



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de una estructura para la instalación de una estación de
medición de radiación UV*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Guillermo Supervielle Bergés

DIRECTOR: Miguel Ángel Álvarez Feijoo

CURSO ACADÉMICO: 2019-2020

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de una estructura para la instalación de una estación de
medición de radiación UV*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

La medición de la irradiación ultravioleta (UV) va cobrando cada vez más importancia a medida que la conciencia sobre su peligrosidad ha ido en aumento. A pesar de haber una red densa de estaciones que miden la irradiancia solar para estimar la producción energética, el despliegue de puntos de medida para UV está muy por detrás en número y extensión. Este trabajo fin de grado pretende desarrollar una estructura que sirva como futura base de una estación de medidas en el edificio del CUD. Para ello, deberá ser capaz de aguantar las cargas estimadas, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y el espacio seleccionado para su despliegue.

PALABRAS CLAVE

Radiación, sensor, ultravioleta, estructura, diseño.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, el Sr. Álvarez Feijoo, por haberme enseñado a solucionar los problemas de forma autónoma y por tener la consideración de ajustarse a los tiempos del alumno en las peores situaciones.

A mis padres y hermanos por los valores que me han inculcado y el apoyo que me han demostrado. En especial a mi padre y mi hermano Carlos que me han aconsejado en algunos puntos del trabajo.

A Ana, por estar siempre ahí soportándome y animándome a continuar.

A Dios, por todo lo que me ha dado.

A Luisete, por todos los momentos que hemos disfrutado juntos. Duc in Altum.

CONTENIDO

1	Introducción y objetivos	1
1.1	Introducción	1
1.1.1	Sensores	1
1.1.2	Referencias	2
1.2	Objetivos y estructura	3
1.3	Legislación, normativa y códigos	3
1.4	Ubicación	3
2	Estado del arte	5
2.1	La radiación ultravioleta	5
2.1.1	El espectro electromagnético	5
2.1.2	La radiación solar	6
2.1.3	La radiación lumínica	8
2.1.1	Principales efectos de radiación UV	10
2.2	Diseño en ingeniería mecánica	12
2.2.1	Análisis FEM	14
2.2.2	Análisis CFD	15
2.3	Movimiento del sol	17
2.3.1	Movimiento del sol, leyes de Kepler y elíptica solar.....	18
2.3.2	Resolución triángulo de posición a partir de azimut	19
3	Diseño.....	21
3.1	Introducción al Diseño Conceptual.....	21
3.2	Requerimientos, especificaciones y condiciones de diseño.....	21
3.2.1	Operatividad	21
3.2.2	Facilidad de fabricación y coste	23
3.2.3	Intercambiabilidad de las piezas	24
3.2.4	Resistencia mecánica	24
3.2.5	Forma y estética.....	24
3.3	Relación entre requerimientos y condiciones de diseño	24
3.4	Primer diseño	25
3.4.1	Exposición del primer diseño	25
3.4.2	Evaluación primer diseño	31
3.5	Segundo diseño	32
3.5.1	Exposición segundo diseño.....	32

3.5.2 Evaluación segundo diseño.....	35
3.6 Otras consideraciones de diseño	36
3.6.1 Soporte de sensores.....	36
3.6.2 Sujeción	36
3.6.3 Peso.....	37
4 Cálculos y resultados.....	39
4.1 Estudio de sombras	39
4.2 Cálculo de esfuerzos mediante FEA	42
4.2.1 Fuerza de arrastre.....	43
4.2.2 Condiciones del FEA.....	44
4.2.1 Resultados primer diseño.....	47
4.2.2 Resultados para el segundo diseño	50
4.3 Presupuestos solicitados.....	55
5 Conclusiones	57
5.1 Conclusión tras resultados	57
5.2 Líneas futuras	57
6 Bibliografía.....	59
7 Anexos.....	61
Anexo I: Propiedades físicas de los fluidos y coeficientes de resistencia	63
Anexo II: Presupuestos.....	65
Anexo III: Informes de resultados simulación	69
7 Informe de análisis de tensión	71
7.1.1 Información de proyecto (iProperties).....	71
7.2 Análisis estático: Aluminio.....	71
7.2.1 Condiciones de funcionamiento	72
7.2.2 Resultados.....	75
7.3 Análisis estático: Acero S275JR	78
7.3.1 Resultados.....	79
7.4 Análisis estático: Acero Inox 316L.....	81
7.4.1 Resultados.....	82
8 Informe de análisis de tensión	86
8.1.1 Información de proyecto (iProperties).....	86
8.2 Análisis estático: Acero inox 316L.....	86
8.2.1 Condiciones de funcionamiento	87
8.2.2 Resultados.....	91

8.3 Análisis estático: Acero inox 316L:1	94
8.3.1 Resultados	95
8.4 Análisis estático: Acero S275JR	98
8.4.1 Resultados	99
Anexo IV: Planos del segundo diseño	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Smart UV Radiometer. [2]	1
Figura 1.2 SR11. [3]	2
Figura 1.3 ML-020S-O. [5]	2
Figura 1.4 Reino de España ubicado en la península Ibérica. (<i>Google Earth</i>)	4
Figura 1.5 Rías bajas y la villa de Marín. (<i>Google Maps</i>)	4
Figura 1.6 Vista del Torreón desde la terraza del edificio.	4
Figura 2.1 Representación del espectro electromagnético en escala logarítmica [10].....	6
Figura 2.2 Esquema central térmica nuclear [11].....	7
Figura 2.3 Cadena protón-protón [11].....	8
Figura 2.4 Análisis espectral de las diferentes fuentes de luz [13]	9
Figura 2.5 Penetración de radiación UV [16].....	10
Figura 2.6 Promedio anual de UV Index en Europa [16].....	12
Figura 2.7 Esquemmatización del proceso de diseño.....	13
Figura 2.8 Planos del asiento de un coche (<i>Inventor</i>)	14
Figura 2.9 Mallado de un carrete de pesca (<i>Inventor</i>).....	15
Figura 2.10 Un estudio realizado en FLOW DESIGN (Autodesk).....	16
Figura 2.11 Tipos de flujo [20]	16
Figura 2.12 Vista satélite de parte de la ENM (<i>Google Maps</i>)	17
Figura 2.13 Eclíptica [23].....	18
Figura 2.14 Triángulo de posición [23].....	19
Figura 3.1 Esquina del torreón en la que se ubicará la estación.....	22
Figura 3.2 Maqueta simplificada del Torreón	22
Figura 3.3 Detalle nivelación de la plataforma donde se apoyan los sensores.....	23
Figura 3.4 Relaciones entre requerimientos y condiciones de diseño.....	25
Figura 3.5 Estructura principal	26
Figura 3.6 Detalle sujeción a la pared	26
Figura 3.7 Pieza de sujeción a pared	27
Figura 3.8 Detalle de sujeción a la balaustrada	27
Figura 3.9 Pieza de sujeción a balaustrada.....	28
Figura 3.10 Detalle de los brazos de sujeción	28
Figura 3.11 Brazo de sujeción	29
Figura 3.12 Detalle unión de los brazos con la estructura principal	29
Figura 3.13 Detalle unión de un brazo con una de las sujeciones	30
Figura 3.14 Detalle del soporte de los sensores	30

Figura 3.15 Detalle de uniones a 45° y 90°	31
Figura 3.16 Detalle tapadera barra superior	31
Figura 3.17 Vista en planta de ensamble telescópico	31
Figura 3.18 Gráfico de requerimientos cumplidos por primer diseño	32
Figura 3.19 Detalle de sujeción segundo diseño	33
Figura 3.20 Gancho de pared o brazo semi-normalizado del segundo diseño	33
Figura 3.21 Detalle de unión entre brazo y barra inferior	34
Figura 3.22 Detalle parte baja de la barra inferior.....	34
Figura 3.23 Detalle pieza unión estructura principal con plataforma de sensores	35
Figura 3.24 Detalle soldadura en plataforma de los sensores	35
Figura 3.25 Gráfico de requerimientos cumplidos por segundo diseño	36
Figura 3.26 Ejemplo de colocación de los sensores	37
Figura 4.1 Maqueta ENM (SketchUp)	39
Figura 4.2 Gráfica de luz incidente sobre los sensores entre el 21 de junio y 13 de julio	42
Figura 4.3 Fuerzas y momentos sobre un cuerpo inmerso en un flujo de corriente uniforme. [25]	43
Figura 4.4 Detalle de mallado automático en segundo diseño	44
Figura 4.5 Colocación de las cargas en primer diseño	45
Figura 4.6 Colocación de las cargas en segundo diseño	46
Figura 4.7 Detalle coeficiente de seguridad 1° diseño en acero Inox.....	48
Figura 4.8 Detalle coeficiente de seguridad 1° diseño en acero Inox.....	48
Figura 4.9 Deformación del primer diseño en acero inox.....	49
Figura 4.10 Coeficiente de seguridad. Sondeo de varios puntos en el segundo diseño acero inox.	50
Figura 4.11 Detalle coeficiente de seguridad. Segundo diseño en acero S275JR.....	51
Figura 4.12 Detalle coeficiente de seguridad. Segundo diseño en acero inox.	51
Figura 4.13 Detalle coeficiente de seguridad. Segundo diseño en aluminio.....	52
Figura 4.14 Coeficiente de seguridad segundo diseño a 70 km/h con acero inox.	53
Figura 4.15 Deformación de la plataforma. Segundo diseño con brazo macizo en acero inox.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Fronteras del espectro electromagnético	6
Tabla 2.2 Longitudes de onda de la luz visible [10].....	9
Tabla 3.1 Pesos primer diseño.....	37
Tabla 3.2 Pesos del segundo diseño	38
Tabla 4.1 Datos obtenidos por <i>Sketchup</i>	40
Tabla 4.2 Resultados de altura del Sol en demora de los obstáculos el 21 de junio, 21 de diciembre, 23 de septiembre	41
Tabla 4.3 Datos calculados del primer diseño.....	45
Tabla 4.4 Datos calculados del segundo diseño	45
Tabla 4.5 Características generales de los materiales	46
Tabla 4.6 Características de tensión de los materiales	46
Tabla 4.7 Resumen simulación 115 km/h en primer diseño (Informe Anejo).....	47
Tabla 4.8 Resumen simulación 115 km/h en segundo diseño (Informe Anejo)	47
Tabla 4.9 Solicitaciones máximas del primer diseño	48
Tabla 4.10 Deformaciones máximas del primer diseño.	49
Tabla 4.11 Solicitaciones máximas del segundo diseño original.....	52
Tabla 4.12 Solicitaciones máximas del segundo diseño con brazos macizos	52
Tabla 4.13 Fuerza de arrastre a 70 km/h. Segundo diseño.....	53
Tabla 4.14 Solicitaciones máximas del segundo diseño con un viento de 70km/h.....	53
Tabla 4.15 Deformaciones máximas	54

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

En 1985, 28 países se reunieron para impulsar medidas en defensa de la capa de ozono, protección natural contra la radiación ultravioleta. A partir de este Convenio de Viena se redactó, en 1987, el Protocolo de Montreal por el cual los países acordaban la reducción de ciertos productos químicos a la atmósfera. «El 16 de septiembre de 2009, la Convención de Viena y el Protocolo de Montreal se convirtieron en los primeros tratados de la historia de las Naciones Unidas en lograr la ratificación universal» [1]. Desde que se organizó el Convenio, el estudio de la radiación solar ha ido cobrando importancia. Para poder cuantificarla, casi todas las estaciones meteorológicas cuentan, hoy en día, con sensores que permiten su medición. Al igual que pasa con los demás agentes meteorológicos, se necesita una gran cantidad de datos para lograr predecir eventos futuros. Por eso cuanto mayor y más extensa sea la red de datos, mejor. Esto quiere decir que no sólo se requiere de una gran cantidad de información, sino que esa información debe de ser tomada de diferentes ubicaciones. En definitiva, se busca que haya el mayor número posible de estaciones meteorológicas distribuidas por todo el mundo. El presente trabajo tiene como objeto el diseño de una estructura en el torreón sobre el edificio del CUD en la Escuela Naval Militar de Marín para la colocación de varios sensores de radiación solar que funcionen como una pequeña parte de una estación meteorológica.

1.1.1 Sensores

Aunque el trabajo esté orientado a medir tan sólo la radiación ultravioleta, la estructura que se diseñe se aprovechará para incluir dos sensores a mayores. A continuación, se indican brevemente cada uno de ellos:

- *Smart UV Radiometer* de ZIPP & ZONEN [2]. Es el sensor que nos permite medir la radiación UV.

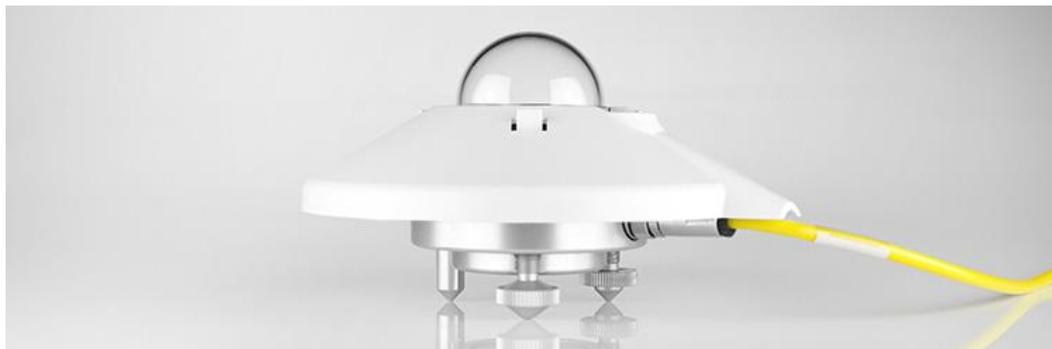


Figura 1.1 Smart UV Radiometer. [2]

- *SR11* de SENSOVANT [3]. Es un piranómetro, «instrumento utilizado para medir la intensidad combinada de una radiación directa solar que llega a la tierra y la radiación difusa del cielo; compara el calor producido por la radiación sobre cintas metálicas ennegrecidas con las producidas por una corriente.» [4]



Figura 1.2 SR11. [3]

- *ML-020S-O* de EKO [5]. Es un luxómetro, un «aparato que mide la intensidad luminosa en *luxes*.» [6]



Figura 1.3 ML-020S-O. [5]

1.1.2 Referencias

Este trabajo se ha desarrollado basándose en los TFG realizados por alumnos ya egresados de la Escuela Naval Militar con el título de Graduado en Ingeniería Mecánica:

1. Trabajo de Fin de Grado del entonces AF. Duelo Urcelay (2016): *Estimación del potencial fotovoltaico integrado en edificios en las instalaciones de la Escuela Naval Militar*. [7]
2. Trabajo de Fin de Grado del entonces AF. Vega Vegas (2016): *Estudio del potencial de aprovechamiento de la energía solar para usos térmicos en las instalaciones de la Escuela Naval Militar*. [8]

De ambos trabajos se han utilizado los modelos de *SketchUp* realizado por sendos alumnos que representan la edificación de la Escuela Naval Militar geolocalizada.

1.2 Objetivos y estructura

El objetivo de este trabajo es diseñar la estructura y calcular los posibles esfuerzos que deberá de soportar al estar a la intemperie y, por tanto, expuesta a los agentes meteorológicos. Se realizará un presupuesto de dicho diseño y se estudiarán las sombras que le puedan afectar.

Para ello el trabajo se dividirá en las siguientes secciones:

1. **Estado del arte.** Aquí se comentará ciertos aspectos de la radiación ultravioleta; se hablará de las nuevas técnicas de diseño estructural y, por último, se expondrán algunos fundamentos básicos para posteriormente realizar el estudio de sombras.
2. **Diseño.** Se pondrán varias estructuras comentando sus ventajas e inconvenientes.
3. **Cálculos y resultado.** Se plasmarán los cálculos FEM y los resultados del estudio de sombras. También, se expondrán presupuestos ofertados para la construcción de los diseños.
4. **Conclusiones.** Se elegirá la estructura deseada explicando los motivos.

1.3 Legislación, normativa y códigos

En el estado español los ingenieros mecánicos tienen que cumplimentar la normativa referente a las construcciones en acero que se indican a continuación. Aunque muchas estén relacionadas solo con la edificación, se utilizarán de apoyo [9]:

- DB SE-A: Acero del Código Técnico de la Edificación. Aprobado por Real Decreto 314/2009.
- Norma Española Experimental. Eurocódigo3: Proyecto de estructuras de acero.
- Instrucción de Acero Estructural EAE. Aprobada por Real Decreto 751/2011.

Las normas son un conjunto de especificaciones destinadas a las partes, los materiales o procesos de fabricación para establecer cierta homogeneidad. Su propósito principal es establecer una cantidad finita de posibles variaciones para así lograr la intercambiabilidad de las piezas, materiales, partes etc. Estas son las instituciones más importantes que han generado normativa relacionada con la rama de la ingeniería mecánica:

- Aluminum Association (AA)
- American Institute of Steel Construction (AISC)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- American National Standards Institute (ANSI)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- ASM International
- Comité Europeo de Normativa (CEN)
- Deutsches Institut für Normung (DIN)
- Institute of Transportation Engineers (ITE)
- International Standards Organization (ISO)
- National Institute for Standards and Technology (NIST)

Algunas de la normativa dictada por estas instituciones se recogen luego dentro de otras dando lugar a muchos casos en que a una misma norma se le atribuyen dos, e incluso tres nombres (DIN EN ISO).

1.4 Ubicación

La Escuela Naval Militar se ubica en el concejo de Marín que se encuentra en la cara sur de la ría de Pontevedra. Esta es la segunda de las rías bajas (comenzando por el sur) ubicadas en la provincia de Pontevedra, en Galicia. La comunidad Autónoma de Galicia (círculo rojo Figura 1.4), a su vez, se encuentra al noroeste del reino de España flanqueada por Portugal, al sur; la Comunidad Autónoma de Castilla y León, al sureste; y el Principado de Asturias, al este.



Figura 1.4 Reino de España ubicado en la península Ibérica. (*Google Earth*)



Figura 1.5 Rías bajas y la villa de Marín. (*Google Maps*)

La estructura se colocará en el Torreón sobre el edificio del Centro Universitario de la Defensa de la Escuela Naval Militar de Marín en su esquina noreste. Los sensores se colocarán a una altura aproximada de 3 metros desde el suelo del torreón para evitar problemas con las sombras generadas por la techumbre y las torres cercanas del propio edificio.



Figura 1.6 Vista del Torreón desde la terraza del edificio.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 La radiación ultravioleta

2.1.1 El espectro electromagnético

Las ecuaciones de Maxwell definen el campo eléctrico y el campo magnético, así como la relación que existe entre ambos. Gracias al descubrimiento de Faraday, se sabe que la variación en el tiempo de un campo magnético provoca un campo eléctrico. De la misma forma, Ampère, dedujo que sucedería lo mismo en el sentido contrario: un campo magnético que varía en el tiempo provoca un campo eléctrico. Por tanto, es lógico pensar que, si en las regiones adyacentes a un campo eléctrico o magnético se crea un campo del tipo contrario, exista la posibilidad de una perturbación electromagnética que se propague a través del espacio. Esto se ve confirmado en la **onda electromagnética**.

$$\oint \vec{E} \times d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \quad 2.1$$

$$\oint \vec{B} \times d\vec{A} = 0 \quad 2.2$$

$$\oint \vec{B} \times d\vec{l} = \mu_0 \left(i_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right) \quad 2.3$$

$$\oint \vec{E} \times d\vec{l} = - \frac{d\Phi_E}{dt} \quad 2.4$$

Fue precisamente Maxwell quien intuyó que la luz es una onda electromagnética, debido a que la onda se propagaba a la misma velocidad que la luz. El conjunto de ecuaciones de Maxwell permite explicar cómo que una carga acelerada provoca una onda electromagnética (principio de funcionamiento de una antena transmisora).

Se denomina espectro electromagnético a la amplia gama de frecuencias o longitudes de onda que cubren las radiaciones electromagnéticas. Se han llegado a detectar radiaciones desde 1 a 10^{24} Hz. Dependiendo de la frecuencia de dichas ondas, la naturaleza de las mismas varía considerablemente. Por ello, el espectro se divide en ondas que mantienen un comportamiento similar. Así, se obtienen las ondas radio, las microondas, los infrarrojos, la luz visible, la radiación ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma. Cabe destacar que los límites entre estas bandas no están bien definidos y varían arbitrariamente según la fuente en la que se busque. A continuación, se muestra la Tabla 2.1 con las bandas del espectro electromagnético una de las posibles divisiones según su longitud de onda y frecuencia; además, se muestra también, en la Figura 2.1, la escala logarítmica del espectro. [10]

<u>Ondas</u>	<u>Longitud de onda (m)</u>	<u>Frecuencia (Hz)</u>
Ondas Radio	10 a 1	$< 3 \times 10^9$
Microondas	1 a 10^{-4}	3×10^9 a 10^{-12}
Infrarrojo	10^{-3} a 7×10^{-7}	10^{11} a 4.3×10^{14}
Luz visible	7×10^{-7} a 4×10^{-7}	4.3×10^{14} a $7,5 \times 10^{14}$
Ultravioleta	4×10^{-7} a 10^{-9}	$7,5 \times 10^{14}$ a 10^{17}
Rayos X	10^{-8} a 10^{-13}	10^{16} a 10^{21}
Rayos Gamma	$< 10^{-10}$	10^{18} a 10^{24}

Tabla 2.1 Fronteras del espectro electromagnético

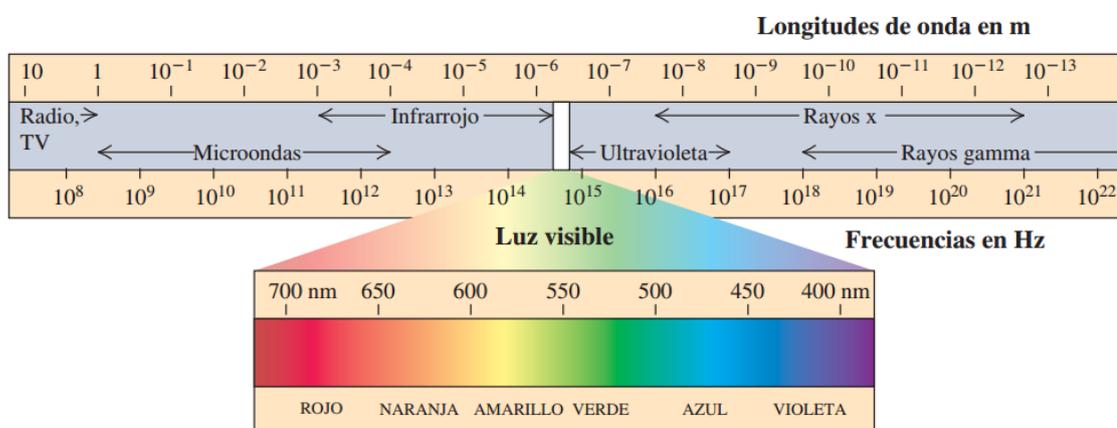


Figura 2.1 Representación del espectro electromagnético en escala logarítmica [10]

2.1.2 La radiación solar

En el apartado anterior se ha dado una breve definición y se ha descrito qué es el espectro electromagnético. En la parte derecha del espectro -mayor frecuencia, menor longitud de onda- y a partir de la luz ultravioleta, se encuentran las radiaciones ionizantes que son aquellas cuya radiación contiene tal cantidad de energía que es capaz de romper enlaces moleculares y formar iones. A la vez que rompe estos enlaces, la propia onda electromagnética va perdiendo energía; es decir, consume parte de su energía en la destrucción de los mismos. Algo que ocurre con los propios rayos ultravioletas como se verá más adelante.

Cuanta más energía contenga una radiación electromagnética más peligrosa será para un organismo ya que podrá diseccionar enlaces moleculares de vital importancia, incluso llegando a alterar el propio código genético de los seres vivos. La radiación ultravioleta, en sí, es de las menos ionizantes (en la Figura 2.1 puede verse que es la más cercana al espectro visible); de hecho, tan sólo es capaz de atravesar partes de la epidermis resultando, en el peor de los casos y tras una exposición que perdure en el tiempo, en el origen de un cáncer de piel. Por todo ello, es necesario saber con certeza qué radiación emiten los cuerpos y cómo se produce. En este apartado se estudiará la radiación nuclear emitida por nuestra estrella más cercana, el Sol.

Las estrellas se encuentran en permanente **fusión nuclear**. Se ha descubierto que los núclidos -especie atómica con un determinado número de protones y masa atómica- tienden a permanecer en el menor estado de energía posible, denominado *estado fundamental*. La naturaleza tiene varios

mecanismos para desprender energía y así acercarse a él. Algunos de estos mecanismos son la fisión o **la fusión**; ambas radiaciones nucleares.

En el primer caso, un núcleo inestable se divide en dos *fragmentos de fisión* de masa similar. Este tipo de reacción ocurre, por ejemplo, en el caso del Uranio y es el proceso químico que se utiliza en los reactores nucleares para obtener energía (Figura 2.2).

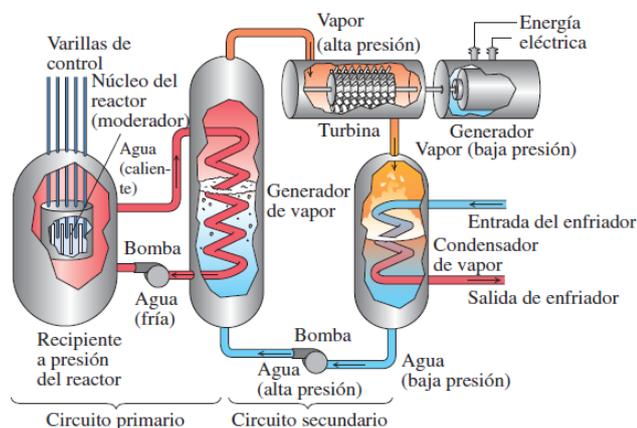


Figura 2.2 Esquema central térmica nuclear [11]

En el caso de la fusión es más complicado ya que, al contrario que la fisión, dos núclidos se unen para formar otro elemento o molécula con menor energía, pero se necesita aportar de una energía cinética lo suficientemente grande para evitar la repulsión entre dos partículas que mantienen cargas del mismo signo. Como el propio nombre indica, al ser reacciones nucleares -que ocurren en el núcleo-, las únicas partículas que se encuentran en él son los protones (carga positiva) y los neutrones (sin carga); por lo que los núcleos están cargados positivamente. La energía que hay que aportar a la fusión va a ser la resultante de la propia energía cinética que contenga la partícula y la que se le suministre por excitación térmica.

Para empezar, para que se *fundan* dos núcleos, éstos deben de estar a una distancia de alrededor de los 2×10^{-15} m. Además, se debe de producir un choque entre las partículas para evitar, como ya se ha comentado, la repulsión eléctrica. Así, un protón debería de tener una energía cinética del orden de 0.6×10^{-13} J en un choque frontal con otro para que se puedan fusionar. A este tipo de reacciones se les llaman **reacciones termonucleares** y son las que ocurren dentro de los núcleos de las estrellas.

Las estrellas no son capaces de aportar la energía térmica necesaria para obtener un movimiento de 0.6×10^{-13} J. Por la función de distribución de Maxwell-Boltzmann hoy se sabe de la existencia de una pequeña porción de protones con una energía cinética propia mucho mayor que la media. Gracias a ello, la temperatura que se le debe proporcionar a estos protones para que fusionen es considerablemente menor. En el núcleo de las estrellas se pueden alcanzar temperaturas de entorno 1.5×10^7 K que, sumado a la propia energía cinética de estos protones *rápidos*, permite superar ese umbral de 0.6×10^{-13} J. Hay veces que, aun así, esta temperatura es insuficiente. Esto hace que la consumición de los protones sea mucho más lenta y que las estrellas tengan una vida de incluso, al menos en el caso del Sol, hasta 10×10^9 años.

La reacción termonuclear que se produce en el núcleo de nuestra estrella es la denominada **cadena protón-protón** y el Sol cuenta con 4.5×10^{23} protones por gramo de masa. Si pudiera consumir toda su masa a la tasa a la que se producen estas reacciones, el Sol tendría una vida de 75×10^9 años; sin embargo, como ya se ha mencionado, sólo se consume un pequeño porcentaje de los protones del núcleo, aquellos capaces de alcanzar la energía cinética necesaria para que se produzca la fusión. En estas reacciones se desprende cierta cantidad de energía en forma de radiación beta y gamma. Las reacciones son las que siguen.



Lo que ocurre es que dos protones al fusionarse forman un deuterón, un positrón -partícula similar al electrón, pero con carga positiva- y un neutrino electrónico (estos dos últimos consecuencia del decaimiento β^+). Otro protón al combinarse con el deuterón, producto de la reacción anterior, forma un núcleo de helio emitiendo radiación gamma (γ) en el proceso. Por último, cuando los dos primeros pasos han ocurrido al menos dos veces, dos núcleos de helio se fusionan y forman un átomo liberando dos protones y comenzando el ciclo de nuevo.

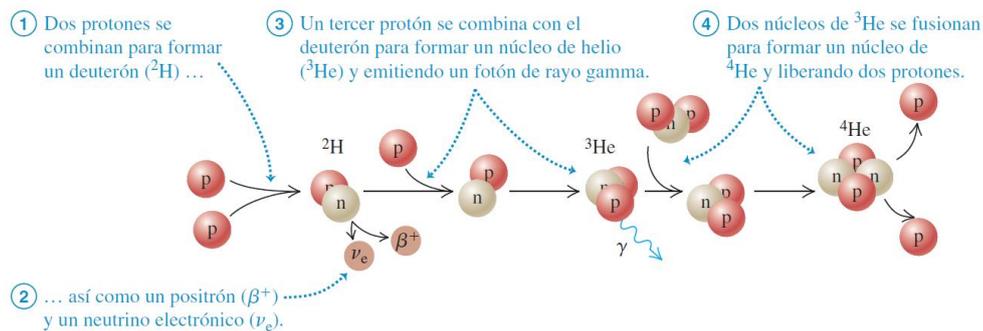


Figura 2.3 Cadena protón-protón [11]

Así, se cumple la primera afirmación de que la naturaleza tiende al menor estado de energía posible y es que la resultante de la cadena protón-protón es la conversión de cuatro protones (2.5 y 2.6 y deben ocurrir al menos dos veces) en una partícula alfa (${}^4\text{He}$); dos positrones (β^+); dos neutrinos electrónicos (ν_e), y dos emisiones de radiación gamma (γ). Los neutrinos y la radiación gamma no tienen masa; son los dos positrones y la partícula alfa los que aportan el peso a la resultante de la reacción y, esta masa resultante (4.002603 u.), es menor que la original de cuatro protones (4.029106 u.). Todo ello resulta en una diferencia de masa de 0.026503 u y una liberación de energía de 24.69 MeV. [11]

El campo magnético terrestre es el encargado de proteger al planeta de las radiaciones más ionizantes que podrían destruir la capa de ozono. A la tierra sólo llega radiación ultravioleta, filtrada con anterioridad por la capa de ozono.

2.1.3 La radiación lumínica

En el apartado anterior se ha visto que el Sol emite radiación alfa, beta y gamma debido a la reacción de fusión termonuclear que ocurre permanentemente en su núcleo. Estas radiaciones acaban derivando en otras que emiten en las bandas del espectro infrarrojo, el visible y el ultravioleta. Son estas emisiones, que denominaremos como **radiaciones lumínicas**, las únicas capaces de atravesar la atmósfera. Esta radiación se genera por el mismo principio que las ondas radio: mediante una oscilación de una carga puntual. Esta “carga puntual” o más bien partícula es la que la física moderna conoce con el nombre de *fotón*; partícula que no consta ni de masa ni de carga eléctrica, pero contienen una cantidad de energía cuantizada que depende de la longitud y frecuencia de la propia de la onda. De hecho, la definición purista de *fotón* o *cuánton* es la de un paquete discreto de energía. [12]

Antes de continuar, se debe de aclarar que a pesar de que en esta sección se han descrito términos aparentemente contradictorios -se ha hablado de partículas y de ondas electromagnéticas- no lo son, y todo ello es debido a la naturaleza dual de la luz. Se ha tratado la radiación electromagnética como una onda explicando cómo se genera la misma (movimiento oscilatorio de una carga); en contraposición, cuando se ha descrito la emisión de la radiación solar, se ha explicado mediante el uso de fotones y otras

partículas como las alfa o beta. Hasta el año 1930, los científicos trataron la luz como una onda debido a los descubrimientos de Maxwell -anteriormente la luz ya se había tratado como un flujo de partículas- y no fue hasta entonces, mediante el estudio de la electrodinámica cuántica y la enunciación del principio de complementariedad (Niehls Bohr en 1928), que se contempló la naturaleza dual partícula-onda de la luz. [12] [13]

Aclarado el concepto de dualidad onda-partícula, se describirán las diferentes divisiones de la radiación lumínica. La primera subdivisión, la **infrarroja**, es la responsable del calor que nos aporta la estrella. Va desde 1 μm . de longitud de onda hasta 630 nm. o 780 nm. El infrarrojo, a su vez, se divide en tres bandas: el infrarrojo cercano (a la luz visible), el infrarrojo medio y el infrarrojo lejano (cercano a las microondas). La radiación térmica, aquello que percibimos como calor, se deriva de la irradiación en el infrarrojo medio. Ello implica que todos los cuerpos que irradian calor; es decir, que superan los 0° K o -273°C, emiten en la banda del infrarrojo medio. [13]

La segunda subdivisión de la radiación lumínica comprende el **espectro óptico visible**; desde los 780 nm. hasta los 380 nm. aproximadamente. Aquí se encuentran los rayos de luz que los seres humanos captan mediante los ojos. El ojo humano recibe un margen de frecuencias determinado; por lo que, al percibir un color, se focaliza en su *frecuencia central*. Al igual que la banda del infrarrojo, la luz visible se subdivide también. Esta vez en dos bandas: los colores cálidos y los fríos, separados entre sí por el color verde que se encuentra próximo a la mitad de la banda. Precisamente es este color, el verde, el que el ser humano es capaz de percibir mejor. A su izquierda, con mayores longitudes de onda, se encuentran los colores cálidos hasta el rojo y a su derecha, con una frecuencia mayor, los colores más fríos hasta el violeta. [10] [13]

<u>Colores</u>	<u>Longitud de onda</u>
Rojo	700 a 630 nm
Naranja	630 a 590 nm
Amarillo	590 a 560 nm
Verde	560 a 480 nm
Azul	440 a 440 nm
Violeta	440 a 400 nm

Tabla 2.2 Longitudes de onda de la luz visible [10]

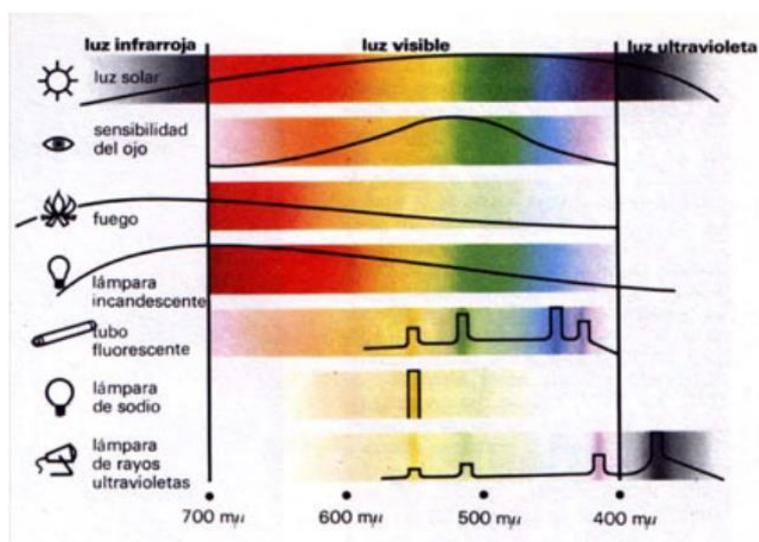


Figura 2.4 Análisis espectral de las diferentes fuentes de luz [13]

La tercera subdivisión de la radiación Solar es la **radiación ultravioleta**. La radiación ultravioleta ocupa en el espectro desde los 400 nm. hasta 1 pm. de longitud de onda y es en esta extensión de frecuencias donde se encuentran las primeras radiaciones ionizantes. Es aquí, en la característica ionizante de la onda, donde se enfocan la mayoría de estudios sobre la radiación ultravioleta. En los siguientes párrafos, pasaremos a desarrollar un poco en profundidad una de las consecuencias más graves de este tipo de radiación: el cáncer de piel tipo melanoma. [14] [15] [16]

2.1.1 Principales efectos de radiación UV

Los expertos dividen la radiación ultravioleta proveniente del Sol en UVA (*ultraviolet A* entre 315 y 400 nm.) y UVB (*ultraviolet B* entre 280 y 315 nm.). También existe el UVC (*ultraviolet C* entre 100 y 280 nm) pero lo obviaremos de aquí en adelante ya que esta radiación no es capaz de traspasar la atmósfera. Aunque las dos radiaciones UVB y UVA son esencialmente dañinas para la piel, la radiación UVB es considerablemente más maligna: es la causante de las quemaduras en la piel e incrementa las posibilidades de contraer un **melanoma**. Para entender cómo se produce, cómo se deriva a ello, se deben conocer primero las distintas capas de la piel.

La primera capa, la más externa es la *epidermis*. Esta capa es capaz de reflejar el resto de radiación lumínica que recibimos del Sol; sin embargo, al ser la **UVB y UVA radiaciones ionizantes**, son capaces de penetrar en la piel y dañar el ADN de alguna de las células que se encuentran en ella. Algunas de estas células son capaces de reparar parte del daño, pero si la exposición al UVB sobrepasa un cierto umbral durante una cierta cantidad de tiempo, puede derivar en un cáncer de piel: la célula muta. Cuando esto ocurre; esto es, cuando la célula se ve dañada pero sin mutar, el organismo reacciona liberando una sustancia denominada *melanina* creada por los *melanocitos*, células presentes en la epidermis. La melanina es un pigmento oscuro que nos protege de la UVB, siendo capaz de absorber parte de la misma. Una muestra de que se ha liberado melanina es que la tez se pone más oscura; algo que ocurre cuando se está expuesto mucho tiempo bajo la luz del sol [15].

La segunda capa es la *dermis*. La UVA es la única capaz de penetrar hasta esta capa. Esta radiación es la causante del envejecimiento de nuestra piel. En la dermis existe colágeno, una sustancia que permita la elasticidad de nuestra la piel. La UVA provoca daños al colágeno y es por ello que la piel, cuando envejece, se vuelve más rugosa y menos elástica. [14] [16]

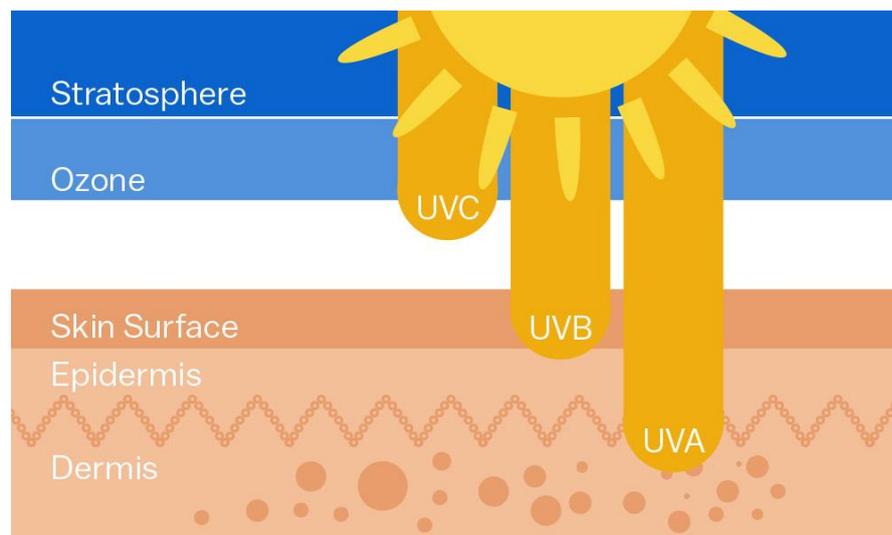


Figura 2.5 Penetración de radiación UV [16]

Un cáncer de piel, sea melanoma o de otro tipo, no es la única enfermedad que pueden provocar los rayos UV. Los ojos son muy vulnerables a esta radiación y por eso tienen mecanismos de protección natural: el parpadeo y la contracción o dilatación de la pupila. Hay ocasiones muy concretas en las cuales estas defensas dejan de ser útiles. Dos claros ejemplos son los eclipses de sol y al amanecer o atardecer.

En estos dos casos, los ojos son “engañados” ya que, al haber tan poca luz, las pupilas no se contraen y se parpadea menos por lo que se permite que los rayos UV penetren en las pupilas.

Al amanecer o al atardecer, el efecto es menos agresivo que en el eclipse solar porque los rayos inciden de forma más oblicua a la superficie terrestre y deben de atravesar más atmósfera. Sin embargo; en un eclipse solar todos los rayos que no son completamente tapados por la Luna, y hay que considerar también el efecto de la difracción, inciden directamente en las pupilas, Éstas están más dilatadas de lo que estarían en una situación normal y además el organismo no encuentra razón para parpadear porque la luz que le llega no es excesiva. En esta situación, como contraposición del ocaso, los rayos sí que inciden de manera mucho más ortogonal a la superficie terrestre. Esta es la razón por la cual los médicos recomiendan utilizar gafas especiales. Algunas de las enfermedades más comunes por motivos de radiación UV son la *fotoqueratitis* (quemadura de la córnea) y la *fotoconjuntivitis* (inflamación de la conjuntiva) que, aunque no son letales, causan gran dolor y angustia. [13] [16]

Hasta ahora, se han explicado los peligros de la radiación ultravioleta; sin embargo, se sabe que esta radiación es necesaria para nuestro organismo ya que es uno de los principales medios de producción de **vitamina D**. La vitamina D son un conjunto de moléculas creadas principalmente a partir de la ingestión de ciertos tipos de alimentos y, sobre todo, la absorción de radiación UVB proveniente del Sol. Esta, al ser absorbida por la epidermis, se junta con un tipo de colesterol para luego transformarse en la vitamina. Una vez se obtiene la primera forma de vitamina D -inactiva-, derivada de alimentos o UVB, esta se traslada hasta el hígado y es empaquetada en la forma circulante de la vitamina D. Finalmente, se transporta hasta el riñón y se desempaqueta formando la forma más potente de vitamina D, incluso hasta 100 veces más: la activa. Una de las funciones más importantes de esta vitamina es ayudar a los huesos a absorber minerales como el calcio, el fósforo y el magnesio esenciales para su fortaleza; también, ayuda a destruir tejido óseo desgastado y reconstruirlo [17].

Se ha descrito en los párrafos anteriores cómo la radiación UV juega un papel importante en la generación de la vitamina D y también cómo, si se excede una exposición hacia la misma, esta puede ocasionar problemas de salud. Es difícil establecer el límite a partir del cual la radiación que se recibe es perjudicial para el ser humano.

Cada persona tiene una resistencia distinta a la UVR intrínsecamente ligada al color de su piel. Hay estudios americanos que han dividido la población en varios grupos étnicos que, dependiendo del color de su piel, perteneces a: los *blancos*, los *hispanos*, los *indios*, los *asiáticos* y los *afroamericanos*. La conclusión a la que han llegado es que los *blancos* son mucho más propensos a padecer un cáncer de piel. Los científicos se apoyan en las distintas tonalidades de piel que establece la escala de Fitzpatrick para predecir el posible impacto de la UVR en una persona. En esta escala, la piel se divide en hasta seis grupos de distintos tonos; desde el más claro, nivel uno, hasta el más oscuro, nivel seis.

Además, se debe de tener en cuenta que el UVI (*ultraviolet index*), medida marca la cantidad de radiación UV media que se recibe. Este parámetro varía según los siguientes criterios:

- El lugar donde esté una persona
- La hora del día que sea
- Si hay presencia de nubes o no
- La altitud
- Los niveles de la capa de ozono
- El suelo o si se está en alta mar.

Por lo general, no se necesita estar demasiado tiempo bajo la exposición de radiación solar para producir una cantidad decente de vitamina D. Así, los expertos de la WHO (*World Health Organization*) se apoyan en el UVI, para recomendar un tiempo máximo de exposición. Si no se supera UVI-3, considerando a una persona con la tez clara -la escala Fitzpatrick números del 1 al 3-, no debería de haber ningún peligro y se podría estar bajo la exposición del sol sin protección entorno hora y media.

Por lo general los territorios que se encuentran entre los trópicos terrestres son los que mantiene un mayor UVI. Como ejemplo se muestra una figura del UVI medio en Europa. [16]



Figura 2.6 Promedio anual de UV Index en Europa [16]

2.2 Diseño en ingeniería mecánica

Es difícil encontrar una definición precisa de lo que es un diseño. La RAE lo define «1. Traza o delineación de un edificio o de una figura. 2. Proyecto, plan que configura algo. 3. Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie.» [6]. Si se revisaran más definiciones, se encontraría que todas tienen puntos en común; y es que diseñar, al fin y al cabo, es la creación de un plan que satisfaga una necesidad o resuelva un problema específico. Si el producto final es tangible, físico, deberá de cumplir una serie de requisitos. Deberá de ser:

1. Funcional: debe cumplir los objetivos que se hayan establecido que permitan satisfacer una necesidad o resolver un problema.
2. Confiable: debe existir una alta probabilidad de que cumpla el primer requisito.
3. Competitivo: debe de poder compararse con productos o propuestas similares.
4. Útil: debe ser provechoso, proporcionarnos algún beneficio y poder ser empleado.
5. Fabricable: debe de ser posible su manufactura.
6. Comercial: debe de ser aceptado por el cliente o el mercado.

Diseñar es un proceso de continua iteración. Cuenta con diferentes fases en las cuales se deberá tomar una serie de decisiones cuyo resultado luego se evaluará. Este resultado puede conducir por otro camino al que se había planificado e incluso puede acarrear en una vuelta al punto de partida anterior porque no se acepta el resultado como bueno.

El diseñador debe trabajar con una serie de capacidades que le son inherentes a la hora de diseñar. La creatividad, junto a la capacidad resolutoria de solventar los problemas que se vayan atravesando en el proceso de diseño, se mezclan con los conocimientos previos del diseñador. Éste, apoyándose en una serie de herramientas como las matemáticas, la estadística, la computación, los gráficos y el lenguaje; realizará un plan que cumpla con los requisitos establecidos. Este plan deberá de poder ser llevado a cabo por parte de un tercero obteniendo, al final, el producto deseado.

Existen diferentes tipos de diseño. Los conocimientos requeridos para un diseño realizado por ingenieros mecánicos van a estar relacionados con la mecánica de sólidos o fluidos; con la transferencia de masa y momento; con los procesos de fabricación; con la electricidad o con las teorías de la información. Por ejemplo, el diseño de un simple cojinete implica conocimientos sobre flujo de fluidos, fricción, materiales, procesos de fabricación etc. Según el apellido que le se le ponga al *diseño*, el área es cada vez más específica y es probable que los conocimientos requeridos sean, a su vez, mucho más

concretos. Sin embargo, cuando se lleva a cabo un determinado proyecto en la vida real hay que enfrentarse a varios problemas, por lo que se requiere de varios tipos de diseños capaces de solucionarlos, y por tanto varios diseñadores. Así, en un mismo proyecto puede incluir un diseño mecánico, diseño de motores, diseño de estructuras etc. Por esta razón, la buena comunicación es esencial a la hora de diseñar; por lo general, no sólo habrá un único ingeniero diseñando.

Ya se ha comentado que el proceso de diseñar conlleva de forma intrínseca una serie de fases en continua iteración. Diseñar comienza con la fase de identificación del problema o de la necesidad, así como la decisión de resolverla. Termina cuando se presentan los planes que satisfagan la necesidad o resuelvan dicho problema. Entre medias se suceden una serie de fases que se representan en la siguiente figura.

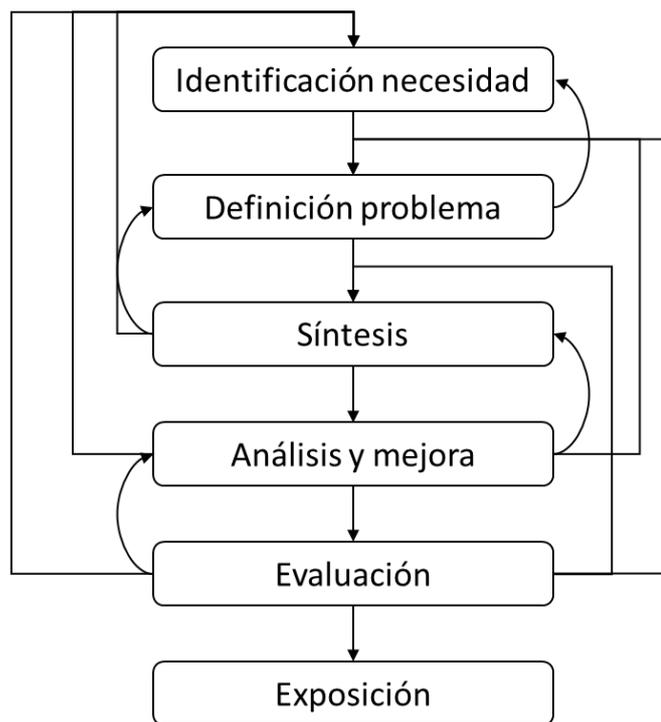


Figura 2.7 Esquematización del proceso de diseño

En la primera fase, la *identificación de la necesidad*, es donde se hará uso de la mayor creatividad ya que el problema que se presenta normalmente será abstracto. En la segunda fase de *definición del problema* se deberán incluir todas las especificaciones que deberá cumplir el producto. Estas especificaciones son los datos de entrada y salida del sistema, características y dimensiones del espacio que ocupe el producto y sus limitaciones; como ejemplo, este proyecto se ve afectado por la legislación vigente relacionada con él; el tipo de material a emplear; limitaciones económicas etc. A la fase de *síntesis*, muchas veces se le llama diseño conceptual. En esta parte del diseño se idean diferentes soluciones que serán constantemente analizadas en el transcurso de todo el proceso para ver si son óptimas y cumplen las especificaciones y requerimientos o necesitan modificaciones (*mejora*). Aquí son fundamentales los cálculos y los modelos matemáticos. Hoy en día la herramienta más empleada para ello son el CAD, CAE y CAM de los cuales se hablará luego, más en profundidad. Al final, en la fase de *evaluación*, se hará una comparativa de cada una de las diferentes propuestas para saber cuál es la mejor y se presentará al cliente (*exposición*); ya sea con el apoyo del uso de planos (Figura 2.8) o cualquier otra herramienta que permita plasmar adecuadamente el proyecto y que sea interpretado correctamente por el cliente o un tercero. En la *evaluación* se tienen en cuenta los resultados obtenidos y, normalmente, se crea un prototipo del producto diseñado o se realizan varias simulaciones para comprobar que el diseño cumple las expectativas. Si ninguna de las soluciones cumple con los mínimos requisitos se deberá de retroceder, dependiendo del caso, a una de las fases anteriores. Por eso se define como un proceso iterativo.



Figura 2.8 Planos del asiento de un coche (Inventor)

2.2.1 Análisis FEM

Como ya se ha comentado, en el proceso de diseñar, los ingenieros hacen uso de diferentes herramientas que le permiten simular los resultados finales. Desde que aparece la computación con el matemático Alan Turing en la segunda guerra mundial, los ordenadores han ido incrementando su capacidad de cálculo mediante procesadores cada vez más avanzados. Gracias a estos avances, los informáticos han ido desarrollando software que asisten al ingeniero a la hora de diseñar, analizar y simular. Nace así un nuevo concepto denominado como diseño asistido por computadora (*Computer Aided Design*) o CAD. CAD permite desarrollar modelos en 3D de los cuáles se pueden producir vistas ortográficas. De entre las ventajas que ofrece el diseño a través de la computación, destacan la generación volúmenes cerrados; la medición ciertas superficies, distancias; el cálculo de la masa y el centro de masas de los sólidos o el centro de inercia etc. Algunos ejemplos de programas CAD son *AutoCad* o *Solid Works*.

