridad de que en este caso ha de ser de mayor profundidad, las dimensiones para las que se va a diseñar esta zapata son de 1,2 metros de largo, 1 metro de ancho y 0,9 metros de profundo. Partiendo de estas dimensiones, se va a comprobar que este agujero que posteriormente se va a llenar de hormigón soportará las cargas aplicadas al seguidor.

En este apartado se van a realizar tres tipos de comprobaciones para las zapatas de nuestro seguidor. La norma aplicable a este tipo de comprobaciones es el Documento Básico de Seguridad Estructural relativo a los Cimientos (BD-SE-Cimientos) [12], que establece los coeficientes de seguridad a considerar para los Estados Límite Últimos. Los ELU deben de considerarse los debidos a la pérdida de la capacidad portante del terreno de apoyo de la cimentación por hundimiento, deslizamiento o vuelco:

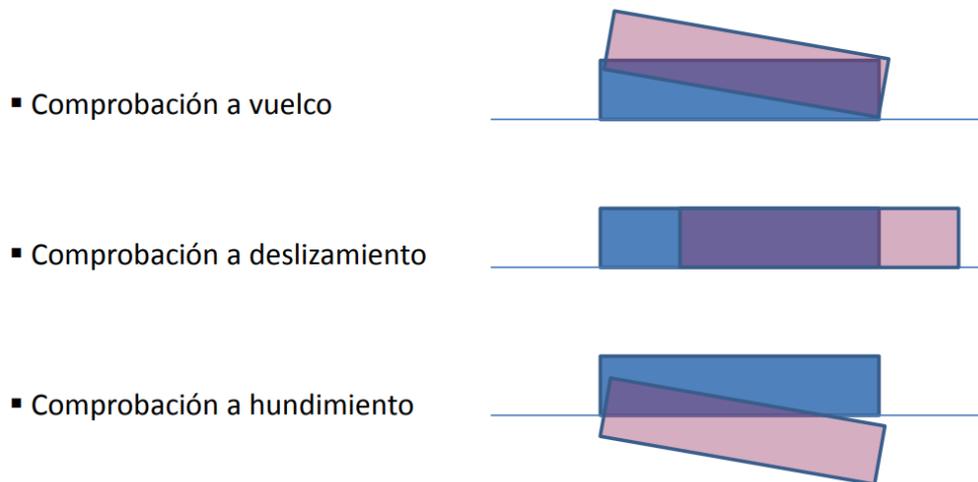


Figura 60: Comprobaciones cimentaciones. [13]

El equilibrio de la cimentación (estabilidad al vuelco) quedará verificado, si para las situaciones de dimensionamiento pertinentes se cumple la condición 2.1. del DB-SE-Cimientos [12]:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

Ecuación 10: Condición 2.1 del DB-SE-Cimientos

siendo:

- $E_{d,dst}$ el valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras;
- $E_{d,stab}$ el valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras.

Los cálculos relativos a la resistencia local del terreno tienen como objetivo último asegurar la estabilidad de la cimentación frente a los fenómenos de hundimiento y deslizamiento. La resistencia local o global del terreno quedará verificada si se cumple, para las situaciones pertinentes, la condición 2.2. del DB-SE-Cimientos [12]:

$$E_d \leq R_d$$

Ecuación 11: Condición 2.2 del DB-SE-Cimientos

siendo:

- E_d el valor de cálculo del efecto de las acciones;
- R_d el valor de cálculo del efecto de la resistencia del terreno.

Así mismo, los coeficientes parciales de seguridad para las comprobaciones son las expuestas en la tabla 2.1 del DB-SE-Cimientos [12].

Tabla 2.1. Coeficientes de seguridad parciales

Situación de dimensionado	Tipo	Materiales		Acciones	
		γ_R	γ_M	γ_E	γ_F
	Hundimiento	3,0 ⁽¹⁾	1,0	1,0	1,0
	Deslizamiento	1,5 ⁽²⁾	1,0	1,0	1,0
	Vuelco ⁽²⁾				
	Acciones estabilizadoras	1,0	1,0	0,9 ⁽³⁾	1,0
	Acciones desestabilizadoras	1,0	1,0	1,8	1,0
	Estabilidad global	1,0	1,8	1,0	1,0
	Capacidad estructural	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	1,6 ⁽⁵⁾	1,0

Figura 61: Tabla 2.1. del DB-SE-Cimientos con los coeficientes de seguridad parciales para las comprobaciones de las cimentaciones. [12]

Cálculo del peso de la zapata:

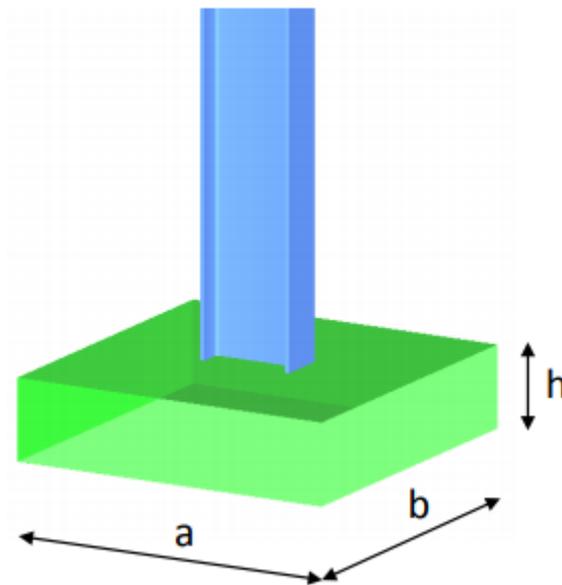


Figura 62: Dibujo explicativo de las dimensiones de una zapata. [13]

$$Q_Z = \gamma_H \cdot V$$

Ecuación 12: Peso de la zapata

$$Q_z = 23 \cdot (1.2 \cdot 1 \cdot 0.9) = 24.84 \text{ kN}$$

siendo:

γ_H Densidad del hormigón (23 kN/m³)
 V Volumen del hormigón

Se trabaja con los esfuerzos exteriores totales respecto al centro de la base de la zapata:

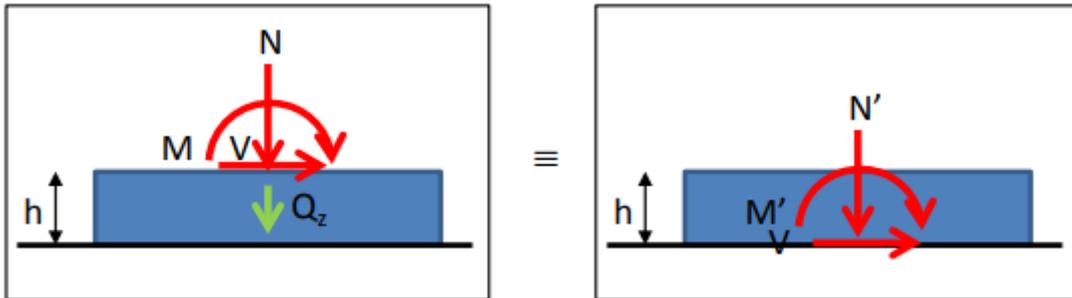


Figura 63: Esfuerzos respecto al centro de la base de la zapata. [13]

$$N' = N + Q_z$$

Ecuación 13: Esfuerzo axial desplazado al centro de la base de la zapata

$$N' = 7.99 + 24.84 = 32.83 \text{ kN}$$

$$M' = M + V \cdot h$$

Ecuación 14: Momento desplazado al centro de la base de la zapata

$$M' = 6.27 + 4.24 \cdot 0.9 = 10.086 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Comprobación a vuelco:

