



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Determinación de las exigencias
geométricas funcionales en lenguaje ISO-
GPS de la base de un anteproyecto de una
plataforma hexápodo**

Autora:

Gómez Guadilla, Ana María

Tutores:

Valín Ortega, Antonio Luis

Departamento de Expresión Gráfica
en la Ingeniería

Lardíes Rodríguez, Gustavo

Responsable de Lean Manufacturing
Aciturri

Valladolid, diciembre de 2022.

RESUMEN

Título: Determinación de las exigencias geométricas funcionales en lenguaje ISO-GPS de un anteproyecto de la base de una plataforma hexápodo.

Autora: Ana M^a Gómez Guadilla

Palabras clave: Plataforma hexápodo, análisis técnico funcional, cuaderno de cargas funcional técnico, materiales compuestos o composites, exigencias funcionales.

El objetivo de este trabajo de fin de grado es realizar un estudio en la etapa de concepción de un producto industrial utilizando la metodología de análisis funcional técnico. Este análisis, se expresará, posteriormente a lenguaje ISO de especificación geométrica.

Para ello, se ha partido de un enunciado previo, y, en primer lugar, se ha diseñado el conjunto global en 3D mediante el software CATIA V5-6R2020 que será una importante herramienta para el análisis funcional técnico.

A través de este análisis se redactará un cuaderno de cargas funcional técnico en el que se recogen las justificaciones de los aspectos técnicos, de la geometría y superficies de cada elemento. Servirá de apoyo para establecer los diferentes documentos de exigencias funcionales, cadenas de cotas ISO y realizar los planos necesarios.

ABSTRACT

Title: Determination of the functional geometric requirements in ISO-GPS language of a draft of the base of a hexapod platform.

Author: Ana M^a Gómez Guadilla

Keywords: Hexapod platform, technical functional analysis, functional dimensioning, technical functional charges book, composite materials, functional requirements.

The goal of this final Project is to study the mechanical conception stage of a industrial product in which technical functional analysis will be used. This analysis will be explained with geometrical requirements.

To do this, it has been began with a previous statement. In the first place, 3D model has been created with software CATIA V5-6R2020 which it will be important herramienta for technical functional analysis.

Through this technical functional analysis, a technical functional charges book will be written. In it, there are all the justifications of geometry, technical information and surfaces. It will be helpful to establish the different documents: functional requirements, the ISO dimension chain dossier and drawings of the product.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Contenido del trabajo.....	2
CAPÍTULO II: PLATAFORMA HEXÁPODO/STEWART	3
2.1 Introducción	3
2.2 Arquitectura de la plataforma.....	4
2.3 Modelo en 3D	5
CAPÍTULO III: CONCEPCIÓN MECÁNICA DE UN PRODUCTO INDUSTRIAL	7
3.1 Definición y contexto	7
3.2 Fases	7
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS FUNCIONAL	9
4.1 Funciones.....	9
4.2 Estudio de las restricciones.....	9
4.3 Metodología para identificar las funciones de un producto.....	10
4.4 Metodología para clasificar las funciones de un producto	11
4.5 Metodología implementada en el análisis funcional técnico.....	11
4.6 Documentación técnica en el análisis funcional de este documento.	12
4.6.1 Dossier 1: Cuaderno de cargas funcional técnico	12
4.6.2 Dossier 2: Lenguaje ISO de especificación geométrica	13
4.6.3 Dossier 3: Modelos y Planos de definición.....	13
CAPÍTULO V: DOSSIER 1. CUADERNO DE CARGAS FUNCIONAL TÉCNICO.....	14
CAPÍTULO VI: DOSSIER 2. LENGUAJE ISO DE ESPECIFICACIÓN GEOMÉTRICA.....	34
6.1 Lenguaje de especificación geométrica ISO-GPS	34
6.2 Cadenas de cotas.....	35
6.2.1 Profundidad del filete en agujero ciego de la estructura base...35	
6.2.2 Apriete del casquillo en el perfil en U del panel sándwich.....36	
6.2.3 Holgura en los agujeros laterales en la unión Estructura Base – Panel Sándwich.....37	
6.3.4 Demasía de rosca en la unión Estructura base – Panel sándwich.....40	

6.2.4	Profundidad tornillo en el filete roscado	41
6.2.5	Holgura en los agujeros en la unión del Bracket inferior - Panel sándwich.....	42
6.2.6	Profundidad del tornillo en inserto del Panel Sándwich	43
6.2.7	Demasía de rosca en la unión Bracket inferior - Panel Sándwich	44
6.2.8	Coincidencia de ambas caras Rótula libre - Bracket inferior.....	45
6.2.9	Apriete de la Rótula libre en el saliente del Bracket inferior	47
6.2.10	Altura total.....	48
6.3	Expresión del análisis funcional técnico a lenguaje ISO-GPS	51
6.3.1	Posicionamiento de las Estructuras base sobre el mundo exterior	51
6.3.2	Posicionamiento de los elementos del Panel Sándwich.....	52
6.3.3	Posicionamiento del Panel Sándwich sobre las Estructuras Base	53
6.3.4	Posicionamiento de los Brackets inferiores sobre el Panel Sándwich	55
CAPÍTULO VII: ESTUDIO ECONÓMICO.....		57
7.1	Costes directos	58
7.2	Costes indirectos	60
7.3	Costes totales	60
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO		61
8.1	Conclusiones.....	61
8.2	Líneas de trabajo futuro.....	61
CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA		63
CAPÍTULO X: NORMATIVA.....		66
ANEXO I: DOSSIER 3. MODELOS Y PLANOS DE DEFINICIÓN.....		67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Simulador de Stewart. Fuente [1]	3
Figura 2. Máquina de Gough. Fuente [2]	3
Figura 3. Múltiples arquitecturas de Plataforma Stewart. Fuente: [4].....	5
Figura 4. Software Catia. Fuente: Google Imágenes	5
Figura 5. Renderizado de plataforma hexápodo. Fuente: Propio diseño.....	6
Figura 6. Ejemplo de diagrama Pieuve de la plataforma hexápodo.Fuente: Elaboración propia.....	10
Figura 7. Renderizado del modelo realizado en Catia V5-6R2020. Fuente: Elaboración propia.....	16
Figura 8. Estructura Honeycomb. Fuente:[10].....	18
Figura 9. Perfil de aluminio. Fuente: Diseño propio	19
Figura 10. Método de fijación. Fuente: [14]	19
Figura 11. Cadena de cotas JF. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 12.Cadena de cotas JE. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 13. Tolerancias en el despiece del requerimiento funcional JE. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 14.Cadena de cotas JB. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 15. Tolerancias en el despiece del requerimiento funcional JE. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 16. Cadena de cotas JC. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 17. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JC. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 18. Cadena de cotas JD. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 19. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JD. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 20. Cadena de cotas JG. Fuente: Elaboración propia.....	40

