



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO OPTIMIZADO DE UN MÓDULO DE PASARELA INDUSTRIAL

Trabajo realizado por:

Ángel Moreno Gilar

Titulación:

Grado en Ingeniería Mecánica

Director del trabajo:

Pedro Efrén Martín Concepción

CURSO 2020/2021

VALENCIA, JULIO 2021



AGRADECIMIENTOS

Trasmitir mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han apoyado a lo largo de esta etapa y han colaborado en este trabajo.

En primer lugar, a mi tutor por su íntegra disposición a guiarme y ayudarme en todo el proceso de desarrollo del trabajo.

En segundo lugar, a mi familia, pareja y amigos que me han alentado a continuar hacia delante por el camino correcto.

Una mención especial a la empresa donde trabajo y en particular a mi jefe Miguel Moreno por cederme el tiempo necesario para la realización de este proyecto pese a la demanda de trabajo que hemos tenido.

Por último, expresar mi más sentido agradecimiento a la universidad Politécnica de Valencia por acogerme y ofrecerme una enriquecedora etapa que ha marcado mi futuro profesional de una manera tan beneficiosa.



RESUMEN

La optimización de recursos y procesos dentro de la industria es una labor necesaria para ser competitivo dentro del mercado. Este trabajo se adentra en la optimización de los materiales y procesos desde la etapa de diseño hasta la fabricación de un módulo de pasarela industrial. El producto se ha desarrollado mirando hacia un posible estocaje de éste con el fin de reducir los plazos de entrega y automatización del proceso de fabricación debido a que, en el mercado, las pasarelas industriales se suelen realizar a medida conllevando plazos más largos y sobrecostes en su producción.



ABSTRACT

The optimization of resources and processes within the industry is a necessary task to be competitive within the market. This work delves into the optimization of materials and processes from the design stage to the manufacture of an industrial walkway module. The product has been developed considering a possible storage of the latter in order to reduce delivery times and automatization of the manufacturing process because, in the market, industrial walkways usually are produced to fulfill all possible needs leading to longer periods and extra costs in their production.

ÍNDICE DEL TRABAJO

- Documento nº1: Memoria
- Documento nº2: Planos
- Documento nº3: Pliego de condiciones
- Documento nº4. Presupuesto
- Bibliografía

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

ÍNDICE

1. Objetivo	1
2. Antecedentes.....	1
3. Factores a considerar	1
3.1. Coste de producción	1
3.2. Materiales	2
3.2.1. Acero inoxidable	2
3.2.2. Acero galvanizado.....	4
3.2.3. Aluminio.....	6
3.2.4. Materiales compuestos	7
3.3. Normativa	7
3.3.1. Requisitos y dimensiones generales.....	7
3.3.1.1. Acceso seguro de los operadores	7
3.3.1.2. Dimensiones generales	8
3.3.2. Construcción y materiales	10
3.3.2.1. Guardacuerpos y rodapiés	10
3.3.3. Piso.....	12
3.3.4. Diseño y resistencia	12
3.3.4.1. Plataformas y pasarelas	12
3.3.4.2. Guardacuerpos	13
4. Solución adoptada	15
4.1. Dimensiones generales	15
4.2. Materiales	16
4.2.1. Estructura portante	16
4.2.2. Piso.....	19
4.2.3. Guardacuerpos	21
4.2.3.1. Barandilla.....	21
4.2.3.2. Rodapiés	23

4.2.4.	Uniones entre elementos	24
4.2.4.1.	Unión estructura portante	24
4.2.4.2.	Unión piso	26
4.2.4.3.	Unión barandilla	28
4.2.4.4.	Unión rodapié.....	31
4.2.4.5.	Unión entre módulos	31
5.	Cálculos y dimensionamiento.....	34
5.1.	Cálculos estructura portante	34
5.1.1.	Dimensionado de perfiles.....	34
5.1.2.	Dimensionado de las uniones.....	38
5.1.2.1	Dimensionado de la tornillería	38
5.1.2.2.	Dimensionado placas anclaje	44
5.2.	Cálculos piso	51
5.3.	Cálculos barandilla.....	53
5.3.1.	Ensayo en la posición 1.....	53
5.3.1.1	Ensayo en la posición 1 con carga F_u	53
5.3.1.1	Ensayo en la posición 1 con carga F_s	59
5.3.2.	Ensayo en la posición 2.....	60
5.3.2.1	Ensayo en la posición 2 con carga F_u	61
5.3.2.1	Ensayo en la posición 2 con carga F_s	61
5.3.3.	Dimensionado de anclaje barandilla – estructura portante	62
5.4.	Cálculos rodapié	65

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: GRÁFICA DE EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN PARA DISTINTOS ACEROS Y AMBIENTES	4
FIGURA 2: PASARELA DE PERFIL DE ALUMINIO ATORNILLADO.....	6
FIGURA 3: SECCIÓN DE ACCESO EN LAS PASARELAS	9
FIGURA 4: GUARDACUERPO SIN REDONDEAR.....	11
FIGURA 5: GUARDACUERPO REDONDEADO	11
FIGURA 6: MEDICIÓN DEL MONTANTE.	14
FIGURA 7: MEDICIÓN DEL PASAMANO.	15
FIGURA 8: MÓDULO DE PASARELA.	16
FIGURA 9: PERFIL DE ALUMINIO.	18
FIGURA 10: ESTRUCTURA PORTANTE.	18
FIGURA 11: CHAPA DE PROTECCIÓN.	20
FIGURA 12: PISO, EMPARRILLADO ELECTROSOLDADO DE GALVANIZADO.	21
FIGURA 13: BARANDILLA.	22
FIGURA 14: PASAMANOS.	23
FIGURA 15: RODAPIÉ ENSAMBLADO.	24
FIGURA 16: UNIÓN LARGUERO-TRAVESAÑO.	25
FIGURA 17: VISTA EXPLOSIONADA DE LA UNIÓN LARGUERO-TRAVESAÑO.....	26
FIGURA 18: VISTA EXPLOSIONADA DE CONJUNTO ATORNILLADO PARA EMPARRILLADO.....	27
FIGURA 19: UNIÓN PISO- ESTRUCTURA PORTANTE	27
FIGURA 20: UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS SUPERIOR.....	28
FIGURA 21: VISTA EXPLOSIONADA UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS SUPERIOR.....	29
FIGURA 22: UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS INFERIOR.....	30
FIGURA 23: UNIÓN BARANDILLA-LARGUERO.	31
FIGURA 24: UNIÓN PASAMANOS.	32
FIGURA 25: UNIÓN LARGUERO-MÓDULOS.	33
FIGURA 26: VISTA EXPLOSIONADA UNIÓN LARGUERO-MÓDULOS	33
FIGURA 27: ESTADO DE CARGA LARGUERO	35
FIGURA 28: SOLICITACIONES VIGA BIAPROYADO.	37
FIGURA 29: ESQUEMA UNIÓN ATORNILLADA TRAVESAÑO - LARGUERO.	41
FIGURA 30: ESQUEMA UNIÓN ATORNILLADA MÓDULOS.....	43
FIGURA 31: PROPIEDADES ACERO GALVANIZADO DX51D+Z275.....	44
FIGURA 32: FIJACIONES "GEOMETRÍA FIJA"	45
FIGURA 33: APLICACIÓN DE CORTANTE.	46
FIGURA 34: APLICACIÓN DE MOMENTO.	46
FIGURA 35: MALLADO BASADO EN CURVATURA.....	47
FIGURA 36: TENSIONES SEGÚN EL CRITERIO DE VON MISES EN LA UNIÓN LARGUERO-TRAVESAÑO.....	48
FIGURA 37: APLICACIÓN DE CARGA REMOTA	49
FIGURA 38: FIJACIÓN "RODILLO".....	49

FIGURA 39: TENSIÓN DE VON MISES EN LA UNIÓN LARGUERO-MÓDULOS DE 4MM DE ESPESOR.	50
FIGURA 40: TENSIÓN DE VON MISES EN LA UNIÓN LARGUERO-MÓDULOS DE 8MM DE ESPESOR	51
FIGURA 41: OPERACIÓN LÍNEA DE PARTICIÓN.	54
FIGURA 42: GEOMETRÍA DE REFERENCIA "PUNTO"	55
FIGURA 43: APLICACIÓN DE MATERIAL A LOS COMPONENTES "ALUMINIO 3.3206.72"	56
FIGURA 44: CONDICIONES DE CONTORNO; ENSAYO POSICIÓN 1.	57
FIGURA 45: CONTROL DE MALLADO EN LÍNEA DE PARTICIÓN.....	58
FIGURA 46: RESULTADO DE LA FECHA EN ENSAYO POSICIÓN 1 APLICANDO FU.	58
FIGURA 47: COPIAR ESTUDIO.	59
FIGURA 48: TENSIÓN DE VON MISES EN ESTUDIO POSICIÓN 1 APLICANDO FS.	60
FIGURA 49: CONDICIONES DE CONTORNO ENSAYO POSICIÓN 2.	60
FIGURA 50: RESULTADO DE LA FECHA EN ENSAYO POSICIÓN 2 APLICANDO FU.	61
FIGURA 51: TENSIÓN DE VON MISES EN ENSAYO POSICIÓN 2 APLICANDO FS.	62
FIGURA 52: SOLICITACIONES VIGA EMPOTRADA.....	62
FIGURA 53: VISTA DE ALZADO DE UNIÓN BARANDILLA- LARGUERO.....	63
FIGURA 54: VISTA LATERAL UNIÓN BARANDILLA- LARGUERO.....	64
FIGURA 55: TENSIÓN DE VON MISES EN UNIÓN BARANDILLA-LARGUERO.....	65
FIGURA 56: NUMERACIÓN DE RANURAS DE LA MATRIZ.....	66
FIGURA 57: PARÁMETROS DE PLEGADO.....	66
FIGURA 58: DIMENSIONES DEL RODAPIÉ.....	67
FIGURA 59: CHAPA DESPLEGADA DE RODAPIÉ.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PROPIEDADES DE LOS ACEROS AISI 304 Y AISI 316.....	3
TABLA 2: ACEROS GALVANIZADOS	5
TABLA 3: TIPOS DE ACERO GALVANIZADO	5
TABLA 4: PROPIEDADES MECÁNICAS ALUMINIO.....	6
TABLA 5: PRECIOS DE MERCADO	17
TABLA 6: CARACTERÍSTICA PERFILES DE ALUMINIO.	34
TABLA 7: RESISTENCIA FRENTE A CORTADURA SIMPLE SEGÚN MÉTRICA Y CALIDAD.....	39
TABLA 8: RESISTENCIA A CORTADURA DOBLE SEGÚN MÉTRICA Y CALIDAD.	40
TABLA 9:RESISTENCIA A TRACCIÓN Y COMPRESIÓN SEGÚN MÉTRICA Y CALIDAD.....	40
TABLA 10: TABLA DE CARGAS EMPARRILLADO.....	52

1. Objetivo

El objetivo de este proyecto es el diseño y fabricación de un módulo de pasarela industrial de uso restringido, el cual pueda ser ensamblado a más módulos para crear una pasarela funcional. En el diseño de éste se prioriza la optimización de costes de producción.

2. Antecedentes

Una pasarela es un componente esencial dentro de una fábrica, normalmente metálico, cuya función es facilitar el acceso a ciertas zonas para la manipulación o mantenimiento de maquinaria fija. La definición que aporta la norma sobre pasarela es: “Superficie inclinada o a distinto nivel utilizada para desplazarse de un punto a otro” (ISO-14122-2, 2016)

Usualmente la fabricación de pasarelas se hace a medida, contando con las restricciones espaciales del lugar donde va a ser situada. Por ello, no existe un stock dentro de una fábrica. Este hecho hace que desde el encargo de una pasarela hasta su instalación en la fábrica se demore más tiempo que si existiera un stock y únicamente hubiera que fabricar a medida ciertas partes de la pasarela como son las terminaciones y las escaleras.

Los materiales más usados para la fabricación de las pasarelas son los tubos huecos de acero inoxidable, acero galvanizado y perfiles de aluminio. En general materiales resistentes a la corrosión con propiedades estructurales.

3. Factores a considerar

3.1. Coste de producción

Los costes de producción son uno de los factores que más condicionan el diseño de la pasarela debido a que, en este proyecto, se prioriza la reducción de estos. Dentro de los costes de producción se engloban conceptos como las horas de mano de obra, tanto directa como indirecta, los costes de los materiales utilizados y mermas¹ y los gastos referidos a la utilización de máquinas, como por ejemplo, la sierra mecánica o el grupo de soldadura.

¹ Material desechado debido a la producción de retales de materia prima en la fabricación de ciertas piezas.

3.2. Materiales

Las pasarelas están formadas por tres partes claramente diferenciadas, las cuales son: estructura portante, piso y guardacuerpos². Los materiales con los que son fabricados estos componentes son mencionados en los siguientes apartados.

3.2.1. Acero inoxidable

El AISI 304 (EN 1.4301) y AISI 316 (EN 14404) son los aceros más populares de la serie 300, son austeníticos y presentan una resistencia frente a ambientes corrosivos gracias a su contenido en cromo y níquel. La diferencia entre ambos, obviando su precio ya que el 316 es considerablemente más caro, es su composición. El acero AISI 316 posee un mayor contenido en níquel y molibdeno que el 304, lo que le otorga unas mejores propiedades ante ambientes corrosivos, especialmente en ambientes marinos y en presencia de cloruro. Sus densidades rondan los $7,9 \text{ g/m}^3$ y sus módulos de elasticidad 193 MPa. La tabla 1 detallan las propiedades técnicas de estos aceros inoxidables.

² Dentro del término guardacuerpo se incluyen las barandillas, rodapiés y en general las partes de las pasarelas cuya función sea proteger al usuario.

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300		
		Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI	304	316	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm ³)	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x10 ⁶ C ⁻¹)	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	1398/1454	1371/1398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm (N/mm ²)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (N/mm ²)	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A ₅) MIN (%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL (J/cm ²)	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C (N/mm ²)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C (N/mm ²)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C σ _{1/10⁶} /t (N/mm ²)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	
	RECOCIDO INDUSTRIAL (OC)	10081120	10081120	
	TEMPLADO	NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL (C)	1200 / 925	1200 / 925	
OTRAS PROPIEDADES	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE	925 / 840	925 / 840	
	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112	45%	45%	
	EMBUTICIÓN	MUY BUENA	BUENA	

* Son aceptables tolerancias de un 1%

Tabla 1: Propiedades de los aceros AISI 304 y AISI 316

Las propiedades de los aceros inoxidable que son vinculantes para este proyecto son las propiedades mecánicas y el comportamiento ante corrosión debido a que la estructura sustentante de la pasarela tiene una función estructural y, además se puede dar el caso en diversas industrias de que el ambiente al que esté sometido la pasarela sea corrosivo. Las características mecánicas se tendrán en cuenta a una temperatura cercana a 20 °C debido a que se da por supuesto que se encontrará en un ambiente donde los operarios trabajan de una manera óptima. Si nos fijamos en la tabla anterior (véase tabla 1) se puede observar que las propiedades mecánicas de ambos aceros (a 20 °C) son similares, sin embargo, donde difieren estos dos aceros inoxidable es en las propiedades corrosivas. La siguiente gráfica (véase figura 1) obtenida en la norma ISO 9223:2012 muestra la durabilidad de distintos materiales, entre ellos los aceros

anteriormente nombrados junto con aceros galvanizados, expuestos a distintos ambientes de corrosión.

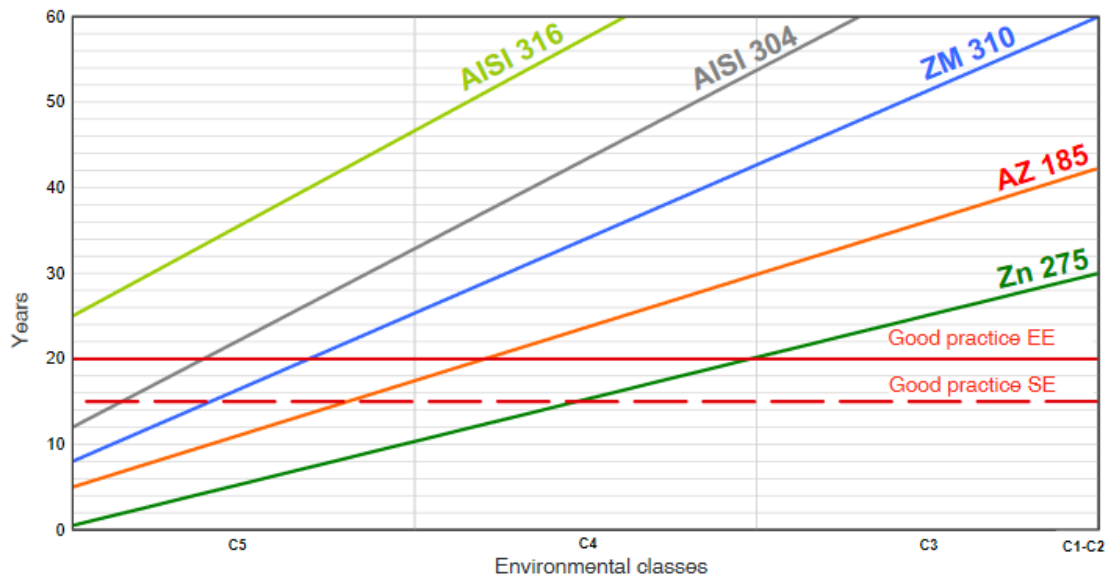


Figura 1: Gráfica de evolución de la corrosión para distintos aceros y ambientes

De manera resumida, la norma determina que:

C1: Es un ambiente con poca contaminación y humedad.

C2: Es un ambiente donde hay pequeñas variaciones de temperatura y relativa humedad.

C3: Es un ambiente con una moderada contaminación y condensación.

C4: Ambientes industriales con contaminación y alta condensación.

C5: Ambientes con una frecuente contaminación y elevada condensación.

Como muestra la figura anterior el acero AISI 316 presenta una mayor durabilidad ante los distintos ambientes corrosivos que el acero AISI 304. Sin embargo, el acero AISI 304 tiene un comportamiento considerablemente mejor en cuanto a durabilidad que el acero galvanizado (Zn 275), Aluzinc (AZ 185) y el recubrimiento de Magnelis (ZM310).

3.2.2. Acero galvanizado

Es una aleación de hierro carbono tratado con una serie de capas externas de zinc y otras aleaciones, que le proporcionan una protección contra rayaduras y ambientes corrosivos. La densidad de este acero depende de la clase³ de recubrimiento aplicado,

³ La clase del acero galvanizado hace referencia al espesor de la capa final de zinc aplicado.

variando desde la clase A con una densidad de 7,83 g/m³, hasta 7,78 g/m³ para la clase C.

Dentro de los aceros galvanizado existe una disparidad de propiedades mecánicas debido al uso de distintos aceros para la aplicación de los tratamientos superficiales. En la siguiente tabla se muestran las propiedades mecánicas de los aceros galvanizados más comunes.

Nomenclatura			Propiedades mecánicas		
Clasificación simbólica	Clasificación numérica	Norma Europea (EN)	Límite elástico [MPa]	Resistencia a tracción [MPa]	Alargamiento A ₈₀ %min
DX51D	1.0226	EN 10346	140-250	270-500	22
DX52D	1.0350	EN 10346	140-300	270-420	26
DX53D	1.0355	EN 10346	140-260	270-380	30
DX54D	1.0306	EN 10346	120-220	260-350	36
DX56D	1.0322	EN 10346	120-180	260-350	39

Tabla 2: Aceros galvanizados

En la tabla 2 se muestran una serie de tratamientos en caliente de recubrimiento de zinc sobre el acero, existe una gama más amplia de espesores de la capa externa de zinc, sin embargo, para el diseño de la pasarela es más que suficiente con este rango.

Designación EN 10326	Peso recubrimiento Ambas caras (g/m ²)	Espesor del recubrimiento Por cara (µm)
Z200	200	14
Z225	225	16
Z275	275	20
Z350	350	25
Z450	450	31
Z600	600	42
Z725	725	51

Tabla 3: Tipos de acero galvanizado

Además de recubrimientos de zinc también existen otros tratamientos como los recubrimientos de aluminio-zinc (AZ) , zinc-aluminio (ZA) y Magnelis. Este último consta de una capa externa e interna de Zinc, aluminio y magnesio. Este acero al carbono con este tipo de recubrimiento tiene un comportamiento considerablemente mejor frente a la corrosión de los aceros galvanizados con zinc y con aluminio-zinc (Véase figura 1).

3.2.3. Aluminio

Es un material caracterizado por su ligereza y resistencia a corrosión. La densidad de este material es de $2,7 \text{ g/m}^3$ y su módulo elástico se encuentra alrededor de 65 GPa, variando según aleaciones. De todas sus aleaciones se hace hincapié en la serie 6000 debido a que es la usada para realizar perfiles estructurales. En esta serie el aluminio está aleado con magnesio y silicio, por ello goza de unas mejores propiedades mecánicas orientadas al uso estructural.

Las aleaciones 6061 y 6063 son las más usadas para fabricación de perfiles de aluminio extruido. Ambas aleaciones poseen los mismos materiales aleantes, sin embargo, no en la misma proporción. El aluminio 6061 posee una mayor cantidad de silicio y magnesio, lo que le otorga propiedades más sólidas, óptimas para el mecanizado y la soldabilidad. Por otra parte, la aleación 6063 es más indicada para procesos de anodizado, proporcionándole un mejor comportamiento para la construcción civil y estructuras arquitectónicas, tales como escaleras y pasarelas atornilladas (véase figura 2).



Figura 2: Pasarela de perfil de aluminio atornillado

Las propiedades mecánicas de las aleaciones anteriormente nombradas se muestran en la siguiente tabla.

	Aluminio 6061 T6 ⁴	Aluminio 6063 T6
Módulo de Young	68,9 GPa	69.5 GPa
Límite elástico	276 MPa	210 MPa
Resistencia a tracción	310 MPa	245 MPa
Resistencia a fatiga	96.5	73

Tabla 4: Propiedades mecánicas aluminio

⁴ T6: Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Son designados de esta forma los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura (moldeo o extrusión) no son endurecidos en frío, sino que sufren un envejecimiento artificial.

En cuanto a la resistencia a corrosión, el aluminio goza de un buen comportamiento debido a la formación, de manera espontánea, de la capa de alúmina generada al entrar este material en contacto con la atmosfera. Esta capa de aluminio, que envuelve en su totalidad a la pieza con un espesor del orden de 0.01 micras, se encarga de impedir el avance del óxido.

3.2.4. Materiales compuestos

En reducidos casos se han fabricado pasarelas de perfiles de pultrusión. Este material compuesto, formado por fibra de vidrio y una resina termoestable, goza de una alta ligereza ($1.8-2.0 \text{ g/cm}^3$) y resistencia, además de una óptima resistencia frente a corrosión. Por otro lado, la utilización de este material supone un elevado coste de fabricación.

3.3. Normativa

La normativa que regula el diseño e instalación de una pasarela queda recogida en la Norma ISO 14122:2017 *“Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanentes a máquinas”*

La Norma aclara que: “Esta parte de la Norma ISO 14122 da requisitos generales para el acceso a las máquinas fijas y orientaciones para la selección correcta de los medios de acceso cuando, siendo necesario el acceso a la máquina fija, no es posible realizarlo directamente desde el nivel de la base o desde una planta o piso” (ISO-14122-1, 2016).

3.3.1. Requisitos y dimensiones generales

La Norma ISO 14122-2 de 2017 recoge en ella una serie de condiciones que velan por la seguridad y su correcto diseño para mejorar el uso de las pasarelas al operario. En este apartado se han agrupado los puntos relevantes que condicionan el diseño.

3.3.1.1. Acceso seguro de los operadores

Las pasarelas y plataformas de trabajo deben diseñarse y construirse de manera que puedan utilizarse con toda seguridad. En particular, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Las pasarelas y plataformas de trabajo deben diseñarse y construirse de manera que las superficies de paso tengan propiedades antideslizantes duraderas.
- b. Las partes de la máquina por las que los operadores tiene que pasar o en las que tienen que estar deben diseñarse y acondicionarse con el fin de evitar que las personas se caigan de ellas (Esto queda aclarado en la Norma ISO 14122-3 y en este documento en el apartado 3.3.2.)
- c. Las plataformas de trabajo y el acceso a las plataformas de trabajo deben diseñarse de manera que los operadores puedan abandonar rápidamente su lugar de trabajo

en caso de peligro o se les pueda ayudar rápidamente y evacuar fácilmente si es necesario.

3.3.1.2. Dimensiones generales

La longitud y anchura libres de las pasarelas y plataformas de trabajo destinadas al manejo y mantenimiento deben determinarse en función de:

- a. los requisitos de la tarea; por ejemplo, posiciones, naturaleza y velocidad del movimiento, fuerza aplicada, etc.;
- b. que los operadores lleven o no herramientas, piezas de repuesto, etc.;
- c. la frecuencia y duración de la tarea y la utilización;
- d. el número de operadores y equipos utilizados que puedan estar al mismo tiempo sobre la pasarela o plataforma de trabajo;
- e. la posibilidad de que se encuentren los operadores;
- f. que los operadores lleven o no otros equipos, ropa de protección u otros equipos de protección individual;
- g. la presencia de obstáculos aislados;
- h. una pasarela sin salida;
- i. paredes susceptibles de dañar o manchar la ropa de los operadores;
- j. la necesidad de realizar movimientos de trabajo sin restricción y la necesidad de espacio durante la utilización de las herramientas previstas.

De acuerdo con los valores mencionados en las Normas ISO 15534-1 e ISO 15534-3, y, al menos que se den circunstancias excepcionales, la altura libre mínima entre el techo y la plataforma de trabajo y las pasarelas debe de ser de 2100 mm (véase figura 3). Si hay restricciones de espacio, la figura 3 ofrece las dimensiones para garantizar un espacio libre adecuado en la zona de alrededor de la cabeza.

Si un obstáculo (por ejemplo, una tubería) cruza la pasarela a la altura de la cabeza, la altura libre mínima, h , puede reducirse hasta 1900 mm. Se deben proporcionar medidas tales como acolchamientos y señales de advertencia.

La anchura libre w , de una pasarela debe ser ≥ 800 mm (véase figura 3).

Si la pasarela se utiliza con frecuencia para que pasen o se crucen simultáneamente varias personas, la anchura libre w , debe aumentarse al menos a 1000 mm.

Dependiendo del diseño de la máquina, el entorno, o el uso ocasional, por ejemplo, menos de 30 días al año y menos de dos horas al día, la anchura libre, w , puede reducirse de 800 mm a 600 mm (véase figura 3).

Cualquier obstrucción, tal como tuberías o canalizaciones eléctricas dispuestas a lo largo de las pasarelas a la altura h de la cabeza, o a nivel del piso acabado, no deben reducir la anchura disponible a menos de 500 mm (véase figura 3).

La anchura de una pasarela diseñada como vía de escape debe cumplir los requisitos de los reglamentos específicos para este tipo de aplicación.

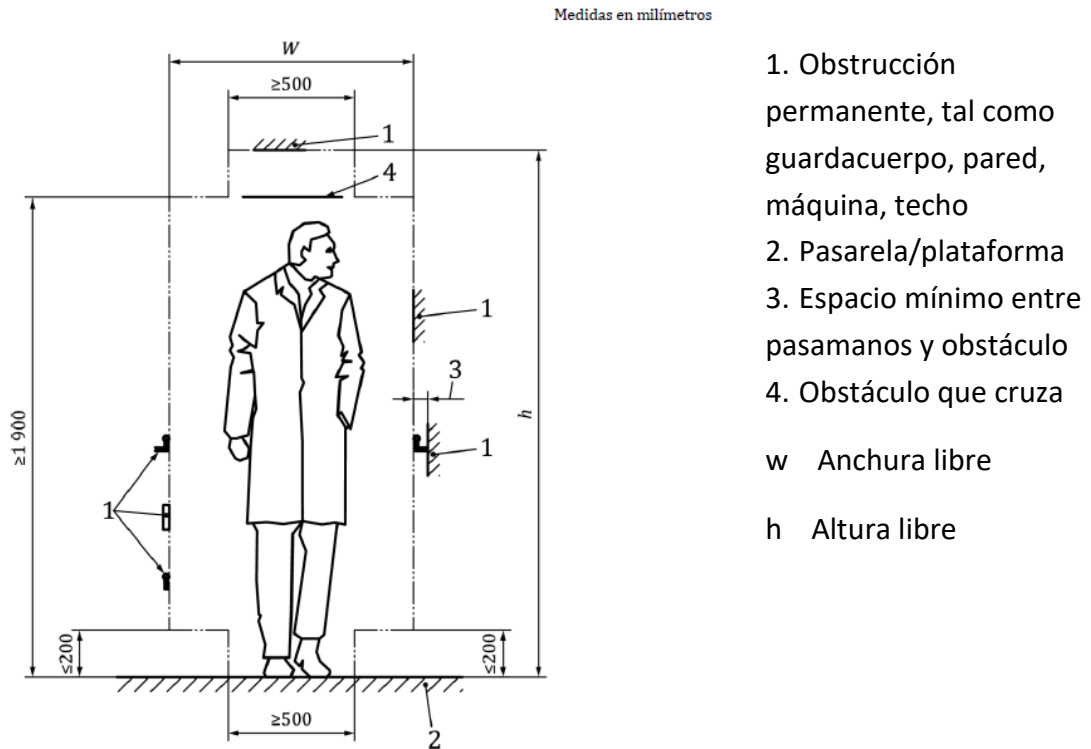


Figura 3: Sección de acceso en las pasarelas

3.3.2. Construcción y materiales

La norma estipula que las pasarelas han de diseñarse priorizando la seguridad de los operarios, por ello se debe evitar la posibilidad de caídas de objetos utilizando para ello guardacuerpos y rodapiés. Además, aclara que se debe poder retirar cualquier parte de las máquinas contiguas a las pasarelas sin necesidad de desmontar las barreras de protección permanente⁵.

3.3.2.1. Guardacuerpos y rodapiés

La Norma ISO 14122-3 de 2017 en su apartado 7 “*Requisitos específicos aplicables a los guardacuerpos*” recoge las condiciones en las que han de ser instalados guardacuerpos y la manera de hacerlo.

- a. Si la altura de la posible caída es superior a 500mm, se debe instalar un guardacuerpo.
- b. Se debe instalar un guardacuerpo si la separación entre una plataforma y la estructura de una máquina o una pared es superior a 180 mm o si la protección de la estructura no es equivalente a un guardacuerpo. No obstante, se debe instalar una placa de base o un rodapié si la separación ente la plataforma y la estructura adyacente es superior a 20 mm.
- c. La altura mínima del guardacuerpo debe de ser 1100 mm. La altura del pasamano debe ser ≤ 1100 mm. El pasamano debe ser paralelo a la línea de la huella.
- d. El guardacuerpo debe incluir, al menos, un listón intermedio (véase figuras 4 y 5) o cualquier otra protección equivalente. El espacio libre entre el pasamano y el listón intermedio, así como entre el listón intermedio y el rodapié, no debe ser superior a 500 mm.
- e. Si se utilizan montantes verticales en lugar de un listón intermedio (véase figura 4), el espacio libre horizontal entre montantes debe de ser, como máximo, 180 mm.
- f. En las plataformas, así como en los descansillos de escaleras, se debe instalar un rodapié de altura, como mínimo, 100 mm desde el nivel de circulación y, a 12 mm, como máximo, del borde. Si hay separación entre los rodapiés de segmentos adyacentes de un guardacuerpo, esta separación no debe ser mayor de 20 mm.
- g. La distancia entre los ejes de los montantes se debe limitar, preferentemente, a 1500 mm. Sin embargo, si se excede esta distancia se debe prestar una atención especial a la resistencia del anclaje de los montantes y de los dispositivos de fijación.
- h. En el caso de un pasamano discontinuo (segmento de un guardacuerpo), se deben evitar cortes y atrapamientos debido al movimiento entre los dos segmentos. Si esto

⁵ Se consideran barreras de protección permanentes de una pásatela al piso, guardacuerpos y rodapiés.

no puede evitarse mediante diseño, se deben requerir las siguientes distancias para evitar caídas y atrapamientos de las manos:

- I. guardacuerpo sin redondear, el espacio libre entre dos segmentos del pasamano no debe ser inferior a 50 mm ni superior a 120 mm (véase la figura 4);
 - II. guardacuerpo redondeado, el espacio libre entre dos segmentos del pasamano no debe ser inferior a 50 mm ni superior a 80 mm (véase figura 5).
El radio R_a debe ser de 200 mm máximo.
- i. Los extremos del pasamano se deben diseñar de manera que se elimine o se reduzca al mínimo cualquier peligro significativo debido a aristas vivas del producto o a enganche de las prendas del usuario.

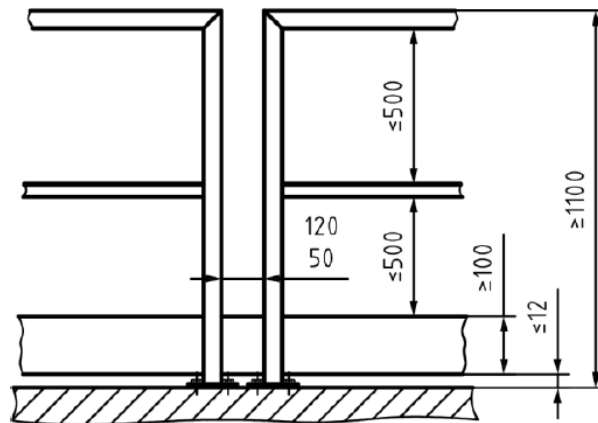


Figura 4: Guardacuerpo sin redondear

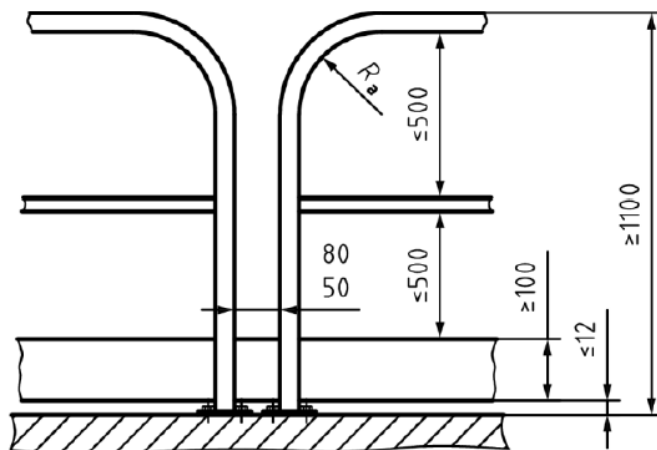


Figura 5: Guardacuerpo redondeado

3.3.3. Piso

La norma ISO 14122-2 de 2017 en su apartado 4.2.4 “Pisos” recoge los requisitos que ha de tener el piso de la pasarela.

- a. Los pisos deben diseñarse de manera que los fluidos derramados sean evacuados. Si por alguna razón especial, por ejemplo, por razones higiénicas, no es posible cumplir este requisito, deben evitarse los peligros de patinazo y otros peligros debido a los fluidos por otros medios adecuados.
- b. Los pisos deben diseñarse de manera que no puedan acumularse tierra, nieve, hielo u otras sustancias. Por lo tanto, se recomienda los pisos permeables tales como los emparrillados o las chapas perforadas.
Si esto no es posible y no se utilizan pisos permeables, deben preverse los medios para evacuar las sustancias acumuladas.
- c. Para evitar cualquier peligro de tropiezos, la diferencia máxima de altura entre los elementos del piso próximos no debe ser superior a 4 mm, y el hueco entre dos pisos debe ser menor que 20 mm.

3.3.4. Diseño y resistencia

En este apartado, contenido en la Norma ISO 14122-3 2017, especifica los parámetros que condicionan el diseño y las herramientas para verificar el correcto dimensionamiento de las partes de una pasarela.

3.3.4.1. Plataformas y pasarelas

En las especificaciones técnicas debe indicarse la carga para la que están diseñadas las plataformas de trabajo y pasarelas.

Para determinar la carga de diseño, debe tenerse en cuenta, al menos, lo siguiente:

- el número de personas que van a trabajar en la ubicación específica;
- la masa de las herramientas, los repuestos y los equipos de trabajo que se precisan en la ubicación;
- la resistencia al impacto de la estructura debido a la caída de herramientas y/o partes de la máquina (reemplazadas);
- las posibles cargas concentradas debido a la distribución de peso (geometría) de las piezas utilizadas necesarias en el trabajo;
- el peso debido a causas del entorno (por ejemplo, fluidos, agua, nieve, hielo, derrames, etc.) que puede ejercerse en el lugar de trabajo sobre la plataforma.

Las cargas mínimas a tener en cuenta para las pasarelas y plataformas de trabajo son:

- 2 KN/m² carga uniformemente distribuida a considerar para la estructura
- 1,5 KN Carga puntual aplicada en la posición más desfavorable, repartida en una superficie de 200 mm x 200 mm del piso.

La flecha del piso sometido a las cargas de diseño no debe ser superior a 1/200 de la luz.

Al diseñar una pasarela, debe tenerse en cuenta también la flecha bajo carga dinámica. Los posibles movimientos laterales de una plataforma durante un uso normal no deben conducir a la pérdida de equilibrio del usuario de la plataforma o pasarela.

La diferencia entre dos pisos contiguos, uno cargado y el otro vacío, no debe superar a 4 mm de altura.

El diseño seguro de la resistencia y la rigidez de las pasarelas y plataformas de trabajo debe verificarse, ya sea por cálculo o por ensayos.

3.3.4.2. Guardacuerpos

La Norma 14122-3 en su apartado 8.2 “Ensayo de los guardacuerpos” proporciona los pasos a seguir para la realización de ensayos que verifican el correcto dimensionado de los guardacuerpos. La Norma determina que:

El ensayo se lleva a cabo en un elemento del guardacuerpo con tres montantes, pasamano y listón intermedio, que está montado en la pasarela.

Todas las cargas (F) son cargas concentradas basadas en la mínima carga de servicio de 300 N/m de acuerdo con el apartado 8.2.1.1 o el apartado 8.2.1.2. La carga debe aplicarse horizontalmente sin introducir cargas dinámicas, primero a nivel del centro del pasamano en el montante intermedio sin introducir cargas dinámicas, primero a nivel del centro del pasamano en el montante intermedio (posición 1, figura 6). En el segundo ensayo, la carga debe aplicarse en el centro del pasamano en el punto más desfavorable entre dos montantes (posición 2, figura 7).

Las flechas, f_1 y f_2 se miden en la línea central del pasamano mediante medidores de desplazamiento. En el primer ensayo, la flecha f_1 se mide horizontalmente en la posición “L” (véase figura 7); en el segundo ensayo, la flecha f_2 se mide en la posición “I” (véase figura 6).

- La carga para la verificación de usabilidad está representada por la fórmula (1):

$$F_U = 300 \frac{N}{m} \times L \quad (1)$$

- La carga para la verificación de la resistencia está representada por la fórmula (2):

$$F_S = \gamma \times F_U \quad (2)$$

Para acero y aluminio como el factor de material $\gamma = 1,75$, se utiliza la fórmula (3):

$$F_S = 525 \frac{N}{m} \times L \quad (3)$$

- La carga previa está representada por la fórmula (4):

$$F_P = 75 \frac{N}{m} \times L \quad (4)$$

- **Ensayo en la posición 1:**

Para evitar los efectos del ajuste, la carga previa, F_P , se aplica en el pasamano en la posición 1, como se muestra en la figura 6 durante 1 min. Después de retirar la carga, el medidor de desplazamiento se reiniciará a cero.