Además, también nace la ingeniería asistida por computadora o CAE (*Computer Aided Engineering*). Algunos autores lo consideran como un término más amplio que incluye también los diseños CAD. La principal función de CAE es ayudar a analizar el modelo, así como generar ciertas simulaciones con él. Existen programas que sólo son capaces de realizar el análisis o simular y otros muchos que, además, incluyen el diseño CAD. Algunos de estos programas utilizan lo que se denomina como análisis de elementos finitos o FEA (*Finite Element Analisis*) mediante modelos FEM (*Finite Element Model*) que nos permiten estudiar los esfuerzos, las tensiones, la deflexión, la deformación, la vibración (resonancia) e incluso, en algunos casos, la transferencia de calor de la pieza diseñada. A veces también incluyen la simulación dinámica y el movimiento de mecanismos. También existen programas especializados en el análisis de flujos o CFD del que hablaremos más detenidamente en el siguiente subapartado. [18]

Normalmente, debido a la complejidad de un componente mecánico real, es complicado encontrar una aproximación al modelo lo suficientemente precisa que nos permita aplicarle los cálculos necesarios. Por ello, los programas dividen, discretizan, el sólido en muchas partes pequeñas bien definidas y finitas (elementos). A cada uno de estos elementos se le aplican funciones polinomiales, generando una serie

de operaciones matriciales que trabajan sobre el material y las propiedades geométricas del elemento. Las cargas se pueden aplicar tanto dentro del elemento como en la superficie o en uno de sus nodos. El nodo es la conexión entre los distintos elementos y es donde se establecen las propiedades elásticas, las condiciones de frontera y donde se aplican las fuerzas. Se crea así una malla del sólido (Figura 2.9) y un matriz global a partir de todos los elementos que se debe resolver para obtener los resultados de la simulación.

Debido a la discretización del modelo inicial, es inevitable obtener errores en la solución. Hay dos tipos: los **errores computacionales** y los **errores de conversión discreta**. Los primeros se deben a la aplicación del redondeo en los resultados parciales. Los segundos, los obtenemos por la geometría, ya que la malla tan sólo es una aproximación geométrica al sólido inicial. Esto exige que se deba sopesar el tamaño de malla: por un lado, no puede ser excesiva ya que el peso de los cálculos haría el proceso demasiado y largo; y, por el otro lado, debe ser lo suficientemente grande para que se minimicen los errores debidos a la discretización. [19]

En este trabajo se hace uso de *Inventor*, un programa de AUTODESK, que permite realizar un FEA y la simulación dinámica y movimiento de mecanismos. De las opciones que aporta el programa, se hará, sobre todo, uso del análisis de FEM. Simplificaremos el problema del viento mediante la fuerza de arrastre, evitando así tener que recurrir al uso de un software de CFD.

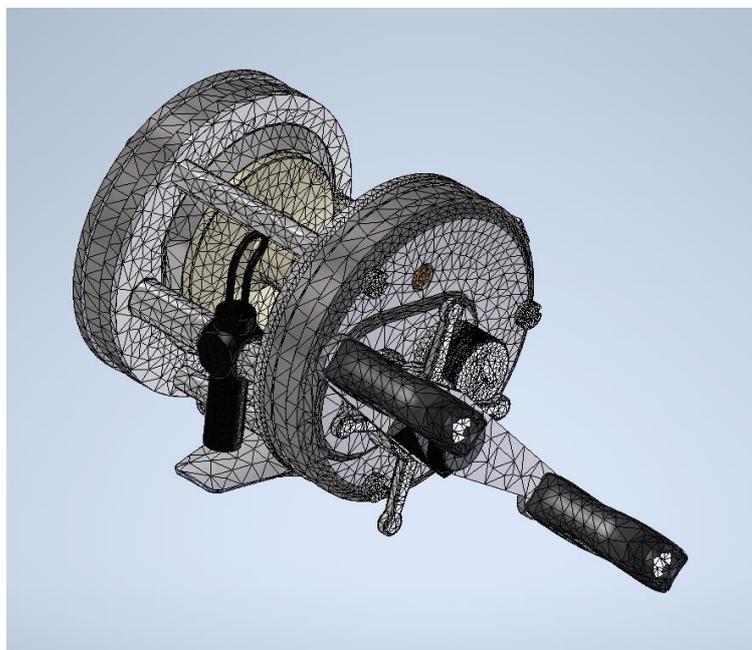


Figura 2.9 Malla de un carrete de pesca (*Inventor*)

2.2.2 Análisis CFD

El análisis **CFD**, del inglés *Computational Fluid Dynamics*, es una herramienta que permite el estudio y simulación de flujo de fluidos presentes en un diseño. Esta herramienta se emplea cuando la geometría a estudiar es demasiado compleja para realizar un cálculo lo suficientemente confiable. Se utiliza especialmente en proyectos relacionados con la aerodinámica (aviones) y con la hidrodinámica (barcos); por ejemplo, en el diseño de los coches de la Fórmula Uno (Figura 2.10) o los veleros de la Copa América. En este trabajo, serviría para estudiar el efecto que podría tener el viento en el diseño.

CFD puede usarse como sustituto de las pruebas experimentales que se desarrollan en túneles de ensayo como los de viento o los de olas. Sin embargo, también se puede utilizar anterior a la ejecución de estas pruebas para así realizar los ensayos con cierta garantía de éxito. Esto reduciría considerablemente la cantidad total de pruebas a realizar en un proyecto, ahorrando tiempo y dinero. [20] [21]

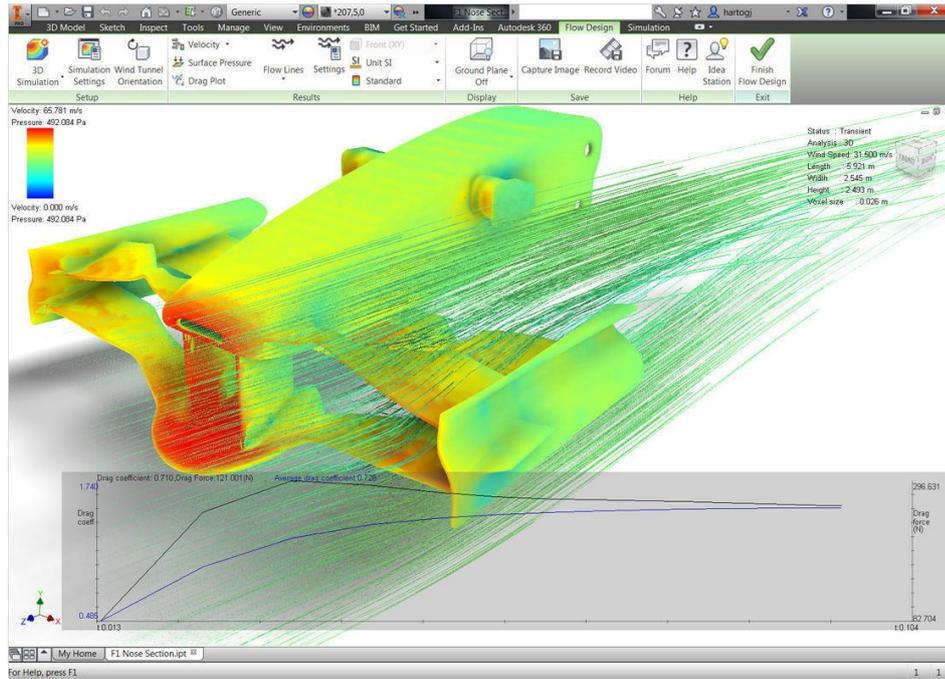


Figura 2.10 Un estudio realizado en FLOW DESIGN (Autodesk)

CFD es especialmente óptimo en **flujos incompresibles** no viscosos que actúan conforme a una corriente y un potencial de velocidades. Las ecuaciones que utiliza el programa parten de la *ecuación de continuidad* (2.8), que termina siendo de conservación de la masa, y una variante de la *ecuación de Navier-Stokes* (2.9) que representa el transporte de cantidad de movimiento lineal.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0 \tag{2.8}$$

$$(\vec{\nabla} \cdot \vec{v})\vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p' + \nu \cdot \nabla^2 \cdot \vec{v} \tag{2.9}$$

En la realización de una simulación, se deberá tener en cuenta que el rendimiento en modelos de flujos turbulentos varía mucho con respecto a otro semejante que se realizara con condiciones iniciales parecidas; mientras que, en el caso del flujo laminar, la simulación es bastante fiable ya que las condiciones de inicio no alteran en gran medida el resultado final.

CFD utiliza para sus cálculos el principio de superposición partiendo de tres flujos potenciales básicos, y desde ahí crear el resto de flujos. El primero (a) es el *flujo de una corriente uniforme* que fluye en una única dirección; el segundo (b), es un *flujo fuente o sumidero bidimensional*; y, el tercero (c), un *torbellino rotacional en el origen* (Figura 2.11). Para cada uno de estos flujos se utiliza una expresión diferente derivada de las ecuaciones 2.8 y 2.9. [20] [21]

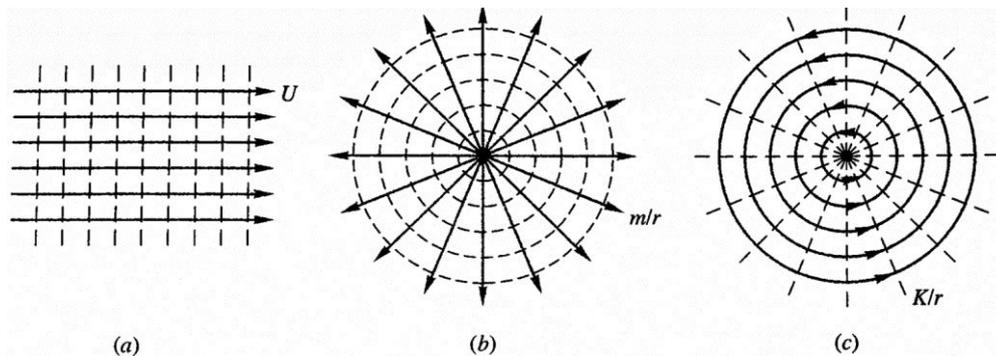


Figura 2.11 Tipos de flujo [20]

El proceso que se debe de llevar a cabo para la creación de una simulación CFD incluye la ejecución de los siguientes pasos; algunos, muy similares a CAE:

1. Generación del **mallado**. La malla se genera mediante la unión de una gran cantidad de celdas conectadas por los nodos. En un mallado 2D las celdas serán áreas discretas mientras que en el caso de 3D serán volúmenes definidos. Cada celda se puede considerar como un pequeño volumen de control al que se le aplicarán las ecuaciones 2.8 y 2.9.
2. Aplicación de **condiciones de frontera**. En el caso de 2D se aplicarán a los lados del área mientras que en 3D se aplican a las caras del poliedro.
3. Especificar el **tipo de fluido** y sus propiedades. La mayoría de programas CFD incorporarán una base de datos con diferentes fluidos, similar a como ocurre en programas CAD con bibliotecas de materiales.
4. Establecimiento de **condiciones iniciales** del fluido. El programa necesita partir de una determinada temperatura, presión, velocidad etc. para prever el comportamiento del fluido.

Una vez realizado todos los pasos descritos, comienza la simulación realizando múltiples iteraciones en cada una de las celdas de la malla de la ecuación de continuidad y la Navier-Stokes. [21]

2.3 Movimiento del sol

En este apartado, se explicarán fundamentos esenciales para poder comprender más adelante el estudio de sombras realizado.

En este proyecto se parte de la condición inicial de que la estación meteorológica va a ser colocada en la esquina noreste del Torreón del Edificio del CUD en la ENM (Figura 2.12 círculo azul). La existencia de posibles obstáculos adyacentes a esta localización puede impedir una óptima obtención de datos por parte de los sensores que se verían privados de la radiación solar directa. Existen dos obstáculos adyacentes al torreón: la torre del reloj (Figura 2.12 círculo rojo inferior), al sur, y la torre donde se izan los gallardetes (Figura 2.12 círculo rojo superior), al oeste. Se denominarán a partir de ahora como la Torre del Reloj y la Torre del Gallardete respectivamente.

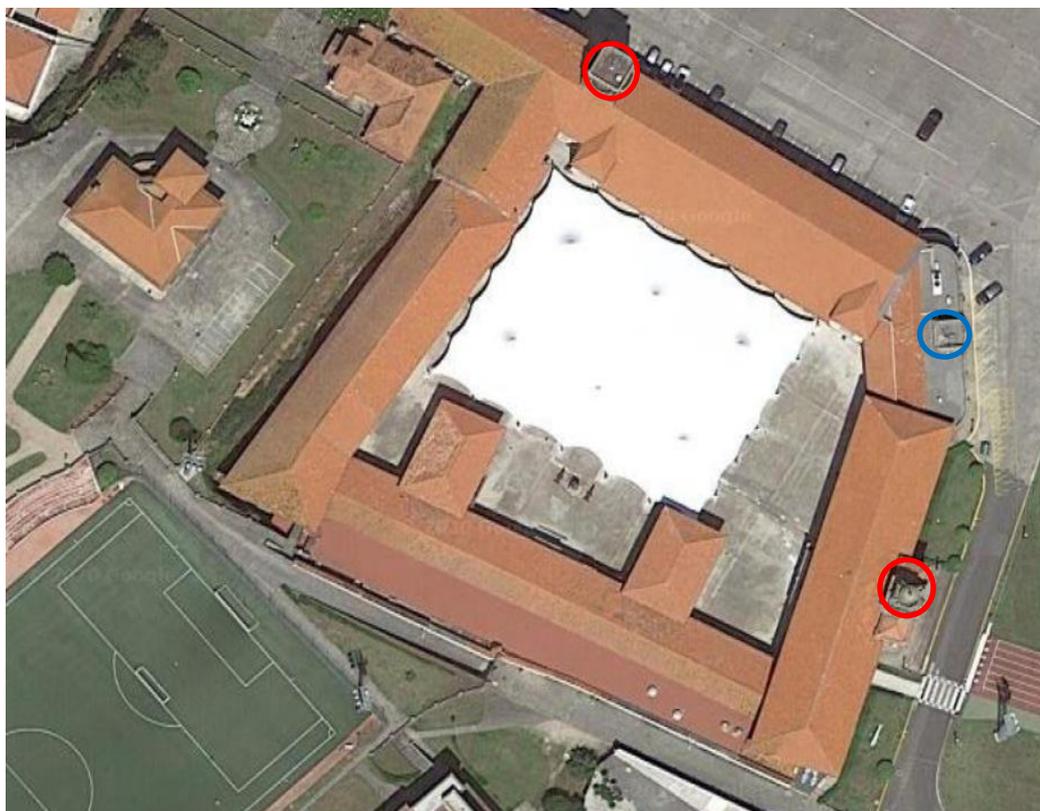


Figura 2.12 Vista satelital de parte de la ENM (Google Maps)

2.3.1 Movimiento del sol, leyes de Kepler y elíptica solar.

Para explicar cómo se producen las sombras, y cómo calcularlas, se debe primero entender el comportamiento del astro que las ocasiona: el Sol. En este punto estudiaremos, sobre todo, la órbita aparente del Sol y cómo afecta ésta a la luz diurna.

La Tierra es la que, trasladándose sobre una elipse, gira alrededor del sol, pero si se utiliza un sistema referencia estático sobre el globo terráqueo, es el Sol quien aparenta girar sobre el planeta. Así es como se genera lo que se denomina como órbita aparente solar. «Esta órbita es una elipse de muy poca excentricidad (aproximadamente una sexagésima parte) inclinada con respecto al ecuador un ángulo próximo de $23^{\circ} 27'$ » [22]. Este ángulo es debido a la inclinación que mantiene el eje de rotación del planeta con respecto a la órbita que recorre alrededor del astro. La órbita que recorre la Tierra alrededor del Sol es una elipse y, por tanto, en la órbita aparente solar existen puntos característicos que cortan con la línea de los ápsides: el Perigeo, punto más próximo al sol, y el Apogeo, su punto más lejano.

Para comprender mejor el movimiento del Sol, se utilizará el concepto de la esfera celeste. Esta esfera se encuentra centrada en la Tierra y tiene radio infinito. En ella se ven proyectado todos los astros, planetas y satélites. Definimos como Eclíptica al «círculo máximo de la esfera celeste formado por las proyecciones del Sol en un año» [22]; es decir, la proyección de su órbita aparente. Esta eclíptica, corta con el círculo máximo del ecuador en dos puntos: *Aries* y *Libra*. *Aries* coincide con el equinoccio de primavera, el 21 de marzo, y *Libra* con el equinoccio de otoño, normalmente el 23 de septiembre. Entre estos puntos, separados a 90° - 180° entre sí-, se encuentran los solsticios dónde el astro alcanza su mayor declinación, $23^{\circ} 27'$ (Figura 2.14).

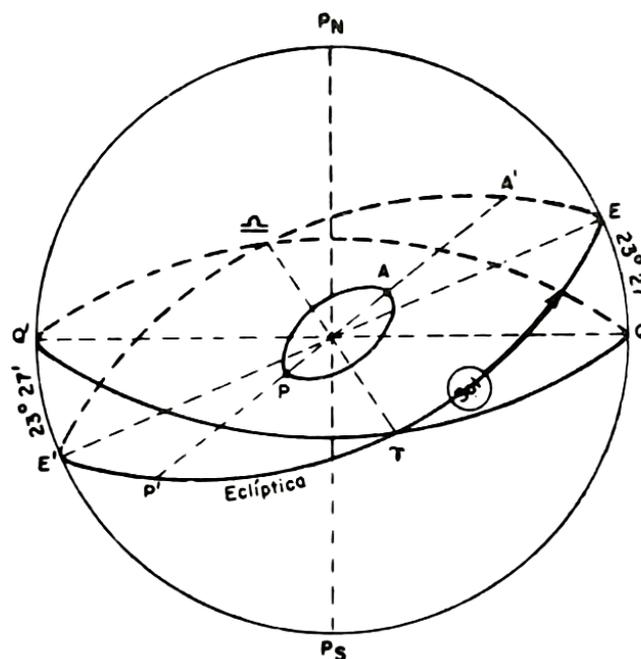


Figura 2.13 Eclíptica [23]

La existencia de la Eclíptica solar explica por qué la posición del sol a la misma hora varía a lo largo del año. Además, no se puede calcular mediante una ecuación lineal ya que la Tierra no recorre su órbita siempre a la misma velocidad, sino que sigue las *leyes de Kepler* que se asemeja a una ecuación senoidal. Cuando el sol está cerca del Apogeo, recorre más distancia en la misma cantidad de tiempo que si estuviera en su Perigeo.

En este proyecto se calculará en base a los cuatro días característicos de esta Eclíptica, solsticios y equinoccios, para comprobar las sombras que provoca el Sol en la estructura. Como en *Aries* y *Libra* la estrella mantiene la misma declinación, sólo se calculará las sombras producidas el 23 de septiembre.

2.3.2 Resolución triángulo de posición a partir de azimut

Las sombras dependen de la altura del Sol a una hora concreta y de su azimut (demora, orientación con respecto del punto cardinal N). Tanto la altura como el azimut están referenciados al plano del horizonte del observador; varía según la ubicación. Por lo que para realizar el cálculo de las sombras se debe conocer tanto la ubicación del astro como la del observador. En estos cálculos se hará uso del triángulo de posición (Figura 2.14).

Los elementos de dicho triángulo son:

- Vértices:
 - Polo N/S (depende hemisferio observador)- P
 - Cénit- Z
 - Astro- A
- Lados:
 - Colatitud (ángulo complementario de la latitud)- \widehat{PZ}
 - Codeclinación (ángulo complementario de la declinación)- \widehat{PA}
 - Distancia cenital (ángulo complementario de la altura)- \widehat{AZ}
- Ángulos:
 - Ángulo en el Polo- \widehat{P}
 - Ángulo cenital- \widehat{Z}
 - Ángulo paraláctico- \widehat{A}

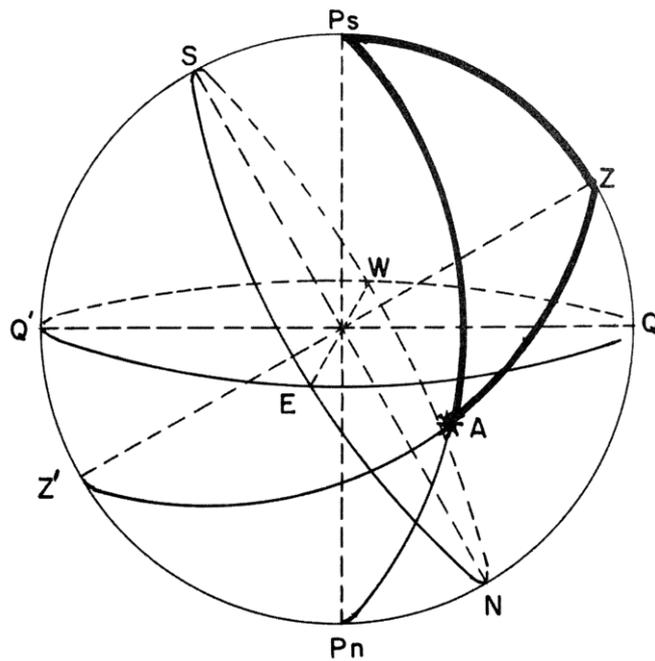


Figura 2.14 Triángulo de posición [23]

Las ecuaciones que se derivan de este triángulo son varias, pero de todas ellas tan sólo interesan la que nos permite calcular la altura y el azimut. Son las siguientes:

$$\sin a = \sin l \sin \delta + \cos l \cos \delta \cos P \tag{2.10}$$

$$\tan \delta \cos l = \sin l \cos P + \sin P \cot z \tag{2.11}$$

Donde, a es la altitud, z el azimut, l es la latitud, δ la declinación del Sol y P el ángulo en el polo que nos viene dado por el horario de lugar de la estrella -análogo de la longitud, pero en vez de estar referenciado al observador, lo está al astro-. De la ecuación 2.11 se conocen todos los parámetros a excepción del ángulo en el Polo. Despejando el mismo, permitirá resolver más tarde la altura en la ecuación 2.10. Por tanto, lo que se consigue al resolver estas ecuaciones es hallar la altura del Sol en una hora y día determinados conociendo tan sólo su azimut y estimando la declinación. Despejando el ángulo en el polo de la ecuación 2.11 quedaría una ecuación de segundo grado:

$$(\sin^2 l + \cot^2 z) \cdot \cos^2 P - (2 \tan \delta \cos l \sin l) \cdot \cos P + (\tan^2 \delta \cos^2 l - \cot^2 z) = 0 \quad 2.12$$

El primer término que multiplica a $\cos^2 P$, se le ha llamado A; el segundo que multiplica a $\cos P$, B; y el resto C. Así se facilita el cálculo, resolviendo la ecuación como una de segundo grado. Los resultados vendrán desdoblados: existen dos triángulos que resuelven el mismo sistema. En el caso de que se resuelva con la declinación máxima, estos resultados equivaldrán al triángulo en invierno y en verano. El caso de la declinación cero, el resultado es el mismo variando el signo.

La declinación varía con el tiempo, sus datos están recogidos en el Almanaque Náutico [24]. Sin embargo, por simplicidad de cálculos se utilizarán como datos las declinaciones en los solsticios y equinoccios. Los resultados que se obtendrán no serán del todo realistas ya que, para el azimut específico calculado, la declinación de la estrella podría no ser exactamente la establecida, pero es una buena aproximación. Al final, los resultados marcarán la altura de un Sol ficticio, más alto de lo que estaría en la realidad. Para comprobar que los datos calculados no varían mucho con respecto a la realidad se ha hecho uso de del programa *Stellarium*.

3 DISEÑO

3.1 Introducción al Diseño Conceptual

La necesidad que se nos presenta en este trabajo es el diseño de una estructura que soporte tres sensores de radiación solar. Esto marca la fase de identificación de la necesidad. En este apartado, se definirá bien el problema, y para ello el diseño deberá cumplir una serie de requerimientos o condiciones de diseño. Así, se podrá construir el diseño conceptual, propia de la fase de síntesis. Como ya se ha comentado, en esta fase se deben presentar varias opciones capaces de cumplir en mayor o menor medida los requerimientos y así se hará: se ofrecerán hasta dos opciones distintas del diseño y en las conclusiones se escogerá una de las dos.

3.2 Requerimientos, especificaciones y condiciones de diseño

Las condiciones de diseño han sido escogidas de manera que cumplan todos los requerimientos. Estos son los mismos para casi todos los diseños y ya se han enunciado en *Diseño en ingeniería mecánica*: funcionalidad, seguridad, confiabilidad, competitividad, utilidad, fabricación y comercialización. A continuación, se presentarán uno a uno los requerimientos que debe cumplir este proyecto en concreto para más adelante desarrollarlos con las condiciones y/o especificaciones de diseño:

1. Operatividad
2. Facilidad de fabricación y coste
3. Intercambiabilidad de piezas
4. Resistencia mecánica
5. Forma y estética

3.2.1 Operatividad

La primera de ellas, **operatividad**, está muy relacionada con el requisito de funcionalidad y es la que va a requerir el mayor número de condiciones de diseño y especificaciones. En este apartado se incluirán varias características que debe cumplir el diseño ya sea por necesidad funcional o para facilitar su uso. Se debe considerar la instalación de la estructura en el propio torreón del edificio del CUD (Figura 1.6). A este torreón sólo se puede acceder mediante el uso de una escalera de apoyo; algo que demuestra que su acceso no es nada sencillo. Además, para acceder a la propia terraza, se utilizan las escaleras interiores del edificio que no permiten mucha movilidad ni a lo ancho ni a lo alto. Por tanto, se debe de facilitar de la mejor forma posible la **movilización**. Esta está intrínsecamente ligada al **peso** y el **tamaño**. Las piezas deberán de pesar lo menos posibles para permitir que la **instalación** pueda ser llevada a cabo por el mínimo número de personas y, además, deberán tener unas dimensiones que permitan el traslado de todos los componentes hasta el torreón.



Figura 3.1 Esquina del torreón en la que se ubicará la estación

Otro aspecto importante de la operatividad es la **accesibilidad** que permite y facilita las acciones relacionadas con el **mantenimiento**; tanto de los sensores, como de la propia estructura. A ser posible realizar estas operaciones in situ, sin que sea necesario desmontar nada. Esto se dificulta con el problema de la elevación. Los sensores deben de tener una mínima altura para que no les afecten las sombras de la edificación adyacente. Por ello, se ha decidido establecer como solución una **estructura telescópica** (Figura 3.5) que permita realizar estas operaciones de mantenimiento (limpieza mensual [2] [5]) sin necesidad de desmontar la estructura y permitiendo la instalación inicial in situ.

La función de la estructura es **soportar unos sensores** que midan la radiación solar. Para ello, como acabamos de comentar, debemos de **elevar** los equipos lo mínimo posible para que no le afecten las sombras potenciales producidas por la edificación. Las sombras serán estudiadas más adelante en *Estudio de sombras* para saber hasta qué punto nos podrían afectar y saber la altura mínima para que los sensores no se vean afectados por ellas. Para comenzar, se partirá de una altura mínima preestablecida de entorno los 3m.

Es importante tener conseguir que la estación dónde se van a montar los equipos sea lo más **estática** posible por lo que deberemos diseñar algún tipo de sujeción fija al torreón. Este problema se ha solucionado de diferente manera en los dos diseños propuestos; sin embargo, los dos tienen en común que utilizan la balaustrada y parte de la pared. Para facilitar el diseño ello se ha realizado una maqueta simple del torreón (Figura 3.2) que nos permite crear sobre él las piezas necesarias para la fijación de la estructura.

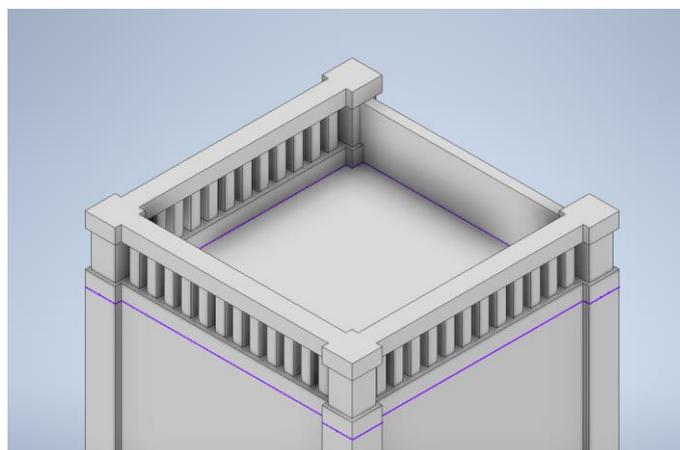


Figura 3.2 Maqueta simplificada del Torreón

Una posible optimización del diseño que lo haría más *competitivo* relacionado con la *funcionalidad*, sería el poder orientar vertical y horizontalmente el sensor. Como el sensor no es orientable -sólo se puede nivelar según instrucciones [2] [5]-, el diseño incluirá un soporte horizontal, el principal; así como soportes verticales y a 45° (Figura 3.14). Para permitir la orientación, incluirá un tornillo de apriete que permita rotar el soporte hacia cualquier dirección. Además, para prevenir el caso de que, al subir la parte telescópica con los sensores instalados, esta se desnivele; se incorporará un sistema de nivelación propia en la pieza de unión de los soportes con la estructura principal. El funcionamiento será análogo a los que poseen los propios sensores: mediante un tornillo (Figura 3.3).

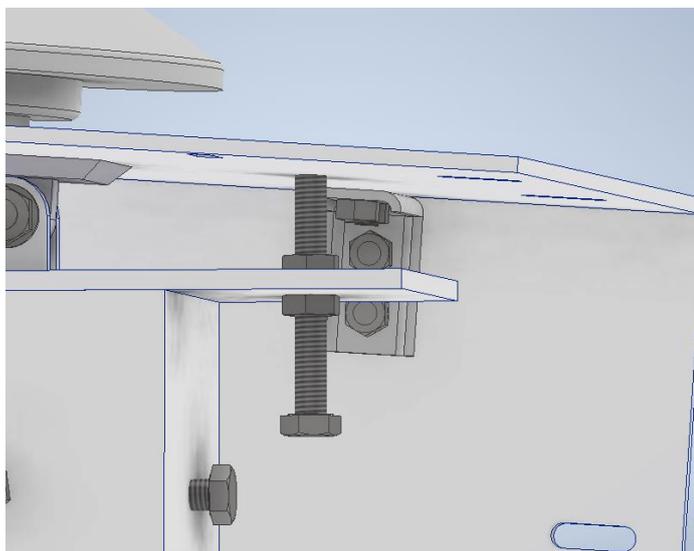


Figura 3.3 Detalle nivelación de la plataforma donde se apoyan los sensores

3.2.2 Facilidad de fabricación y coste

La segunda de las consideraciones de diseño es la facilidad de su manufactura y coste. Más adelante se exponen varios presupuestos que se han solicitado a TALLERES METACA S.L. En este apartado se discutirán los distintos aspectos que las empresas podrían tener en cuenta a la hora de elaborar dichos presupuestos.

Ambos términos, *fabricación* y *coste*, están íntimamente ligados: con averiguar cómo se facilita la fabricación ya se están aplicando grandes descuentos en el coste de la estructura. Uno de los elementos más importantes es el **material** seleccionado. Más adelante en *Cálculo de esfuerzos mediante FEA*, se explicará qué materiales cumplen las condiciones de resistencia mecánica. Por ahora nos basta con saber que se tendrán en cuenta el acero, el acero inoxidable y el aluminio. La producción de dichos materiales se dicta por muchas normas que ya hemos indicado en *Legislación, normativa y códigos*. Por lo general, las que afectan a nuestros materiales son las normas DIN, EN e ISO. En particular, el acero ordinario se refleja en la norma EN 10027 y el acero inoxidable en la serie EN 10088.2 [9]. Dentro de la ingeniería de materiales, aunque depende del caso y los tratamientos aplicados a cada uno, suele costar menos el acero que el acero inoxidable y este, a su vez, que el aluminio. Esto se debe a que el aluminio posee algunas propiedades mejoradas con respecto al acero. La más importante siendo su ligereza.

El **tamaño** y la **complejidad** del diseño son también factores a tener en cuenta dentro de la fabricación. Es lógico pensar que cuánto más grande sea la pieza, más cantidad de material será empleado. Sin embargo, existen algunas técnicas que permiten reducir este efecto como el uso de piezas huecas. En el aspecto de complejidad del diseño, la normalización juega un papel importante. Si la pieza que queremos obtener está normalizada, y además es común, al existir competitividad entre las empresas, costará considerablemente menos que si se diseña algo completamente nuevo.

3.2.3 Intercambiabilidad de las piezas

Algo fundamental, y muy relacionado con el precio de las mismas es el requerimiento de *intercambiabilidad de piezas*. Este requisito nos aporta varias ventajas; entre ellas, la más destacada, es que podemos pedir los componentes en varios talleres en caso de falla o rotura con un tiempo de producción probablemente mucho menor que otra pieza personalizada. Otra, que se acaba de describir, es que al pedir componentes normalizados se abarata el precio de construcción porque es mucho más accesible la fabricación por parte de cualquier empresa. El objetivo es conseguir hacer el mayor número de piezas siguiendo algún tipo de normativa o código y, si no es del todo posible, al menos que cumplan parte de alguna.

Se tomará como ejemplo para explicar lo anterior la pieza representada en la Figura 3.20. Como se puede apreciar, por la especificidad de la pieza es poco probable que exista una normativa sobre la fabricación de la misma; sin embargo, la sección se ha diseñado siguiendo los perfiles clásicos. Así se facilitará su manufactura, se reducirá el tiempo de producción y podrá ser fabricado por varias empresas. Además, la normativa nos asegura que se ha testado previamente las solicitaciones que puede sufrir una pieza por lo que nos aporta *confiabilidad y seguridad*.

3.2.4 Resistencia mecánica

La estructura deberá de ser capaz de aguantar ciertas tensiones producidas por el viento y ser duradera frente a un ambiente corrosivo. Las condiciones de diseño para cumplir el requerimiento de *resistencia mecánica* se dividirán en dos: resistencia frente al **viento** y resistencia frente a la **corrosión**. Este factor es de especial relevancia por la cercanía que existe al entorno marino.

Para evitar la corrosión se propone implementar un material lo menos corrosivo posible. Es por ello que ya se estableció, en *Facilidad de fabricación y coste*, el acero inoxidable y el aluminio. Además de esto, también se ha intentado evitar zonas donde se pueda acumular agua en exceso. Este último punto es el más complicado de cumplir ya que al ser una estructura telescópica existen oquedades que son precisas en el diseño para cumplir la condición de altura de los sensores en la estación.

Para resistir al viento, en el apartado *Cálculos y resultados* se han realizado las simulaciones necesarias para comprobar que la estructura es capaz de aguantar vientos fuertes. Aquí sólo profundizaremos en los materiales utilizados. El acero ordinario es mucho más resistente que el aluminio, pero también pesa más y necesita tratamiento para prevenir la corrosión.

3.2.5 Forma y estética

Íntimamente ligado con otros requerimientos, la *forma y estética* toca otros puntos como la intercambiabilidad de piezas, la complejidad de las mismas, su fabricación, la corrosión etc.

La estética, más concretamente, va a ser uno de los parámetros más subjetivos del diseño. Normalmente, atrae más una pieza que no tenga cortes ortogonales, sino que sea redondeada y continua. En definitiva, que tenga un mejor acabado. Si bien, por lo general, el aumentar la estética de un diseño suele acarrear consigo un aumento de complejidad en la fabricación y esto, a su vez, un mayor coste.

3.3 Relación entre requerimientos y condiciones de diseño

De lo que se ha descrito hasta ahora, podemos concluir que los requerimientos se subdividen en más parámetros y que están relacionados con las condiciones de diseño. Estas, a su vez están interconectadas entre ellas en mayor o menor medida. Más adelante, se expone un gráfico inspirado en la casa de la calidad que muestra las diferentes relaciones (Figura 3.4).

En este mismo gráfico, los números indican la calidad de la relación. Un resultado de 0 es que no tiene ninguna relación; un 1 indica que tiene relación y un 2 que la relación es importante. Por ejemplo: el tamaño del diseño es bastante importante a la hora de la instalación para poder montar la estructura en el Torreón.

En el gráfico también se indica la relación entre las propias condiciones de diseño. Una estrella verde significa que la relación es buena y positiva; el círculo azul que no están ligadas; y, el triángulo invertido de color amarillo, que están conectados de forma negativa. Es decir, la condición de tamaño está relacionada negativamente con el peso ya que a mayor tamaño -necesario para elevar la estructura- mayor peso, que es negativo. Sin embargo, cuánto más normativa se aplique al material seleccionado mejor y por eso están relacionado de forma positiva.

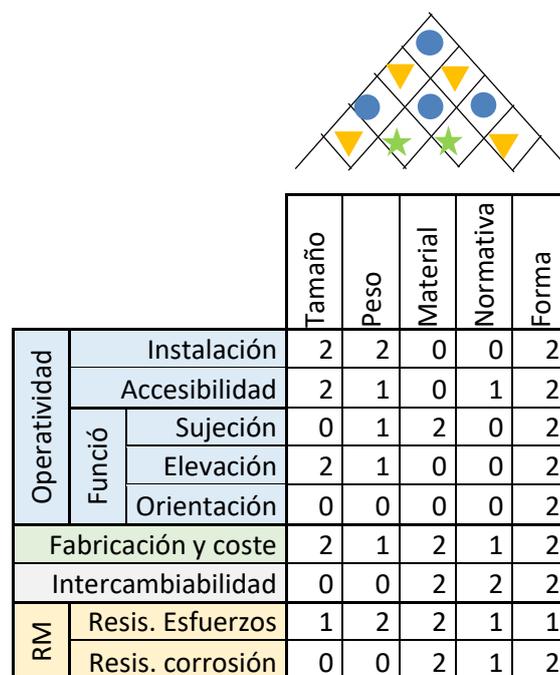


Figura 3.4 Relaciones entre requerimientos y condiciones de diseño

3.4 Primer diseño

Ya se ha mencionado que en el trabajo se proponen dos diseños. A continuación, se determinará cómo cumple cada uno de ellos con los distintos requerimientos y para ello se utilizará de apoyo la gráfica creada en el apartado anterior (Figura 3.4).

El primer diseño destaca por su complejidad, aunque ello ha permitido un nivel muy adecuado de sujeción y de resistencia mecánica. Antes de proseguir, se debe destacar que no se tendrá en cuenta la condición de diseño del material ya que el programa utilizado de Autodesk, Inventor, permite realizar simulaciones con los tres materiales propuestos.

3.4.1 Exposición del primer diseño

Se ha descrito con anterioridad que la solución que se ofrece para solventar la elevación de los sensores es la de una estructura telescópica y esto se desarrolla en ambos diseños. Sin embargo, la sección del primer diseño es mayor y ofrece mayor resistencia elástica y a rotura (Figura 3.17). Como puede apreciarse en la Figura 3.5, se ha diseñado un ensamblaje principal que consta de dos barras verticales de sección cuasi cuadrada. Para sostenerse en la posición elevada, se hace uso de un tornillo/pasador en la parte inferior de la barra superior, atornillado mediante pernos a la barra inferior. Todo el conjunto se sostiene mediante una base más reforzada que se una a la barra inferior también mediante el uso de un perno.

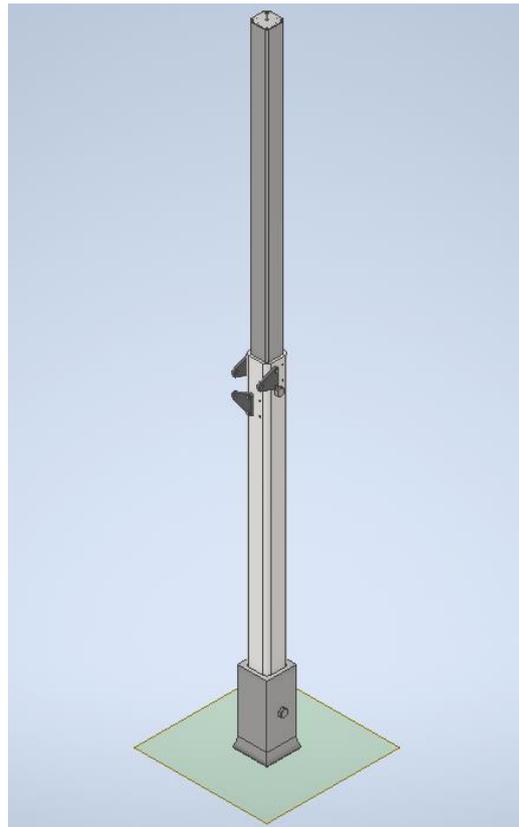


Figura 3.5 Estructura principal

Para la sujeción del sistema al torreón, como ya se ha comentado, se ha realizado una maqueta simplificada del torreón (Figura 3.2). En la Figura 3.1 se observa que, si queremos colocar la estructura en la esquina noreste, hay que sujetarla en la balaustrado y en un tramo de pared. Para ello se han desarrollado dos piezas distintas. La pieza que se sujeta a la pared lo hace mediante presión que se aplica usando un tornillo de potencia para evitar el movimiento (Figura 3.6 y Figura 3.7).



Figura 3.6 Detalle sujeción a la pared

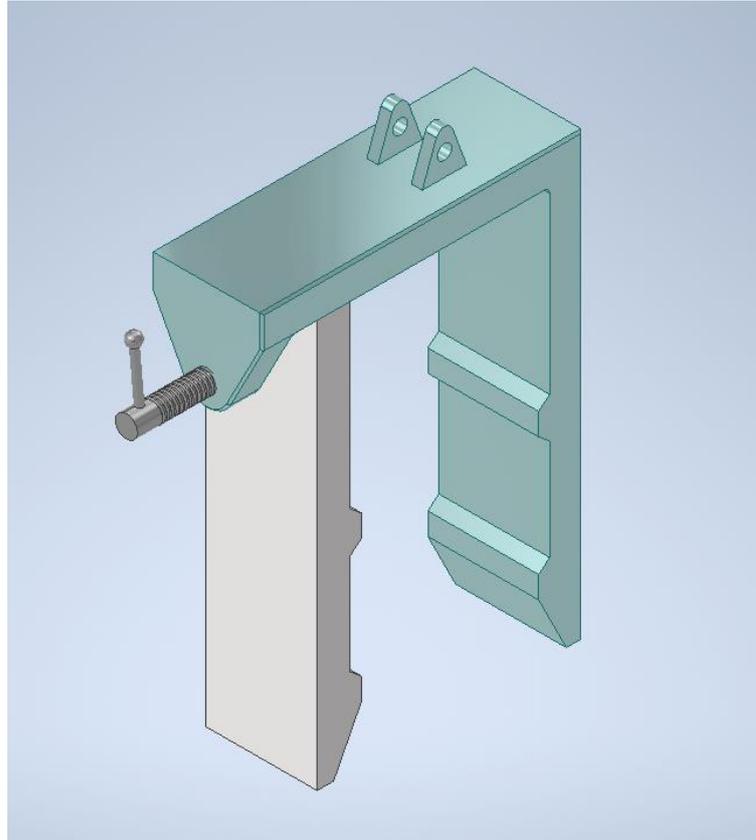


Figura 3.7 Pieza de sujeción a pared

La pieza que se sujeta en la balaustrada se ha inspirado en la que existe en el propio torreón que se ha utilizado como sujeción de otro sensor parecido. Es una pieza que abraza la balaustrada entre dos de sus columnas. Se cierra mediante el uso de cuatro pernos. Dos de ellos se utilizan como bisagra y los otros dos para cerrar de la pieza. Figura 3.8 y Figura 3.9.



Figura 3.8 Detalle de sujeción a la balaustrada

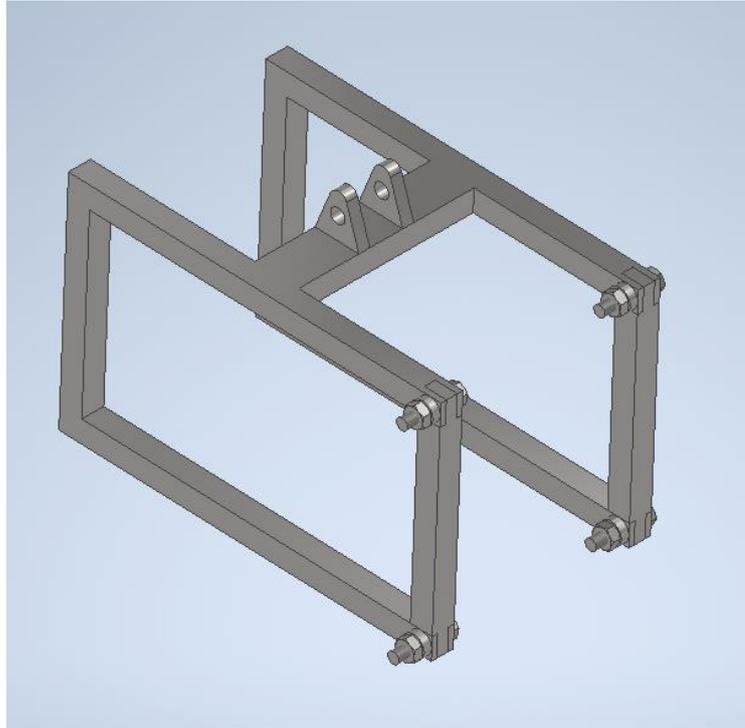


Figura 3.9 Pieza de sujeción a balaustrada

Los brazos de unión que se han diseñado para unir las sujeciones a estructura principal son de las piezas más complicadas de todo el conjunto. Se han diseñado de tal forma que soporten los esfuerzos a distintas alturas. Se unen a la barra inferior mediante un componente intermedio en forma de triángulo que se verá más adelante. Que estén a diferentes alturas implica que cada uno de los brazos tenga dimensiones distintas lo que dificulta su manufactura (Figura 3.10 y Figura 3.11).

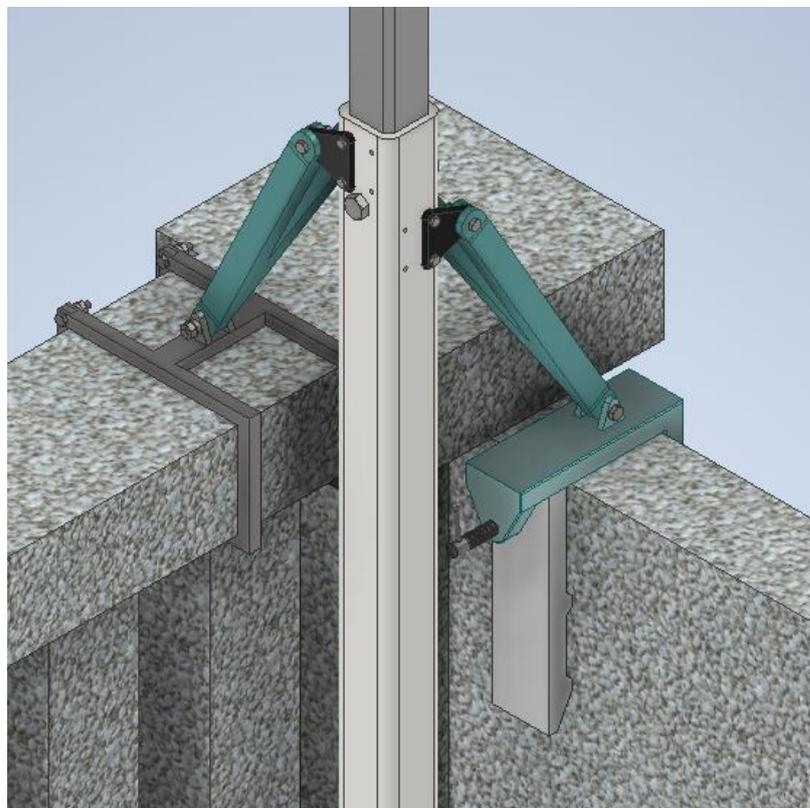


Figura 3.10 Detalle de los brazos de sujeción

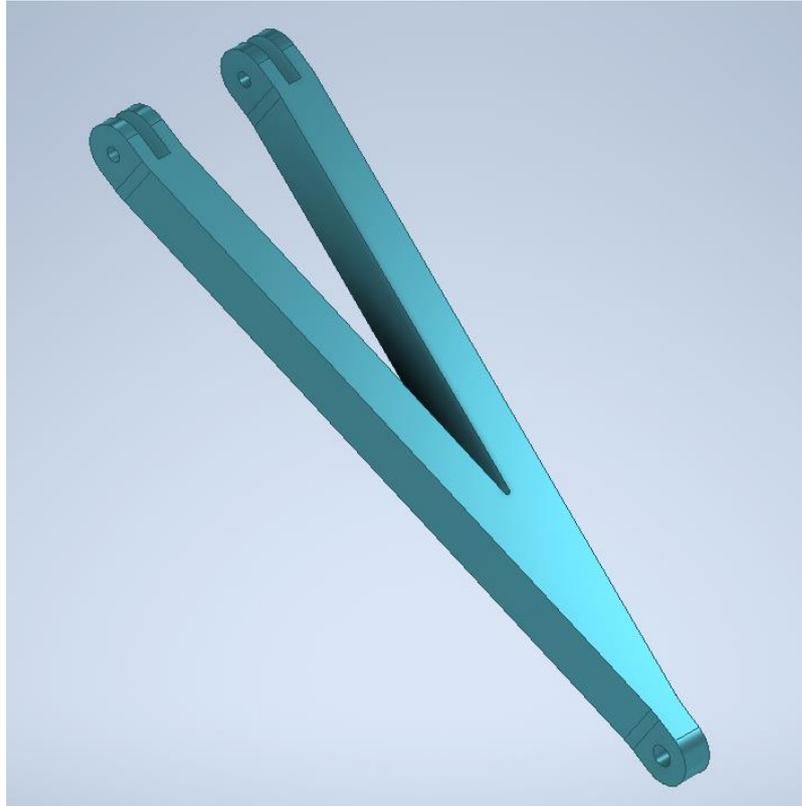


Figura 3.11 Brazo de sujeción

Estos brazos se unen mediante pernos tanto a las sujeciones y a la estructura principal a través de unos triángulos. Se pueden ver más en detalle en las siguientes figuras: Figura 3.12 y Figura 3.13.

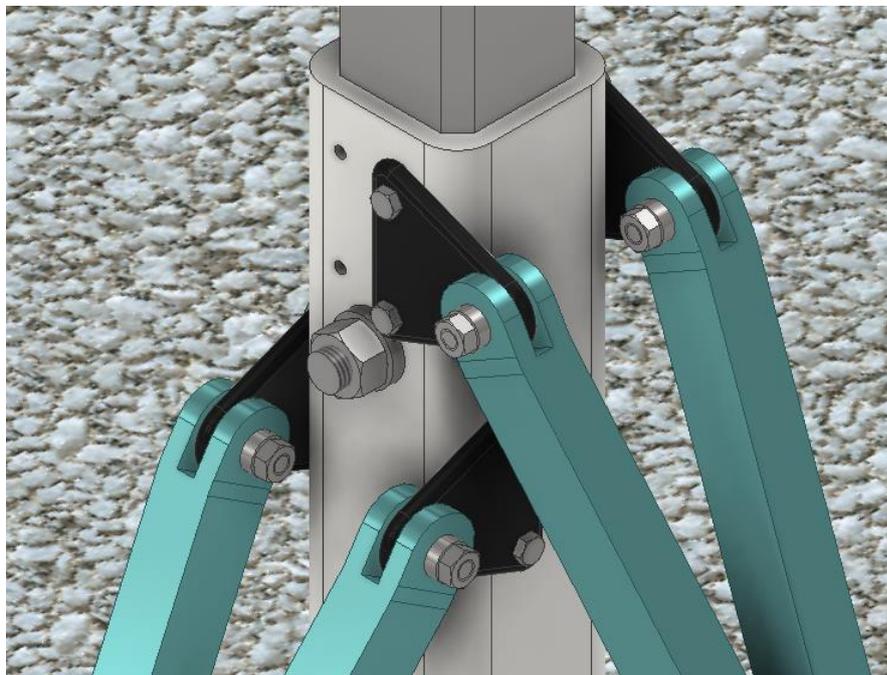


Figura 3.12 Detalle unión de los brazos con la estructura principal

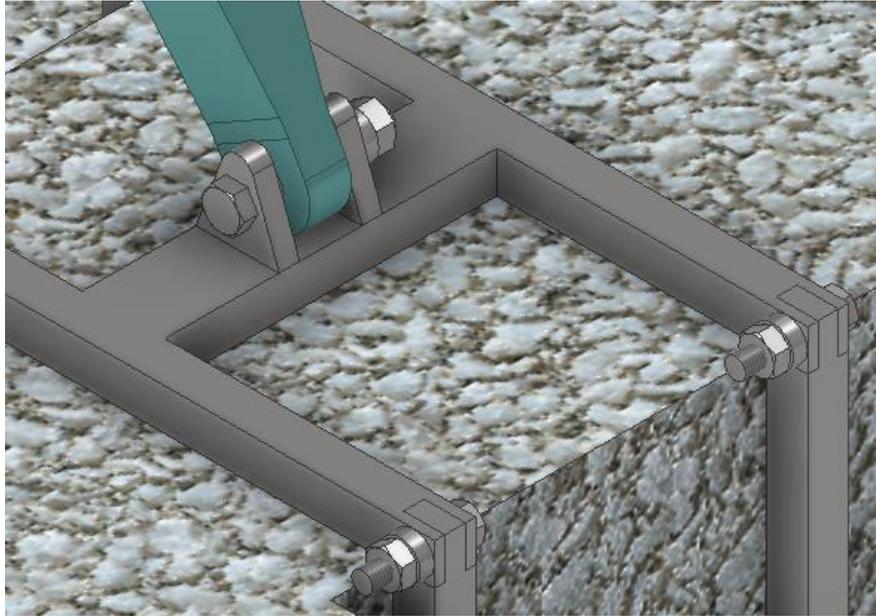


Figura 3.13 Detalle unión de un brazo con una de las sujeciones

En el soporte de los sensores se ha debido solucionar varios problemas; de entre ellos, el más relevante es la orientación. Para ello se han diseñado piezas que permiten unir diferentes plataformas o planchas dónde se apoyarán los sensores, con un ángulo 90° y 45° . Estas uniones se han realizado para que las planchas adyacentes a la principal, estén orientadas hacia abajo y evitar la acumulación de agua en los días de lluvia. Algo que no se ha introducido en este primer diseño es la nivelación de la plataforma que soporta a los sensores algo que podría acarrear en que esos se desnivelen cuando se extienda la estructura (Figura 3.14 y Figura 3.15). La orientación en la dirección en el plano horizontal se ha resuelto con un tornillo mariposa, ligado a la barra telescópica mediante la pieza de la Figura 3.16, que se aprieta en la plancha horizontal para evitar el movimiento.