Figura 21. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JG. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 22. Cadena de cotas JH. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 23. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JH. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 24. Cadena de cotas JK. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 25. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JK Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 26. Cadena de cotas JM. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 27. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JM y JN. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 28. Cadena de cotas JN. Fuente: Elaboración propia.....	44
Figura 29. Cadena de cotas JI. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 30. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JI. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 31. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JI. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 32. Cadena de cotas JR. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 33. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 34. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 35. Cadena de cotas JA. Fuente: Elaboración propia.	48
Figura 36. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional. Fuente: Elaboración propia.....	49
Figura 37. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 38. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 39. Superficies que intervienen en el posicionamiento Panel sándwich - Estructuras Base.....	53

Figura 40. Superficies que intervienen en el posicionamiento Brackets inferiores -
Panel sándwich55

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de la base del anteproyecto de Plataforma Hexápodo. Fuente: Elaboración propia.....	15
Tabla 2. Número de capas y dirección de sus fibras. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 3. Superficies funcionales del bracket inferior. Fuente: Elaboración propia.....	20
Tabla 4. Superficies funcionales del panel sándwich. Fuente: Elaboración propia.	22
Tabla 5. Superficies funcionales de la estructura. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 6. Interfaces entre superficies: Panel sándwich. Fuente: Elaboración propia ..	28
Tabla 7. Interfaces entre superficies: Estructura base - Superficie exterior. Fuente: Elaboración propia.....	29
Tabla 8. Interfaces entre superficies: Panel sándwich - Estructura. Fuente: Elaboración propia.....	30
Tabla 9. Interfaces entre superficies: Panel sándwich - Brackets inferiores. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 10. Interfaces entre superficies: Bracket inferior – Horquilla inferior. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 11. Funciones del diagrama de Pieuvre. Fuente: Elaboración propia.	32
Tabla 12. Información del requerimiento funcional JF. Fuente: Elaboración propia. .	35
Tabla 13. Información del requerimiento funcional JE. Fuente: Elaboración propia. .	36
Tabla 14. Información del requerimiento funcional JC. Fuente: Elaboración propia. .	37
Tabla 15. Información del requerimiento funcional JC. Fuente: Elaboración propia. .	38
Tabla 16. Información del requerimiento funcional JD. Fuente: Elaboración propia. .	39
Tabla 17. Información del requerimiento funcional JG. Fuente: Elaboración propia. .	40
Tabla 18. Información del requerimiento funcional JH. Fuente: Elaboración propia. .	41
Tabla 19. Información del requerimiento funcional JK. Fuente: Elaboración propia. .	42
Tabla 20. Información del requerimiento funcional JM. Fuente: Elaboración propia. .	43
Tabla 21 Información del requerimiento funcional JN. Fuente: Elaboración propia. .	44

Tabla 22. Información del requerimiento funcional JI. Fuente: Elaboración propia ...	45
Tabla 23. Información del requerimiento funcional JR. Fuente: Elaboración propia ..	47
Tabla 24. Información del requerimiento funcional JA Fuente: Elaboración propia ...	48
Tabla 25. Tabla CLIC de la interfaz del Panel Sándwich - Estructuras Base. Fuente: Elaboración propia.....	53
Tabla 26. Tabla CLIC de la interfaz del Bracket - Panel Sándwich. Fuente: Elaboración propia.....	55
Tabla 27. Aproximación del cálculo del coste de mecanizado. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 28. Lista de costes materiales. Fuente: Elaboración propia	58
Tabla 29. Recuento del número de horas empleadas. Fuente: Elaboración propia...	59
Tabla 30. Coste total anual de un trabajador. Elaboración propia.....	59
Tabla 31. Costes totales directos. Fuente: Elaboración propia.	60
Tabla 32. Costes indirectos totales. Fuente: Elaboración propia.	60
Tabla 33. Costes totales. Fuente: ELaboración propia.....	60



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La concepción mecánica de un producto industrial es la etapa preliminar del proceso de estudio del diseño y fabricación de un producto, en el que se tratan diferentes cuestiones con relación a la ingeniería mecánica.

En esta etapa se centra el estudio en analizar los requerimientos y las funciones que se deben cumplir en el diseño final, en cuanto a las necesidades, tanto del mecanismo, como las del cliente.

Se trata de la etapa más importante en el diseño porque en esta se delimitarán todas las aplicaciones y requisitos de los que dependerá el resto del estudio.

Debido a que en un conjunto mecánico se encuentran distintas piezas trabajando ligadas, de la correcta definición de cada una y del análisis de todas las uniones y contactos que exista en este, dependerá su correcto funcionamiento.

Este trabajo se ha centrado en el desarrollo de parte de la concepción de la base de un anteproyecto de una Plataforma Hexápodo, a través del análisis funcional técnico. Además, se ha contado con la colaboración de Aciturri Aeronáutica para consultar aspectos técnicos y funcionales del trabajo con una visión real y profesional.

1.2 Objetivos

El objetivo general de este trabajo de fin de grado es el aprendizaje del método de análisis funcional técnico en la fase de concepción mecánica de un producto industrial.

Para ello, resulta ineludible conocer la metodología empleada para desarrollar este análisis. Uno de los objetivos específicos es el de realizar un estudio ordenado y riguroso que cuente con un cuaderno de cargas funcional técnico de este anteproyecto. En él se analizará la geometría, cada superficie funcional, el posicionamiento correcto, las uniones mecánicas y las necesidades y funciones que ha de cumplir el conjunto.

Posteriormente, esta información se transcribirá a un lenguaje de especificación geométrica ISO-GPS.



El conjunto se realizará en 3D mediante un software de diseño asistido por ordenador, y será una herramienta de importancia para elaborar los dibujos necesarios y recoger la información.

1.3 Contenido del trabajo

Se trata del estudio de un producto industrial real que cuenta con materiales y componentes innovadores, como los composites. Para la resolución de dudas y la ampliación de información, se ha contado con la ayuda de la empresa Aciturri que conoce y trabaja con estos materiales.

Es un estudio reducido, ya que se ha abordado la base del modelo. A pesar de eso, cabe destacar que el análisis ha sido completo y en profundidad.

También, mediante el módulo *Functional Tolerancing & Annotation* del software Catia V5-R62020 se ha acotado funcionalmente en 3D el modelo nominal de las piezas realizadas. En el ANEXO I, se encuentran dos planos realizados a través de este módulo.