La carga F_U se aplica en la posición 1 de la misma manera. La flecha durante la aplicación de la carga no debe exceder de 30mm.

Después de medir la flecha, la carga debe incrementarse a F_S . Se aplica F_S durante un minuto. Después de retirar la carga, la flecha permanente no debe exceder el 0.3% de la altura H.

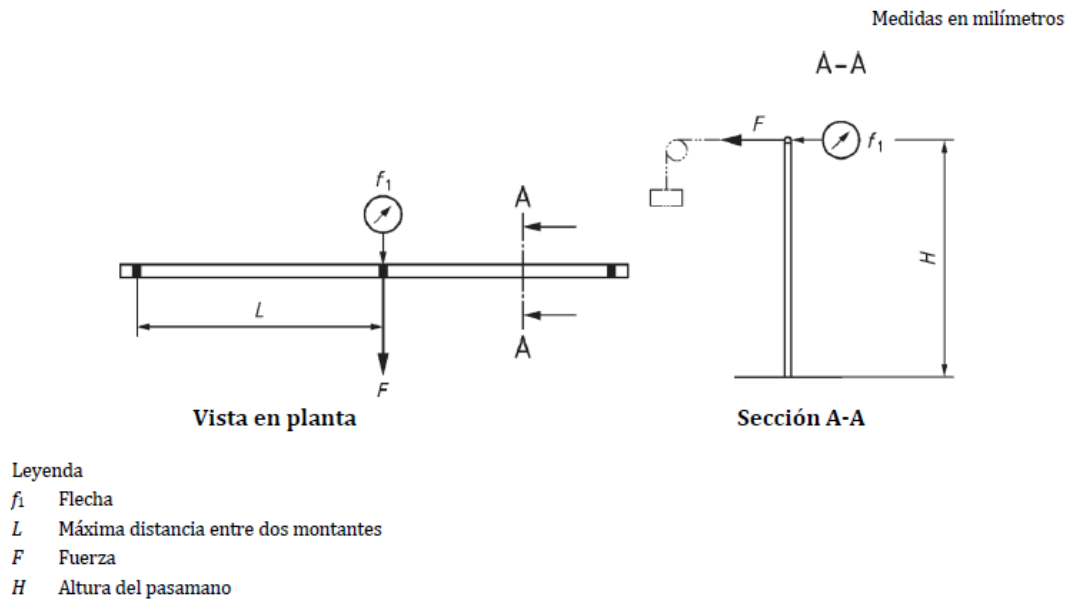


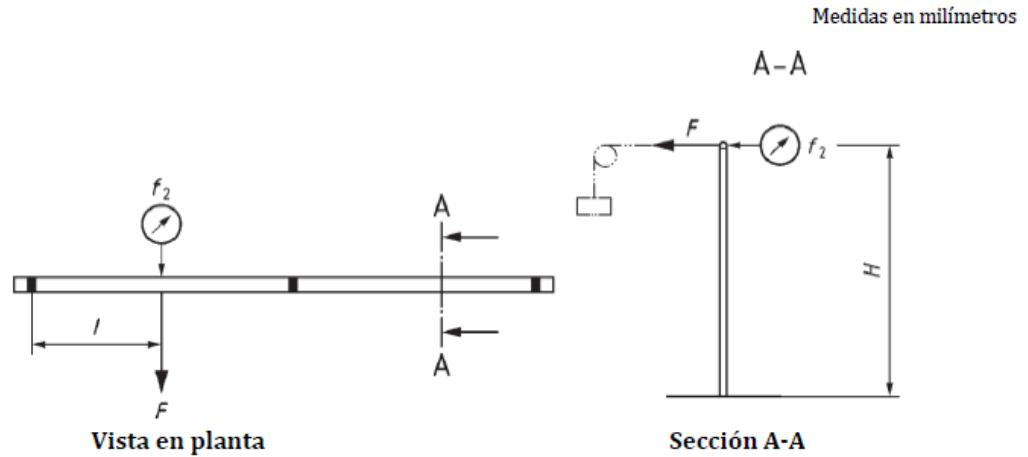
Figura 6: Medición del montante.

- **Ensayo en la posición 2:**

Para evitar los efectos del ajuste, la carga previa, F_P , se aplica en el guardacuerpo en la posición 2, como se muestra en la figura 7 durante 1 min. Después de retirar la carga, el medidor de desplazamiento tiene que ser reiniciado a cero.

La carga F_U se aplica en la posición 1 de la misma manera. La flecha durante la aplicación de la carga no debe exceder de 30 mm.

Después de medir la flecha, la carga debe incrementarse a F_S . Se mantiene F_S durante un minuto. Después de retirar la carga, la flecha permanente no debe exceder el 0.3% de la distancia L .



Leyenda

- f_2 Flecha
- l Distancia desde el montante al punto menos favorable^a
- F Fuerza
- H Altura del pasamano

Figura 7: Medición del pasamano.

4. Solución adoptada

4.1. Dimensiones generales

Los módulos de pasera que se pretenden diseñar en este proyecto serán de un único tamaño, lo cual favorece la unión entre tramos y la elección de la cantidad de éstos para el diseño del entramado. La **longitud** de los módulos es una de las dimensiones más determinantes de su diseño. Esta dimensión se ha fijado en **3000 mm**. Su elección está basada en tres criterios.

El primero de los criterios es el de optimización de los recursos y por ello la reducción del coste. Al fijar la longitud total de la pasarela en 3000 mm, el aprovechamiento de los perfiles será el máximo debido a que los materiales suministrados son fabricados en una longitud de 6 metros, por lo que se favorece la reducción de mermas y material no aprovechable. Por otro lado, el segundo criterio de diseño es la versatilidad del uso de las pasarelas. A medida que se aumenta la longitud de los módulos de pasarela se reduce las posibilidades de acoplamiento dentro de la cadena de bloques o módulos. Por último, la luz máxima que se ha determinado para la pasarela coincide con la longitud de los módulos, **3 m**. La elección de esta medida se ha realizado teniendo en cuenta la

maniobrabilidad de cierta maquinaria en la parte inferior de la pasarela, cuando los apoyos se sitúen en el pavimento y, para la reducción de componentes de anclaje como se muestra en el apartado de “Solución adoptada”.

Otra medida importante de la pasarela es la anchura. Como se ha detallado en el apartado de “Normativa” la anchura de la pasarela es una medida que condiciona al operario en el uso de herramientas y en general la manipulación de objetos mientras se hace uso de ella. Con el fin de diseñar una pasarela en la que sea posible maniobrar con herramientas pesadas y voluminosas se ha fijado la anchura libre de paso en 1050 mm.

Respaldando el diseño en el criterio de optimización de recurso nombrado anteriormente, en el módulo de pasarela se consigue un aprovechamiento máximo de la materia prima. Según la norma 14122, la anchura en una pasarela ha de ser como mínimo 800 mm (véase figura 3) por ello, la anchura elegida para ambos diseños entra dentro de los parámetros fijados por la norma.

4.2. Materiales

En este apartado se detallan los materiales y dimensiones específicas que caracterizan cada componente del módulo de la pasarela y los anclajes entre ellas.

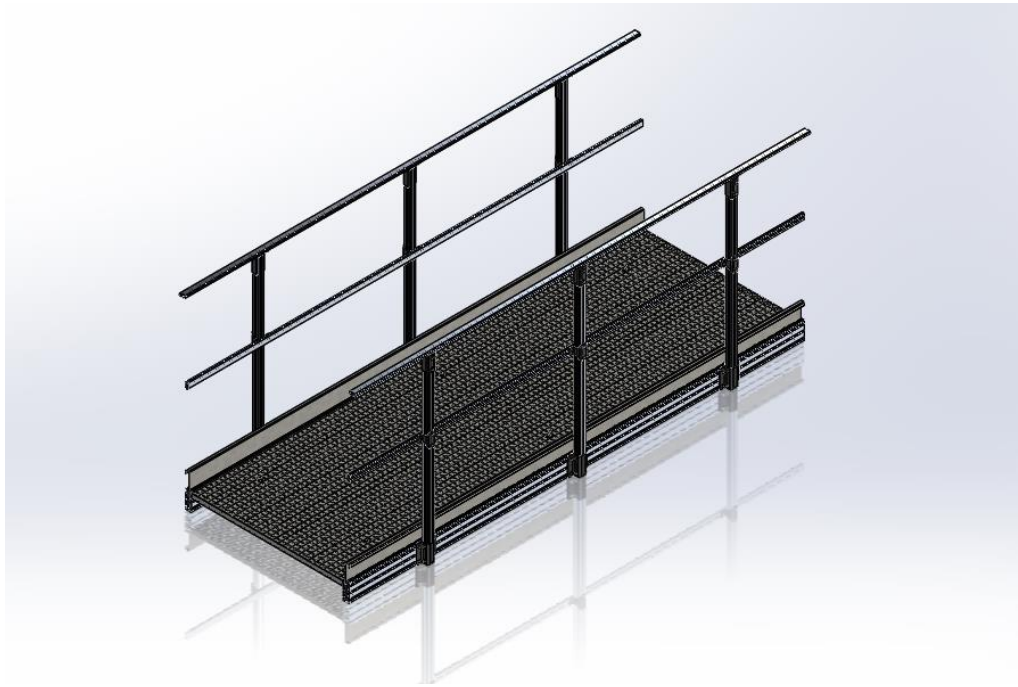


Figura 8: Módulo de pasarela.

4.2.1. Estructura portante

La estructura portante es un conjunto de elementos estructurales encargados de aportar soporte y apoyo a la pasarela, resistiendo las sollicitaciones estáticas y dinámicas

aplicadas. Esta estructura es colocada en la parte inferior de la pasarela y en ella se anclan los guardacuerpos y el piso.

Para la manufactura de este componente existen numerosos materiales y técnicas de fabricación. En cuanto a los materiales, se ha centrado el estudio en los nombrados anteriormente en el apartado “Materiales”. Estos materiales son los más comunes y con mayor disponibilidad del mercado. La elección del material determina la forma de unión de los elementos, ya sea con una unión permanente como la soldadura o no permanente como el atornillado. El coste de la materia prima, de la cantidad necesaria para la fabricación y del procesado necesario para llegar a la pieza final, han de ser tomados en cuenta para la elección de la solución más económica y óptima.

		Precio mercado [€]		
		Dimensiones sección perfil [mm]		
		20x10	40x20	80x40
Material	AISI 304	12,77	23,37	74,63
	AISI 316	19,74	36,15	115,36
	Acero galvanizado	7,51	13,65	35,33
	Aluminio	18,81	34,59	80,32

Tabla 5: Precios de mercado

Los perfiles estructurales mostrados en la tabla 5 indican las magnitudes de precios del mercado. Como se ha comentado en el apartado anterior los perfiles son suministrados en barras de 6 metros. Los perfiles de acero son proporcionados en perfiles huecos sin ningún tipo de mecanizado. Para la realización de la estructura sustentante es necesario unir las partes mediante soldadura o mecanizar las barras para luego usar uniones mecánicas (tornillería), lo QUE encarece los costes de fabricación. Otra desventaja del uso del acero tanto inoxidable como galvanizado es su peso, ya que para el uso de componentes voluminosos como son la estructura portante o la barandilla no son del todo indicados.

Por otro lado, los perfiles de aluminio son suministrados con una serie de ranuras (véase figura 9), que simplifican la tarea de mecanizado y montaje de las distintas barras debido a que simplemente es necesario cortar y atornillar las barras para la fabricación de la estructura portante, facilitando así una posible automatización del proceso de montaje. Aunque el precio de los perfiles de aluminio sea elevado comparado con el perfil más económico, resulta más óptimo en cuanto a coste y tiempo de fabricación al no ser necesario soldar ni mecanizar, además de que requiere un personal menos cualificado ya que sólo es necesario la mano de obra de un montador y no la de un soldador.

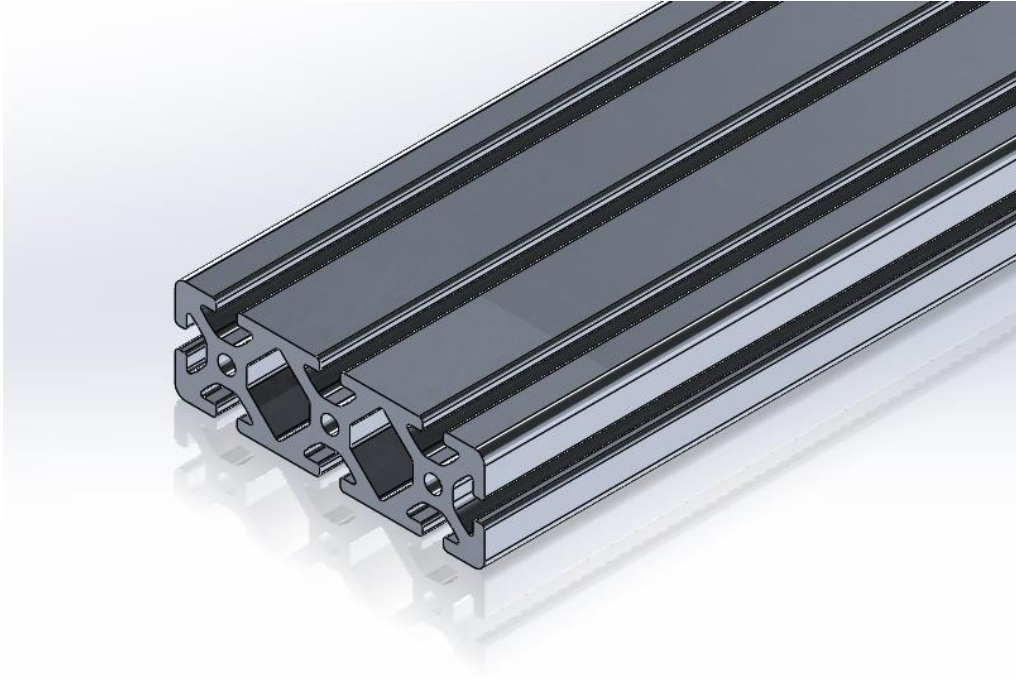


Figura 9: Perfil de aluminio.

La estructura portante elegida para la pasarela consta de dos largueros y tres travesaños. Esta disposición es simple y robusta (véase figura 10), lo que permite que el montaje de ésta sea simple y rápido a la vez que seguro. La utilización de tres travesaños por módulo aporta una rigidez considerable frente a la torsión en la dirección transversal de la pasarela, además de limitar la luz a la que se ve sometida el piso puesto que los travesaños son los encargados de sustentar este componente.

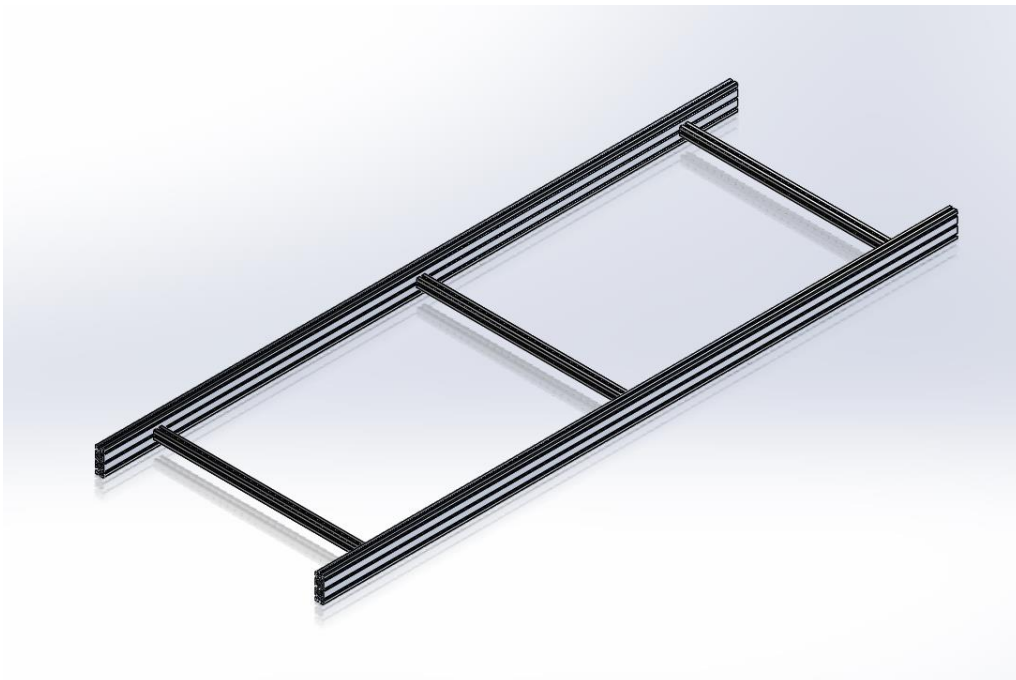


Figura 10: Estructura portante.

La elección de la tipología de perfil viene dada por criterios estructurales, los cuales quedan detallados a continuación en el apartado “Cálculos”, y por criterios de montaje. Para los largueros se ha optado por un perfil rectangular de triple ranura, aportando así mayor resistencia estructura que un perfil cuadrado de dimensiones similares, al colocarlo en el plano de mayor inercia. En vista de que el piso que va colocado sobre los travesaños no debe, por criterios de seguridad, sobrepasar el plano superior de los largueros, se coloca un larguero rectangular para evitar que eso suceda. Al disponer de tres ranuras en la cara lateral se facilita el montaje de los travesaños y el piso, al igual que la de la barandilla, como se muestra en el apartado de “Uniones entre elementos”

Los perfiles usados en la fabricación pertenecen a la “serie 8”⁶ y las dimensiones de éstos son: 120x40 mm para el larguero y 40x40 mm para el travesaño. El material usado para la construcción de los perfiles es el proporcionado por el proveedor, su denominación es NO. 3.3206, que equivale al aluminio 6063 con el acabado de envejecimiento natural T6. Este material es usado en todos los perfiles que se describen en los apartados de los siguientes componentes de la pasarela.

4.2.2. Piso

Las características que ha de tener el piso de la pasarela son: permeabilidad, antideslizante, sin obstáculos y con la suficiente resistencia para aguantar ciertas cargas apoyado en la estructura portante. La solución adoptada es la colocación de un emparrillado electrosoldado de galvanizado de 3x1m construido con pletina y redondo (véase figura 11). Este emparrillado está construido por pletina de 30x4 mm colocado verticalmente junto con redondos de 5 mm de diámetro con una luz de 30 mm, situados transversalmente a las pletinas, unidos entre sí por electrosoldado⁷. Si volvemos a la norma descrita en el apartado 3.3.3., la apertura máxima permitida en el piso es de 20 mm, por lo que es necesaria la colocación de láminas de 30 mm de ancho y de 0,8 mm de espesor con perforaciones cuadradas de 8X8 mm bajo el entramado, con el fin de evitar caídas de material que puedan provocar lesiones a los posibles operarios situados debajo de la pasarela. (véase figura 11).

⁶ La serie de los perfiles de aluminio hace referencia al tamaño de la ranura y por ello al tamaño máximo de la tornillería usada. Ejem: Serie 10- Tornillo M10

⁷ Proceso de unión fija realizado mediante corriente eléctrica y una presión moderada.

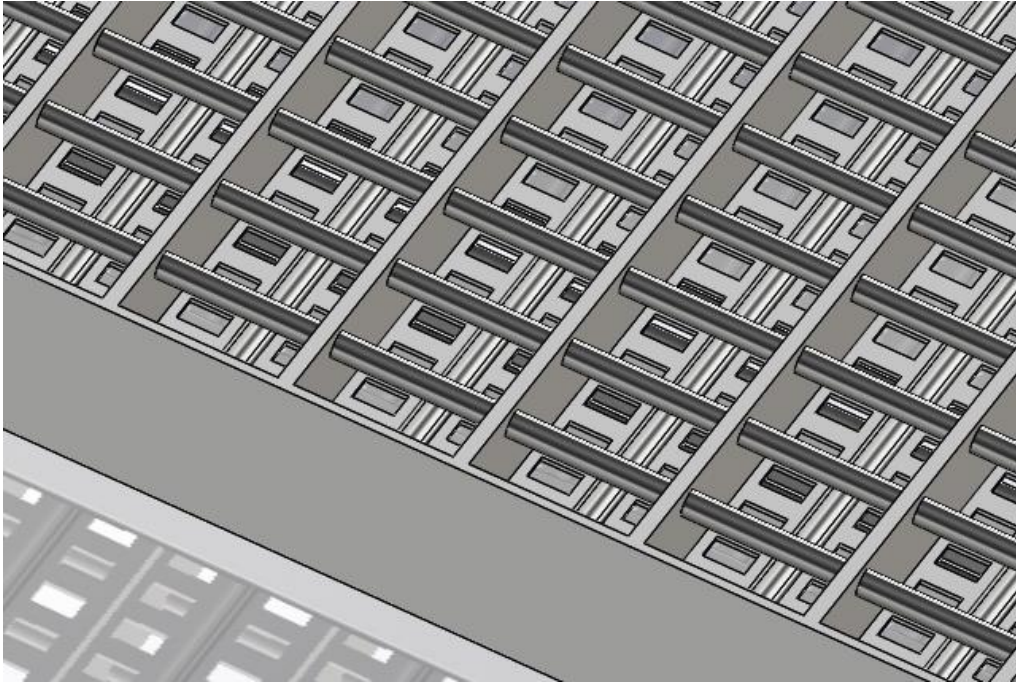


Figura 11: Chapa de protección.

La ventaja principal del emparrillado frente a la chapa perforada o lagrimada son sus propiedades mecánicas, ya que soporta grandes cargas superficiales sin flectar por el espesor total del conjunto. Esto dota a la pasarela de rigidez, no siendo necesario la colocación de más componentes en la estructura portante de los ya descritos. Otra ventaja importante frente a las chapas nombradas es que el emparrillado no necesita ningún tipo de mecanizado debido a que los tamaños de fabricación encajan con las dimensiones deseadas para el proyecto. Como se verá en el apartado “Uniones”, el emparrillado queda fijado a la estructura sustentante mediante una fijación mecánica sin necesidad de realización de taladros, a diferencia de la utilización de chapas. Por todo ello, incluyendo que el acero galvanizado es un material de bajo coste y buenas prestaciones a corrosión, la implementación de un emparrillado electrosoldado de galvanizado se ha considerado la opción óptima para la pasarela.

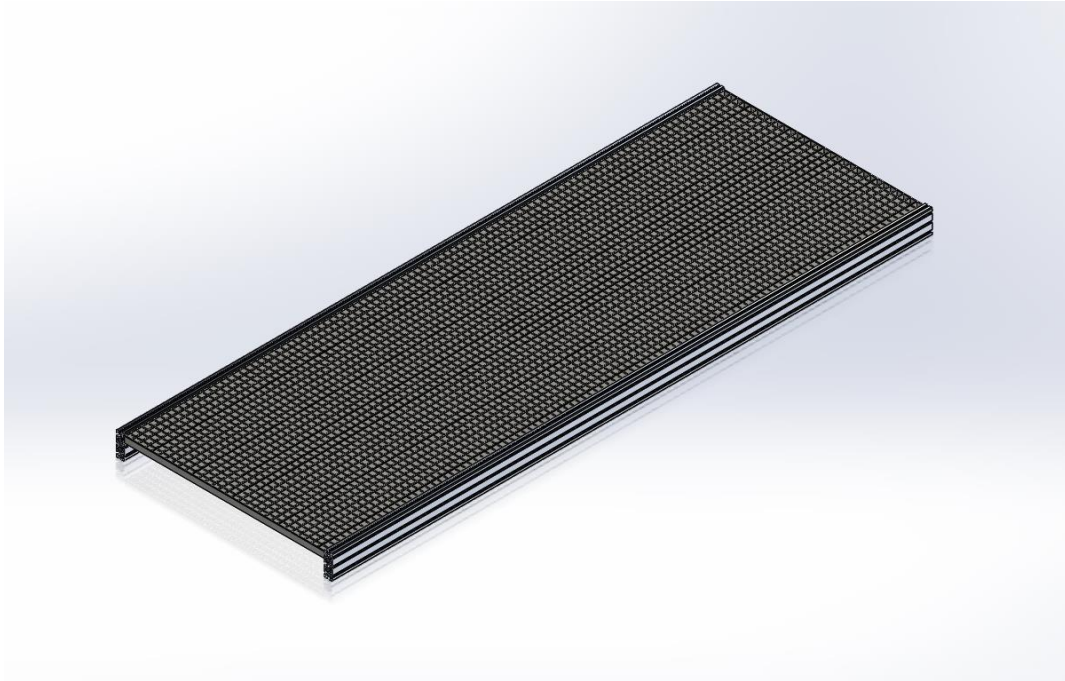


Figura 12: Piso, emparrillado electrosoldado de galvanizado.

4.2.3. Guardacuerpos

4.2.3.1. Barandilla

La barandilla implementada en la pasarela queda definida por tres montantes, junto con un pasamanos superior y otro intermedio (véase figura 13). Al igual que la estructura portante, la barandilla se ha construido con perfil de aluminio rectangular de 40x40 de la serie 8 para el montante y de 40x16 de la serie 8 para los pasamanos. Este último perfil tiene como característica principal que 3 de sus cuatro caras SON lisas y una ranurada, lo que proporciona una mayor ergonomía y facilidad de montaje respecto a otros perfiles disponibles.

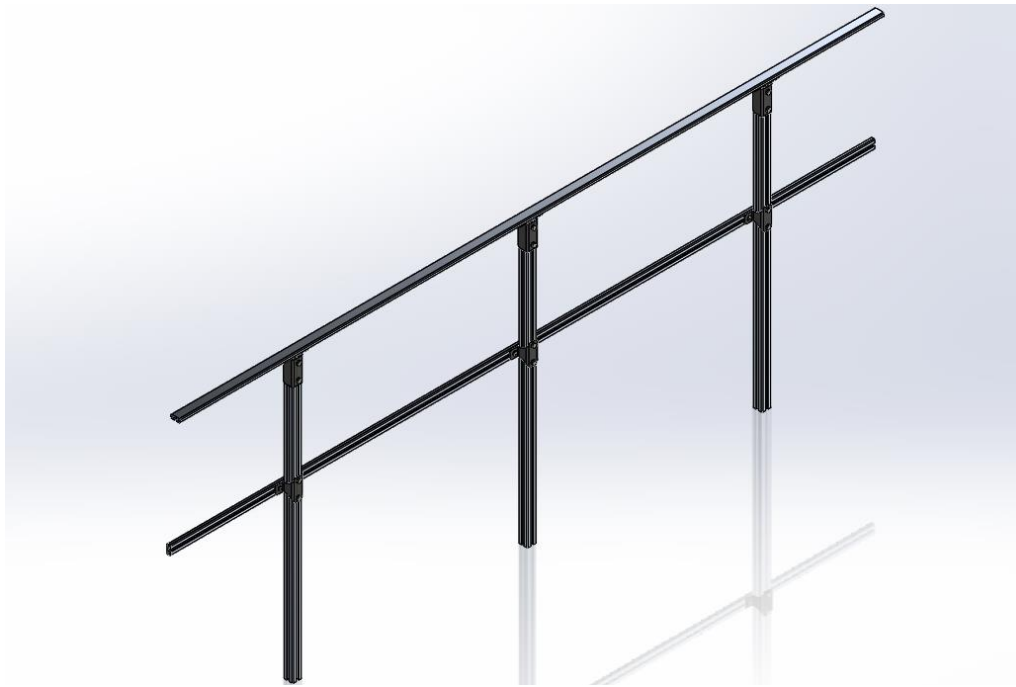


Figura 13: Barandilla.

El diseño de barandilla realizado cumple con las respectivas restricciones definidas por la norma ISO 14122-3 de 2017 en su apartado 7 “*Requisitos específicos aplicables a los guardacuerpos*”. Primeramente, la distancia entre los ejes de los montantes es de 1000 mm, menor de 1500 mm, según estipula la norma. Por otro lado, la altura de ésta alcanza los 1105 mm respecto al piso, siendo una medida superior a la mínima estipulada (1100 mm). El pasamanos superior se encuentra fijado en la cima del montante, proporcionando una superficie lisa y continua a lo largo de la pasarela, incluso en las inmediaciones de la unión entre módulo (véase figura 14). Al igual que el pasamanos superior, el intermedio no dispone de ningún obstáculo a lo largo de la barandilla, lo que favorece el correcto uso de ésta y la prevención de posibles accidentes. La disposición de ambos pasamanos es tal que la distancia libre entre ellos es de 470 mm, cumpliendo así la norma (≤ 500 mm).

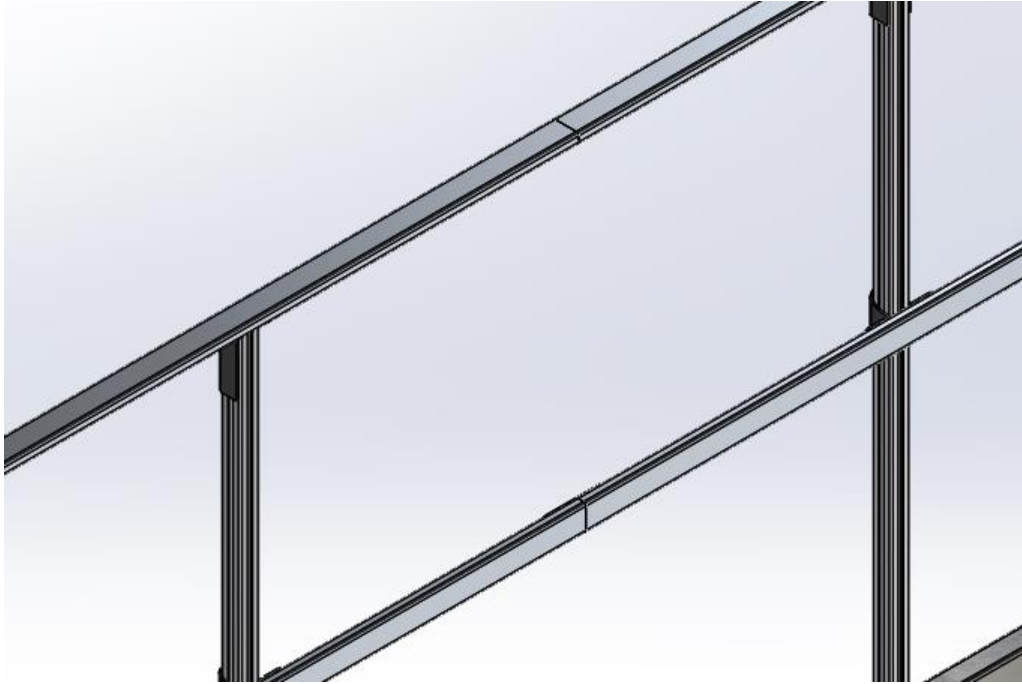


Figura 14: Pasamanos.

En cuanto a la posición de la barandilla en su conjunto se coloca en la parte exterior de la estructura portante aportando a la pasarela una anchura libre de 1070mm. La solución constructiva adoptada para el conjunto de la barandilla permite el ensamblado de ésta al módulo sin necesidad de compartir ningún anclaje con la barandilla contigua (perteneciente al siguiente modulo ensamblado). Con esto se consigue que la barandilla pueda estar previamente ensamblada para que únicamente sea necesario el ensamblaje de los módulos in situ.

De igual manera que en los apartados anteriores, el dimensionado de la barandilla se ha basado en el ya nombrado criterio de optimización. La longitud de corte del montante es de 1200 mm y la de los dos pasamanos de 1500 mm, por ello, los excedentes son nulos y el número de cortes mínimo.

4.2.3.2. Rodapiés

Las condiciones que ha de cumplir el rodapié son del ámbito de la seguridad, siendo necesario que cubra una altura de mínimo 100 mm desde la superficie del piso, según la Norma ISO 14122-3 anteriormente citada. Como rodapié se ha optado por el uso de una chapa plegada de acero galvanizado de 1.5 mm de espesor, grosor considerable para un componente no estructural, usando para su ensamblaje la ranura disponible en la parte superior de la pasarela y siendo anclada a cada uno de los tres montantes mediante tornillos (véase figura 15).

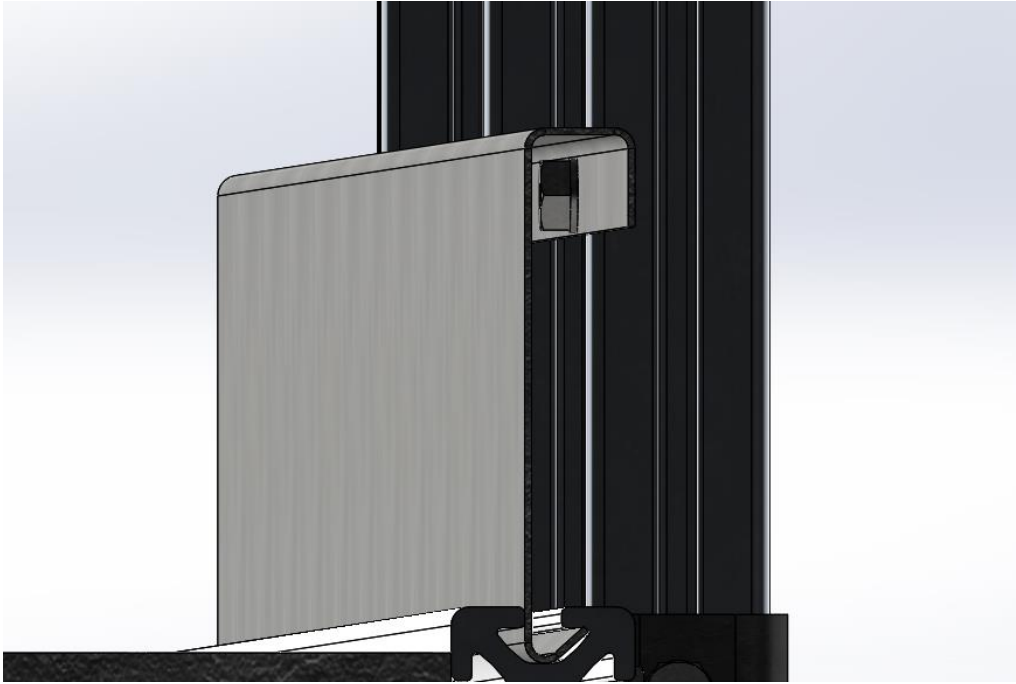


Figura 15: Rodapié ensamblado.

Al igual que los componentes anteriores, esta chapa plegada ha sido diseñada con criterios de optimización de materiales y fabricación, ya que la materia prima, en este caso una chapa de acero galvanizado de 3000x1500x1.5 mm, es aprovechada al máximo sin general ningún tipo de merma tras ser cortada. De una plancha son obtenidas justamente 9 unidades de rodapié que, tras ser cortada, únicamente es necesario realizar 3 plegados y tres taladros. De la misma manera que los pasamanos, el rodapié queda continuo en toda la pasarela al ensamblar los módulos, aportando así mayor seguridad al conjunto.

4.2.4. Uniones entre elementos

En este apartado se detallan las uniones entre los distintos componentes del módulo de pasarela. Se ha de aclarar que, para el diseño de las uniones, se ha tenido como prioridad el uso del menor número de componentes con el fin de disminuir el coste de los materiales y del montaje de estos.

4.2.4.1. Unión estructura portante

Como se ha comentado en apartados anteriores, la estructura portante está compuesta por distintos perfiles ranurados de aluminio, por lo que la unión entre componentes se realiza mediante tornillería.

La solución adoptada para esta unión atornillada es la utilización de una chapa plegada (véase figura 16), la cual hace uso de dos ranuras internas de los largueros y abraza al

travesaño. Esta unión está situada en ambos extremos de los travesaños del módulo, en total 6 uniones.

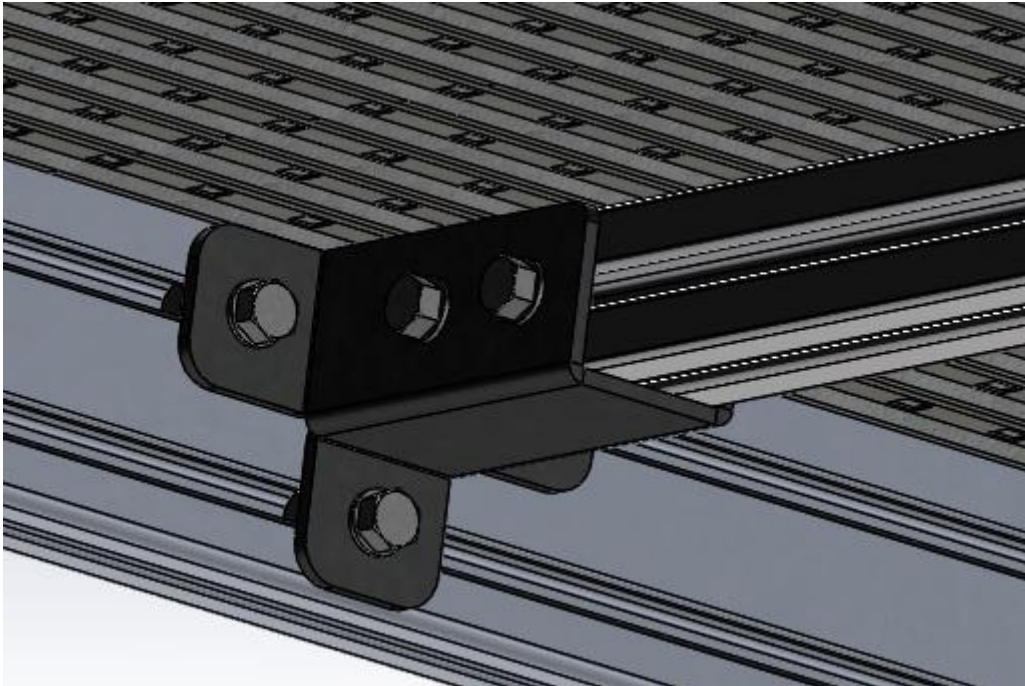


Figura 16: Unión larguero-travesaño.

Los tornillos utilizados para esta unión son tornillos de cabeza hexagonal de M8X15 mm DIN-933 calidad 4.6, junto con una arandela plana de su misma métrica DIN-125. En cuanto a las tuercas, en la unión al larguero son usadas tuercas simples de M8, mientras que en la unión al travesaño se han usado dos tuercas dobles de M8 “Tuerca v 2xM8-76” Este conjunto atornillado está fabricado en acero cincado.

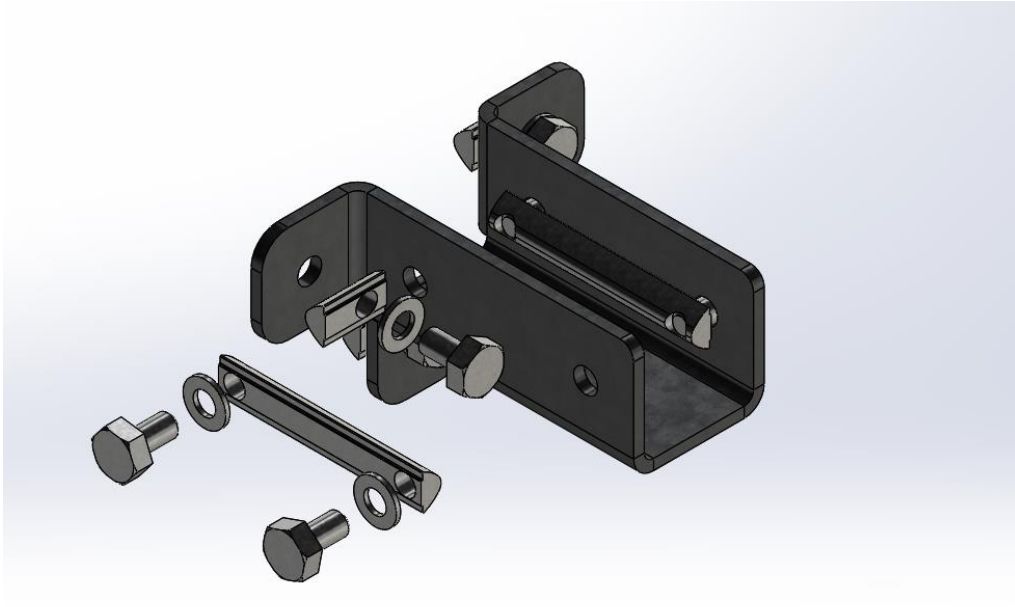


Figura 17: Vista explosionada de la unión larguero-travesaño.