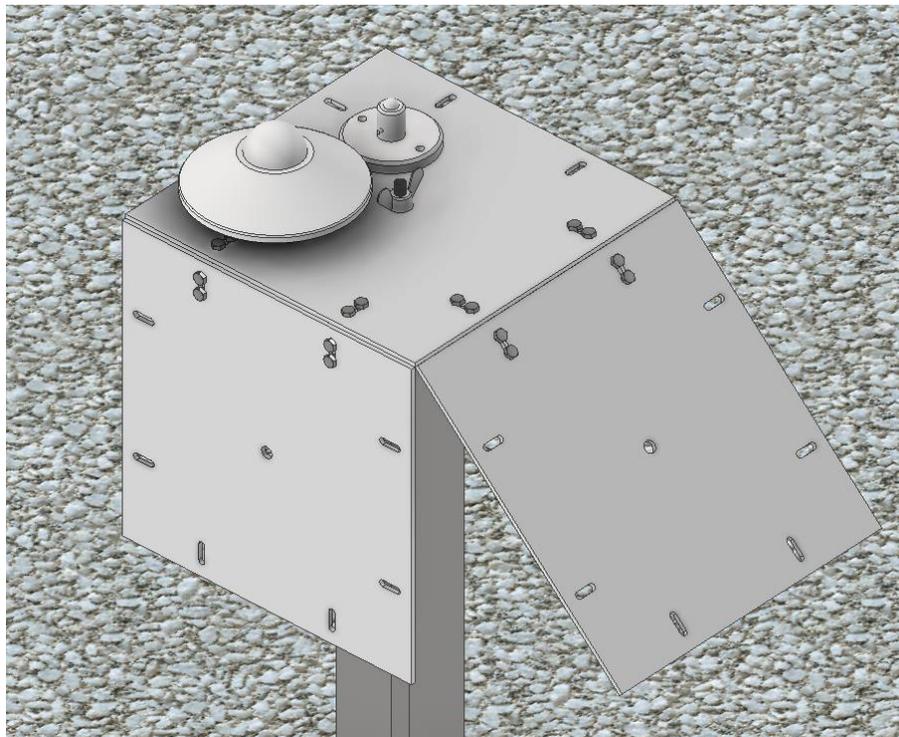


Figura 3.14 Detalle del soporte de los sensores

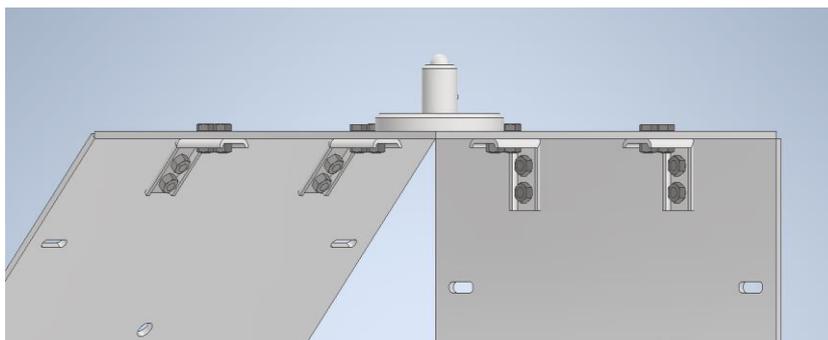


Figura 3.15 Detalle de uniones a 45° y 90°.

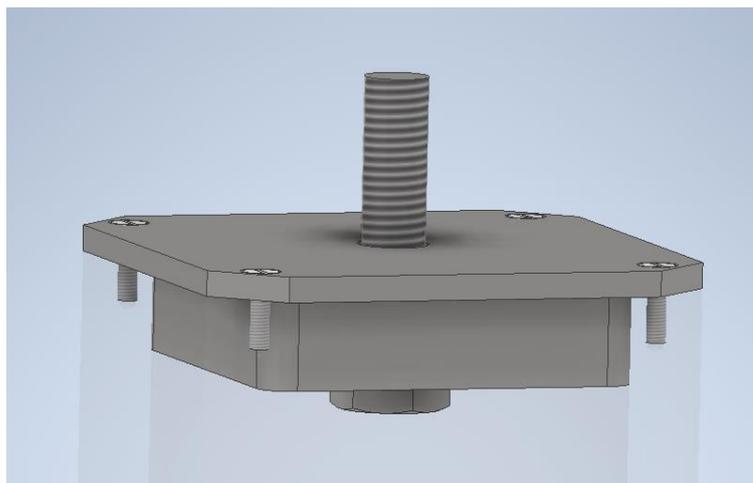


Figura 3.16 Detalle tapadera barra superior

3.4.2 Evaluación primer diseño

En este subapartado se expondrá cómo de bien este primer diseño cumple con los requerimientos establecidos en *Requerimientos, especificaciones y condiciones de diseño* y se comparará con el segundo diseño. Este diseño destaca por su alta resistencia a esfuerzos y su estética. El diseño se ha elaborado teniendo en cuenta formas suaves y ello hace que sea bastante complejo. En este punto destacan, sobre todo, las barras telescópicas y los brazos de sujeción. Además, Las secciones de las barras no son iguales y están realizadas con chaflanes y empalmes en el perímetro interior y exterior para suavizar las formas.

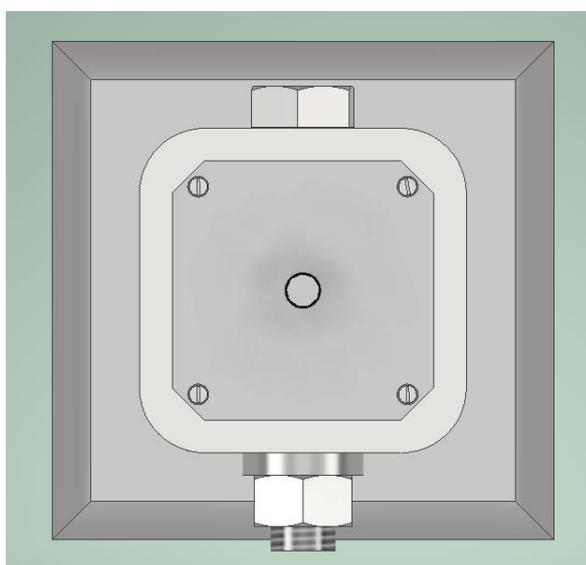


Figura 3.17 Vista en planta de ensamble telescópico

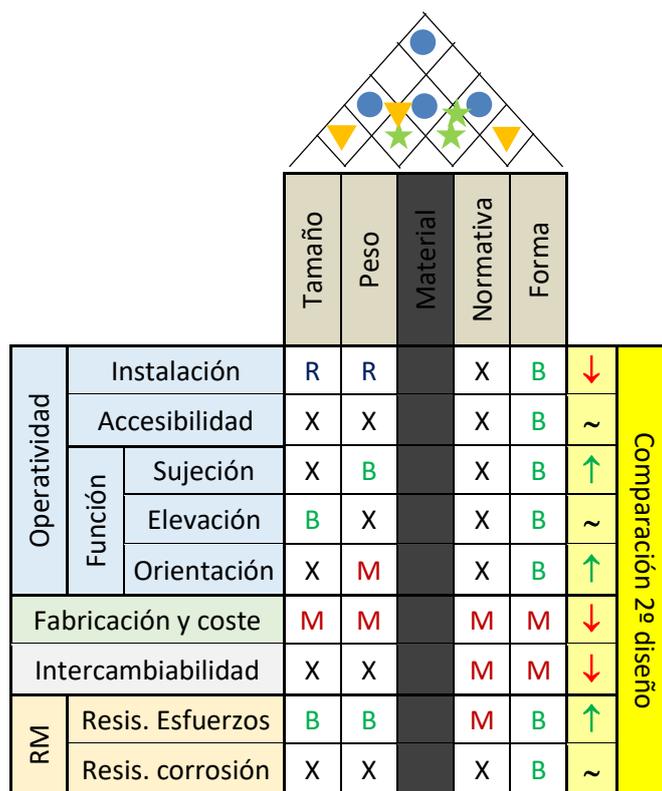


Figura 3.18 Gráfico de requerimientos cumplidos por primer diseño

La Figura 3.18 muestra el gráfico comparativo de requerimientos y condiciones de diseño. Se han usado los mismos principios que en la Figura 3.4 exceptuando la numeración. En este caso, y en el que se expondrá más adelante del segundo diseño, la numeración se ha sustituido del uso de las letras B (bueno), R (regular), M (mal) y X (no afecta) que indica el grado en el que este diseño cumple cierto requerimiento. Se incluye la comparación con el segundo diseño en la parte derecha de la figura.

Esta gráfica no es concluyente ya que a simple vista se puede observar que los diseños son mejores que el contrario en el mismo número de requerimientos. Será en el apartado de *Conclusiones* donde se escogerá finalmente uno de los dos, escogiendo cuál de los requerimientos es más importantes.

3.5 Segundo diseño

Este apartado sólo se enfocará en aquellas partes que varíen del apartado anterior. En el Anexo IV: Planos del segundo diseño se encuentran los planos detallados de este segundo diseño para una mejor comprensión. Este diseño, en contraposición del anterior, se caracteriza por seguir en la medida de lo posible la normativa referente a la construcción de estructuras. Al igual que en la exposición el primer diseño, no se hará referencia a los materiales empleados ya que estos se considerarán más adelante en *Cálculo de esfuerzos mediante FEA*.

3.5.1 Exposición segundo diseño

Este nuevo diseño se ha centrado en la simplicidad, en facilitar la construcción y el transporte de la estructura. Los cambios más destacables han sido los sistemas de sujeción a la balaustrada y a la pared. En esta propuesta, los brazos se basan en perfiles cuadrados normalizados para el aluminio y el acero. La Figura 3.20 muestra cómo la propia pieza se puede construir mediante dos barras de acero soldadas. Para sujetar la estructura principal, se utilizan tres de estos brazos, todos con las mismas dimensiones.

Acaban simulando una especie de gancho que sujetaría las barras por apriete. Por ello se ha decidido ponerles el nombre de gancho de pared.

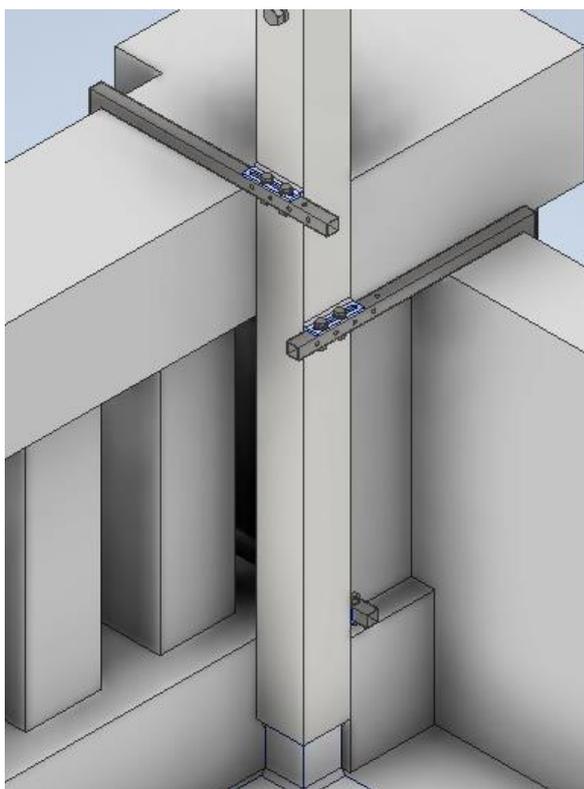


Figura 3.19 Detalle de sujeción segundo diseño

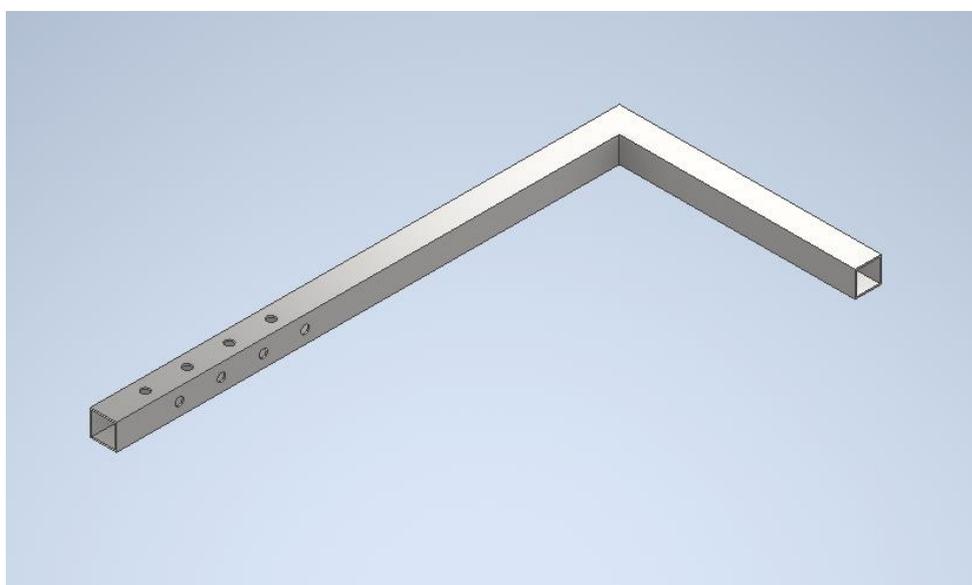


Figura 3.20 Gancho de pared o brazo semi-normalizado del segundo diseño

Los nuevos brazos se unen a la barra inferior de la estructura principal mediante pernos de apriete a una ranura soldada que sobresale de la misma barra. Se ha calculado para que al menos dos de los agujeros taladrados en los brazos coincidan con de la ranura (Figura 3.21). La estructura también aprovecha la propia esquina de la balaustrada para apoyarse y sujetarse mejor. Sin embargo, debido a que el aislante empleado entre dicha balaustrada y el suelo del torreón sobresale ligeramente, se ha creado una especie de taco interpuesto entre la barra inferior y su base de apoyo. Estos tres componentes -barra inferior, taco y base de apoyo- han sido soldados entre sí (Figura 3.22). Los tres, al igual que la

barra superior, son construcciones sencillas. De hecho, ambas barras son piezas normalizadas con perfiles de sección clásica.



Figura 3.21 Detalle de unión entre brazo y barra inferior

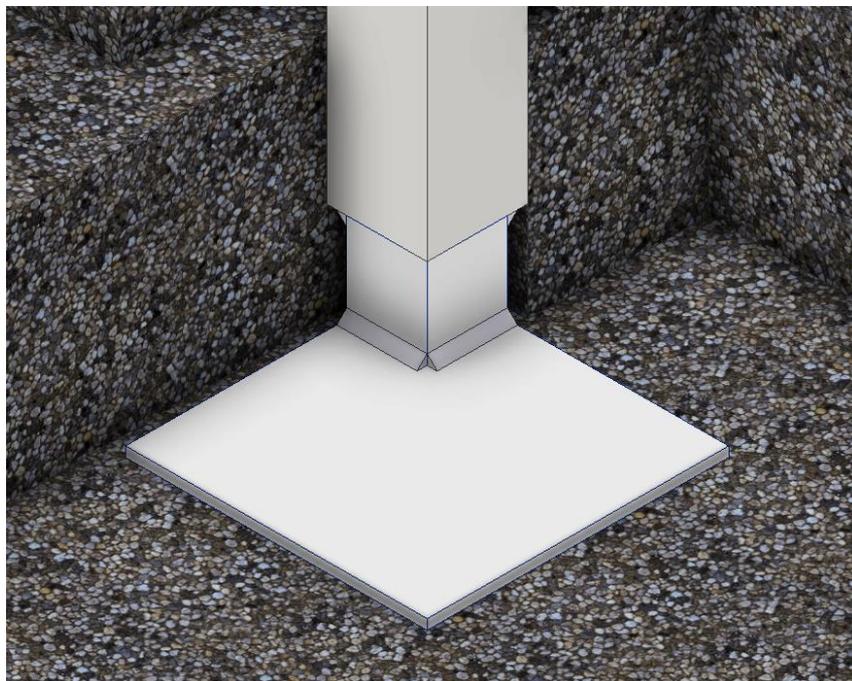


Figura 3.22 Detalle parte baja de la barra inferior

En este diseño también se ha simplificado considerablemente el método de unión de la barra superior con el soporte de los sensores. Además, se ha incorporado a mayores la nivelación del propio soporte mediante una articulación, un tornillo y dos tuercas, como ya se mostró en el ejemplo de la Figura 3.3. Este nuevo componente puede rotar en los 360° y se mantiene en posición mediante dos tornillos de apriete como se aprecia en la Figura 3.23. Para la unión con la plataforma soporte de los sensores, se ha soldado la contraparte de la articulación en la plancha (Figura 3.24).

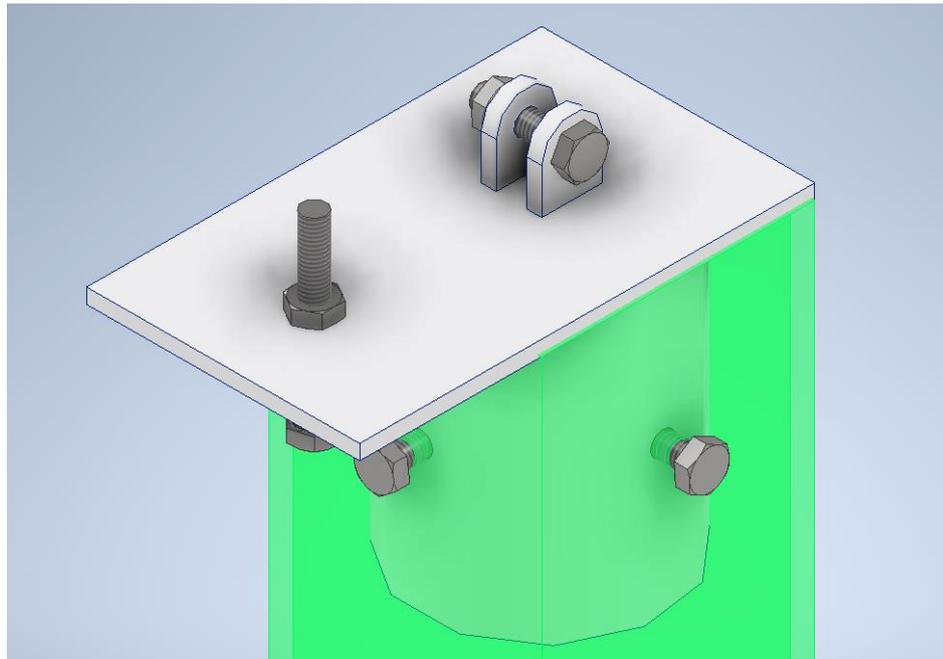


Figura 3.23 Detalle pieza unión estructura principal con plataforma de sensores

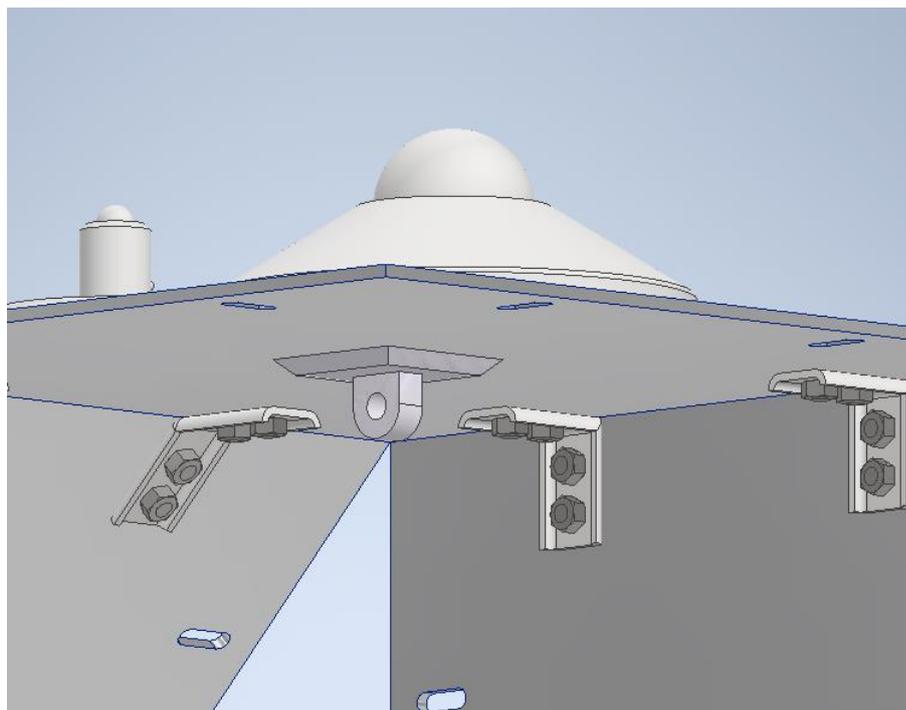


Figura 3.24 Detalle soldadura en plataforma de los sensores

3.5.2 Evaluación segundo diseño

Todos los detalles que se han mostrado en el apartado anterior son ejemplo de una mayor sencillez en la realización de este segundo diseño. Esto implicará una reducción en el coste de fabricación, pero también acarreará consigo desventajas frente al primer diseño sobre todo en estética y resistencia mecánica. Para expresar mejor la comparativa entre ambos, se vuelve a exponer el gráfico de cumplimiento de requerimientos, esta vez centrado en esta segunda estructura. Se recuerda que los materiales no han sido considerados.

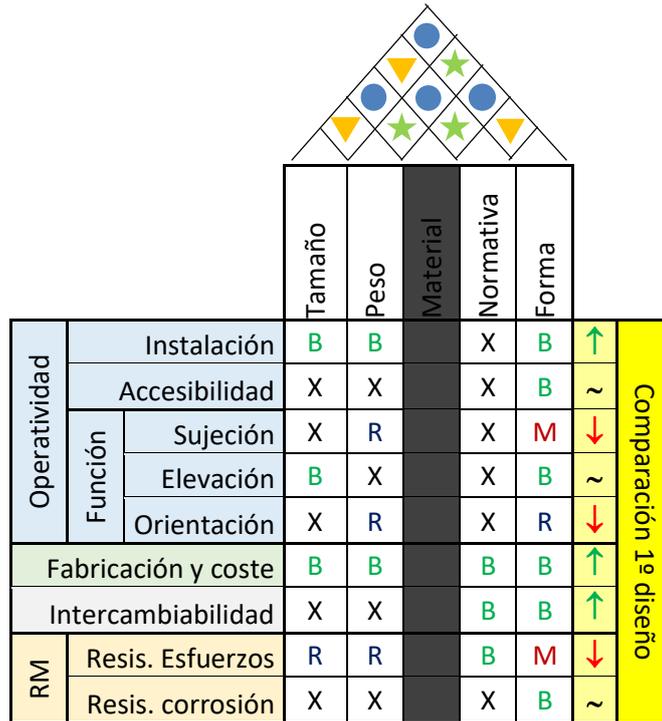


Figura 3.25 Gráfico de requerimientos cumplidos por segundo diseño

3.6 Otras consideraciones de diseño

En este apartado se presentarán algunos detalles que afectan a la instalación de la estructura y que concierne a ambos diseños.

3.6.1 Soporte de sensores

Para comprobar que los sensores caben en la plataforma, se ha realizado un escueto diseño de los sensores *Smart UV Radiometer* de ZIPP & ZONEN y *ML-020S-O* de EKO tomando como base las dimensiones que se reflejan en sus respectivos manuales de instrucciones [2] [5]. Para el caso de *SR11* de SENSOVANT [3], que es el único sensor del que no se indican dimensiones, se ha solicitado a la misma empresa información sobre la distancia entre los tornillos de ajuste y nivelación. En la colocación de los mismos sobre la plataforma, se ha tenido en cuenta que el cable del sensor debe de estar orientado al norte según dictan las instrucciones [2] [5].

En la Figura 3.26 se puede ver un ejemplo de colocación de los sensores mediante sus tornillos de ajuste y nivelación. Se trata de un sensor que se encuentra actualmente inoperativo en el torreón de la misma marca ZIPP & ZONEN.

3.6.2 Sujeción

En este proyecto, se ha partido sobre la base de que no se puede realizar obras sobre el propio torreón; por ejemplo, no podemos atornillar al suelo la estructura. Por eso es por lo que se opta por la solución de brazos de enganche en la balaustrada. Además, también se ha evitado colocar un peso excesivo.

Como medida de seguridad, se podría hacer uso de vientos desde la superestructura a la balaustrada por si esta se mueve demasiado.



Figura 3.26 Ejemplo de colocación de los sensores

3.6.3 Peso

En las siguientes tablas, se muestra el peso de los diferentes componentes de ambos diseños sin tener en cuenta elementos menor porte como pueden ser: tornillos, tuercas, arandelas, pernos etc.

Como se puede observar comparando la Tabla 3.1 y Tabla 3.2, el primer diseño es bastante más pesado que el segundo. Esto incrementará la dificultad en la instalación, movilización y transporte de las piezas.

<u>Nombre de la pieza</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Acero S275JR</u> <u>(unidad)</u>	<u>Acero inox. 316L</u> <u>(unidad)</u>	<u>Aluminio</u> <u>(unidad)</u>
Barra telescópica	1	34,132 kg	34,784 kg	11,74 kg
Barra inferior	1	54,794 kg	55,842 kg	18,847 kg
Base de apoyo		20,079 kg	20,463 kg	6,906 kg
Plataformas de sensores	3	2,791 kg	2,844 kg	0,96 kg
Acople de estructura a plataforma	1	0,601 kg	0,612 kg	0,207 kg
Brazos	2	9,117 kg	9,291 kg	3,136 kg
Sujeción mediante apriete	1	25,815 kg	26,309 kg	8,879 kg
Sujeción de abrazadera	1	7,739 kg	7,887 kg	2,662 kg
TOTAL		155,068 kg	158,032 kg	53,336 kg

Tabla 3.1 Pesos primer diseño

<u><i>Nombre de la pieza</i></u>	<u><i>Cantidad</i></u>	<u><i>Acero S275JR</i></u> <u><i>(unidad)</i></u>	<u><i>Acero inox. 316L</i></u> <u><i>(unidad)</i></u>	<u><i>Aluminio</i></u> <u><i>(unidad)</i></u>
Barra telescópica	1	16,152 kg	16,461 kg	5,556 kg
Barra inferior soldada	1	31,363 kg	31,961 kg	10,829 kg
Plataformas de sensores	3	2,794 kg	2,847 kg	0,961 kg
Articulación de plataforma	1	1,484 kg	1,515 kg	0,510 kg
Brazos	3	0,862 kg	0,878 kg	0,296 kg
<i>TOTAL</i>		<i>59,967 kg</i>	<i>61,112 kg</i>	<i>20,666 kg</i>

Tabla 3.2 Pesos del segundo diseño

4 CÁLCULOS Y RESULTADOS

Esta sección se dividirá en dos partes bien diferenciadas. La primera de ellas se dedicará al estudio de las sombras que puedan afectar a nuestra estación de sensores. La segunda, calcularemos mediante análisis FEM los diferentes esfuerzos ocasionados por el viento, teniendo en cuenta la máxima racha de viento registrada. Se usarán datos obtenidos por fuentes oficiales (*AEMET*) para averiguar la racha de viento máxima en los últimos años.

4.1 Estudio de sombras

Este apartado se apoya en lo expuesto en *Movimiento del sol* para la realización de los cálculos.

Para comenzar, se deben conocer los azimuts a introducir. Serán dos por obstáculo: donde se supone iniciaría a hacer sombra y donde terminaría. Se utilizarán los modelos desarrollados en *SketchUp*, creados por los AF. Duero Urcelay y AF. Vega Vegas, que muestran una maqueta sencilla de la ENM. A continuación se muestra la Figura 4.1 en la se reseñan los posibles obstáculos. Se recuerda que estos eran la Torre del reloj (a la izquierda) y la Torre del Gallardete (derecha).

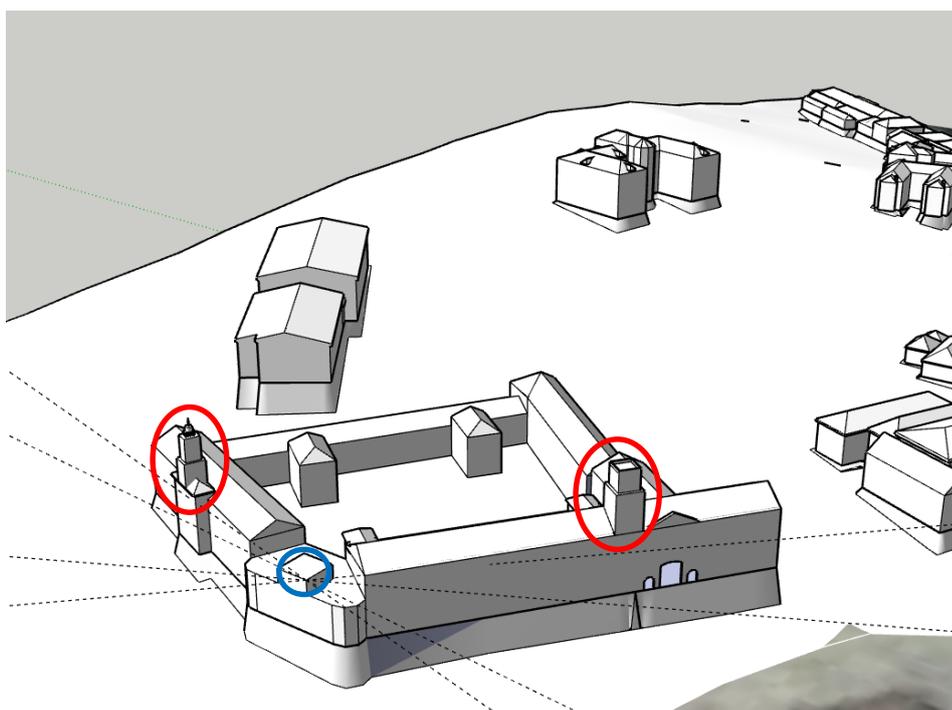


Figura 4.1 Maqueta ENM (SketchUp)

El programa *SketchUp* permite la medición de ángulos y distancias en los cuales se han basado los cálculos del estudio de sombras. Es importante de destacar que *SketchUp* también tiene una opción de que facilita realizar un estudio de sombras, pero lo único que permite es seleccionar una hora específica en un día del año. Esto significa que no es capaz de darnos los resultados que buscamos: contestar a la pregunta si los obstáculos que se han reseñado en la Figura 4.1 afectan a nuestros sensores o no.

Se representan en la Tabla 4.1 los azimuts que comprenden estos obstáculos. También en esta tabla, se muestran los datos de la altura en ángulo vertical comprendido desde los sensores a la máxima altura de los obstáculos. Este ángulo se calcula mediante la resolución de un simple triángulo rectángulo del que se conocen dos de sus lados, usando el teorema de Pitágoras. Los dos catetos conocidos son: la diferencia de alturas entre sensor y elevación del propio obstáculo, y la distancia en el plano horizontal entre la estación y la construcción.

<u>Obstáculos</u>	<u>Azimut inicial</u>	<u>Azimut final</u>	<u>altura</u>
Torre del Reloj	189°	194°	15°
Torre del Gallardete	300°	305°	12°

Tabla 4.1 Datos obtenidos por *Sketchup*

Los grados se han redondeado hacia arriba, en el caso de la altura y el azimut final, y hacia abajo, en el caso del azimut inicial. Así se calcula el caso más desfavorable y se establece un margen de seguridad. Algo similar a lo que se ha hecho con la declinación (*Resolución triángulo de posición a partir de azimut*). En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos mediante la fórmula 2.10, una vez introducidos los datos de la Tabla 4.1 en la ecuación 2.12.

<u>Azimut</u>		<u>Verano</u>	<u>Primavera y Otoño</u>	<u>Invierno</u>
Torre del Reloj	189°	70°52.2'	47°15.1'	23°38.1'
	194°	70°36.1'	46°44.6'	22°53.2'
Torre del Gallardete	300°	2°28.1'	-28°42.5'	-59°53.1'
	305°	-2°9.3'	-32°8.4'	-62°7.5'

Tabla 4.2 Resultados de altura del Sol en demora de los obstáculos el 21 de junio, 21 de diciembre, 23 de septiembre

Los resultados de la Tabla 4.2 nos indican que hay unos pocos días al año, cercanos al solsticio de verano, en los que la Torre del Gallardete impide el paso de la luz solar hacia los sensores. Esto se debe a que la altura del sol es menor a la de la estructura. La Torre del Reloj en ningún momento del año obstruye la luz directa solar ya que todas las alturas están por encima del ángulo de altura establecido en la Tabla 4.1.

Para calcular el tiempo de luz diaria, tiempo entre ortos y ocasos, se hará uso de las ecuaciones 4.1 y 4.2, introduciendo datos aportados por el Almanaque Náutico. Mediante estas fórmulas se calculará la hora exacta, hora oficial del lugar (Ho), en la que ocurren ambos fenómenos para luego restarlos y obtener así el tiempo que incide la luz del Sol en un día.

$$hL_{Sol} + L_{estación} = hG_{Sol} \quad 4.1$$

$$hG_{Sol} - z = Ho \quad 4.2$$

El siguiente paso será determinar cuánto tiempo los sensores se hallan en sombra debido a la Torre del Gallardete. Primero hay que aclarar que es inviable solucionar este problema mediante la elevación de los sensores porque, al coincidir el azimut del ocaso detrás de la propia torre, habría que elevarlos a la misma altura: unos doce metros. Para realizar estos cálculos, primero se deberá de hallar los días que se producen estas sombras. Se calculará la declinación del día que el ocaso coincida con el límite de la torre. Se empleará una fórmula semejante a la ecuación 2.10, pero esta vez relacionada con la declinación en vez de con la altura.

$$\sin \delta = \sin l \sin a + \cos l \cos a \cos z \quad 4.3$$

En el ocaso, la altura de la estrella será cero por lo que se puede despejar este término de la fórmula, resultando en una ecuación de la siguiente forma:

$$\sin \delta = \cos l \cos z \quad 4.4$$

Sustituyendo en z el azimut 300° , que es el que afecta a las sombras, se obtiene una declinación de $+21^\circ40.2'$. Con este resultado se navega el Almanaque Náutico hasta encontrar el día en que el Sol mantiene esta declinación. Se debe tener en cuenta que el Sol en su declinación máxima va subiendo hasta el 21 de junio y luego comienza a bajar; por lo tanto, existen dos días al año donde la declinación alcanza $+21^\circ40.2'$. Para simplificar, sólo se realizarán los cálculos hasta el 13 de julio, una de las dos fechas donde ocurre el fenómeno, y luego se doblarán los resultados.

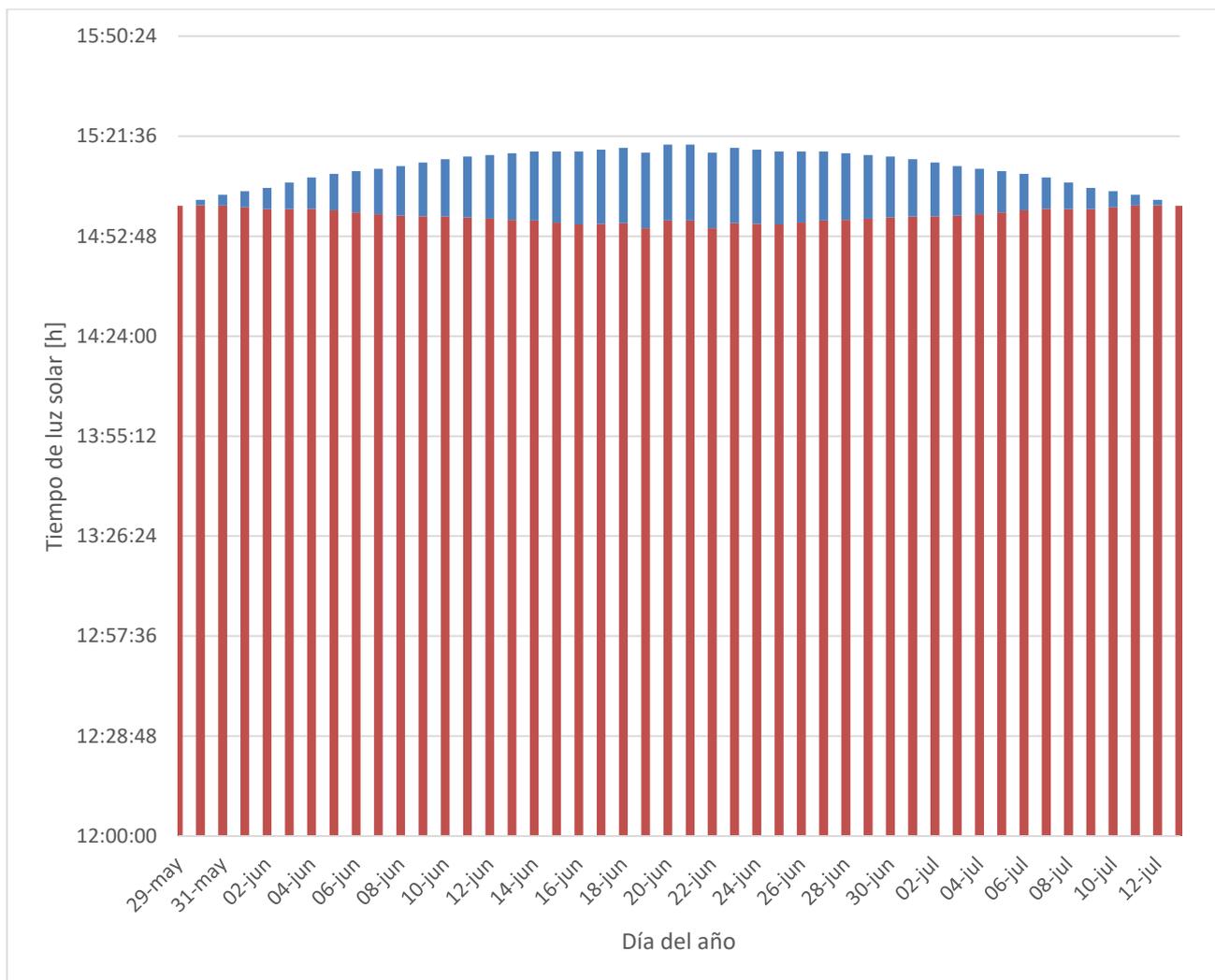


Figura 4.2 Gráfica de luz incidente sobre los sensores entre el 21 de junio y 13 de julio

Los cálculos obtenidos dan como resultado que el día 21 de junio, el día de mayor tiempo de sombra sobre los sensores del año, hay aproximadamente 22 minutos en sombra. Este tiempo va incrementando desde el 29 de mayo y, una vez alcanzado su cenit en el solsticio de verano, disminuye hasta el 13 de julio.

En total, si se suman todas las horas de sombra que se producen del 29 de mayo al 13 julio, se obtiene un resultado en entorno a las diez horas y media. En la Figura 4.2 se puede apreciar el tiempo de luz que incide sobre la estructura (en rojo) y el tiempo de oscurecimiento, tiempo en sombra (en azul). La suma de ambos es el tiempo de luz solar diaria. Los resultados que se muestran en esta figura no son exactos ya que del Almanaque Náutico se sacan datos discretos de tiempo: horas y minutos, no segundos.

Diez horas y media del total de luz solar anual significa que tan sólo estamos perdiendo menos del 0,3%. Sin embargo, en este apartado tan sólo se ha tenido en cuenta las estructuras más cercanas a la ubicación de la estación de medición. La propia orografía de la ría de Pontevedra dificulta que se visualiza el horizonte desde cualquier punto. Esto implica que se debería hacer en mayor profundidad, un estudio de sombras que incluyese toda la orografía de la zona, ya que es posible que el sol se esconda detrás de las montañas antes de que la Torre del Gallardete obstaculice los rayos directos.

4.2 Cálculo de esfuerzos mediante FEA

Se ha desarrollado un análisis FEM utilizando el concepto de fuerza de arrastre. Una vez explicado este concepto, se mostrarán los resultados que dichas fuerzas provocan en la estructura.

4.2.1 Fuerza de arrastre

En la actualidad no hay ninguna teoría que permita el cálculo cuantitativo del campo de un fluido, esto incluye a cuerpos sumergidos dentro de una corriente ocasionada por un fluido, como es el caso de este trabajo. Por eso, los ingenieros han realizado una serie de experimentos mediante los que han sido capaces de sustraer ciertos datos para la realización de unas tablas que permiten calcular la fuerza que realiza un fluido característico al incidir sobre un cuerpo de determinada forma y dimensiones. Esto se ha denominado experimentación con flujos externos. Se dividen en:

- Resistencia de cuerpos bidimensionales y tridimensionales:
 - Cuerpos romos
 - Formas fuseladas
- Actuaciones de cuerpos sustentadores:
 - Perfiles y aviones
 - proyectiles y cuerpos con aletas
 - Pájaros e insectos

El diseño de este trabajo se centrará en el análisis de resistencia de un cuerpo bidimensional.

La fuerza que ejerce el viento sobre un objeto es de sustentación y de resistencia. La sustentación es la que usan los aviones para volar y la resistencia la que utilizaban los barcos antiguos con velas cuadras para navegar. Los pares de fuerzas y momentos que se ocasionan en un cuerpo se dividen en:

- Eje de dirección de velocidad del flujo:
 - Fuerza de arrastre o resistencia
 - Momento de balanceo
- Eje vertical al flujo:
 - Fuerza de sustentación
 - Momento de guiñada
- Eje transversal al flujo:
 - Fuerza lateral
 - Momento de cabeceo.

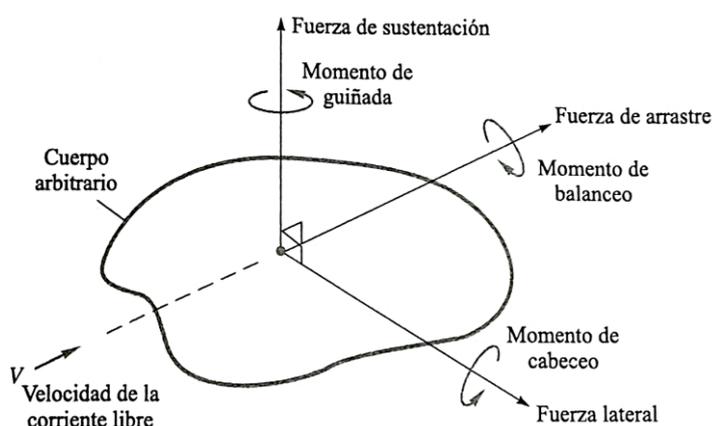


Figura 4.3 Fuerzas y momentos sobre un cuerpo inmerso en un flujo de corriente uniforme. [25]

De estas fuerzas se podrán hacer varias simplificaciones. Si el cuerpo es simétrico con respecto al plano normal a la fuerza lateral; tanto esta, como el momento de cabeceo, desaparecen. Este es el caso denominado **bidimensional**. Además, si también existe simetría con respecto al plano horizontal formado por el eje de la fuerza de arrastre y el eje de la fuerza lateral, no habrá sustentación si la corriente

es paralela a la intersección de los dos planos mencionados: la cuerda principal del cuerpo. Ambos diseños en este proyecto cumplen los dos requisitos por eso sólo se analizará la **fuerza de arrastre**. [25]

Con la experimentación de la fuerza de arrastre se introduce un nuevo término: el coeficiente de resistencia. Este es función del número de Reynolds que a su vez se basa en la velocidad no perturbada (V), la viscosidad (ν) y la longitud característica del cuerpo (L) (ecuación 4.5). El número de Reynolds es «el parámetro adimensional primario que determina el comportamiento viscoso de los fluidos newtonianos» [26].

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad 4.5$$

$$F_{arrastre} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D A \quad 4.6$$

El coeficiente de arrastre se divide en coeficiente de presión y coeficiente de fricción. El primero se debe a la diferencia de presión entre el área de incidencia y la de remanso. El segundo, se refiere a la resistencia de fricción del cuerpo; es decir, la *normal* que se presenta en la pared incidente [25]. Para este diseño en particular los coeficientes de arrastre se obtendrán por medio de las **tablas empíricas** del Anexos

Anexo I: Propiedades físicas de los fluidos y coeficientes de resistencia para obtener los coeficientes de resistencia de todos los elementos. Se utilizará la fuerza de arrastre como una fuerza uniformemente distribuida en la sección incidente. Estas tablas sólo se pueden usar si el número de Reynolds es mayor de diez elevado a la cuarta potencia.

Para la realización de los cálculos se usará la racha de viento máximo del último lustro según la estación meteorológica en Pontevedra. Ocurrió en 1987 con una velocidad de 115 km/h. [27]

4.2.2 Condiciones del FEA

En la realización de los cálculos mediante FEM, se ha hecho uso del programa *Autodesk Inventor*. Este programa ofrece varias ventajas que se han aprovechado en este trabajo. Estas son: la creación del mallado automático y la elaboración de condiciones de contacto de manera automática, basándose en las restricciones del ensamble. En los siguientes apartados se mostrarán varias capturas de las simulaciones realizadas.

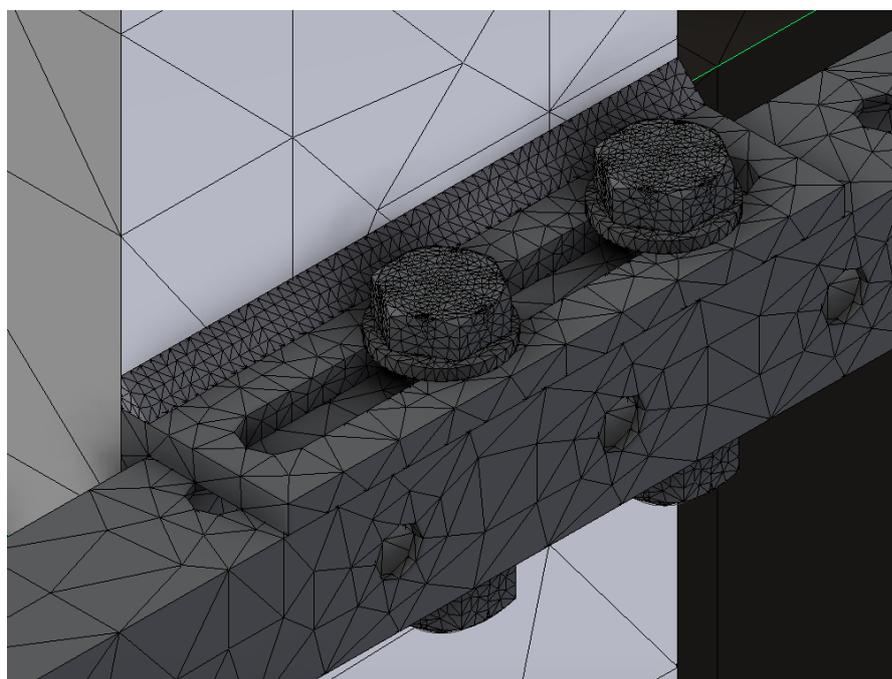


Figura 4.4 Detalle de mallado automático en segundo diseño

Para realizar una simulación, se establece, primero, dónde se aplican las fuerzas arrastre (F_a) calculadas mediante la fórmula 4.6. Para el cálculo de dicha fuerza, se ha empleado la velocidad de 115 km/h de viento. Las demás variables de la ecuación se han obtenido mediante la herramienta de medición, que aporta el mismo programa, para medir el área, y el Anexos

Anexo I: Propiedades físicas de los fluidos y coeficientes de resistencia que aporta la viscosidad y densidad del fluido. Además, de este Anexo, previamente garantizado que el número de Reynolds (Re) supera 10^4 , se obtienen los coeficientes de resistencia empleados (C_D). Los resultados se muestran a continuación, por pieza y diseño:

<u>Nombre de la pieza</u>	<u>C_D</u>	<u>Re</u>	<u>F_a</u>
Barra superior	2,1	$6,36 \cdot 10^6$	11,57 kN
Brazo	2,1	$4,24 \cdot 10^6$	2,57 kN
Plataforma a 90°	2,0	$424 \cdot 10^3$	146,90 N

Tabla 4.3 Datos calculados del primer diseño

<u>Nombre de la pieza</u>	<u>C_D</u>	<u>Re</u>	<u>F_a</u>
Barra superior	2,1	$9,54 \cdot 10^6$	11,57 kN
Plataforma a 90°	2,0	$424 \cdot 10^3$	146,90 N

Tabla 4.4 Datos calculados del segundo diseño

Hay que tomar en consideración que al aplicar la fuerza de arrastre distribuida por toda la superficie de una cara estamos sobrecargando la estructura ya que es posible que no toda ella está expuesta al viento. En contraposición, se han obviado aquellas piezas que mantienen un aspecto al viento lo suficientemente pequeño, como por ejemplo la barra inferior que se ve protegida por la propia balastrada. En las siguientes imágenes se muestran la disposición de cargas.

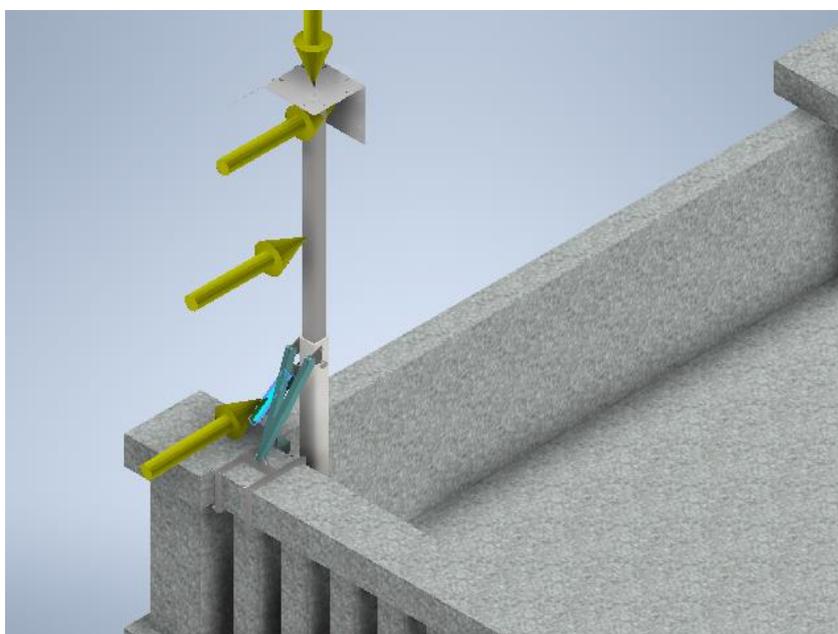


Figura 4.5 Colocación de las cargas en primer diseño

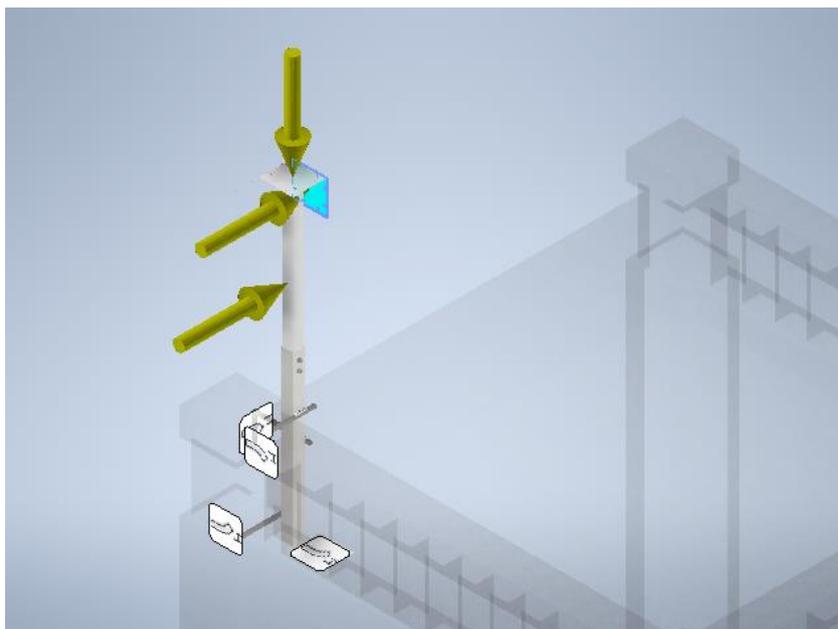


Figura 4.6 Colocación de las cargas en segundo diseño

Para la simulación se han asignado los siguientes materiales: acero carbono S275JR (ASTM A36), acero inoxidable AISI 316L y aluminio. Las propiedades de dichos materiales, que se han obtenido de la propia biblioteca disponible por Autodesk, se muestran a continuación en las siguientes tablas.