Este trabajo se estructura del siguiente modo:

- Capítulo II: Se expone brevemente la historia y las características del producto industrial.
- Capítulos III y IV: Tratan de resumir el contenido clave de la etapa de concepción mecánica de un producto industrial y del análisis funcional, respectivamente.
- Capítulo V: Se desarrolla el cuaderno de cargas como resultado del análisis funcional.
- Capítulo VI: La finalidad de este capítulo es expresar en lengua de especificación ISO las especificaciones geométricas recogidas en el capítulo anterior.
- Capítulo VII: Se realiza una aproximación económica del estudio realizado.
- Capítulo VIII: recoge las conclusiones extraídas del estudio y las líneas de trabajo futuro.



CAPÍTULO II: PLATAFORMA HEXÁPODO/STEWART

2.1 Introducción

En primer lugar, se expone brevemente la aparición de este mecanismo en la historia y de su diferente utilidad en diferentes campos.

En 1965, surge un tipo específico de robot paralelo creado por Stewart con el objetivo de crear un simulador de vuelo (*Figura 1*).

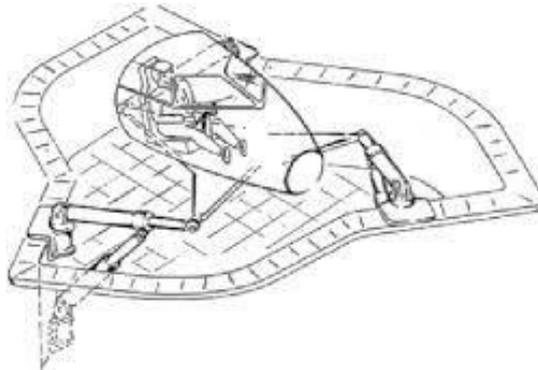


Figura 1 Simulador de Stewart. Fuente [1]

Esta creación, fue precedida años anteriores por Gough, que en 1957 diseñó una máquina que permitía simular y ensayar la durabilidad de neumáticos (*Figura 2*).



Figura 2. Máquina de Gough. Fuente [2]



Ambos, permitían obtener un movimiento de seis grados de libertad debido a los seis actuadores lineales de los que está formado. Por esto, es también denominada **Plataforma hexápodo**.

Es un mecanismo conocido como posicionador paralelo de seis ejes, con un amplio rango de movilidad y una elevada precisión debido a que posee una estructura robusta que aporta gran rigidez. La carga se distribuye de manera que cada uno de los actuadores esté sometido a los mismos esfuerzos, lo que supone una menor inercia. También admitirá una carga mayor que su propio peso.

Cabe mencionar que la cadena cinemática es compleja, ya que cada actuador lineal representa una cadena cerrada y estas se ajustan una a una, lo que representa un proceso laborioso. En la cinemática de un robot paralelo los componentes que lo forman están unidos de tal forma que pueden seguir dos o más caminos. [3]

La versatilidad de esta plataforma permite un amplio abanico de aplicaciones en la industria, por ejemplo, en la industria aeronáutica y en la rama biomédica.

2.2 Arquitectura de la plataforma

La plataforma está compuesta por una base inferior fija y una plataforma superior móvil, que permitirá obtener movimientos de 6 grados de libertad.

Como vínculo entre ambos, se encuentran los seis actuadores lineales. Dependiendo del tipo de restricciones de movimiento que presenten las uniones mecánicas con la base fija y la plataforma móvil, existen diferentes arquitecturas de este mecanismo. Se muestran los ejemplos en la *Figura 3*.

En este trabajo, se desarrollará un mecanismo robótico cuyas articulaciones con la base fija y móvil son esféricas.

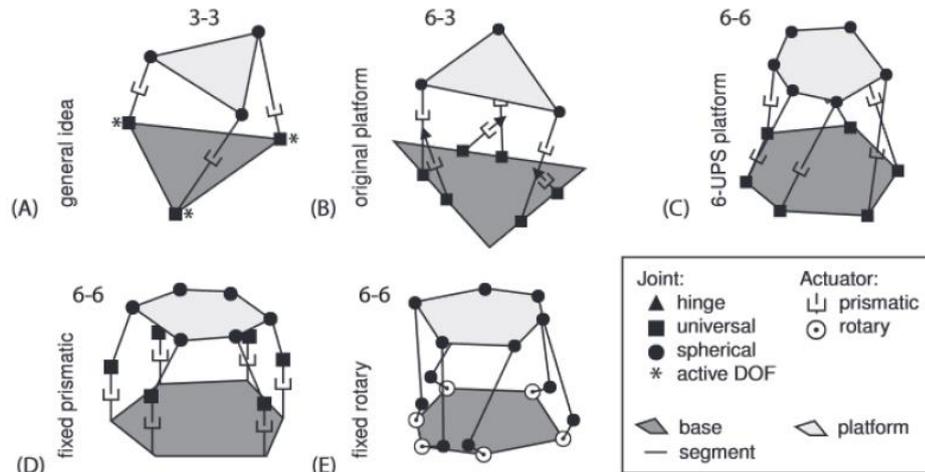


Figura 3. Múltiples arquitecturas de Plataforma Stewart. Fuente: [4]

2.3 Modelo en 3D

El modelo completo de este mecanismo ha sido creado en 2D y 3D, mediante el software CAD para modelado mecánico Catia V5-R62020.



Figura 4. Software Catia. Fuente: Google Imágenes

Se ha creado el modelo de aquellas piezas necesarias que no son comerciales. También, se ha buscado aquellas que sí lo eran en páginas de contenido digital en 3D o en catálogos comerciales.

Asimismo, se ha partido creando un archivo llamado *FICHERO_ESQUEMA_GENERAL* en el que se han recogido los parámetros y la geometría guía que pueden compartir varias piezas. Por ejemplo, geometría de posición de piezas que deben ser coaxiales, parámetros con el valor de alguna distancia, etc.

Posteriormente, se han publicado y vinculado como parámetros externos a los archivos de cada pieza correspondiente. Así, de esta manera, si es necesario modificar una medida o geometría, los cambios sólo se realizan en este *FICHERO_ESQUEMA_GENERAL* y basta con actualizar cada pieza para que se

modifique automáticamente. Suponiendo un ahorro de tiempo y una optimización del trabajo.

Es necesario abrir primero este documento antes que cualquier otro para asegurar que se lea esta información vinculada a los demás archivos y los enlaces no se rompan.