En cuanto a la chapa plegada, ha sido realizada en chapa de acero galvanizado DX51D+Z275 de 4 mm de espesor. Como se muestra en el apartado de 3.2, este acero tiene unas buenas propiedades mecánicas y un aceptable comportamiento ante la corrosión.

4.2.4.2. Unión piso

El emparrillado colocado como piso está sustentando en los travesaños de la estructura portante y limitando el movimiento a lo ancho por los largueros de ésta. Sin embargo, para restringir por completo su movimiento se hace uso de un conjunto atornillado formado por una grapa de acero galvanizado, un tornillo de Allen de cabeza redonda DIN-7380 M8X35 mm calidad 4.6 y tuerca ambos cincados (véase figura 18).

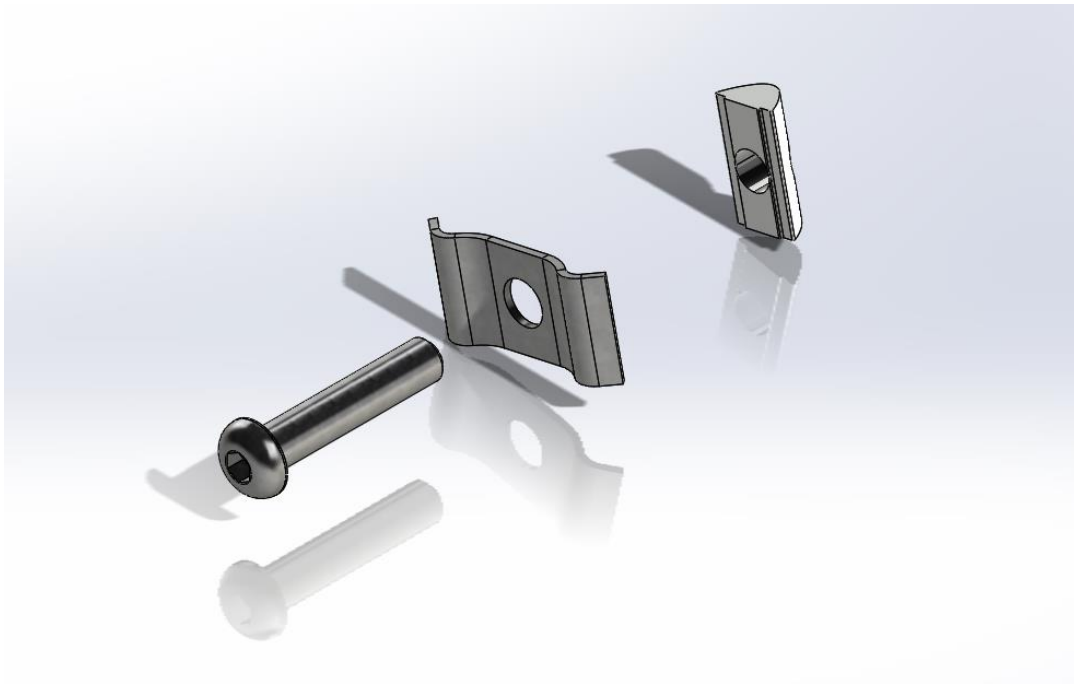


Figura 18: Vista explosionada de conjunto atornillado para emparrillado.

La grapa mostrada en la figura anterior dispone de unos extremos deformados que sirven para fijar los redondos del emparrillado, mientras que la tuerca es introducida a la ranura superior del travesaño (véase figura 19). Al colocar esta fijación, el emparrillado queda sujeto sin posibilidad de desplazamiento y el conjunto queda situado de tal manera que no entorpece correcto uso del piso.



Figura 19: Unión piso- estructura portante

4.2.4.3. Unión barandilla

Dentro de este apartado se detallan las uniones necesarias para el montaje de la barandilla en su conjunto. Como ya se ha comentado en apartados anteriores, la barandilla queda unida a la estructura portante por la parte exterior del larguero que, al igual que ésta, se ha realizado con perfil ranurado de aluminio. Además de la unión con otros conjuntos, la barandilla en sí está ensamblada mediante tornillería.

Para la unión del montante con el pasamanos superior se ha hecho uso de una chapa plegada de acero galvanizado DX51D+Z275 de 3 mm de espesor (véase figura 20). El espesor utilizado para las chapas plegadas que unen los montantes con los pasamanos se ha aplicado según el espesor mínimo recomendado para este tipo de tornillería en vista de que estas uniones, a diferencia de la que fija la barandilla a la estructura portante, a penas están solicitadas.

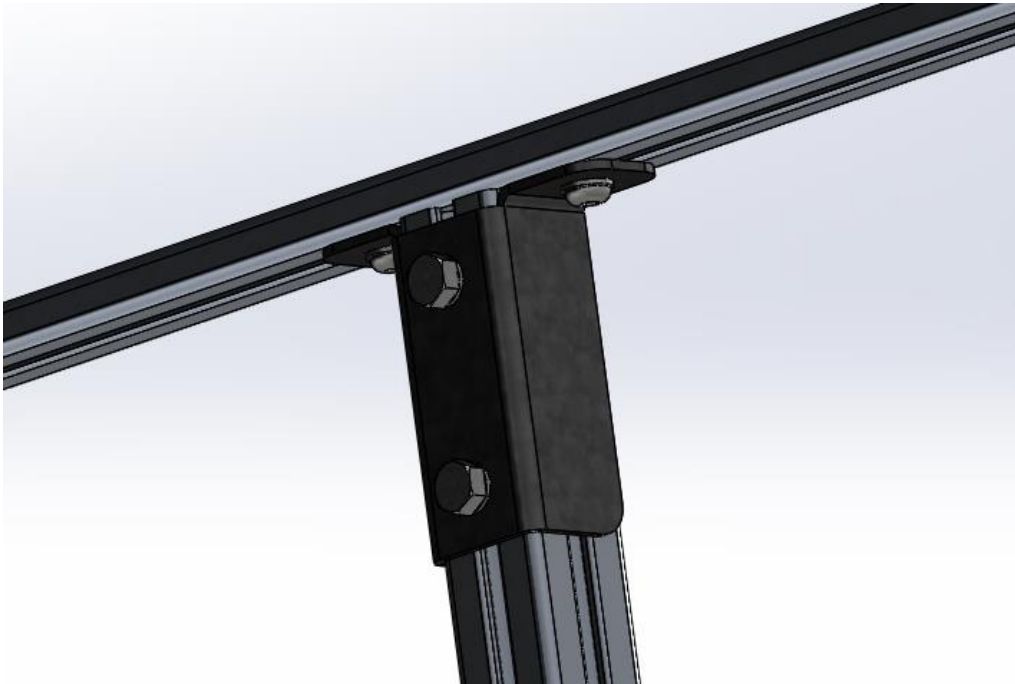


Figura 20: Unión montante-pasamanos superior

Como se muestra en la figura anterior los tronillos situados en la parte inferior del pasamanos son tornillos Allen de cabeza redonda M8x15 ISO-7380 calidad 4.6 cincado montado con arandela y tuerca. Por otro lado, los tornillos que fijan la chapa plegada con el montante son de cabeza hexagonal M8x15 mm DIN-933 calidad 4.6 cincados, junto con su respectiva arandela. Sin embargo, en esta fijación se ha hecho uso de una tuerca doble “Tuerca 2XM8-74” (véase figura 21), con el fin de facilitar el montaje de ésta al estar la ranura en vertical.

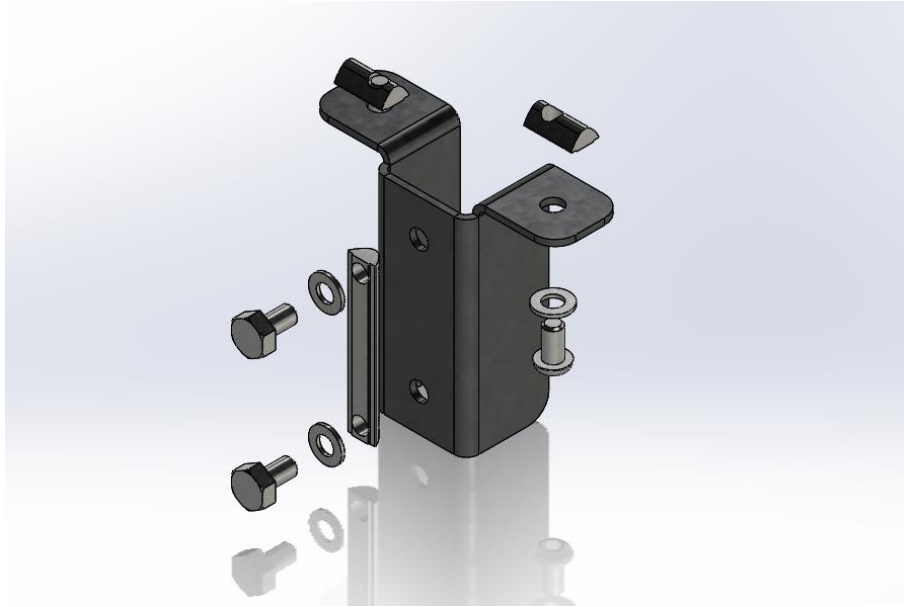


Figura 21: Vista explosionada unió montante-pasamanos superior.

En cuanto al ensamblaje del montante intermedio, se ha hecho uso de una abrazadera con forma de omega fabricada con el mismo tipo de chapa que la unió superior. La unió queda fijada al montante intermedio con dos tornillos Allen de cabeza redonda M8x15 mm DIN-7380 calidad 4.6 cincado montado con arandela y tuerca de la misma métrica (véase figura 22). Para la unió al montante se usa el mismo anclaje que en la parte superior. Tras el montaje de la fijación nombrada, se queda una unió en forma de cruz en la cara no vista de la barandilla, con el fin de no perturbar el uso del pasamanos intermedio.

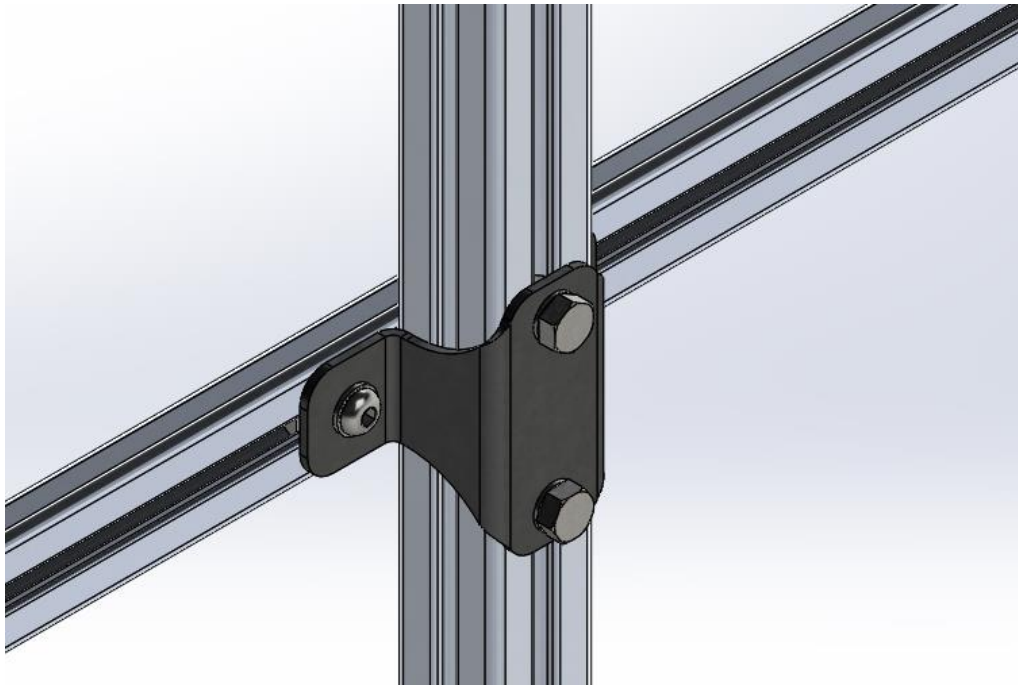


Figura 22: Unión montante-pasamanos inferior.

Por último, la unión de la barandilla a la estructura portante, al igual que las uniones anteriores, se ha realizado con chapa plegada atornillada. El espesor de ésta es de 4 mm un espesor mayor que el de las uniones de los pasamanos que, como se ha comentado antes, esta unión sufre cargas relevantes. Todo el ámbito de cálculo queda detallado en el apartado “5. Cálculo y dimensionado”.

La chapa plegada abraza el montante en sus caras exteriores y hace como tope en su cara inferior. Por otro lado, la fijación al larguero se realiza aplicando 4 tornillos de M8 alineados 2 a 2 verticalmente colocados en las dos alas de la chapa plegada (véase figura 23). En cuanto a la fijación del montante de la barandilla, se ha realizado de una forma idéntica a la anterior, colocando dos filas de tornillos 2 a 2. Si nos fijamos en la figura 23 en la parte inferior de los tornillos superiores que fijan el montante se ha realizado un pequeño orificio cuyo fin es evitar que la tuerca se deslice por la ranura mientras se realice el montaje.

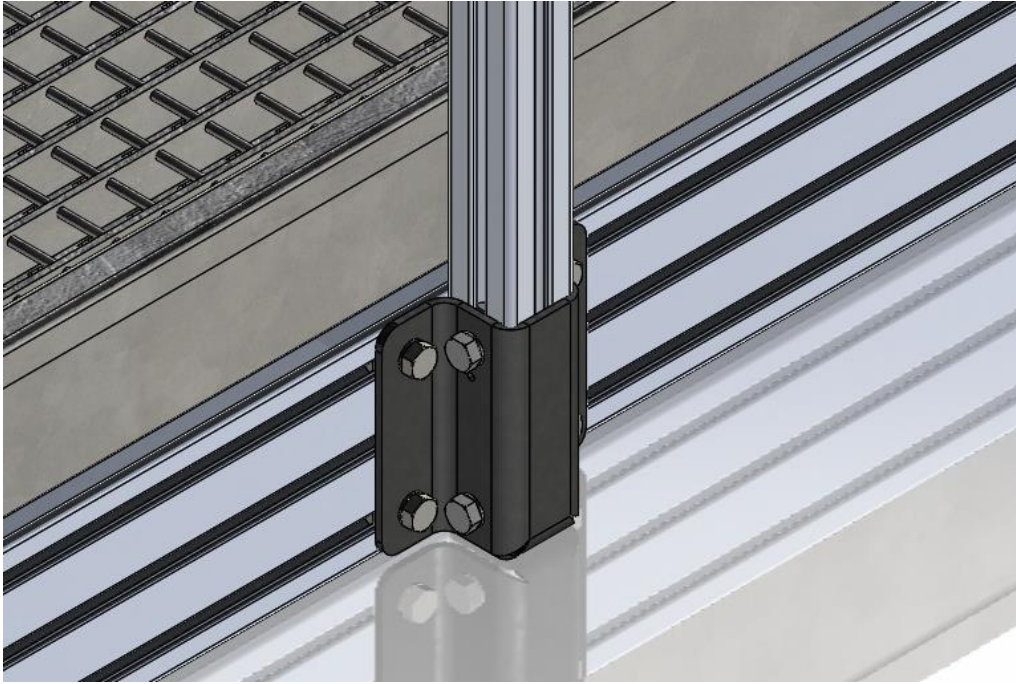


Figura 23: Unión barandilla-larguero.

La fijación en su totalidad dispone de 8 tornillos de cabeza hexagonal de M8x15 mm calidad 4.6 con su respectivas arandelas y tuercas. Toda la tornillería usada en esta unión al igual que en las anteriores, es de acero cincado.

4.2.4.4. Unión rodapié

Este elemento queda situado sobre el larguero de la estructura portante, haciendo uso de la ranura de ésta para el ensamblado. Sin embargo, queda libre el movimiento longitudinal del rodapié. Para restringir este movimiento, se han realizado 3 taladros que coinciden con el eje del montante, con el fin de usar el conjunto de tornillo hexagonal de 15 mm, arandela y tuerca de M8 descrito en uniones anteriores.

4.2.4.5. Unión entre módulos

La unión entre módulos se realiza con seis uniones atornilladas, cuatro de ellas son realizadas en los pasamanos y las dos restantes en los largueros. Estas últimas son las que mayormente soportan las sollicitaciones de la pasarela.

4.2.4.5.1. Unión pasamanos

Con el fin de evitar discontinuidades y reforzar la unión de los pasamanos, como se desean que sean continuos, se implementa una pletina galvanizada con dos taladros (véase figura 24). La pletina suministrada dispone de un avellanado en los taladros para que la cabeza de los tornillos no sobresalga de la superficie de la chapa. Los dos tornillos

son de Allen de cabeza plana avellanados de M8x10 DIN-7991, fijados con una tuerca doble 2xM8-76.



Figura 24: Unión pasamanos.

Se ha de aclarar que este anclaje es colocado en cada una de las dos barandillas del módulo siendo un total de 4 fijaciones por unión.

4.2.4.5.2. Unión largueros

La unión entre módulos se ha realizado mediante una chapa plegada de 8 mm en forma de "J", la cual abraza a los largueros de ambos módulos en sus tres caras interiores. Según se ve en la siguiente figura la unión dispone en su cara exterior de 4 tornillos por módulo, 2 en cada una de las ranuras más extremas del perfil.



Figura 25: Unión larguero-módulos.

En cuanto a la cara interior, presenta la misma disposición de tornillos que la fila inferior de la cara exterior (véase figura 26). La tornillería utilizada para esta unión consta de un total de 12 tornillos M8X20 mm de calidad 6.8. En cuanto a las tuercas, se han utilizado únicamente 3, una por cada ranura del perfil, por ello, cada tuerca es atornillada por 4 tornillos a la vez. La ventaja de usar este tipo de tuerca es la utilización de menos componentes, la facilidad de montaje y la aportación de mayor rigidez al conjunto. En cuanto a las arandelas, se ha decidido no utilizarlas en esta unión porque la chapa plegada tiene un espesor considerable.

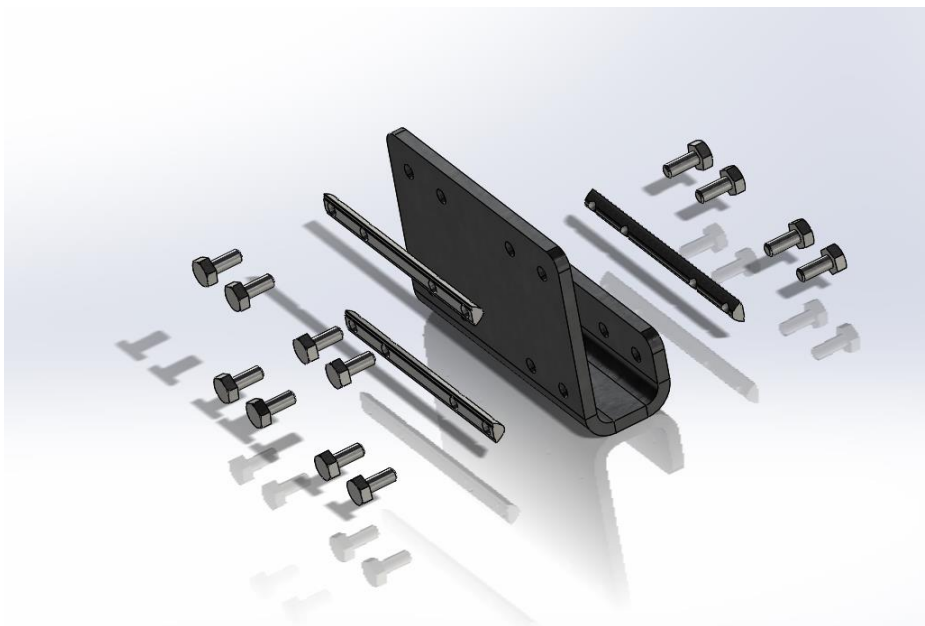


Figura 26: Vista explosionada Unión larguero-módulos

5. Cálculos y dimensionamiento

En los cálculos realizados se ha considerado un módulo como estructura propiamente estable, debido a que uno de los propósitos de este proyecto es diseñar módulos independientes estructuralmente. Sin embargo, la unión de éstos proporciona mejor comportamiento estructural que la colocación de una sola unidad.

La realización de los cálculos es una parte importante del proyecto debido a que no sirve únicamente para verificar el correcto diseño, sino que es la herramienta necesaria para evitar el sobredimensionamiento y por ello reducir los costes de producción.

5.1. Cálculos estructura portante

El fin de este apartado es el dimensionamiento de los componentes situados en la estructura portante, tanto la perfilera como las fijaciones. Debido a la simpleza de los cálculos, se ha decidido utilizar únicamente el módulo de “Solidworks simulación” para la comprobación del dimensionado de las fijaciones que en nuestro caso son chapas plegadas.

5.1.1. Dimensionado de perfiles

Los perfiles de aluminio suministrados se diferencian en series según las dimensiones de las ranuras internas y las dimensiones externas. En la siguiente tabla se muestra la gama de perfiles utilizados para la construcción estructural y las tipologías elegidas para el proyecto.

	Dimensiones [mm]	Carga máx. de tracción [N]	A [cm ²]	m [Kg/m]	I _x [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	I _t [cm ⁴]	W _x [cm ³]	W _y [cm ³]
Serie 5	20x20	500	1,80	0,48	0,72	0,72	0,07	0,72	0,72
	40x20		3,32	0,89	1,41	5,14	0,62	1,41	2,57
Serie 6	30x30	1750	4,67	1,26	4,15	4,15	0,41	2,77	2,77
	60x30		8,47	2,29	7,92	29,30	4,87	5,28	9,77
Serie 8	40x40	5000	9,16	2,47	13,96	13,96	1,88	6,98	6,98
	80x40		16,76	4,53	26,87	101,19	18,83	13,44	25,29
	120x40		24,38	6,58	39,80	322,66	36,53	19,90	36,76
Serie 10	50x50	7000	13,31	3,59	30,68	30,68	4,17	12,27	12,27
	100x50		24,70	6,67	61,28	227,47	44,03	24,51	45,49
	200x100		74,36	30,08	838,55	2840,55	946,29	167,71	284,06
Serie 12	60x60	10000	20,60	5,55	70,50	70,50	9,59	23,50	23,50
	120x60		37,58	10,15	135,40	509,70	98,17	45,10	85,10

Tabla 6: característica perfiles de aluminio.

Las longitudes de corte de los perfiles son: 3000 mm para el larguero de perfil rectangular y 1000 para el travesaño. Ambas longitudes anteriormente nombradas son múltiplos de 6000 con el fin de aprovechar todo el material suministrado y realizar los mínimos cortes posibles.

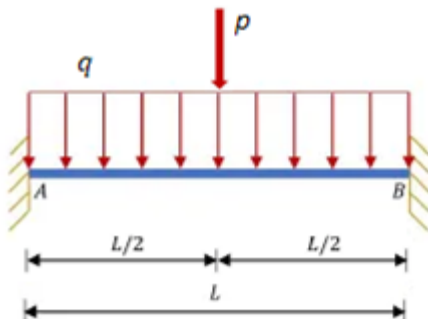
Las cargas que se han tenido en cuenta para el dimensionado de la estructura portante son las dictadas por la Norma ISO 14122-3 2017, sin embargo, se ha aplicado una mayoración de las cargas con el fin de estar en el lado de la seguridad. Las cargas se han aumentado multiplicando por un factor de 1.5. Se ha de aclarar que este factor no es una mayoración de las cargas sino un aumento de las cargas de diseño. Tras el aumento de estas su valor es de 3000 N/m² para la carga repartida en el piso y 2250 KN para la carga puntual. Esta última carga, se ha considerado que sólo es soportada por un larguero de la estructura y además se encuentra en el centro del vano. La carga es situada en esta posición debido a que se encuentra en el caso más desfavorable.

Con el fin de estudiar el comportamiento del larguero se sitúan las cargas correspondientes en el larguero más cargado. Considerando que la anchura donde se deposita la carga repartida es de 1m y teniendo en cuenta la simetría del problema se puede considerar que el larguero más desfavorable posee las siguientes cargas:

- Carga puntual en el centro del vano de $p=2250\text{N}$ de valor
- Una carga repartida longitudinalmente de:

$$q = 3000 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] * 1[\text{m}] * \frac{1}{2[\text{largueros}]} = 1500 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (5)$$

El largo del larguero tiene el mismo valor que la distancia entre apoyos (3m). Los extremos de éste se consideran empotrados debido a que están restringidos todos sus grados de libertad, por lo que se considera una viga biempotrada. La siguiente figura muestra el estado de carga al que se ve solicitado el larguero.



Leyenda:

- q: carga distribuida [KN/m].
- p: carga puntual [KN]
- L: Luz [m]
- A y B: apoyos empotrados

Figura 27: estado de carga larguero

Según la norma, la flecha ha de ser menor de (1/200) de la Luz, por ello la flecha máxima es de 15 mm. Este será el criterio usado para el dimensionamiento del perfil que hará la función de larguero en la estructura pórtate. Al ser una viga biempotrada, se cataloga como una estructura hiperestática⁸. La ecuación que dicta el comportamiento de la flecha en el problema es:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} + \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (6)$$

Siendo:

$$f < 15 \text{ mm}$$

$$q = 1,5 \text{ N/mm}$$

$$p = 2250 \text{ N}$$

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$E = 70000 \text{ MPa}$$

$$I = \text{inercia [incognita]} \text{ mm}^4$$

Para conocer la inercia mínima que debe poseer el perfil de aluminio del larguero se ha de resolver la siguiente inecuación:

$$15 \leq \frac{5 \cdot 1,5 \cdot 3000^4}{384 \cdot 70000 \cdot I} + \frac{2250 \cdot 3000^3}{48 \cdot 70000 \cdot I} \quad (7)$$

$$I \geq 2712055 \text{ mm}^4 = 271,205 \text{ cm}^4$$

Si nos fijamos en la tabla anterior, el perfil con las características inerciales en eje "y" que mejor se adaptan al resultado obtenido es el perfil de la serie 8 de dimensiones 120x40 mm ($I_y = 322,66 \text{ cm}^4$), el cual posee 3 ranuras por lado, y una en cabeza y parte inferior, lo que facilita el montaje de los componentes adyacentes.

Con el fin de validar el comportamiento del perfil, se realiza un estudio del estado tensional de éste bajo las cargas descritas. Para los cálculos de resistencia a diferencia de los de deformaciones, se han de mayorar las cargas. La mayoración aplicada es de 1.35 sobre ambas cargas por lo que las cargas mayoradas son: 2025 N/m para la carga distribuida y 3037,5 N para la puntual.

⁸ Se conoce como estructura hiperestática, a aquella estructura que en estática se encuentra en equilibrio, destacando que las ecuaciones que expone la estática no son suficientes para saber las fuerzas externas y reacciones que posee

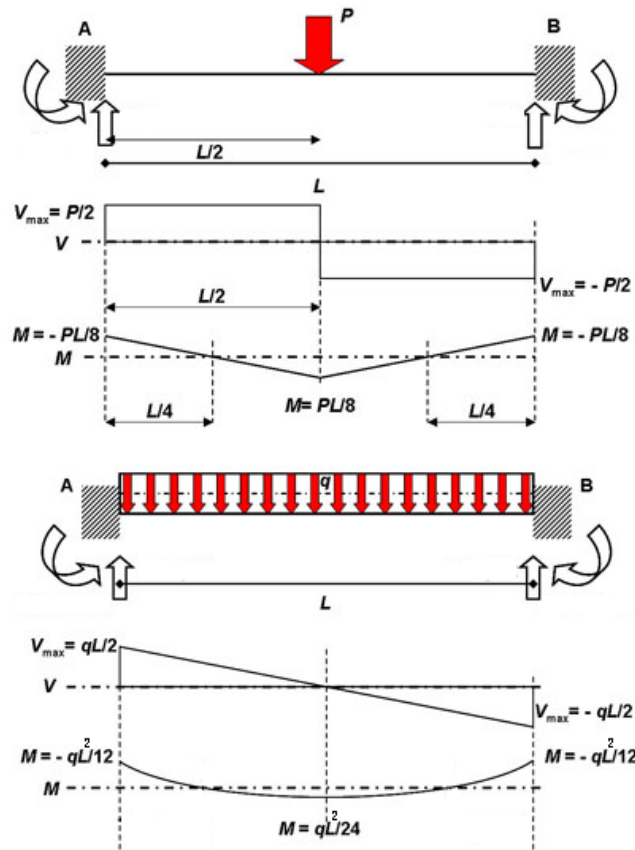


Figura 28: Solicitaciones viga biempotrada.

Si nos fijamos en la figura anterior, el punto más solicitado se sitúa en el apoyo empotrado, aplicando superposición de ambos estados de carga se obtienen las fórmulas que describen las solicitaciones. Debido a que el cortante produce tensiones considerablemente menores que el momento, no se tiene en cuenta para el cálculo, por lo que las solicitaciones máximas se describen con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{q \cdot L^2}{12} + \frac{p \cdot L}{8} \quad (8)$$

Siendo:

$$q = 2025 \text{ N/m}$$

$$p = 3037.5 \text{ N}$$

$$L = 3000 \text{ mm}$$

Tras sustituir y poner en las unidades correspondientes los datos del problema, el resultado es:

$$M = \frac{2.025 \cdot 3000^2}{12} + \frac{3037.5 \cdot 3000}{8} = 2657812 \text{ N/mm} \quad (9)$$

Para obtener la tensión debida a este momento se aplica la siguiente formula:

$$\sigma = \frac{M}{W_Y} \quad (10)$$

Para el perfil seleccionado, el módulo resistente es de 36,76 cm³, por lo que la tensión máxima que aparece en el larguero es de 72,29 MPa, un valor inferior al límite elástico del material (195 MPa). Tras obtener estos datos, se concluye que el perfil es válido.

Para el diseño del travesaño se comienza estudiando el perfil de menor dimensiones de la misma serie que los largueros (serie 8). Este perfil tiene como dimensiones 40x40 mm. Para el estudio del travesaño se va a realizar únicamente el estudio de resistencia con una disposición de cargas idéntico que para el estudio del larguero. Las cargas aplicadas están mayoradas al igual que en caso anterior:

- Carga repartida:

$$q = 3000 \left[\frac{N}{m^2} \right] * 1.2[m] * \frac{1}{2[\text{travesaños}]} * 1.35 = 2430 \frac{N}{m} \quad (11)$$

- La carga puntual en este caso es de 3037,5 N

Las cargas descritas generan un momento de:

$$M = \frac{2.43*1000^2}{12} + \frac{3037.5*1000}{8} = 582187.5 \text{ N/mm} \quad (12)$$

Por último, la tensión generada es:

$$\sigma = \frac{582187.5}{6980} = 83 \text{ MPa} \quad (13)$$

Se concluye que el perfil de dimensiones 40x40 mm de la serie 8 es válido para el diseño debido a que la tensión generada es menor que el límite elástico de éste.

5.1.2. Dimensionado de las uniones

5.1.2.1 Dimensionado de la tornillería

A continuación, se han obtenido las reacciones en los extremos de barra con el fin de dimensionar la tornillería usada. Como se detalla en el apartado de 4, las uniones se realizan mediante chapas atornilladas. Mediante cálculos realizados a mano, se ha obtenido el número y calidad de tornillo necesaria para cada anclaje. En la estructura portante se localizan dos tipos de anclajes, los que unen los travesaños a los largueros y los localizados en los extremos de los largueros, cuya función es unir los módulos contiguos.

Como se ha especificado anteriormente, estamos ante unas estructuras hiperestáticas. las ecuaciones que describen las solicitaciones en los apoyos son las siguientes:

- Momento en el plano de las cargas en valor absoluto en el apoyo:

$$M = \frac{q*L^2}{12} + \frac{p*L}{8} \quad (14)$$

- Cortante en el apoyo:

$$V = \frac{q \cdot L + p}{2} \quad (15)$$

En las siguientes tablas se muestran las relaciones entre la métrica del tornillo, la calidad y la resistencia de estos a tracción, compresión, cortadura simple y doble cortadura.

Cortadura simple, KN		Grado				
Diámetro	Área, mm ²	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
8	50,3	8,0	10,1	12,1	16,1	20,1
10	78,5	12,6	15,7	18,8	25,1	31,4
12	113,1	18,1	22,6	27,1	36,2	45,2
14	153,9	24,6	30,8	36,9	49,3	61,6
16	201,1	32,2	40,2	48,3	64,3	80,4
18	254,5	40,7	50,9	61,1	81,4	101,8
20	314,2	50,3	62,8	75,4	100,5	125,7
22	380,1	60,8	76,0	91,2	121,6	152,1
24	452,4	72,4	90,5	108,6	144,8	181,0
27	572,6	91,6	114,5	137,4	183,2	229,0
30	706,9	113,1	141,4	169,6	226,2	282,7
33	855,3	136,8	171,1	205,3	273,7	342,1
36	1017,9	162,9	203,6	244,3	325,7	407,2
39	1194,6	191,1	238,9	286,7	382,3	477,8
42	1385,4	221,7	277,1	332,5	443,3	554,2
45	1590,4	254,5	318,1	381,7	508,9	636,2
48	1809,6	289,5	361,9	434,3	579,1	723,8
52	2123,7	339,8	424,7	509,7	679,6	849,5
56	2463,0	394,1	492,6	591,1	788,2	985,2
60	2827,4	452,4	565,5	678,6	904,8	1131,0

Tabla 7: Resistencia frente a cortadura simple según métrica y calidad.

Doble Cortadura, KN		Grado				
Diámetro	Área, mm ²	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
8	50,3	16,1	20,1	24,1	32,2	40,2
10	78,5	25,1	31,4	37,7	50,3	62,8
12	113,1	36,2	45,2	54,3	72,4	90,5
14	153,9	49,3	61,6	73,9	98,5	123,2
16	201,1	64,3	80,4	96,5	128,7	160,8
18	254,5	81,4	101,8	122,1	162,9	203,6
20	314,2	100,5	125,7	150,8	201,1	251,3
22	380,1	121,6	152,1	182,5	243,3	304,1
24	452,4	144,8	181,0	217,1	289,5	361,9
27	572,6	183,2	229,0	274,8	366,4	458,0
30	706,9	226,2	282,7	339,3	452,4	565,5
33	855,3	273,7	342,1	410,5	547,4	684,2
36	1017,9	325,7	407,2	488,6	651,4	814,3
39	1194,6	382,3	477,8	573,4	764,5	955,7
42	1385,4	443,3	554,2	665,0	886,7	1108,4
45	1590,4	508,9	636,2	763,4	1017,9	1272,3
48	1809,6	579,1	723,8	868,6	1158,1	1447,6
52	2123,7	679,6	849,5	1019,4	1359,2	1699,0
56	2463,0	788,2	985,2	1182,2	1576,3	1970,4
60	2827,4	904,8	1131,0	1357,2	1809,6	2261,9

Tabla 8: Resistencia a cortadura doble según métrica y calidad.

M	d, mm	Ag [mm2]	As [mm2]	Resistencia a tracción, kN							Resistencia a Compresión, kN						
				4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9
M5	5	19,6	14,2	4,09	4,09	5,11	5,11	6,13	8,18	10,2	2,73	2,27	3,41	2,84	3,41	5,45	5,68
M6	6	28,3	20,1	5,79	5,79	7,24	7,24	8,68	11,6	14,5	3,86	3,22	4,82	4,02	4,82	7,72	8,04
M7	7	38,5	28,9	8,32	8,32	10,4	10,4	12,5	16,6	20,8	5,55	4,62	6,94	5,78	6,94	11,1	11,6
M8	8	50,3	36,6	10,5	10,5	13,2	13,2	15,8	21,1	26,4	7,03	5,86	8,78	7,32	8,78	14,1	14,6
M10	10	78,5	58	16,7	16,7	20,9	20,9	25,1	33,4	41,8	11,1	9,28	13,9	11,6	13,9	22,3	23,2
M12	12	113	84,3	24,3	24,3	30,3	30,3	36,4	48,6	60,7	16,2	13,5	20,2	16,9	20,2	32,4	33,7
M14	14	154	115	33,1	33,1	41,4	41,4	49,7	66,2	82,8	22,1	18,4	27,6	23	27,6	44,2	46
M16	16	201	157	45,2	45,2	56,5	56,5	67,8	90,4	113	30,1	25,1	37,7	31,4	37,7	60,3	62,8
M18	18	254	192	55,3	55,3	69,1	69,1	82,9	110,6	138,2	36,9	30,7	46,1	38,4	46,1	73,7	76,8
M20	20	314	245	70,6	70,6	88,2	88,2	105,8	141,1	176,4	47	39,2	58,8	49	58,8	94,1	98
M22	22	380	303	87,3	87,3	109,1	109,1	130,9	174,5	218,2	58,2	48,5	72,7	60,6	72,7	116,4	121,2
M24	24	452	353	101,7	101,7	127,1	127,1	152,5	203,3	254,2	67,8	56,5	84,7	70,6	84,7	135,6	141,2
M27	27	573	459	132,2	132,2	165,2	165,2	198,3	264,4	330,5	88,1	73,4	110,2	91,8	110,2	176,3	183,6
M30	30	707	561	161,6	161,6	202	202	242,4	323,1	403,9	107,7	89,8	134,6	112,2	134,6	215,4	224,4
M33	33	855	694	199,9	199,9	249,8	249,8	299,8	399,7	499,7	133,2	111	166,6	138,8	166,6	266,5	277,6
M36	36	1020	817	235,3	235,3	294,1	294,1	352,9	470,6	588,2	156,9	130,7	196,1	163,4	196,1	313,7	326,8
M39	39	1190	976	281,1	281,1	351,4	351,4	421,6	562,2	702,7	187,4	156,2	234,2	195,2	234,2	374,8	390,4

Tabla 9: Resistencia a tracción y compresión según métrica y calidad.

En cuanto al anclaje del travesaño al larguero, se ha diseñado una chapa plegada que dispone de tres tornillos hacia el larguero y 4 tornillos hacia el travesaño, al ser ambos perfiles de a serie 8, obligadamente el tornillo será como máximo de M8. Si aplicamos las ecuaciones anteriores con los datos específicos para el estudio del travesaño, se obtiene que, en el extremo de la viga se genera un momento de **582,187 Nm** y un cortante de **2,73 KN**. Los esfuerzos que han de soportar cada tornillo dependen de la

localización de estos. El cortante, es igual para los tres tornillos, repartiéndose a partes iguales por lo que cada tornillo soporta 1.23 KN.

Por otro lado, el momento tiene un comportamiento distinto. Como se ve en la figura 16, la fijación utiliza dos ranuras interiores del larguero, situando dos tornillos en la parte superior y uno en la inferior. Esto se debe a que los tornillos de la parte superior son traccionados mientras que los inferiores son comprimidos (véase figura 29). El momento es absorbido por el par generado por los tornillos. Este par es equivalente a la distancia entre ellos por la fuerza de tracción que soportan. Para el dimensionado de los tornillos se estudian los tornillos de la parte superior, ya que son los que están traccionados y por ello es la situación más desfavorable.