<u>Nombre</u>	<u>Densidad de masa</u>	<u>Límite de elasticidad</u>	<u>Resistencia máxima a tracción</u>
Acero ASTM A36	7,85 g/cm ³	248,225 MPa	399,9 MPa
Acero inoxidable AISI 316L	8 g/cm ³	317,157 MPa	461,946 MPa
Aluminio	2,7 g/cm ³	275 MPa	310 MPa

Tabla 4.5 Características generales de los materiales

<u>Nombre</u>	<u>Módulo de Young</u>	<u>Coefficiente de Poisson</u>	<u>Módulo cortante</u>
Acero ASTM A36	199,959 GPa	0,30	76,9073 GPa
Acero inoxidable AISI 316L	199,947 GPa	0,29	77,4988 GPa
Aluminio	68,900 GPa	0,33	25,9023 GPa

Tabla 4.6 Características de tensión de los materiales

En el Anexo III: *Informes de resultados simulación* se muestran más en detalle los resultados de la simulación del primer y segundo diseño soportando una racha de 115 km/h. Se ha hecho uso de los propios informes que genera Autodesk Inventor. En el caso del primer diseño, se ha incluido el torreón en todas las simulaciones lo cual significa que la mayoría de resultados (máximos y mínimos) están referenciados con respecto al hormigón. En el segundo caso, se obvia el torreón y se implementan restricciones a los brazos directamente. A continuación, se muestran dos tablas resumen estas dos simulaciones. Más adelante se detallarán más por diseño.

Nombre	Acero ASTM A36		Acero inox 316L		Aluminio	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Volumen	7,76·10 ⁹ mm ³		7,76·10 ⁹ mm ³		7,76·10 ⁹ mm ³	
Masa	18789,10 kg		18792,40 kg		18676,10 kg	
Tensión de Von Mises	5,49·10 ⁻⁶ MPa	529,86 MPa	4,89·10 ⁻⁶ MPa	532,52 MPa	2,92·10 ⁻⁶ MPa	514,62 MPa
Primera tensión principal	-96,44 MPa	486,87 MPa	-84,64 MPa	479,82 MPa	-133,20 MPa	506,38 MPa
Tercera tensión principal	-506,95 MPa	113,83 MPa	-497,15 MPa	104,41 MPa	-534,42 MPa	146,71 MPa
Desplazamiento	0 mm	10,73 mm	0 mm	10,73 mm	0 mm	30,69 mm
Coefficiente de seguridad	0,42	15	0,42	15	0,39	15

Tabla 4.7 Resumen simulación 115 km/h en primer diseño (Informe Anejo)

Nombre	Acero ASTM A36		Acero inox 316L		Aluminio	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Volumen	7,867·10 ⁶ mm ³		7,867·10 ⁶ mm ³		7,867·10 ⁶ mm ³	
Masa	61,76 kg		62,94 kg		21,24 kg	
Tensión de Von Mises	1,05·10 ⁻⁴ MPa	1752,31 MPa	7,18·10 ⁻⁵ MPa	1758,77 MPa	4,97·10 ⁻⁵ MPa	1735,6 MPa
Primera tensión principal	-105,68 MPa	1165,42 MPa	-99,47 MPa	1168,45 MPa	-123,11 MPa	1172,98 MPa
Tercera tensión principal	-1125,29 MPa	228,54 MPa	-1116,94 MPa	209,32 MPa	-1151,55 MPa	280,94 MPa
Desplazamiento	0 mm	45,46 mm	0 mm	45,44 mm	0 mm	131,94 mm
Coefficiente de seguridad	0,64	15	0,65	15	0,61	15

Tabla 4.8 Resumen simulación 115 km/h en segundo diseño (Informe Anejo)

4.2.1 Resultados primer diseño

Para el primer diseño se han colocado las cargas según muestra la Figura 4.5 y se ha sondado en la estructura las parte más débiles de la misma que son las que se muestran en la Figura 4.7 y Figura 4.8. Mediante los datos obtenidos se ha realizado una tabla en la que se muestra, según el material empleado, la tensión máxima de Von Mises y el coeficiente de seguridad. Este coeficiente da una información muy importante en la simulación ya que es el parámetro que nos indica cuánto resiste la estructura. También se le llama factor de diseño real y se define como:

$$C_s = \frac{\text{esfuerzo permitido}}{\text{esfuerzo soportado}} \quad 4.7$$

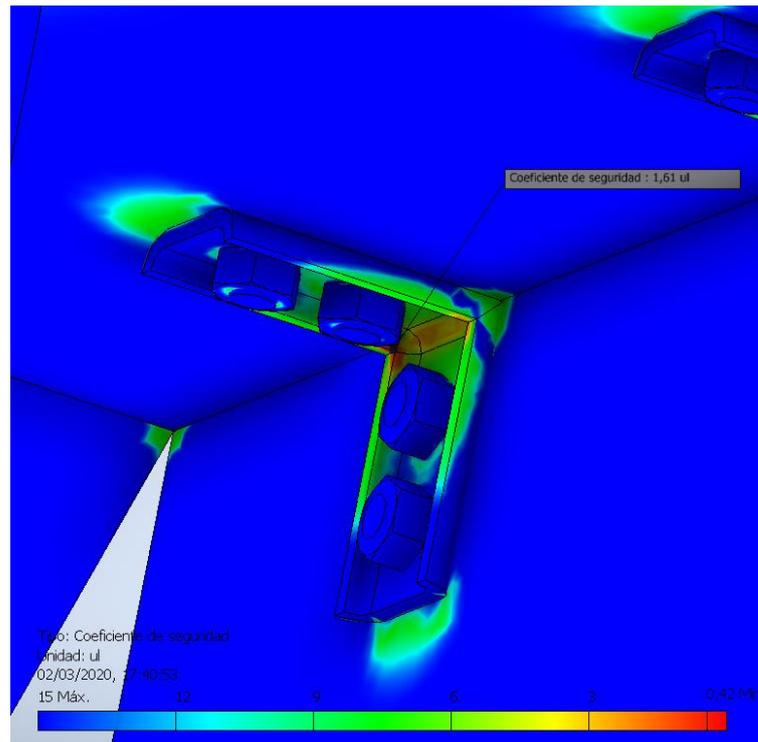


Figura 4.7 Detalle coeficiente de seguridad 1° diseño en acero Inox.

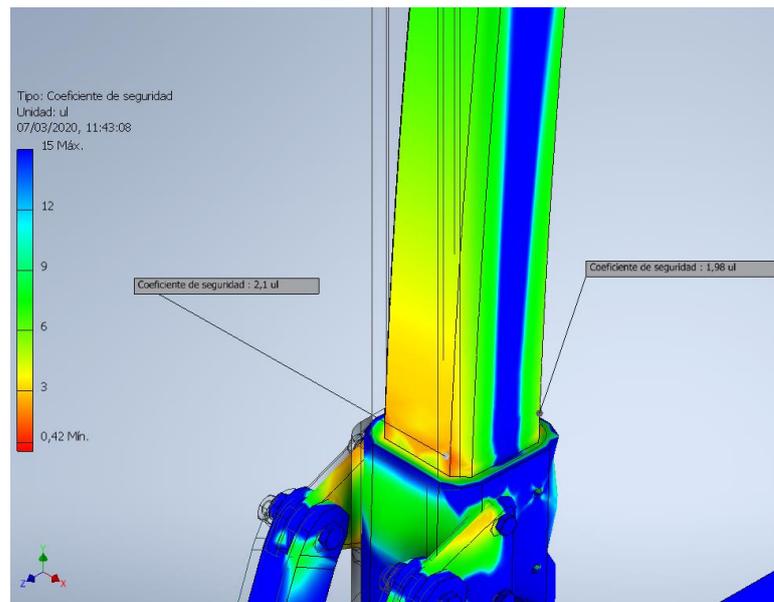


Figura 4.8 Detalle coeficiente de seguridad 1° diseño en acero Inox.

<u>Nombre</u>	<u>Tensión de Von Mises</u>	<u>Coeficiente de Seguridad</u>
Acero ASTM A36	199,5 MPa	1,24
Acero inoxidable AISI 316L	196,4 Mpa	1,61
Aluminio	201,3 Mpa	1,37

Tabla 4.9 Solicitaciones máximas del primer diseño

Con los resultados de la Tabla 4.9 se puede concluir que el material más resistente va a ser el acero inoxidable AISI 316L en el caso del primer diseño, cosa que ya se previó con anterioridad (Tabla 4.5 y Tabla 4.6). Este material, comparado con el resto en el mismo punto débil, tiene un coeficiente de seguridad mayor.

A parte de las tensiones que provoca el viento se debe de tener en cuenta la deformación que pueda sufrir la estructura. Esto es de relevada importancia teniendo en cuenta que el movimiento de la posición original de los sensores podría inducir a que estos no midieran de la forma más óptima e incluso no tomaran toda la cantidad de datos posibles.

Se muestra en la Figura 4.9 el punto más desplazado de toda la estructura. Éste, coincide con la plataforma que sujeta los sensores en vertical. A partir de él y variando el material, se construye la siguiente Tabla 4.10 con los resultados obtenidos.

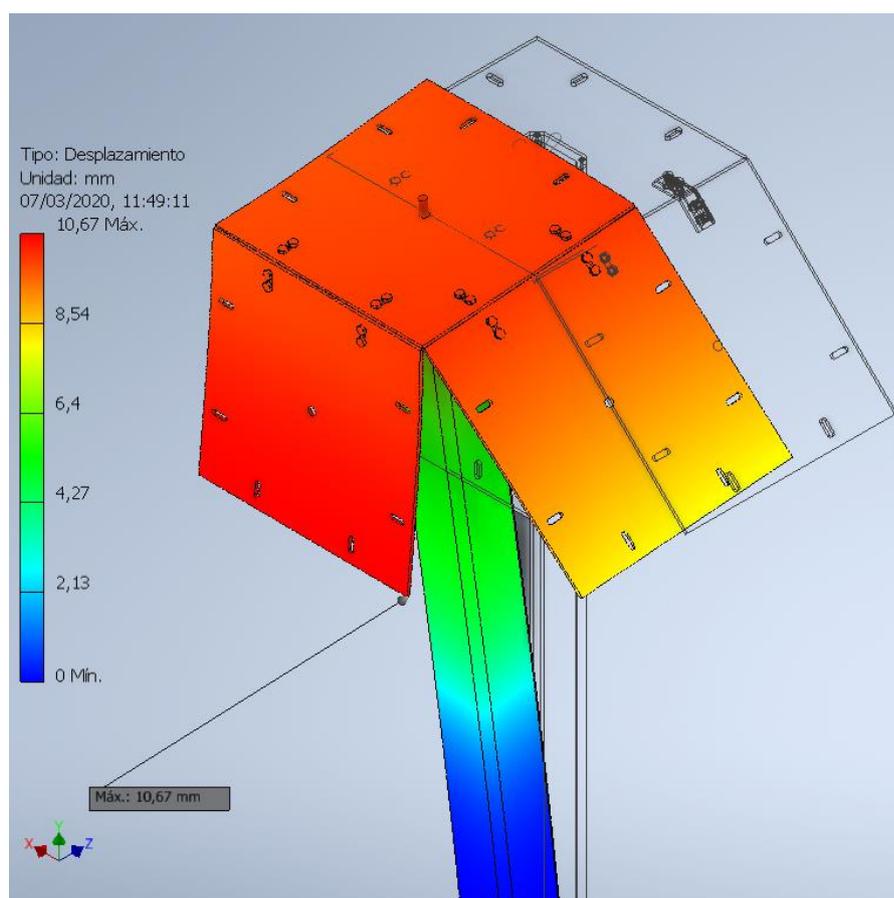


Figura 4.9 Deformación del primer diseño en acero inox.

	<u>Deformación plataforma</u>
Acero ASTM A36	10,7 mm
Acero inoxidable AISI 316L	10,7 mm
Aluminio	30,7 mm

Tabla 4.10 Deformaciones máximas del primer diseño.

4.2.2 Resultados para el segundo diseño

El coeficiente de seguridad obtenido para el segundo diseño no da tan buenos resultados como para el primero. Esto se aprecia en la Figura 4.10. En su punto más débil el coeficiente es menor que la unidad (0,65 u.n.); se debe a que, al utilizar perfiles normalizados, se ha restringido el espesor de las barras y la estructura no es capaz de aguantar los esfuerzo producidos por una racha de 115 km/h de viento.

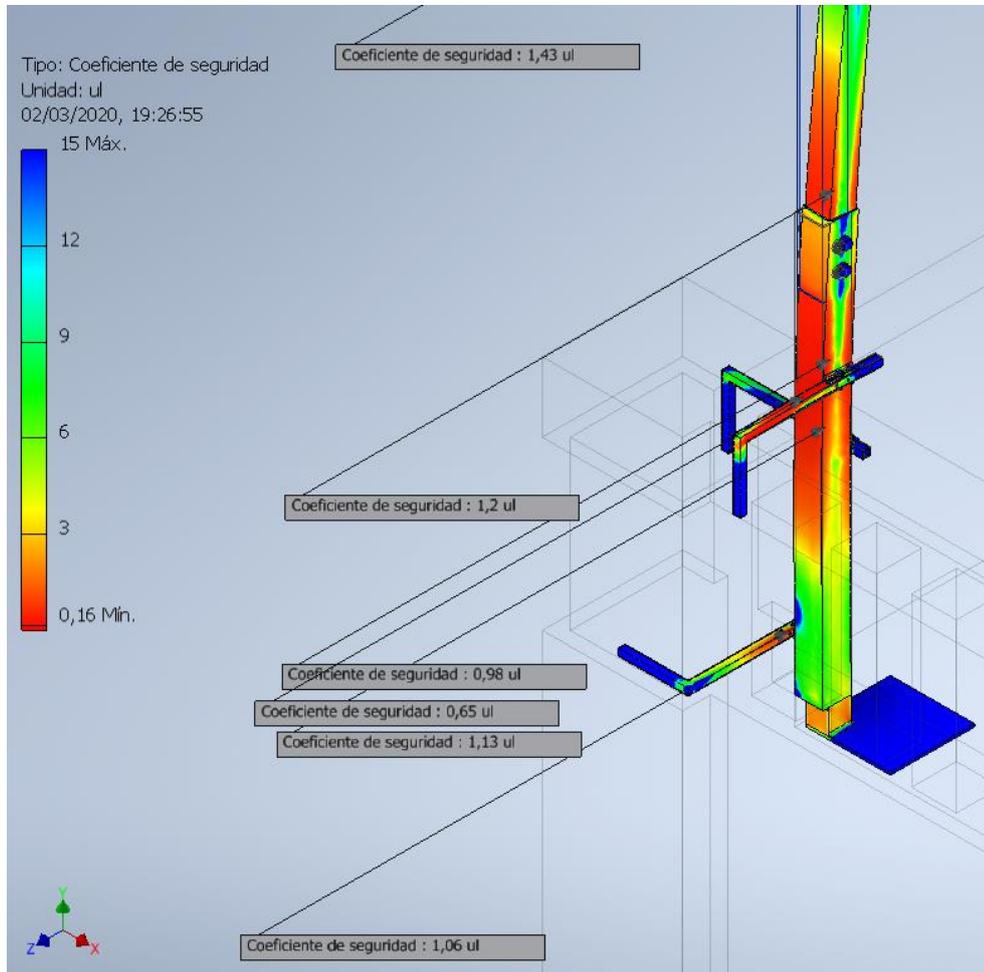


Figura 4.10 Coeficiente de seguridad. Sondeo de varios puntos en el segundo diseño acero inox.

Como posible solución se ha propuesto que los brazos, que son el punto más débil (Figura 4.10), sean totalmente macizos y no perfiles huecos. Con esto se ha realizado de nuevo la simulación variando los materiales. Esta vez el diseño sí que aguanta los esfuerzos del viento, aunque se queda lejos de la resistencia del primer diseño. En la primera tabla (Tabla 4.11) se pueden ver los resultados de la simulación para el diseño original. En la segunda (Tabla 4.12), se muestran los resultados obtenidos con el brazo macizo a partir de los puntos sondados en las siguientes imágenes.

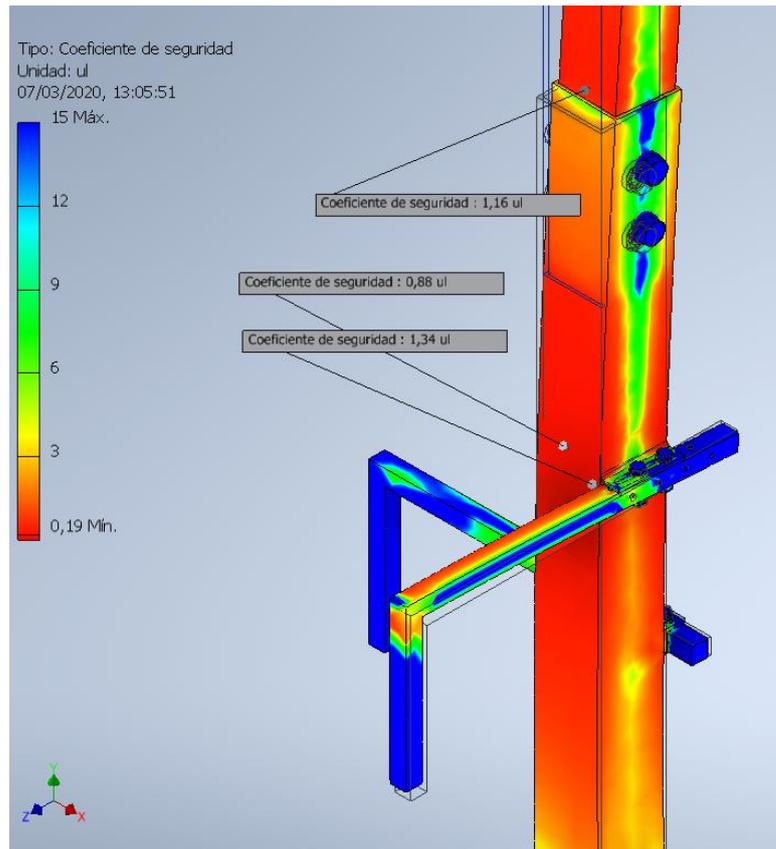


Figura 4.11 Detalle coeficiente de seguridad. Segundo diseño en acero S275JR.

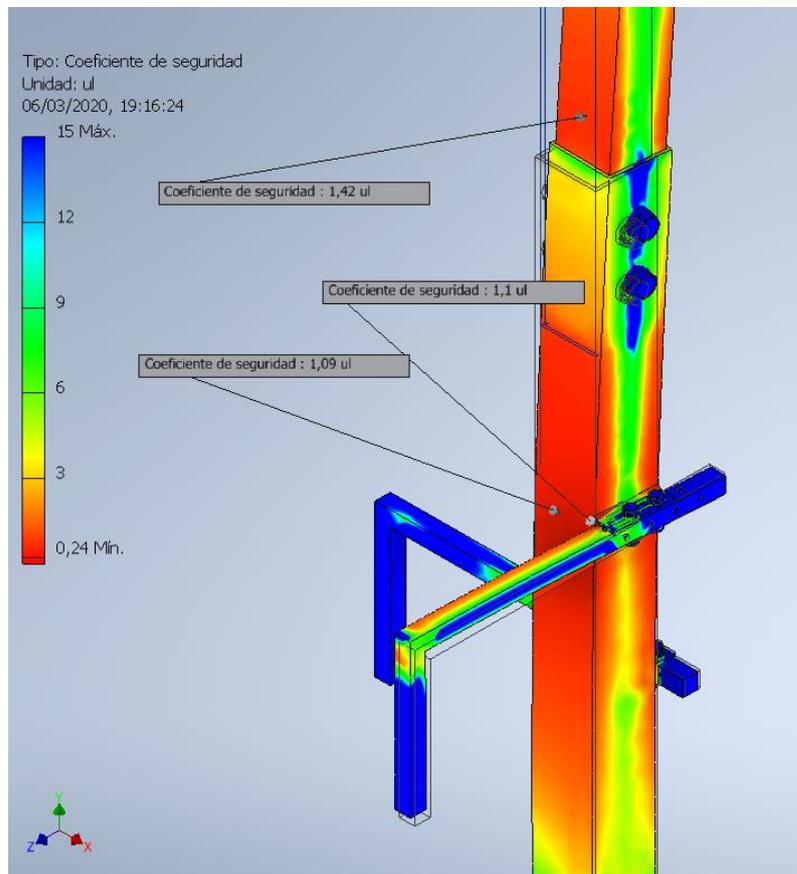


Figura 4.12 Detalle coeficiente de seguridad. Segundo diseño en acero inox.

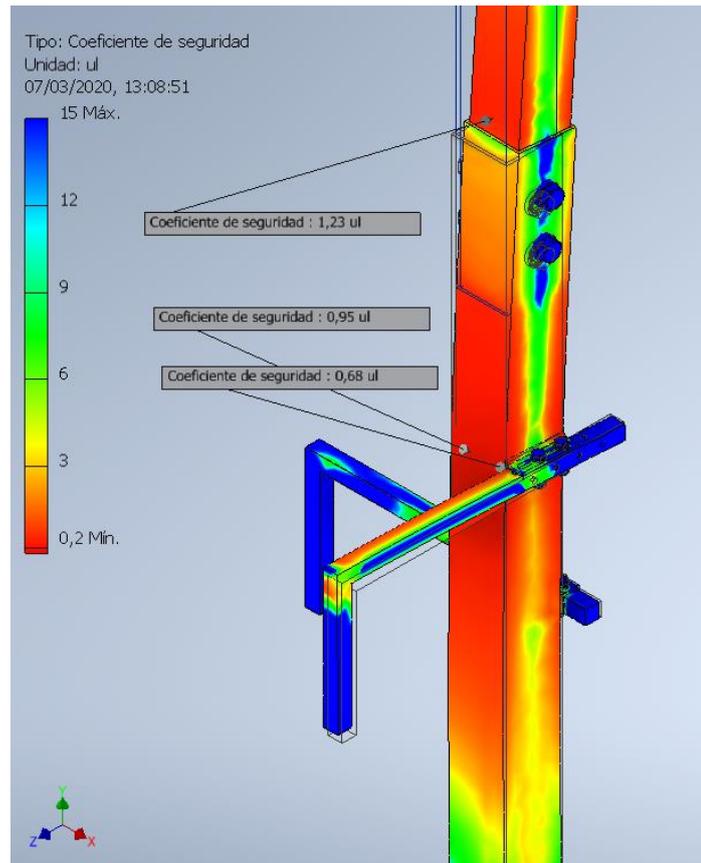


Figura 4.13 Detalle coeficiente de seguridad. Segundo diseño en aluminio.

<u>Nombre</u>	<u>Tensión de Von Mises</u>	<u>Coeficiente de Seguridad</u>
Acero ASTM A36	1752 MPa	0,64
Acero inoxidable AISI 316L	1758 MPa	0,65
Aluminio	1735 MPa	0,61

Tabla 4.11 Solicitaciones máximas del segundo diseño original

<u>Nombre</u>	<u>Tensión de Von Mises</u>	<u>Coeficiente de Seguridad</u>
Acero ASTM A36	282 MPa	0,88
Acero inoxidable AISI 316L	285 MPa	1,09
Aluminio	403 MPa	0,68

Tabla 4.12 Solicitaciones máximas del segundo diseño con brazos macizos

Debido a que los resultados de la simulación del segundo diseño original no proporcionan la suficiente confianza y fiabilidad, se ha realizado una nueva simulación. Esta vez, en vez de alterar el diseño, se ha cambiado la máxima racha de viento a la sufrida en los últimos 12 meses: 70 km/h [28]. Esto implica una reducción drástica de la fuerza de arrastre porque el término de la velocidad está

elevado al cuadrado. A continuación, se muestran las resultantes de las diferentes fuerzas producidas por el viento para esta nueva simulación.

<u>Nombre de la pieza</u>	<u>C_D</u>	<u>Re</u>	<u>F_a</u>
Barra superior	2,1	$5,81 \cdot 10^6$	6,431 kN
Barra inferior	2,1	$6,45 \cdot 10^6$	7,146 kN
Plataforma a 90°	2,0	$2,58 \cdot 10^5$	$5,444 \cdot 10^{-2}$ kN

Tabla 4.13 Fuerza de arrastre a 70 km/h. Segundo diseño.

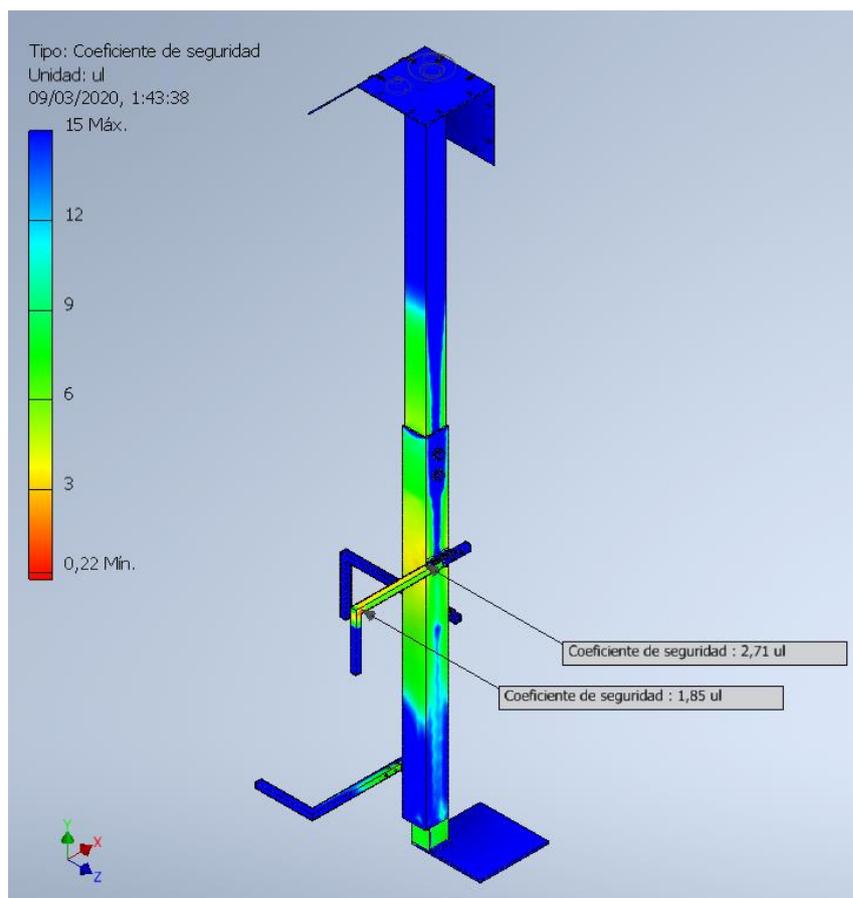


Figura 4.14 Coeficiente de seguridad segundo diseño a 70 km/h con acero inox.

Comparando la Figura 4.14 y la Figura 4.10, se puede observar que hay una gran mejoría en los resultados; obteniendo coeficientes de seguridad incluso mayores que el primer diseño a 115 km/h. Esto sirve de ejemplo para demostrar cómo la velocidad del viento afecta exponencialmente a los esfuerzos sufridos. Sondando las partes más débiles se obtienen los siguientes resultados.

<u>Nombre</u>	<u>Tensión de Von Mises</u>	<u>Coefficiente de Seguridad</u>
Acero ASTM A36	150 MPa	1,65
Acero inoxidable AISI 316L	171 MPa	1,85
Aluminio	159 MPa	1,72

Tabla 4.14 Solicitaciones máximas del segundo diseño con un viento de 70km/h

Como ya se ha comentado para el primer caso, en algo tan crítico como los equipos de medición de la radiación solar, es importante que estén bien nivelados; es decir, que las deformaciones y desplazamientos sean tan pequeños como para que no deriven en un posible error de medición durante un periodo de tiempo o, incluso, que se desajuste el sensor respecto a su posición inicial indefinidamente. A continuación, se muestra una tabla de las deformaciones máximas que se alcanzan en los diferentes casos estudiados en este segundo diseño.

<u><i>Materiales</i></u>	<u><i>Segundo diseño</i></u>	<u><i>Segundo diseño con brazos macizo</i></u>	<u><i>Segundo diseño original (viento a 70 km/h)</i></u>
Acero ASTM A36	45,5 mm	44,6 mm	16,8 mm
Acero inoxidable AISI 316L	45,4 mm	44,6 mm	16,8 mm
Aluminio	131,9 mm	129,6 mm	48,8 mm

Tabla 4.15 Deformaciones máximas

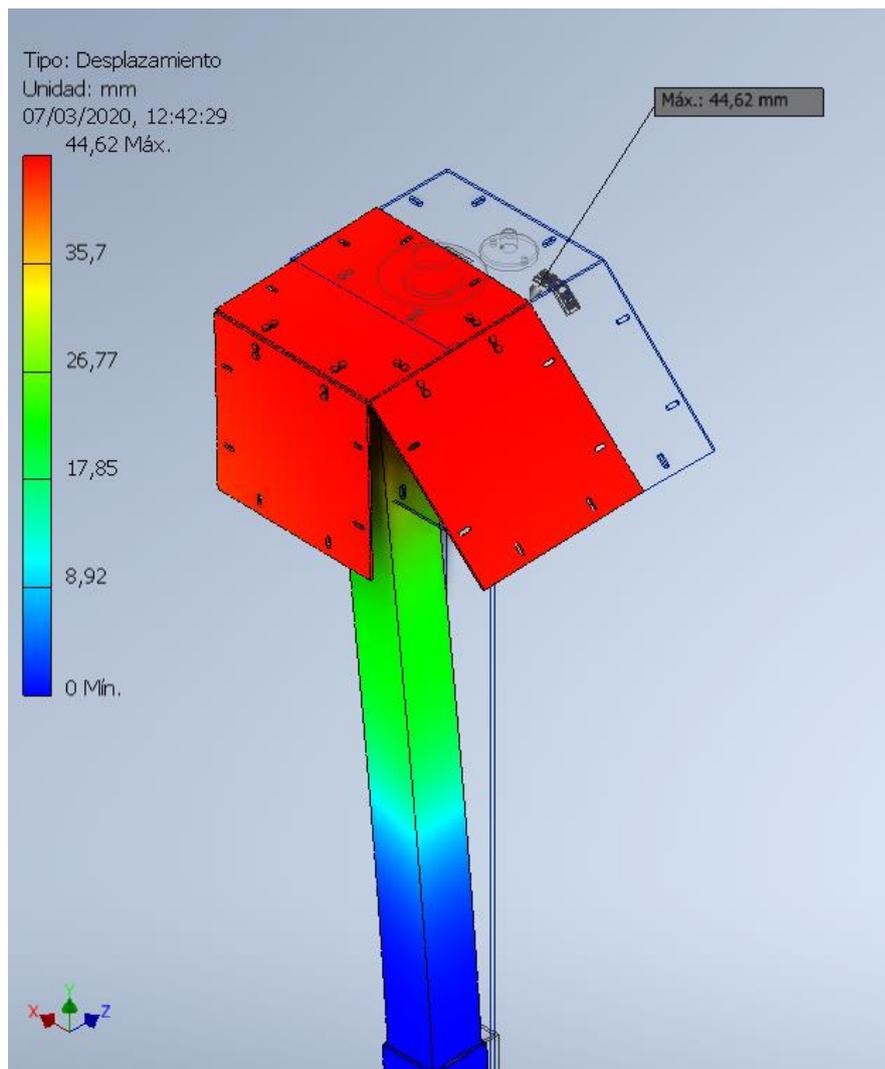


Figura 4.15 Deformación de la plataforma. Segundo diseño con brazo macizo en acero inox.

4.3 Presupuestos solicitados

Se ha solicitado a TALLERES METACA S.L la realización de un presupuesto basado en el segundo diseño y han ofrecido dos. El primero de ellos hecho mediante acero S275JR y el segundo mediante acero inox. 316L. No se ha conseguido realizar el presupuesto en aluminio, pero esto no es grave ya que se había descartado su uso en el proyecto.

El primer presupuesto: **SOPORTE TELESCÓPICO SENSORES RADIACIÓN** *Fabricación en taller y suministro en obra de estructura telescópica, realizada mediante perfilería tubular estructural en **acero carbono S275JR**. Incluye chapas, ángulos, orejetas, taladros, mecanizados, corte, soldadura, repasado y tratamiento de lacado al horno. Según indicaciones planos. monta un total de 560€ (quinientos sesenta euros).*

El segundo: **SOPORTE TELESCÓPICO SENSORES RADIACIÓN** *Fabricación en taller y suministro en obra de estructura telescópica, realizada mediante perfilería tubular estructural en **acero inox AISI 316L**. Incluye chapas, ángulos, orejetas, taladros, mecanizados, corte, soldadura, repasado y tratamiento de lacado al horno. Según indicaciones planos. monta hasta un total de 810€ (ochocientos diez euros).*

5 CONCLUSIONES

5.1 Conclusión tras resultados

Los resultados obtenidos demuestran que la estructura diseñada con brazos en forma de gancho resiste menos que el primer diseño propuesto. Sin embargo, el primer diseño se ha descartado por su complejidad y costo. El segundo diseño es más sencillo y facilita la operatividad que se hablaba en *Requerimientos, especificaciones y condiciones de diseño*.

Según los resultados obtenidos, según qué materiales, el acero inoxidable 316L es el que ha ofrecido mayor resistencia mecánica en contraposición al aluminio. El acero rico en carbono S275JR (ASTM A36) está en el término medio; y, aunque en resistencia está mucho más cerca de su análogo inoxidable y es más barato, se descarta por el simple hecho de no podrá de soportar a los agentes corrosivos propios de su ubicación. Esto podría solventarse con un tratamiento superficial, pero incrementaría el costo final del material; además, el acero inoxidable ya le supera en resistencia.

Finalmente, se ha decidido optar por el segundo diseño con brazos macizos hecho en acero inox. 316L. Si bien es cierto que este diseño no nos aporta la mayor resistencia, sí que tiene una gran ventaja en su montaje, transporte, instalación y, sobre todo, en su fabricación y costo.

En los manuales de instrucciones de cada sensor se indica cómo realizar el mantenimiento de los mismos. Como ya se ha comentado, a la mayoría hay que realizar una limpieza mensual. En estas ocasiones se debe aprovechar para comprobar que los sensores estén bien nivelados y que la estructura no se haya movido; más aún si ha habido temporal en el último mes.

5.2 Líneas futuras

Se ha obviado en la realización de este trabajo el registro de datos de los sensores. Se deberá de escoger el aparato más adecuado para realizar esta función y estudiar la ubicación de la instalación ya que tendrá que estar a menos de 5 metros de los sensores (la longitud de cable predeterminada [2]) o realizar un pedido especial para que se haga un cable más largo. Se tendrá que considerar además la toma de corriente.

En este proyecto tan sólo se ha ofrecido la posibilidad de variar en orientación y altura los sensores; sin embargo, no se ha estudiado cuál sería la posición óptima de los mismos para que no se interfieran entre ellos y tomen la mayor cantidad y mejor calidad de los datos. Para ello se debería de hacer un estudio más detallado de sombras durante todo el año que permita al ingeniero saber en qué orientación y posición colocar los tres sensores.

En este trabajo se ha partido con la condición inicial de que la estructura debe de estar ubicada en el Torreón del edificio del CUD. Se ha calculado que esta no es la posición más óptima para la obtención

de datos debido a las sombras creadas por la Torre del Gallardete. Se debe de estudiar si en esta propia torre se puede colocar la estación de medición de UV ya que aquí no habría problemas con las sombras por ser esta torre la más alta de la ENM.

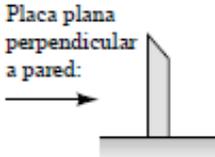
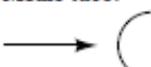
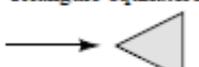
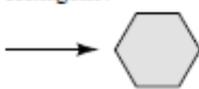
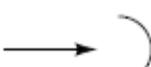
6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Naciones Unidas, «Organización de Naciones Unidas. Eventos,» ONU, 22 03 1985. [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/events/ozoneday/background.shtml>. [Último acceso: 08 03 2020].
- [2] ZIPP & ZONEN, *Smart UV Sensor*, Delft, 2018.
- [3] SENSOVANT, *SR11. First class pyranometer*.
- [4] Real Academia de Ingeniería, «Diccionario Español de Ingeniería,» RAI, [En línea]. Available: <http://diccionario.raing.es/home>. [Último acceso: 22 febrero 2020].
- [5] EKO INSTRUMENTS CO, *Small Sensor instruction manual. ML-020P, ML-020-O, ML-020S-I*, 2018.
- [6] Real Academia Española, «Diccionario de la Real Academia Española,» Real Academia Española, [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/>. [Último acceso: 22 febrero 2020].
- [7] A. D. Urcelay, *Estimación del potencial fotovoltaico integrado en edificios en las instalaciones de la Escuela Naval Militar.*, Marín, Pontevedra, 2016.
- [8] A. V. Vegas, *Estudio del potencial de aprovechamiento de la energía solar para usos térmicos en las instalaciones de la Escuela Naval Militar.*, Marín, Pontevedra, 2016.
- [9] P. U. Brotóns, «Generalidades sobre la Construcción en Acero,» de *Construcción de Estructuras Metálicas*, Alicante, Editorial Club Universitario, 2015, pp. 9-56.
- [10] H. D. Young y R. A. Freedman, «Ondas electromagnéticas,» de *Física Universitaria*, México, PEARSON EDUCACIÓN, 2009, pp. 1092-1096.
- [11] H. D. Young y F. R. A., «Física Nuclear,» de *Física Universitaria*, México, PEARSON EDUCACIÓN, 2009, pp. 1492-1501.
- [12] H. D. Young y F. R. A., «Fotones electrones y átomos,» de *Física Universitaria*, México, PEARSON EDUCACIÓN, 2009, pp. 1034-1039.
- [13] P. Gómez Pérez, Marín, Pontevedra: CUD. Uvigo, 2019.
- [14] D. Y. Ayer, *Skin Ageing*, Manchester: DermNet NZ, 2018.

- [15] G. FR., v. K. HJ. y M. LH., «UV-induced DNA damage, repair, mutations and oncogenic pathways in skin cancer.» *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology.*, vol. III, nº 63, pp. 19-27, 2001.
- [16] World Health Organization, *Global Solar UV Index: A practical guide*, Ginebra: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2002.
- [17] National Institutes of Health, «Vitamin D. Fact sheet for Health professionals,» 2019.
- [18] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, «Introducción al diseño en ingeniería mecánica,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Novena ed., México, McGRAW-HILL, 2012, pp. 3-20.
- [19] R. G. Budynas, «Análisis de elementos finitos,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México, McGRAW-HILL, 2012, pp. 919-936.
- [20] F. M. White, «Flujo Potencial y Mecánica de fluidos Computacional,» de *Mecánica de Fluidos*, Madrid, McGRAW-HILL, 2008, pp. 521-529.
- [21] Y. A. Çengel y J. M. Cimbala, «Introducción a la Dinámica de Fluidos Computacional,» de *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y aplicaciones*, México, McGRAW-HILL, 2006, pp. 818-830.
- [22] C. M. Curbera y C. M. Jiménez, «Órbita aparente del Sol,» de *Astronomía y Navegación*, Vigo, 1970, pp. 139-145.
- [23] C. M. Cubrera y C. M. Jiménez, *Astronomía y Navegación*, Vigo: Ministerio de Defensa, 1970.
- [24] Instituto Hidrográfico de la Marina, *Almanaque Náutico*, Cádiz: Ministerio de Defensa, 2020.
- [25] F. M. White, «Flujo alrededor de cuerpo,» de *Mecánica de Fluidos*, Madrid, McGRAW-HILL, 2008, pp. 474-500.
- [26] W. Frank M., *Mecánica de Fluidos*, Madrid: McGRAW-HILL, 2008.
- [27] AEMET, «Valores extremos. Pontevedra,» Pontevedra, 1987.
- [28] AEMET, «Valores extremos en último doce meses. Pontevedra,» Pontevedra, 2019.
- [29] R. A. Freedman y H. D. Young, *Física Universitaria*, México: Pearson Educación, 2009.
- [30] Cancer Counsil Australia, «Position statement - Risks and benefits of sun exposure,» Enero, 2016.

7 ANEXOS

ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS Y COEFICIENTES DE RESISTENCIA

Forma	C _D basado en el área frontal	Forma	C _D basado en el área frontal	Forma	C _D basado en el área frontal
Cilindro cuadrado: 	2,1	Medio cilindro: 	1,2	Placa: 	2,0
	1,6		1,7	Placa plana perpendicular a pared: 	1,4
Medio tubo: 	1,2	Triángulo equilátero: 	1,6	Hexágono: 	1,0
	2,3		2,0		0,7

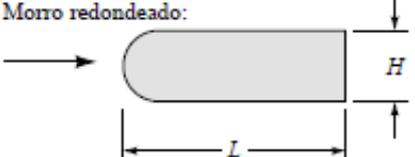
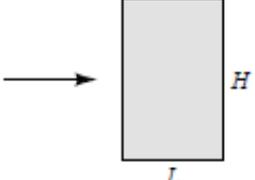
Forma	C _D basado en el área frontal								
Morro redondeado: 	L/H:	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0			
	C _D :	1,16	0,90	0,70	0,68	0,64			
Morro plano: 	L/H:	0,1	0,4	0,7	1,2	2,0	2,5	3,0	6,0
	C _D :	1,9	2,3	2,7	2,1	1,8	1,4	1,3	0,9
Cilindro elíptico: 1:1 	<u>Laminar</u>		<u>Turbulento</u>						
	1,2		0,3						
2:1 	0,6		0,2						
4:1 	0,35		0,15						
8:1 	0,25		0,1						

Tabla A Coeficientes de Resistencia

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N} \cdot \text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ\text{F}$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, \text{lb} \cdot \text{s/ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
-40	1,52	$1,51 \times 10^{-5}$	$0,99 \times 10^{-5}$	-40	$2,94 \times 10^{-3}$	$3,16 \times 10^{-7}$	$1,07 \times 10^{-4}$
0	1,29	$1,71 \times 10^{-5}$	$1,33 \times 10^{-5}$	32	$2,51 \times 10^{-3}$	$3,58 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-4}$
20	1,20	$1,80 \times 10^{-5}$	$1,50 \times 10^{-5}$	68	$2,34 \times 10^{-3}$	$3,76 \times 10^{-7}$	$1,61 \times 10^{-4}$
50	1,09	$1,95 \times 10^{-5}$	$1,79 \times 10^{-5}$	122	$2,12 \times 10^{-3}$	$4,08 \times 10^{-7}$	$1,93 \times 10^{-4}$
100	0,946	$2,17 \times 10^{-5}$	$2,30 \times 10^{-5}$	212	$1,84 \times 10^{-3}$	$4,54 \times 10^{-7}$	$2,47 \times 10^{-4}$
150	0,835	$2,38 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	302	$1,62 \times 10^{-3}$	$4,97 \times 10^{-7}$	$3,07 \times 10^{-4}$
200	0,746	$2,57 \times 10^{-5}$	$3,45 \times 10^{-5}$	392	$1,45 \times 10^{-3}$	$5,37 \times 10^{-7}$	$3,71 \times 10^{-4}$
250	0,675	$2,75 \times 10^{-5}$	$4,08 \times 10^{-5}$	482	$1,31 \times 10^{-3}$	$5,75 \times 10^{-7}$	$4,39 \times 10^{-4}$
300	0,616	$2,93 \times 10^{-5}$	$4,75 \times 10^{-5}$	572	$1,20 \times 10^{-3}$	$6,11 \times 10^{-7}$	$5,12 \times 10^{-4}$
400	0,525	$3,25 \times 10^{-5}$	$6,20 \times 10^{-5}$	752	$1,02 \times 10^{-3}$	$6,79 \times 10^{-7}$	$6,67 \times 10^{-4}$
500	0,457	$3,55 \times 10^{-5}$	$7,77 \times 10^{-5}$	932	$0,89 \times 10^{-3}$	$7,41 \times 10^{-7}$	$8,37 \times 10^{-4}$

Tabla B Propiedades físicas del aire a 1 atm

ANEXO II: PRESUPUESTOS



Tlf 986890156
metaca@talleresmetaca.com
www.talleresmetaca.com
Pol. Industrial de Sequeiros, nave 9
36692 Curro Barro (Pontevedra)

• CALDERERÍA • TUBERÍA • ACERO INOXIDABLE

PRESUPUESTO

Presupuesto: 200156
S/Ref.:
Fecha: 14/02/2020

ESCUELA NAVAL MILITAR
Plaza de España, S/N
36900 Marín (Pontevedra)
986 804 857

Asunto: SOPORTE TELESCOPICO SENSORES RADIACIÓN

Estimados Sres.:

De acuerdo con su petición tenemos el agrado de ofrecerles nuestras mejores condiciones de precio y plazo de entrega, por los trabajos ó materiales que se detallan a continuación:

Código	Cantidad	Concepto	Precio Unitario	Importe
C01	1,00 Ud	SOPORTE TELESCOPICO SENSORES RADIACIÓN Fabricación en taller y suministro en obra de estructura telescópica, realizada mediante periferia tubular estructural en acero carbono S275JR. Incluye chapas, ángulos, orejetas, taladros, mecanizados, corte, soldadura, repasado y tratamiento de lacado al horno. Según indicaciones planos	560,00	560,00
TOTAL PRESUPUESTO				560,00€

IVA NO INCLUIDO

Plazo de validez : 30 Días
Plazo de entrega : Días
Forma de entrega :

Forma de pago : TRANSFERENCIA
Impuestos : Normal

En el supuesto de aceptar esta oferta, les agradecemos nos remitan la presente firmada y sellada.

TALLERES METACA S.L.
Fdo.: JOSE MANUEL PASTORIZA SANTIAGO

Aceptado por
ESCUELA NAVAL MILITAR

Envío por: Fax E-mail Teléfono Correo Personal

Fecha: ____/____/____ Pedido nº _____



Tlf 986890156
metaca@talleresmetaca.com
www.talleresmetaca.com
Pol. Industrial de Sequeiros, nave 9
36692 Curro Barro (Pontevedra)

CAI DEFERRIA • TUBERÍA • ACERO INOXIDABLE

PRESUPUESTO

Presupuesto: 200156
S/Ref.:
Fecha: 14/02/2020
Revisión: 02

ESCUELA NAVAL MILITAR
Plaza de España, S/N
36900 Marín (Pontevedra)
986 804 857

Asunto: SOPORTE TELESCOPICO SENSORES RADIACIÓN

Estimados Sres.:

De acuerdo con su petición tenemos el agrado de ofrecerles nuestras mejores condiciones de precio y plazo de entrega, por los trabajos ó materiales que se detallan a continuación:

Código	Cantidad	Concepto	Precio Unitario	Importe
C01	1,00 Ud	SOPORTE TELESCOPICO SENSORES RADIACIÓN Fabricación en taller y suministro en obra de estructura telescópica, realizada mediante perfilera tubular estructural en acero inox AISI 316L. Incluye chapas, ángulos, orejetas, taladros, mecanizados, corte, soldadura, repasado. Según indicaciones planos	810,00	810,00
TOTAL PRESUPUESTO.....				810,00€

IVA NO INCLUIDO

Plazo de validez : 30 Días
Plazo de entrega : Días
Forma de entrega :

Forma de pago : TRANSFERENCIA
Impuestos : Normal

En el supuesto de aceptar esta oferta, les agradecemos nos remitan la presente firmada y sellada.

TALLERES METACA S.L.
Fdo.: JOSE MANUEL PASTORIZA SANTIAGO
Envío por: Fax E-mail Teléfono Correo Personal.