Así pues, una vez obtenidas todas las piezas se han ensamblado con el mismo software. Creando diferentes sub-conjuntos con todas las restricciones necesarias de movimientos, coincidencias y contactos para después agrupar estos de manera más sencilla.

Esto ha permitido recrear simulaciones de los movimientos observando los rangos de desplazamientos y de giro que era capaz de alcanzar dicho mecanismo.

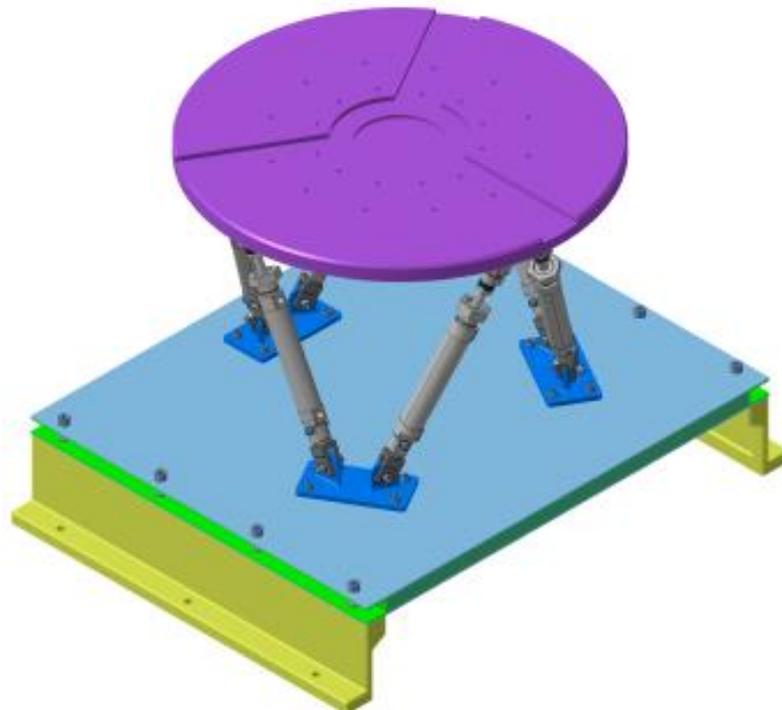


Figura 5. Renderizado de plataforma hexápodo. Fuente: Propio diseño



CAPÍTULO III: CONCEPCIÓN MECÁNICA DE UN PRODUCTO INDUSTRIAL

3.1 Definición y contexto

La concepción mecánica de un producto industrial es la primera fase de diseño y una de las más importantes. El objetivo principal es la definición del producto a partir de las peticiones establecidas por el cliente y por los requerimientos que presente el conjunto mecánico, que serán decididos por las personas encargadas de realizar el diseño. [5]

En esta etapa se realizan trabajos cuya responsabilidad es alta y se crean restricciones de las que dependerá el resto del diseño.

Se toman todas las decisiones con relación a los datos técnicos pertinentes para el diseño sea factible y se aproxima el coste. Además, es necesario definir, también, el entorno y la actividad.

3.2 Fases

Se definirán brevemente las etapas necesarias para la concepción de un producto, así como la relación entre ellas y su relevancia.

❖ Análisis de las necesidades del cliente:

Se formalizan unas especificaciones funcionales a partir de las peticiones del cliente. De esta manera, se definen todas las necesidades acordadas con el cliente.

El CDCF es un documento que relaciona el Análisis de las necesidades del cliente con el Estudio de viabilidad. Es iniciado por el grupo de diseñadores y recoge todas las necesidades del cliente. Además, tiene que ser validado por este.

❖ Estudio de viabilidad

Una vez comprendidos los requerimientos impuestos por el cliente se aplica una metodología que permitirá estudiar diferentes soluciones, de acuerdo con los plazos existentes con el objetivo de elegir la óptima.

A medida que se desarrolla este estudio se elabora un documento en el que se redactará el transcurso del estudio.



El informe de factibilidad es el enlace entre el Estudio de viabilidad y el anteproyecto elegido como mejor solución.

❖ Realización del anteproyecto

En esta etapa se elaboran todos los documentos necesarios para definir el anteproyecto, plasmando en ellos lo estudiado en las etapas anteriores. Algunos ejemplos de estos documentos son el diseño preliminar, la especificación del producto, el estudio de los riesgos técnicos, dossier de planos, de elementos 3D, de cadenas de cotas, etc.



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional, corresponde a la etapa de determinación de los requerimientos necesarios que debe cumplir el producto mecánico según su importancia y jerarquía. [6]

Es un procedimiento de gran peso técnico que engloba las necesidades requeridas y el estudio del producto con una metodología precisa. Se plantean las siguientes preguntas con relación al producto mecánico:

- ¿Quién es el cliente directo?
- ¿Cuál es su necesidad?
- ¿Cómo satisfacerlo?

4.1 Funciones

Existen diferentes categorías de funciones. Lo importante a la hora de enunciar cada una de ellas es no exponer la solución ya que sólo se trata de expresar la necesidad sin especificar cómo debe ser satisfecha.

Se clasifican según sea su naturaleza y su importancia:

- **Según la naturaleza:** Se distinguen, también, distintas tipologías.
 - *Función del servicio.* Busca definir la utilidad del producto.
 - *Función técnica.* Definida por el diseñador.
 - *Función de valor.* Centrada en el aspecto estético.
- **Según sea la importancia:** Estas funciones se clasifican según su grado de importancia en:
 - *Funciones principales.*
 - *Funciones secundarias.*
 - *Funciones temporales.*

4.2 Estudio de las restricciones

Permitirá conocer cuáles son las limitaciones del diseñador en diversos ámbitos. Se deben conocer en profundidad todas las restricciones a las que hay que delimitar el diseño del producto, que están establecidas en documentos técnicos como pliegos de condiciones, normativas o legislación.

4.3 Metodología para identificar las funciones de un producto

Existen varios métodos de análisis, que siempre se han de realizar teniendo en cuenta el estudio del apartado anterior.

- **Método intuitivo**
Usado para productos con poca complejidad. Trata de concretar las necesidades que se espera que cumpla el producto.
- **Método S.A.F.E (Análisis secuencial de la estimación de la función)**
Usado para productos más complejos de los que se tiene más conocimiento, tanto de su uso como de su estructura. Es un estudio secuencial de las distintas funciones de los esfuerzos y movimientos que el producto en cuestión puede ofrecer a lo largo de toda su vida útil.
- **Estudio de las interacciones con el entorno**
Estudia cómo pueden afectar el entorno. La herramienta *Pieuvre* o *Pulpo* ayuda a su análisis.
En primer lugar, se enumeran las fases de uso del sistema. A continuación, se realiza el diagrama *pieuvre* en el que se relaciona los diferentes elementos del entorno en el que se encuentra el producto con este mismo. En la *Figura 6* se observa un ejemplo de diagrama *Pulpo* de la Plataforma Hexápodo.