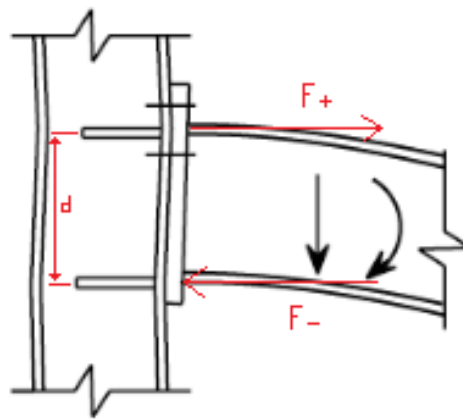


Figura 29: Esquema unión atornillada travesaño - larguero.

Como se ha indicado anteriormente, el momento es absorbido por los tornillos debido al par que generan, fuerza por la distancia entre las dos líneas de tornillos por lo que la fuerza de tracción generada en los dos tornillos superiores es:

$$F+ = \frac{M}{d} = \frac{582,19}{0,04} = 14554,75N \quad (16)$$

La fuerza de tracción calculada anteriormente es asumida por los dos tornillos situados en la ranura superior, por lo que cada tornillo soporta 7277,38N. Por ello, el tornillo más solicitado ha de soportar un cortante de 911,25N Y una tracción de 7277,38N. El tornillo presenta un estado de carga combinado. La ecuación que valida su resistencia es:

$$\frac{F_{V,dis}}{F_{V,max}} + \frac{F_{T,dis}}{1,4 \cdot F_{T,max}} \leq 1 \quad (17)$$

Siendo:

TRABAJO DE FIN DE GRADO

$F_{V,dis}$ = Fuerza cortante solicitada.

$F_{T,dis}$ = Fuerza d tracción solicitada.

$F_{V,max}$ = Máxima fuerza cortante aguantada por el tornillo.

$F_{T,max}$ = Máxima fuerza de tracción aguantada por el tornillo.

Para esta aplicación, son usados tornillos de métrica 8 ya que los perfiles son de la serie 8. Como primera instancia en el diseño, se elige el tornillo de calidad 4.6 y se comprueba si cumple el criterio impuesto. El tornillo de calidad 4.6 dispone de una fuerza cortante máxima de 8 KN y una fuerza máxima de tracción de 10,5 KN.

$$\frac{911,25}{8000} + \frac{7277,38N}{1.4*10500} = 0.61 \quad (18)$$

Como se muestra en los cálculos realizados los tornillos de M8 calidad 4.6 son válidos para la aplicación en vista de que el resultado es menor de 1. Por criterios de montaje se decide implementar esta tipología de tornillos en toda la fijación, tanto en los tres tornillos anclados al larguero, como con los cuatro tornillos que anclan el cuerpo del travesaño, los cuales apenas están solicitados debido ya que su función es únicamente evitar el movimiento del perfil al quedarse éste apoyado en la chapa y no en los tornillos.

Continuando con el dimensionado con los anclajes de la estructura portante, se procede al cálculo de la tornillería aplicada en la unión entre módulos. Se ha de decir que este anclaje es el más crítico de toda la pasarela debido a que es el más solicitado y sin él la pasarela sería incapaz de ser sustentada.

En la figura 30 se muestra un esquema donde se representa la distribución de cargas. Si nos fijamos, los tornillos situados en la posición intermedia no juegan un papel importante en la absorción del momento, siendo esta sollicitación la más desfavorable para el componente. Por lo tanto, se ha decidido situar tornillos únicamente en las filas extremas, tanto en la inferior como en la superior. En esta unión se ha decidido situar una fila de 4 tornillos en la parte superior, 2 tornillos para cada larguero, al igual que en la fila inferior. Por otro lado, en la cara interior se han aplicado 4 tornillos situados en la ranura inferior siguiendo la misma disposición que los tornillos de la cara exterior de la unión. Según los cálculos realizados siguiendo las mismas pautas que en el apartado anterior, se han obtenido unas sollicitaciones en el extremo de barra de un momento de 2657,81 Nm y un cortante 4556,25 N.

Al igual que en la unión anterior, el cortante se reparte entre esos 6 tornillos de manera equitativa (911,25 N por tornillo, contando los tornillos fijados a uno de los dos módulos). Por otro lado, el momento es absorbido por los tornillos de la fila superior e

inferior, siendo estos últimos los más críticos debido a que es donde el momento tiende a separar el perfil de la unión. En la siguiente imagen se muestra una representación esquemática del comportamiento de la unión.

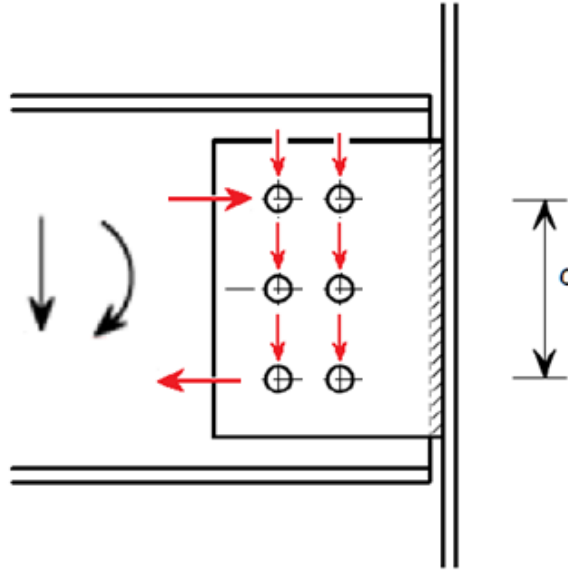


Figura 30: Esquema unión atornillada módulos.

Como muestra la figura anterior, el tornillo se encuentra en un estado de carga combinado de dos cortantes. El momento genera un cortante en los tornillos de la fila inferior de un valor de:

$$V = \frac{M}{d} = \frac{2657,81}{0,08} = 33222,63N \quad (19)$$

El cortante absorbido por tornillo debido al momento es de 8305,66N ya a que hay implementados 4 tornillos en la parte inferior. Para obtener el cortante resultante se hace uso de la siguiente formula:

$$V_T = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{8305,66^2 + 911,25^2} = 8355,50N \quad (20)$$

Se ha considerado que, por la importancia de esta unión y la escasa diferencia económica entre tornillos de diferente calidad, el tornillo de métrica 8 adecuado para la aplicación es el de calidad 6.8, pudiendo resistir un cortante doble de 24,1 KN. Con el fin de facilitar el montaje, se ha decidido montar la misma calidad de tornillo para todo el anclaje. En total 6 tornillas hacia cada módulo de pasarela, 12 en toda la unión.

5.1.2.2. Dimensionado placas anclaje

Tras el dimensionado de la tornillería usada se ha de determinar el espesor de las chapas plegadas usadas con el fin de que el anclaje sea capaz de resistir las cargas de diseño. Debido a la geometría de las chapas plegadas, se ha decidido realizar los cálculos con el complemento de Solidworks dedicado al cálculo llamado “Simulación”.

Siguiendo el mismo orden que para el dimensionado de la tornillería, se comienza por el estudio de la unión travesaño larguero. En un primer cálculo, se comienza aplicando un espesor de 4 mm a la chapa de galvanizado.

De las opciones de simulaciones que hay disponibles, para este tipo de cálculo estructural se ha usado el análisis estático. La primera instancia que se ha de comprobar a la hora de realizar este tipo de simulaciones es la aplicación de los respectivos materiales a las piezas. Ciertos materiales no están incluidos en la librería de Solidworks y por ello se deben crear. El material elegido para realizar las chapas plegadas es el acero galvanizado DX51D+Z275, cuyas características son las siguientes:

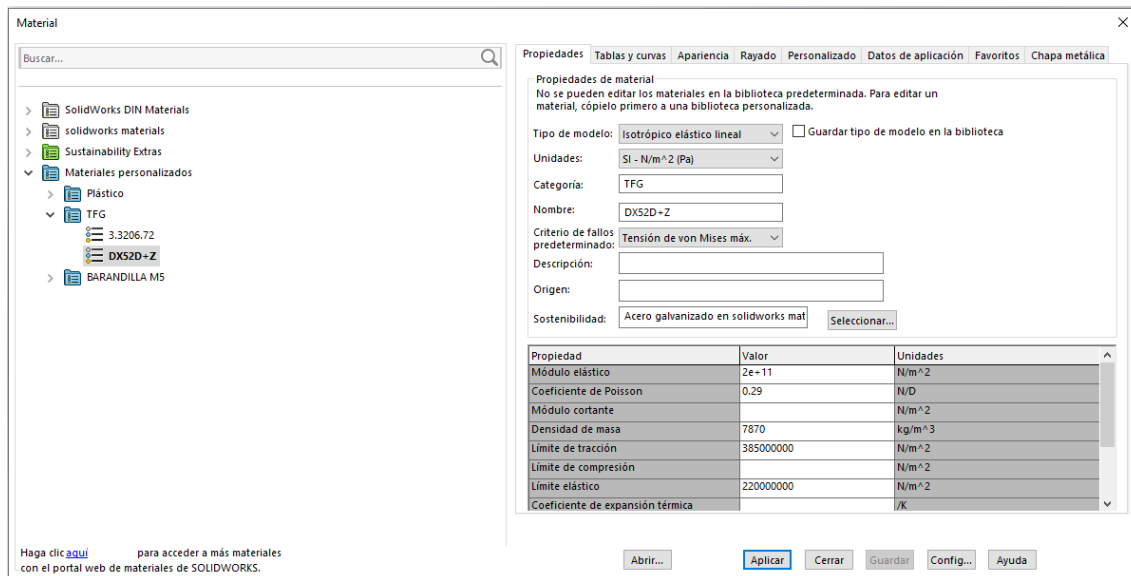


Figura 31: Propiedades acero galvanizado DX51D+Z275

Una vez aplicado el material, Solidworks Simulation dispone de un esquema, que se ha de completar los siguientes puntos para realizar de forma correcta la simulación:

1- Sujeciones

Este paso consiste en aplicar las condiciones de contorno encargadas de fijar el conjunto restringiendo todos los grados de libertad. La fijación de este conjunto consiste en aplicar unas “Geometrías fijas” en los orificios realizados para los tornillos (véase figura 32).

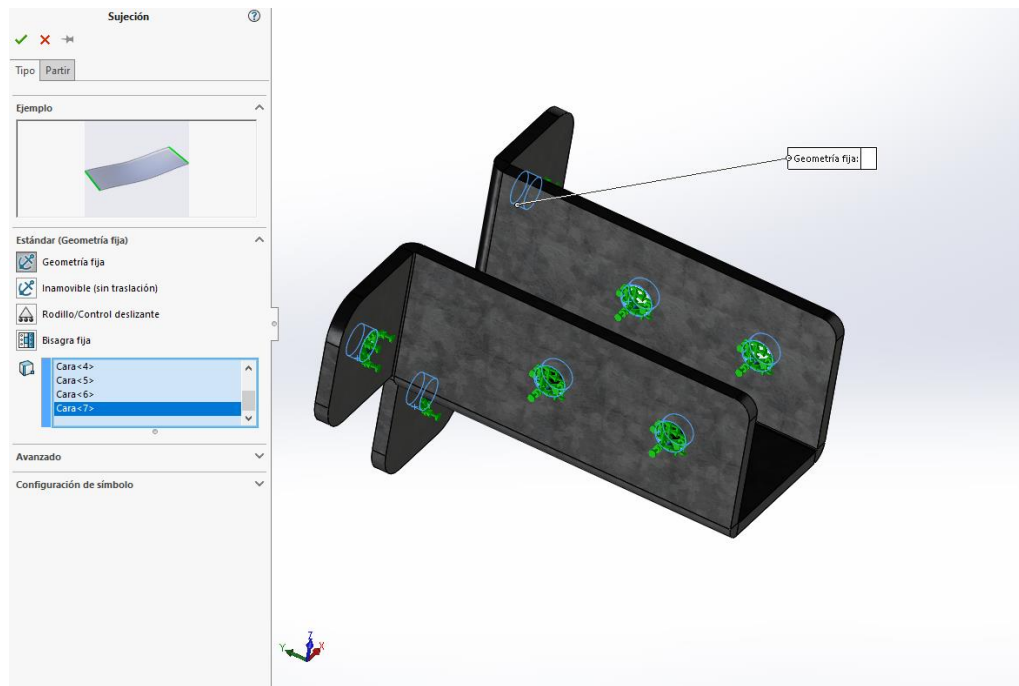


Figura 32: Fijaciones "geometría fija"

2- Cargas externas

Las cargas que se han de aplicar para el dimensionado del componente son las calculadas anteriormente en los extremos de las vigas biempotrada y por supuesto mayoradas al igual que con los tornillos. Para este caso se ha de aplicar un momento de **582,19 Nm** y un cortante de **2,73 KN**. Con el fin de que repartan las cargas lo más uniformemente posible, se han hecho uso de las cargas internas de la fijación, donde es albergado el extremo del travesaño (véase figura 33). Se ha de cambiar la selección predeterminada que aplica la carga "por elemento" para seleccionar la casilla de "total" con el fin de que las cargas se repartan de forma uniforme y no aplicar una carga por cada elemento que se haya seleccionado, en este caso en las tres caras internas.

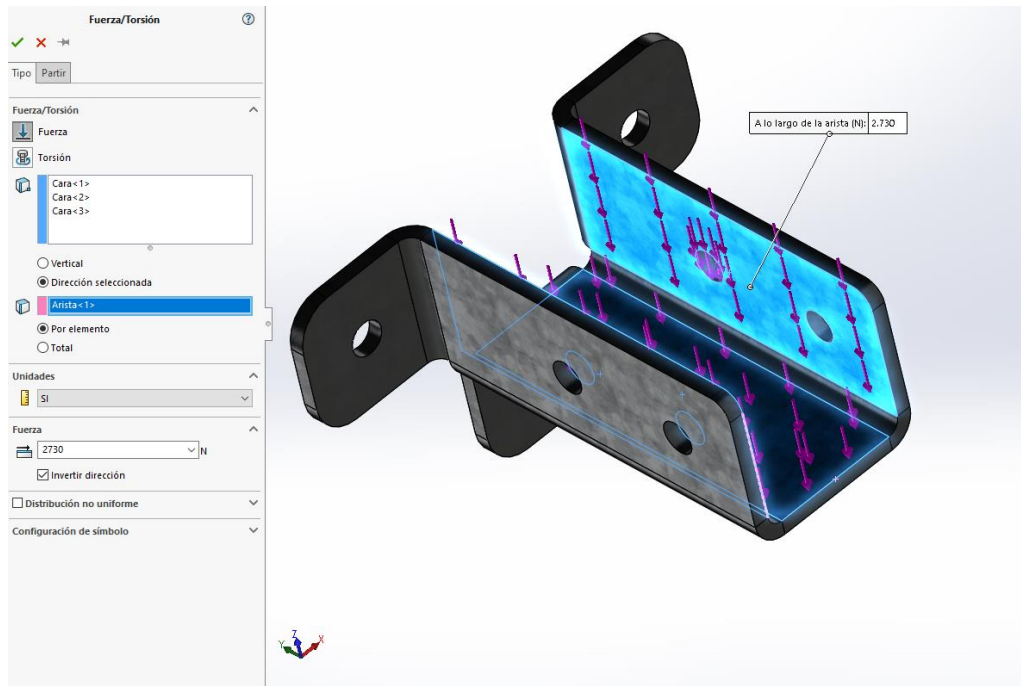


Figura 33: Aplicación de cortante.

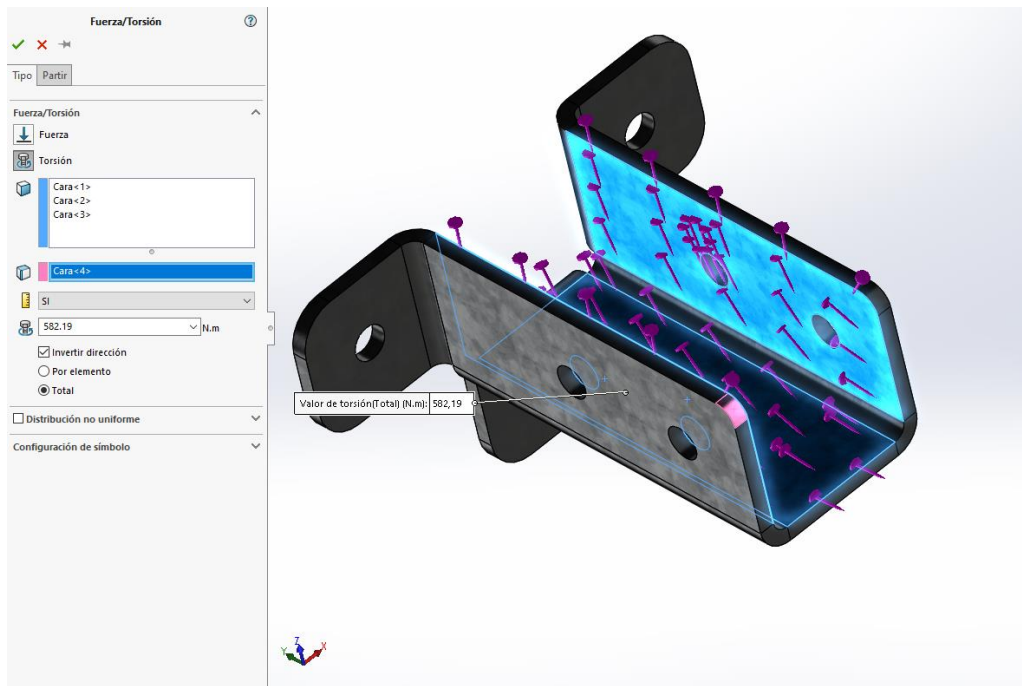


Figura 34: Aplicación de momento.

3- Mallado

Por último, antes de ejecutar el estudio se ha de aplicar una malla a la pieza. Para este caso, se ha realizado un control de mallado con el fin de obtener una mayor precisión de las partes de la pieza en las que se prevé que se van a generar mayor gradiente de tensiones, en este caso, en los orificios y en las tres líneas de plegado de la unión al larguero. Al aplicar un control de mallado se reduce el

coste computacional porque para las zonas que no sean críticas se puede generar un mallado menos refinado. Por otro lado, debido a que la pieza posee zonas con curvaturas y superficies cilíndricas, se ha aplicado un mallado basado en curvatura.

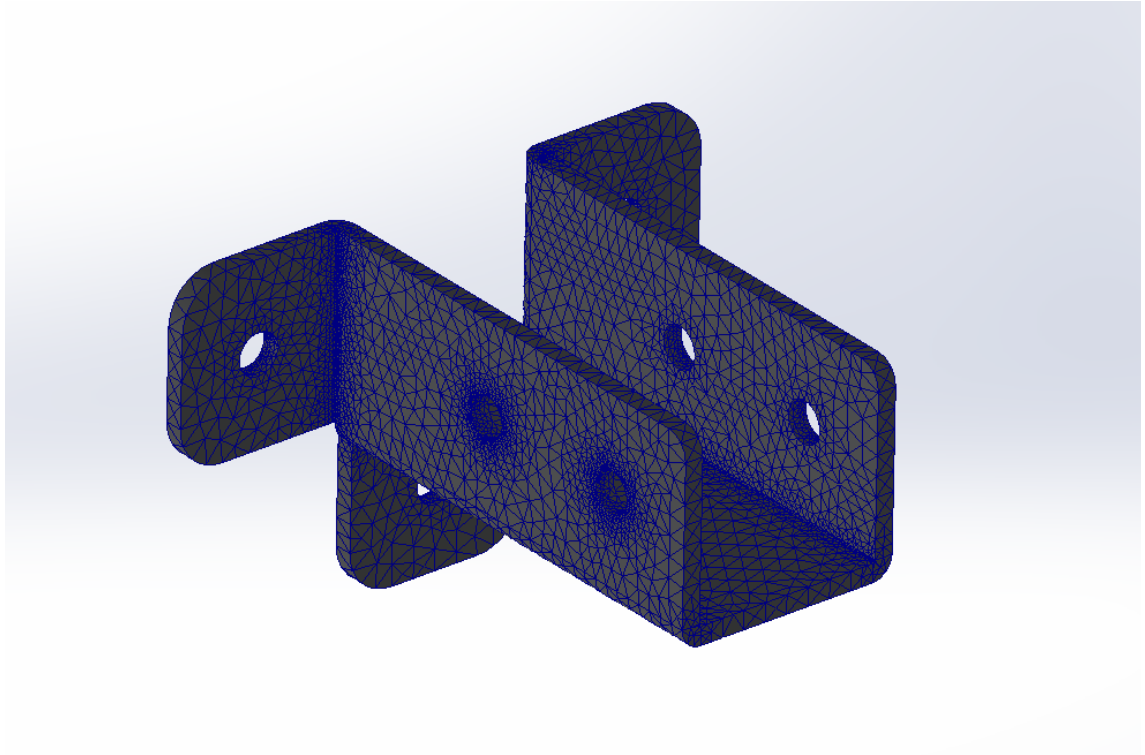


Figura 35: Mallado basado en curvatura.

Tras la realización del mallado se procede a ejecutar la simulación estática. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

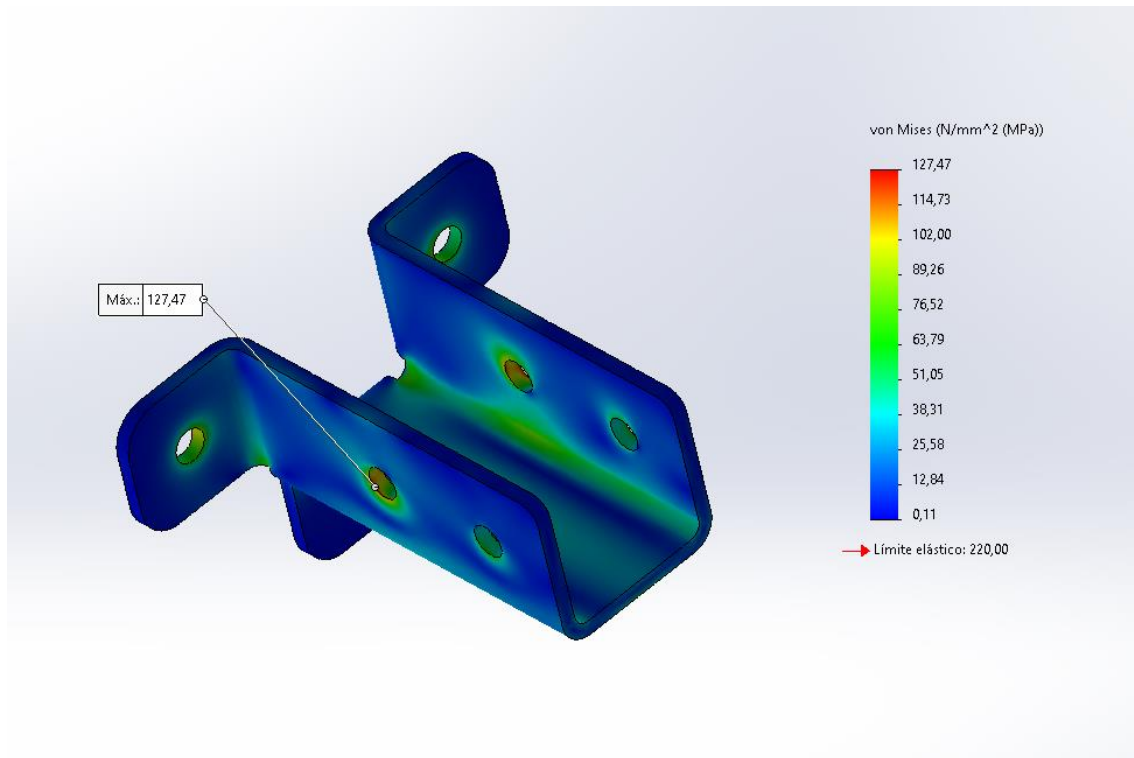


Figura 36: Tensiones según el criterio de Von Mises en la unión larguero-travesaño.

Si nos fijamos en la gama de colores, se puede comprobar que el mayor gradiente de tensiones se produce en las zonas esperadas. La tensión máxima según el criterio de Von Mises en la pieza es de 127,47 MPa, una tensión inferior al límite elástico del material utilizado (220 MPa). Se concluye que el diseño de la pieza es válido.

Prosiguiendo con el dimensionado de las chapas utilizadas como anclaje, se procede al dimensionado de la placa que une los módulos de la pasarela. Las cargas que ha de soportar el anclaje es un momento de 2657,81 Nm y un cortante 4556,25 N. En una primera instancia, se realizan los cálculos con una chapa de espesor de 4 mm. Para la realización de este estudio, se ha aplicado un cortante de la misma manera que los aparatos anteriores. Sin embargo, para la aplicación del momento se ha aplicado una carga remota (véase figura 37) a un metro de distancia de la unión, centrada en la pieza, y con una fuerza vertical de sentido negativo de valor 2657,81 N, por lo que equivale al momento dado. Para su aplicación, se ha de seleccionar las entidades en la que se aplica la carga remota, en nuestro caso, son las caras internas de la unión. A continuación, se ha de determinar la localización según el sistema de coordenadas global y la dirección, sentido y valor de la carga que se ha de aplicar.

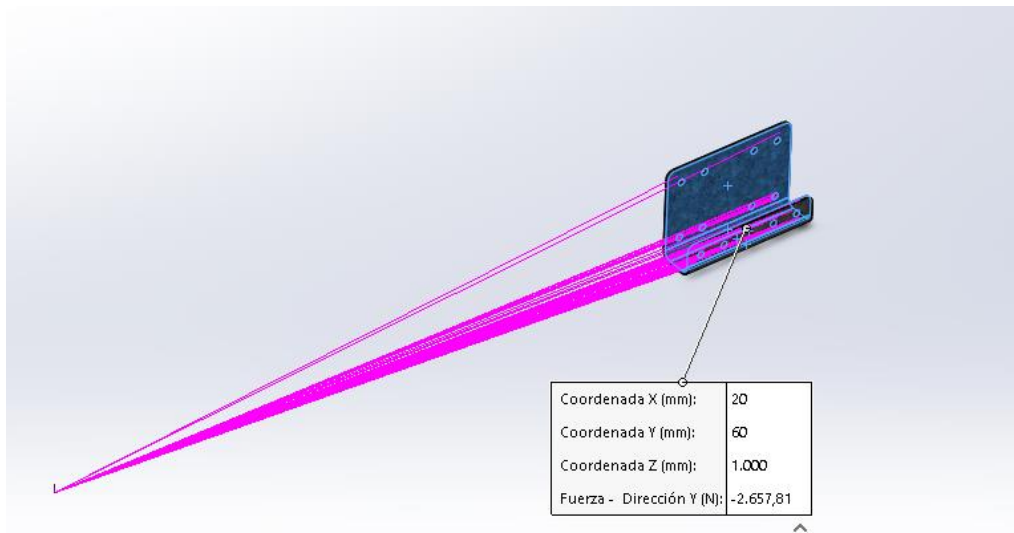


Figura 37: Aplicación de carga remota

En cuanto a las fijaciones, se ha mantenido fijando los orificios de los tornillos. Sin embargo, se ha aplicado una fijación de rodillo en las caras pegadas al larguero con el fin de simular de una forma más cercana a la realidad la pieza dada.

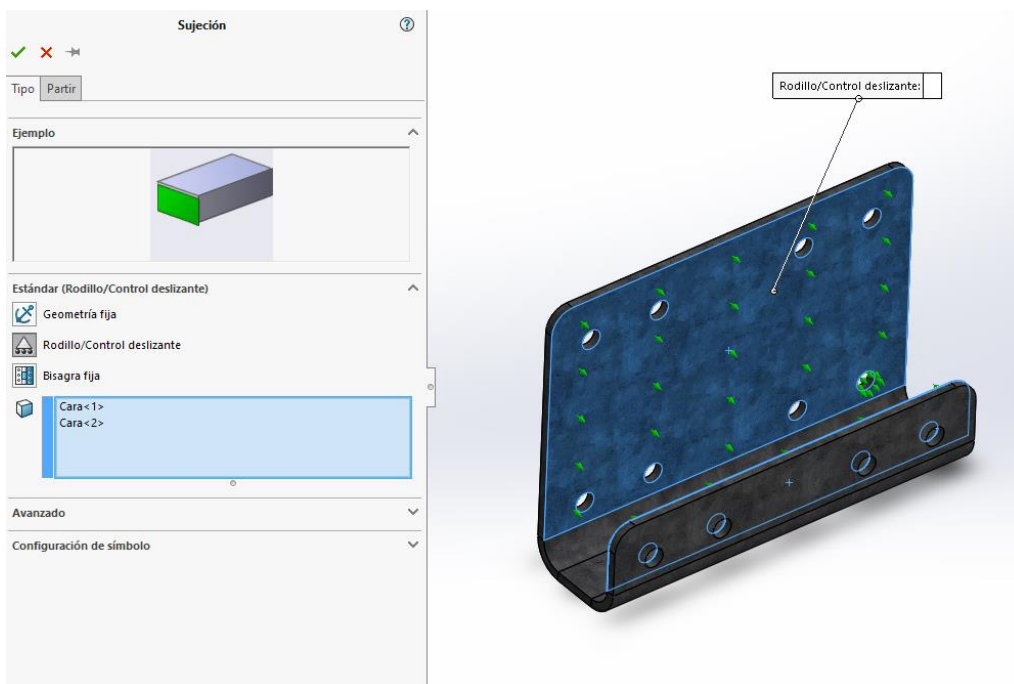


Figura 38: Fijación "Rodillo"

Tras mallar la pieza, aplicando control de mallado en los orificios fijados, se ejecuta el estudio. Los resultados que arroja para la chapa plegada de espesor 4 mm SON:

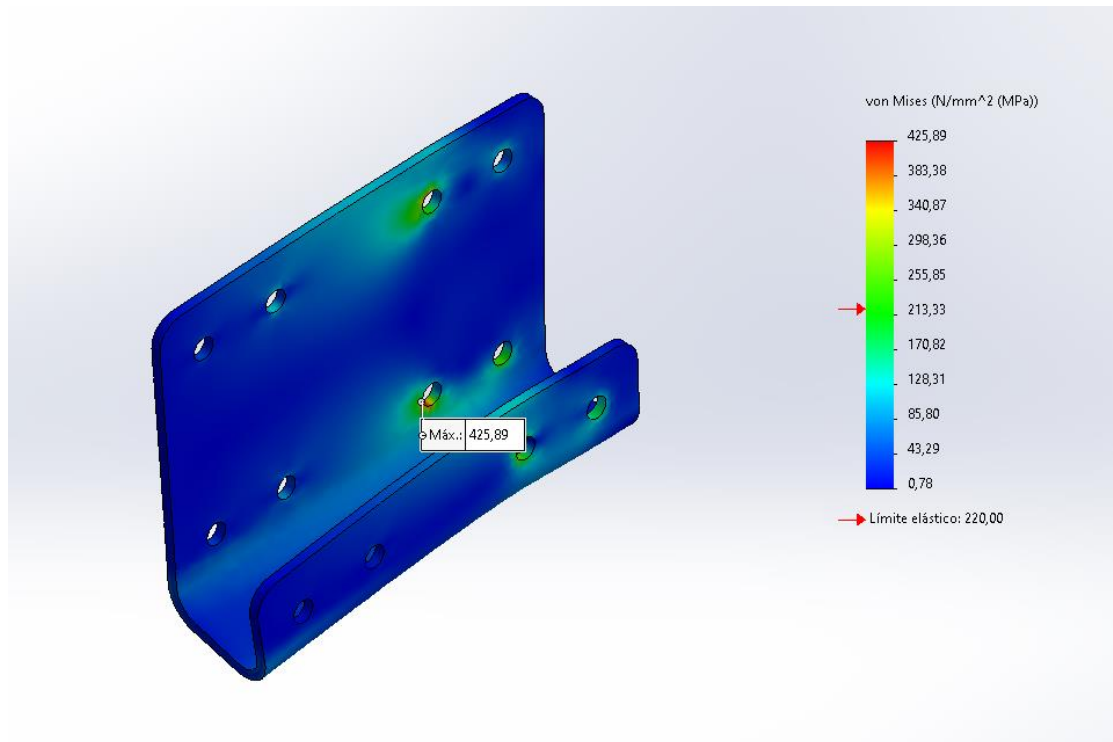


Figura 39: Tensión de Von Mises en la unión larguero-módulos de 4 mm de espesor.

Tras realizar el estudio, las tensiones según el criterio de Von Mises resultan ser superiores al límite elástico llegando a alcanzar hasta 425,89 MPa en los orificios de los taladros que se han considerado más desfavorables, por lo que el diseño es no válido. Por lo tanto, se procede a aumentar el espesor de la pieza, los espesores de chapa galvanizada disponible en el mercado son de 5, 6, 8, 10 mm, por lo que se han realizado estudios hasta dar con el espesor de chapa cuyas tensiones sean menores al límite elástico.

Tras iterar realizando estudios con distintos espesores en las mismas condiciones descritas, se llega a que el espesor adecuado para el diseño es de 8 mm. La tensión producida en la pieza de 8 mm según el criterio de Von Mises es de 203,72MPa (véase figura 40), un valor inferior al límite elástico del material (220Mpa). Por lo que se concluye con el diseño de este componente.

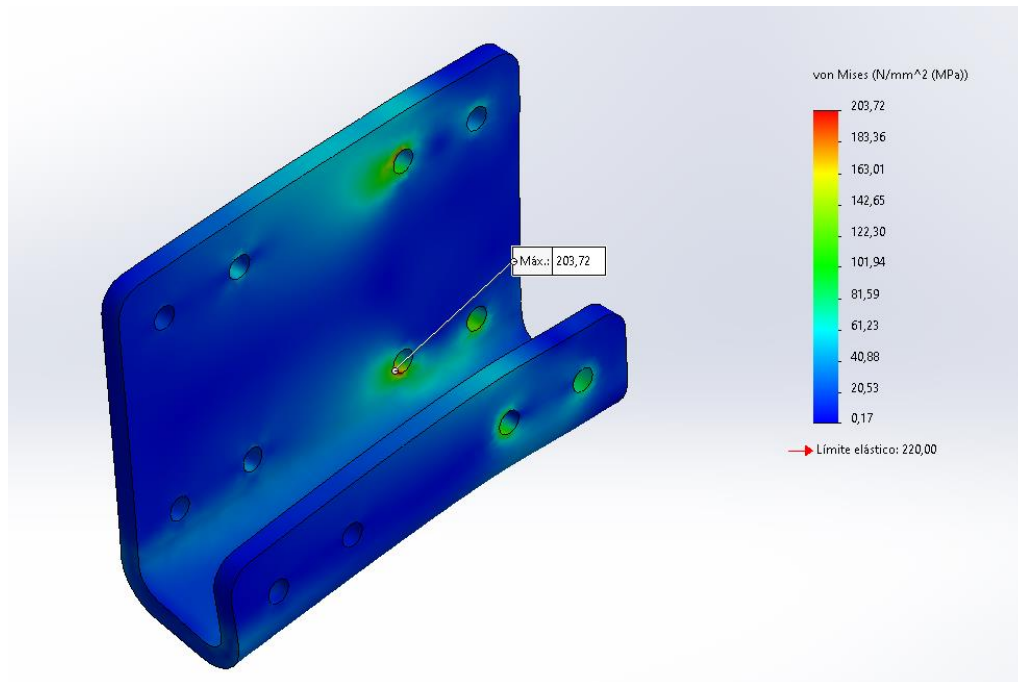


Figura 40: Tensión de Von Mises en la unión larguero-módulos de 8 mm de espesor

5.2. Cálculos piso

Para la elección de emparrillado electrosoldado de galvanizado deseado se hace uso de la información aportada por el fabricante. En la siguiente tabla se muestran las cargas que es capaz de soportar el emparrillado según el ancho y el espesor de la pletina con la que se fabrique.

DISTANCIA ENTRE APOYOS (MM)

		500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
20X2	FV	2045	1422	1045	800	632	512	423	356	303	261	228	200	177	158	142	128
	FP	172	138	115	98	86	76	69	63	57	53	49	46	43	40	38	36
20X3	FV	3072	2133	1567	1200	948	768	635	533	454	392	341	300	266	237	213	192
	FP	258	206	172	148	129	115	103	94	86	80	74	69	64	61	58	54
25X2	FV	3195	2219	1630	1248	986	799	660	555	473	408	355	312	276	247	221	200
	FP	267	213	178	152	133	119	106	97	89	82	76	72	67	63	60	56
25X3	FV	4792	3328	2245	1872	1479	1198	990	832	709	611	532	468	415	370	332	300
	FP	400	320	267	229	200	178	161	146	133	123	115	107	100	94	89	84
30X2	FV	4608	3200	2351	1800	1422	1152	952	800	682	588	512	450	399	356	319	288
	FP	382	306	255	218	191	169	153	139	127	118	109	102	96	90	85	80
30X3	FV	6912	4800	3527	2700	2133	1728	1428	1200	1022	882	768	675	598	533	479	432
	FP	573	458	382	327	287	255	229	209	191	176	164	153	143	135	127	120
30X4	FV	9216	6400	4702	3600	2844	2304	1904	1600	1363	1176	1024	990	797	711	638	576
	FP	764	611	509	439	382	340	306	278	255	235	218	204	191	180	169	181
30X5	FV	11520	8000	5878	4500	3556	2880	2380	2000	1704	1469	1280	1125	997	889	798	720
	FP	956	764	636	545	478	425	382	348	319	294	273	255	239	225	213	201
40X2	FV	8187	5685	4177	3198	2527	2047	1692	1421	1211	1044	910	800	708	632	567	512
	FP	667	534	445	382	334	297	267	243	222	206	191	178	167	158	149	141
40X3	FV	12288	8533	6269	4800	3793	3072	2539	2133	1818	1567	1365	1200	1063	948	851	768
	FP	1002	802	669	573	501	445	401	364	334	308	287	267	251	236	223	211
40X4	FV	16374	11371	8354	6396	5054	4093	3383	2843	2422	2088	1819	1599	1416	1263	1134	1023
	FP	1335	1069	891	763	668	593	534	486	445	411	382	356	334	314	297	281
40X5	FV	20475	14219	10446	7998	6319	5119	4230	3555	3029	2612	2275	2000	1771	1580	1418	1280
	FP	1670	1336	1113	954	835	742	682	607	557	514	477	445	416	393	371	351
50X4	FV	25590	17771	13056	9996	7898	6397	5287	4443	3785	3264	2843	2499	2214	1975	1772	1599
	FP	2055	1644	1370	1174	1027	914	840	745	685	632	587	548	514	483	457	433
50X5	FV	31995	22216	16324	12498	9875	7999	6611	5555	4733	4081	3555	3125	2768	2469	2216	2000
	FP	2569	2056	1713	1469	1285	1142	1050	934	856	791	734	685	643	606	571	541
60X4	FV	36864	25600	18808	14400	11378	9216	7617	6400	5453	4702	4096	3600	3189	2844	2553	2304
	FP	2911	2329	1941	1664	1455	1294	1190	1058	970	896	831	777	728	685	647	613
60X5	FV	46080	32000	23510	18000	14222	11520	9521	8000	6817	5878	5120	4500	3986	3556	3191	2880
	FP	3638	2911	2426	2079	1819	1617	1488	1323	1212	1120	1039	970	910	856	809	766
70X4	FV	50176	34844	25600	19600	15486	12544	10367	8711	7422	6400	5575	4900	4340	3872	3475	3136
	FP	3899	3120	2600	2228	1950	1733	1560	1418	1300	1200	1114	1040	975	918	867	821
70X5	FV	62720	43556	32000	24500	19358	15680	12959	10889	9278	8000	6969	6125	5426	4840	4343	3920
	FP	4874	3899	3250	2785	2437	2166	1950	1772	1625	1500	1393	1300	1219	1147	1083	1026

Tabla 10: Tabla de cargas emparrillado.