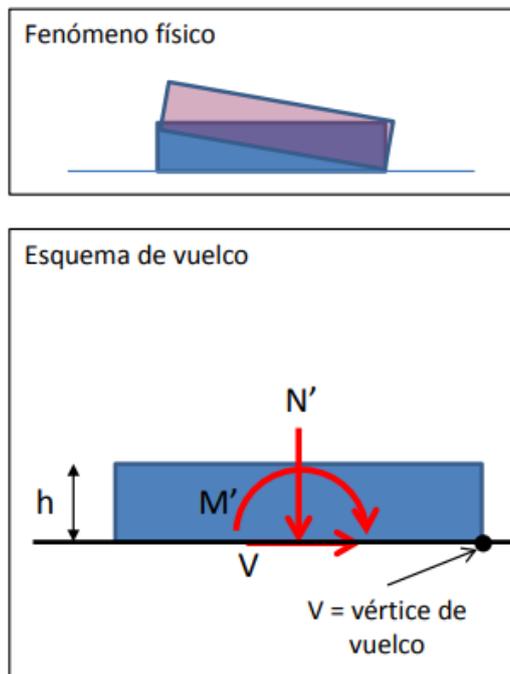


Figura 64: Comprobaciones a vuelco. [13]

Momento de vuelco:

$$M_V = M' = M + V \cdot h = 10.086 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ecuación 15: Momento de Vuelco

$$E_{d,dst} = 1.8 \cdot M_V$$

Ecuación 16: Valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras

Momento estabilizante:

$$M_E = N' \cdot \frac{a}{2} = (N + Q_z) \cdot \frac{a}{2} = 32.83 \cdot 0.6 = 19.698 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ecuación 17: Momento estabilizante

$$E_{d,stab} = M_E$$

Ecuación 18: Valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras

Coeficiente de seguridad a vuelco:

$$\gamma_H = \frac{M_E}{M_V} \geq 1.8$$

Ecuación 19: Coeficiente de seguridad a vuelco

$$\gamma_H = \frac{19.698}{10.086} > 1.8$$

Comprobación a deslizamiento:

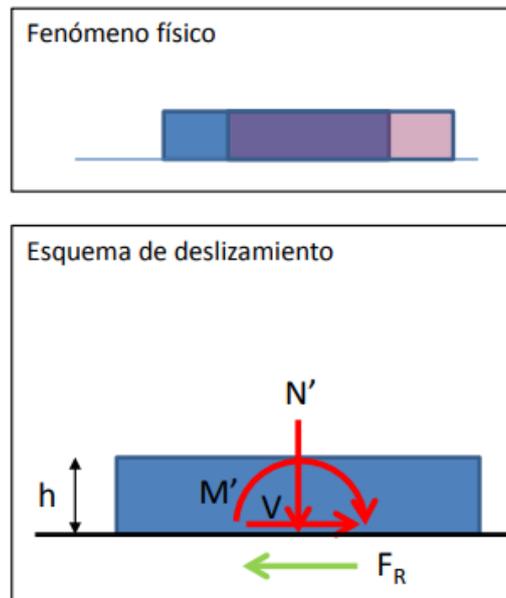


Figura 65: Comprobaciones a deslizamiento. [13]

Fuerza de deslizamiento:

$$F_D = V$$

Ecuación 20: Fuerza de deslizamiento

$$F_D = 4.24 \text{ kN}$$

Fuerza de rozamiento máxima:

$$F_R = N' \cdot \mu$$

Ecuación 21: Fuerza de rozamiento máxima

$$F_R = 32.83 \cdot 0.4 = 13.132 \text{ kN}$$

Coefficiente de seguridad a deslizamiento:

$$\gamma_D = \frac{F_R}{F_D} \geq 1.5$$

Ecuación 22: Coeficiente de seguridad a deslizamiento

$$\gamma_D = \frac{13.132}{4.24} > 1.5$$

Comprobación a hundimiento:

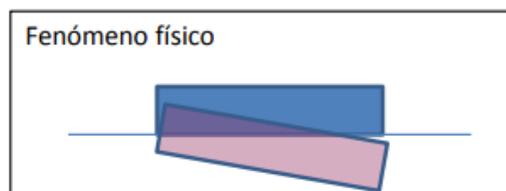


Figura 66: Comprobaciones a hundimiento. [13]

$$\sigma_{max} = \sigma_{adm}$$

Para la distribución de tensiones existen dos posibilidades: Distribución de tensiones trapecial, en la que toda la zapata se encuentra comprimida y distribución triangular, en la que parte de la zapata se levanta.

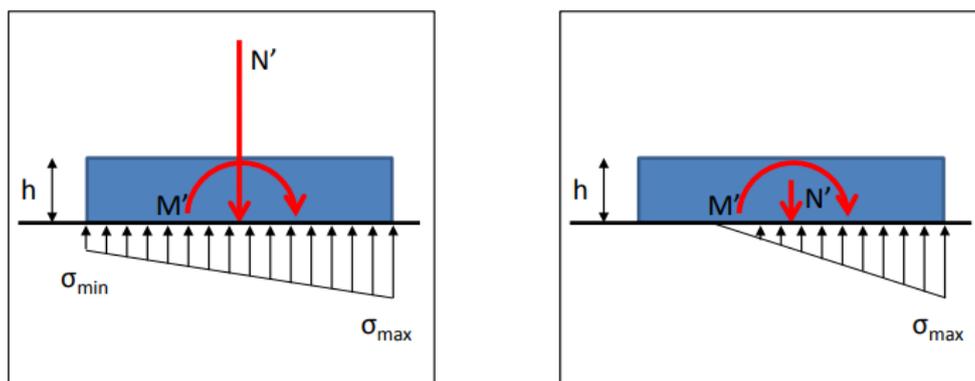


Figura 67: Distribución de tensiones trapecial y triangular. [13]

Para determinar el tipo de distribución de tensiones que se da en nuestra zapata hay que analizar el caso límite en el que la $\sigma_{min} = 0$, de esta manera:

$$\sigma_{min} = \frac{N'}{A} - \frac{M'}{W} = 0$$

Ecuación 23: Caso límite de tensiones para determinar el tipo de distribución:

$$\frac{M'}{N'} = \frac{W}{A} = \frac{\frac{I}{a/2}}{a \cdot b} = \frac{\frac{b \cdot a^2}{6}}{a \cdot b} = \frac{a}{6}$$

$$\frac{M'}{N'} = \frac{1,2}{6} = 0.2$$

La definición de excentricidad es:

$$\frac{M'}{N'} = e$$

Ecuación 24: Cálculo de la excentricidad de la carga

$$\frac{10.086}{32.83} = 0.307 = e$$

Por lo que en el caso límite en el que la $\sigma_{\min} = 0$,

$$e = \frac{M'}{N'} = \frac{a}{6}$$

La condición de levantamiento de la zapata es:

Si $e < \frac{a}{6}$ La zapata esta comprimida, por lo que la distribución es trapecial
 Si $e > \frac{a}{6}$ La zapata se levanta, por lo que la distribución es triangular

$$0.307 > 0.2$$

Viendo que la distribución de tensiones es triangular, para calcular σ_{\max} es necesario conocer la profundidad de la línea neutra x . Para ello se plantean las ecuaciones de equilibrio:

$$\begin{aligned} \Sigma F = 0 & \quad N' = R = \frac{\sigma_{\max} \cdot x}{2} \cdot b \\ \Sigma M = 0 & \quad M' = R \cdot \text{brazo} = R \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{x}{3}\right) \end{aligned}$$

$$\frac{M'}{N'} = \left(\frac{a}{2} - \frac{x}{3}\right)$$

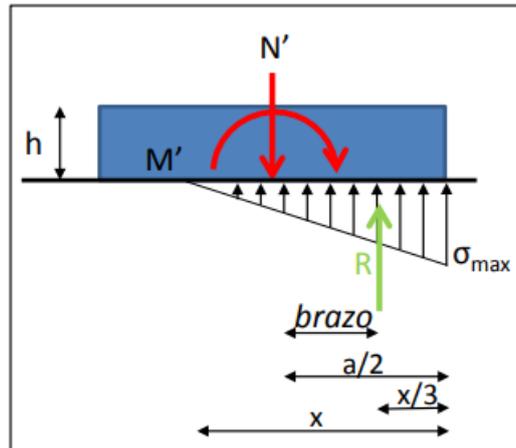


Figura 68: Ecuaciones de equilibrio en distribución de tensiones triangular. [13]