Aceptado por
ESCUELA NAVAL MILITAR
Fecha: ____/____/____ Pedido nº _____

ANEXO III: INFORMES DE RESULTADOS SIMULACIÓN

7 INFORME DE ANÁLISIS DE TENSIÓN



Archivo analizado:	Ensamblaje del conjunto completo.iam
Versión de Autodesk Inventor:	2020 (Build 240168000, 168)
Fecha de creación:	08/03/2020, 11:55
Autor del estudio:	Guillermo Supervielle Bergés
Resumen:	Análisis de las tensiones y deformaciones en el primer diseño para un viento de 115km/h

7.1.1 Información de proyecto (iProperties)

7.1.1.1 Resumen

Título	
Autor	Guillermo

7.1.1.2 Propiedades físicas

Masa	18776,8 kg
Volumen	7,75593E+09 mm ³

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

7.2 Análisis estático: Aluminio

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	07/03/2020, 11:41
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Configuración de malla:

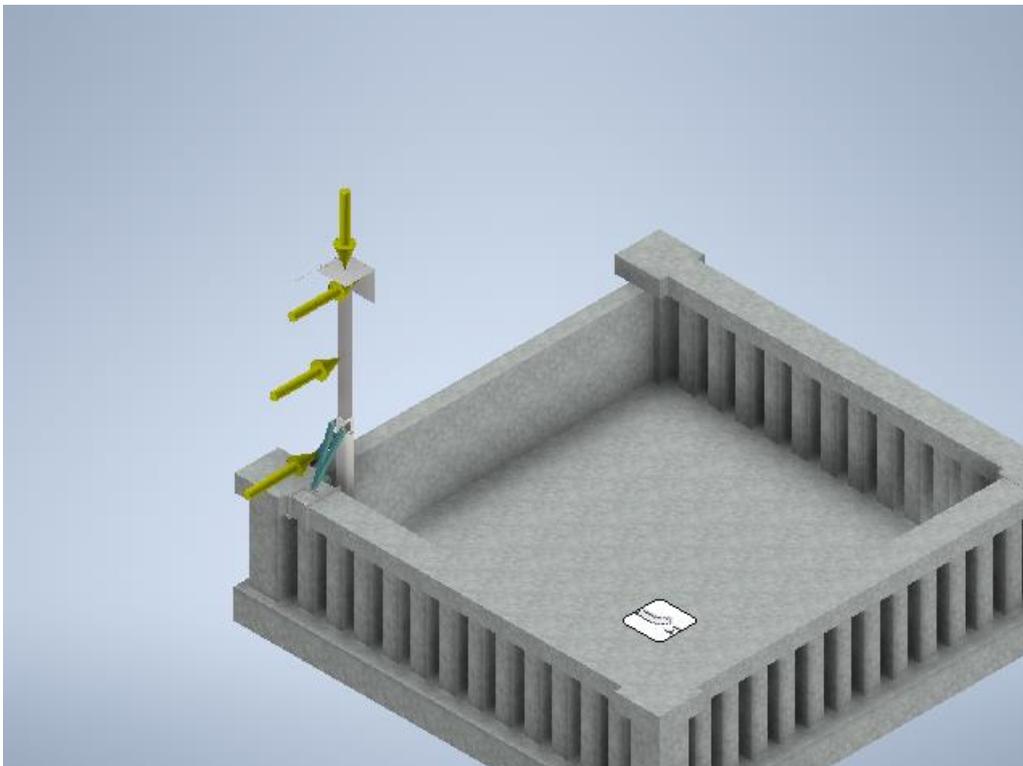
Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

7.2.1 Condiciones de funcionamiento

7.2.1.1 Gravedad

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810,000 mm/s ²
Vector X	0,000 mm/s ²
Vector Y	-9810,000 mm/s ²
Vector Z	0,000 mm/s ²

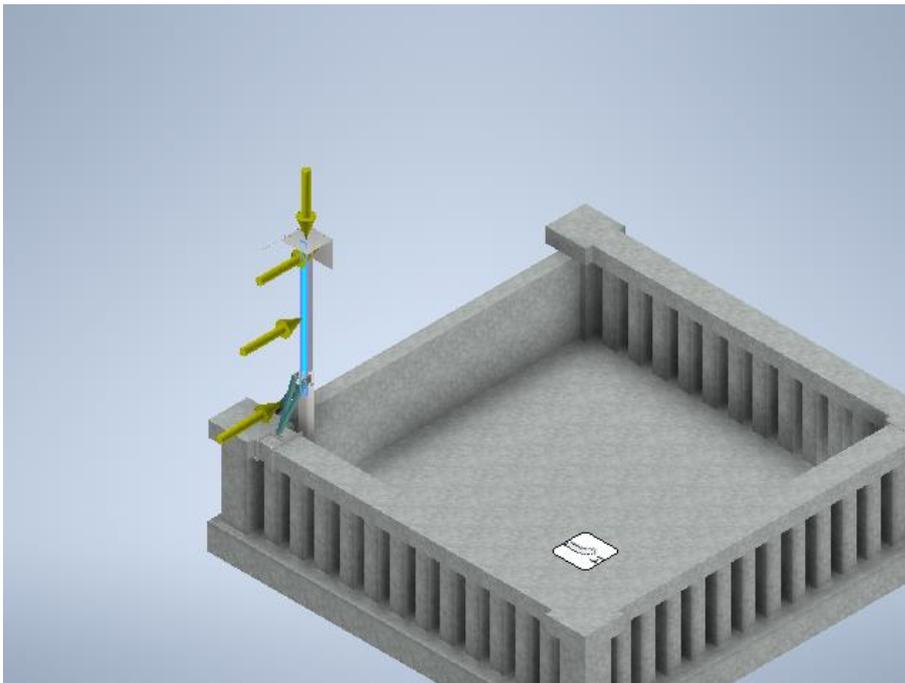
7.2.1.1.1 Cara(s) seleccionada(s)



7.2.1.2 Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	11600,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-11600,000 N

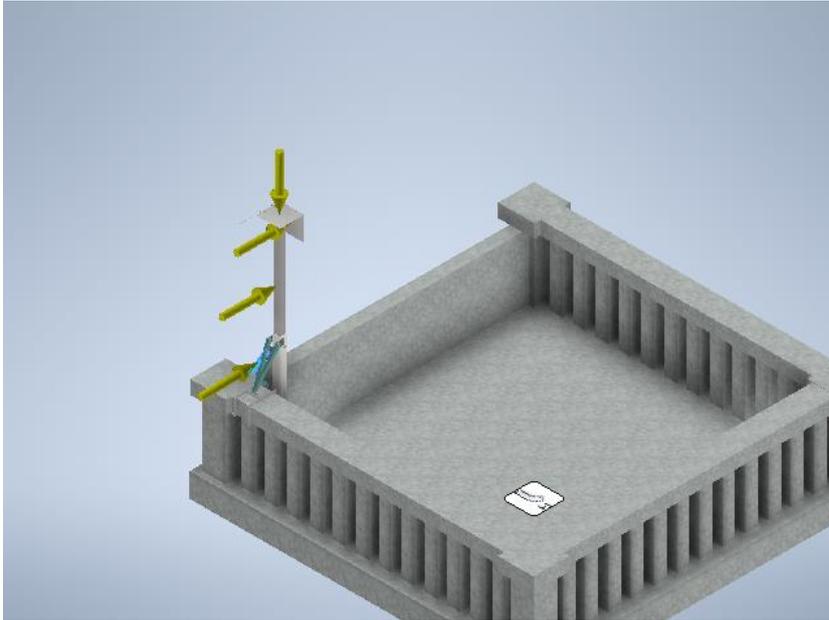
7.2.1.2.1 Cara(s) seleccionada(s)



7.2.1.3 Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2580,000 N
Vector X	163,508 N
Vector Y	255,329 N
Vector Z	-2562,123 N

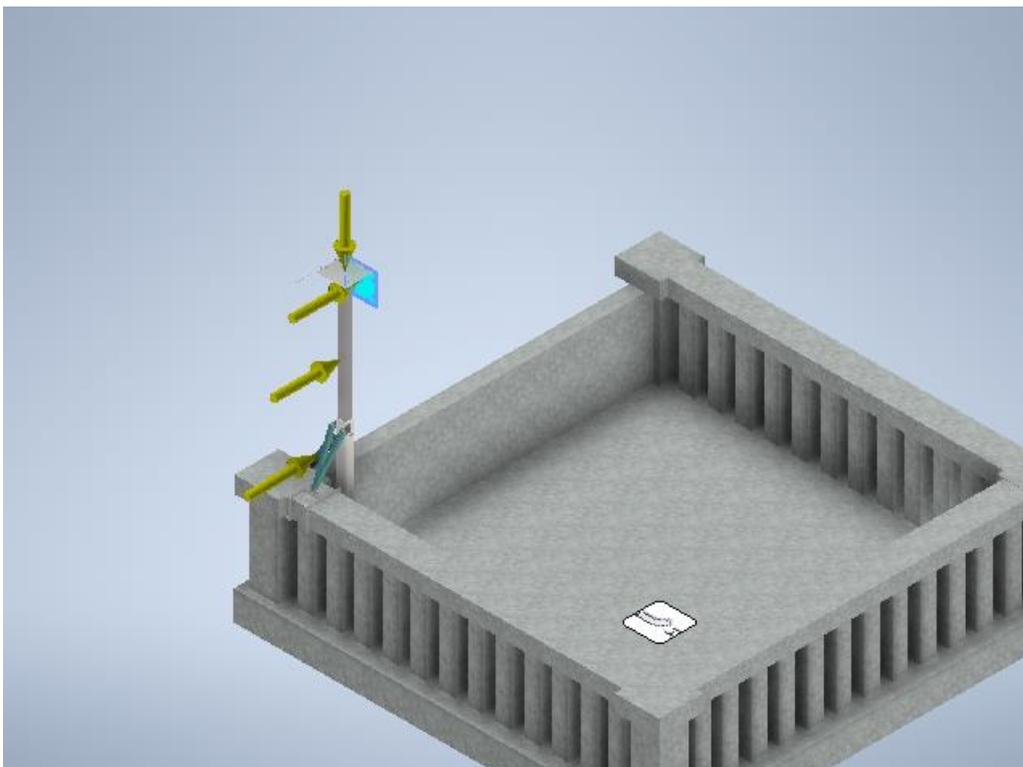
7.2.1.3.1 Cara(s) seleccionada(s)



7.2.1.4 Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	150,000 N
Vector X	-0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-150,000 N

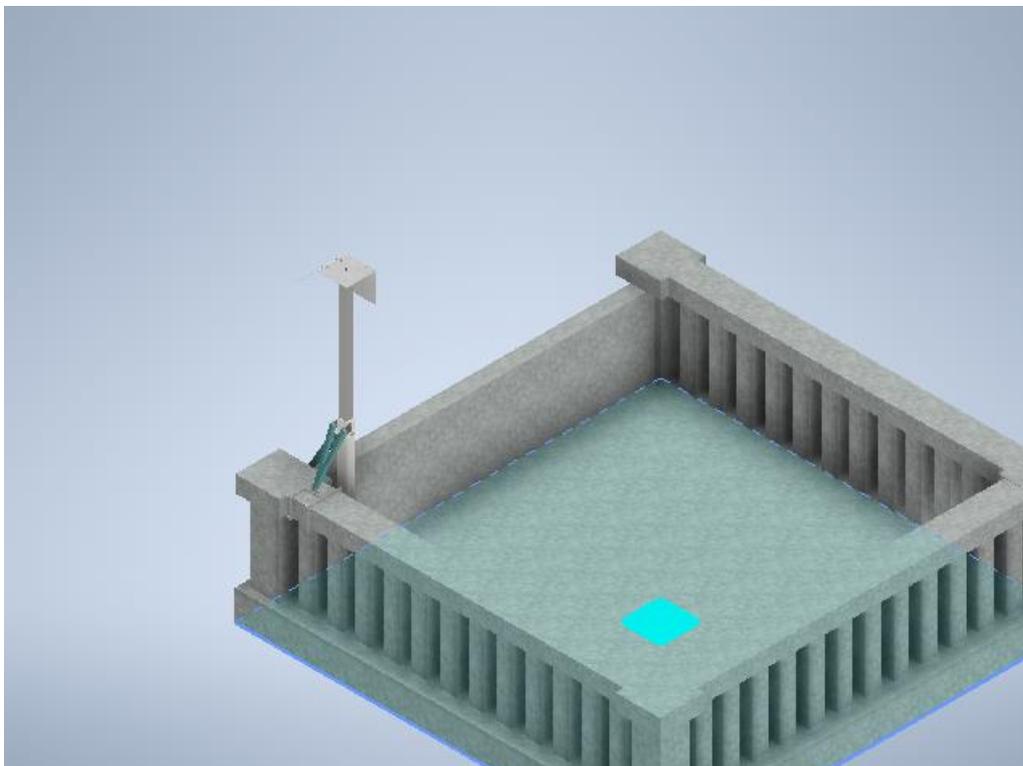
7.2.1.4.1 Cara(s) seleccionada(s)



7.2.1.5 Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

7.2.1.5.1 Cara(s) seleccionada(s)



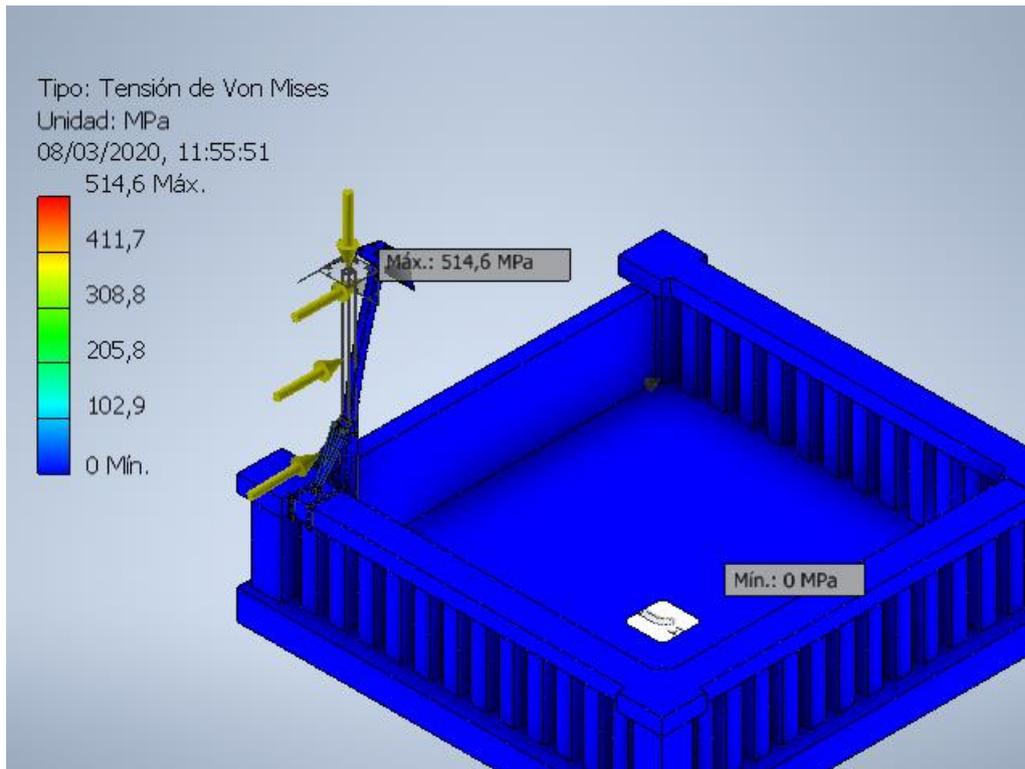
7.2.2 Resultados

7.2.2.1 Resumen de resultados

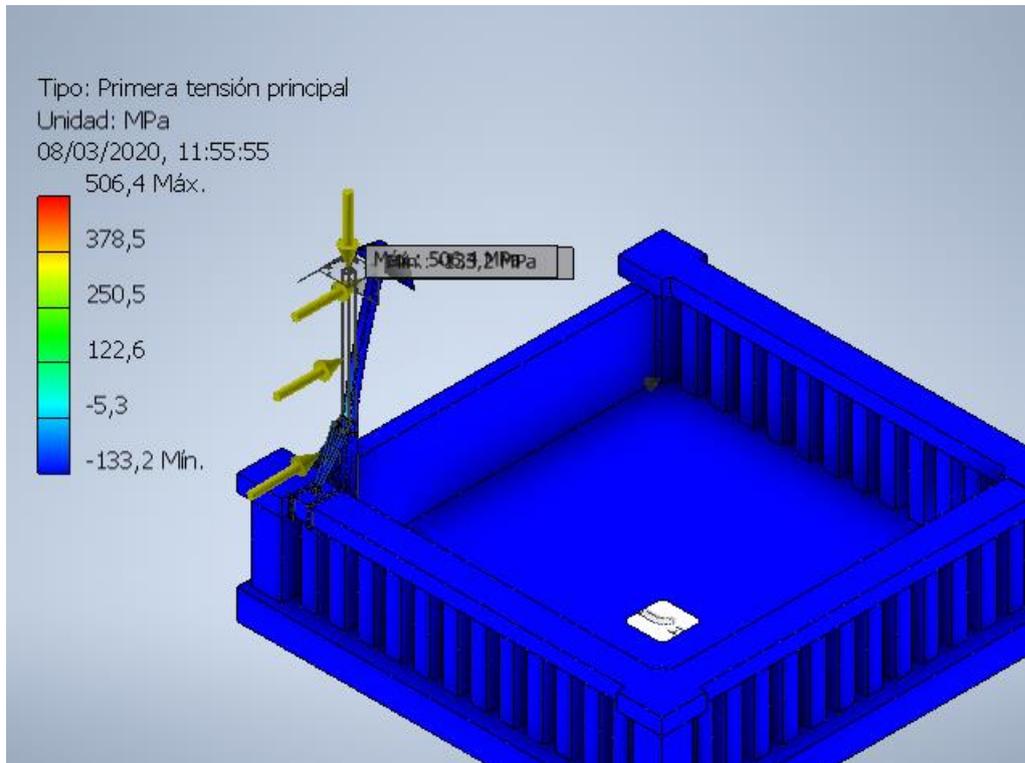
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	7,7554E+09 mm ³	
Masa	18676,1 kg	
Tensión de Von Mises	0,00000292709 MPa	514,62 MPa
Primera tensión principal	-133,2 MPa	506,376 MPa
Tercera tensión principal	-534,424 MPa	146,709 MPa
Desplazamiento	0 mm	30,6881 mm
Coefficiente de seguridad	0,387349 su	15 su

7.2.2.2 Figuras

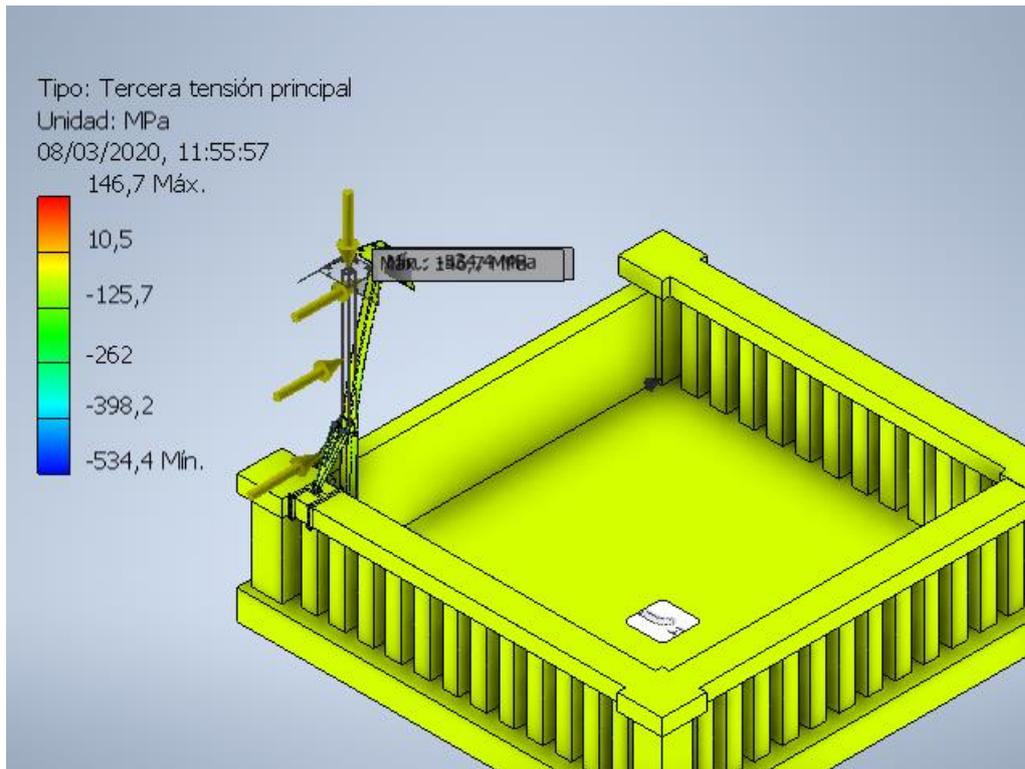
7.2.2.2.1 Tensión de Von Mises



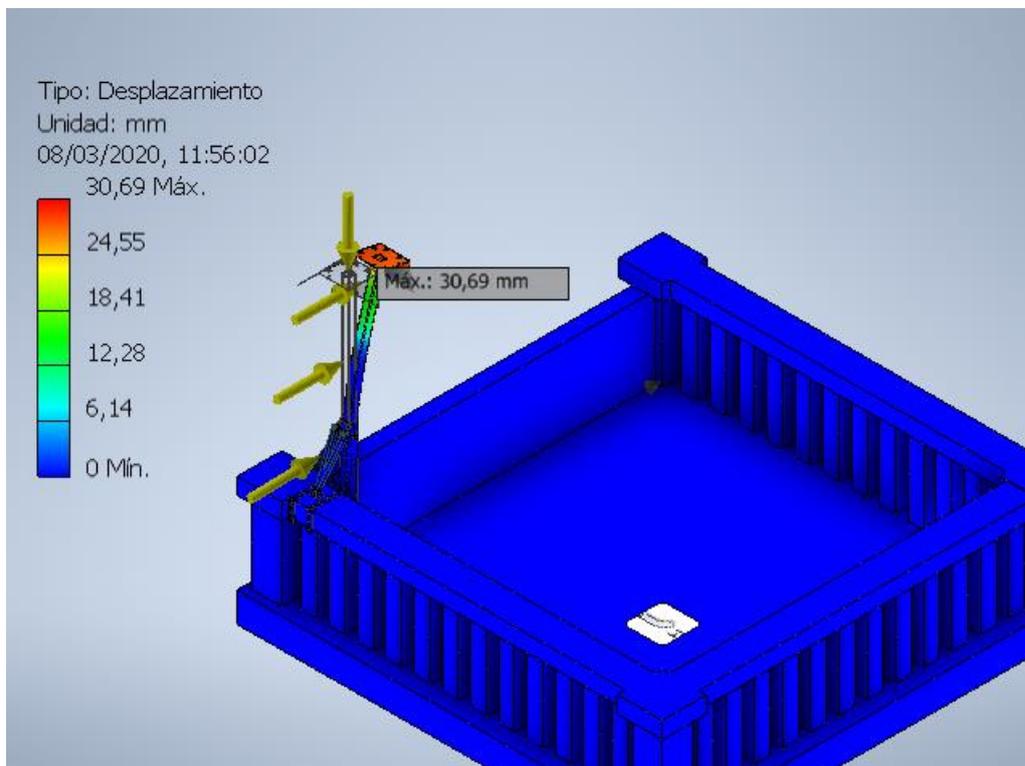
7.2.2.2.2 Primera tensión principal



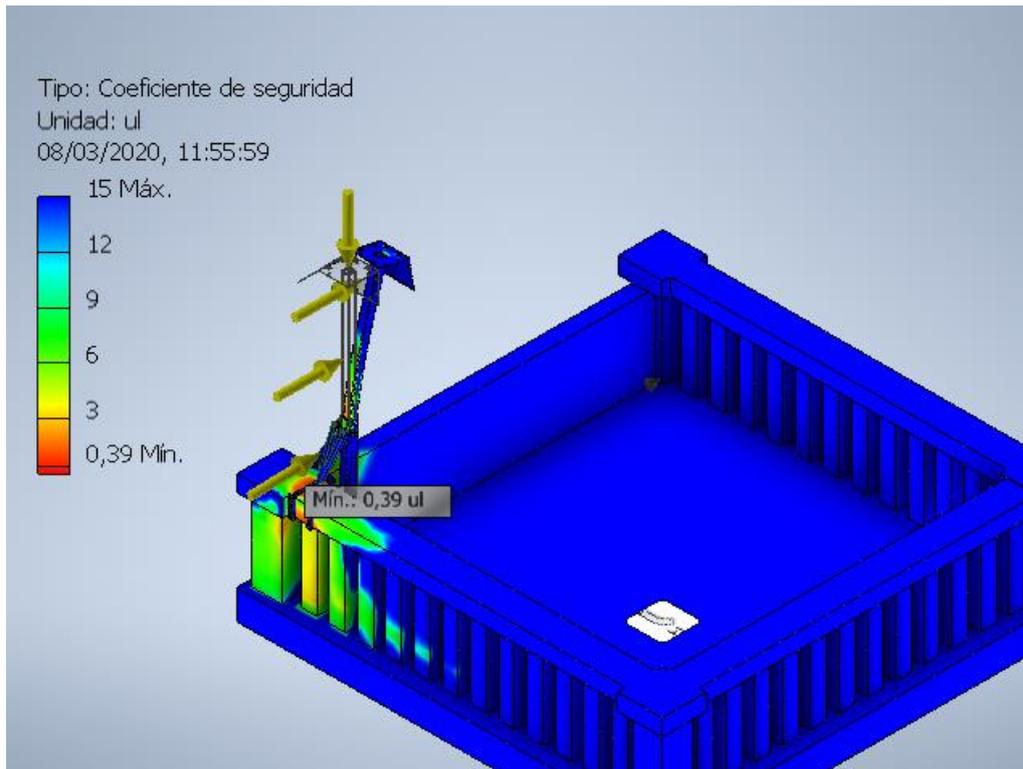
7.2.2.2.3 Tercera tensión principal



7.2.2.2.4 Desplazamiento



7.2.2.2.5 Coeficiente de seguridad



7.3 Análisis estático: Acero S275JR

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	02/03/2020, 17:24
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

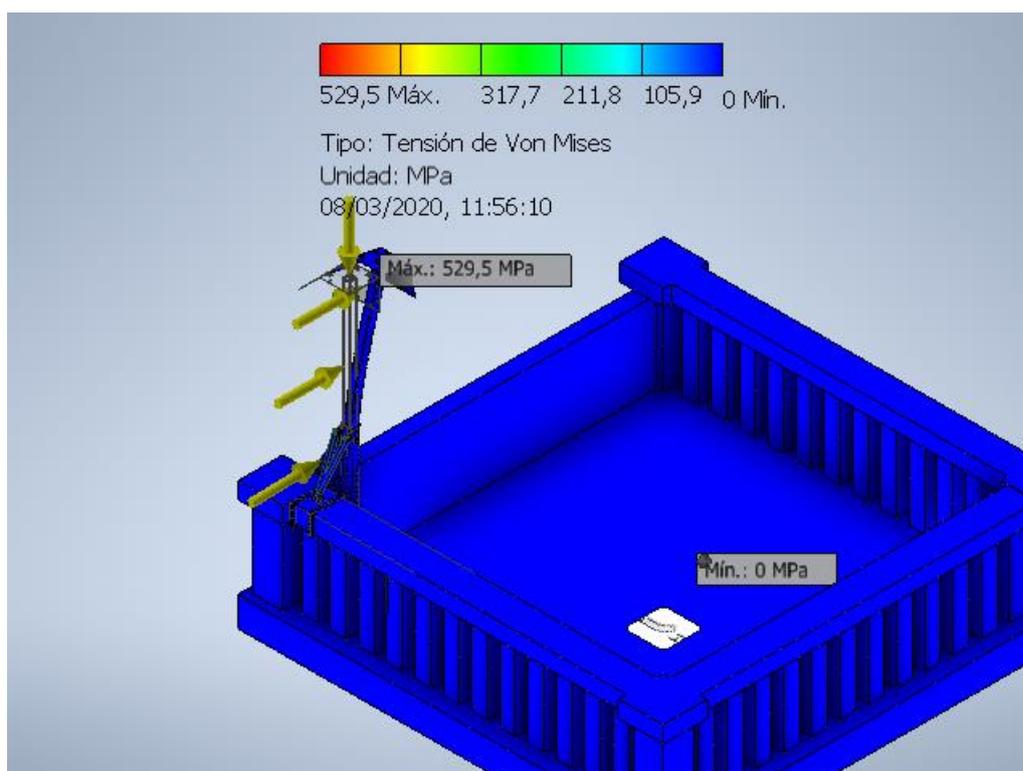
7.3.1 Resultados

7.3.1.1 Resumen de resultados

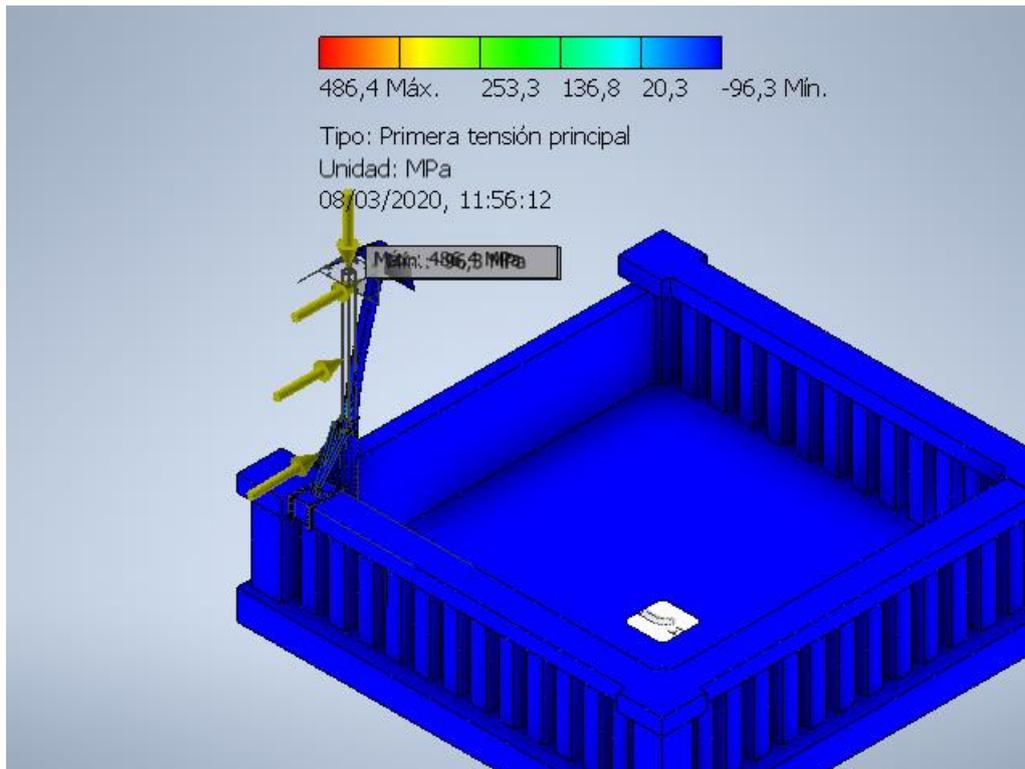
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	7,7554E+09 mm ³	
Masa	18789,1 kg	
Tensión de Von Mises	0,00000459834 MPa	529,508 MPa
Primera tensión principal	-96,2567 MPa	486,394 MPa
Tercera tensión principal	-506,376 MPa	113,81 MPa
Desplazamiento	0 mm	10,6603 mm
Coefficiente de seguridad	0,421267 su	15 su

7.3.1.2 Figuras

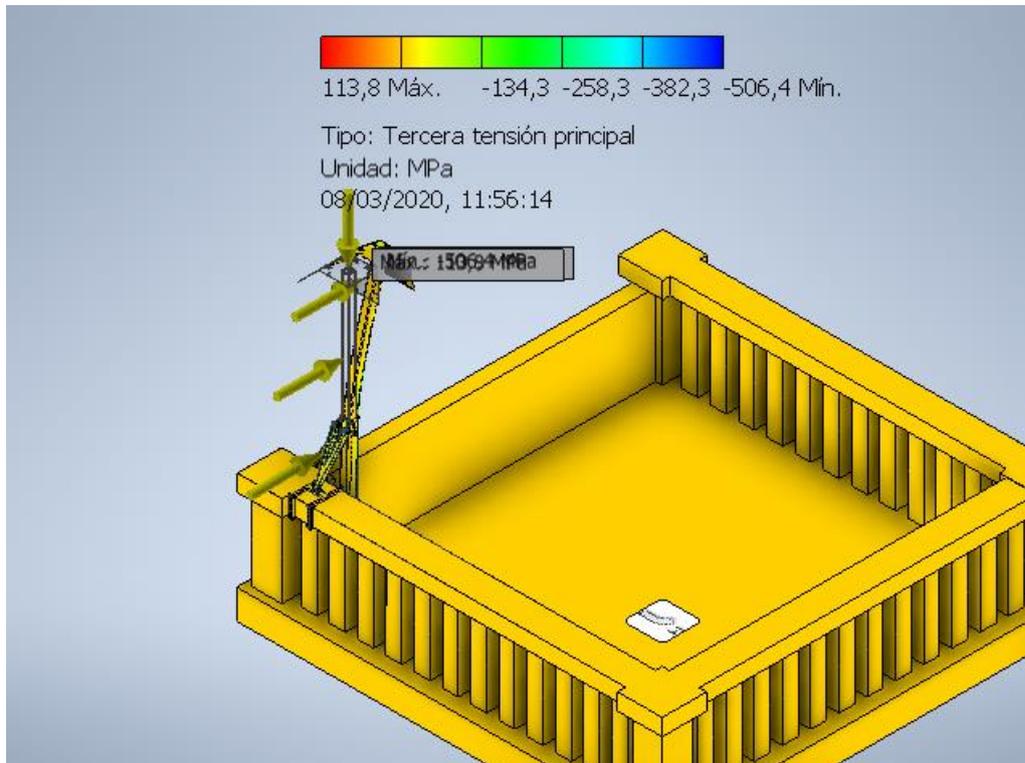
7.3.1.2.1 Tensión de Von Mises



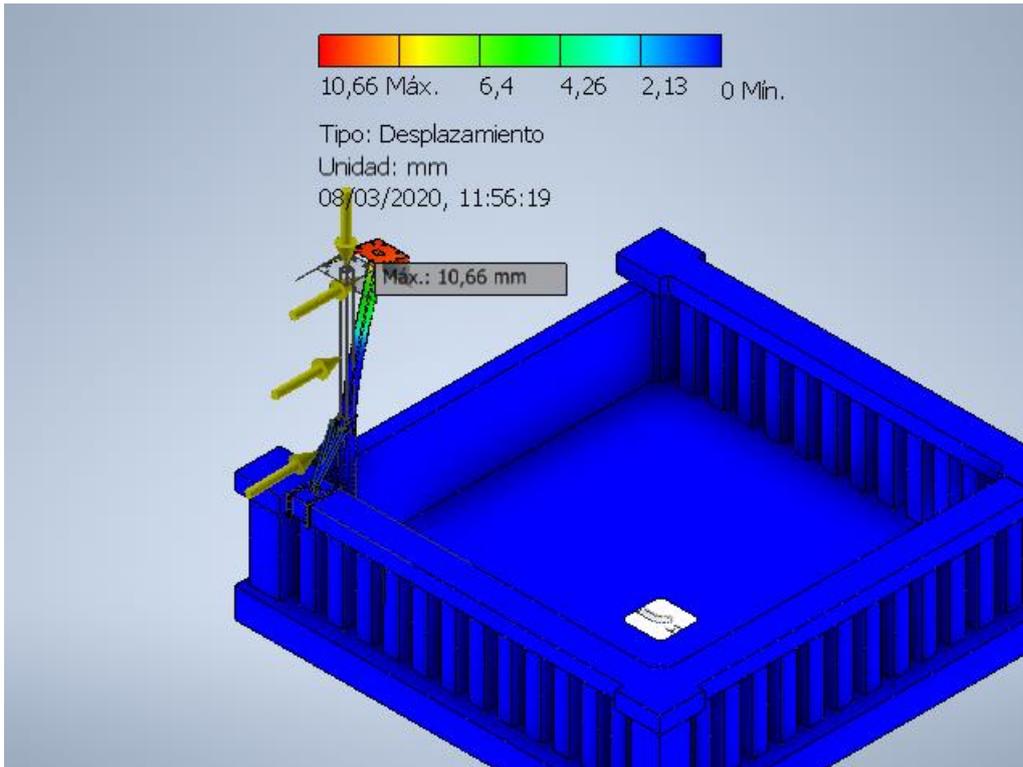
7.3.1.2.2 Primera tensión principal



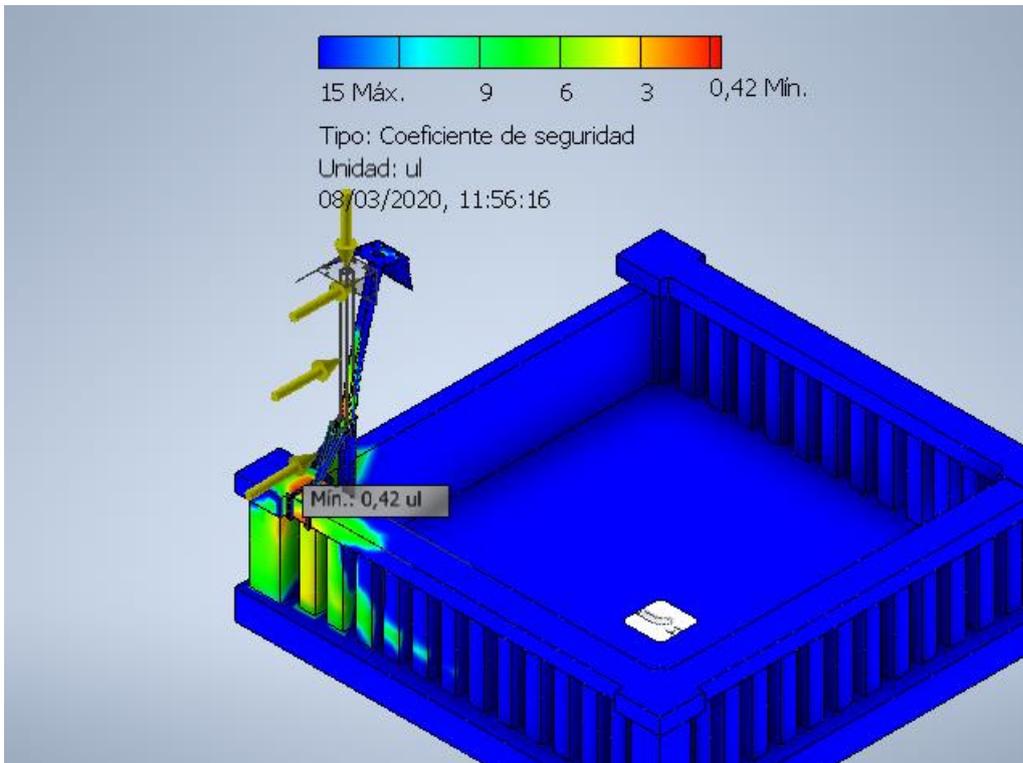
7.3.1.2.3 Tercera tensión principal



7.3.1.2.4 Desplazamiento



7.3.1.2.5 Coeficiente de seguridad



7.4 Análisis estático: Acero Inox 316L

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	02/03/2020, 17:34
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

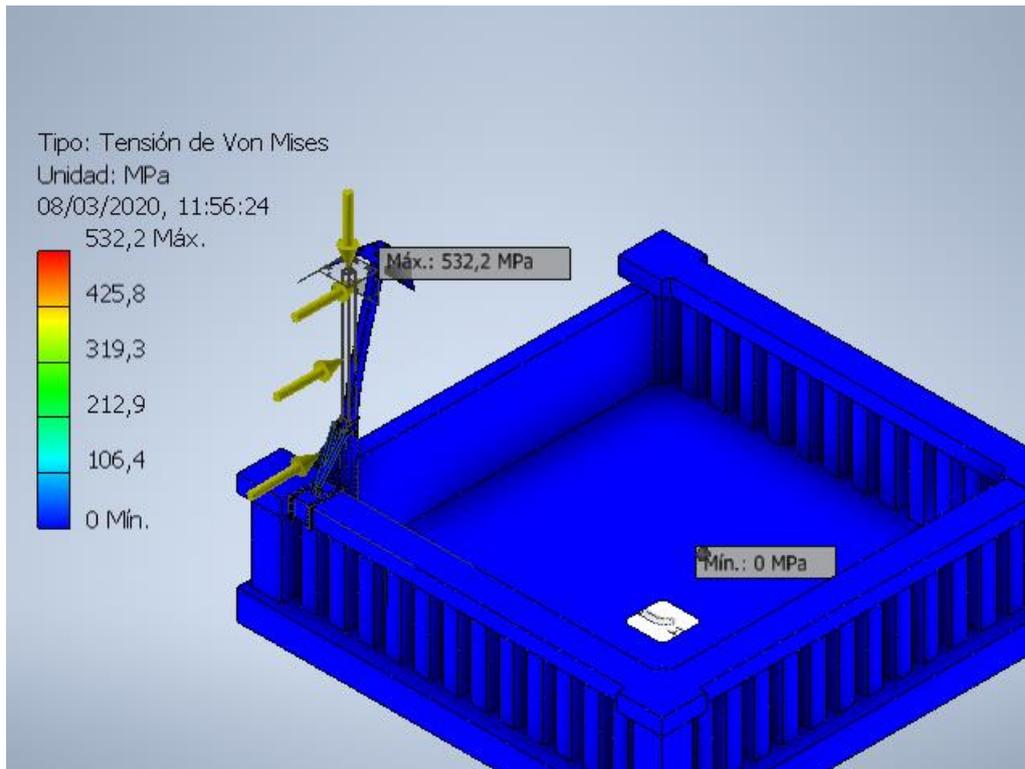
7.4.1 Resultados

7.4.1.1 Resumen de resultados

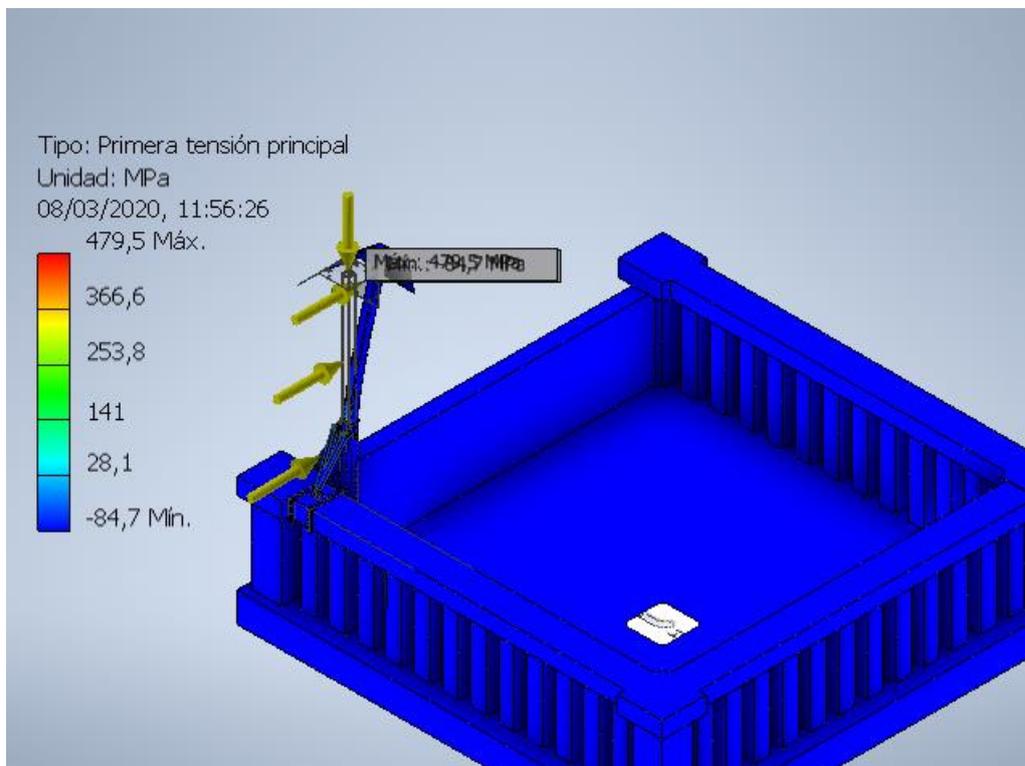
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	7,7554E+09 mm ³	
Masa	18792,4 kg	
Tensión de Von Mises	0,00000488021 MPa	532,195 MPa
Primera tensión principal	-84,693 MPa	479,484 MPa
Tercera tensión principal	-496,871 MPa	104,327 MPa
Desplazamiento	0 mm	10,6695 mm
Coefficiente de seguridad	0,421485 su	15 su

7.4.1.2 Figuras

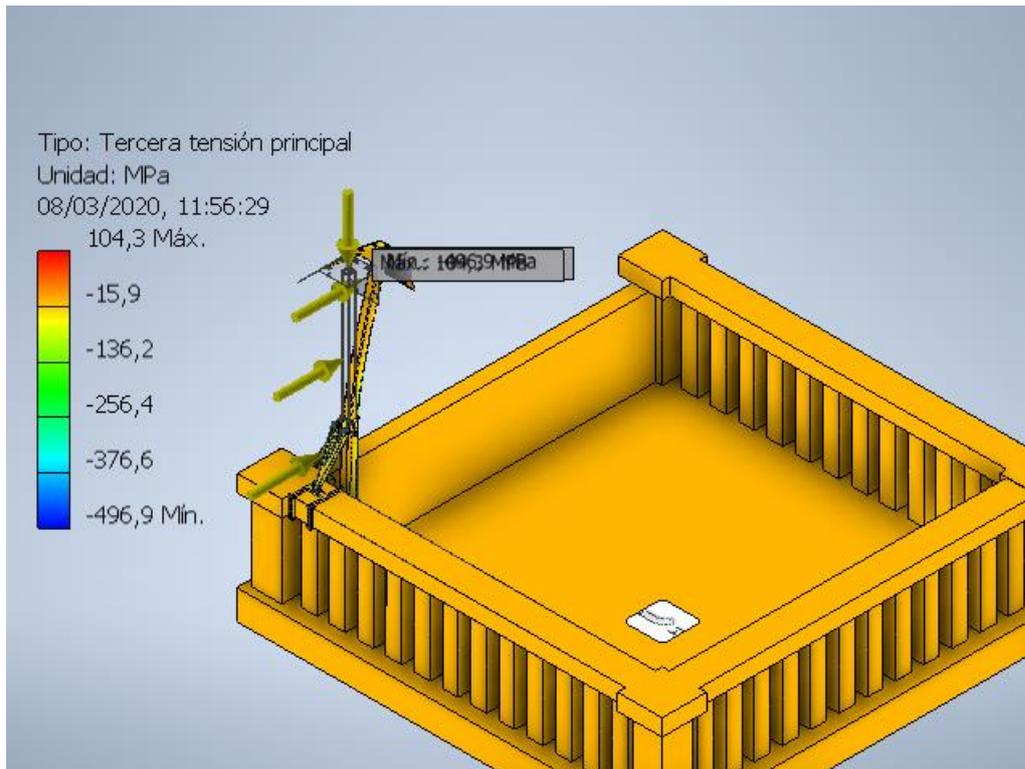
7.4.1.2.1 Tensión de Von Mises



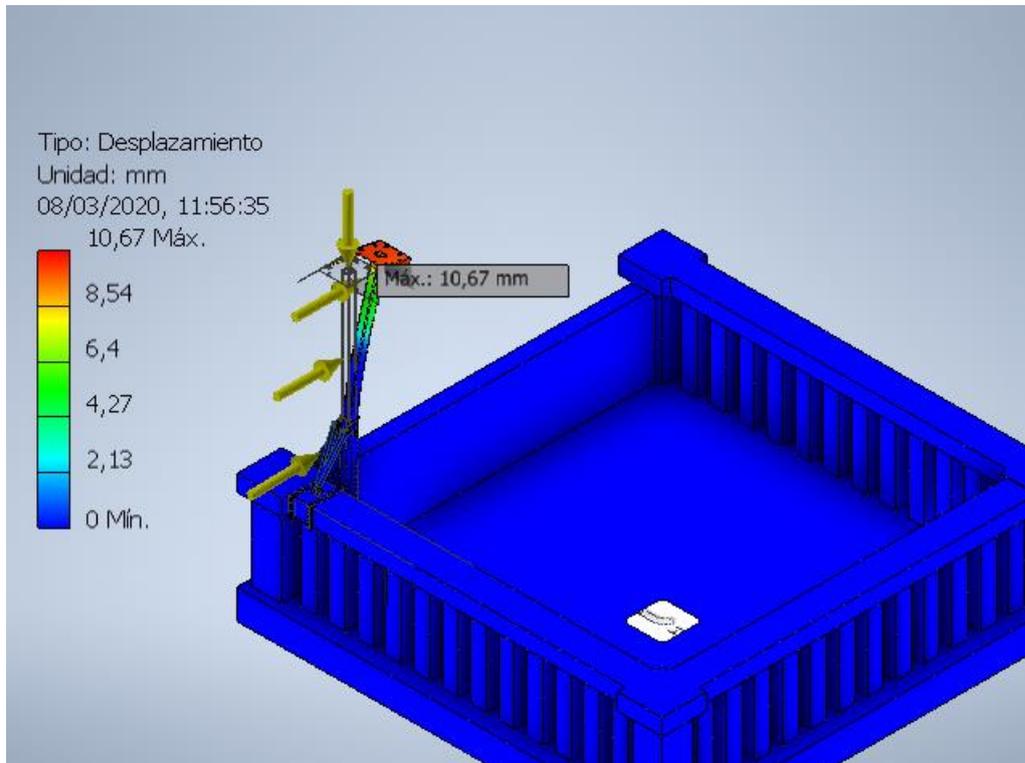
7.4.1.2.2 Primera tensión principal



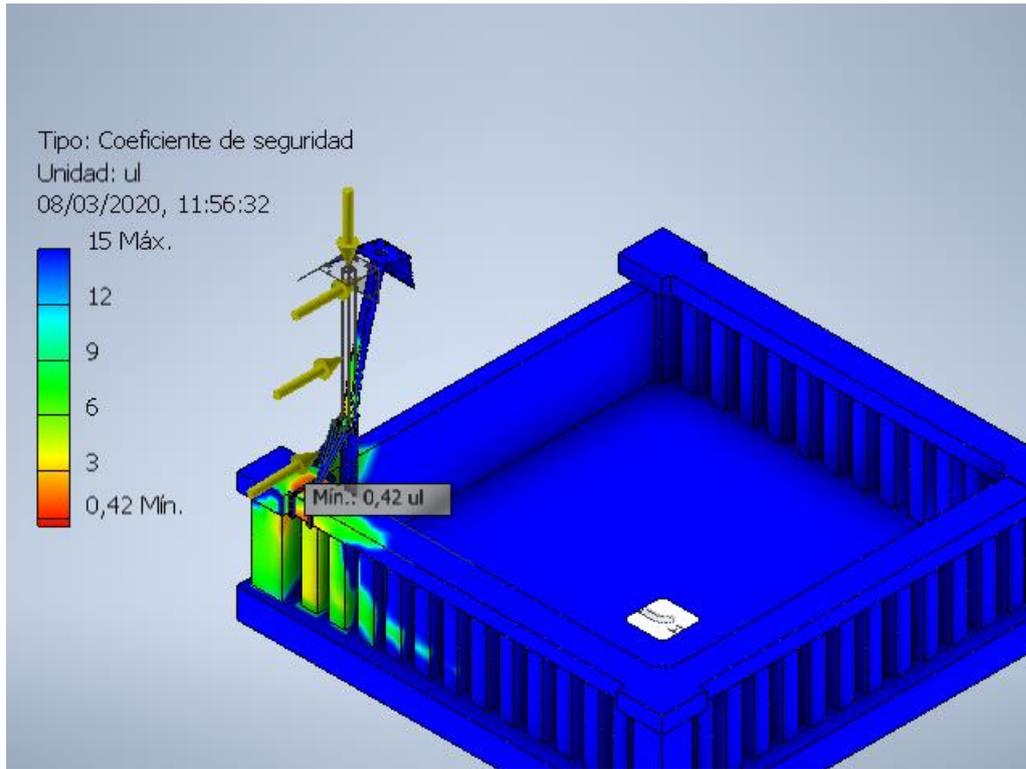
7.4.1.2.3 Tercera tensión principal



7.4.1.2.4 Desplazamiento



7.4.1.2.5 Coeficiente de seguridad



8 INFORME DE ANÁLISIS DE TENSIÓN



Archivo analizado:	Ensamblaje Completo.iam
Versión de Autodesk Inventor:	2020 (Build 240168000, 168)
Fecha de creación:	08/03/2020, 14:09
Autor del estudio:	Guillermo Supervielle Bergés
Resumen:	Análisis de tensión y deformaciones del segundo diseño con brazos de perfil hueco para un viento de 115km/h

8.1.1 Información de proyecto (iProperties)

8.1.1.1 Resumen

Título	
Autor	Guillermo

8.1.1.2 Propiedades físicas

Masa	45,751 kg
Volumen	8421030 mm ³

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

8.2 Análisis estático: Acero inox 316L

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	08/03/2020, 14:06
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No

Análisis de cargas de movimiento	No
----------------------------------	----

Configuración de malla:

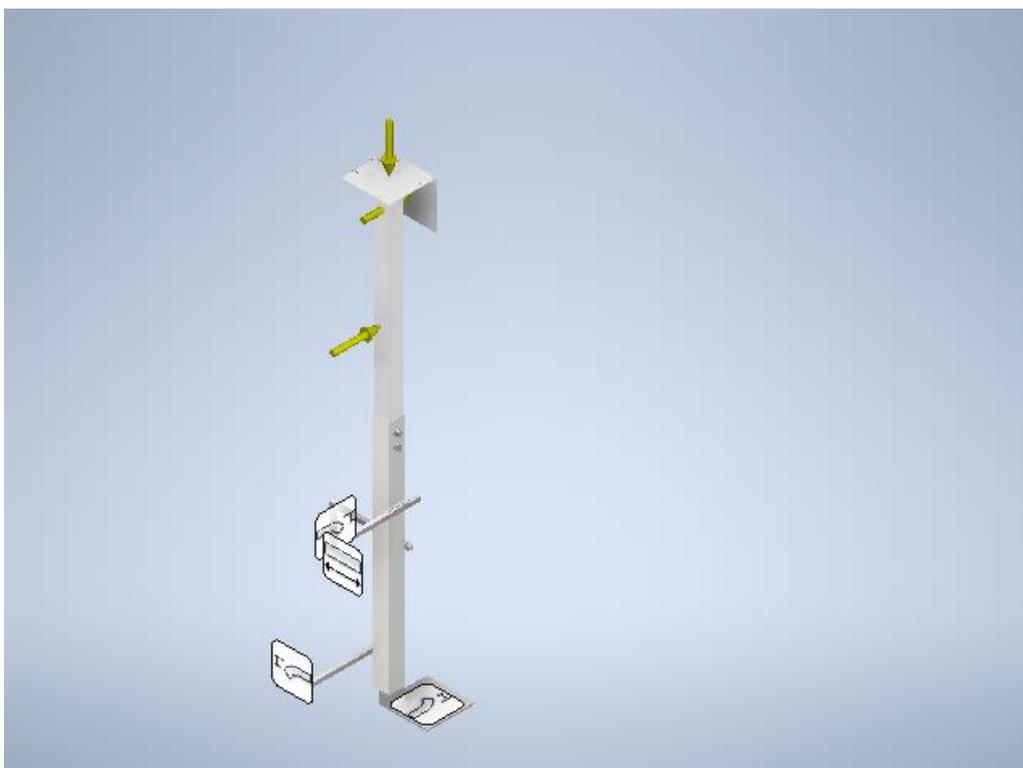
Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