- FV: Carga uniformemente distribuida [Kg/m²]
- FP: Carga puntual repartida en un área de 200x200 mm [Kg]

Las cargas para la elección del piso son las utilizadas para el dimensionado de estructura portante, una carga distribuida de 3500 N/m² (357,14 Kg/m²) y una carga puntual de 2625 N (267,86 Kg). En cuanto a la distancia entre apoyos se considera 1200 mm. Tras conocer las condiciones de trabajo, se ha determinado que el emparrillado más adecuado para la pasarela es el de pletina de 30x4 mm.

5.3. Cálculos barandilla

Se comienza el apartado de cálculos de las barandillas determinando las longitudes de corte que, al igual que la de los perfiles usados para la estructura portante, se han determinado según el criterio de máximo aprovechamiento del material suministrado. El pasamanos por condiciones de uso se ha de realizar continuo a lo largo de la barandilla, por ello, la longitud de corte de este es de 1500 mm obteniendo así 4 pasamanos de cada barra suministrada de 6 m. Por otro lado, la longitud de corte del montante viene limitada inferiormente por la altura mínima de la barandilla, la cual es de 1100 mm. Considerando estas condiciones se ha determinado que la longitud de corte óptima es de 1200 mm.

Por otro lado, en cuanto a los ensayos a realizar, la Norma estipula 14122-3 en su apartado 8.2 “Ensayo de los guardacuerpos” que se han de aplicar dos ensayos por posición. Al haber dos posiciones distintas, se va a realizar un total de 4 estudios de carga, además de un quinto estudio con el fin de dimensionar el anclaje de la barandilla con el estado de carga más desfavorable de los realizados anteriormente.

5.3.1. Ensayo en la posición 1

Se han realizado dos ensayos estáticos, uno con la carga de verificación de usabilidad F_u y otro con la carga de verificación de resistencia F_s . En una primera instancia, se utiliza como pasamanos un perfil plano de la serie 8 de dimensiones 40x16 mm. La razón por la que se utiliza este perfil como perfil para el comienzo del dimensionado es por criterios de ergonomía, ya que la utilización de perfiles más estrechos conlleva a un uso no óptimo de la barandilla. Por criterios de montaje, se ha decidido comenzar el dimensionamiento de los montantes con un perfil de la misma serie que la del pasamanos, es de serie de la serie 8. La sección de este perfil es de 40x40 mm.

5.3.1.1 Ensayo en la posición 1 con carga F_u

En este ensayo se ha de verificar que, tras el ensayo en la posición 1 con la carga de verificación de usabilidad, no se sobrepase una flecha de 30 mm. Los pasos que seguir para crear el ensayo son similares a los seguidos para los anteriores estudios, sin embargo, posee ciertas singularidades.

1. Uso de línea de partición

Con el fin de aplicar de forma correcta las fijaciones de la barandilla, se ha de aplicar en las caras fijas de los montantes una operación que divida la superficie en dos áreas para diferenciar la parte anclada de la libre. Esto se consigue aplicando la operación “Línea de partición” (véase figura 41). Dicha operación es capaz de dividir una cara en las superficies deseadas sin realizar ningún corte que

conlleve pérdida de masa o variación de la geometría original. El único elemento necesario para realizar esta operación es un croquis sobre la cara deseada.

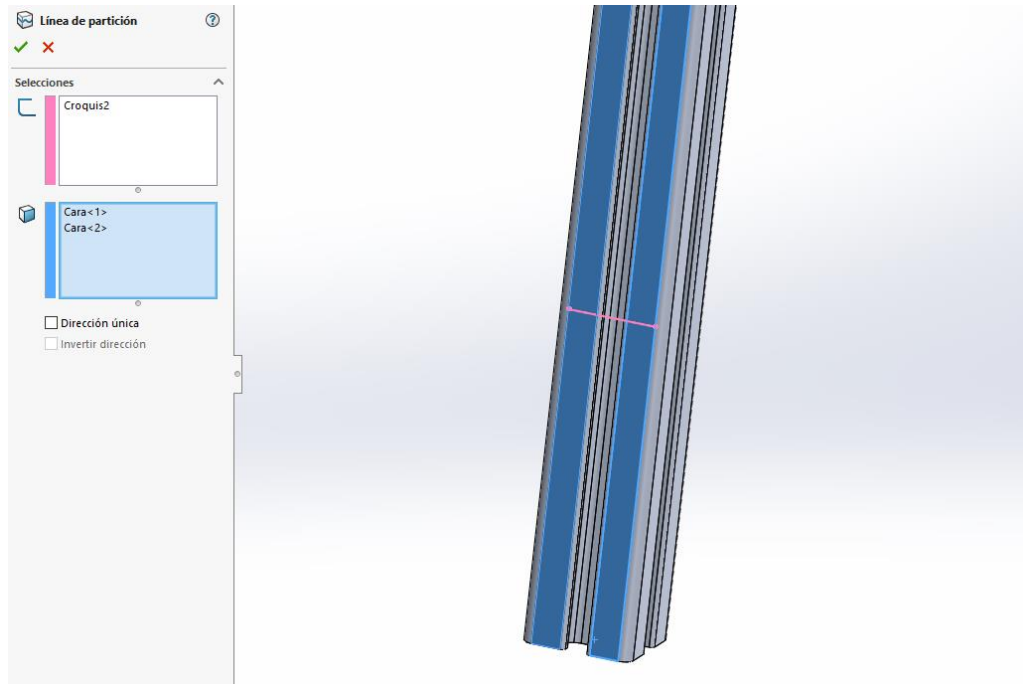


Figura 41: Operación línea de partición.

2. Geometría de referencia “Punto”

Sobre el pasamanos se ha de aplicar una carga puntual, por lo que es necesario la creación de un punto sobre la cara lateral del pasamanos superior. Esto se realiza aplicando una geometría de referencia (véase figura 42). Para este primer estudio, el punto se encuentra alineado con el eje del montante central.

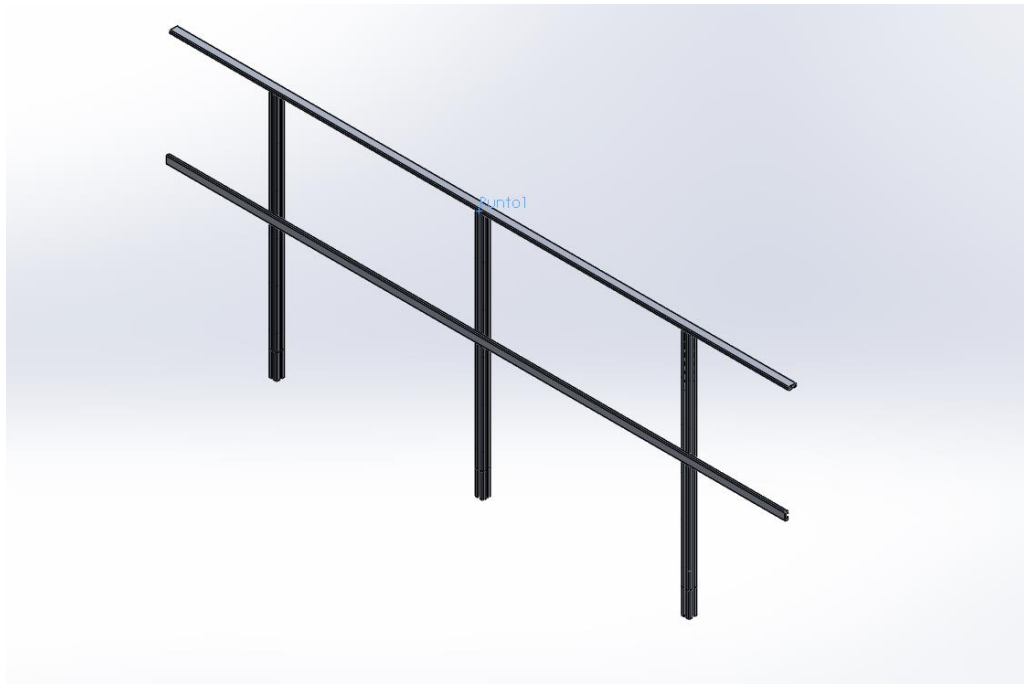


Figura 42: Geometría de referencia "Punto"

3. Aplicación de material

Es condición necesaria la aplicación de material a todos los componentes que entren en juego en el ensayo debido a que, al aplicar el material, se definen las propiedades necesarias para el cálculo mecánico de éste. El material aplicado para los componentes de la barandilla es el mismo que se ha usado para el diseño de la estructura portante, el aluminio 33206.72 y sus propiedades son las siguientes:

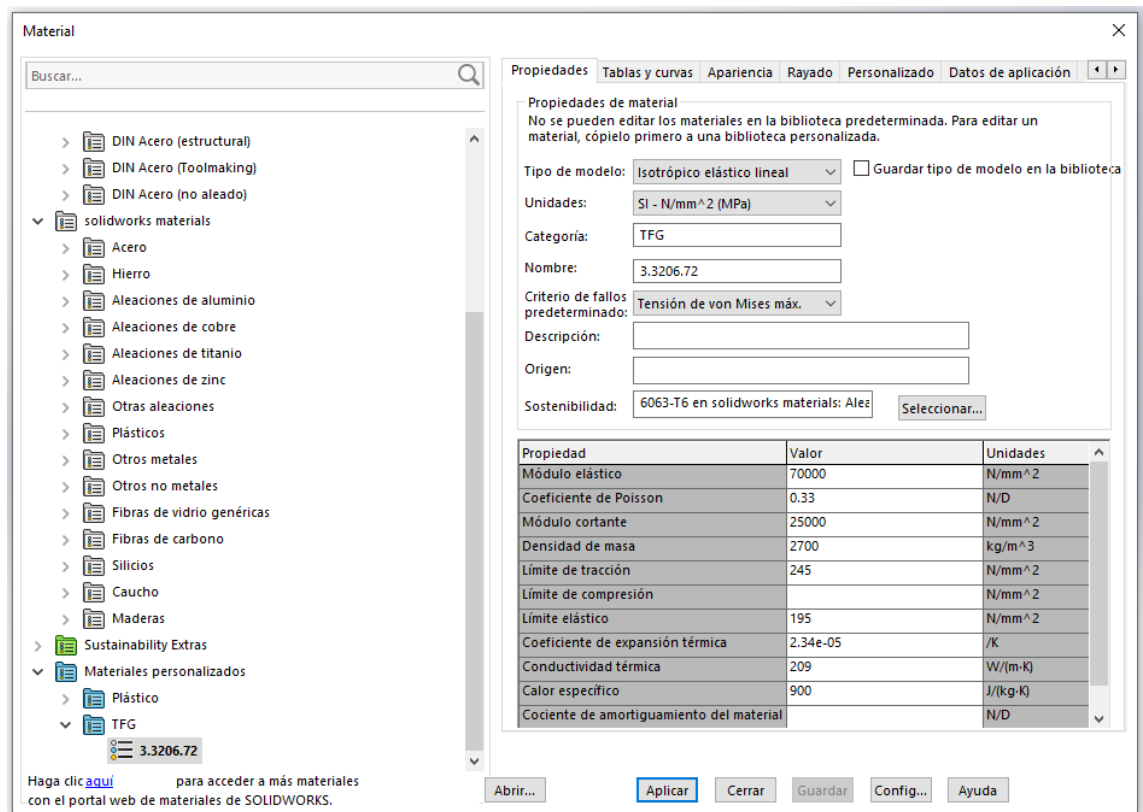


Figura 43: Aplicación de material a los componentes "Aluminio 3.3206.72"

4. Contando entre componentes

Al estudiar un ensamblaje se han de definir las relaciones entre los componentes, entre las opciones que el programa da a elegir, se ha optado por la unión rígida global. Este tipo de unión proporciona una unión rígida entre los componentes cuyas caras estén en contacto.

5. Aplicación de condiciones de contorno

Tras la aplicación de las modificaciones necesarias en los componentes, se han de aplicar las condiciones de contorno adecuadas para el ensayo. Como primera instancia se ha de aplicar una sujeción fija en las caras que quedan fijadas al travesaño lateral usando la superficie generada por la línea de partición (véase figura 44). Por otro lado, se ha de aplicar la carga estipulada sobre el punto aplicado en el montante. Esta carga tiene como valor 300 N y es normal a la cara lateral del pasamanos superior (véase figura 44).

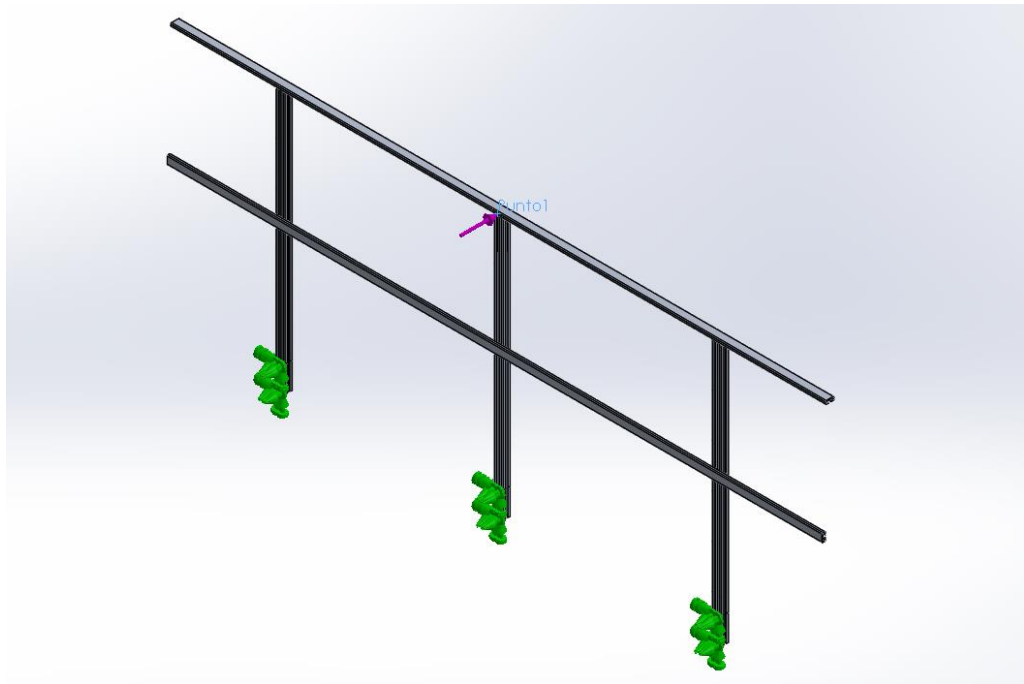


Figura 44: Condiciones de contorno; ensayo posición 1.

6. Control de mado

Con el fin de disminuir el coste computacional, se ha aplicado un control de mado en ciertas zonas. Para este caso, se ha realizado el control de mado en las inmediaciones de las líneas de partición creadas. Como se ha explicado anteriormente, estas líneas delimitan el área que está restringida del área libre, por lo que se espera que en esas líneas divisorias se encuentre un gran gradiente de tensiones. En cuanto al mado de general, se ha aplicado una malla basada en curvatura poco refinada, con el fin de que se adapte a los redondeos de las ranuras del perfil de aluminio.

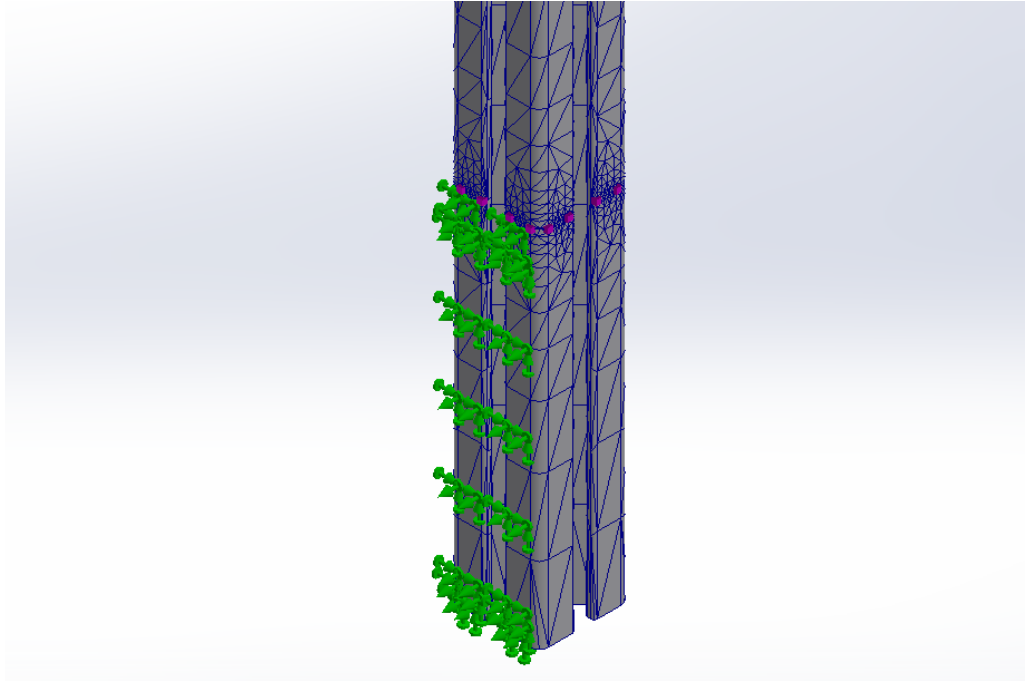


Figura 45: Control de mallado en línea de partición.

Tras la realización de los pasos enumerados anteriormente se ha de ejecutar el estudio. Como se ha indicado anteriormente, el resultado relevante de este primer estudio es la flecha máxima producida. En este caso, se ha generado una flecha de 11,96 mm (en módulo) por lo que el diseño cumple este estudio ($f < 30$ mm).

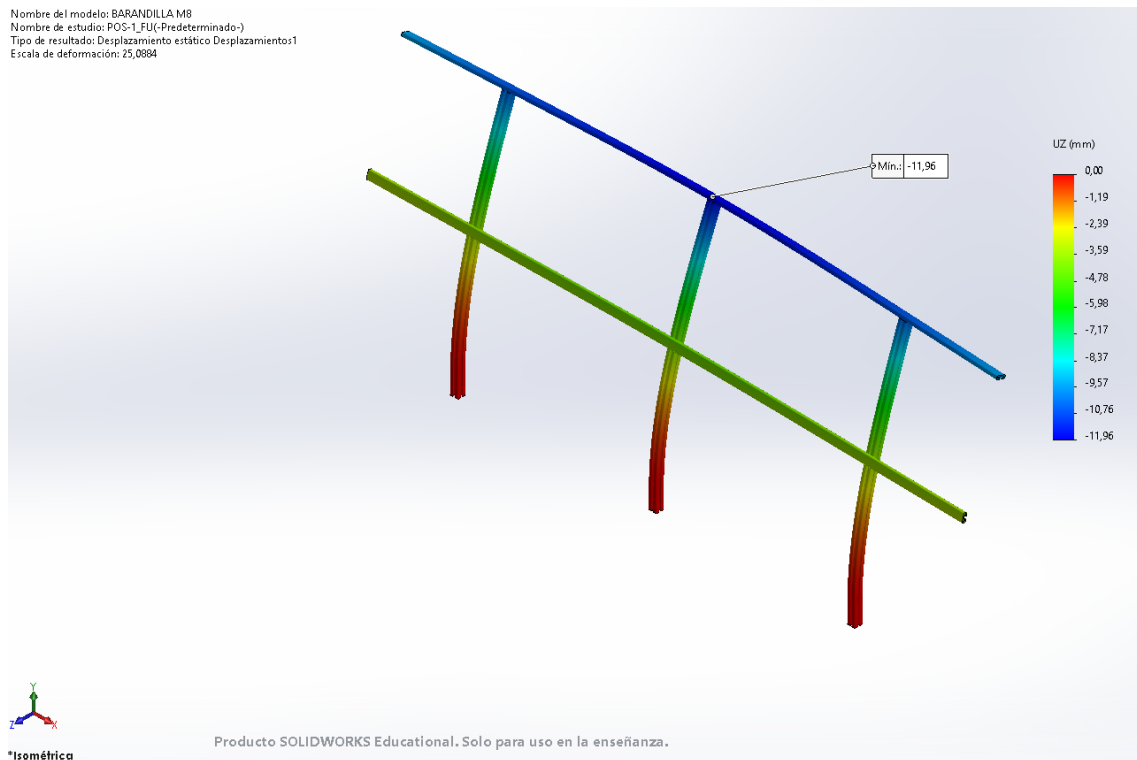


Figura 46: Resultado de la flecha en ensayo posición 1 aplicando F_u .

5.3.1.1 Ensayo en la posición 1 con carga Fs

El estudio realizado en este ensayo es idéntico al anterior, con la salvedad del aumento de la carga de F_u a F_s , cuyo valor es de 525 N. Para agilizar el proceso de simulación se realiza un copiado del estudio anterior, ahorrando así la aplicación de las condiciones de contorno y el mallado de los componentes. Para realizar el copiado, únicamente es necesario aplicar la herramienta “Copiar estudio” y aplicar el nombre deseado de éste (véase figura 47).

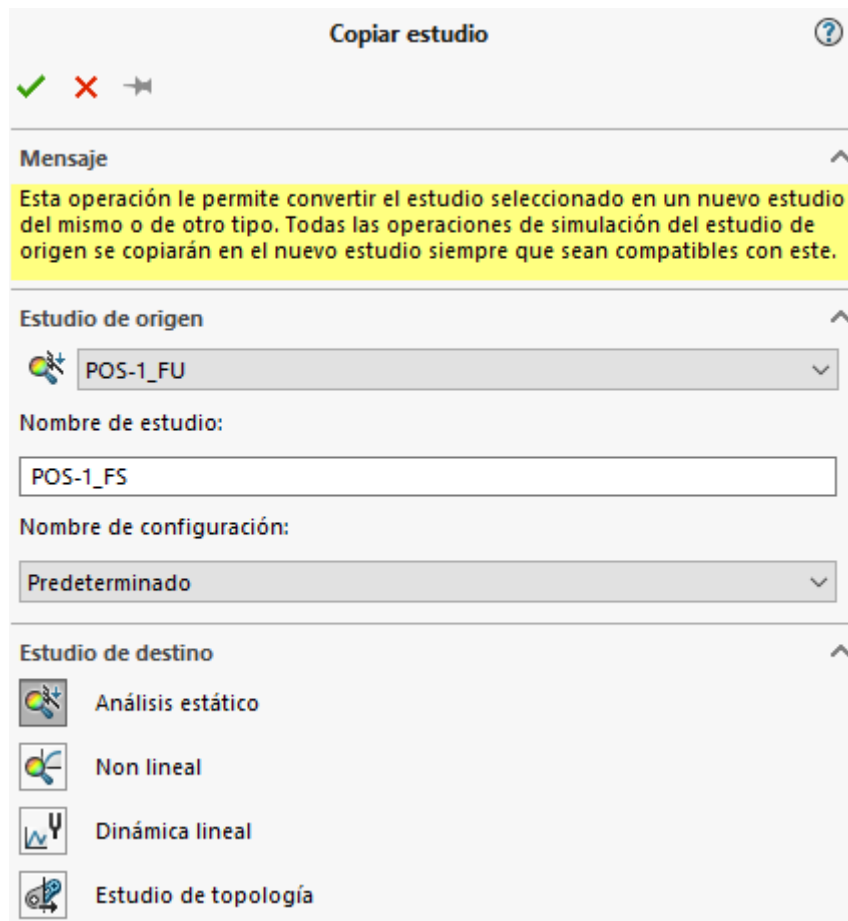


Figura 47: Copiar estudio.

Tras aumentar la carga y ejecutar el estudio, se obtiene que la tensión máxima es de 133,20 MPa inferior a los 195 MPa, por ello, no se produce ningún tipo de deformación plástica. Si la tensión fuera superior al límite elástico, sería necesario la realización de un estudio no lineal con el fin de comprobar que la deformación plástica no supera los límites impuestos por la norma.

Nombre del modelo: BARANDILLA M8
 Nombre de estudio: POS-1_FS(-Predeterminado-)
 Tipo de resultados: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 14,3362

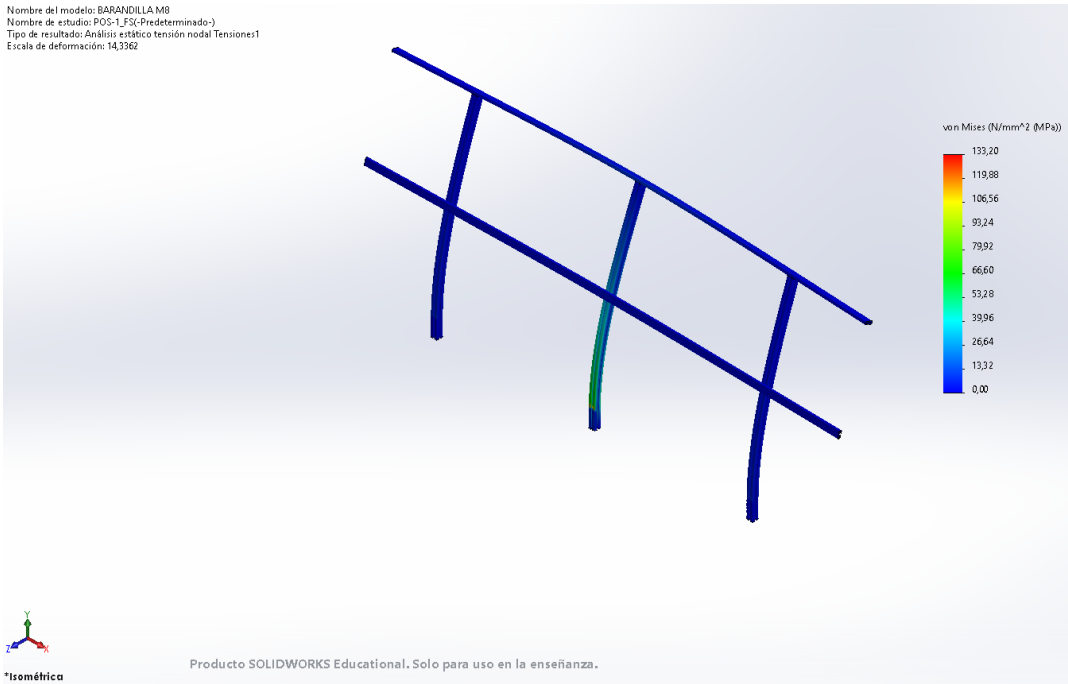


Figura 48: Tensión de Von Mises en estudio posición 1 aplicando F_s .

5.3.2. Ensayo en la posición 2

Tras superar el ensayo en la posición 1, se procede al ensayo de la posición 2. La única diferencia entre ambos es la posición de la carga debido a que ésta está aplicada entre montantes (véase figura 49). Como el proceso de modelado es similar al estudio anterior, se procede a mostrar únicamente los resultados obtenidos.

Nombre del modelo: BARANDILLA M8
 Nombre de estudio: POS-2_FU(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida

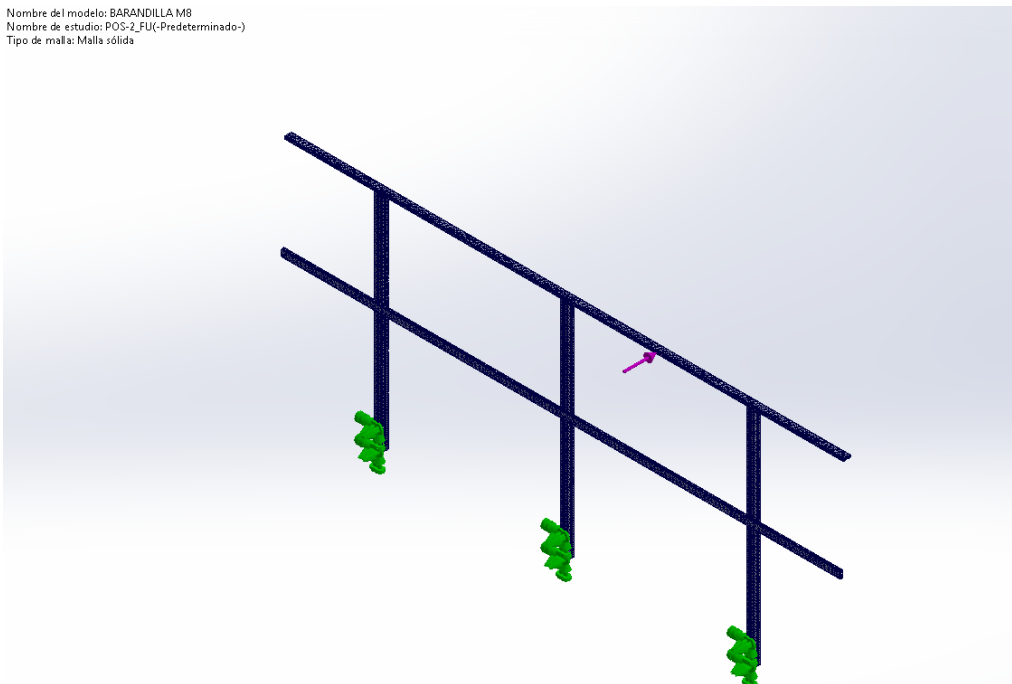


Figura 49: Condiciones de contorno ensayo posición 2.

5.3.2.1 Ensayo en la posición 2 con carga F_u

Los resultados obtenidos en este estudio aplicando la carga de verificación de usabilidad F_u en la posición 2 muestran una flecha de 8,16 mm (en módulo), inferior a la flecha máxima estipulada por la norma ($f < 30$ mm). El diseño cumple las condiciones requeridas.

Nombre del modelo: BARANDILLA M8
Nombre de estudio: POS-2_FU(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 36,7468

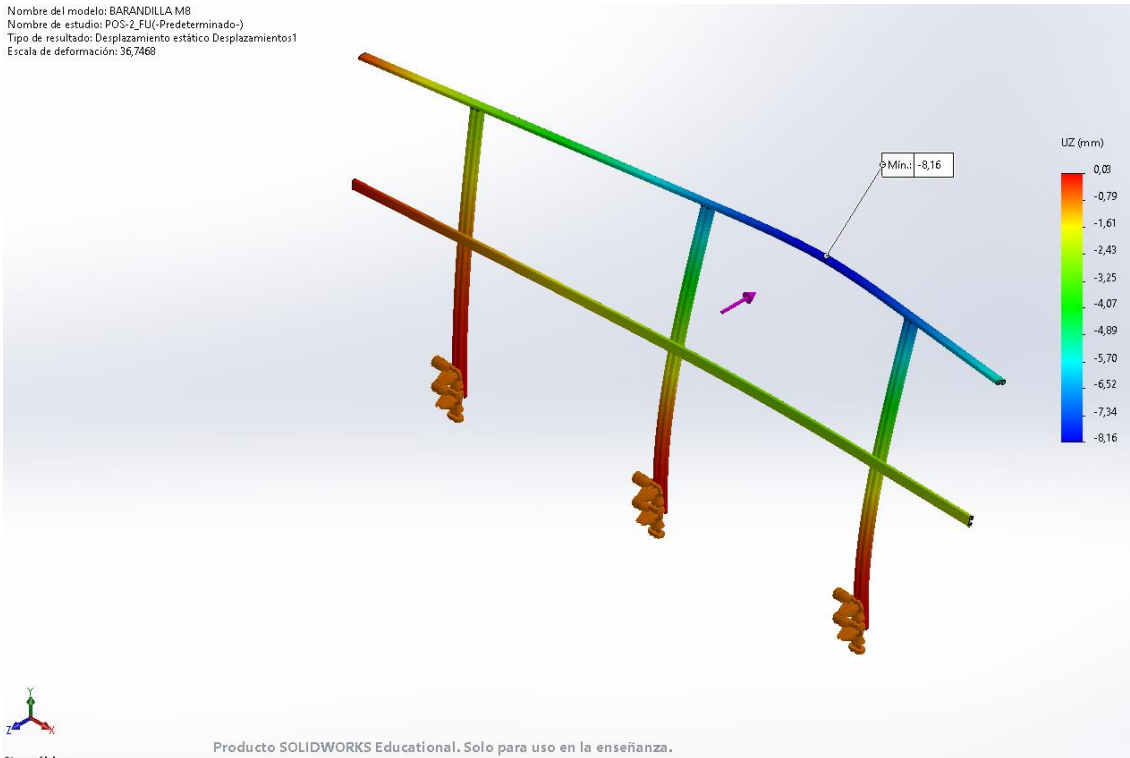


Figura 50: Resultado de la flecha en ensayo posición 2 aplicando F_u .

5.3.2.1 Ensayo en la posición 2 con carga F_s

El último ensayo que realizar es el ensayo en la posición 2 con la carga de verificación de resistencia F_s . Los resultados que arroja este estudio son favorables y respaldan el correcto dimensionado de la barandilla ya que la tensión producida según el criterio de Von Mises es de 80,65 MPa, inferior al límite elástico del componente (195 MPa), por lo que no se produce deformación plástica.

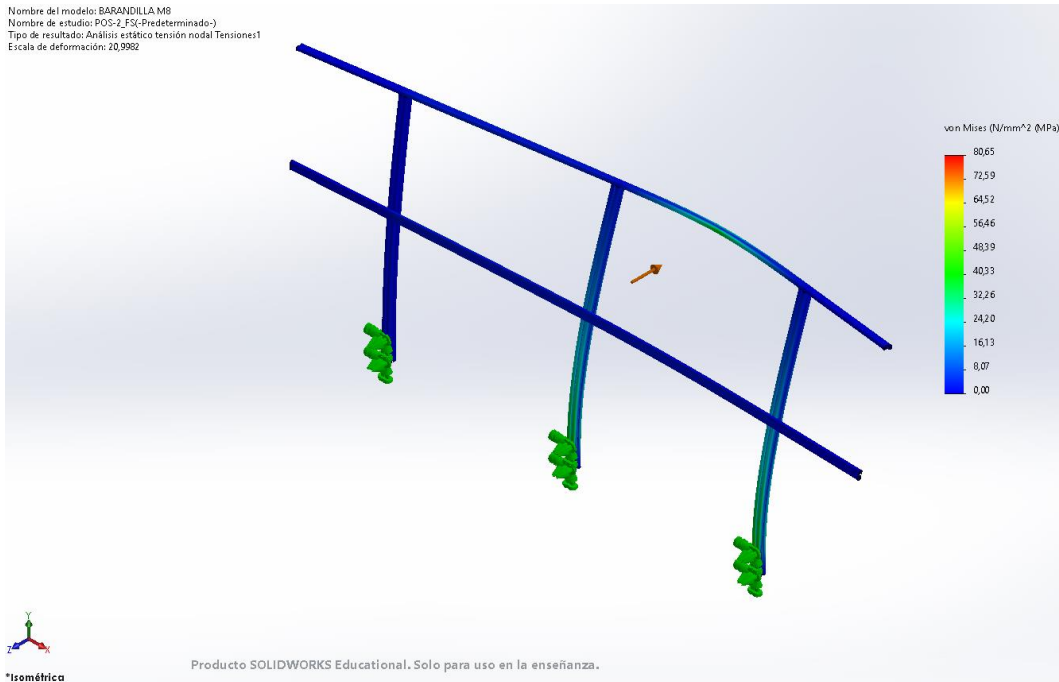


Figura 51: Tensión de Von Mises en ensayo posición 2 aplicando F_s .

5.3.3. Dimensionado de anclaje barandilla – estructura portante

Este apartado tiene como fin el dimensionado del anclaje que une la barandilla con la estructura portante. Para realizar este estudio, se hace uso de las condiciones de contorno del ensayo de la posición 1 con la carga F_s debido a que es el caso más desfavorable. Aplicando ciertas simplificaciones se ha considerado que estamos ante una barra en voladizo a la que se le ha aplicado una carga en su extremo (véase figura 52).

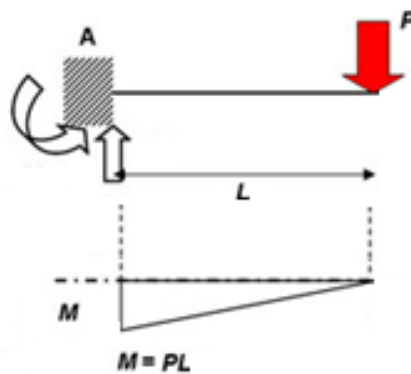


Figura 52: Solicitaciones viga empotrada

El cortante en este problema es despreciado porque su valor es reducido comparado con la tracción producida por el momento. El anclaje como se ha explicado en el apartado de 4.2.4.3, dispone de 4 tornillos métrica 8 alineados verticalmente 2 a 2, haciendo uso de la ranura inferior y superior de los laterales del larguero. Se ha decidido

no aplicar tornillos en la ranura intermedia ya que no intervendrían en contrarrestar el momento generado. Estos 4 tornillos son los encargados de unir el anclaje al larguero de la estructura portante. Tras la aplicación de la carga en el extremo superior del montante se genera un momento en el anclaje que ha de ser absorbido por los dos tornillos superiores e inferiores del anclaje.

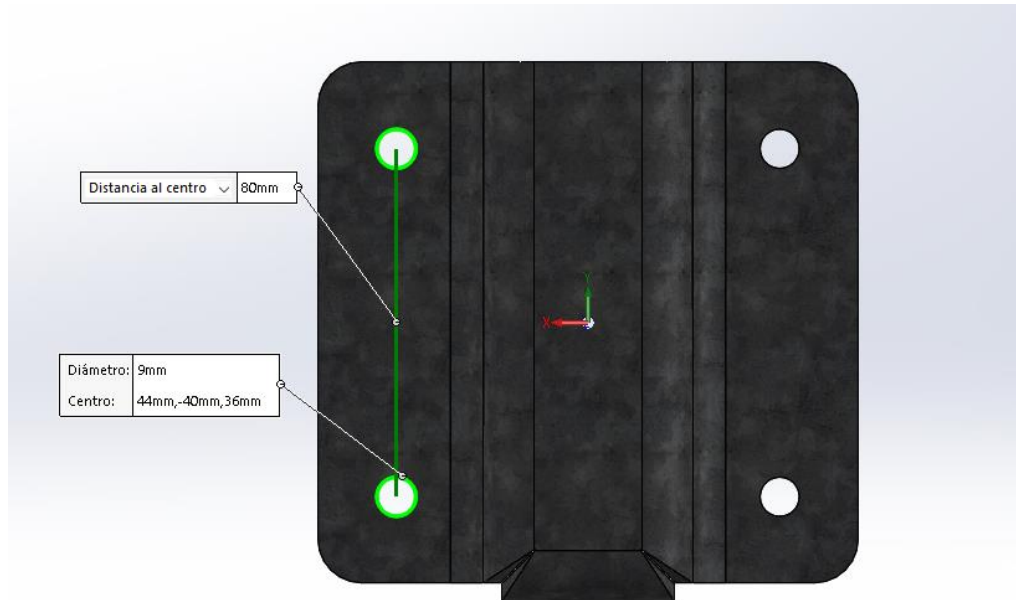


Figura 53: Vista de alzado de unión barandilla- larguero.

Los dos tornillos superiores se encuentran en la situación más desfavorable debido a que quedan traccionados por una fuerza de valor (cada uno de ellos):

$$F_{+} = \frac{M}{2 * d}$$

$$M = P * L$$

Siendo L=1080 mm y P=525N se genera un momento de 556.2 Nm, por lo que la fuerza de tracción generada en el tornillo superior, siendo d=80 mm, es de 3476,25 N. Según la tabla 9 de tornillos traccionados, con la utilización de 4 tornillos de M8 de calidad 4.6 la unión sería válida para las condiciones requeridas debido a que un tornillo de M8 tiene la capacidad de resistir hasta 10.5 KN en tracción.