Recordando que la definición de excentricidad es: $\frac{M'}{N'} = e$

$$x = \frac{3 \cdot a - 6 \cdot e}{2}$$

Ecuación 25: Cálculo de la profundidad de la línea neutra.

$$x = \frac{3 \cdot 1.2 - 6 \cdot 0.307}{2} = 0.879$$

Conocida la profundidad de la línea neutra x , se puede calcular σ_{max} y compararlo con σ_{adm} :

$$N' = \frac{\sigma_{max} \cdot x}{2} \cdot b$$

$$\sigma_{max} = \frac{2 \cdot N'}{x \cdot b}$$

$$\sigma_{max} = \frac{2 \cdot 32.83}{0.879 \cdot 1} = 74.69 \text{ kPa} = 0.074 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

La presión máxima admisible viene determinada en el estudio geotécnico. El estudio geotécnico es el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, que es necesario para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de éste u otras obras. Como para este proyecto no se ha realizado ningún estudio, se utilizarán los valores orientativos descritos en la tabla D.25 del DB-SE-Cimientos [12]:

Terreno	Tipos y condiciones	Presión admisible [Mpa]	Observaciones
Rocas	Rocas ígneas y metamórficas sanas ⁽¹⁾ (Granito, diorita, basalto, gneis)	10	Para los valores apuntados se supone que la cimentación se sitúa sobre roca no meteorizada
	Rocas metamórficas foliadas sanas ^{(1), (2)} (Esquistos, pizarras)	3	
	Rocas sedimentarias sanas ^{(1), (2)} Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados	1 a 4	
	Rocas arcillosas sanas ^{(2), (4)}	0,5 a 1	
	Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1	
	Calizas, areniscas y rocas pizarrosas con pequeño espaciamiento de los planos de estratificación ⁽³⁾	-	
	Rocas muy diaclasadas o meteorizadas ⁽³⁾	-	
Suelos granulares (% finos inferior al 35% en peso)	Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6	Para anchos de cimentación (B) mayor o igual a 1 m y nivel freático situado a una profundidad mayor al ancho de la cimentación (B) por debajo de ésta
	Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas	0,2 a 0,6	
	Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas	<0,2	
	Arena muy densa	>0,3	
	Arena medianamente densa	0,1 a 0,3	
	Arena suelta	<0,1	
Suelos finos (% de finos superior al 35% en peso)	Arcillas duras	0,3 a 0,6	Los suelos finos normalmente consolidados y ligeramente sobreconsolidados en los que sean de esperar asentamientos de consolidación serán objeto de un estudio especial. Los suelos arcillosos potencialmente expansivos serán objeto de un estudio especial
	Arcillas muy firmes	0,15 a 0,3	
	Arcillas firmes	0,075 a 0,15	
	Arcillas y limos blandos	<0,075	
	Arcillas y limos muy blandos		

Figura 69: Tabla D.25 con las presiones admisibles a efectos orientativos del DB-SE-Cimientos. [12]

Método de instalación

Una vez excavado el agujero de 1,2 metros de largo, 1 metro de ancho y 0,9 metros de profundo. Se vierte una capa de hormigón autonivelante hasta la profundidad de referencia de 0,6 metros, una vez seco se fija el poste al hormigón con anclajes de carga pesada. Una vez ya colocado y fijado el poste en el agujero, se procede a llenarlo de hormigón reforzado.

Presupuesto

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO Ud	VALOR
TRACKER 1 EJE STI H250 60 MÓDULOS Ud. Suministro de seguidor de 60 módulos eje horizontal N-S, compuesto por dos únicas filas con motor y actuador situado únicamente en una de las filas	1	5.543,08	5.543,08
TSM-PE14H Módulo solar TrinaSolar, montaje de módulos, recepción y descarga en obra.	60	174,70	10.482,00
Mano de Obra Montaje de Tracker 1 eje STI H250, 60 módulos solar	90	30,00	2.700,00
Material Bases Tracker Cimentación	9	45,50	409,50
M Cúbico de Hormigón en Obra	7	107,80	754,60
Nota: 21,00% IVA en vigor no incluido		TOTAL	19.888,58 €

Modelo de elementos finitos

Al igual que en las anteriores cimentaciones, se importa el archivo en ANSYS y se le asignan los diferentes materiales, las conexiones entre componentes y se somete el modelo a las reacciones calculadas. El perfil es de acero Q345B, el terreno es tierra y el hueco en ella se rellena de cemento reforzado. Se toma un coeficiente de fricción de 0,4 entre el hormigón y la tierra, y para el contacto entre el hormigón y el acero se establece una unión de tal manera que no exista deslizamiento o separación entre caras o bordes.