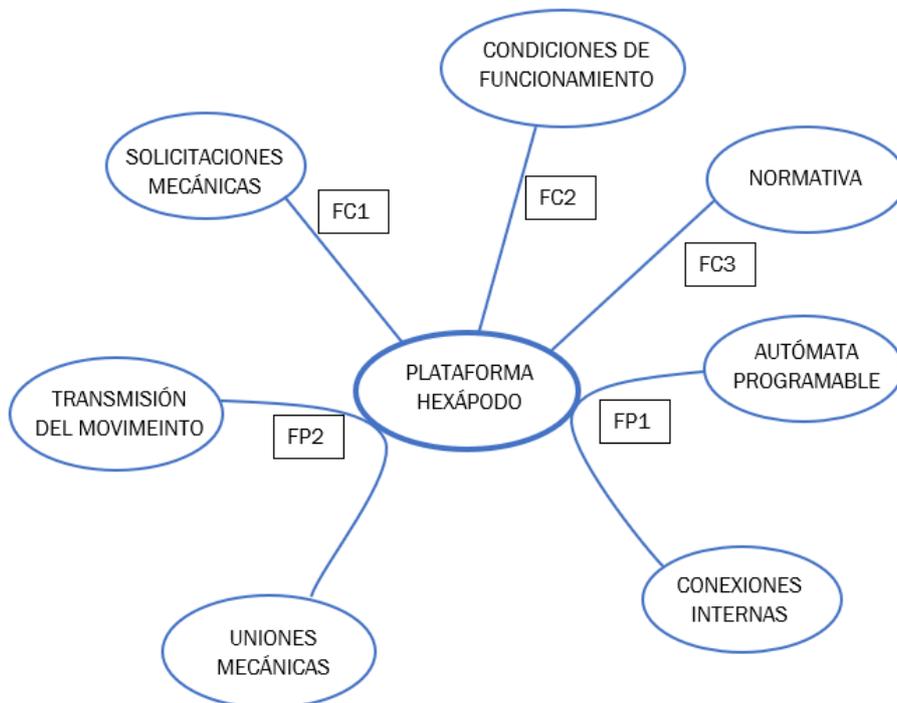


Figura 6. Ejemplo de diagrama Pieuvre de la plataforma hexápodo. Fuente: Elaboración propia.



- **Estudio de un producto existente**

Compara las especificaciones de un producto similar ya existente en el mercado. Puede ser útil fijarse en algunas características reseñables, teniendo en cuenta que no está permitido la copia de las tecnologías que rigen esas características. También, es ventajoso fijarse en las carencias que poseen.

4.4 Metodología para clasificar las funciones de un producto

El método seleccionado es el **FAST**, sus siglas corresponden a “Técnica del sistema de análisis de funciones.” La elaboración de este diagrama permite, una vez identificadas las funciones del producto, ordenar y obtener una lista con todas las funciones técnicas con el objetivo de encontrar las soluciones respectivas.

Se plantean tres preguntas: ¿Cómo?, ¿Cuándo?, ¿Por qué? Las respuestas a la primera pregunta corresponden a funciones de igual jerarquía. Las respuestas a la segunda pregunta dan como resultado funciones secundarias. Y, por último, la respuesta a la última pregunta muestra las funciones principales. [5]

4.5 Metodología implementada en el análisis funcional técnico

En cualquier proceso industrial, el paso inicial es el encuentro entre el cliente y la oficina de estudios en el que se fijan todas las necesidades que ha de cumplir el producto final.

En este Trabajo de Fin de Grado, se ha partido de un enunciado previo que aportaba la información de partida.

El siguiente paso, corresponde a un estudio técnico en el que se deben analizar el resto de las necesidades para la realización del producto. Este estudio, de carácter técnico, es realizado por el conector y ya no compete al cliente. En este trabajo, se ha analizado la base del conjunto mecánico detallando las necesidades para un correcto funcionamiento.

Una vez obtenidas todas las necesidades demandadas, se deben clasificar mediante diagramas, tablas u otro procedimiento que ayude a organizarlas en función del grado de importancia. En este caso, se realiza un diagrama *Pieuvre* o *Pulpo* que agrupa todas las funciones y su relación con el producto.

A continuación, se debe realizar un análisis de todos los elementos que componen el mecanismo. Es necesario definir individualmente cada uno de los



elementos, sin olvidar que pertenecen a un conjunto global, explicando la función específica que cumplen.

Posteriormente, se realiza un análisis funcional del conjunto enfocado a las relaciones que debe de haber entre todos los elementos. Por ejemplo, contactos superficiales, uniones, holguras...

En este análisis funcional se pretende cuestionar y dar respuesta al porqué de todos los pasos realizados en el diseño de la geometría de cada pieza, analizando todas sus superficies. Se realizará a través del modelo en 3D desarrollado.

Por último, se realiza un análisis para la puesta en posición del conjunto haciendo un énfasis en las interfaces entre superficies. Se hablará del orden que ha de seguirse, de las uniones mecánicas, del correcto posicionamiento de las piezas...

4.6 Documentación técnica en el análisis funcional de este documento.

4.6.1 Dossier 1: Cuaderno de cargas funcional técnico

Se caracteriza por ser un documento técnico, riguroso y totalmente objetivo, en el que se refleja la etapa de concepción mecánica del producto deseado. Registra la evaluación de las limitaciones y funciones del servicio.

Es una interfaz entre el cliente y el conceutor. Este último, expresa las soluciones encontradas a las especificaciones requeridas convirtiéndolas, mediante el análisis funcional técnico, en funciones que deben cumplirse y dar respuesta a lo establecido en el pliego de condiciones.

La organización de las especificaciones se realiza con ayuda de tablas o diagramas o esquemas.

Se muestra el límite de aceptación en el que la función se puede cumplir. Por lo tanto, es importante, que quede reflejado el nivel de flexibilidad de cada condición impuesta que pueda ver comprometida el sistema o no.



4.6.2 Dossier 2: Lenguaje ISO de especificación geométrica

En este documento se representan los requerimientos funcionales mencionados en el Cuaderno de cargas funcional técnico. Se analizarán las cadenas de cotas necesarias, así como el posicionamiento de las diferentes piezas.