Por otro lado, se han implementado 4 tornillos de M8 2 a 2, haciendo uso de las ranuras laterales del montante (véase figura 54). El orificio situado entre los dos tornillos tiene como fin facilitar el montaje de estos como ya se ha explicado en apartados anteriores.

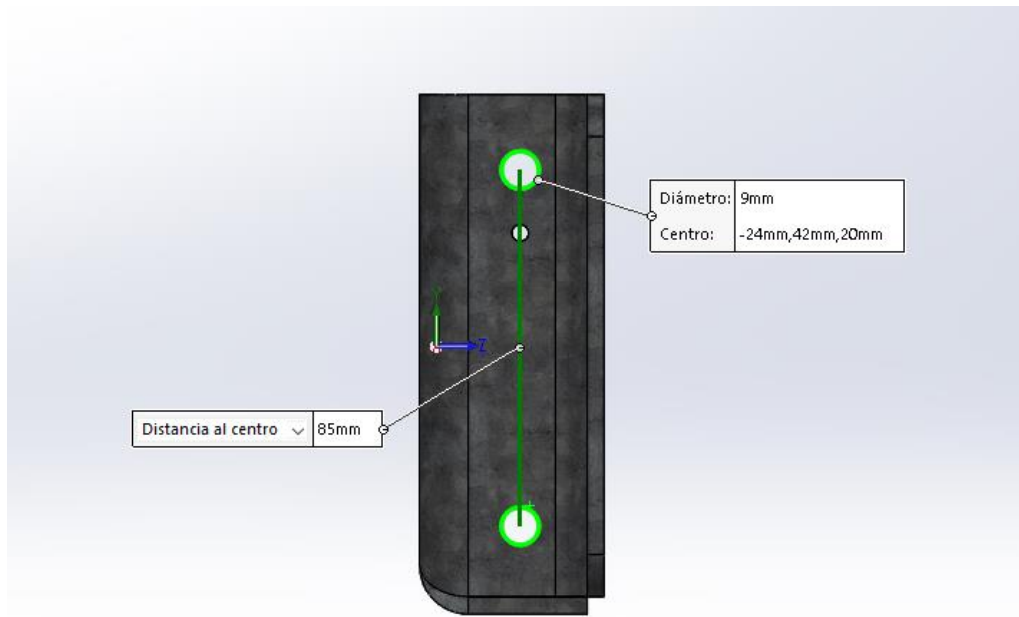


Figura 54: Vista lateral unión barandilla- larguero.

En este caso al encontrarse los tornillos en un plano perpendicular al momento generando, los tornillos soportan a este generando un cortante de valor:

$$V = \frac{M}{2 * d}$$

Siendo d la distancia entre tornillos, cuyo valor es 85 mm, se genera un cortante de 3271,76 N por tornillo. Según la tabla 7 “Resistencia frente a cortadura simple según métrica y calidad” utilizando 4 tornillos de calidad 4.6 de M8 la unión cumple las sollicitaciones de diseño debido a que cada tornillo es capaz de soportar un cortante de 8 KN.

Para terminar con el diseño de la unión se realiza un ensayo de cargas estáticas con el módulo “Simulation” de SolidWorks, con el fin de seleccionar el espesor de chapa adecuado para la fijación. Se comienza el diseño de ésta con un espesor de 3 mm ya que es el mínimo espesor recomendado para el tornillo de M8.

Tras la aplicación de las condiciones de contorno en los orificios de los talados y al haber aplicado un momento de 556,20 Nm en la pieza, se malla la pieza para después ejecutar el estudio. Los resultados obtenidos son los siguientes:

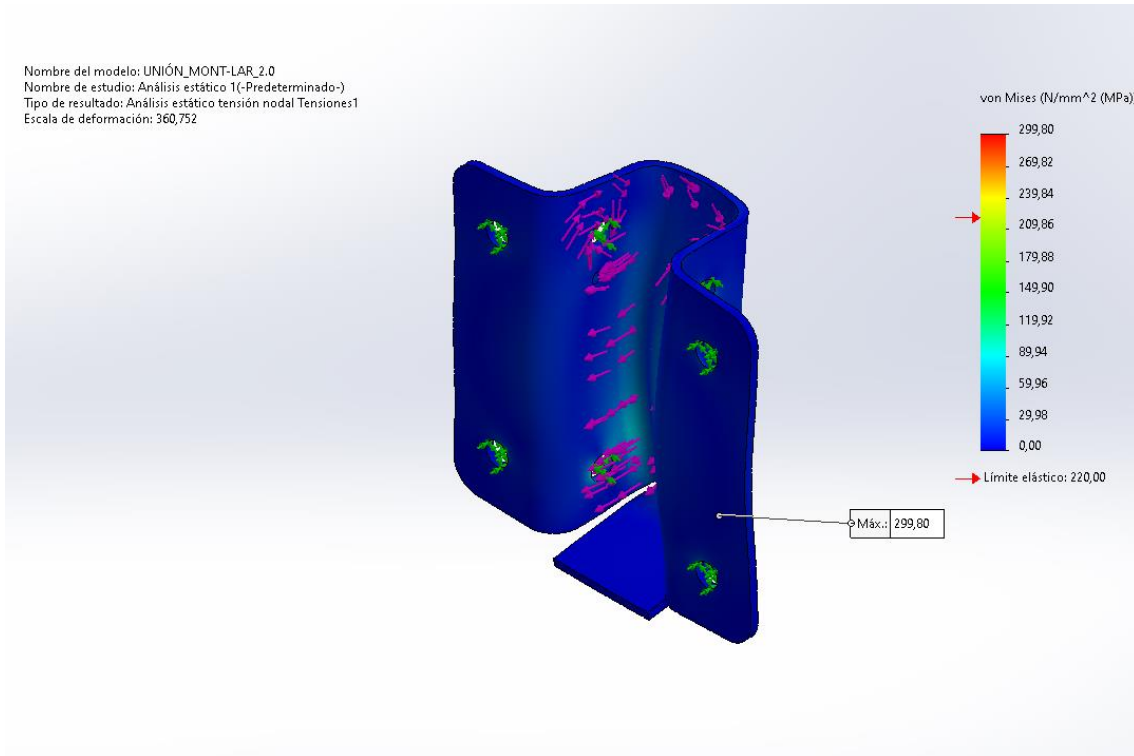


Figura 55: Tensión de Von Mises en unión barandilla-larguero.

Si nos fijamos en la imagen anterior, se generan tensiones superiores al límite elástico del material (299 Mpa > 220 Mpa). Por ello se aumenta el espesor a 4 mm y se vuelve a realizar el estudio de la pieza. Tras realizar el estudio con el aumento de espesor se genera una tensión según el criterio de Von Misses de 190,767 MPa, un valor inferior al límite elástico, por lo que se concluye el diseño de esta unión.

5.4. Cálculos rodapié

Como se ha explicado en el apartado de solución aportada, la fabricación del rodapié se realiza con chapa plegada. Al ser un componente no estructural, no se realiza ningún tipo de cálculo estático, sin embargo, las chapas plegadas tienen ciertas restricciones impuestas por la plegadora en cuanto a fabricación se refiere. En la siguiente tabla se muestran los parámetros de la plegadora usada:

Tabla de capacidades y ranuras (Plegadora 160 T)										
S (mm)	0.5	0.75	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
Ranura	8	3	6	4	1	2	9	10	7	5
V (mm)	3.5	7	9	14	18	22	25	35	46	60
R (mm)	0.6	1.25	1.5	2.3	3	3.6	4.1	5.8	7.6	9.7
L (mm)	3	4.5	5.5	9	11	13	16	22	27	36

Tabla: Parámetros de plegadora 160 T

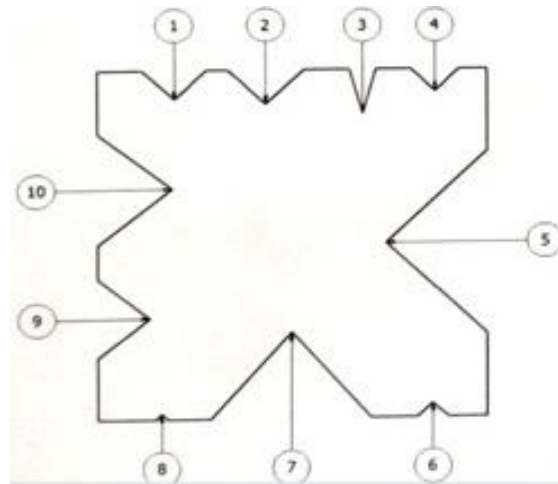
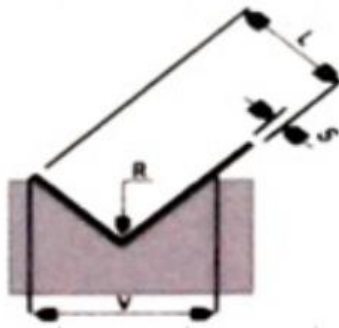


Figura 56: Numeración de ranuras de la matriz.



- L: Mitad de la longitud mínima del lado a plegar.
- V: Abertura de la ranura.
- R: Radio de plegado.
- S: Espesor de la chapa.

Figura 57: Parámetros de plegado.

El espesor elegido para la realización del rodapié es de 1.5 mm, por ello, el lado mínimo que debe tener la pieza debe ser ≥ 11 mm. Como indica la norma expuesta en apartados anteriores, la altura mínima del rodapié ha de ser ≥ 100 mm respecto la superficie del piso. Tras la consideración de las condiciones de diseño, la geometría del rodapié es la siguiente:

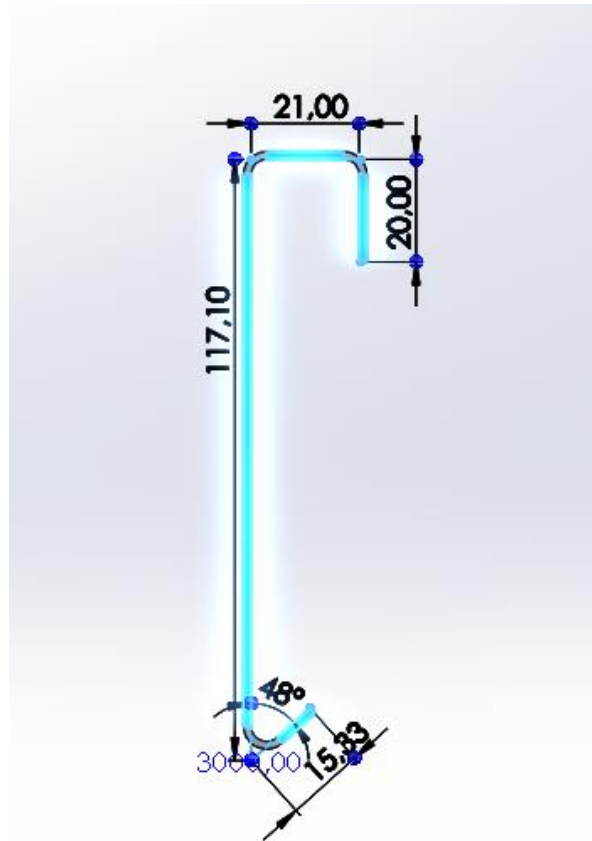


Figura 58: Dimensiones del rodapié.

Las medidas expuestas en la figura anterior vienen determinadas por las limitaciones geométricas de la zona donde se encuentra situada, siendo más preciso, por la geometría de la ranura del perfil que hace de travesaño. Tras comprobar que la parte inferior del rodapié encaja a la perfección en la ranura y, por otra parte, la zona superior quedaba apoyada en el montante de la barandilla, se ha aumentado la altura hasta que la chapa tuviera unas dimensiones determinadas.

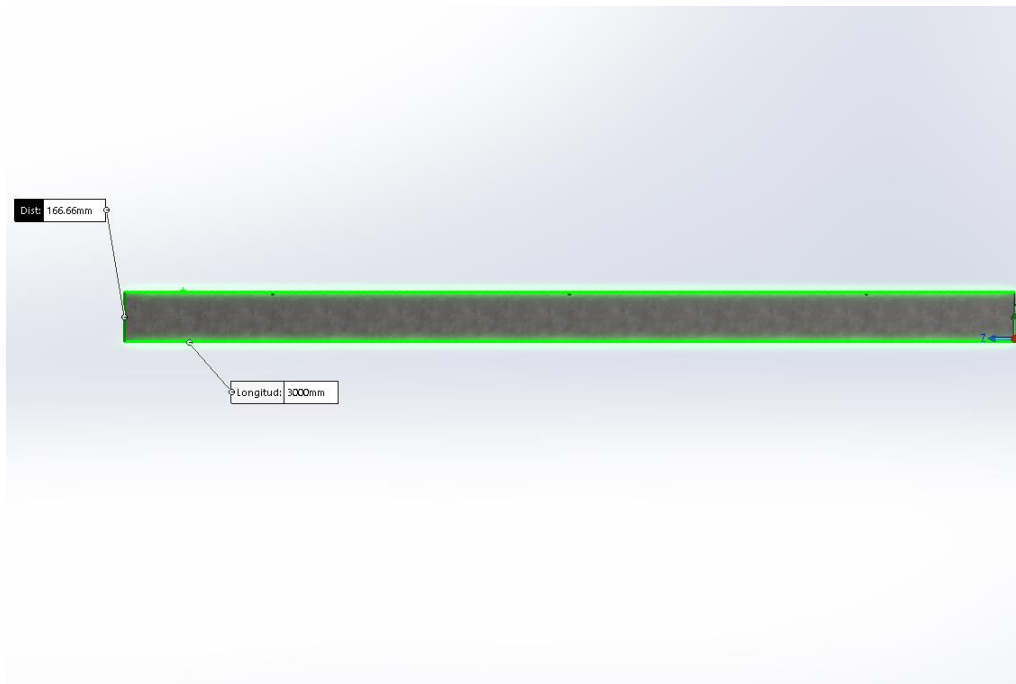


Figura 59: Chapa desplegada de rodapié.

EL formato de chapa suministrado por el proveedor es de 3000x1500x1.5 mm, por ello, se ha dimensionado el rodapié con una medida desplegada de 166.66 mm con el fin de obtener 9 unidades de la chapa mencionada sin la generación de retales y disminuyendo así el número de cortes.

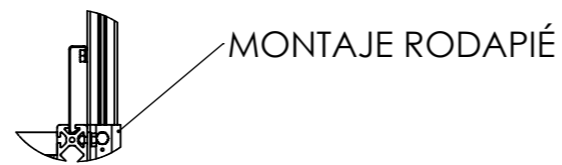
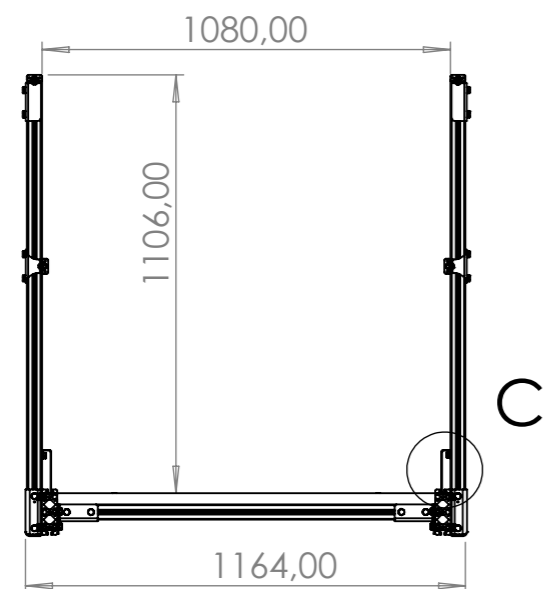
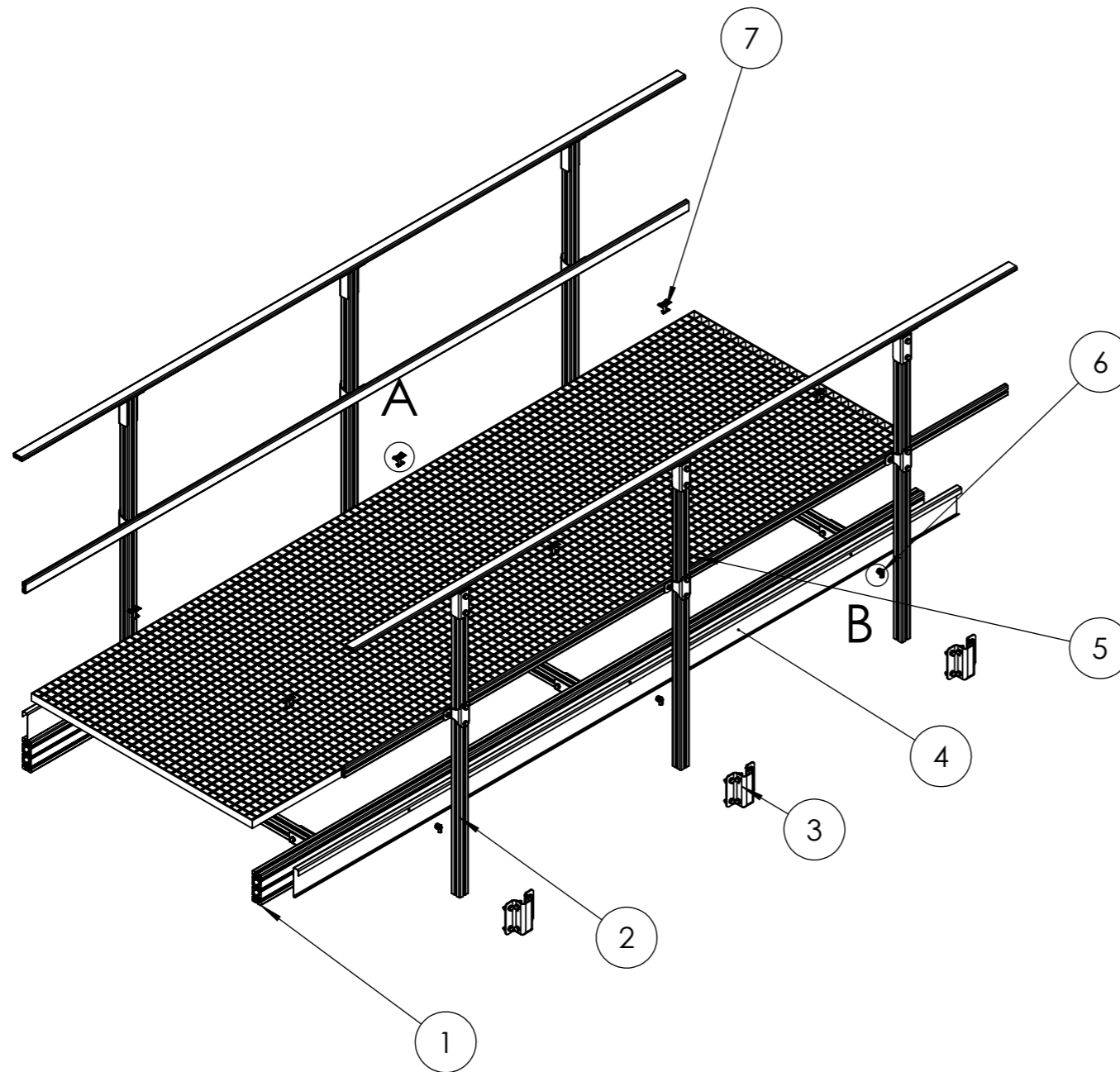
Se ha de aclarar que para las chapas plegadas que se han usado en las fijaciones de los componentes del módulo fabricado también siguen los parámetros de plegado mostrados anteriormente, sin embargo, al tener tamaños lo suficientemente grandes, no se ven limitados por dichos parámetros.



DOCUMENTO Nº2: PLANOS

ÍNDICE

1. Plano de conjunto principal: Módulo de pasarela
 - 1.1. Plano de subsistema: Estructura portante
 - 1.1.1. Plano de subconjunto: Unión larguero-travesaño
 - 1.1.1.1. Plano de pieza: Plegado de chapa de unión larguero-travesaño
 - 1.2. Plano de subsistema: Barandilla
 - 1.2.1. Plano de subconjunto: Unión montante-pasamanos sup.
 - 1.2.1.1. Plano de pieza: Plegado de chapa de unión montante-pasamanos superior
 - 1.2.2. Plano de subconjunto: Unión montante-pasamanos intermedio
 - 1.2.2.1. Plano de pieza: Plegado de chapa de unión montante-pasamanos inter.
 - 1.3. Plano de subconjunto: Unión barandilla-larguero
 - 1.3.1. Plano de pieza: Plegado de chapa de unión barandilla-larguero
 - 1.4. Plano de pieza: Plegado rodapié
2. Plano de conjunto secundario: Pasarela
 - 2.1. Plano subconjunto: Unión largueros-módulos
 - 2.1.1. Plano pieza: Plegado de chapa de unión largueros- módulos
 - 2.2. Plano subconjunto: Unión pasamanos-módulos

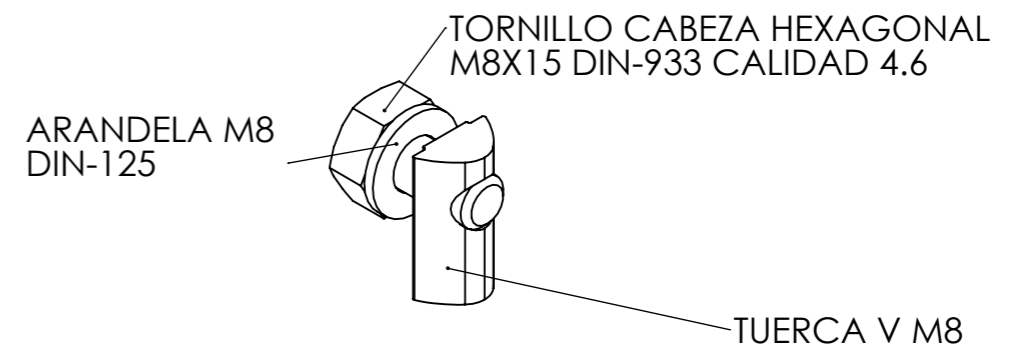


DETALLE C
ESCALA 1 : 10

COTAS EN [mm]

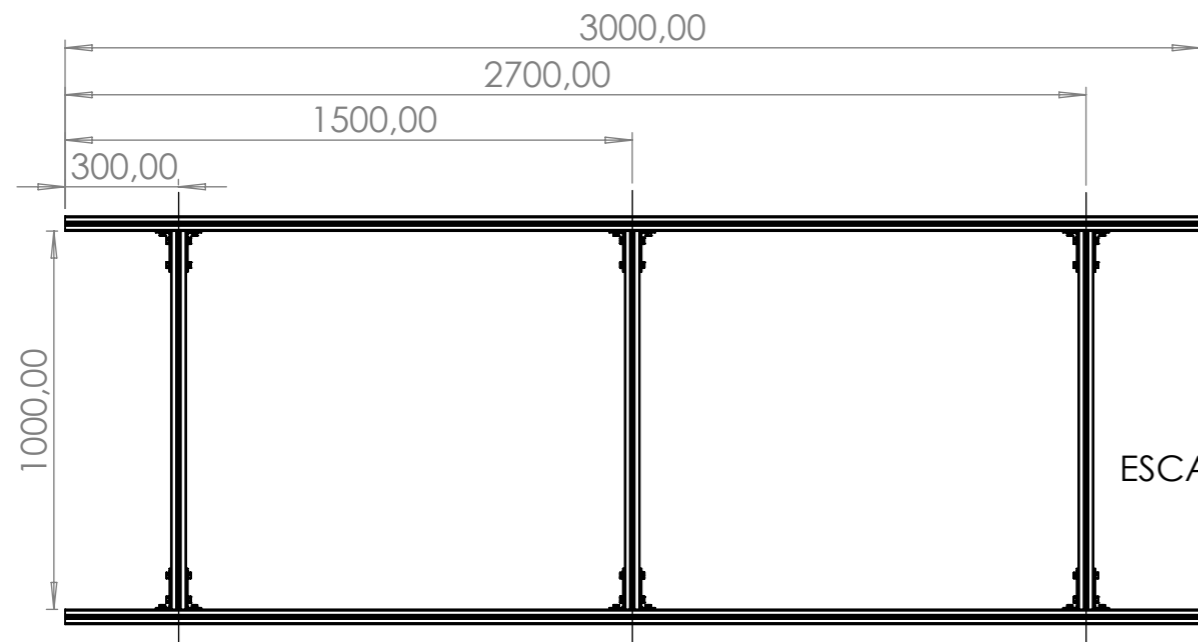
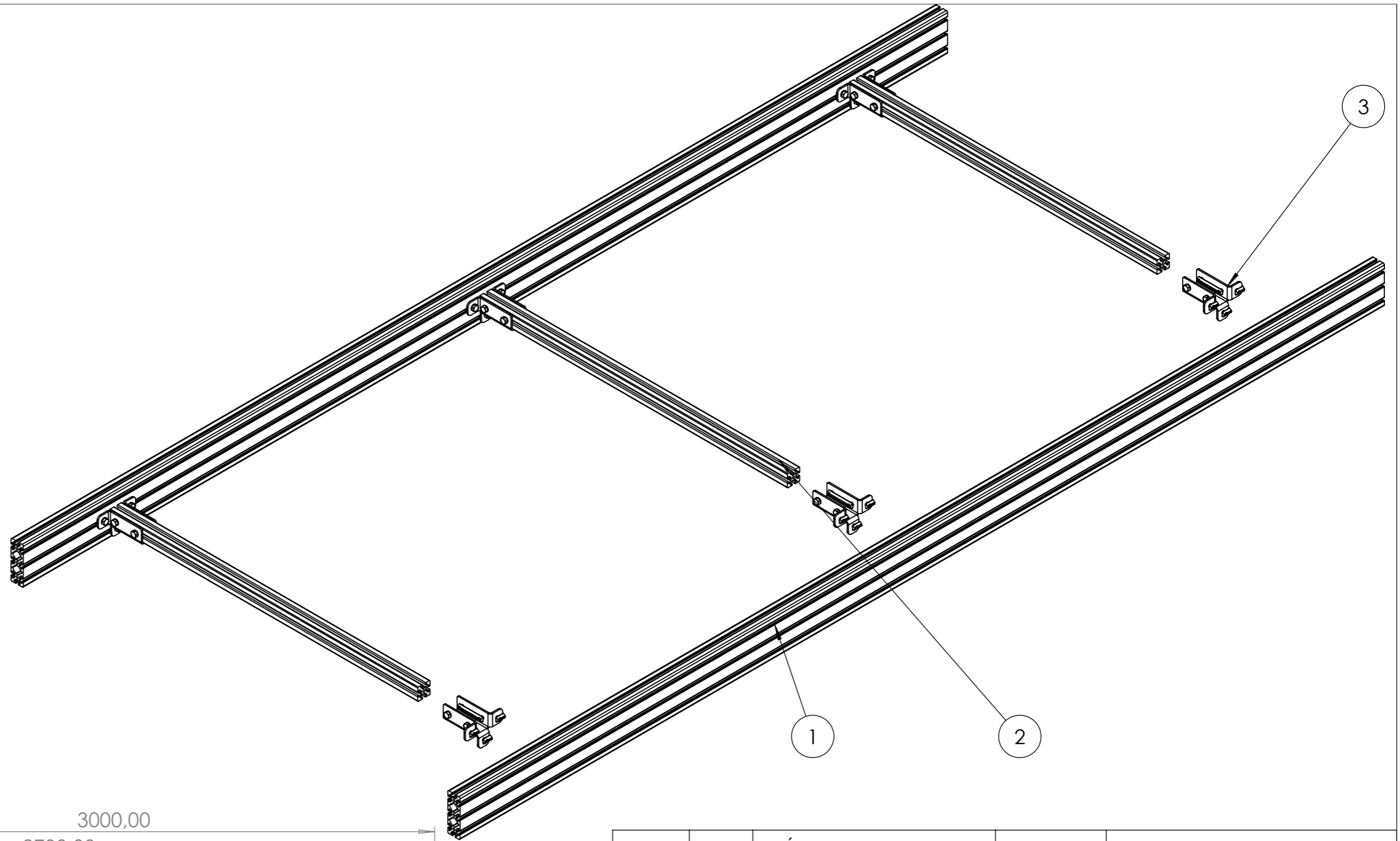


DETALLE A
ESCALA 1 : 2



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

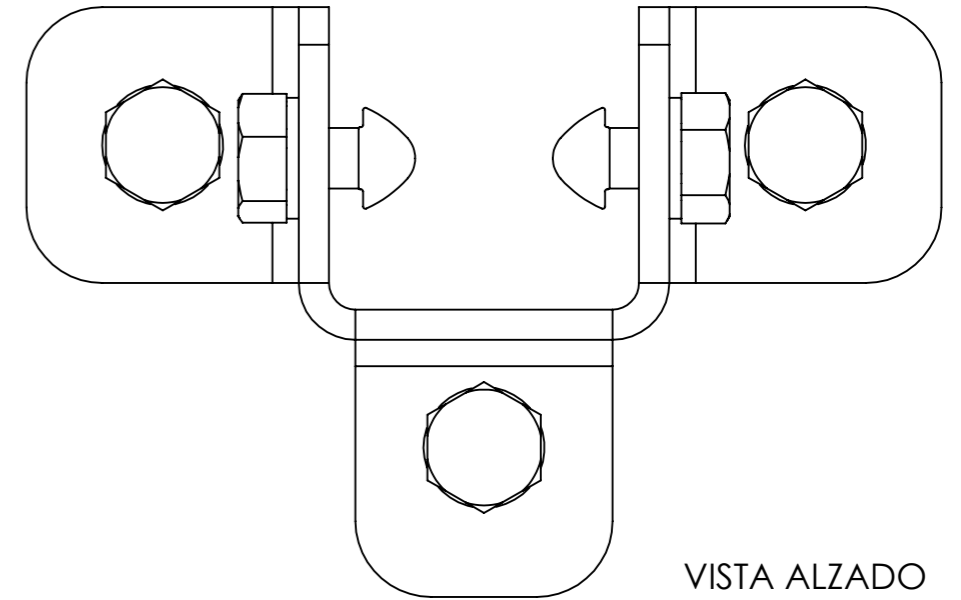
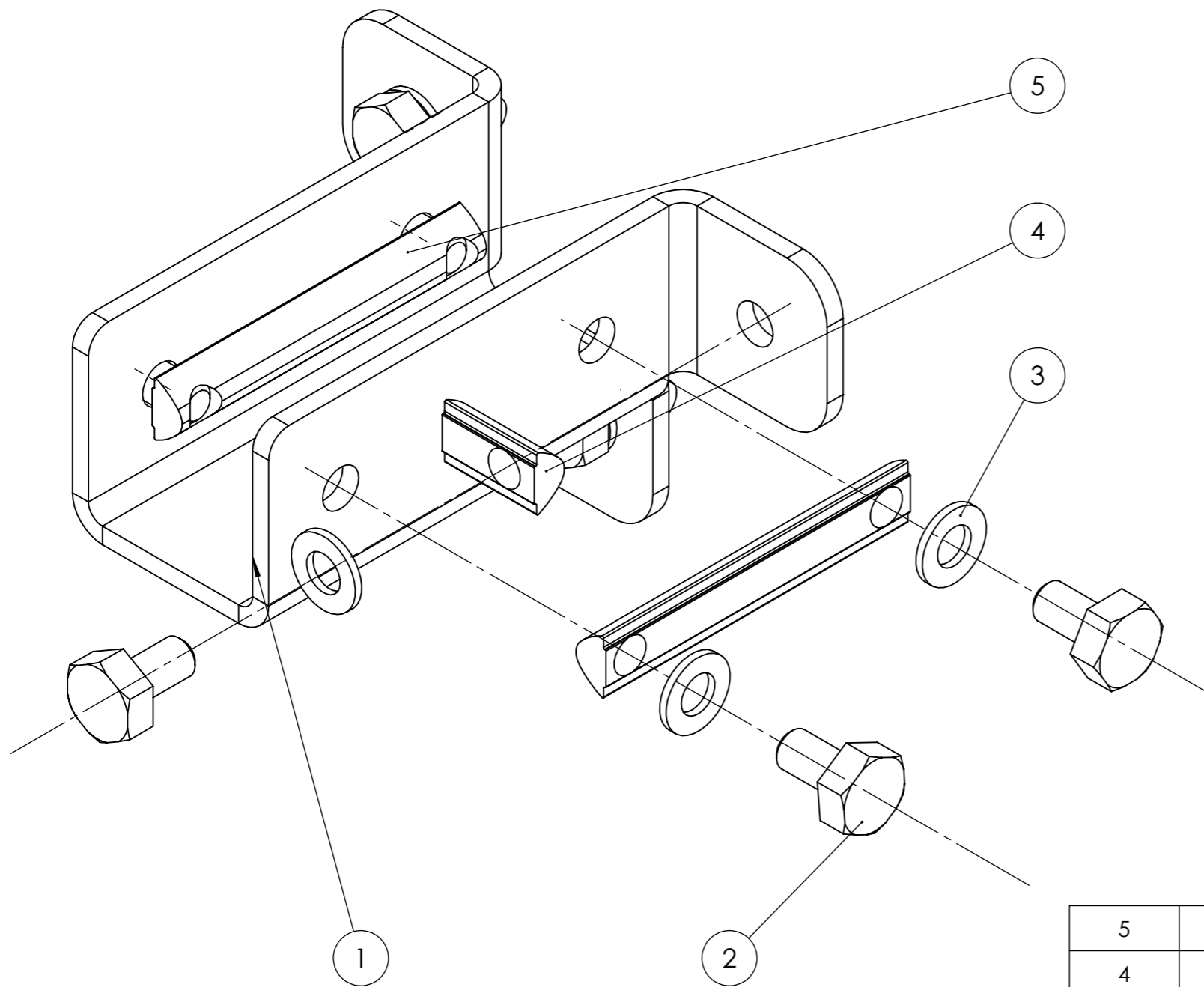
7	6	UNIÓN PISO-TRAVESAÑO		ACERO CINCO	
6	6	UNIÓN RODAPIE-BARANDILLA		ACERO CINCO	
5	1	PISO EMPARILLADO	160303300	ACERO GALVANIZADO	
4	2	RODAPIÉ PLEGADO	PLANO 1.4	DX51D+Z275; E=1.5mm	
3	6	UNIÓN BARANDILLA-LARGUERO	PLANO 1.3		
2	2	BARANDILLA	PLANO 1.2		
1	1	ESTRUCTURA PORTANTE	PLANO 1.1		
MARCA	CANT.	DENOMINACIÓN		REFERENCIA	OBSERVACIONES
		NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:	
1:20	MÓDULO DE PASARELA			1	



ESCALA VISTA PLANTA
1 : 20

COTAS EN [mm]

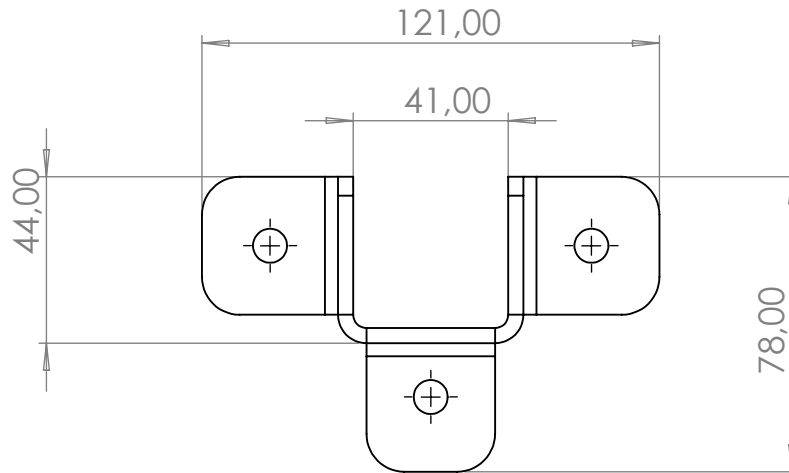
3	6	UNIÓN LARGUERO TRAVESAÑO	PLANO 1.1.1		
2	3	TRAVESAÑO	0.0.026.03	S:40x40mm; L. CORTE: 1000mm	
1	2	LARGUERO	0.0.416.29	S:120X40mm; L. COTRE: 3000mm	
MARCA	CANT.	DENOMINACIÓN		REFERENCIA	OBSERVACIONES
		NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:	
1:10	ESTRUCTURA PORTANTE			1.1	



5	2	TUERCA 2XM8-76	0.0.611.08	ACERO CINCADO	
4	3	TUERCA V M8	0.0.026.18	ACERO CINCADO	
3	7	ARANDELA M8	DIN-125	ACERO CINCADO	
2	7	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL M8X15	DIN-933	ACERO CINCADO; CALIDAD 4.6	
1	1	CHAPA UNIÓN LARGUERO-TRAVESAÑO	PLANO 1.1.1.1	DX51D+Z275; E=4mm	
MARCA	CANT	DEMOMINACIÓN		REFERENCIA	OBSERVACIONES
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	24/06/2021	A.M.G.		
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:	
1:1	UNIÓN LARGUERO-TRAVESAÑO			1.1.1	

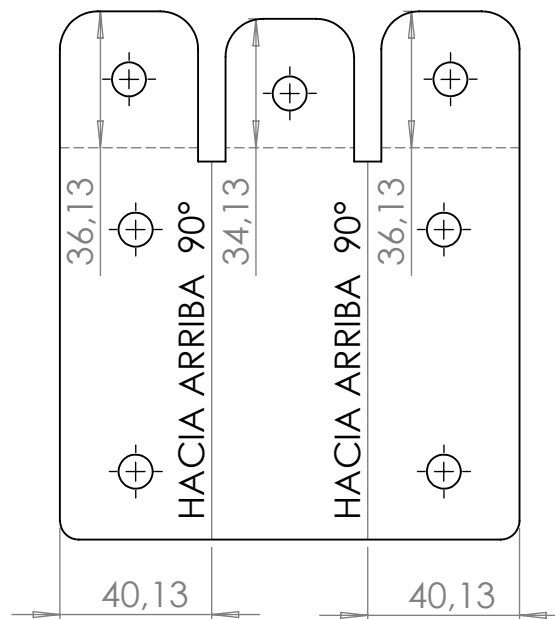
COTAS EN [mm]