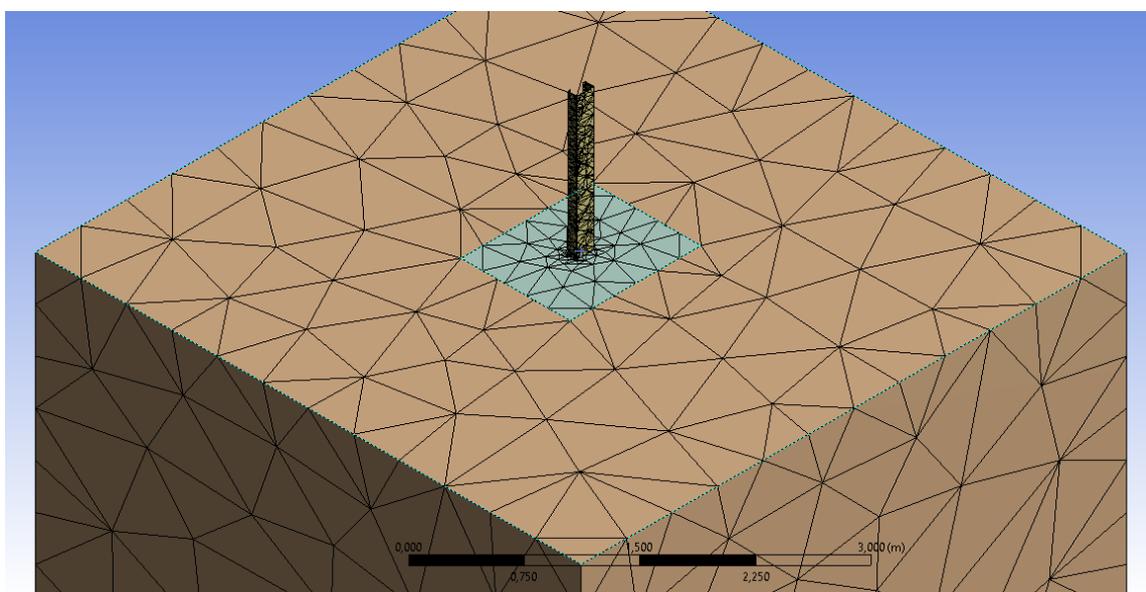


Figura 70: Diseño cimentación mediante plancha enterrada

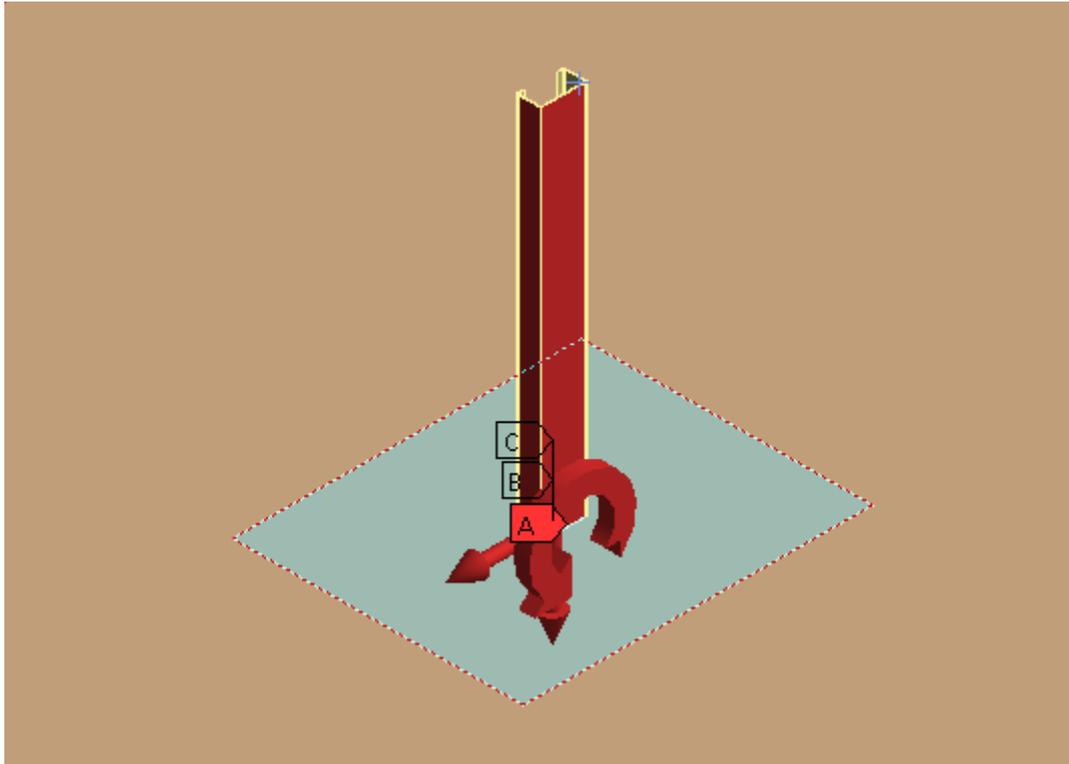


Figura 71: Reacciones cimentación mediante plancha enterrada (Compresión)

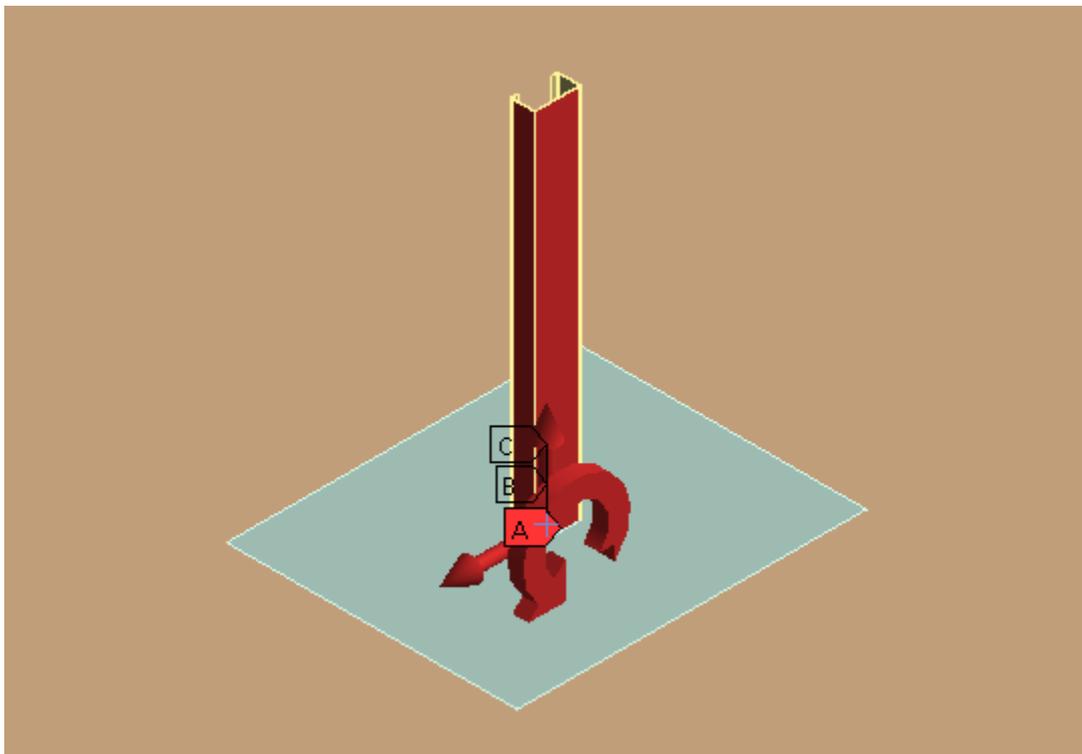


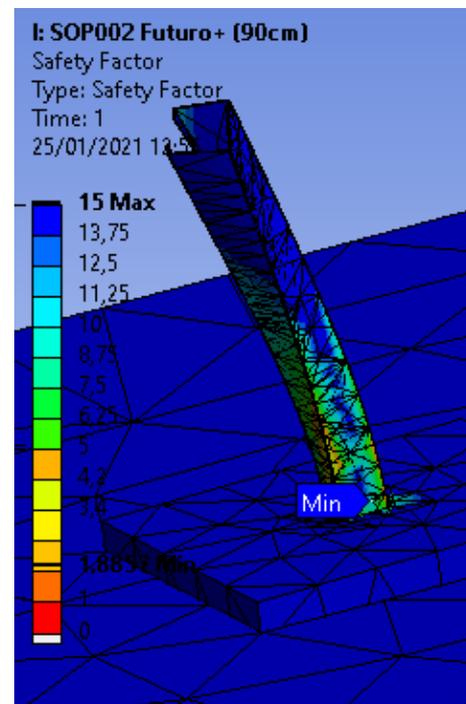
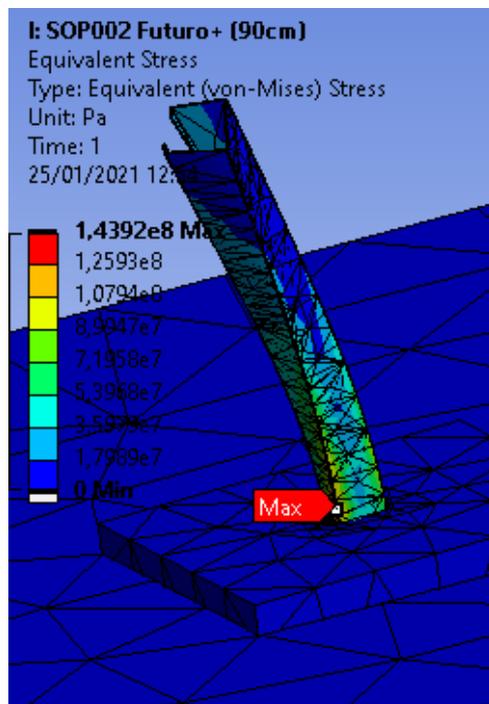
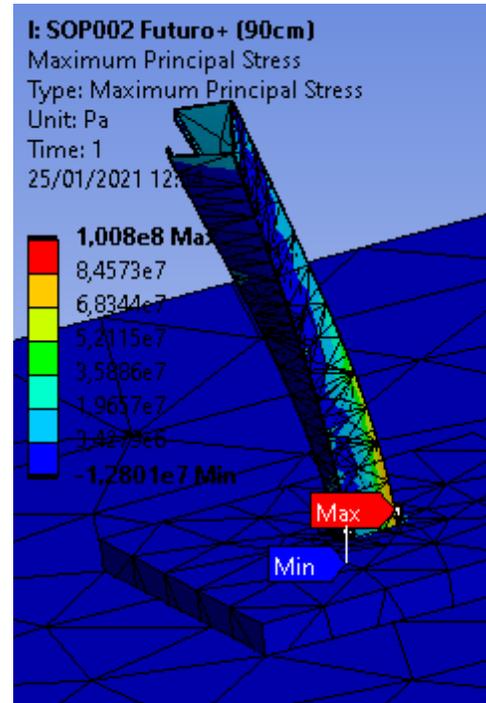
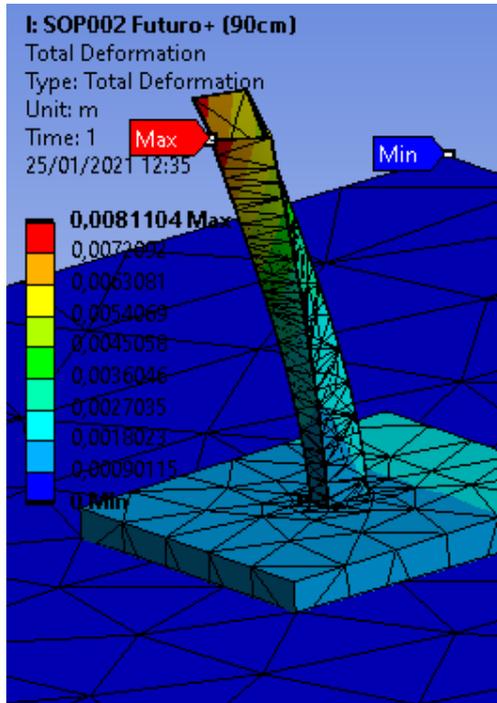
Figura 72: Reacciones cimentación mediante plancha enterrada (Tracción)