4.6.3 Dossier 3: Modelos y Planos de definición

En este dossier se recogen los planos de montabilidad de todo el conjunto, los planos funcionales de los elementos y los planos con las cadenas de cotas desarrollados en el Dossier 2.



CAPÍTULO V: DOSSIER 1. CUADERNO DE CARGAS FUNCIONAL TÉCNICO.

ÍNDICE

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	15
2. ASPECTOS TÉCNICOS DEL CONJUNTO DE LA BASE	17
2.1 Materiales	17
Estructura base [7]	17
Bracket inferior [7]	17
Panel sándwich	17
3. SUPERFICIES FUNCIONALES	20
3.1 Bracket inferior	20
3.2 Panel Sándwich: Compuesto estructural.....	22
3.3 Estructura base	26
4. INTERFACES ENTRE SUPERFICIES. MONTABILIDAD DEL CONJUNTO	28
4.1 Elementos del panel sándwich.....	28
4.2 Estructuras base – Superficie exterior	29
4.3 Panel sándwich – Estructuras base	30
4.4 Brackets inferiores – Panel sándwich	31
4.5 Rótula libre – Bracket inferior.....	31
5. DIAGRAMAS.....	32
5.1 Diagrama <i>Pieuvre</i> o <i>Pulpo</i> del conjunto mecánico	32
5.2 Diagrama <i>Pieuvre</i> de contactos en la base de la Plataforma Hexápodo	33



Este dossier representa el pliego de condiciones del conjunto mecánico. El objetivo es determinar, mediante el análisis funcional técnico, las funciones y las exigencias de la base del anteproyecto de la Plataforma Stewart.

Se especificarán las exigencias geométricas de cada pieza y se analizarán, todas sus partes, cada material empleado, los límites, las posiciones, la orientación y la montabilidad del conjunto.

La información plasmada en este cuaderno de cargas debe ser acorde a las necesidades impuestas por el cliente. Para mostrar su conformidad, este documento debe ser firmado por los diseñadores y el cliente.

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

En el diseño de la base de este anteproyecto de robot denominado Plataforma Hexápodo se combinan diferentes aspectos técnicos como los materiales compuestos, para los que se ha contado con el apoyo de la empresa Aciturri para la resolución de dudas y la ampliación de información.

A continuación, se muestran en la siguiente tabla diferentes parámetros.

Tabla 1. Parámetros de la base del anteproyecto de Plataforma Hexápodo. Fuente: Elaboración propia.

CONFIGURACIÓN		
Dimensiones	500 x 600 x 165 mm	
Material Brackets Inferiores	EN-AW 7075	
Material Bandeja Sándwich	Pieles	CFRP IM7/G8552
	Núcleo	Honeycomb 5056 CR-PAA
	Adhesivo	REDUX 312L
	Relleno	Epoxy STYCAST 1090/9
	Insertos	SHUR-LOK SL601 M6 - 17.40 C S N
Material Estructura Base	EN- AW 2024	
Typical values of Compressive Strength	690 psi	
Typical values Crush Strength	320 psi	

El conjunto consta de dos Estructuras Base que serán la unión del conjunto con el apoyo exterior mediante seis taladros. Sobre la parte superior de ambas se apoyará el panel sándwich formado por dos pieles de polímero reforzado con fibra de carbono que estarán separadas por un núcleo honeycomb de aluminio. Por último, en la parte superior del panel se posicionan tres piezas denominadas Brackets Inferiores que servirán de enlace con el resto del mecanismo.

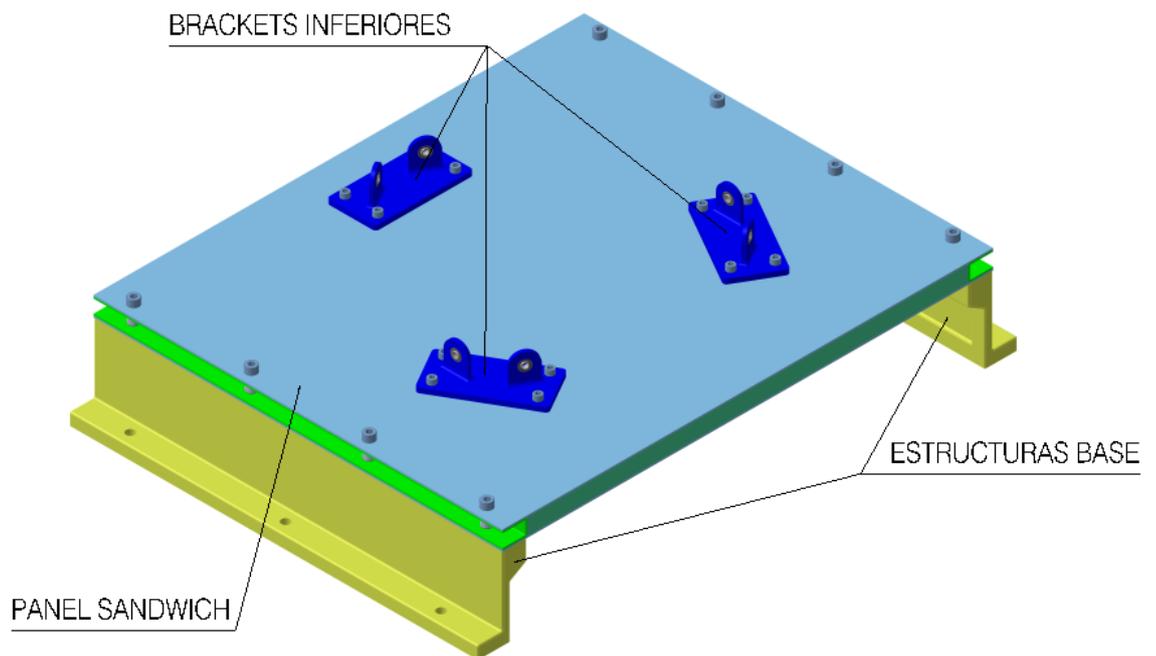


Figura 7. Renderizado del modelo realizado en Catia V5-6R2020. Fuente: Elaboración propia.



2. ASPECTOS TÉCNICOS DEL CONJUNTO DE LA BASE

Se exponen los diferentes materiales de la base del conjunto y sus propiedades.

2.1 Materiales

Estructura base [7]

El aluminio **EN- AW 2024** posee buenas características mecánicas y buena relación de resistencia entre su densidad y la carga que puede soportar. Así como una alta resistencia a la fatiga

Bracket inferior [7]

El material es aluminio **EN-AW 7075** debido a sus buenas características mecánicas y su ligereza. Este aluminio está fuertemente aleado con zinc, por lo que aporta un alto límite elástico.