8.2.1 Condiciones de funcionamiento

8.2.1.1 Gravedad

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810,000 mm/s ²
Vector X	0,000 mm/s ²
Vector Y	-9810,000 mm/s ²
Vector Z	0,000 mm/s ²

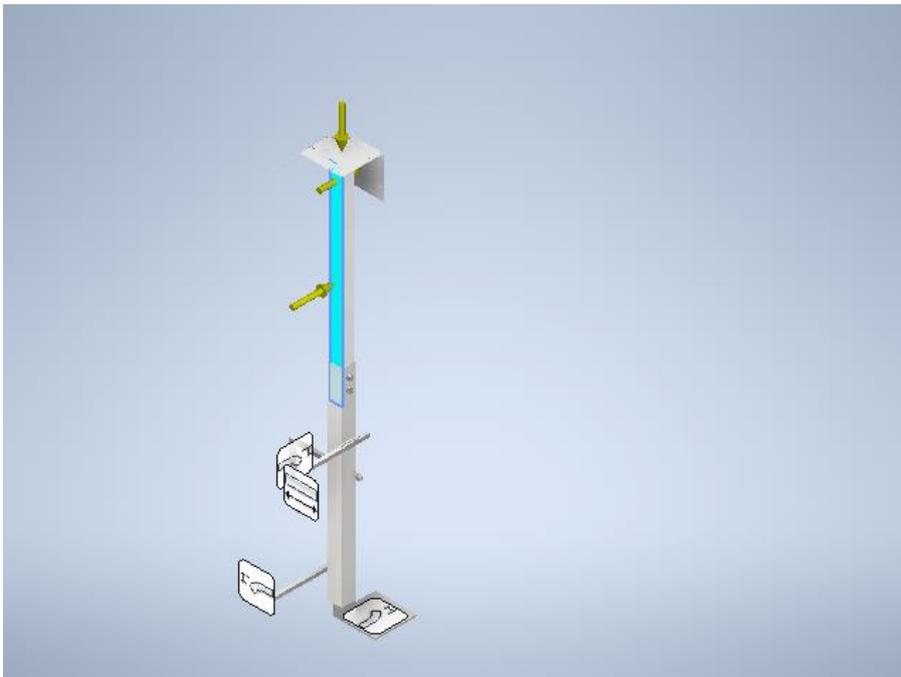
8.2.1.1.1 Cara(s) seleccionada(s)



8.2.1.2 Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	17400,000 N
Vector X	17400,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-0,000 N

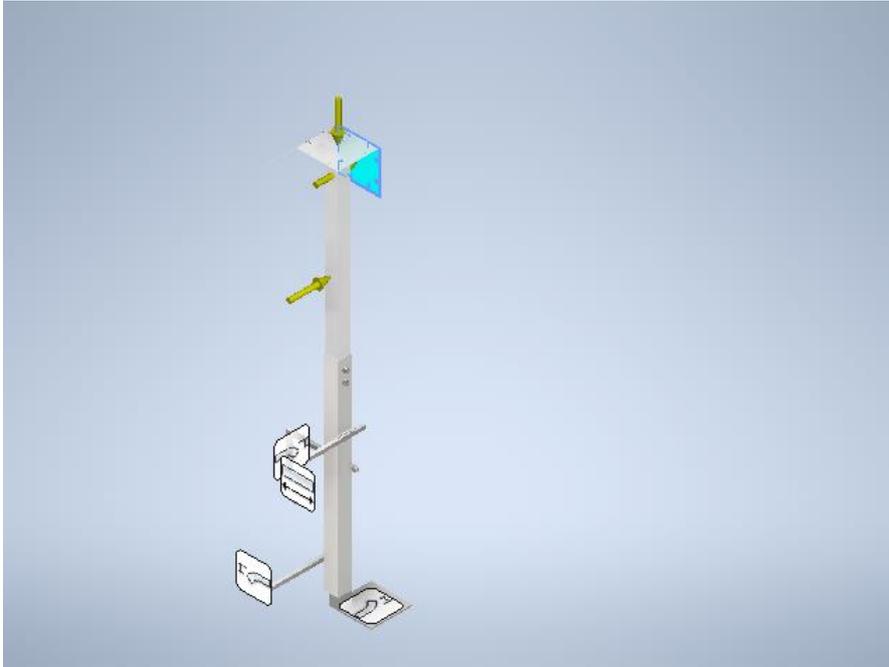
8.2.1.2.1 Cara(s) seleccionada(s)



8.2.1.3 Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	147,000 N
Vector X	147,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

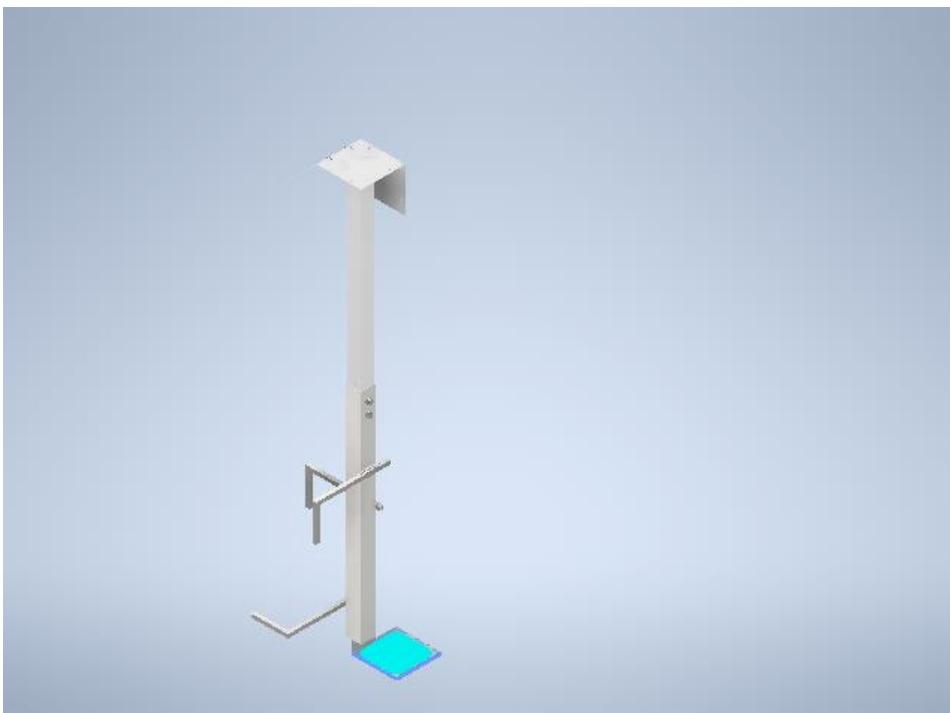
8.2.1.3.1 Cara(s) seleccionada(s)



8.2.1.4 Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

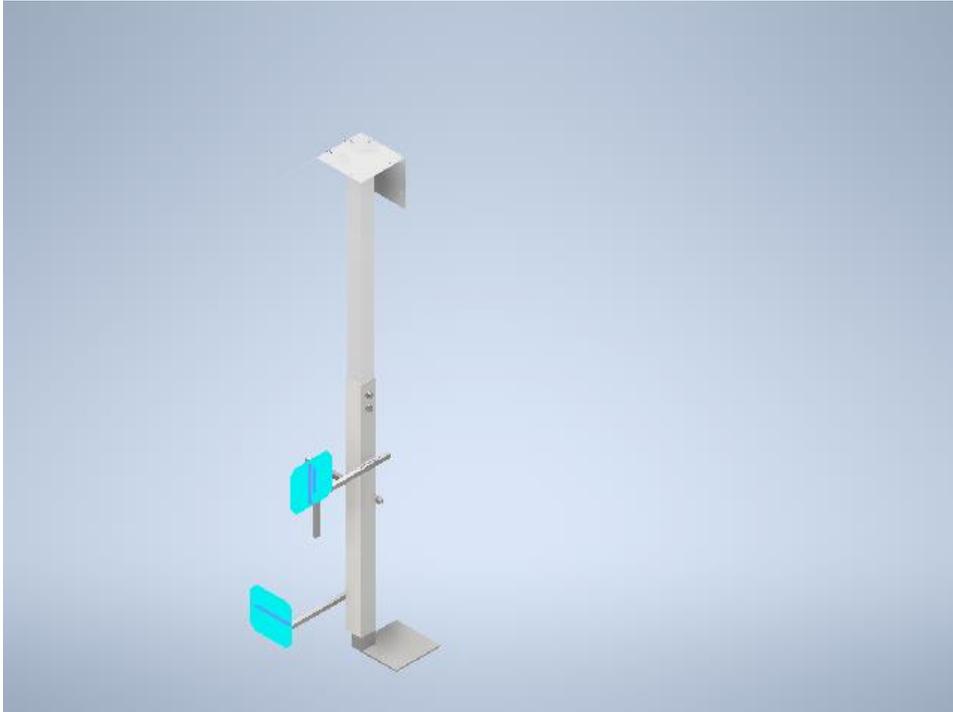
8.2.1.4.1 *Cara(s) seleccionada(s)*



8.2.1.5 Restricción fija:2

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

8.2.1.5.1 *Cara(s) seleccionada(s)*



8.2.1.6 Restricción sin fricción:1

Tipo de restricción	Restricción sin fricción
---------------------	--------------------------

8.2.1.6.1 *Cara(s) seleccionada(s)*



8.2.2 Resultados

8.2.2.1 Fuerza y pares de reacción en restricciones

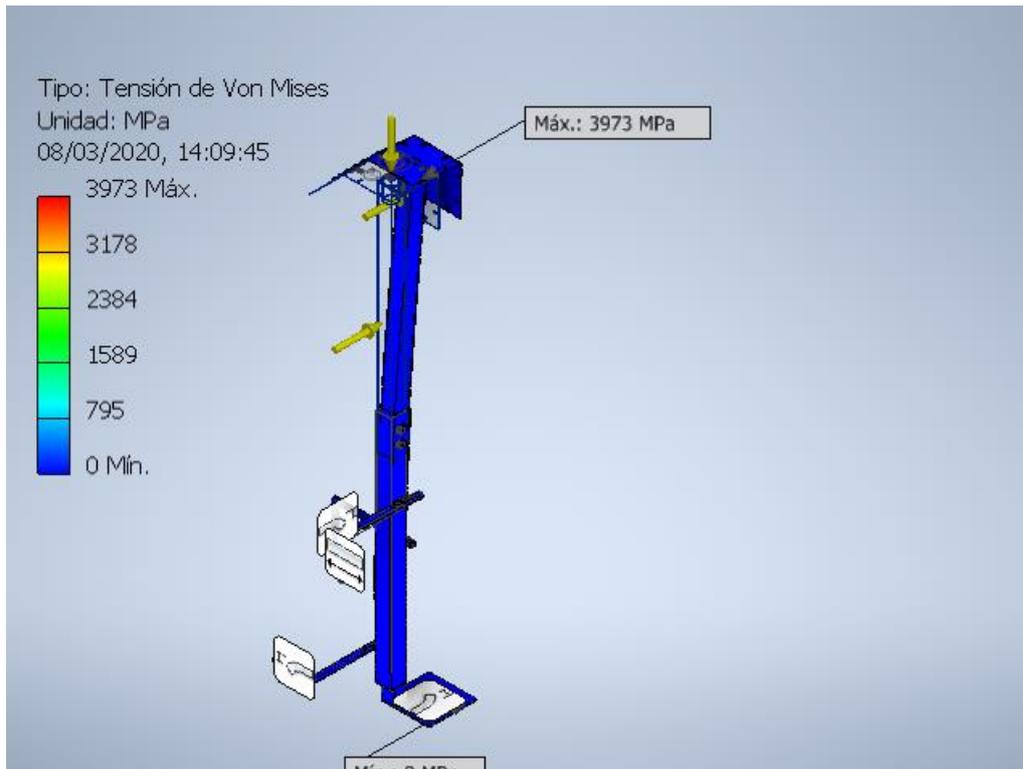
Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	10501,3 N	10490,1 N	3985,15 N	608,858 N m
		222,897 N		1501,34 N m
		431,026 N		-3640,97 N m
Restricción fija:2	10594,7 N	10576,4 N	3975,67 N	-471,322 N m
		400,379 N		2839,53 N m
		-477,058 N		2742,42 N m
Restricción fricción:1 sin	38880,2 N	-38879,6 N	4835,44 N	-8,86329 N m
		68,4252 N		74,7604 N m
		-205,049 N		4834,86 N m

8.2.2.2 Resumen de resultados

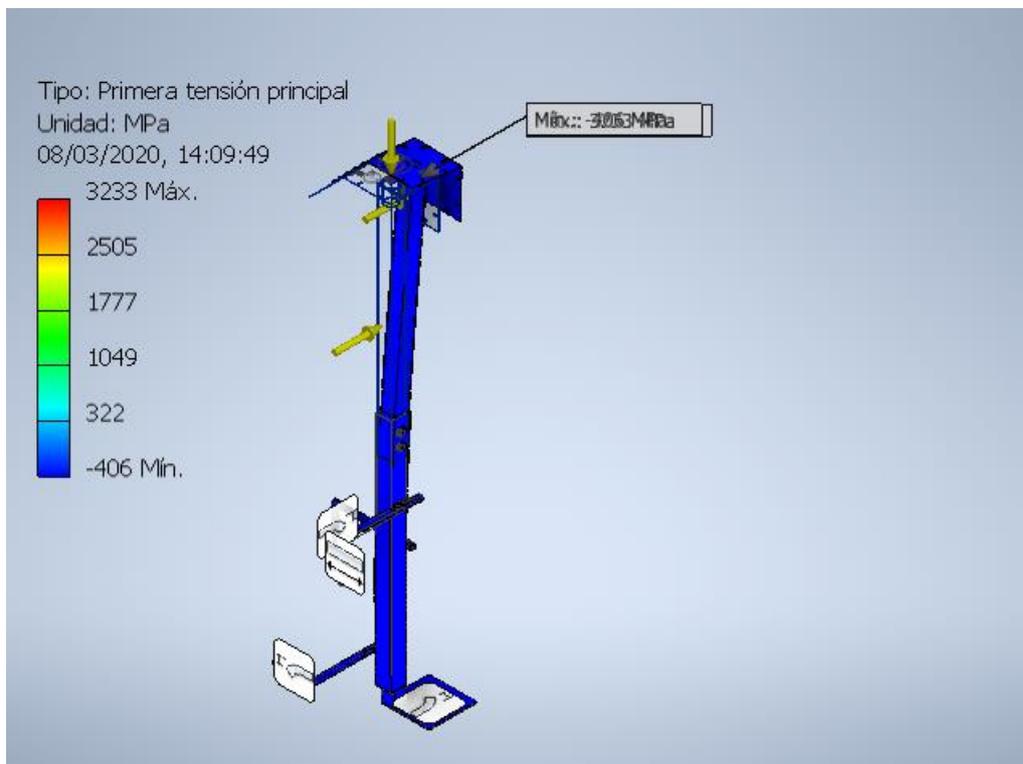
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	7896150 mm ³	
Masa	63,1692 kg	
Tensión de Von Mises	0,0000660562 MPa	3972,7 MPa
Primera tensión principal	-406,079 MPa	3232,67 MPa
Tercera tensión principal	-3468,96 MPa	217,4 MPa
Desplazamiento	0 mm	46,4387 mm
Coefficiente de seguridad	0,0798341 su	15 su

8.2.2.3 Figuras

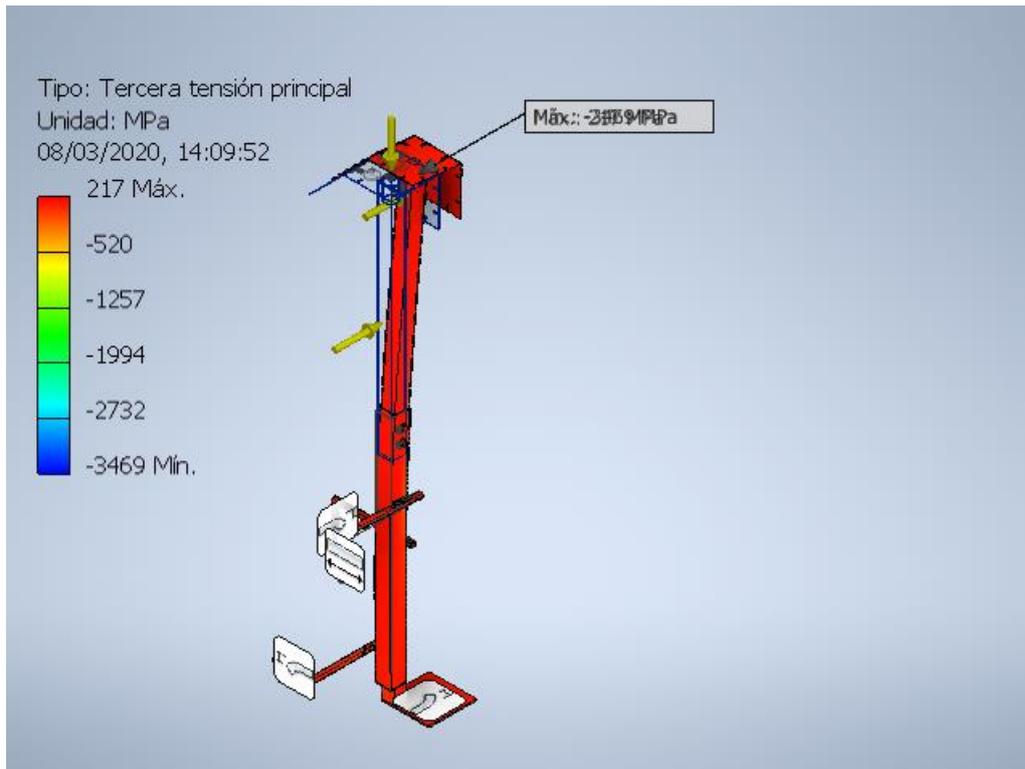
8.2.2.3.1 Tensión de Von Mises



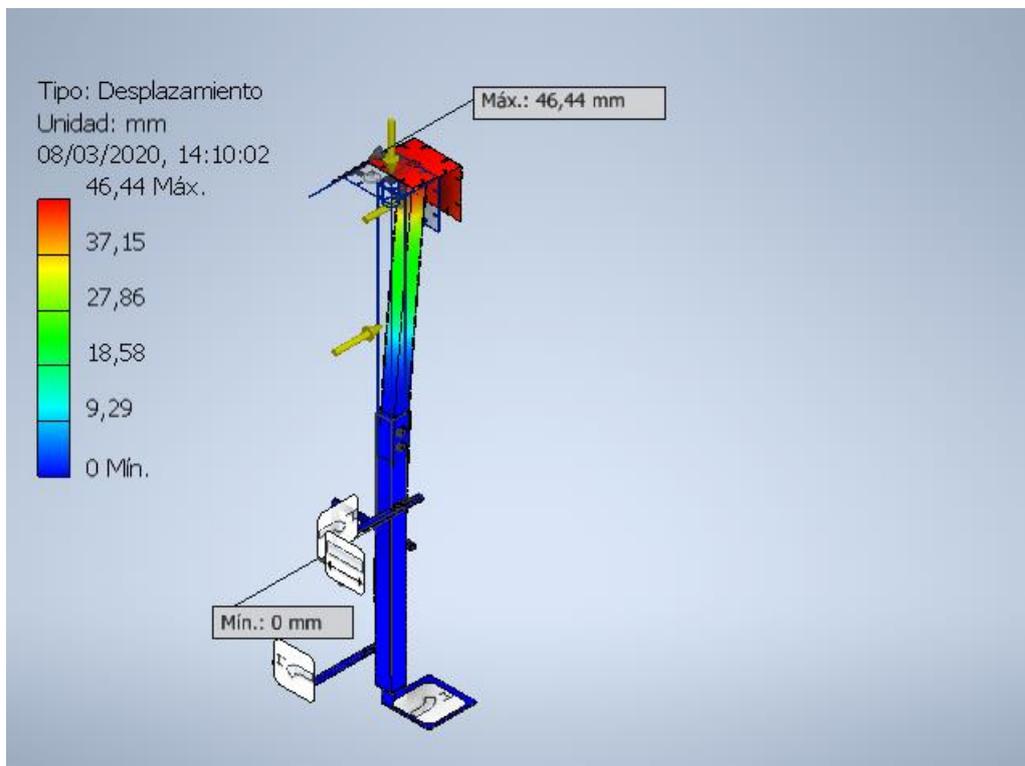
8.2.2.3.2 *Primera tensión principal*



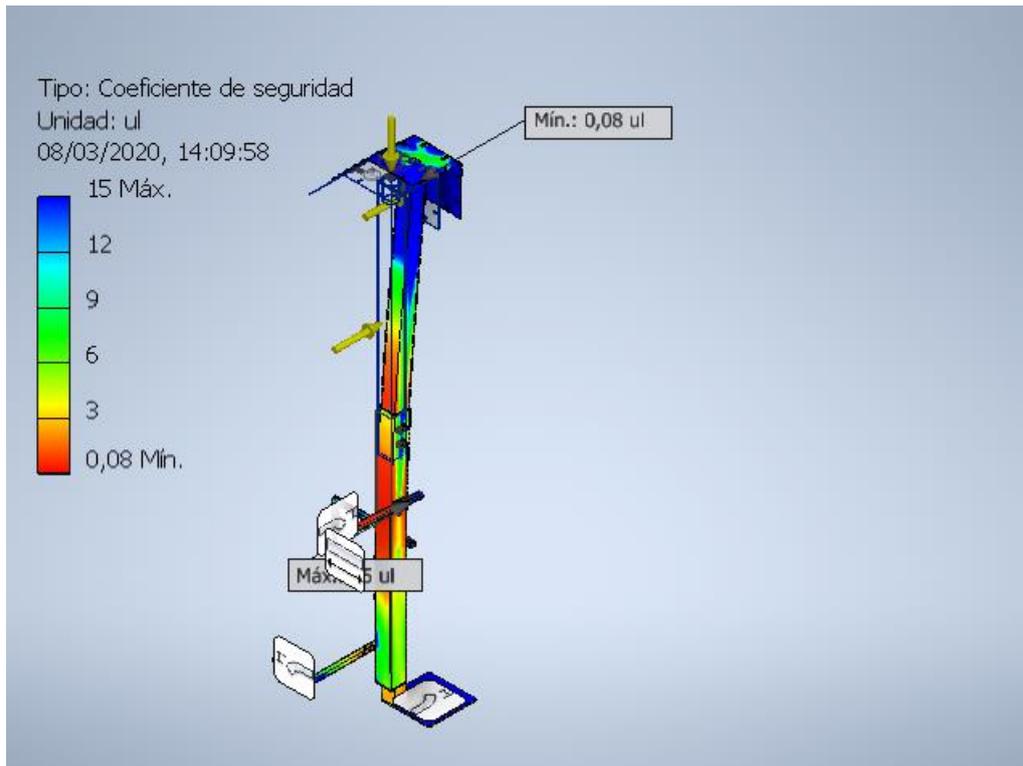
8.2.2.3.3 *Tercera tensión principal*



8.2.2.3.4 Desplazamiento



8.2.2.3.5 Coeficiente de seguridad



8.3 Análisis estático: Acero inox 316L:1

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	08/03/2020, 13:36
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

8.3.1 Resultados

8.3.1.1 Fuerza y pares de reacción en restricciones

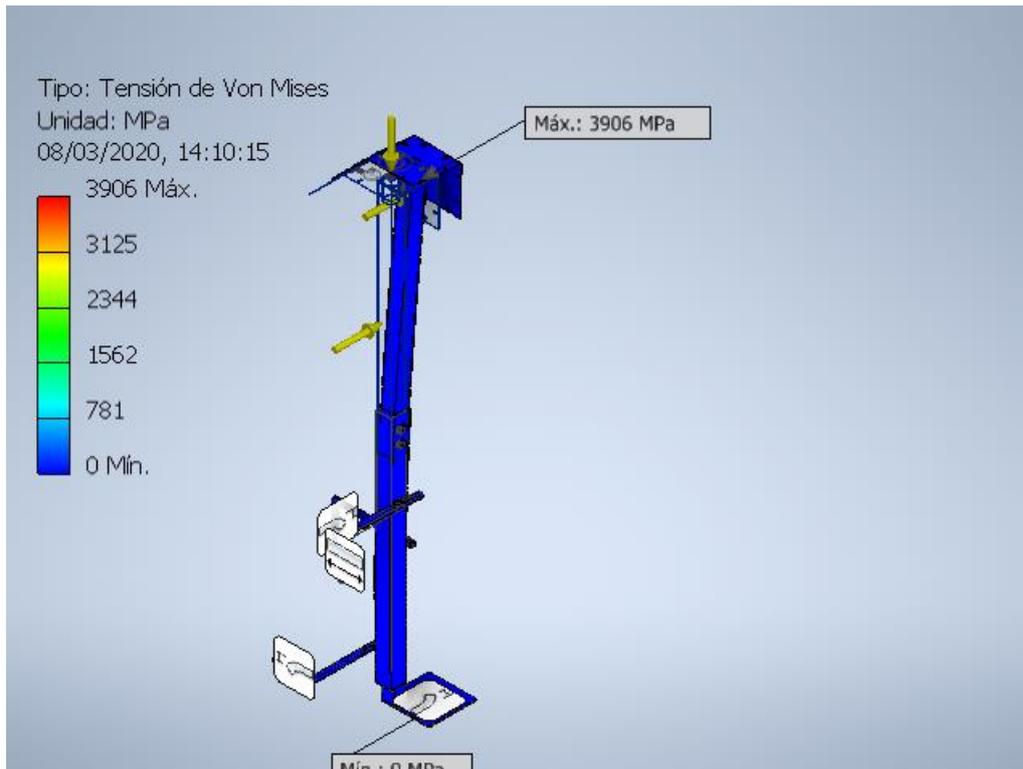
Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	10651,4 N	10639,6 N	3948,71 N	600,086 N m
		-122,775 N		1455,41 N m
		486,6 N		-3621,33 N m
Restricción fija:2	10732,5 N	10723,1 N	3862,53 N	-518,303 N m
		243,717 N		2804,67 N m
		-375,501 N		2604,67 N m
Restricción fricción:1 sin	38210,3 N	-38210,1 N	4823,09 N	0 N m
		0 N		82,6906 N m
		-137,324 N		4822,38 N m

8.3.1.2 Resumen de resultados

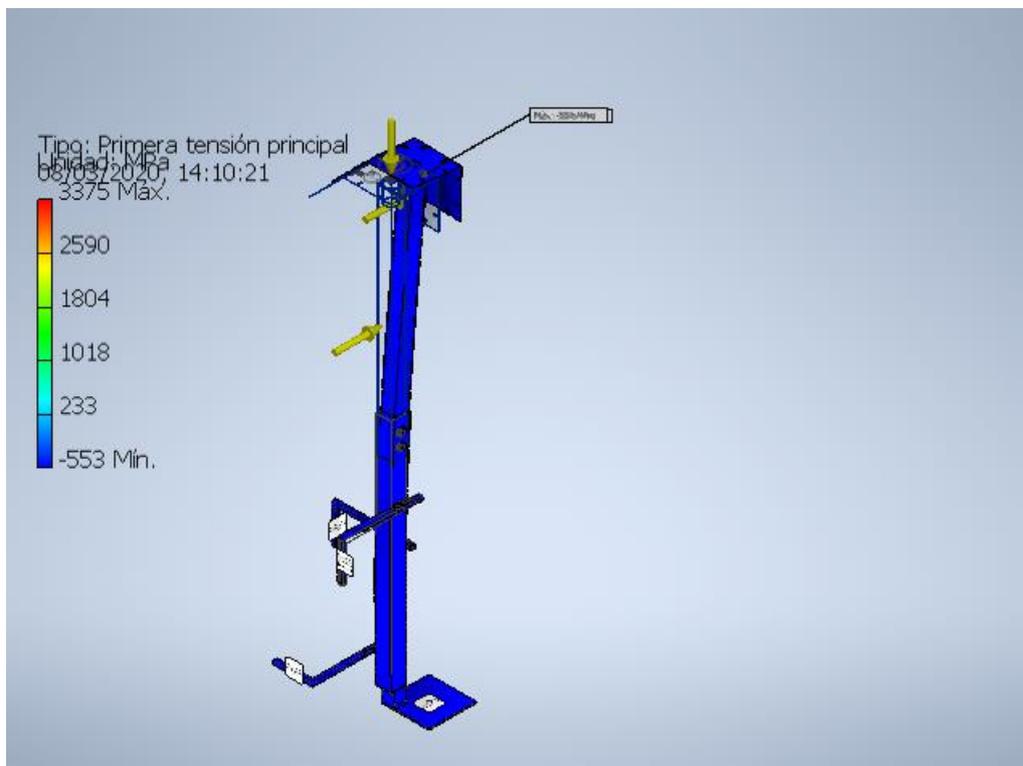
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	7896150 mm ³	
Masa	21,3196 kg	
Tensión de Von Mises	0,0000948114 MPa	3906 MPa
Primera tensión principal	-552,985 MPa	3375,3 MPa
Tercera tensión principal	-3623,85 MPa	299,66 MPa
Desplazamiento	0 mm	134,911 mm
Coefficiente de seguridad	0,0704045 su	15 su

8.3.1.3 Figuras

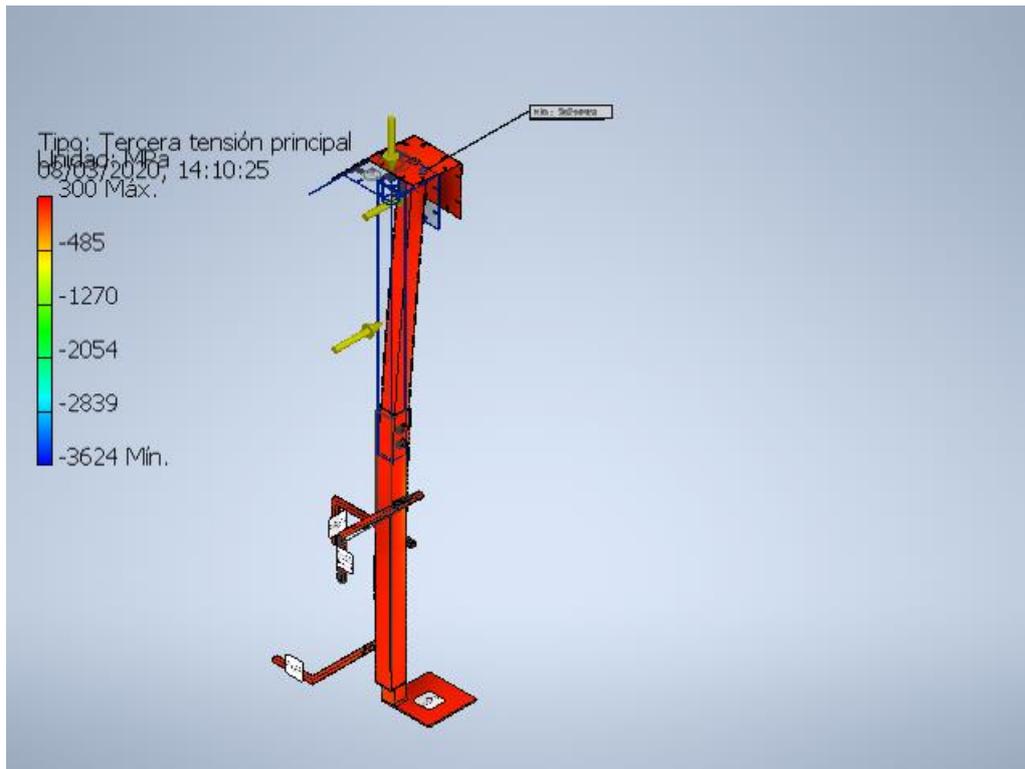
8.3.1.3.1 Tensión de Von Mises



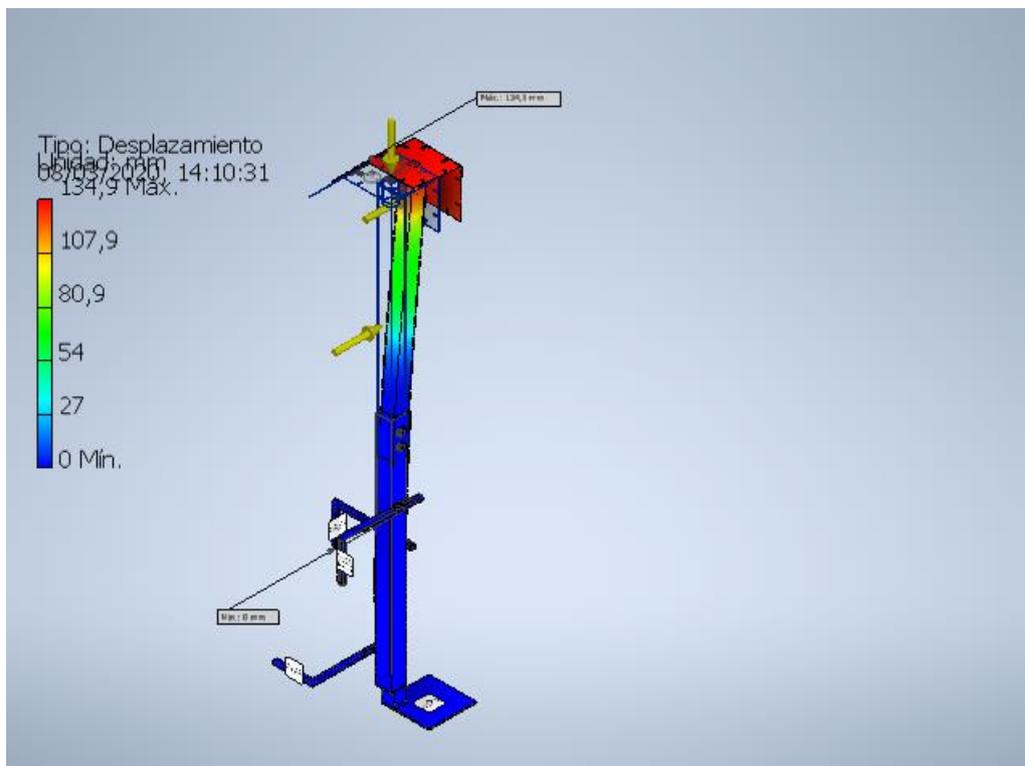
8.3.1.3.2 *Primera tensión principal*



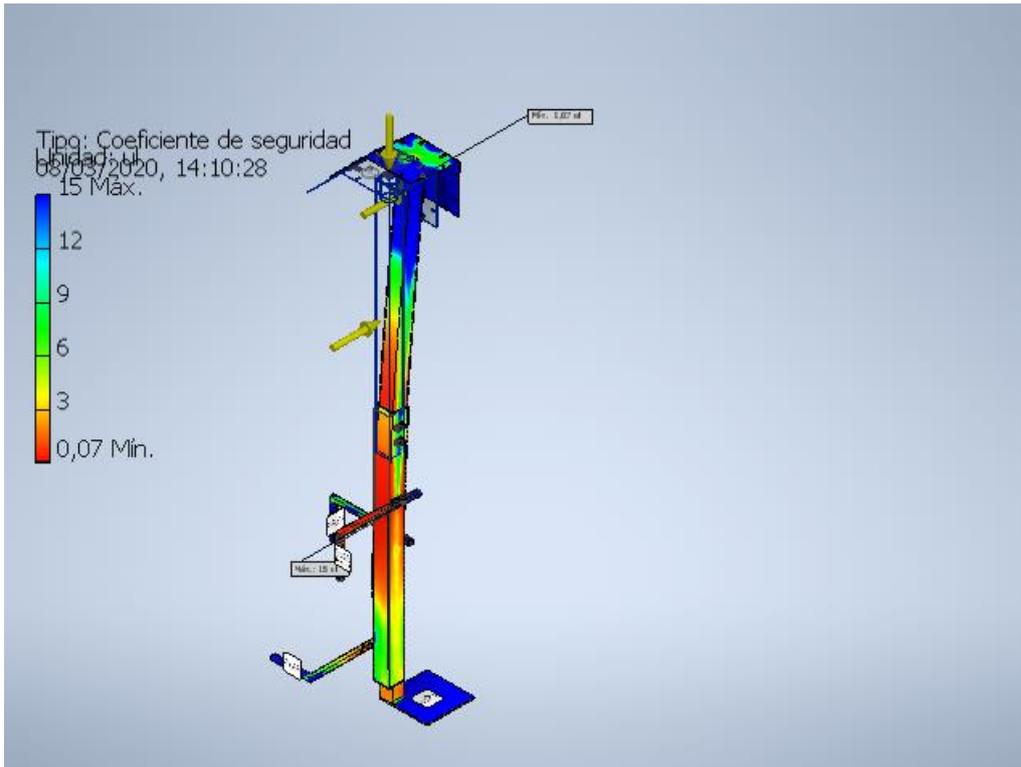
8.3.1.3.3 *Tercera tensión principal*



8.3.1.3.4 Desplazamiento



8.3.1.3.5 Coeficiente de seguridad



8.4 Análisis estático: Acero S275JR

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	08/03/2020, 13:31
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

8.4.1 Resultados

8.4.1.1 Fuerza y pares de reacción en restricciones

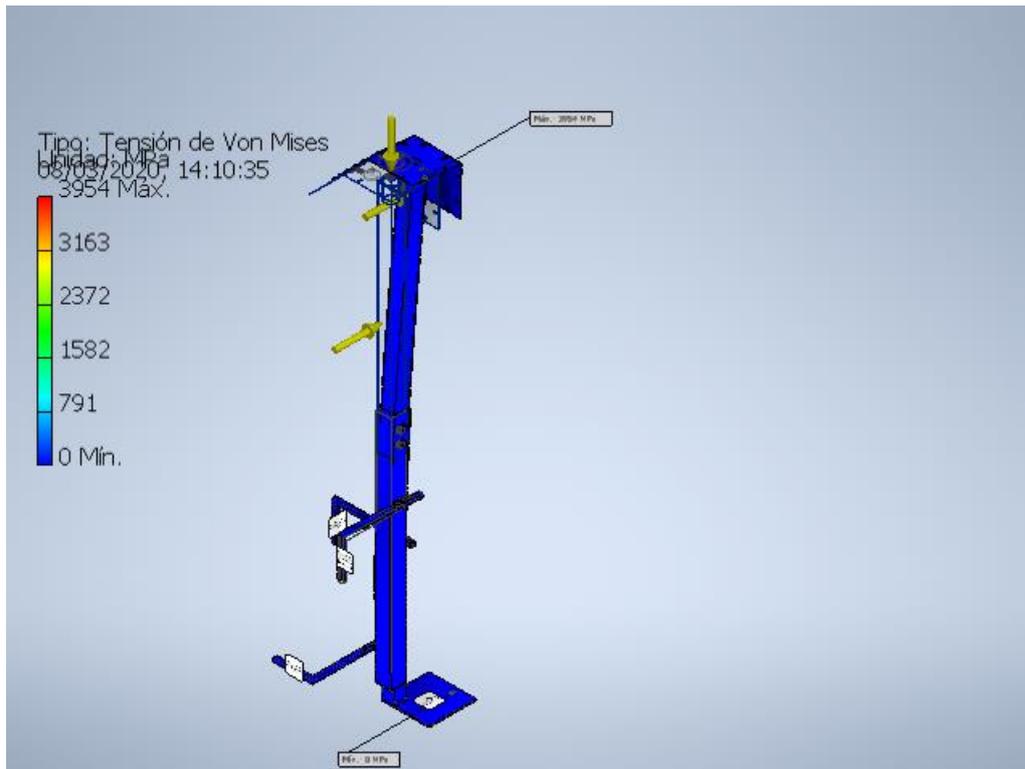
Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	10526,4 N	10512,2 N	3990,22 N	619,119 N m
		244,149 N		1496,1 N m
		489,38 N		-3646,95 N m
Restricción fija:2	10532,4 N	10517,6 N	3968,39 N	-546,102 N m
		289,645 N		2883,05 N m
		-477,478 N		2671,68 N m
Restricción fricción:1 sin	38535,2 N	-38534,8 N	4847,95 N	-6,26795 N m
		95,0445 N		75,2656 N m
		-134,109 N		4847,36 N m

8.4.1.2 Resumen de resultados

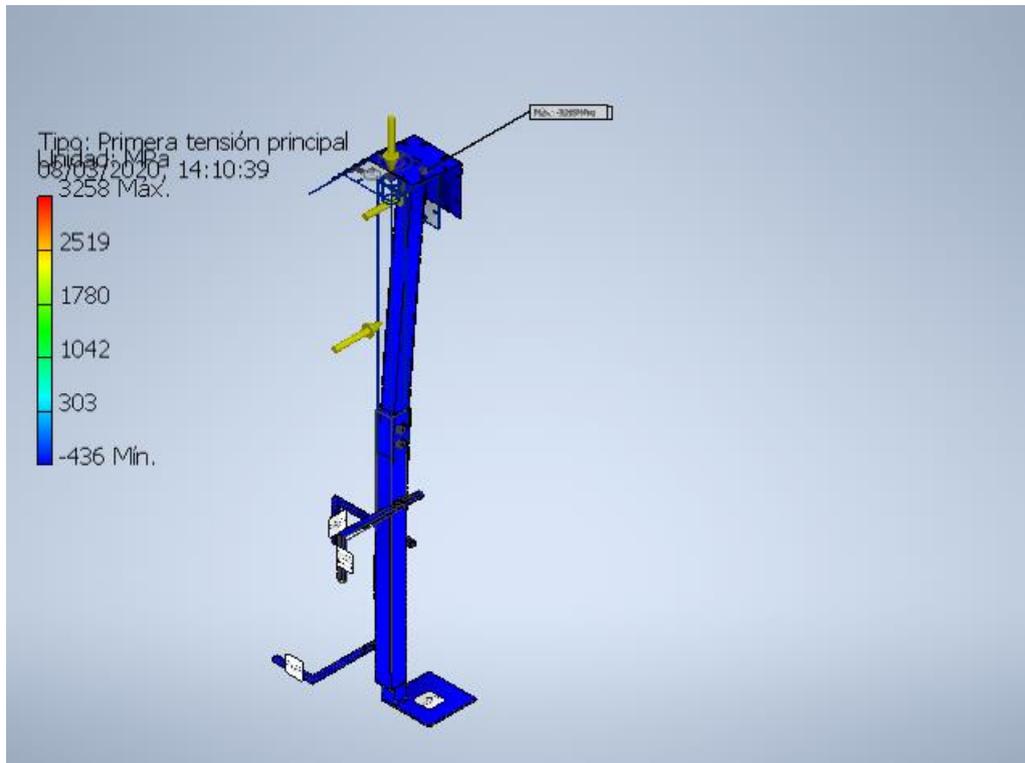
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	7896150 mm ³	
Masa	61,9835 kg	
Tensión de Von Mises	0,000100227 MPa	3953,89 MPa
Primera tensión principal	-435,632 MPa	3257,87 MPa
Tercera tensión principal	-3500,22 MPa	235,76 MPa
Desplazamiento	0 mm	46,445 mm
Coefficiente de seguridad	0,0627798 su	15 su