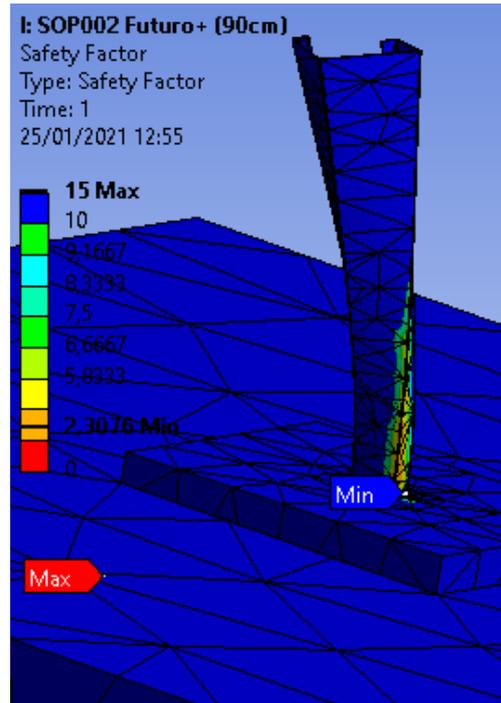
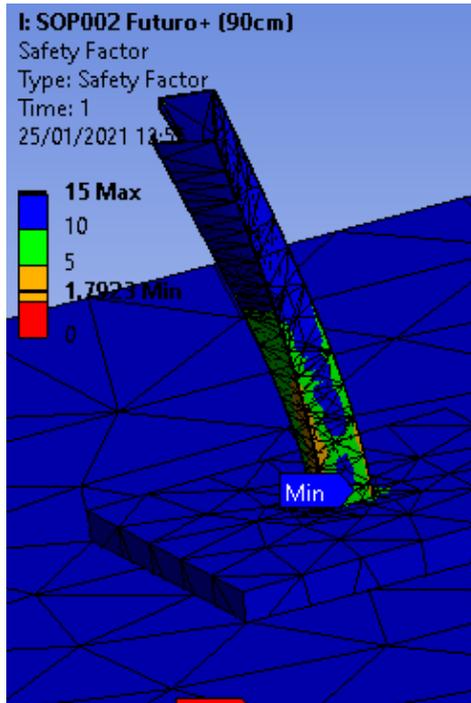
Resultados y discusiones

Para las reacciones del apartado 3 del presente proyecto, los resultados son:

Reacción [kN - kN-m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Comp.	7,99

Tabla 29: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada (Compresión) I.

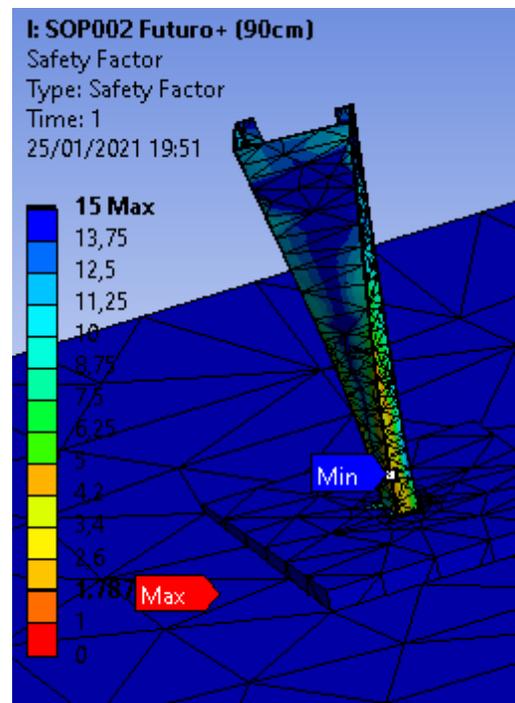
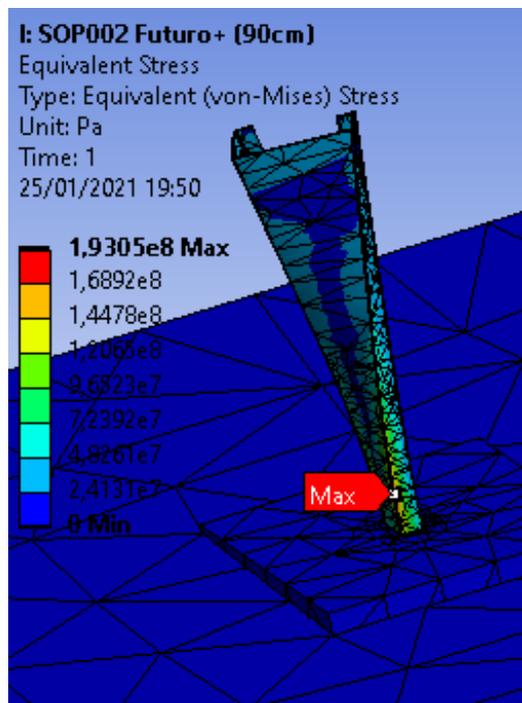
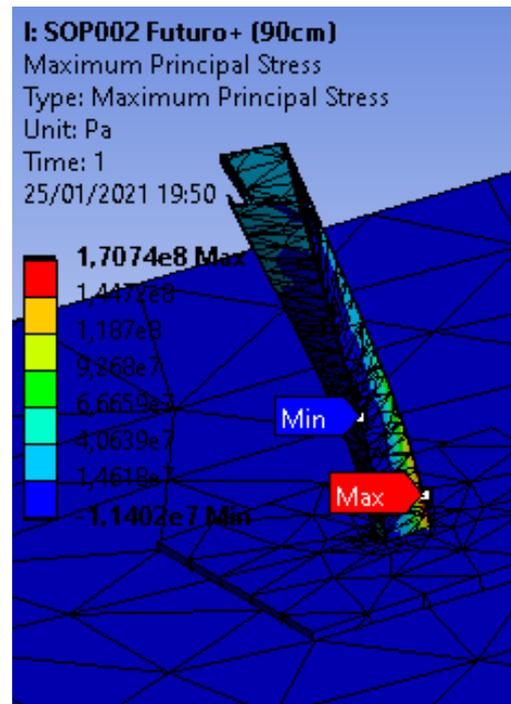
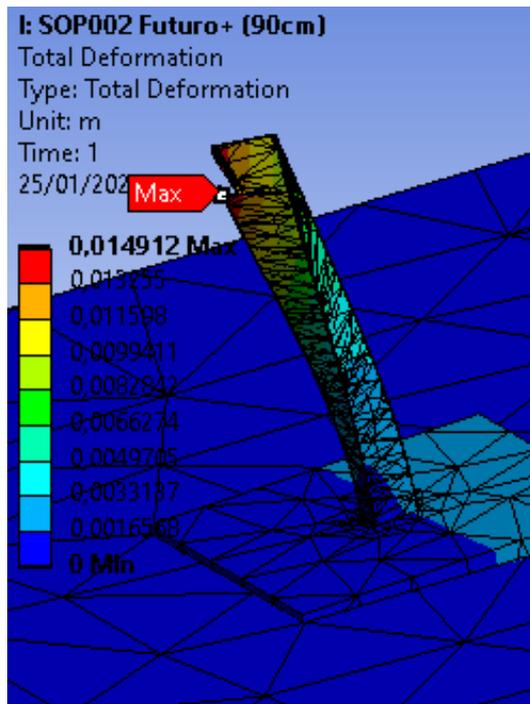