Panel sándwich

Los paneles sándwich pertenecen al grupo de materiales compuestos estructurales. Se ha elegido este tipo de compuesto ya que es necesaria una combinación de propiedades de distintos materiales para conseguir características específicas que no se obtendrían empleando sólo un material.

En general, están formados por:

- 2 láminas o pieles externas que resistirán un esfuerzo de flexión transversal y la mayor parte de cargas en el plano.

Núcleo: Es la parte más notable del compuesto. El material es menos denso, con menos rigidez y elasticidad. Separa las caras y resistirá la deformación perpendicular a las caras. [8]

En particular, en este panel se pueden encontrar:

Pieles externas

Constituidas por **CFRP (Carbon Fibre Reinforced Plastic)**, una estructura de polímero reforzado con fibra de carbono. Es un material compuesto en el que esta fibra de carbono actúa como componente estructural principal. Mezcla la flexibilidad del polímero y la rigidez de la fibra de carbono. [9]

Cada piel está formada por diez capas de igual espesor, pero diferente orientación de las fibras. Se puede observar en la siguiente tabla cada una de ellas.

Tabla 2. Número de capas y dirección de sus fibras. Fuente: Elaboración propia.

Nº CAPA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DIRECCIÓN FIBRA (º)	45	0	-45	90	30	-30	90	-45	0	45
ESPESOR (mm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Núcleo

Es el material central del panel.

En este caso, se contará con una estructura en panal en forma de celdas hexagonales que se disponen de forma que los ejes de estas celdas son perpendiculares a las pieles.

La designación será **Honeycomb 5056 CR-PAA**. Se forma mediante una capa fina de aluminio de la serie 5000.

La densidad y otras propiedades de este compuesto se muestran en la Ficha Técnica del comercial que se encuentra referenciada [10] en la Bibliografía de este documento.

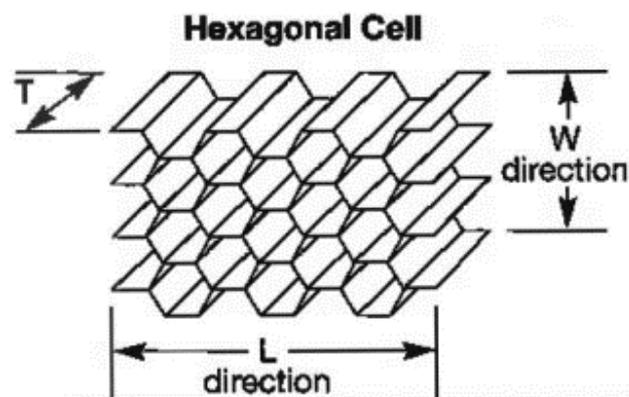


Figura 8. Estructura Honeycomb. Fuente:[10]

Perfiles en U 20 x 30 x 2 [11]

Se trata de dos perfiles conformados en forma de U, que están fabricados en aluminio **EN-AW 2024**. Este material es una aleación de cobre con una resistencia mecánica y a la corrosión alta.

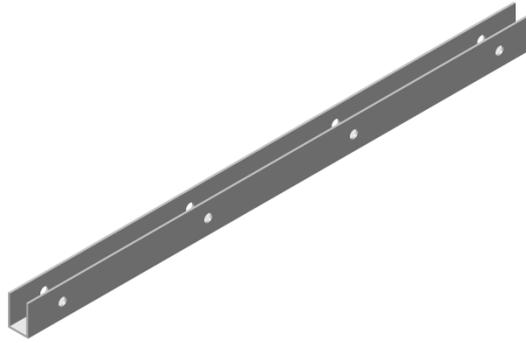


Figura 9. Perfil de aluminio. Fuente: Diseño propio

Materiales de unión

Para unir el núcleo a cada piel y a cada perfil será necesario un adhesivo específico. En este caso, se usará **Redux 312L**, un adhesivo especial para paneles sándwich. Se adjunta la ficha técnica del fabricante de este material con todas las especificaciones en la referencia [12] que de la bibliografía.

Por otro lado, la parte central tiene 12 perforaciones en las que irá un inserto especial para paneles sándwich, se ha optado por el comercial SHUR-LOK y cuya denominación del inserto es **SL601 M6 - 17.40 C S N**.

Para que este quede bien fijado, se añadirá un relleno denominado **Epoxy STYCAST 1090/9**, que se encontrará retenido entre la piel inferior y la superior. La ficha técnica del material se ubica en la referencia [13].

En la *Figura 10* se muestra el proceso de fijación del inserto.

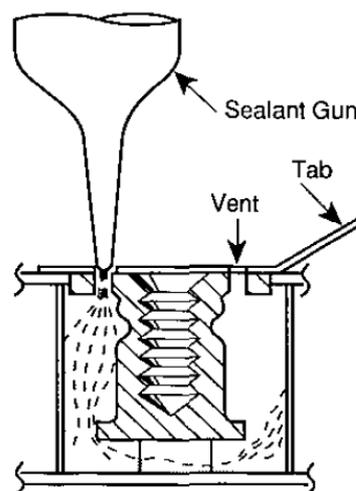


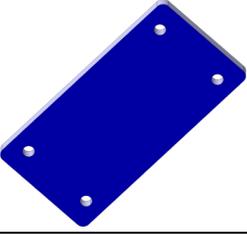
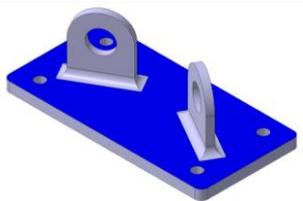
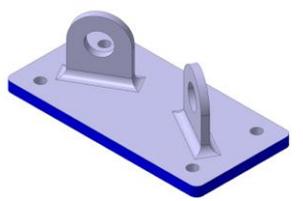
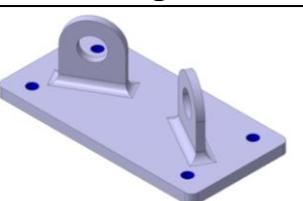
Figura 10. Método de fijación. Fuente: [14]

3. SUPERFICIES FUNCIONALES

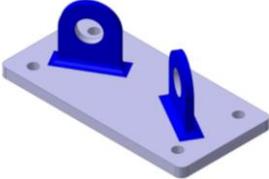
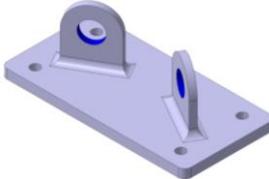
Se sigue un orden descendente para analizar cada pieza.