8.4.1.3 Figuras

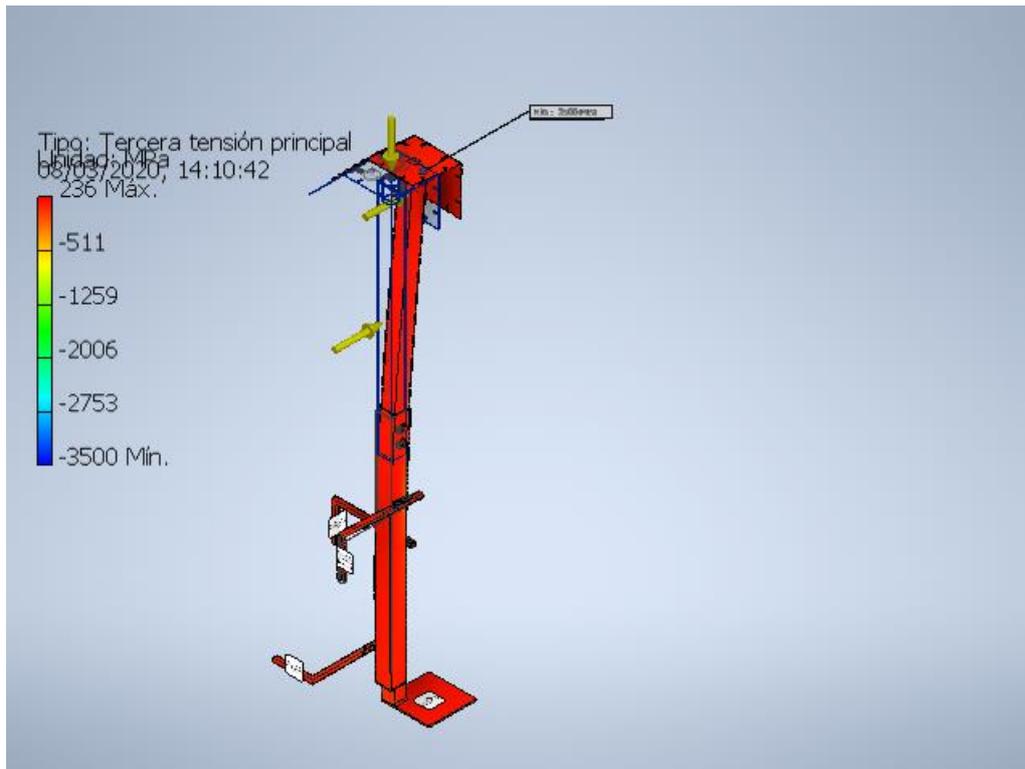
8.4.1.3.1 Tensión de Von Mises



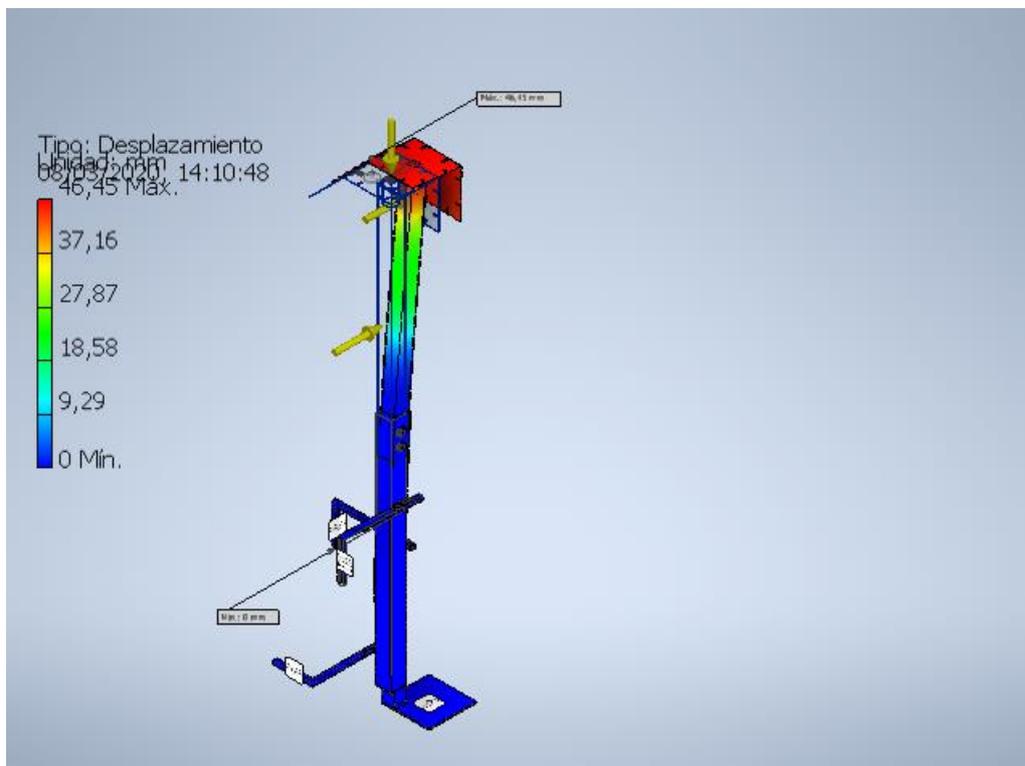
8.4.1.3.2 Primera tensión principal



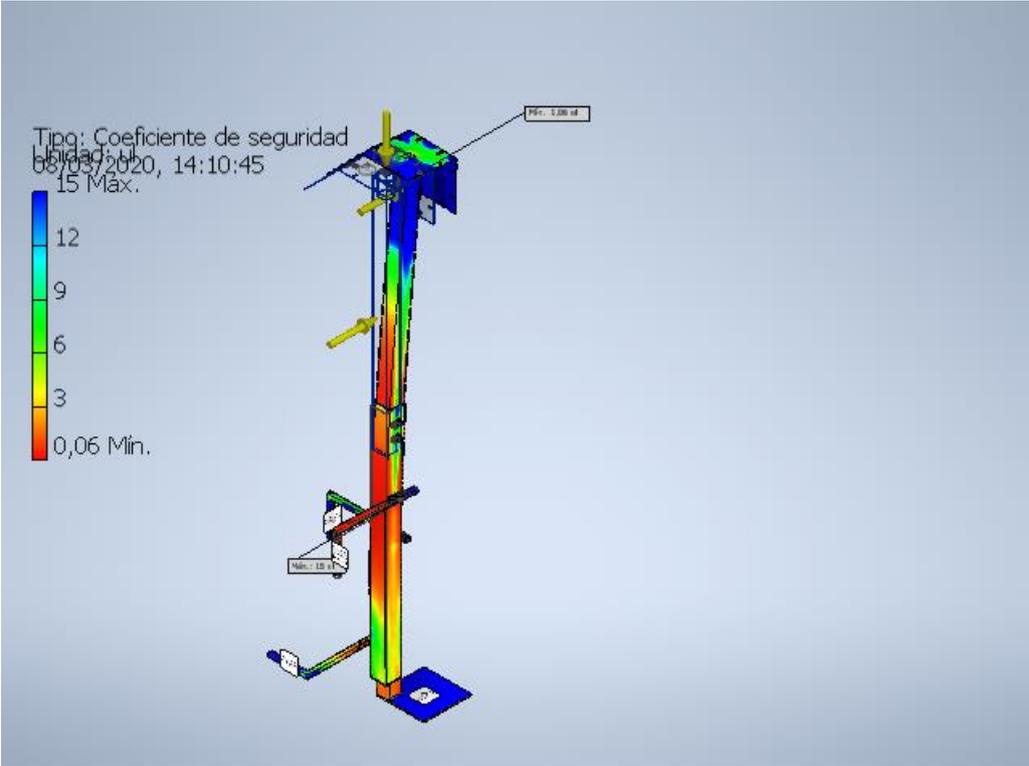
8.4.1.3.3 Tercera tensión principal



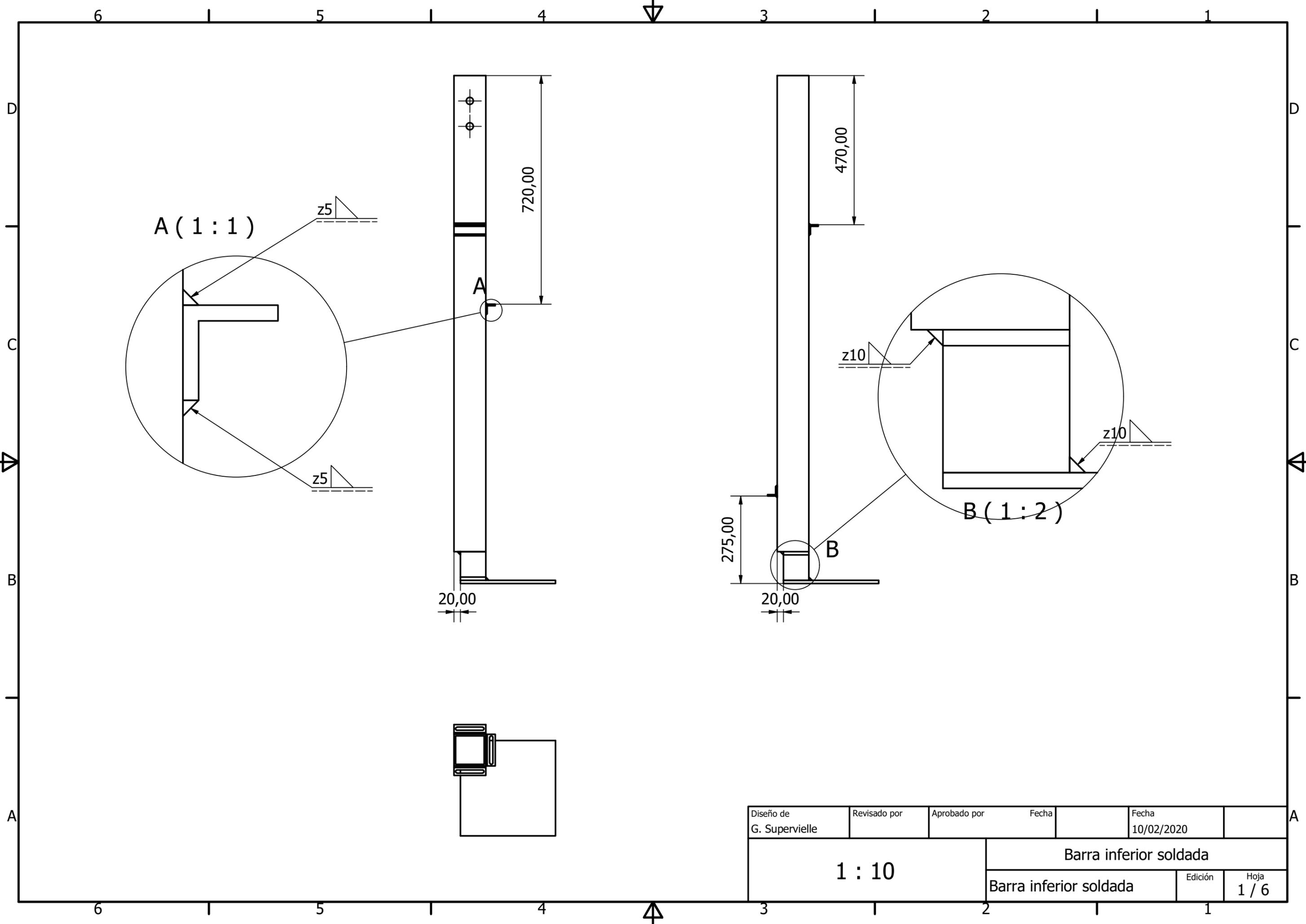
8.4.1.3.4 Desplazamiento



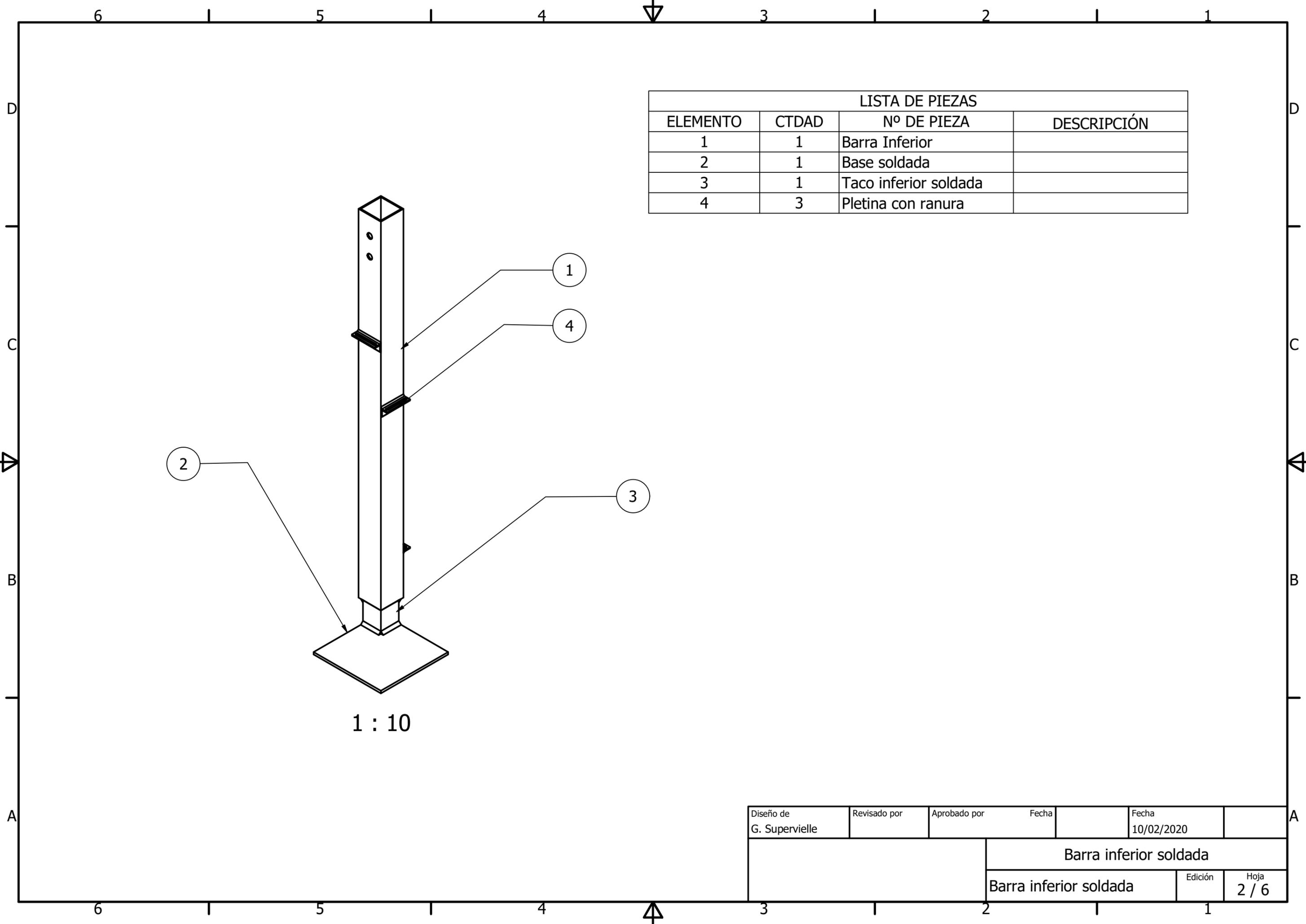
8.4.1.3.5 Coeficiente de seguridad



ANEXO IV: PLANOS DEL SEGUNDO DISEÑO



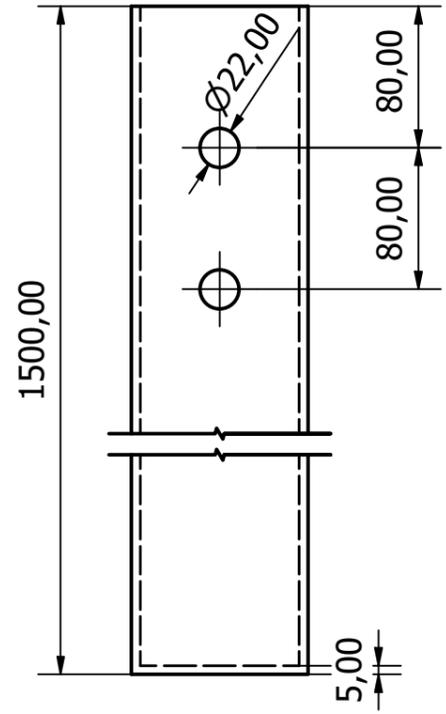
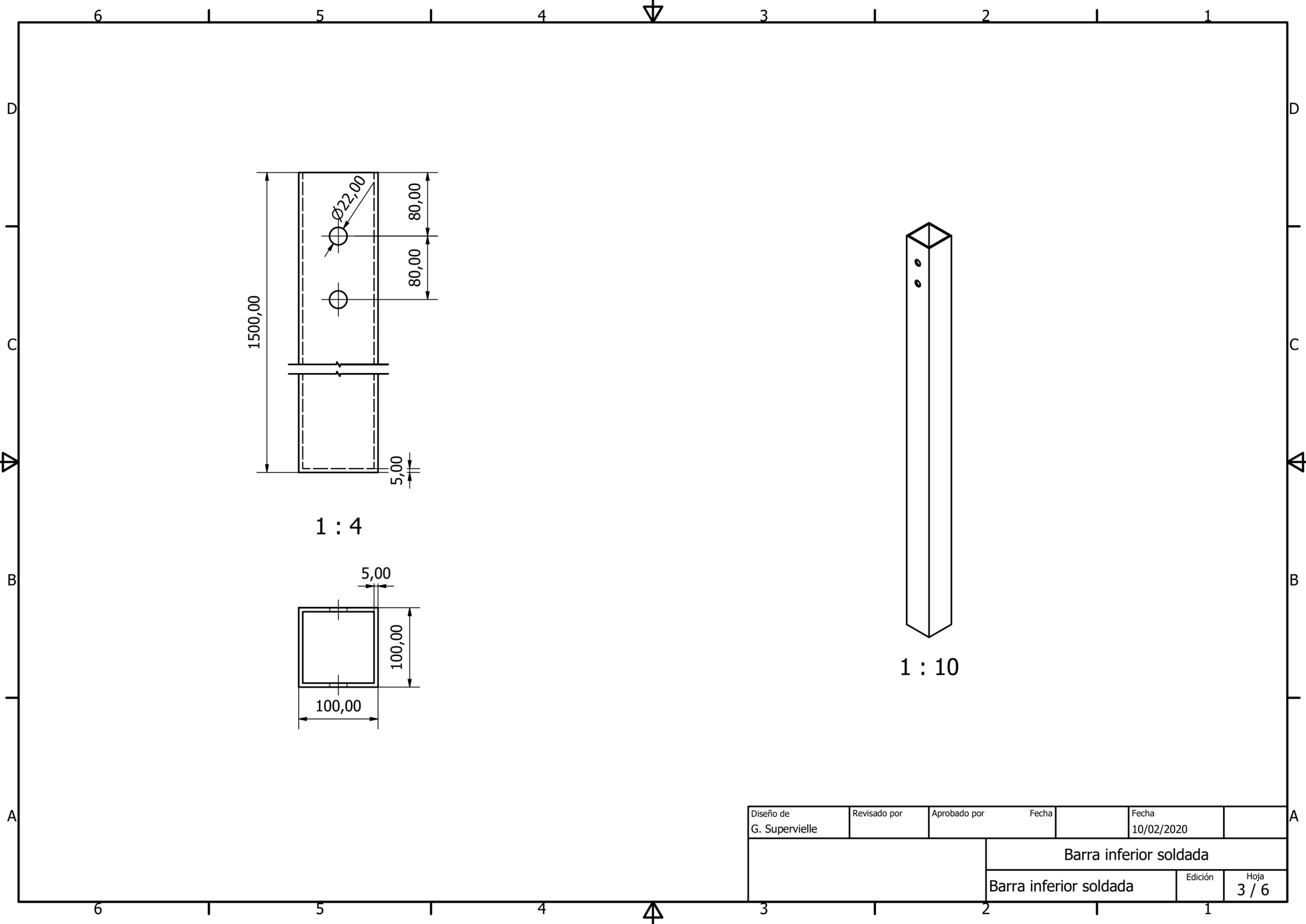
Diseño de G. Supervielle	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 10/02/2020
1 : 10			Barra inferior soldada	
			Barra inferior soldada	Edición 1 / 6



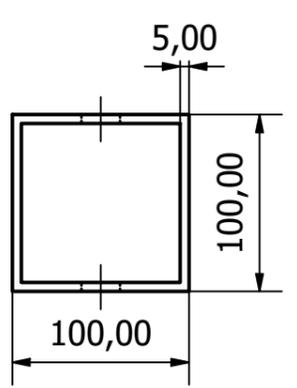
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Barra Inferior	
2	1	Base soldada	
3	1	Taco inferior soldada	
4	3	Pletina con ranura	

1 : 10

Diseño de G. Supervielle	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 10/02/2020
			Barra inferior soldada	
			Barra inferior soldada	Edición Hoja 2 / 6

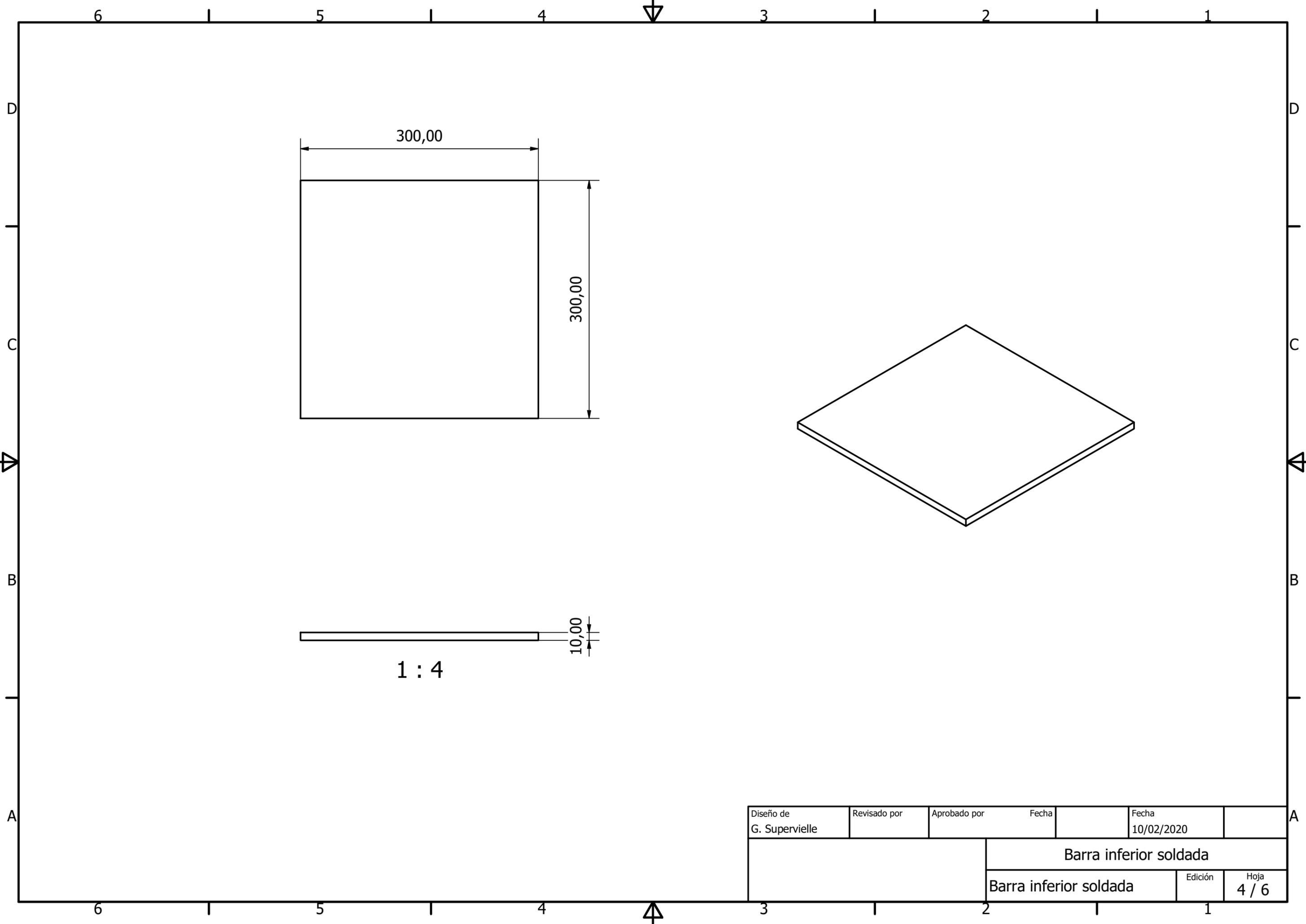


1 : 4

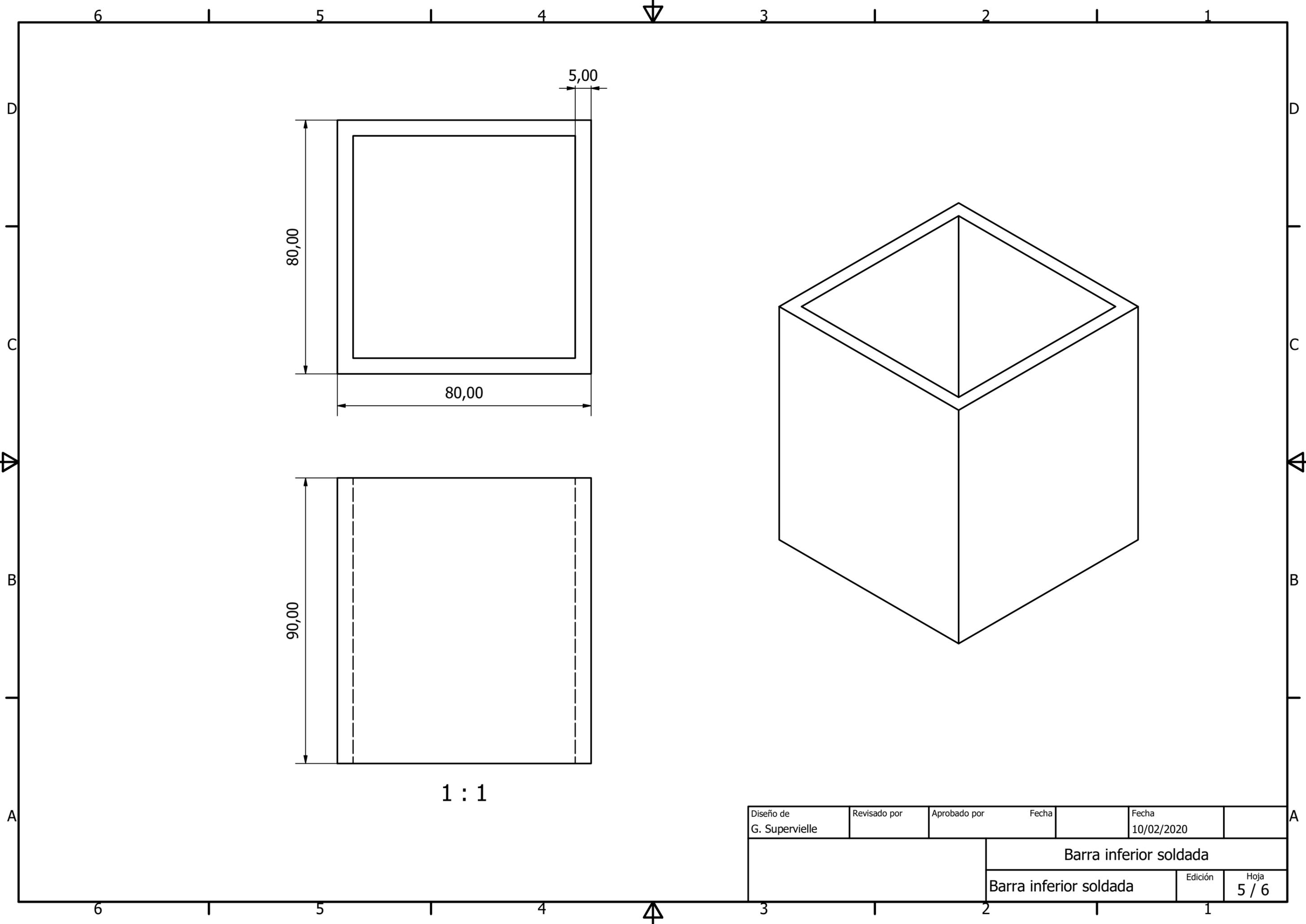


1 : 10

Diseño de G. Supervielle	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 10/02/2020
			Barra inferior soldada	
			Barra inferior soldada	Edición Hoja 3 / 6

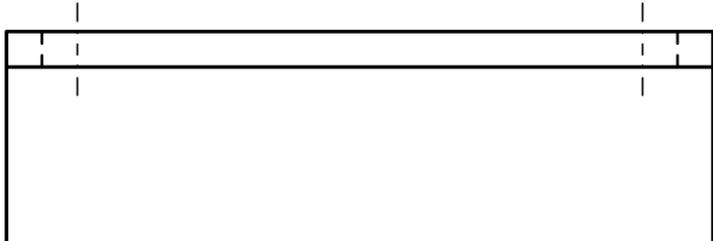
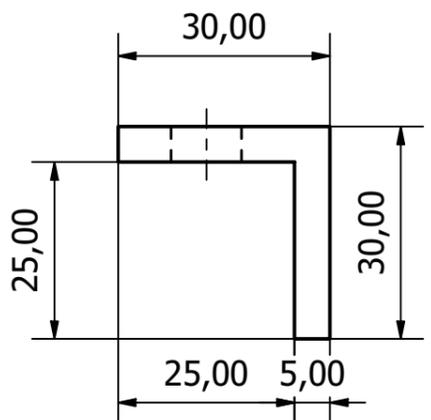


Diseño de G. Supervielle	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 10/02/2020
			Barra inferior soldada	
			Barra inferior soldada	Edición Hoja 4 / 6

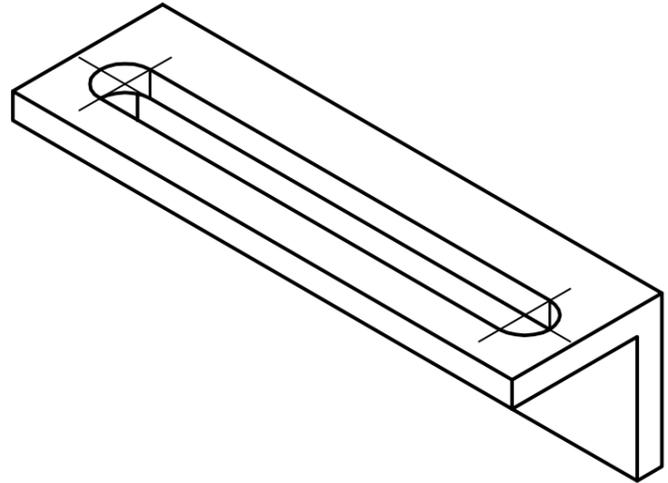
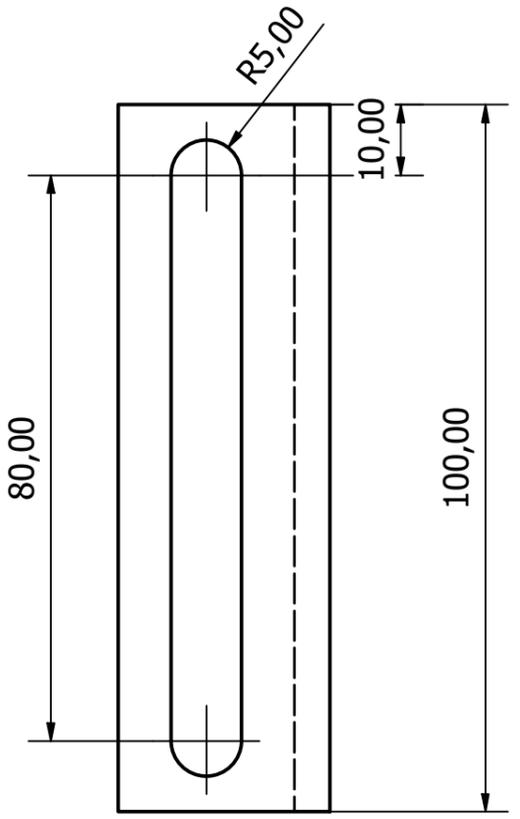


1 : 1

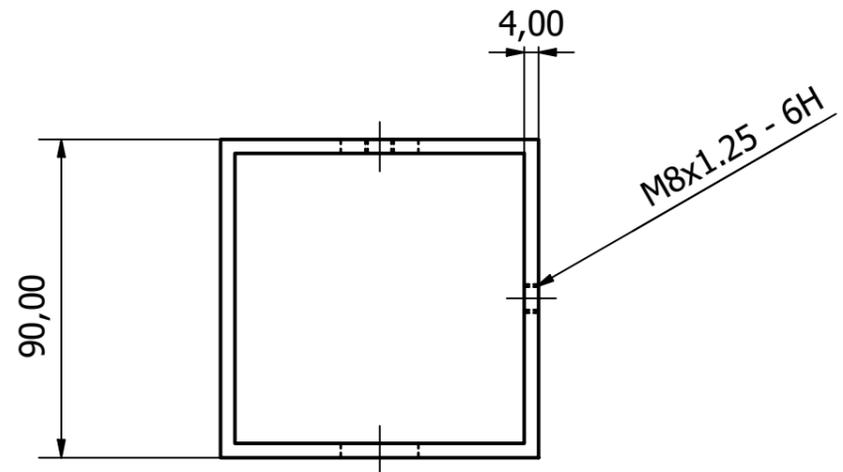
Diseño de G. Supervielle	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 10/02/2020
			Barra inferior soldada	
			Barra inferior soldada	Edición Hoja 5 / 6



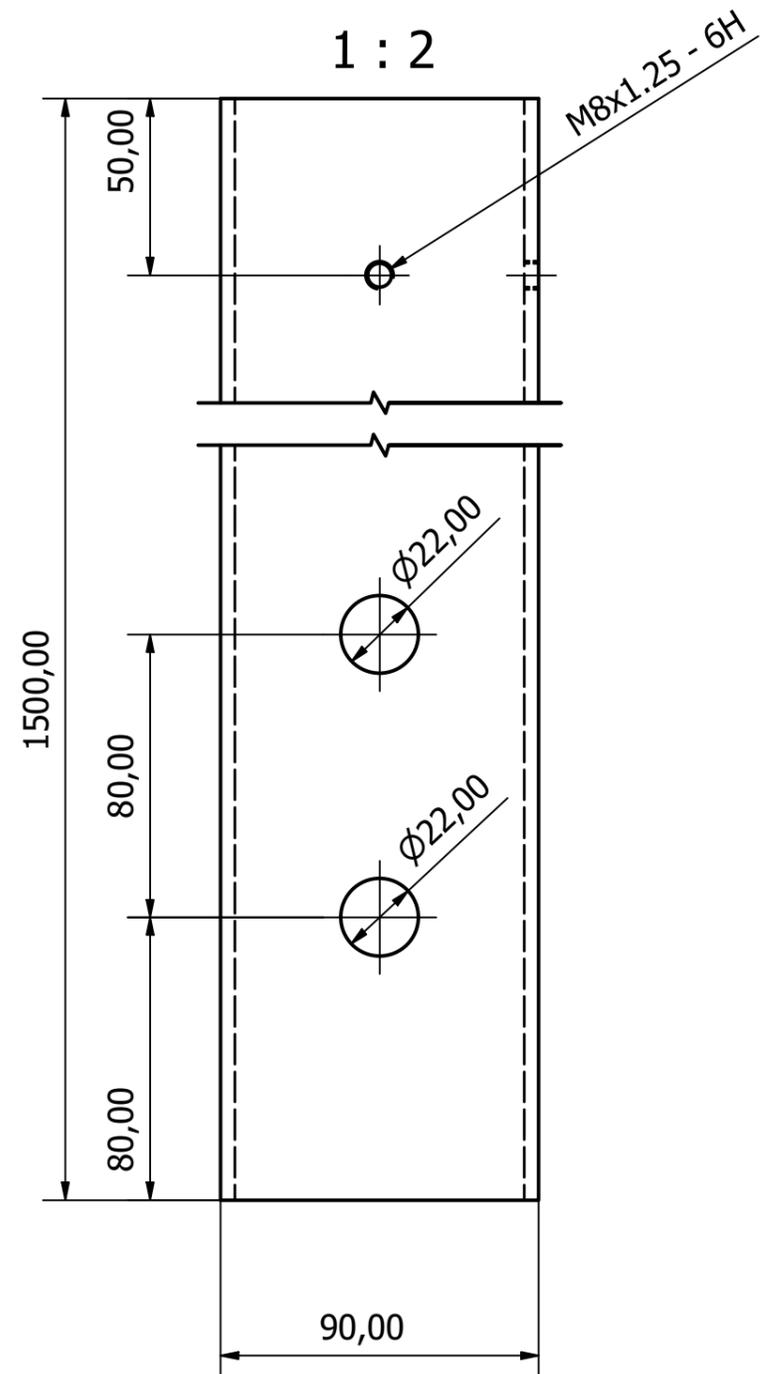
1 : 1



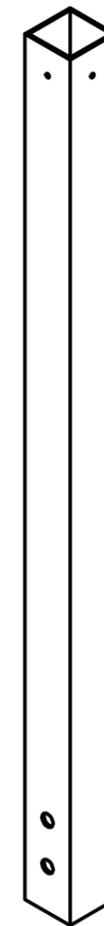
Diseño de G. Supervielle	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 10/02/2020
			Barra inferior soldada	
			Barra inferior soldada	Edición Hoja 6 / 6



1 : 2



Isométrico (1 : 10)



Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
Barra Telescópica			Edición	Hoja 1 / 1

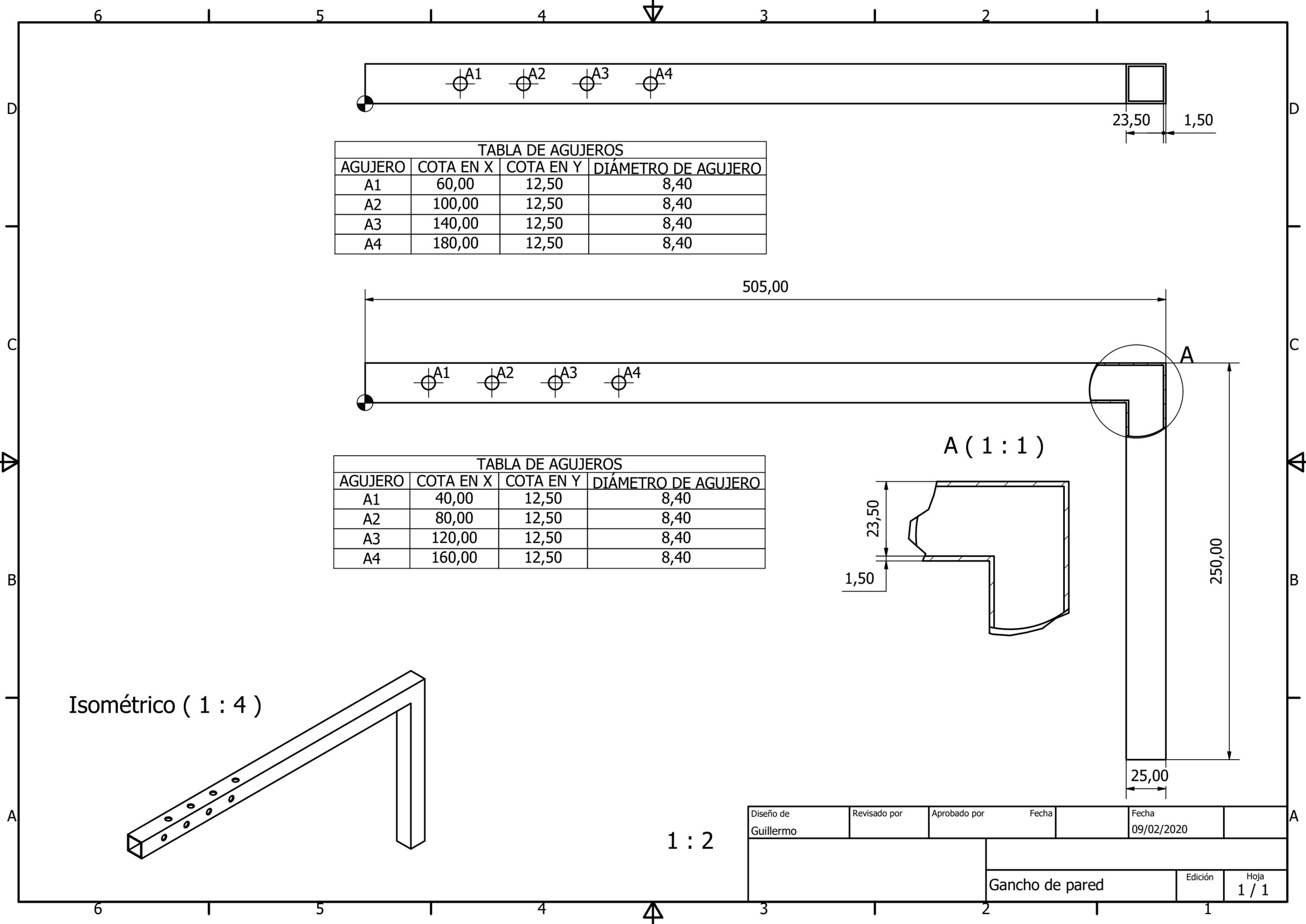
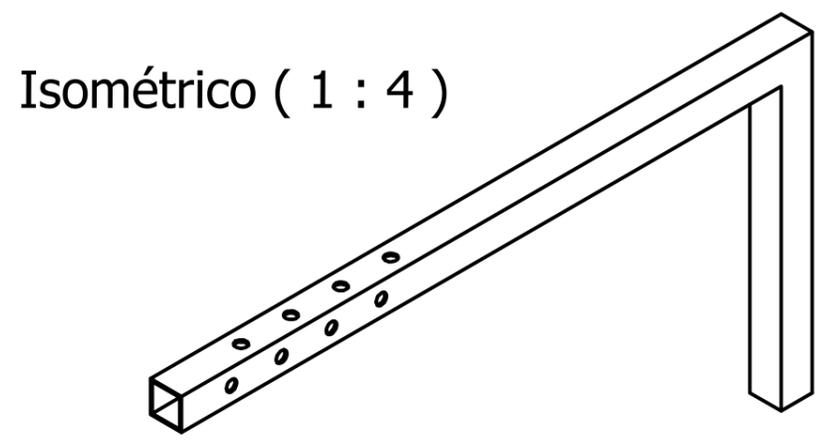
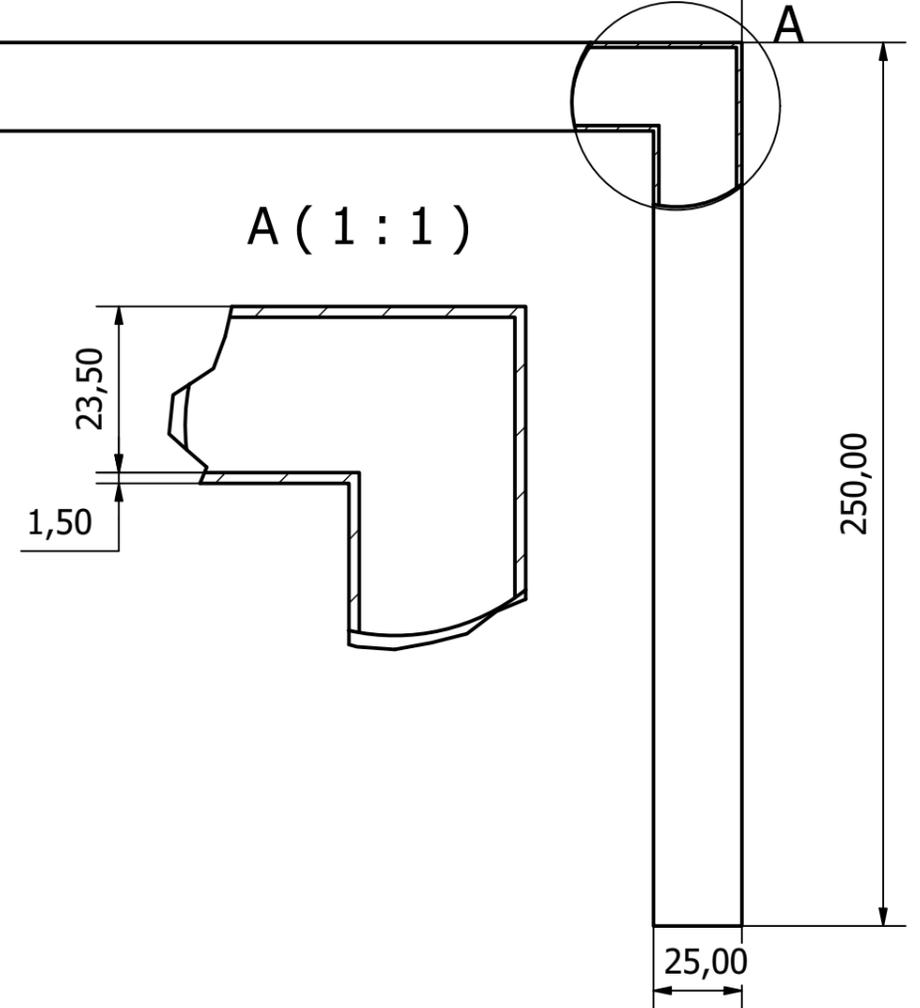


TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DIÁMETRO DE AGUJERO
A1	60,00	12,50	8,40
A2	100,00	12,50	8,40
A3	140,00	12,50	8,40
A4	180,00	12,50	8,40

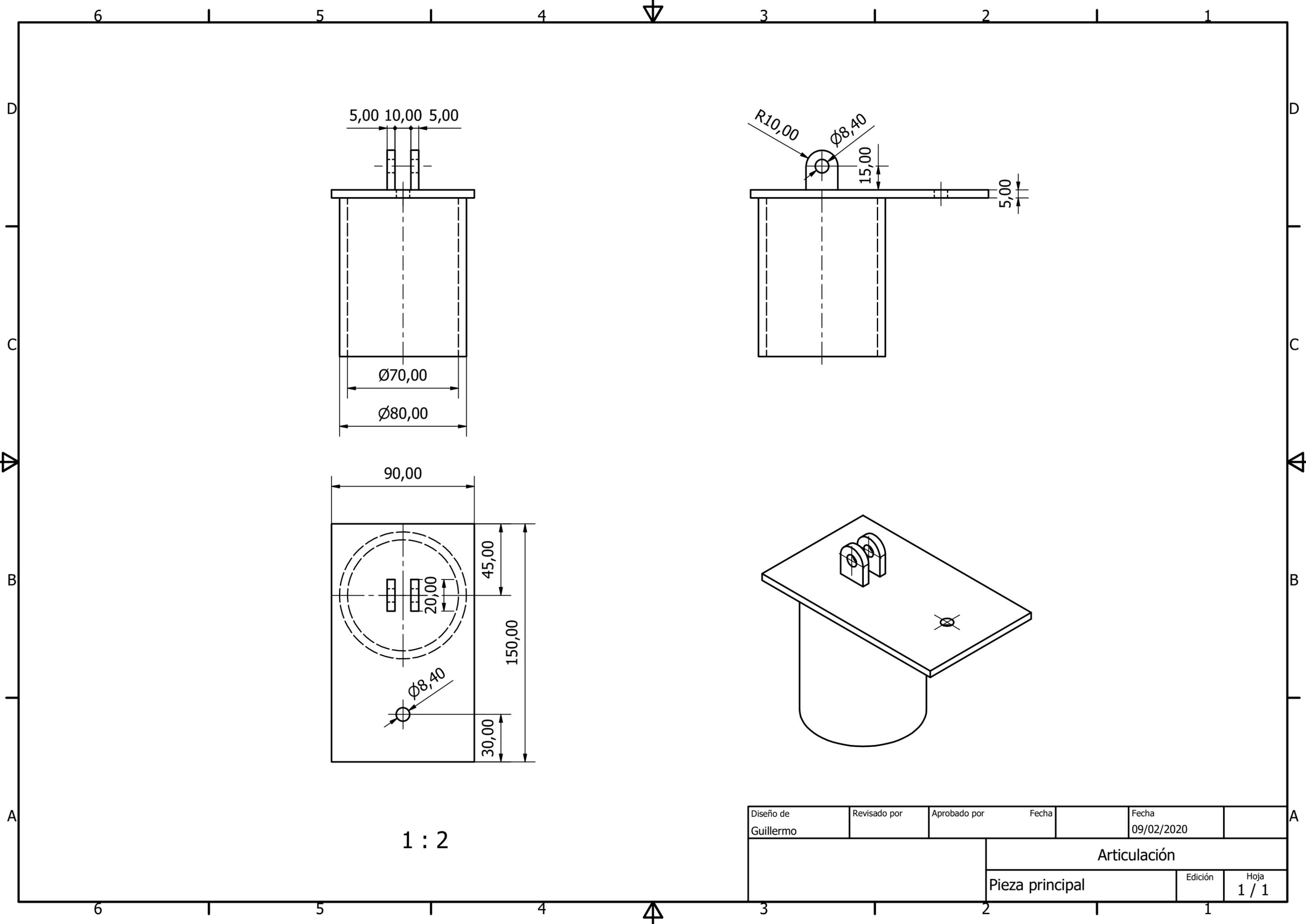
TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DIÁMETRO DE AGUJERO
A1	40,00	12,50	8,40
A2	80,00	12,50	8,40
A3	120,00	12,50	8,40
A4	160,00	12,50	8,40



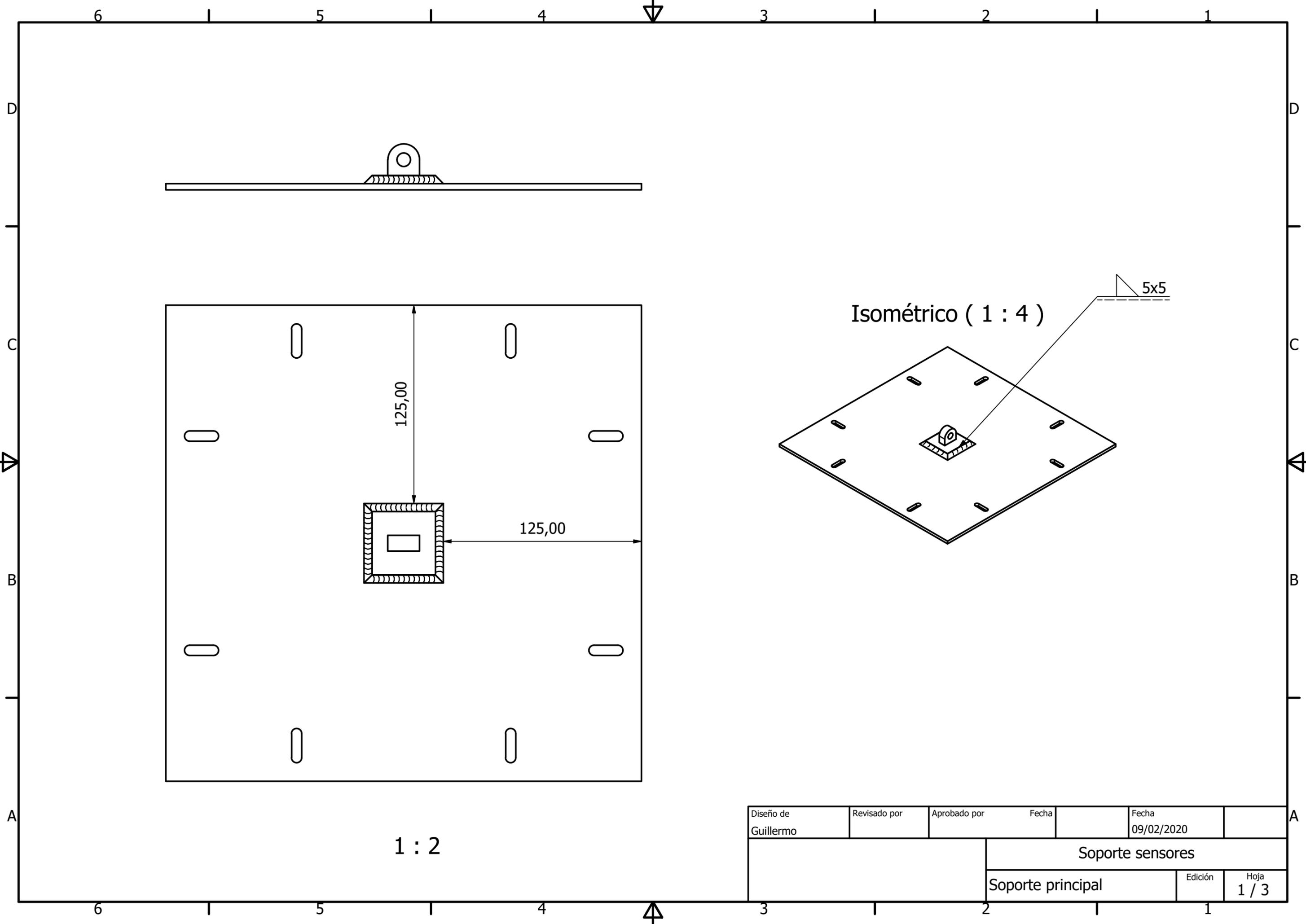
1 : 2

Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
			Edición	
			Hoja 1 / 1	

Gancho de pared



Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
			Articulación	
			Pieza principal	Edición 1 / 1

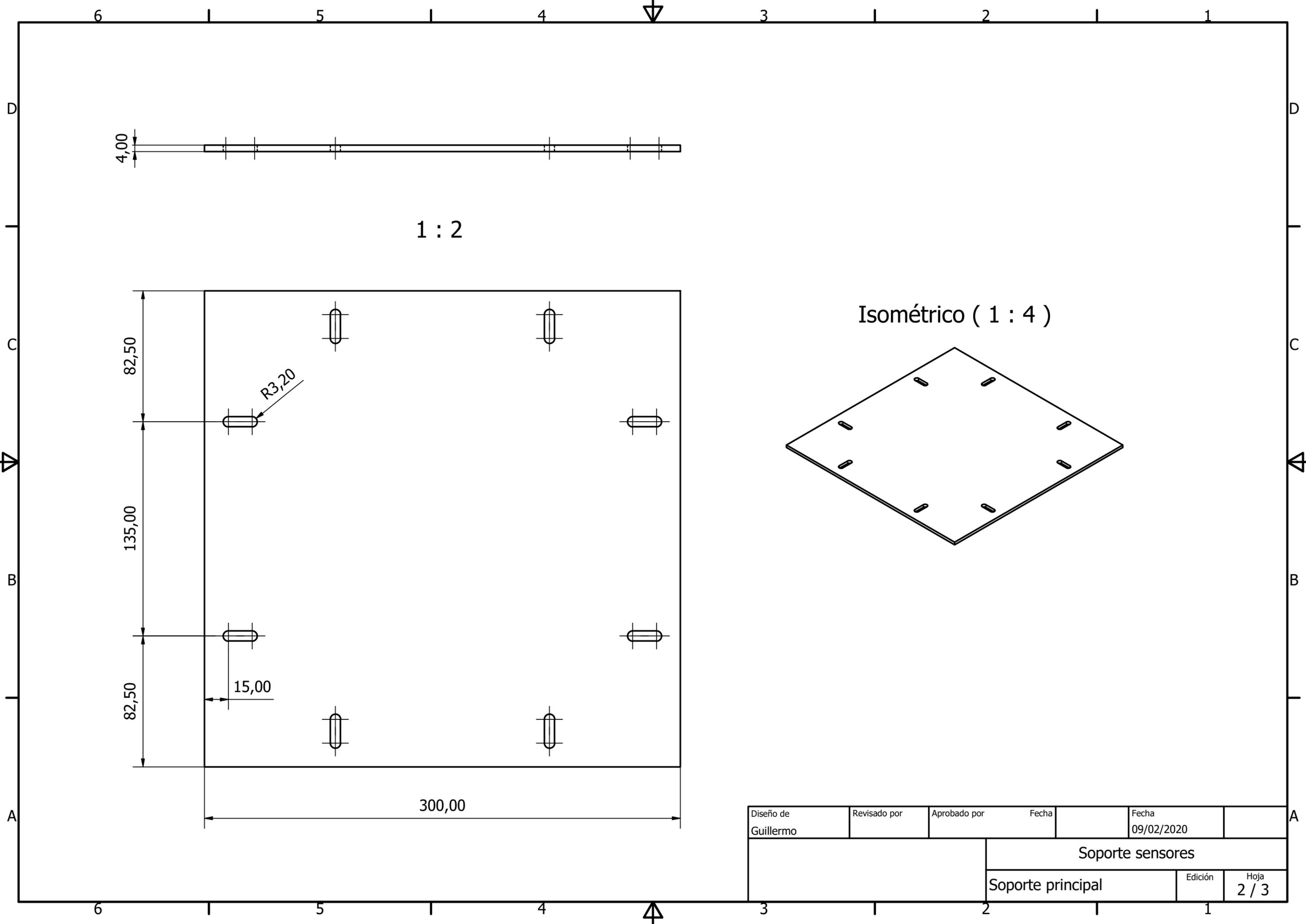


1 : 2

Isométrico (1 : 4)

5x5

Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
			Soporte sensores	
			Soporte principal	Edición 1 / 3



1 : 2

Isométrico (1 : 4)

4,00

82,50

135,00

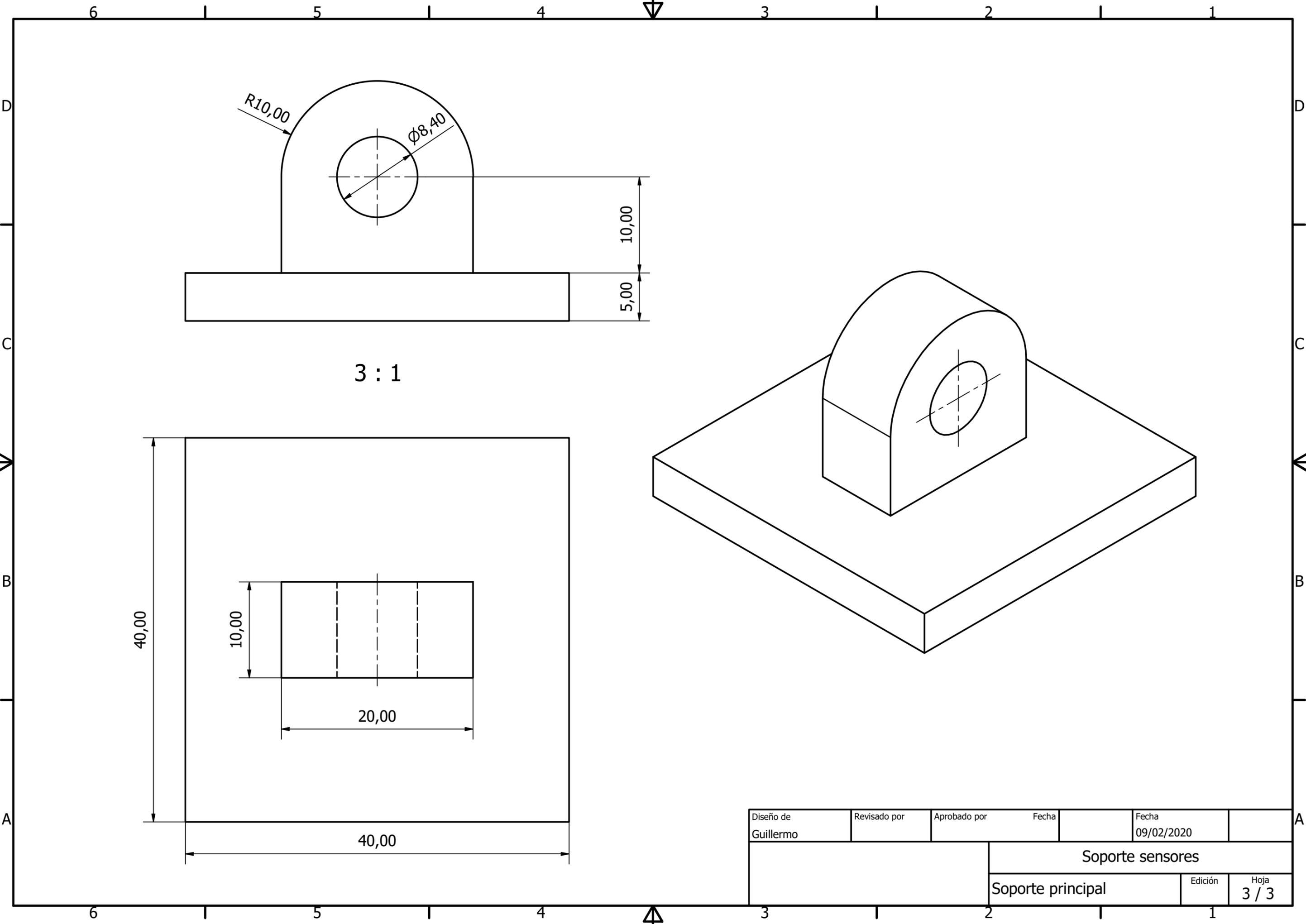
82,50

15,00

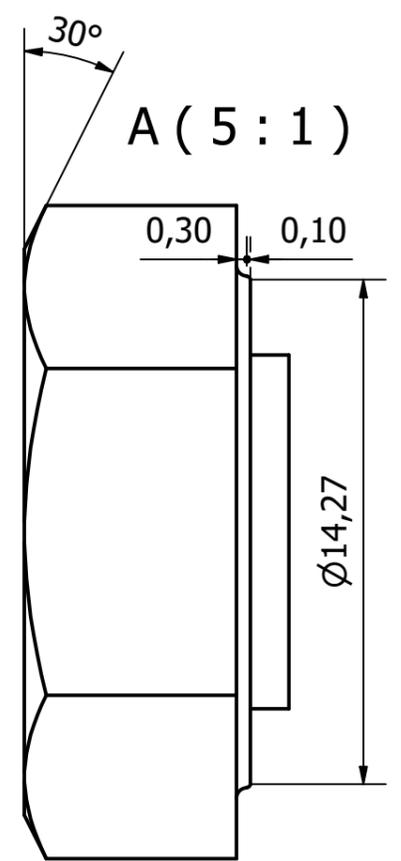
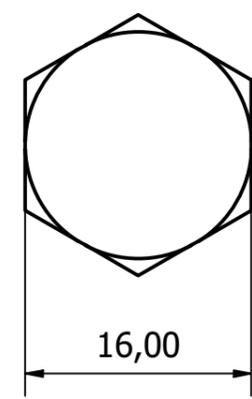
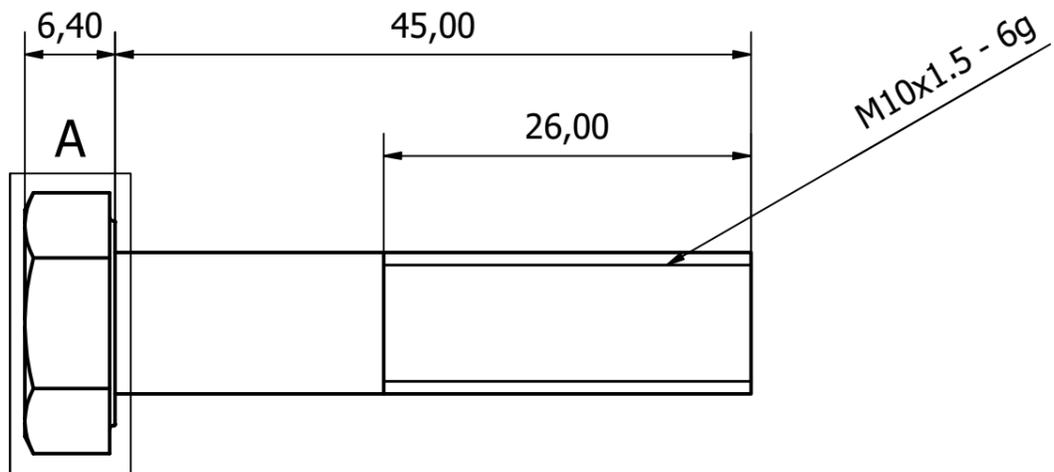
R3,20