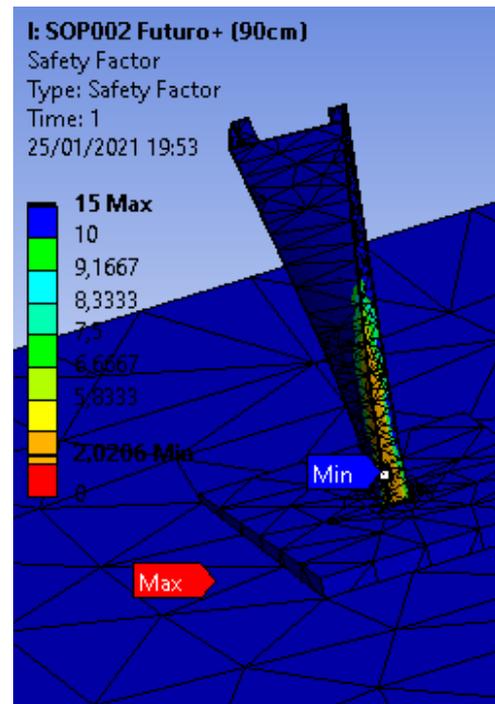
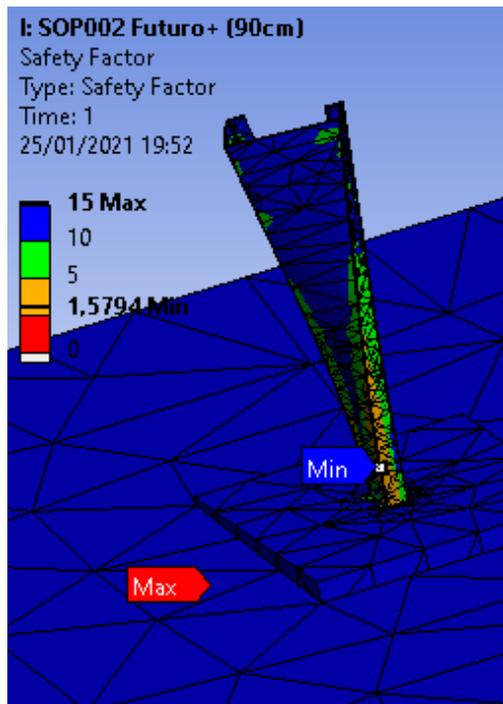


Figuras 73: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada I (Compresión).

Reacción [kN - kN·m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Tracc.	2,13

Tabla 30: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada (Tracción) I.





Figuras 74: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada I (Tracción).

	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Comp.} = 7,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Tracc.} = 2,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Deformación Total	0,0081 m	0,0149 m
Tensión Máxima Principal	100,8 MPa	170,74 MPa
Tensión de Von Mises	143,92 MPa	193,05 MPa
CS: Tensión de Von Mises	1,88	1,78
CS: Esfuerzo Cortante	1,79	1,57
CS: Esfuerzo Tracción	2,30	2,02

Tabla 31: Resultados cimentación mediante zapata y plancha enterrada.

A la vista de los resultados obtenidos, podemos observar que el diseño realizado es apto para su uso ya que cumple con los coeficientes de seguridad requeridos en la Instrucción del Acero Estructural.

Es por esto por lo que se decide disminuir la profundidad a la que se entierra la plancha. Se decide excavar en este caso un agujero igual de ancho y largo pero con una profundidad de 70 cm, de esta manera llenaremos el agujero con hormigón autonivelante para poder introducir el poste con los anclajes hasta una profundidad de 50 cm. De igual manera, comprobamos las zapatas a vuelco, deslizamiento y hundimiento.

Cálculo del peso de la zapata:

$$Q_z = \gamma_H \cdot V$$

$$Q_z = 23 \cdot (1.2 \cdot 1 \cdot 0.7) = 19.32 \text{ kN}$$

Los esfuerzos exteriores totales respecto al centro de la base de la zapata:

$$N' = N + Q_z$$

$$N' = 7.99 + 19.32 = 27.31 \text{ kN}$$

$$M' = M + V \cdot h$$

$$M' = 6.27 + 4.24 \cdot 0.7 = 9.238 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Comprobación a vuelco:

Momento de vuelco:

$$M_V = M' = M + V \cdot h = 9.238 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$E_{d,dst} = 1.8 \cdot M_V$$

Momento estabilizante:

$$M_E = N' \cdot \frac{a}{2} = (N + Q_z) \cdot \frac{a}{2} = 27.31 \cdot 0.6 = 16.386 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$E_{d,stab} = M_E$$

Coeficiente de seguridad a vuelco:

$$\gamma_H = \frac{M_E}{M_V} \geq 1.8$$

$$\gamma_H = \frac{16.386}{9.238} \approx 1.8$$

El coeficiente de seguridad a vuelco es aproximadamente 1.8 por lo que no se aconseja reducir más el tamaño de la zapata. Si se cumplen las condiciones de deslizamiento y de hundimiento, no se reducirá más el tamaño de la zapata de hormigón.

Comprobación a deslizamiento:

Fuerza de deslizamiento:

$$F_D = V$$

$$F_D = 4.24 \text{ kN}$$

Fuerza de rozamiento máxima:

$$F_R = N' \cdot \mu$$

$$F_R = 27.31 \cdot 0.4 = 10.924 \text{ kN}$$

Coeficiente de seguridad a deslizamiento:

$$\gamma_D = \frac{F_R}{F_D} \geq 1.5$$

$$\gamma_D = \frac{10.924}{4.24} = 2.57 \geq 1.5$$

Comprobación a hundimiento:

$$\sigma_{max} = \sigma_{adm}$$

En el caso límite en el que la $\sigma_{min} = 0$:

$$\frac{M'}{N'} = \frac{1,2}{6} = 0.2$$

La excentricidad es:

$$\frac{M'}{N'} = e$$

$$\frac{9.238}{27.31} = 0.338 = e$$

La condición de levantamiento de la zapata es:

Si $e < \frac{a}{6}$ La zapata esta comprimida, por lo que la distribución es trapecial