MEDIDAS DE COMPROBACIÓN TRAS PLEGADO



HACIA ABAJO 90°

HACIA ABAJO 90°

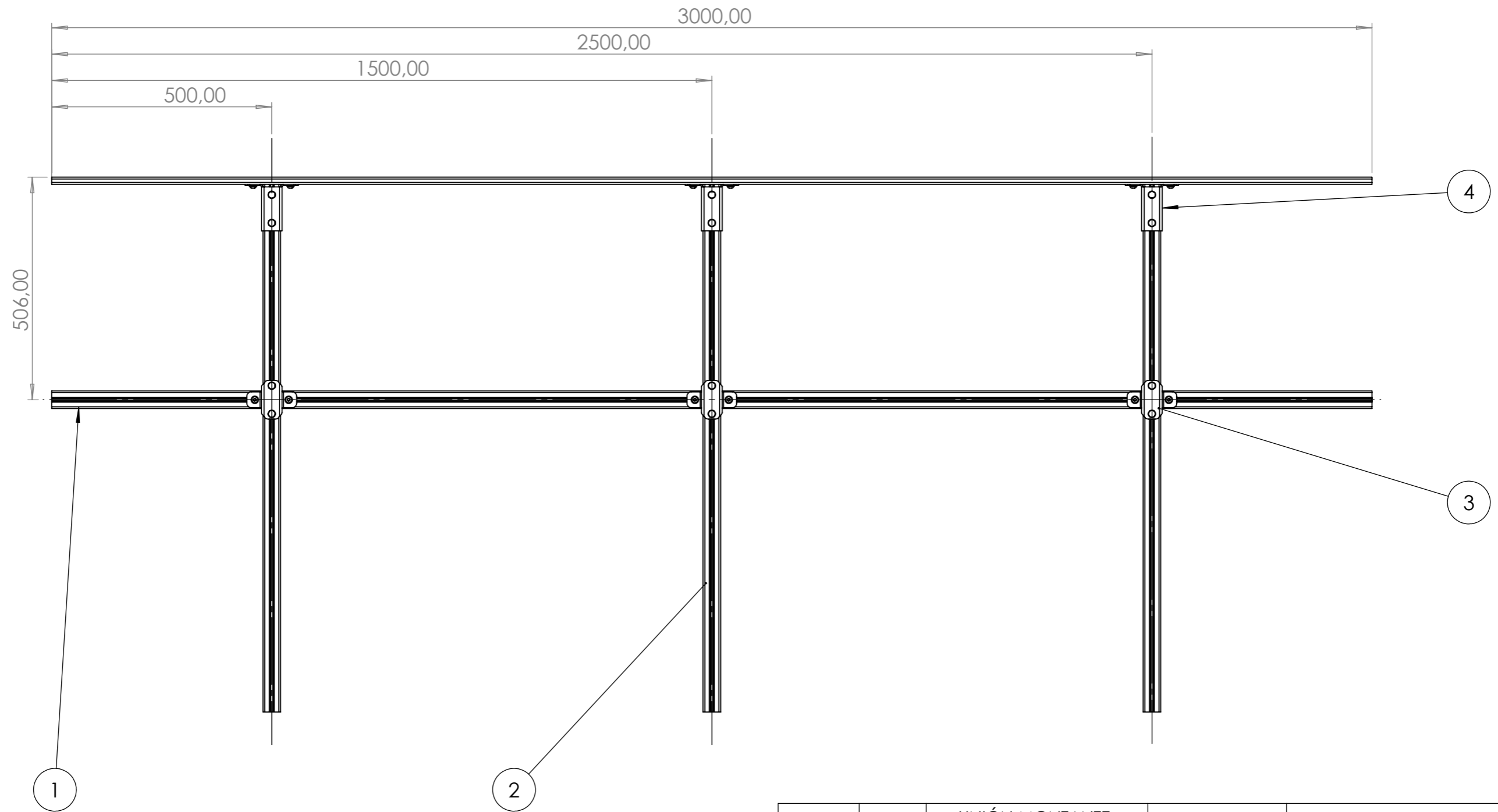


HACIA ABAJO 90°

COTAS EN [mm]

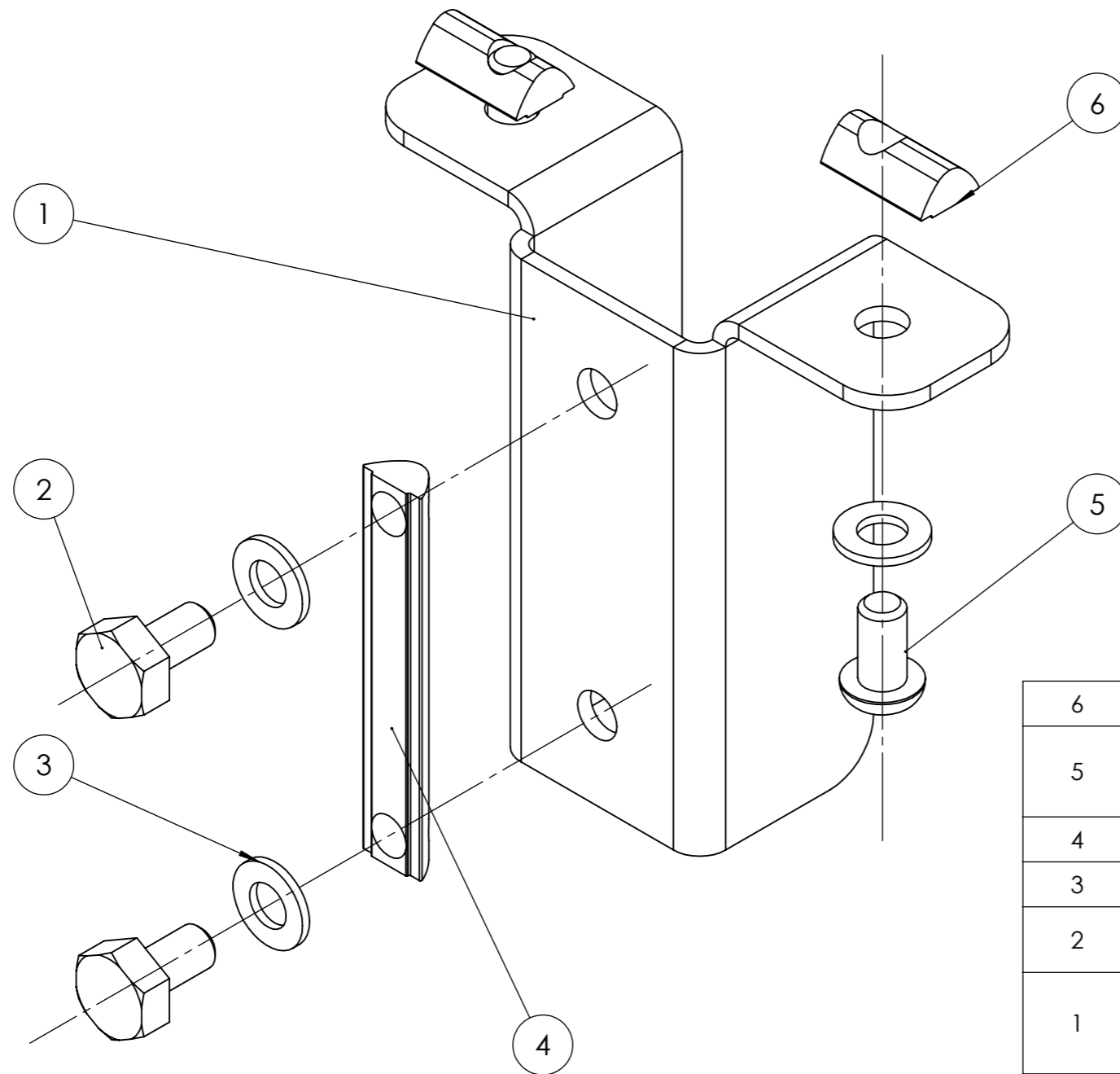
MATERIAL: DX51D+Z275
ESPESOR= 4 mm

	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE CARRERA TÍTULO: GRADO de INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	15/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	15/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	15/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN del PLANO:			Nº de PLANO:
1:2	PLEGADO DE CHAPA UNIÓN LARGUERO-TRAVESAÑO			1.1.1.1



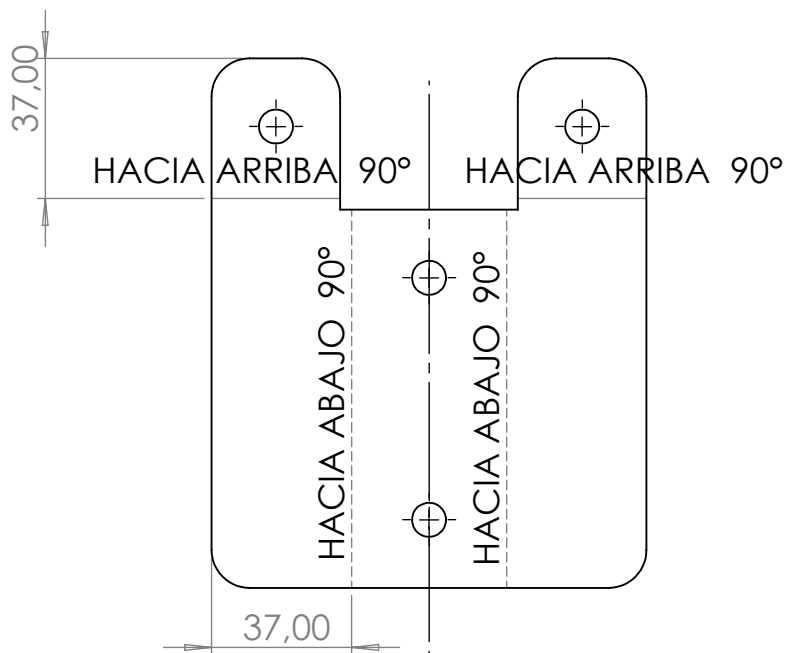
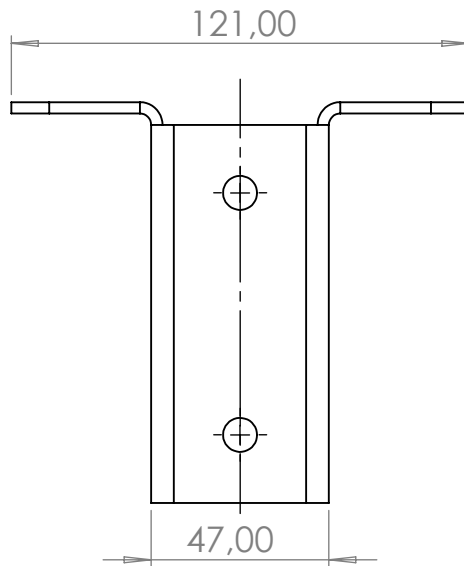
4	3	UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS SUP.	PLANO 1.2.1	
3	3	UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS INTER.	PLANO 1.2.2	
2	3	MONTANTE	0.0.026.03	S=40x40mm; L. CORTE= 1200mm
1	2	PASAMANOS	7.0.000.01	S=40X16mm; L. CORTE= 3000mm
MARCA	CANT.	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	OBSERVACIONES
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:10	BARANDILLA			1.2

COTAS EN [mm]



6	2	TUERCA V M8	0.0.026.18	ACERO CINCADO	
5	2	TORNILLO CABEZA REDONDA M8X15	DIN-7380	ACERO CINCADO; CALIDAD 4.6	
4	1	TUERCA 2XM8-76	0.0.611.08	ACERO CINCADO	
3	4	ARANDELA M8	DIN-125	ACERO CINCADO	
2	2	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL M8X15	DIN-933	ACERO CINCADO; CALIDAD 4.6	
1	1	CHAPA UNIÓN MONTNTE-PASAMANOS SUP.	PLANO 1.2.1.1	DX51+Z275; E=3mm	
MARCA	CANT.	DENOMINACIÓN		REFERENCIA	OBSERVACIONES
		NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.		
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.		
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.		
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:	
1:1	UNIÓN MONANTE-PASAMANOS SUP.			1.2.1	

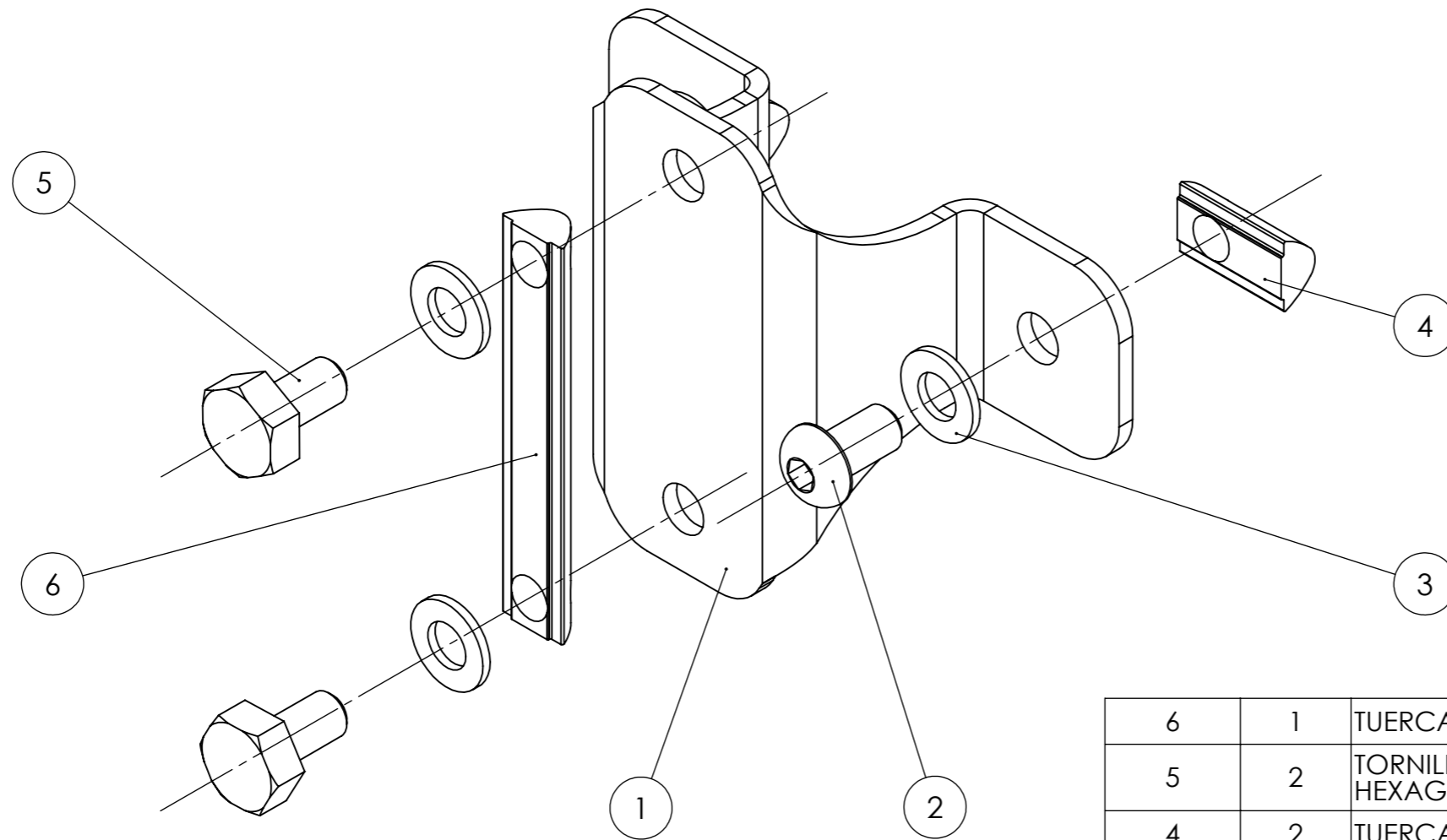
COTAS EN [mm]



MATERIAL: DX51D+Z275
E=3mm

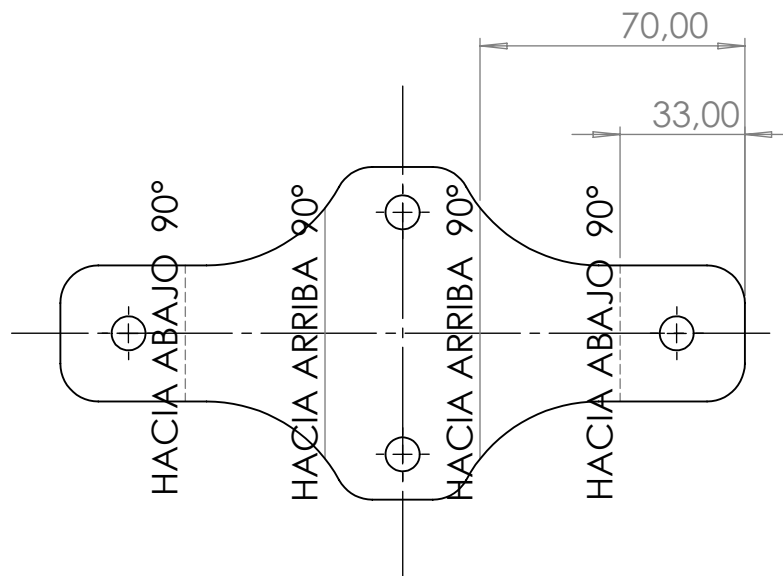
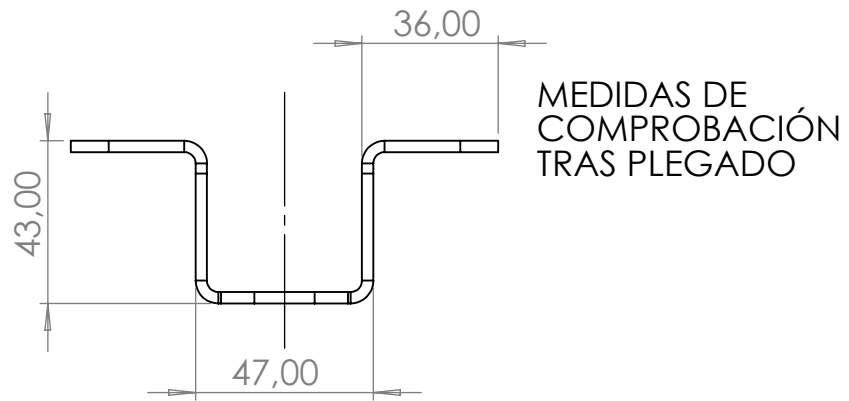
COTAS EN [mm]

	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE CARRERA TÍTULO: GRADO de INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:2	PLEGADO DE CHAPA DE UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS SUP.			1.2.1.1



6	1	TUERCA 2XM8-76	0.0.611.08	ACERO CINCADO
5	2	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL M8X15	DIN-933	ACERO CINCADO; CALIDAD 4.6
4	2	TUERCA V M8	0.0.026.18	ACERO CINCADO
3	4	ARANDELA M8	DIN-125	ACERO CINCADO
2	2	TORNILLO CABEZA REDONDA M8X15	DIN-7380	ACERO CINCADO; CALIDAD 4.6
1	1	CHAPA UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS INTER.	PLANO 1.2.2.1	DX51D+Z275; E=3mm
MARCA	CANT.	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	OBSERVACIONES
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:1	UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS INTER.			1.2.2

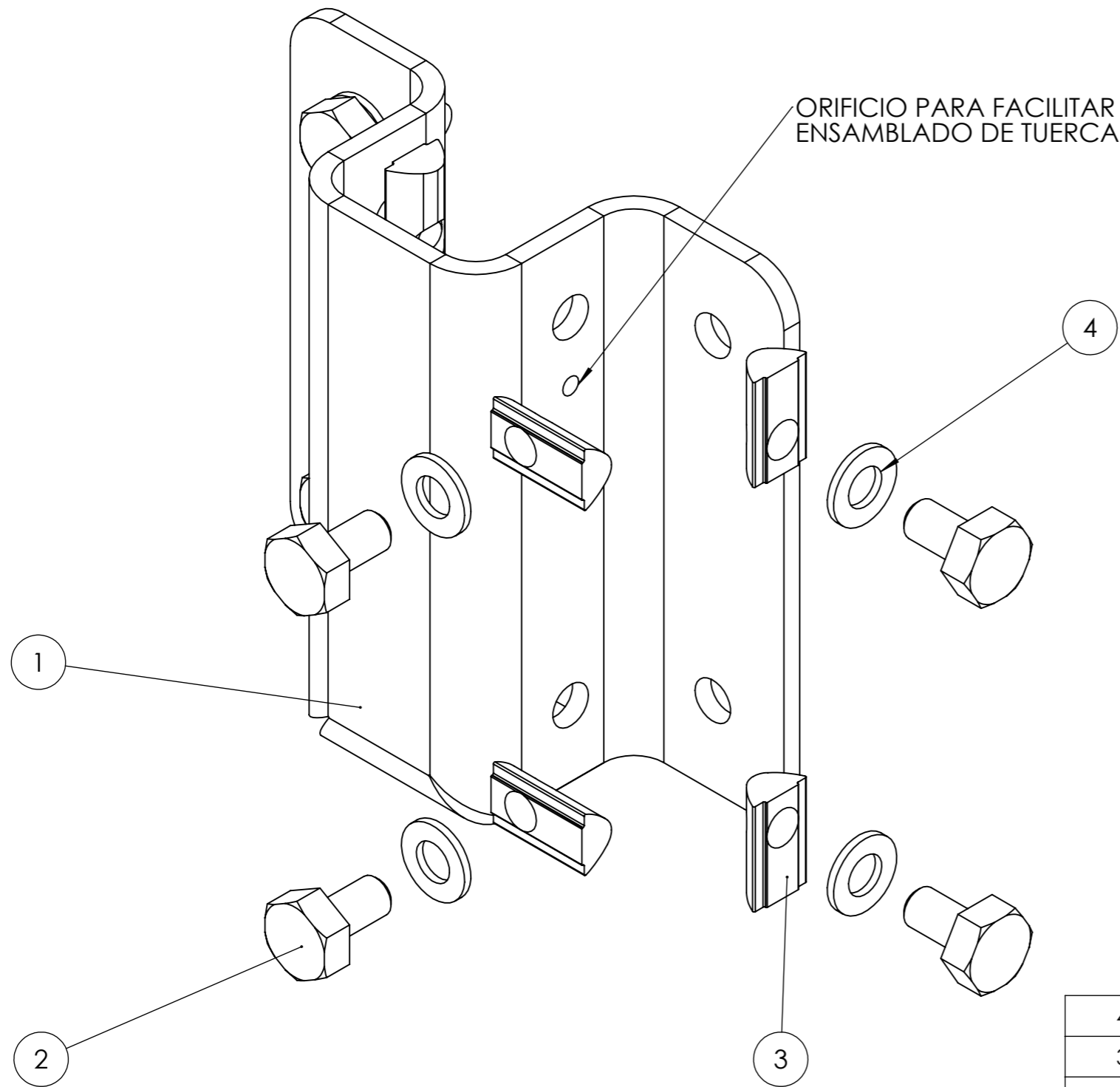
COTAS EN [mm]



COTAS EN [mm]

MATERIAL: D51XD+Z275
E=3mm

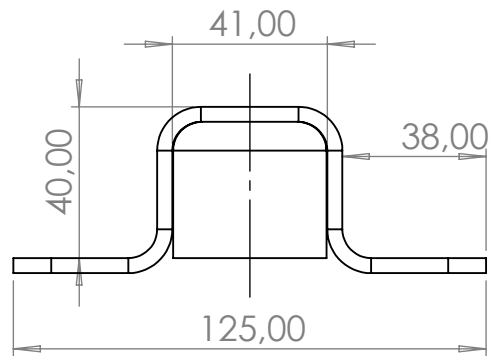
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE CARRERA TÍTULO: GRADO de INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:2	PLEGADO DE CHAPA UNIÓN MONTANTE-PASAMANOS INTER.			1.2.2.1



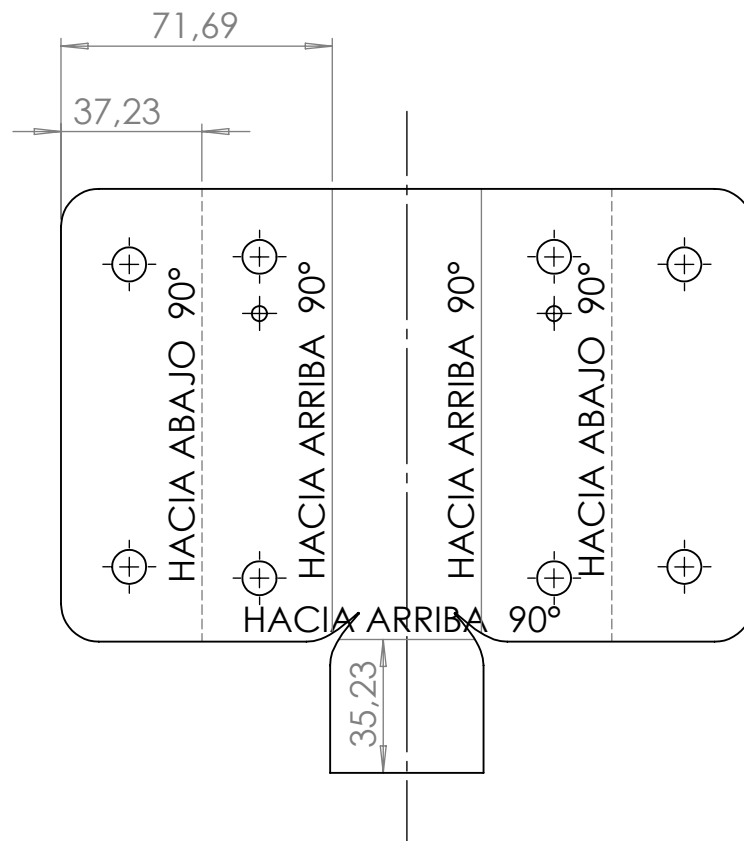
ORIFICIO PARA FACILITAR
ENSAMBLADO DE TUERCA

COTAS EN [mm]

4	8	ARANDELA M8	DIN-125	ACERO CINCADO
3	8	TUERCA V M8	0.0.026.18	ACERO CINCADO
2	8	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL M8X15	DIN-933	ACERO CINCADO; CALIDAD 4.6
1	1	UNIÓN MONTANTE- LARGUERO	1.3.1	DX51D+Z275; E=4mm
MARCA	CANT	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	OBSERVACIONES
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:1	UNIÓN BARANDILLA-LARGUERO			1.3



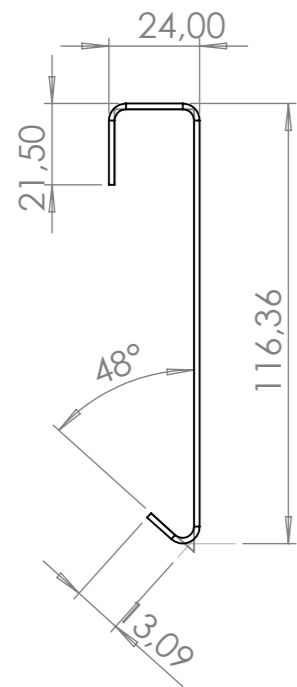
VISTA DE PLANTA;
MEDIDAS DE COMPROBACIÓN
TRAS PLEGADO



COTAS EN [mm]

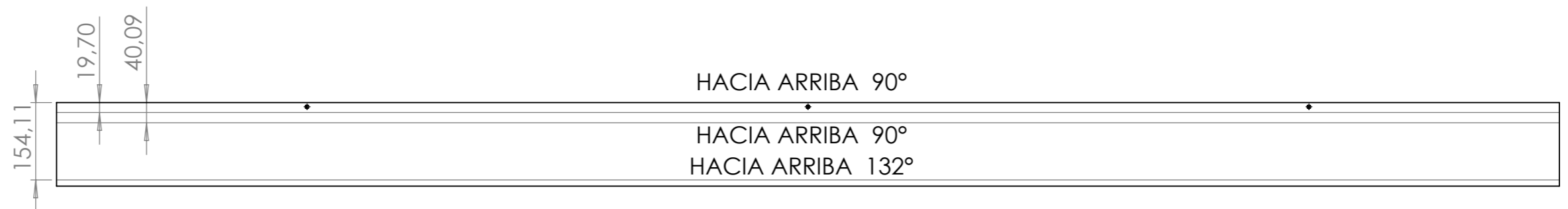
DX51D+Z275
E=4mm

	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE CARRERA TÍTULO: GRADO de INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	11/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:2	PLEGADO DE UNIÓN BARANDILLA-LARGUERO			1.3.1



ESCALA VISTA LATERAL 1:2

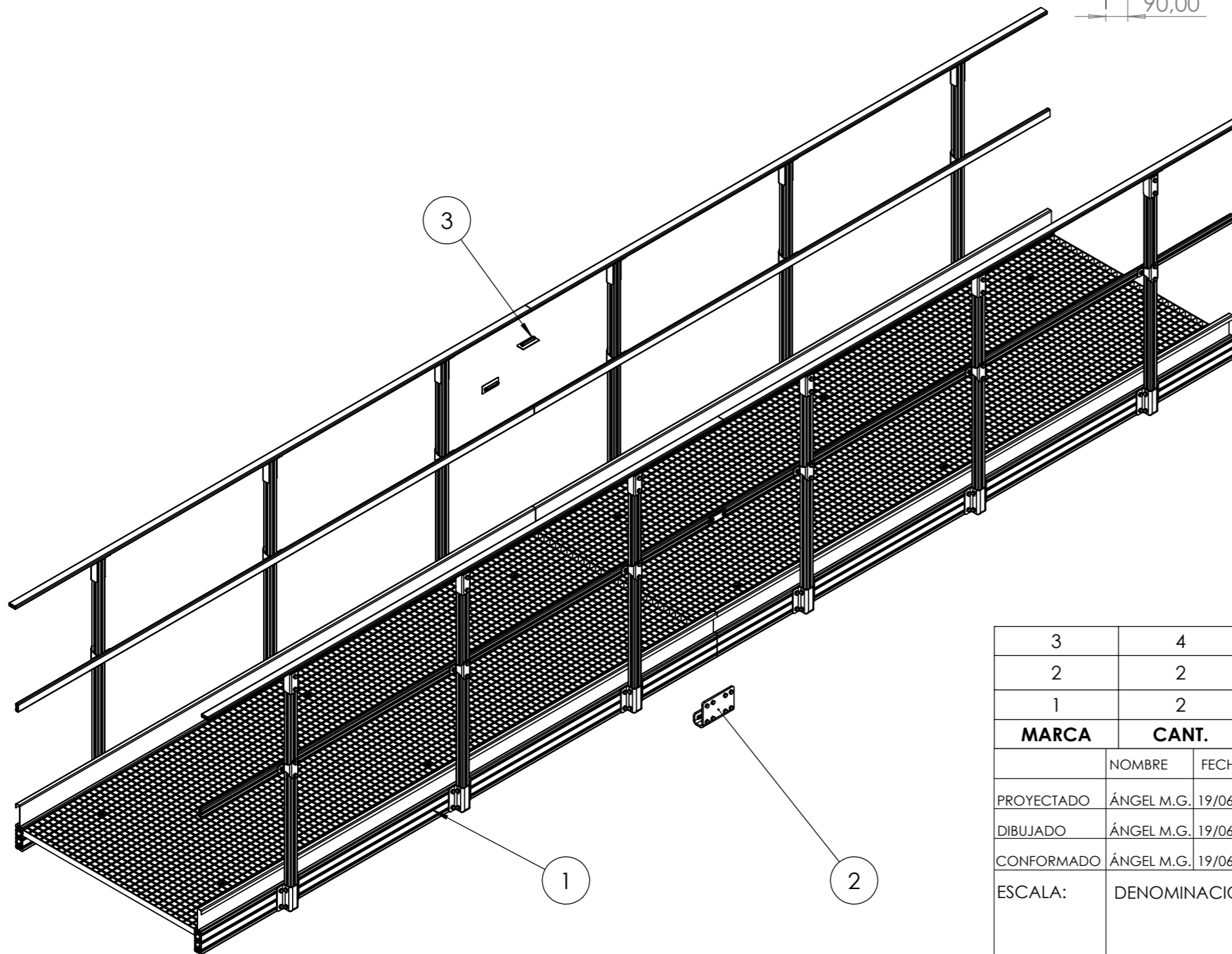
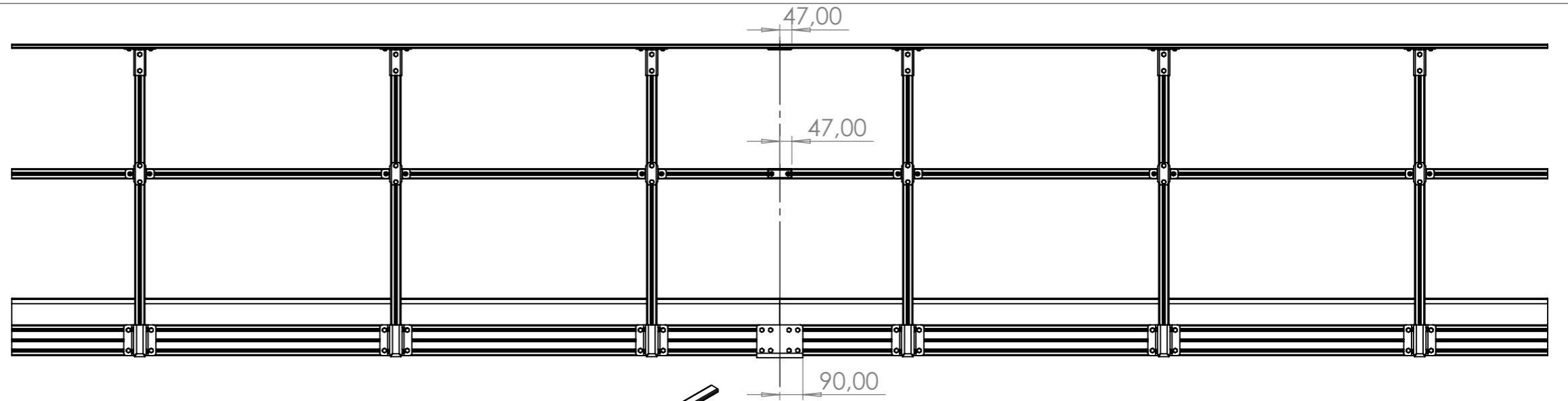
MEDIDAS DE COMPROBACIÓN
REAS PLEGADO



DX51D+Z275
E=1.5mm

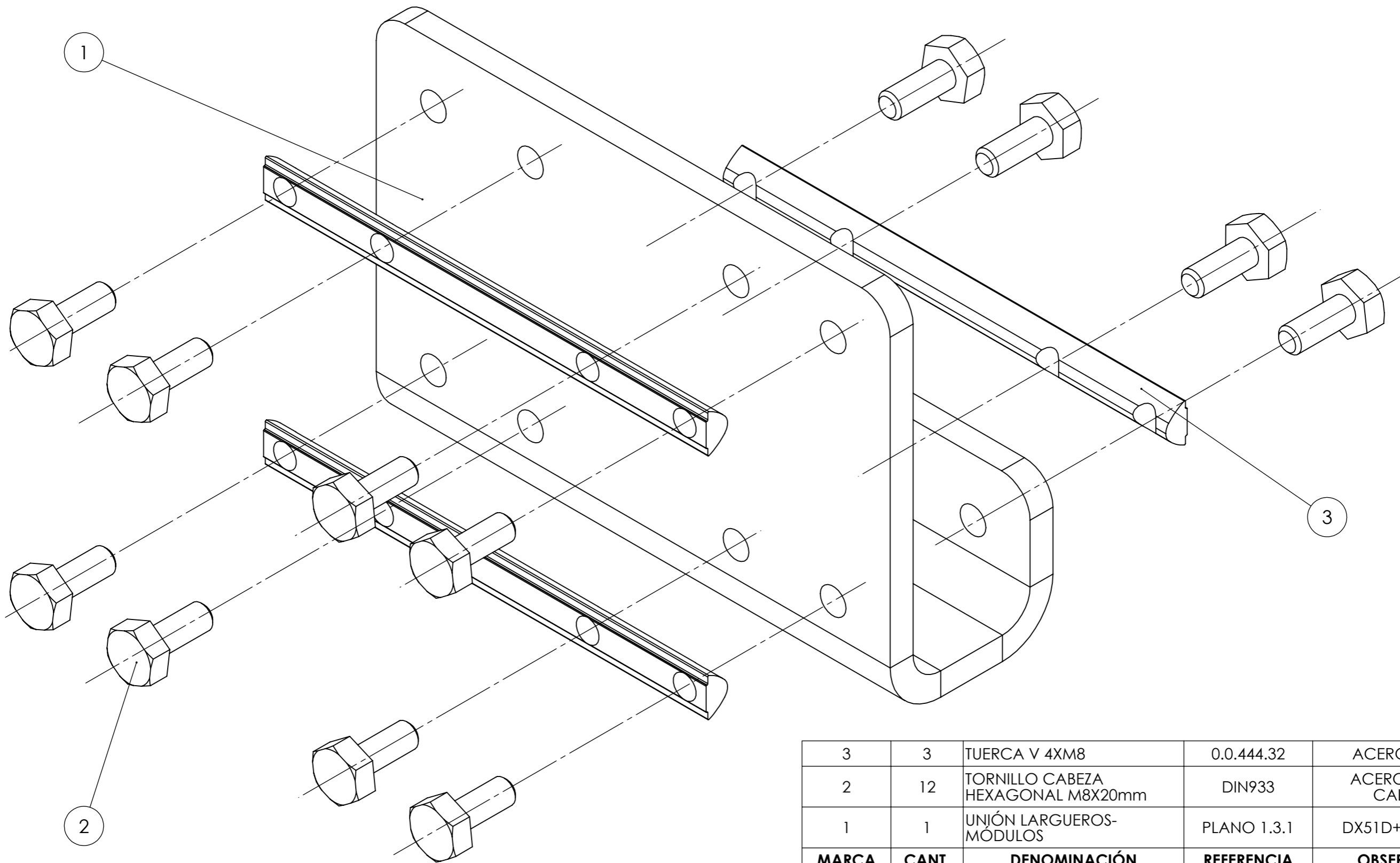
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	8/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	8/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	8/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:10	PLEGADO DE RODAPIÉ			1.4

COTAS EN [mm]



COTAS EN [mm]

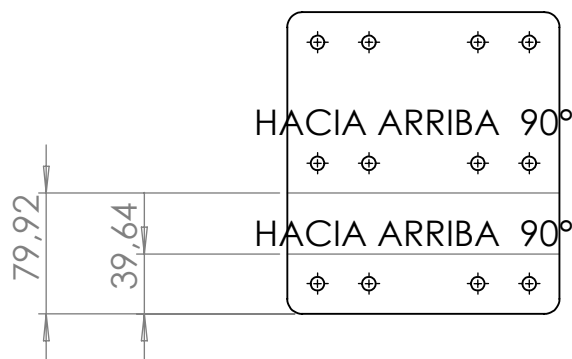
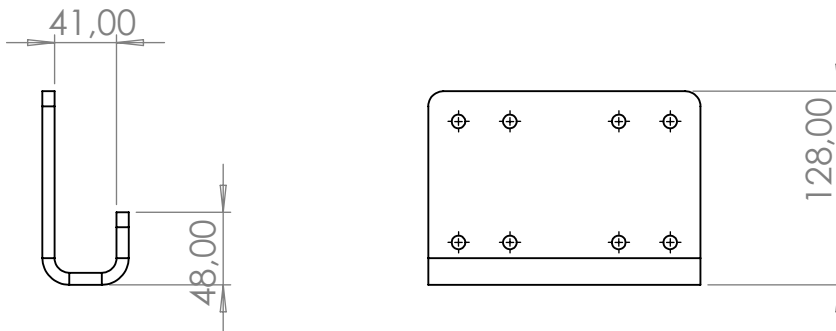
3	4	UNIÓN PASAMANOS-MÓDULOS	PLANO 2.1	
2	2	UNIÓN LARGUEROS-MODULOS	PLANO 2.2	
1	2	MÓDULO PASARELA	PLANO 1	
MARCA	CANT.	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	OBSERVACIONES
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	19/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	19/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	19/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:20				PASARELA 2



COTAS EN [mm]

3	3	TUERCA V 4XM8	0.0.444.32	ACERO CINCADO	
2	12	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL M8X20mm	DIN933	ACERO CINCADO; CALIDAD 6.8	
1	1	UNIÓN LARGUEROS-MÓDULOS	PLANO 1.3.1	DX51D+Z275; E=8mm	
MARCA	CANT.	DENOMINACIÓN		REFERENCIA	OBSERVACIONES
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE GRADO TÍTULO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.		
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.		
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.		
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:	
1:1	UNIÓN LARGUEROS-MÓDULOS			2.1	

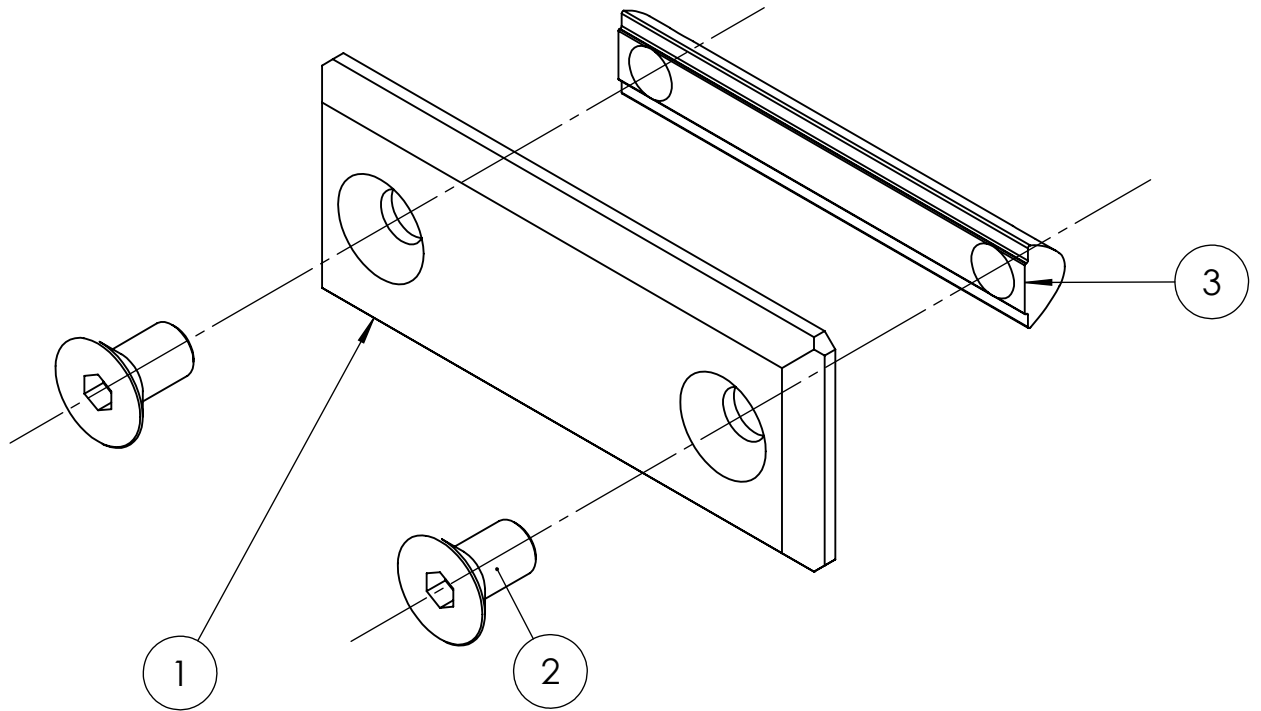
MEDIDAS DE COMPROBACIÓN TRAS PLEGADO



COTAS EN [mm]

DX51D+Z275
E=8mm

	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE CARRERA TÍTULO: GRADO de INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:5	PLEGADO DE CHAPA DE UNIÓN LARGUEROS-MÓDULOS			2.1.1



COTAS EN [mm]

3	1	TUERCA 2XM8-76	0.0.611.08	ACERO CINCADO
2	2	TORNILLO ALLEN CABEZA PLANA M8X10	DIN-7991	ACERO CINCADO; CALIDAD 4.6
1	1	PLETINA 8-40	0.0.666.35	ACERO GALVANIZADO
MARCA	CANT.	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	OBSERVACIONES
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO DE FIN DE CARRERA TÍTULO: GRADO de INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.	
DIBUJADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.	
CONFORMADO	ÁNGEL M.G.	18/06/2021	A.M.G.	
ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			Nº DE PLANO:
1:1	UNIÓN PASAMANOS-MÓDULOS			2.2



DOCUMENTO Nº3: PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE

1. Objetivo	1
2. Condiciones de los materiales	1
2.1. Perfiles de aluminio	1
2.2. Chapas plegadas	1
2.3. Piso.....	1
2.4. Tornillería.....	1
2.5. Control de calidad.....	4
2.5.1. Suministro de perfiles de aluminio.....	4
2.5.2. Suministro de tornillería	4
2.5.3. Suministro de las chapas cortadas	4
3. Control de ejecución.....	4
3.1. Plegado de chapas	4
3.2. Montaje de tornillería.....	5
4. Prueba de servicio	6

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: FICHA TÉCNICA TORNILLO DE CABEZA HEXAGONAL, TOTALMENTE ROSCADO	2
FIGURA 2: FICHA TÉCNICA TORNILLO DE CABEZA ABOMBADA CON HUECO HEXAGONAL	2
FIGURA 3: FICHA TÉCNICA TORNILLO DE CABEZA AVELLANADA CON HUECO HEXAGONAL	3
FIGURA 4: FICHA TÉCNICA ARANDELA PLANA.	3
FIGURA 5: FICHA TÉCNICA TUERCAS ITEM21.	4
FIGURA 6: SECUENCIA DE APRIETE EN CRUZ.	5
FIGURA 7: MONTAJE TUERCA SUPERIOR.	6

1. Objetivo

La presente especificación refiere a la fabricación del módulo de pasarela. Quedan excluidas tanto las ayudas de la instalación en el lugar de trabajo como a fabricación de los anclajes necesarios para la sustentación de la pasarela.