300,00

Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
			Soporte sensores	
			Soporte principal	Edición Hoja 2 / 3



Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
			Soporte sensores	
			Soporte principal	Edición Hoja 3 / 3



Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(2 : 1)			Tornillería	
			Tornillo 1/2 M10x1.5x45	Edición Hoja 2 / 12

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

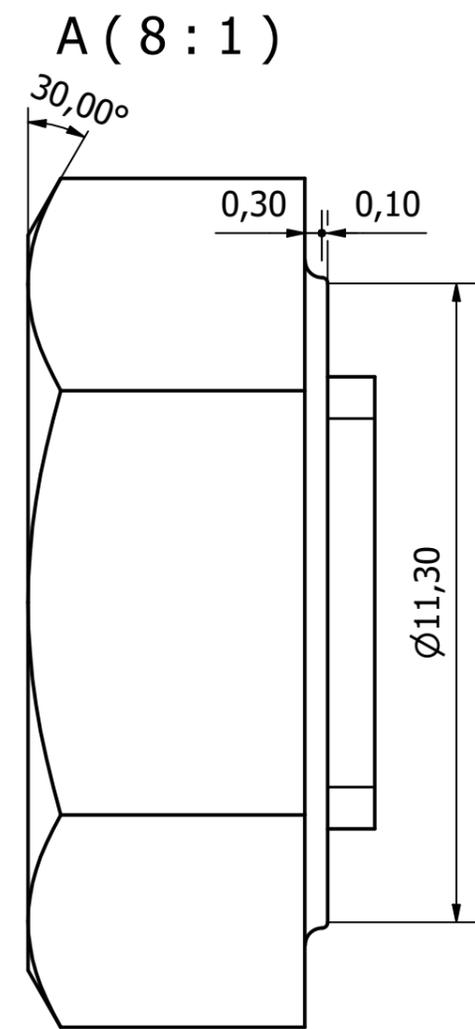
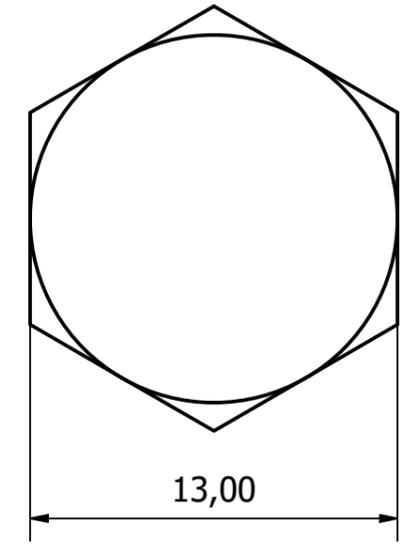
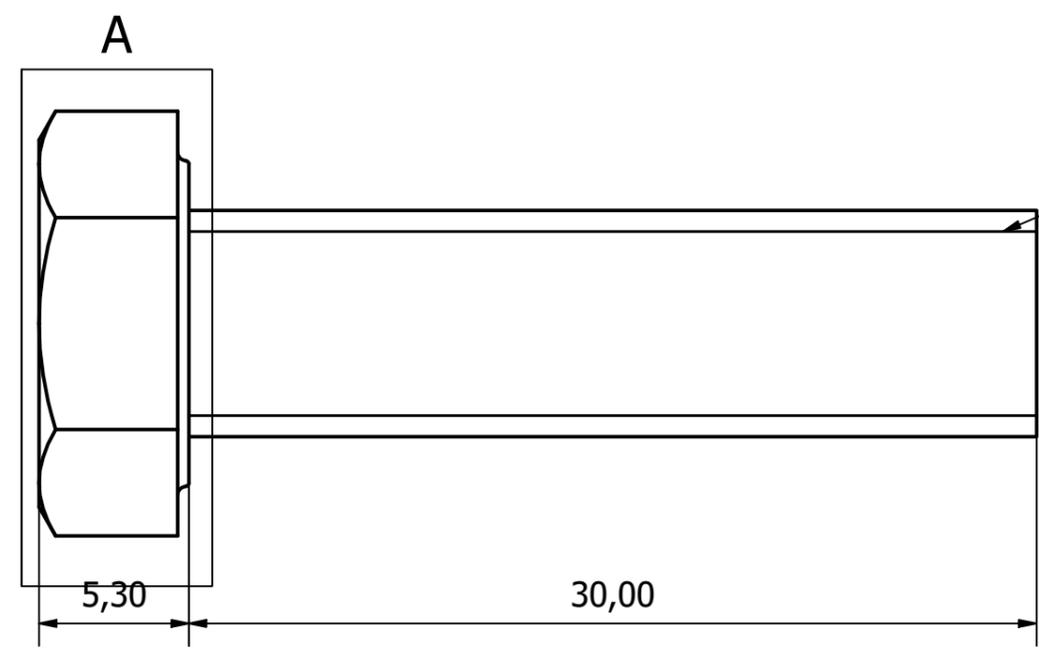
D D

C C

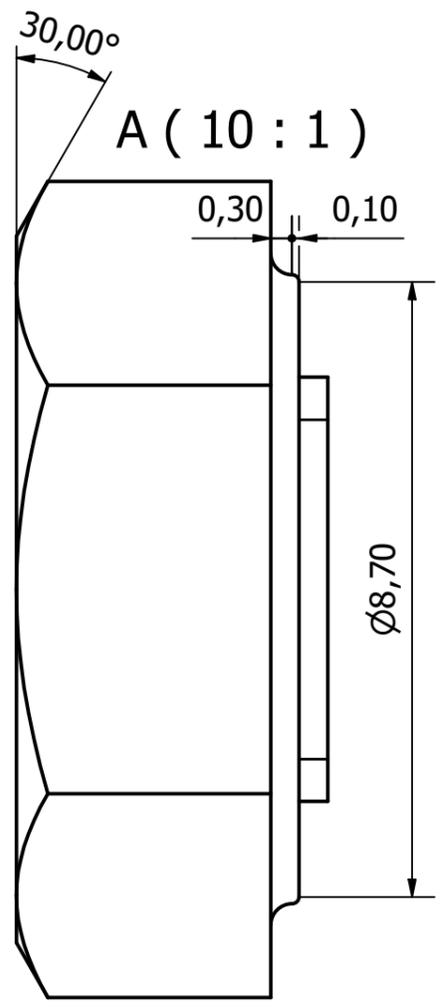
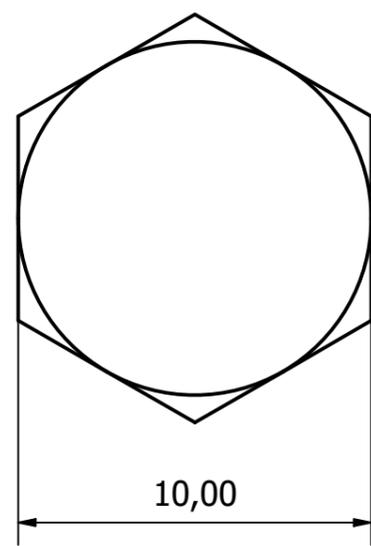
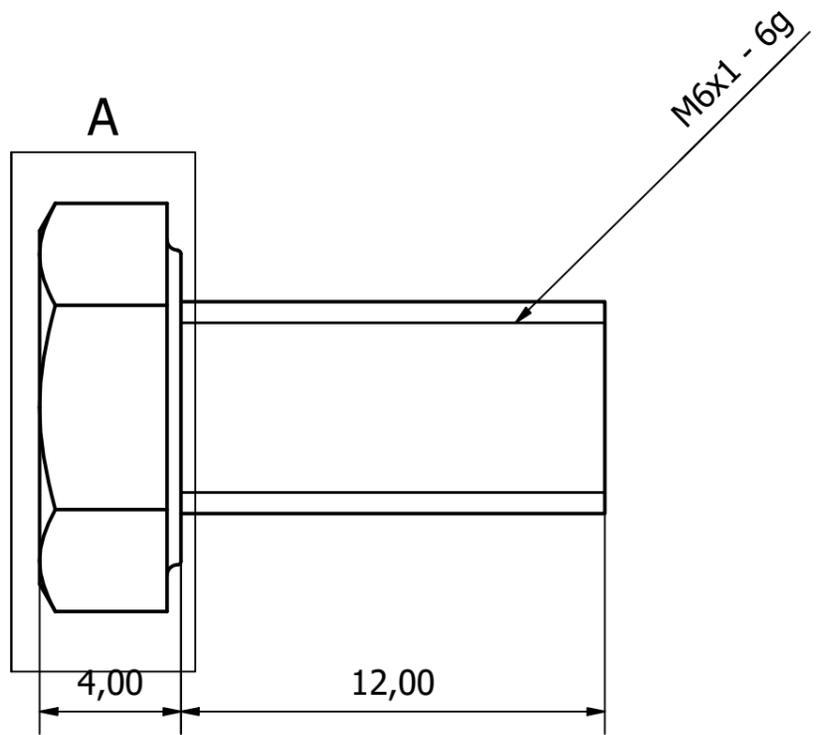
B B

A A

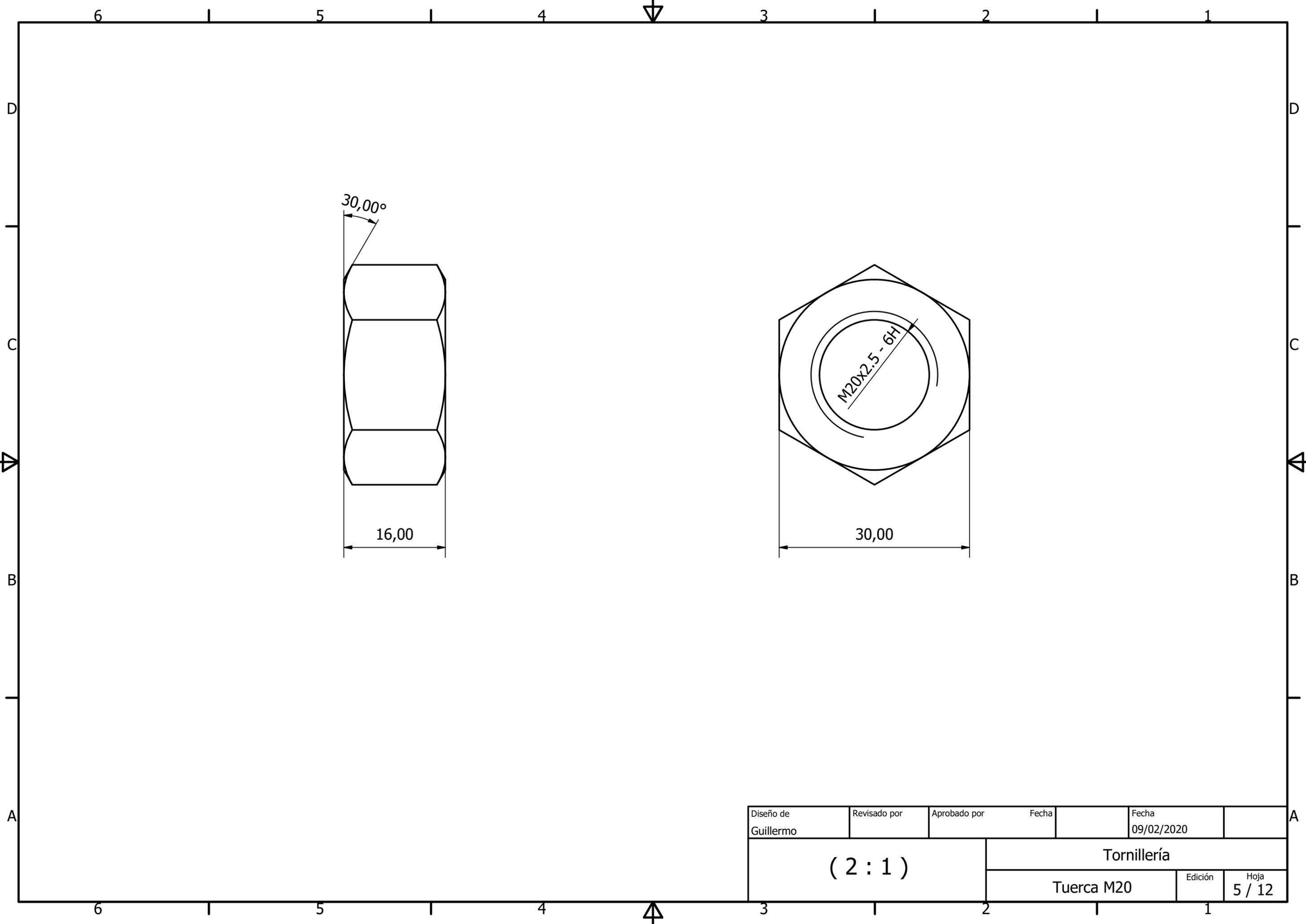
6 1 5 1 4 3 1 2 1 1



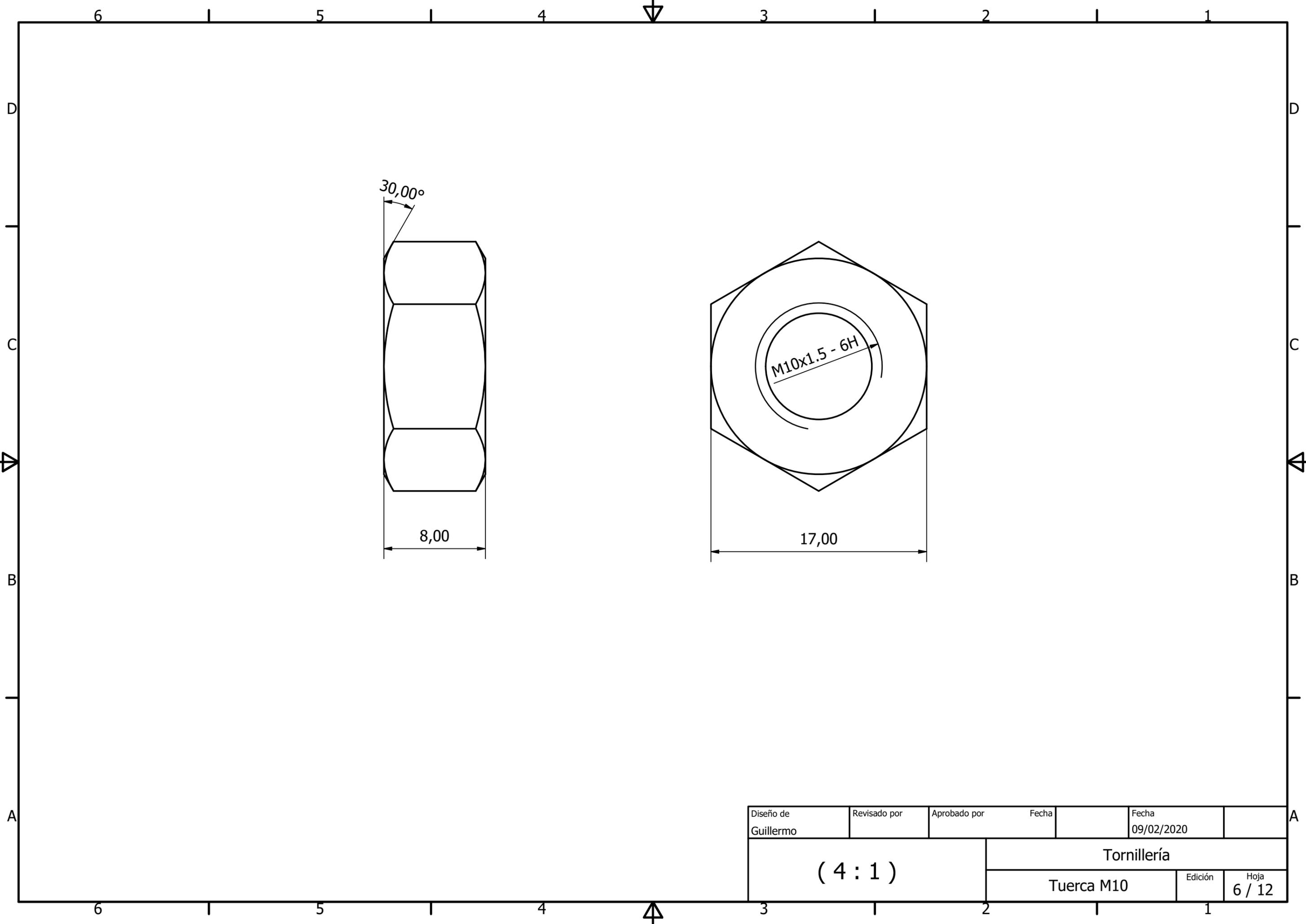
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(4 : 1)			Tornillería	
			Tornillo M8x1.25x30	Edición Hoja 3 / 12



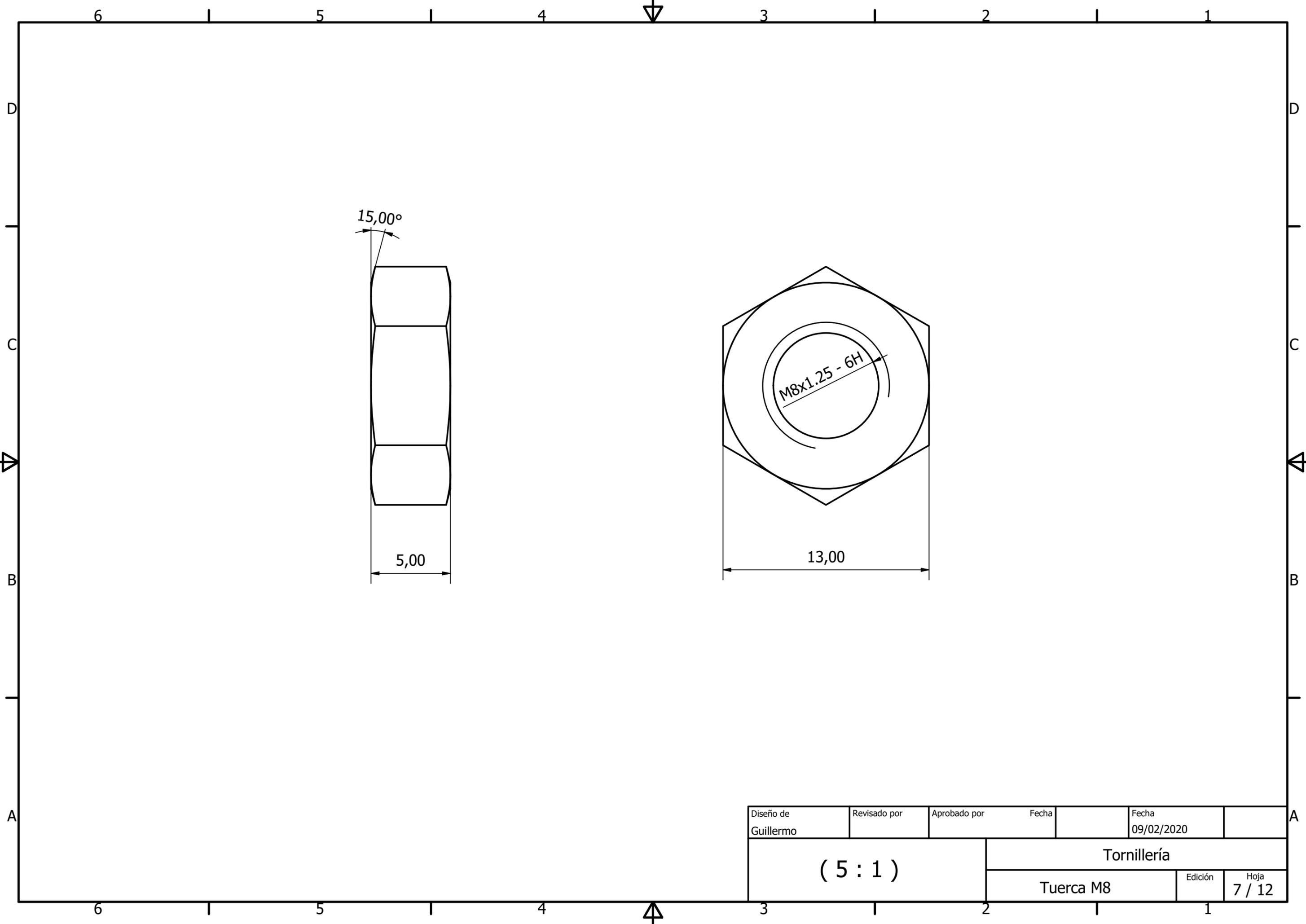
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(5 : 1)			Tornillería	
			Tornillo M6x1x12	Edición Hoja 4 / 12



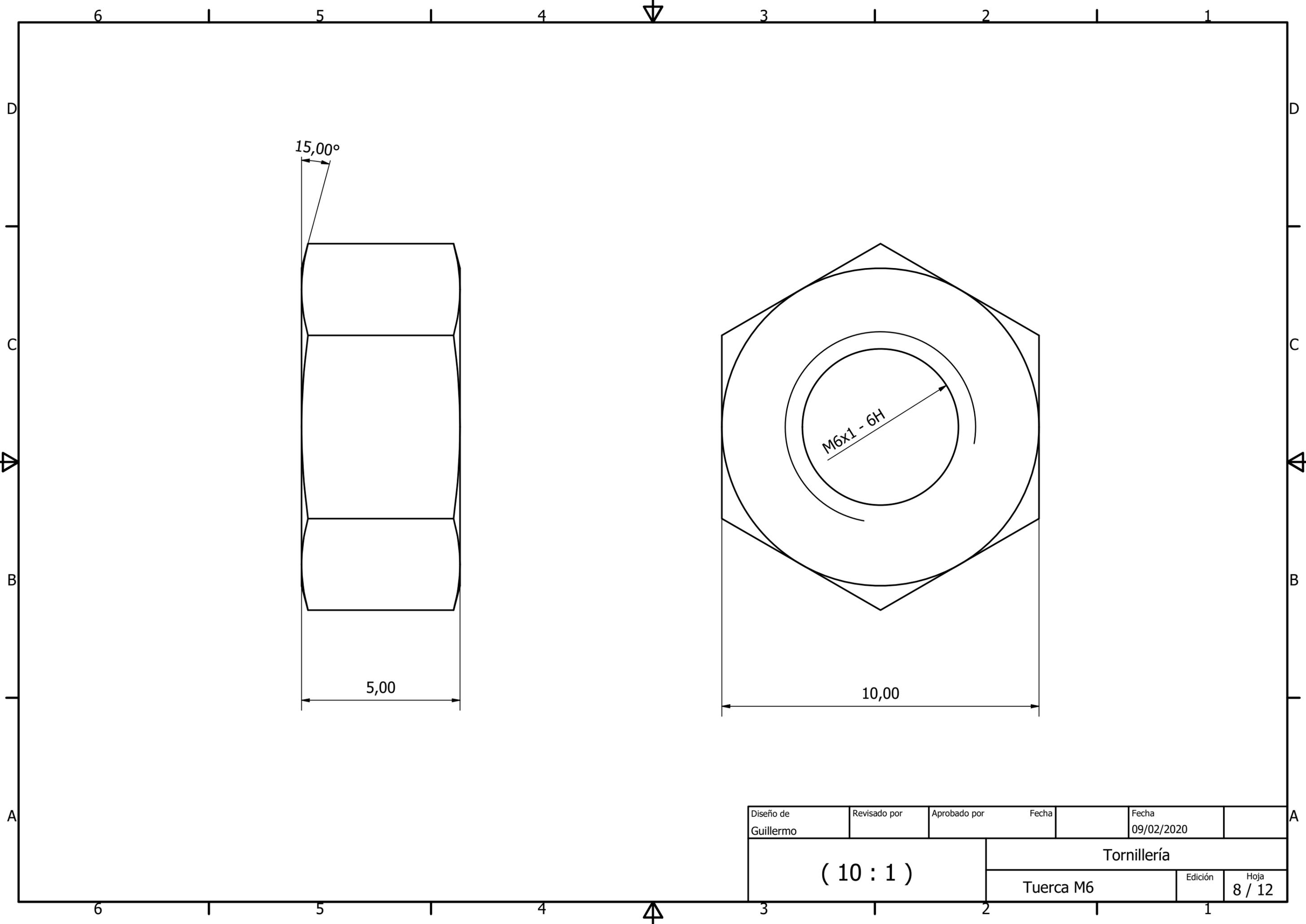
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(2 : 1)			Tornillería	
			Tuerca M20	Edición Hoja 5 / 12



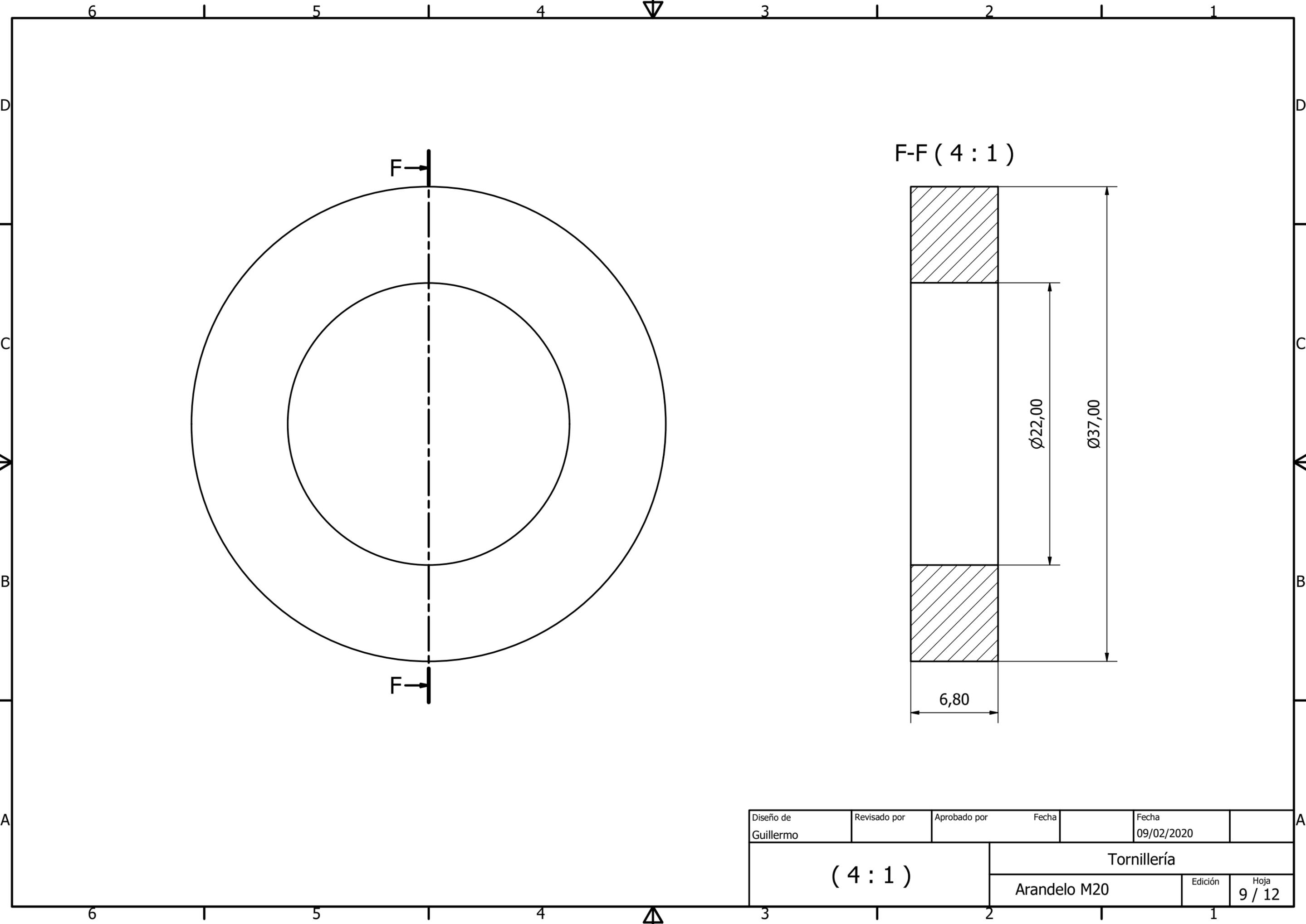
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(4 : 1)		Tornillería		
		Tuerca M10	Edición	Hoja 6 / 12



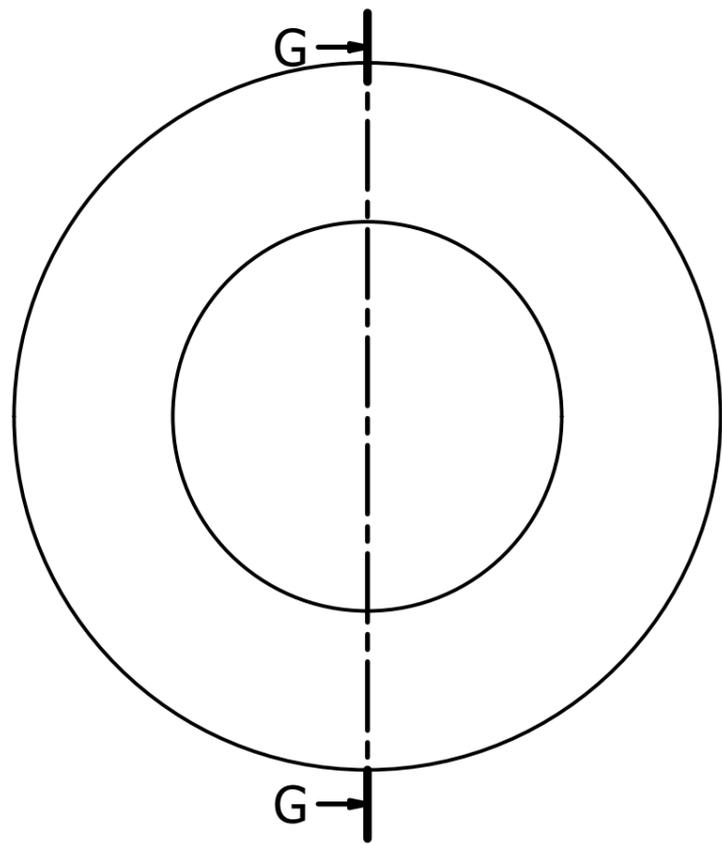
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(5 : 1)		Tornillería		
		Tuerca M8	Edición	Hoja 7 / 12



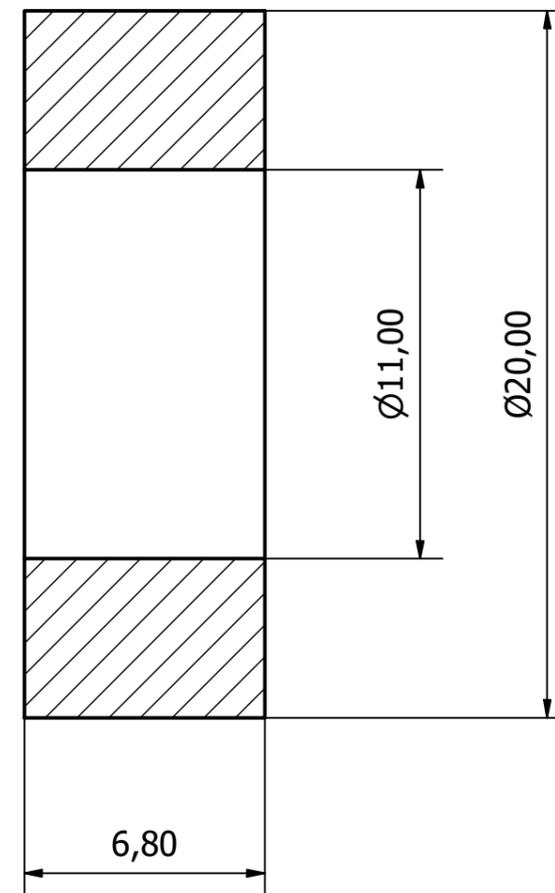
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(10 : 1)			Tornillería	
			Tuerca M6	Edición Hoja 8 / 12



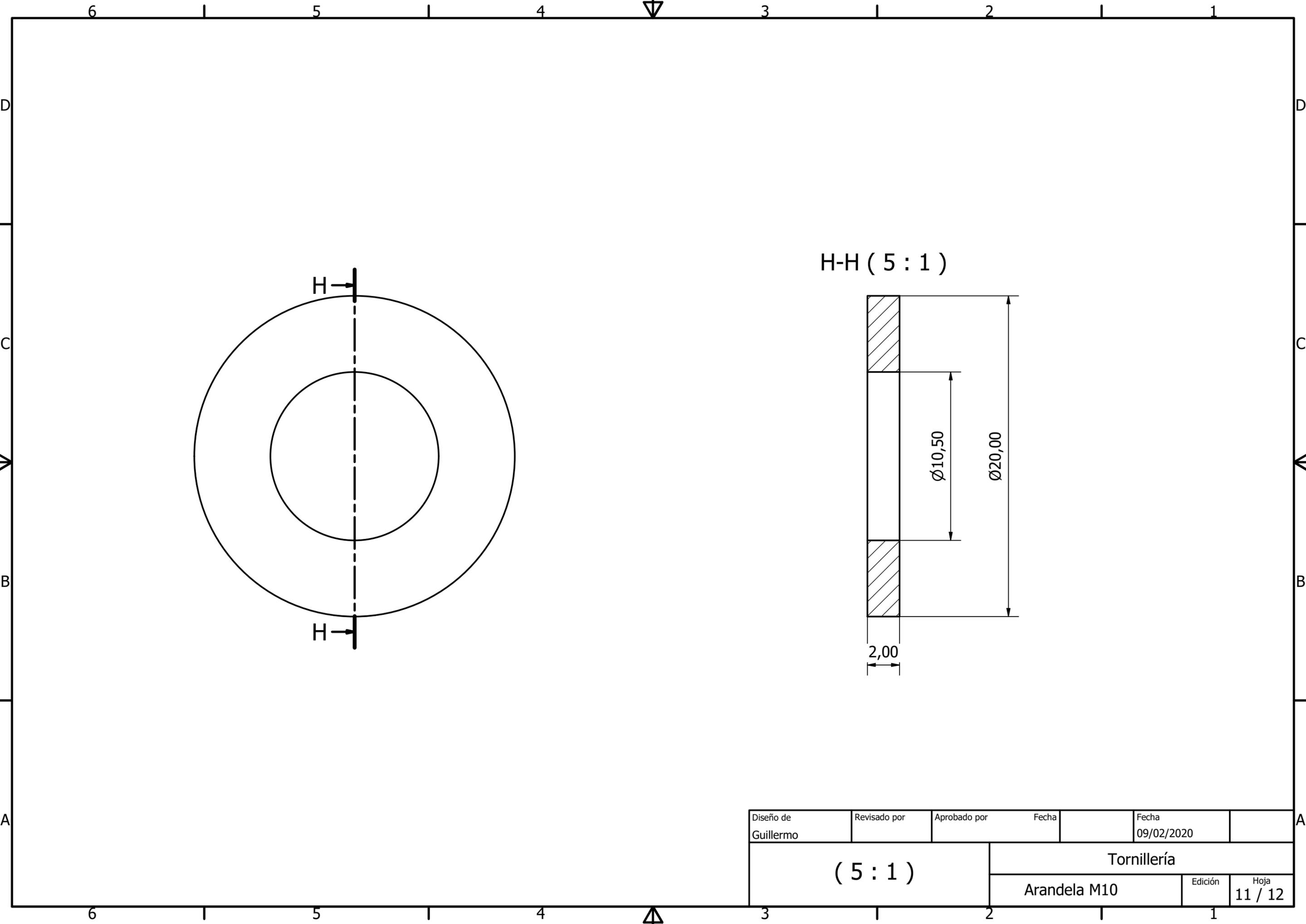
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(4 : 1)			Tornillería	
			Arandelo M20	Edición Hoja 9 / 12



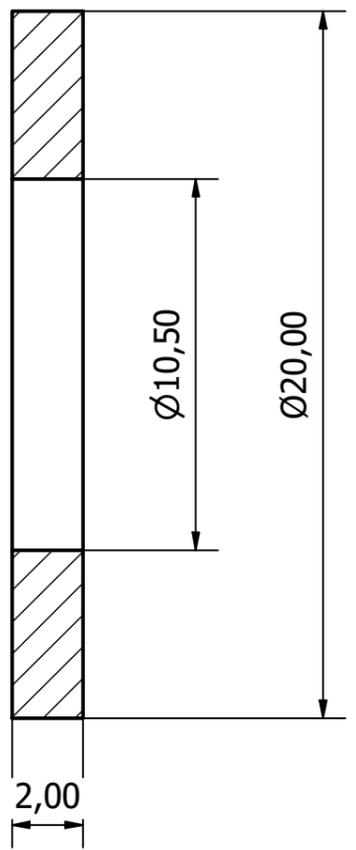
G-G (5 : 1)



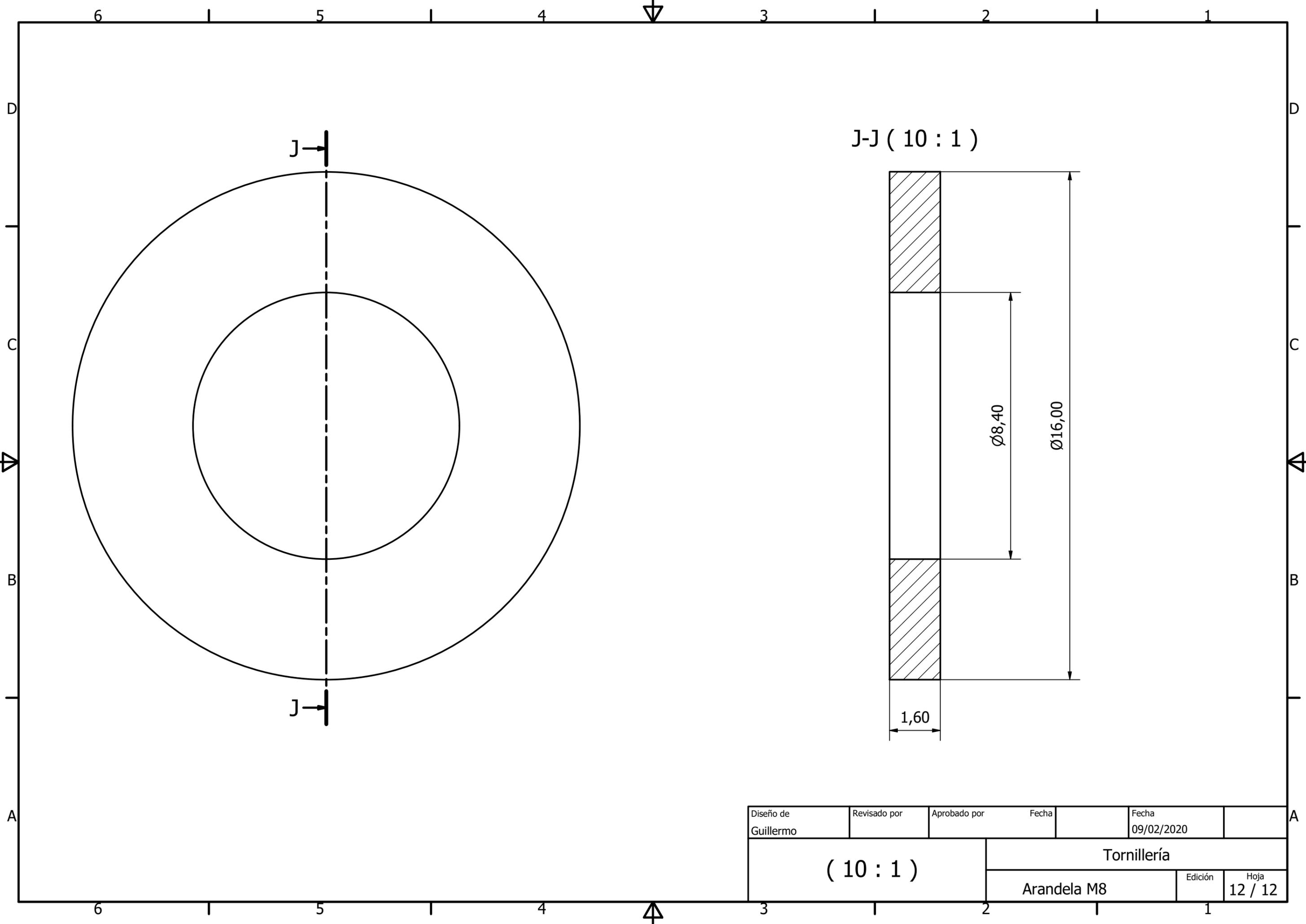
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(5 : 1)			Tornillería	
			Arandela M10x8	Edición Hoja 10 / 12



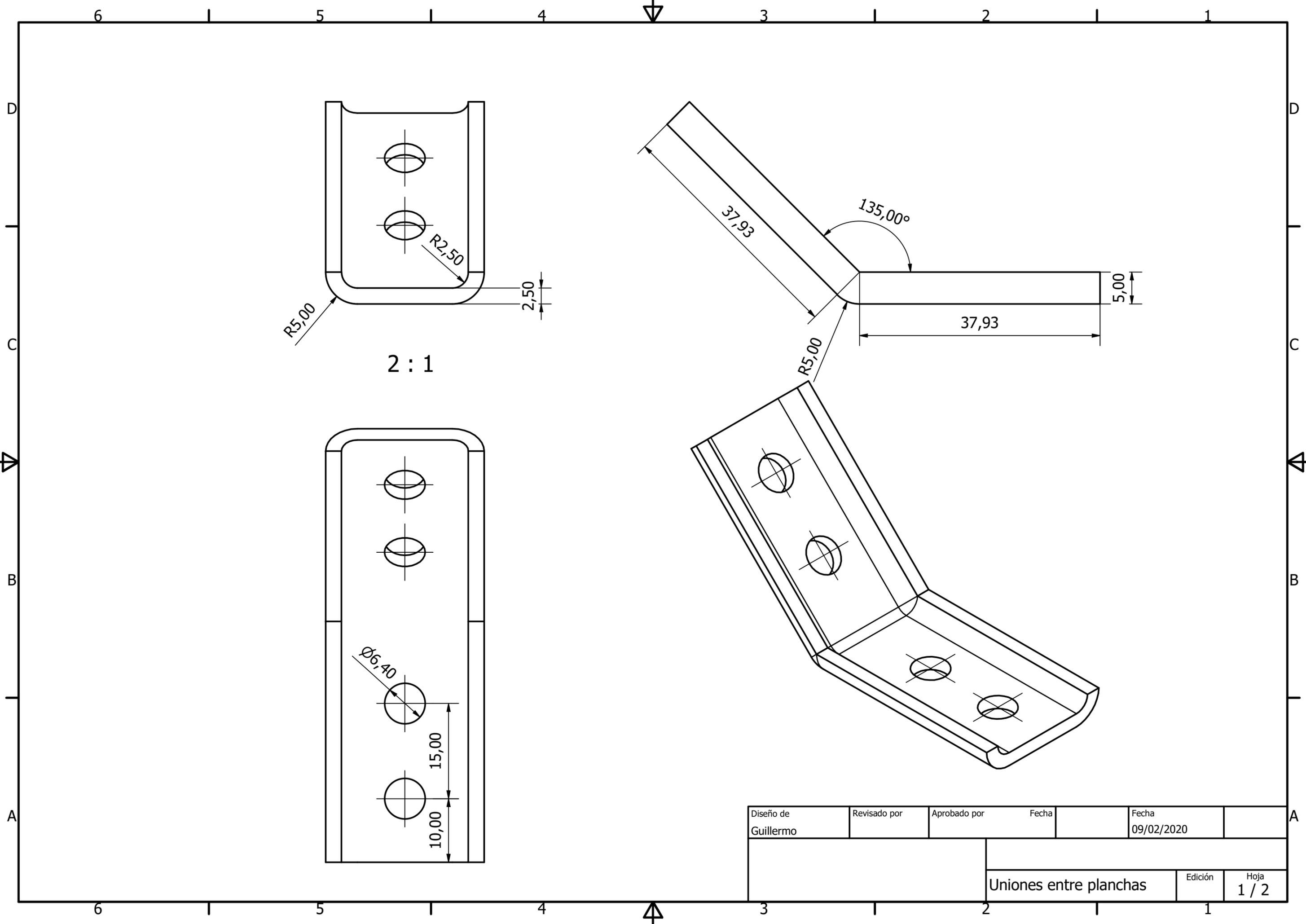
H-H (5 : 1)



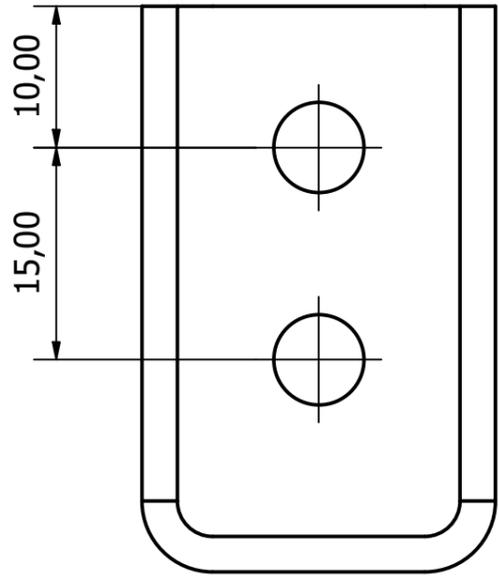
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(5 : 1)			Tornillería	
			Arandela M10	Edición Hoja 11 / 12



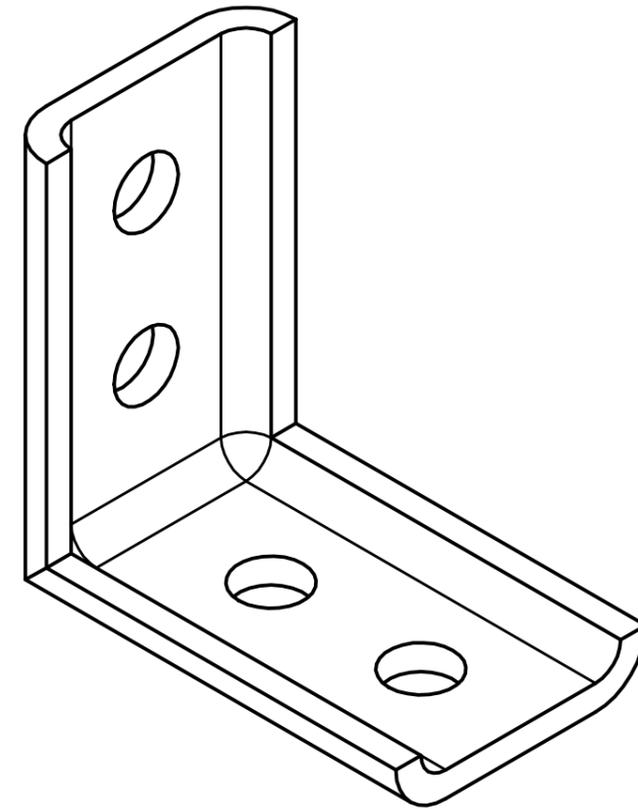
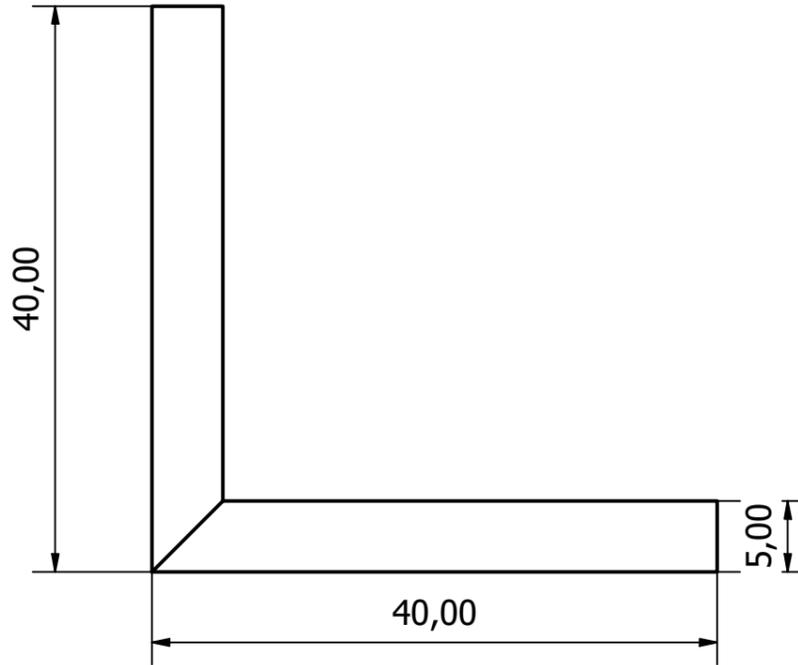
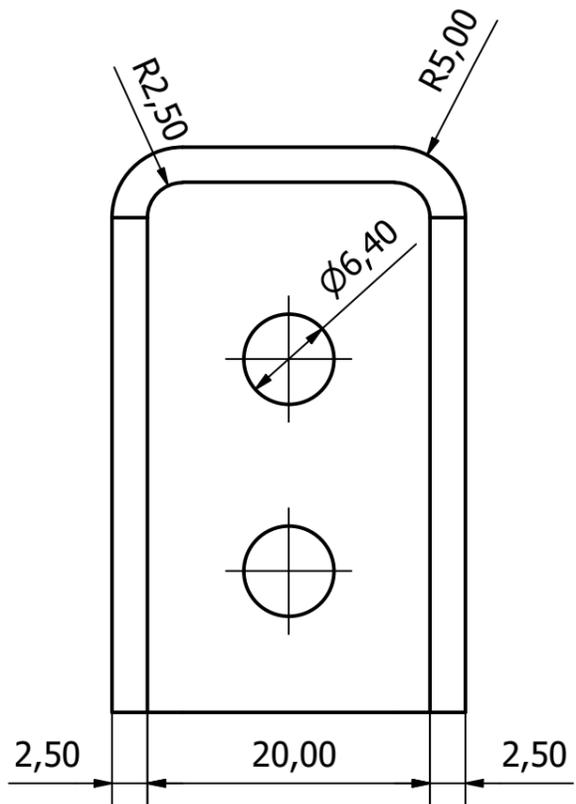
Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
(10 : 1)			Tornillería	
			Arandela M8	Edición 12 / 12



Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
			Uniones entre planchas	
			Edición	Hoja 1 / 2



2 : 1



Diseño de Guillermo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 09/02/2020
			Edición	Hoja 2 / 2
			Uniones entre planchas	