Si $e > \frac{a}{6}$ La zapata se levanta, por lo que la distribución es triangular

$$0.338 > 0.2$$

La línea neutra x :

$$x = \frac{3 \cdot a - 6 \cdot e}{2}$$

$$x = \frac{3 \cdot 1.2 - 6 \cdot 0.338}{2} = 0.786$$

Conocida la profundidad de la línea neutra x , se puede calcular σ_{max} y comparar con σ_{adm} :

$$\sigma_{max} = \frac{2 \cdot N'}{x \cdot b}$$

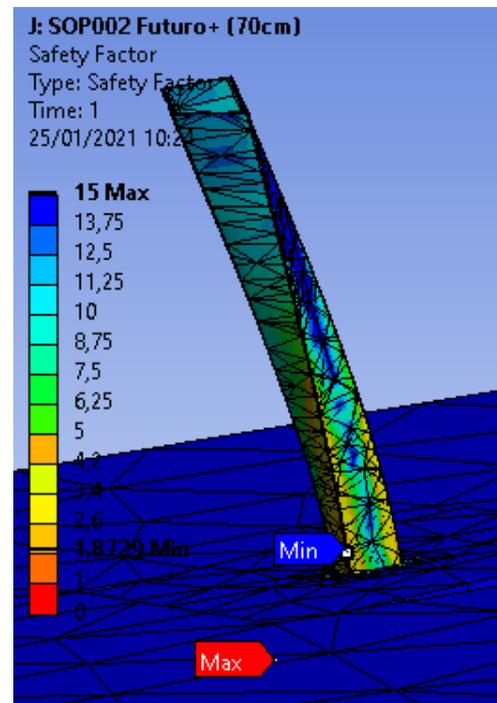
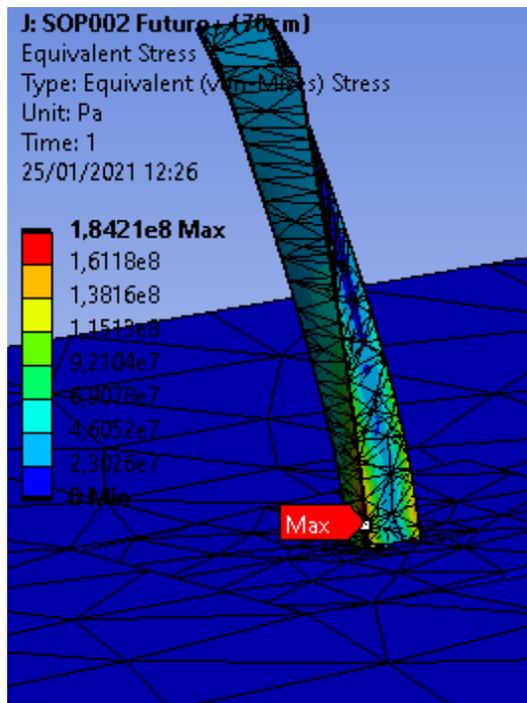
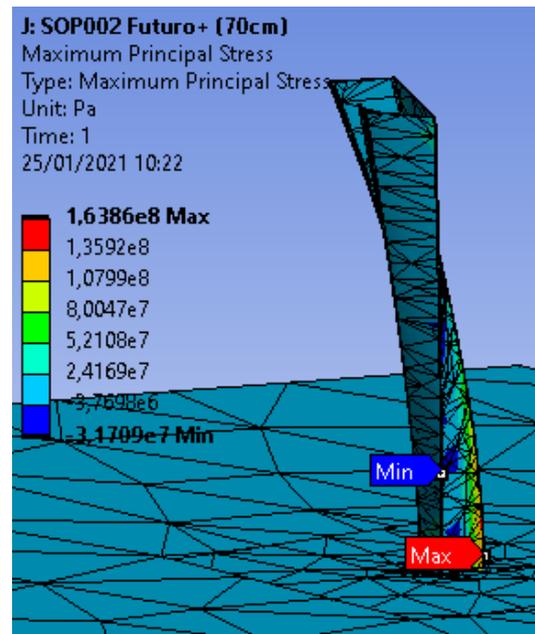
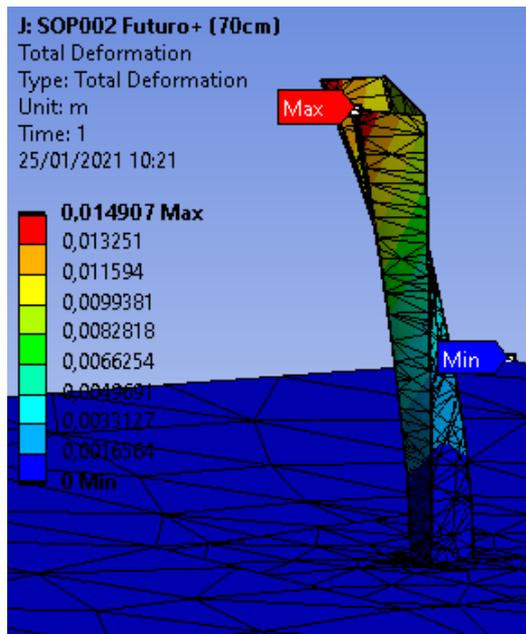
$$\sigma_{max} = \frac{2 \cdot 27.31}{0.786 \cdot 1} = 69.49 \text{ kPa} = 0.069 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

Dado que se cumplen las especificaciones del DB-SE-Cimientos, para las mismas cargas y reacciones los resultados obtenidos son:

Reacción [kN - kN·m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Comp.	7,99

Tabla 32: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada (Compresión) II.



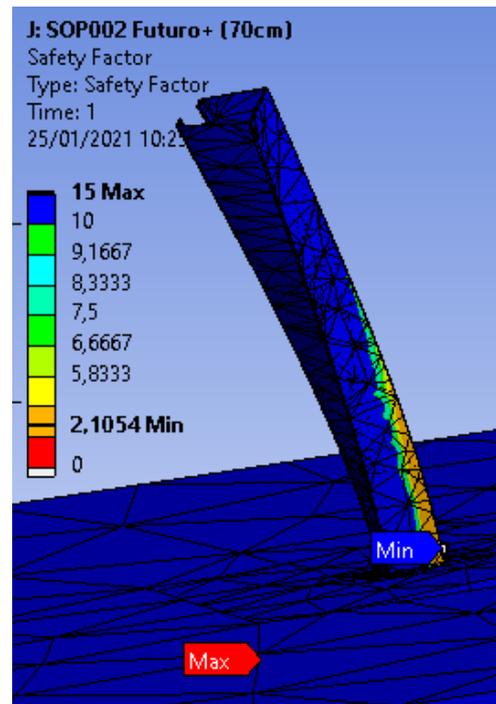
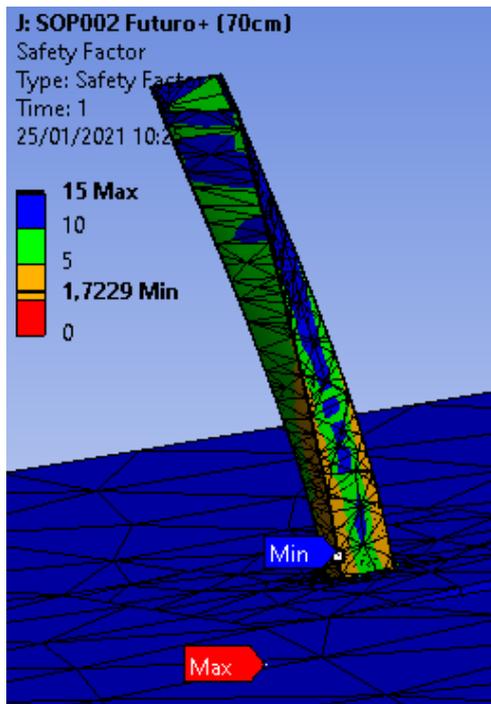
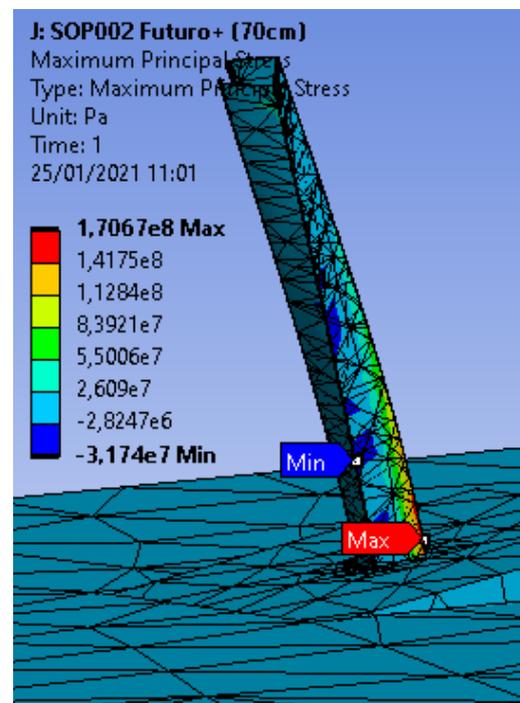
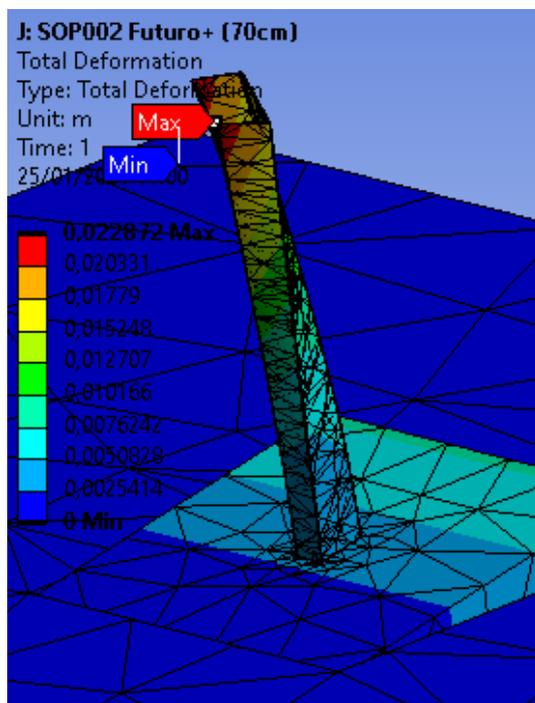