2. Condiciones de los materiales

2.1. Perfiles de aluminio

Los subsistemas de la estructura portante y barandilla están compuestos por perfiles de aluminio ranurados, el material de estos perfiles ha de ser aluminio 3.3206 (equivalente a aluminio 6063 T6). Dicho material ha de poseer una resistencia mínima a tracción 245 MPa y un límite a tracción superior o igual a 195 MPa. Los perfiles han de ser anodizados con un grosor mínimo de 10 μm y una dureza superior a 250 HV. El fabricante y proveedor ha de ser Item y la tipología de perfil y su referencia queda detallada en los planos “1.1 Plano de subconjunto: Estructura portante” y “1.3 Plano de subsistema: Barandilla”

2.2. Chapas plegadas

Las chapas utilizadas para realizar las uniones atornilladas y los rodapiés han de ser de acero galvanizado DX51D+Z275. El material suministrado debe poseer un límite elástico y una resistencia a tracción igual o superior a 220Mpa y 385Mpa respectivamente. Los espesores de las piezas de chapa quedan detallados en el apartado de “planos”.

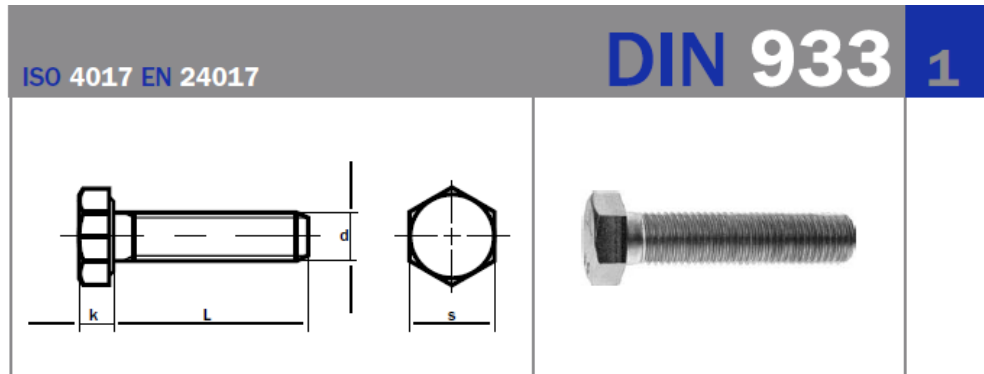
2.3. Piso

El piso ha de ser un emparrillado electrosoldado galvanizado fabricado mediante pletinas portantes de medidas 30x4mm colocadas verticalmente en la posición longitudinal y varillas separadoras entregiradas de 5mm de diámetro, colocadas transversalmente. El emparrillado ha de poseer una malla de seguridad según el Real decreto 486/1997.

2.4. Tornillería

La tornillería que se ha de colocar en el componente a fabricar ha de ser de acero cincado. La calidad de los tornillos es de 4.6 y 6.8 según unión. Los valores nominales del límite elástico y de la resistencia a tracción han de ser de un valor superior a 240 y 400 MPa respectivamente para los tornillos de calidad 4.6 y 480 y 600MPa para los de calidad 6.8. Los tornillos usados para las uniones atornilladas han de ser los siguientes:

- Tornillo cabeza hexagonal M8x15 calidad 4.6 y M8x20mm calidad 6.8 DIN-933; ambos cincados.



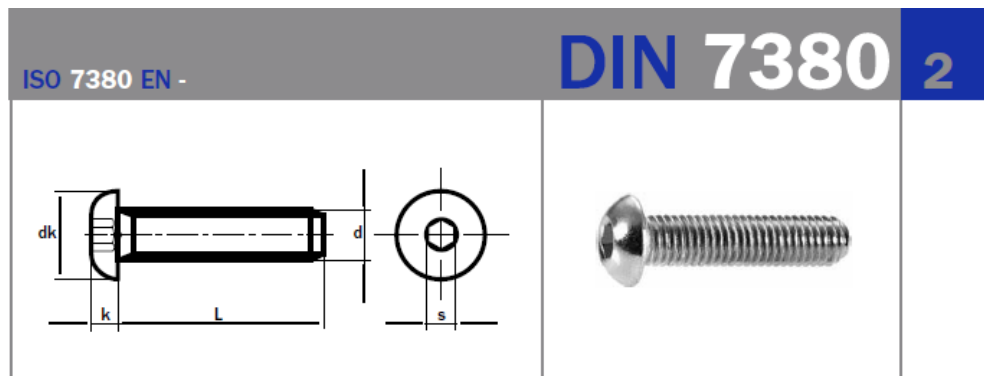
Hexagon head bolts, fully threaded
Boulons à tête hexagonale, totalement filetés

Tornillos de cabeza hexagonal, totalmente roscados

d	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12
P	0,5	0,7	0,8	1	1	1,25	1,5	1,75
k	2	2,8	3,5	4	4,8	5,3	6,4	7,5
s	5,5	7	8	10	11	13	17/16*	19/18*

Figura 1: Ficha técnica tornillo de cabeza hexagonal, totalmente roscado

- Tornillo cabeza redonda Allen M8x40 Y M8X15 DIN-7380; Calidad 4.6 cincado.



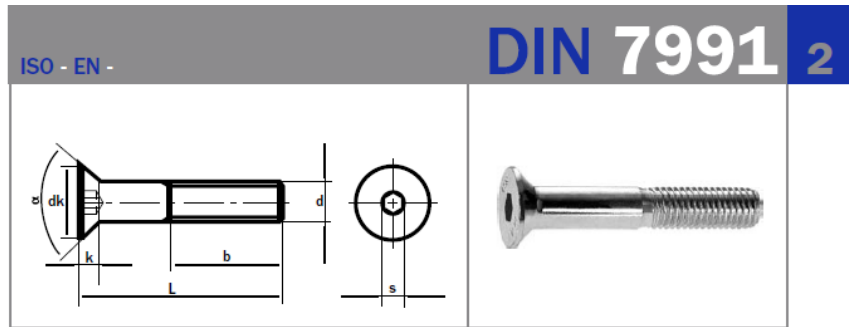
Hexagon socket button head screws
Vis à métaux à tête cylindrique bombée plate à six pans creux

Tornillos de cabeza abombada con hueco hexagonal

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16
P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2
dk (max)	5,7	7,6	9,5	10,5	14	17,5	21	28
k (max)	1,65	2,2	2,75	3,3	4,4	5,5	6,6	8,8
s	2	2,5	3	4	5	6	8	10

Figura 2: Ficha técnica tornillo de cabeza abombada con hueco hexagonal

- Tornillo Allen cabeza plana M8X10 DIN 7991; Calidad 4.6 cincado.



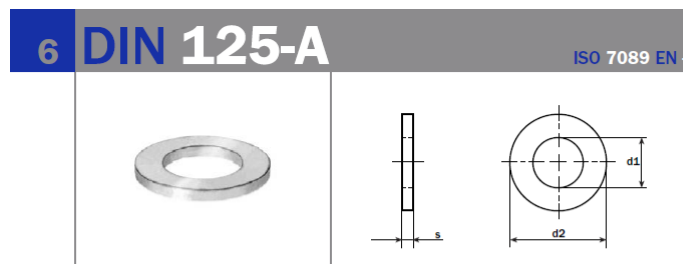
Hexagon socket countersunk head screws
Vis à tête fraisée à six pans creux

Tornillos de cabeza avellanada con hueco hexagonal

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5
b*	12	14	16	18	22	26	30	38	46
dk	6	8	10	12	16	20	24	30	36
k (max)	1,7	2,3	2,8	3,3	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5
α	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
s	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12

Figura 3: Ficha técnica tornillo de cabeza avellanada con hueco hexagonal

- Arandela M8 DIN-125 cincada.



Plain washers without chamfer
Rondelles plates

Arandelas planas

d nom.	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12	M14
d1	3,2	4,3	5,3	6,4	7,4	8,4	10,5	13	15
d2	7	9	10	12	14	16	20	24	28
s	0,5	0,8	1	1,6	1,6	1,6	2	2,5	2,5

Peso/Weight 1000 ud. kg	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12	M14
	0,119	0,308	0,443	1,020	1,390	1,830	3,570	6,270	8,600

d nom.	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36
d1	17	19	21	23	25	28	31	34	37
d2	30	34	37	39	44	50	56	60	66
s	3	3	3	3	4	4	4	5	5

Peso/Weight 1000 ud. kg	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36
	11,30	14,70	17,20	18,40	32,30	43,70	53,60	75,30	92,10

d nom.	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
d1	40	43	46	50	54	58	62	66
d2	72	78	85	92	98	105	110	115
s	6	7	7	8	8	9	9	9

Peso/Weight 1000 ud. kg	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
	133	183	220	294	330	425	458	492

Figura 4: Ficha técnica arandela plana.

-Las tuercas usadas en las uniones no son normalizadas y son fabricadas por Item21.

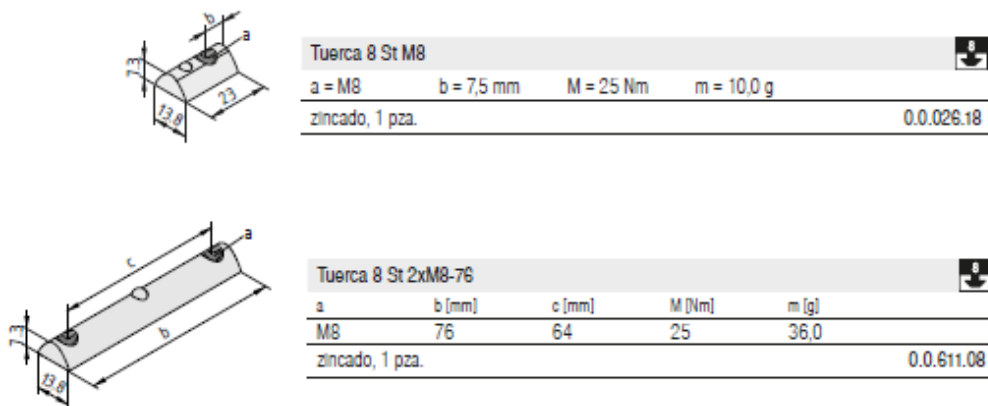


Figura 5: Ficha técnica tuercas Item21.

2.5. Control de calidad

2.5.1. Suministro de perfiles de aluminio

Los perfiles suministrados han de cumplir las deformaciones tales como tolerancias de alineación y planitud que dicta la norma DIN EN 12020 parte 2. Los perfiles suministrados han de tener una longitud igual o ligeramente superior a 6000mm, con las superficies libres de arañazos que puedan penetrar la capa anodizada, para no ser descartados.

2.5.2. Suministro de tornillería

Los proveedores de los tornillos y arandelas han de poseer el certificado ISO 9001.

2.5.3. Suministro de las chapas cortadas

Las chapas han de ser suministradas cortadas a laser con una tolerancia no superior a 0.25 mm y sin ningún tipo de rebabas en las caras cortadas. Para la medición de la tolerancia se ha de usar un pie de rey de rango 0-200 mm con una precisión de 0.01 mm. En cuanto a la comprobación de existencias de rebabas se ha de hacer una inspección visual y una comprobación mediante tacto utilizando guantes de protección contra riesgos mecánicos según la norma EN 388.

3. Control de ejecución

3.1. Plegado de chapas

Tras el plegado de las chapas se ha comprobar las medidas finales descritas en los planos de plegado de pieza adjuntos en el documento de planos. La tolerancia máxima para

este proceso es de $\pm 0,75$ mm con respecto las medidas dadas. Para realizar la medición se ha de usar el pie de rey descrito en el apartado anterior.

3.2. Montaje de tornillería

En cuanto al montaje de la tornillería se ha de utilizar una llave dinamométrica, respetando los pares de apriete recomendados por el proveedor de los perfiles nombrado anteriormente. El par de apriete aplicado a las uniones atornilladas ha de ser de 25 Nm por tornillo.

En cuanto al procedimiento de apriete para las uniones “unión barandilla-larguero” y “unión largueros-módulos” se ha de realizar mediante la técnica de apriete en cruz. Se ha de realizar el proceso mostrado en la siguiente figura hasta un mínimo de 2 veces por tornillos hasta asegurar que el apriete es el indicado.

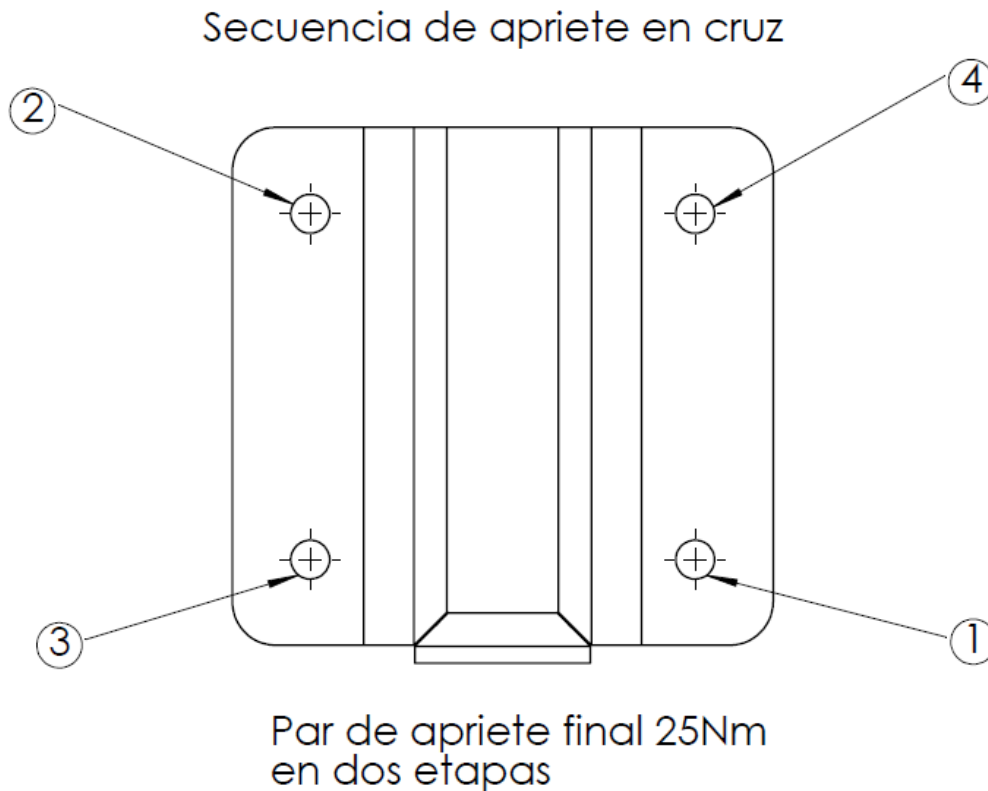


Figura 6: Secuencia de apriete en cruz.

Para el montaje la tuerca superior de la unión barandilla-larguero se ha de usar el orificio de apoyo insertando un redondo de 4 mm hasta hacer tope con la pared interna de la ranura, tras el montaje de la unión atornillada se ha de retirar el redondo. (véase figura 7)

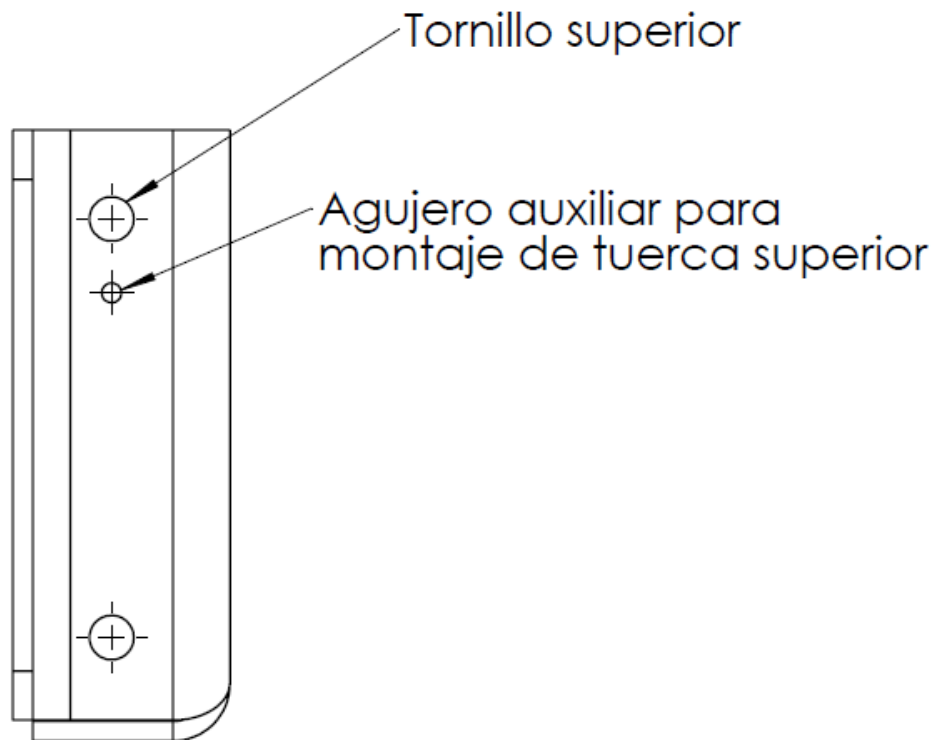


Figura 7: Montaje tuerca superior.

En cuanto a la colocación y selección de los tornillos adecuados para cada fijación, se ha de hacer uso de los planos de conjunto de cada unión.

4. Prueba de servicio

Tras el montaje del módulo de la pasarela ha de realizar una inspección visual de todas las uniones atornilladas, haciendo hincapié en el montaje de tornillo, arandela y tuerca en las uniones que corresponda. Además de comprobar mediante tacto, que no hay holguras en las uniones atornilladas, haciendo uso de los guantes de protección nombrados anteriormente.



DOCUMENTO Nº4: PRESUPUESTO

ÍNDICE

1.	Presupuesto Módulo de pasarela.....	1
1.1.	Cuadro de precios elementales	1
1.1.1.	Cuadro de maquinaria	1
1.1.2.	Cuadro de materiales	1
1.1.3.	Cuadro de mano de obra.....	2
1.2.	Precios descompuestos	3
1.3.	Presupuesto de ejecución material	6
2.	Accesorios de montaje de módulos (por unión)	7
2.1.	Cuadro de precios elementales	7
2.1.1.	Cuadro de maquinaria	7
2.1.2.	Cuadro de materiales	7
2.1.3.	Cuadro de mano de obra.....	7
2.2.	Precios descompuestos	8
2.3.	Presupuesto de ejecución material	8
3.	Resumen presupuesto.....	9

1. Presupuesto Módulo de pasarela

1.1. Cuadro de precios elementales

1.1.1. Cuadro de maquinaria

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
V1	€/h	Plegadora.	1,77 €	2,50h	4.43€
V2	€/h	Sierra mecánica.	0,76 €	0,75h	0,57€
V3	€/h	Herramientas específicas de montaje.	0,25 €	3 h	0,75€
				Importe total	5,75€

1.1.2. Cuadro de materiales

Ref	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
m1	€/m	Perfil aluminio 120x40 mm; 3.3206.72.	14,67 €	3m	44,01 €
m2	€/m	Perfil aluminio 40x40 mm; 3.3206.72.	5,23 €	10,2m	53,35 €
m3	€/m	Perfil aluminio 40x16 mm; 3.3206.72.	3,55 €	3m	10,65 €
m4	€/Ud.	Emparrillado electrosoldado galvanizado de pletina 30x4 mm; 3x1 m.	148,65 €	1Ud.	148,65 €
m5	€/Ud.	Chapa de unión larguero-travesaño galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=4 mm.	7,83 €	6 Ud.	46,98 €
m6	€/Ud.	Chapa de unión montante-pasamanos superior galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=3 mm.	5,63 €	6 Ud.	33,78 €

m7	€/Ud.	Chapa de unión montante-pasamanos intermedio galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=3 mm.	4,97 €	6 Ud.	29,82 €
m8	€/Ud.	Chapa de unión barandilla-larguero galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=4 mm.	10,45 €	6 Ud.	62,70 €
m9	€/Ud.	Chapa de rodapié galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=1,5 mm.	18,76 €	2 Ud.	37,52 €
m12	€/Ud.	Tornillo cabeza hexagonal M8x15 mm DIN-933; Calidad 4.6 cincado.	0,08 €	120Ud.	9.60€
m13	€/Ud.	Tornillo cabeza redonda Allen M8x40 mm DIN-7380; Calidad 4.6 cincado.	0,12 €	6 Ud.	0,72 €
m14	€/Ud.	Tornillo cabeza redonda Allen M8x15 mm DIN-7380; Calidad 4.6 cincado.	0,08 €	24 Ud.	1,92 €
m17	€/Ud.	Tuerca V M8 cincada.	0,05 €	102 Ud.	5,10 €
m18	€/Ud.	Tuerca 2XM8-76 cincada.	0,09 €	24 Ud.	2,16 €
m19	€/Ud.	Arandela M8 DIN-125 cincada.	0,01 €	150 Ud.	1,50 €
m20	€/Ud.	Grapa acero galvanizado M8.	0,05 €	6 Ud.	0,30 €
				Importe total	488,76 €

1.1.3. Cuadro de mano de obra

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
d1	€/h	Oficial de taller.	16,00 €	2,50h	40,00 €
d2	€/h	Ayudante de taller.	11,00 €	4,00h	44,00 €
				Importe total	84,00 €

1.2. Precios descompuestos

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
S1	Ud.	Estructura portante formada por perfil de aluminio 3.3206.72 atornillado con chapas plegadas de acero galvanizado DX51D+Z275.	132,70 €	1,00	132,70 €
Material					
m1	€/m	Perfil aluminio 120x40 mm; 3.3206.72.	14,67 €	3,00 m	44,01 €
m2	€/m	Perfil aluminio 40x40 mm; 3.3206.72.	5,23 €	3,00 m	15,69 €
m5	€/Ud.	Chapa de unión larguero-travesaño galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=4 mm.	7,83 €	6,00 Ud.	46,98 €
m12	€/Ud.	Tornillo cabeza hexagonal M8x15 mm DIN-931; Calidad 4.6 cincado.	0,08 €	42,00 Ud.	3,36 €
m17	€/Ud.	Tuerca V M8 cincada.	0,05 €	18,00 Ud.	0,90 €
m18	€/Ud.	Tuerca 2XM8-76 cincada.	0,09 €	12,00 Ud.	1,08 €
m19	€/Ud.	Arandela M8 DIN-125 cincada.	0,01 €	42,00 Ud.	0,42 €
Mano de obra					
d1	€/h	Oficial de taller.	16,00 €	0,50 h	8,00€
d2	€/h	Ayudante de taller.	11,00 €	1,00 h	11,00€
Maquinaria					
v1	€/h	Plegadora.	1,77 €	0,50 h	0,89 €
v2	€/h	Sierra mecánica.	0,76 €	0,25 h	0,19 €
v3	€/h	Herramientas específicas de montaje.	0,25 €	0,75 h	0,19 €

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
S2	€/Ud.	Barandilla formada por perfil de aluminio 3.3206.72 atornillado con chapas plegadas de acero galvanizado DX51D+Z275.	89,28 €	1,00 Ud.	89,28 €
Material					
m2	€/m	Perfil aluminio 40x40 mm; 3.3206.72.	5,23 €	3,60 m	18,83 €
m3	€/m	Perfil aluminio 40x16 mm; 3.3206.72.	3,55 €	3,00 m	10,65 €
m6	€/Ud.	Chapa de unión montante-pasamanos superior galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=3 mm.	5,63 €	3,00 Ud.	16,89 €
m7	€/Ud.	Chapa de unión montante-pasamanos intermedio galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=3 mm.	4,97 €	3,00 Ud.	14,91 €
m12	€/Ud.	Tornillo cabeza hexagonal M8x15 mm DIN-931; Calidad 4.6 cincado.	0,08 €	12,00 Ud.	0,96 €
m14	€/Ud.	Tornillo cabeza redonda Allen M8x15 mm DIN-7380; Calidad 4.6 cincado.	0,08 €	12,00 Ud.	0,96 €
m17	€/Ud.	Tuerca V M8 cincada.	0,05 €	12,00 Ud.	0,60 €
m18	€/Ud.	Tuerca 2XM8-76 cincada.	0,09 €	6,00 Ud.	0,54 €
m19	€/Ud.	Arandela M8 DIN-125 cincada.	0,01 €	24,00 Ud.	0,24 €
Mano de obra					
d1	€/h	Oficial de taller.	16,00 €	0,75 h	12,00€
d2	€/h	Ayudante de taller.	11,00 €	1,00 h	11,00€
Maquinaria					
v1	€/h	Plegadora.	1,77 €	0,75 h	1.33 €

v2	€/h	Sierra mecánica.	0,76 €	0,25 h	0,19 €
v3	€/h	Herramientas específicas de montaje.	0,25 €	0,75 h	0,19 €

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
E1	€/Ud.	Montaje de módulo de pasarela compuesto por una estructura portante, dos barandillas, dos rodapiés, un piso y las respectivas uniones entre componentes.	589,15 €	1,00 Ud.	589,15 €
Material					
S1	€/Ud.	Estructura portante formada por perfil de aluminio 3.3206.72 atornillado con chapas plegadas de acero galvanizado DX51D+Z275.	132,70 €	1,00 Ud.	132,70 €
S2	€/Ud.	Barandilla formada por perfil de aluminio 3.3206.72 atornillado con chapas plegadas de acero galvanizado DX51D+Z275.	89,28 €	2,00 Ud.	178,57 €
m4	€/Ud.	Emparrillado electrosoldado galvanizado de pletina 30x4mm; 3x1 m.	148,65 €	1,00 Ud.	148,65 €
m8	€/Ud.	Chapa de unión barandilla-larguero galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=4 mm.	10,45 €	6,00 Ud.	62,70 €
m9	€/Ud.	Chapa de rodapié galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=1,5 mm.	18,76 €	2,00 Ud.	37,52 €
m12	€/Ud.	Tornillo cabeza hexagonal M8x15 mm DIN-933; Calidad 4.6 cincado.	0,08 €	54,00 Ud.	4,32 €
m13	€/Ud.	Tornillo cabeza redonda Allen M8x40 mm DIN-7380; Calidad 4.6 cincado.	0,12 €	6,00 Ud.	0,72 €

m17	€/Ud.	Tuerca V M8 cincada.	0,05 €	60,00 Ud.	3,00 €
m19	€/Ud.	Arandela M8 DIN-125 cincada.	0,01 €	60,00 Ud.	0,60 €
m20	€/Ud.	Grapa acero galvanizado M8.	0,05 €	6,00 Ud.	0,30 €
Mano de obra					
d1	€/h	Oficial de taller.	16,00 €	0,50 h	8,00€
d2	€/h	Ayudante de taller.	11,00 €	1,00 h	11,00€
Maquinaria					
v1	€/h	Plegadora.	1,77 €	0,50 h	0,89 €
v3	€/h	Herramientas específicas de montaje.	0,25 €	0,75 h	0,19 €

1.3. Presupuesto de ejecución material

Ref.	Designación	Importe (euros)
E1	Montaje de módulo de pasarela compuesto por una estructura portante, dos barandillas, dos rodapiés, un piso y las respectivas uniones entre componentes.	589,15 €
G1	Gastos indirectos de fabricación (6%)	35,35€
G2	Gasto de I+D	56,55 €
G3	Beneficio industrial	147,29 €
	Importe sin IVA	828,34 €
Impuestos	IVA (21%)	173,95€
	Importe total	1002,29€

2. Accesorios de montaje de módulos (por unión)

2.1. Cuadro de precios elementales

2.1.1. Cuadro de maquinaria

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
V1	€/h	Plegadora	1,77 €	0,20 h	0,35€
				Importe total	0,35€

2.1.2. Cuadro de materiales

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
m10	€/Ud.	Chapa de unión largueros-módulos galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=8 mm.	23,69 €	2 Ud.	47,38 €
m11	€/Ud.	Pletina serie 8-40 galvanizada.	1,68 €	4 Ud.	6,72 €
m15	€/Ud.	Tornillo Allen cabeza plana M8X10 mm DIN 7991; Calidad 4.6 cincado.	0,07 €	8 Ud.	0,56 €
m16	€/Ud.	Tornillo cabeza hexagonal M8x20 mm DIN-933; Calidad 6.8 cincado.	0,09 €	20 Ud.	1,80 €
m18	€/Ud.	Tuerca 2XM8-76 cincada.	0,09 €	4 Ud.	0,36 €
m21	€/Ud.	Tuerca V 4xM8 cincada.	0,23 €	6 Ud.	1,38 €
				Importe total	58,20 €

2.1.3. Cuadro de mano de obra

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
d1	€/h	Oficial de taller.	16,00 €	0,20h	3,2 €
				Importe total	3,2 €

2.2. Precios descompuestos

Ref.	Ud.	Designación	Importe		
			Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
E2	€/Ud.	Accesorios de montaje de módulos (por unión)	61,57 €	1,00 Ud.	61,57 €
Material					
m10	€/Ud.	Chapa de unión largueros- módulos galvanizada (DX51D+Z275), mecanizada en laser; e=8 mm.	23,69 €	2 Ud.	47,38 €
m11	€/Ud.	Pletina serie 8-40 galvanizada.	1,68 €	4 Ud.	6,72 €
m15	€/Ud.	Tornillo Allen cabeza plana M8X10 mm DIN 7991; Calidad 4.6 cincado.	0,07 €	8 Ud.	0,56 €
m16	€/Ud.	Tornillo cabeza hexagonal M8x20 mm DIN-933; Calidad 6.8 cincado.	0,09 €	20 Ud.	1,80 €
m18	€/Ud.	Tuerca 2XM8-76 cincada.	0,09 €	4 Ud.	0,36 €
m21	€/Ud.	Tuerca V 4xM8 cincada.	0,23 €	6 Ud.	1,38 €
Mano de obra					
d1	€/h	Oficial de taller	16,00 €	0,20 h	3,20 €
Maquinaria					
v1	€/h	Plegadora	1,77 €	0,20 h	0,35 €

2.3. Presupuesto de ejecución material

Ref.	Designación	Importe (euros)
E2	Accesorios de montaje de módulos (por unión de módulos)	61,57 €
G1	Gastos indirectos de fabricación (6%)	3,69€
G2	Gasto de I+D	5,91 €
G3	Beneficio industrial	15,39 €
	Importe sin IVA	86,56 €
Impuestos	IVA (21%)	18,18€
	Importe total	104,74€

3. Resumen presupuesto

Ref.	Designación	Importe sin IVA	Importe total (euros)
E1	Módulo de pasarela (unidad)	828,34 €	1002,29€
E2	Accesorios de montaje de módulos (por unión de módulos)	86,56 €	104,74€



BIBLIOGRAFÍA

- PLANES
“Inox 304 vs Inox 316: las diferencias entre los dos tipos de acero”
Realizado por: Equipo Ferros Planes
Publicado en 24/11/2018
<<https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>>
Citado en 02/03/2021
- Carbone Stainless Steel
“Ficha técnica del acero inoxidable”
< <https://www.empresascarbhone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf> >
Citado en 02/03/2021
- ETS NORD
“Information sheet of materials”
< <https://www.etsnord.ee/>>
Citado en 02/03/2021
- PALSA Material De Construcción S.L
“Ficha técnica acero galvanizado Z275”
<www.e-palsa.com>
Citado en 02/03/2021
- VINCO
“Fleje acero bajo contenido en carbono: Recubrimiento en continuo por inmersión en caliente. Galvanizado”
<www.vinco.es>
Citado en 04/03/2021
- PERFILES DE ALUMINIO.NET
¿Cuál es la diferencia entre aluminio 6061 va 6063?
< <https://perfilesdealuminio.net/articulo/icual-es-la-diferencia-entre-aluminio-6061-vs-6063/11>>
Citado en 15/03/2021
- UNE
“UNE-EN ISO 14122-1 Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanentes a máquinas. Parte 1: Selección de medios de acceso fijos y requisitos generales de acceso”
Publicado en 03/2017
Citado en 16/03/2021

- UNE
“UNE-EN ISO 14122-2 Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanentes a máquinas. Parte 2: Plataformas de trabajo y pasarelas”
Publicado en 03/2017
Citado en 16/03/2021
- UNE
“UNE-EN ISO 14122-3 Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanentes a máquinas. Parte 3: Escaleras, escalas de escalones y guardacuerpos”
Publicado en 03/2017
Citado en 16/03/2021
- Item
“Sistema de construcción modular MB”
<[https://www.sinerges.com/wp-content/uploads/pdf/item MB ES.pdf](https://www.sinerges.com/wp-content/uploads/pdf/item_MB_ES.pdf)>
Citado en 15/03/2021
- GABRIAN
“6061 Aluminium Alloy: Properties”
< <https://www.gabrian.com/wp-content/uploads/2018/09/6061-Aluminum-Alloy-Properties-1.pdf>>
Citado en 15/03/2021
- Ingemecanica
“Tutorial nº 110- Propiedades Mecánico-Químicas del Aluminio”
< <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn110.html>>
Citado en 15/03/2021
- Enrejados
“Catálogo”
Publicado en 2020
< <https://enrejados.es/img/enrejados-catalogo-2020.pdf>>
Citado en 7/04/2021
- ADAJUSA
“Perfilería de aluminio”
<<https://adajusa.es/perfileria-de-aluminio?page=2>>
Citado en 7/04/2021
- Motedis
“Catálogo”
<<https://www.motedis.es/shop/Perfil-Ranurado:::999991.html>>
Citado en 7/04/2021

- TAREA-ARQUITECTURA
“Conceptos hiperestática e isostática – diferencias”
Realizado por: Angelica Luiz Agab
Publicado en 09/2017
<<http://angelicaluizagab.blogspot.com/2017/06/conceptos-hiperestatica-e-isostatica.html>>
Citado en 23/04/2021

- Herpon suministros industriales
“Catálogo de tornillería”
<<https://herrajesdelponiente.es/producto/tornillo-rosca-metrica-cabeza-hexagonal-933-cincado-88-77/>>
Citado en 1/05/2021

- Mecánica De Los Medios Continuos Y Teoría De Estructuras- UPV
“Uniones atornilladas”
Realizado por: Pedro Efrén Martín Concepción
Citado en 1/05/2021

- FACTOR tornillería industrial
“Catálogo general”
Publicado en 2017
Citado en 17/05/2021