Figura 75: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada II (Compresión).

Reacción [kN - kN-m]	
F_x	4,24
M_z	6,27
F_y - Tracc.	2,13

Tabla 33: Fuerzas y momento utilizados para el estudio del comportamiento de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada (Tracción) II.



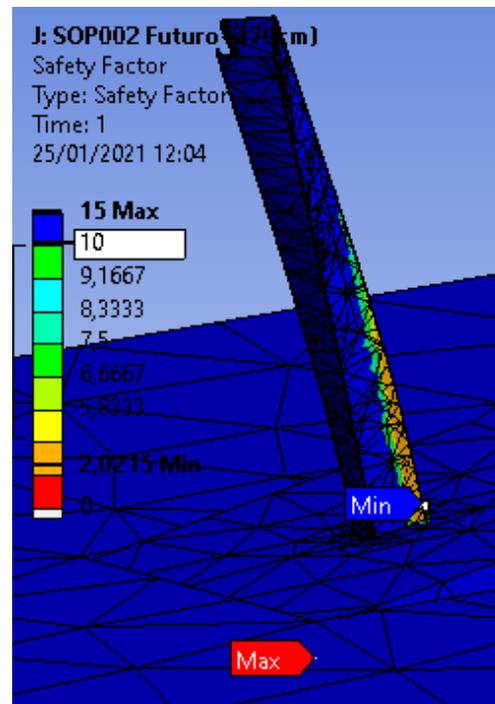
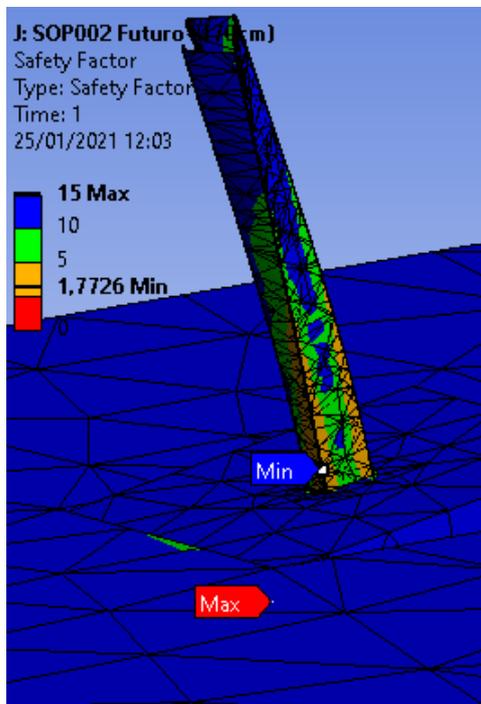
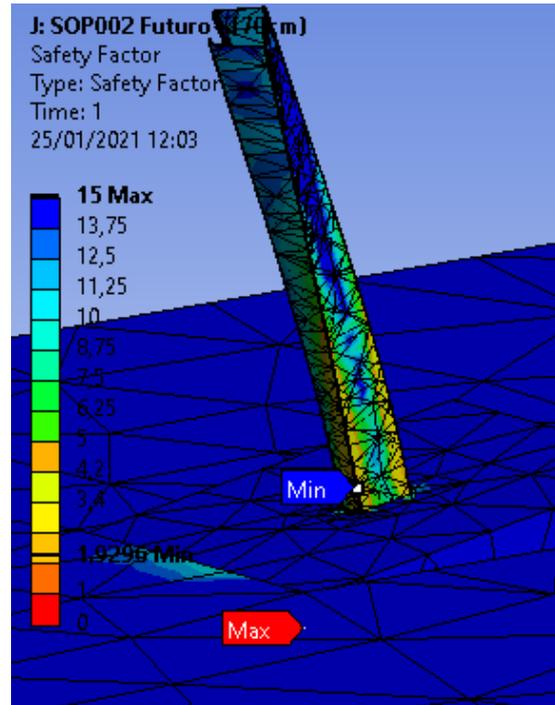
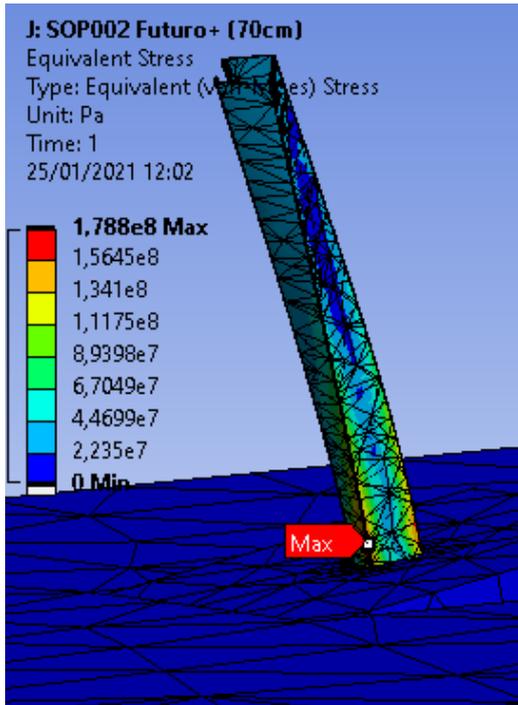


Figura 76: Simulación en ANSYS de la cimentación mediante zapata y plancha enterrada II (Tracción)

	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Comp.} = 7,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_x = 4,24 \text{ kN}$ $M_z = 6,27 \text{ kN}$ $F_y - \text{Tracc.} = 2,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Deformación Total	0,0149 m	0,0228 m
Tensión Máxima Principal	163,86 MPa	170,67 MPa
Tensión de Von Mises	184,21 MPa	178,86 MPa
CS: Tensión de Von Mises	1,87	1,92
CS: Esfuerzo Cortante	1,72	1,77
CS: Esfuerzo Tracción	2,10	2,02

Tabla 34: Resultados cimentación mediante zapata y plancha enterrada II.

Fijándonos nuevamente en los coeficientes de seguridad obtenidos, contemplamos que el diseño propuesto cumple con los requisitos solicitados. Comparando los resultados con los obtenidos a una profundidad de 70 centímetros, vemos que tanto las deformaciones como los esfuerzos son ligeramente mayores, situación que era de esperar. Este aumento en los esfuerzos está directamente relacionado con la ligera disminución de los coeficientes de seguridad, esto se ve en los casos de compresión.