3.1 Bracket inferior

Tabla 3. Superficies funcionales del bracket inferior. Fuente: Elaboración propia.

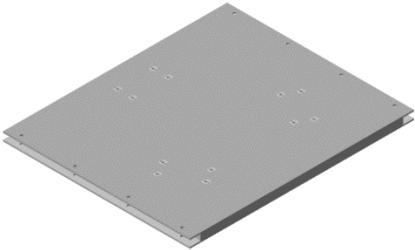
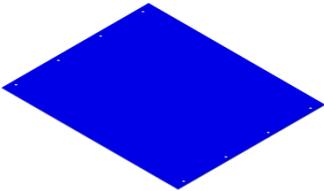
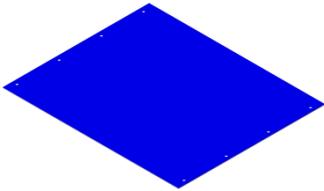
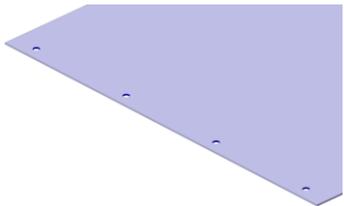
1. BRACKET INFERIOR		
SUPERFICIE INFERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Apoyo con la superficie superior del panel sándwich.	Esta superficie debe coincidir con el plano superior del panel, en el que va apoyada. El acabado superficial debe ser el correcto para que contacto sea completo.
SUPERFICIE SUPERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Paralelismo con la superficie inferior	Proporcionará un reparto igual de la carga en toda la estructura, debido a la alineación de todos los ejes de los taladros. Debe ser un apoyo para el elemento de fijación, siendo perpendicular a su eje.
	Dimensión del espesor de la base	Debe ser suficiente para asegurar que el anclaje con el panel sándwich soporte todas las sollicitaciones mecánicas existentes. Por lo tanto, esta medida dependerá del cono de presión generado.
SUPERFICIE INTERIOR DE TALADROS		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Nº agujeros laterales y disposición	Permitirán el posicionamiento de cada bracket con el panel sándwich. Los orificios deben ser concéntricos con los del panel y su diámetro depende del elemento de fijación. Están dispuestos de esta forma para lograr una fijación correcta.



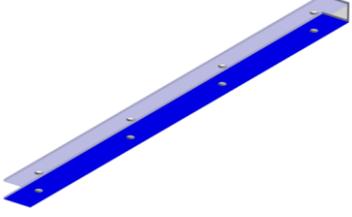
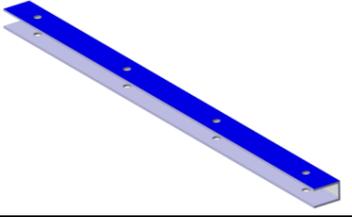
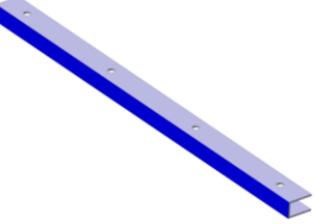
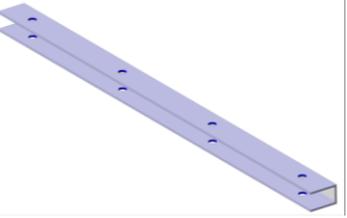
SALIENTES SUPERIORES		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Ángulo de posicionamiento	Su función es posicionar de cada actuador lineal. El ángulo es necesario para que el recorrido del actuador sea el correcto.
	Dimensión de los taladros de cada saliente	Permitirán el posicionamiento de cada rótula. Su diámetro depende de este elemento de fijación.

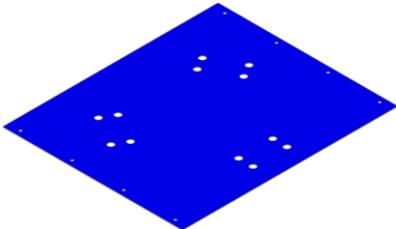
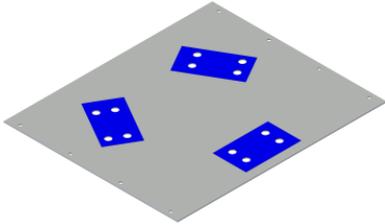
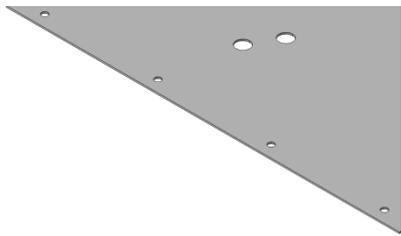
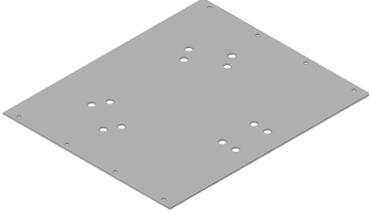
3.2 Panel Sándwich: Compuesto estructural

Tabla 4. Superficies funcionales del panel sándwich. Fuente: Elaboración propia.

2. CONJUNTO DEL PANEL SÁNDWICH		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	<p>Concepción y diseño</p>	<p>Subconjunto formado por dos pieles CFRP separadas por un núcleo 5056 CR-PAA/CR11 y dos perfiles en U 20x30x2 de aluminio en los extremos. Estas piezas están unidas mediante un adhesivo REDUX 312L.</p> <p>En la parte superior cuenta con unos insertos de unión que están fijados con otro adhesivo denominado Epoxy STYCAST 1090/9, que permitirán la unión con la parte superior del conjunto final.</p> <p>Sus dimensiones dependen de las sollicitaciones mecánicas a las que están expuestas.</p>
2.1 PIEL CFRP INFERIOR		
SUPERFICIE INFERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	<p>Apoyo con la superficie superior de las estructuras</p>	<p>Esta superficie debe coincidir con el plano superior de las estructuras base en el que se apoya, por lo tanto, debe mantener el paralelismo con esta.</p> <p>El ancho debe coincidir con la longitud de la estructura base.</p>
SUPERFICIE SUPERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	<p>Paralelismo con la superficie inferior</p>	<p>El apoyo de las caras superiores debe ser completo. De esta manera se consigue un reparto igual de la carga en toda la estructura.</p>
SUPERFICIE INTERIOR TALADROS		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	<p>Nº agujeros y distancia entre sí</p>	<p>Hay cuatro agujeros pasantes en cada lateral que permitirán el posicionamiento de esta pieza con las dos estructuras base debido a que estos agujeros deben ser concéntricos respectivamente.</p> <p>El diámetro de estos depende de la pieza de unión usada y de la resistencia que solicite el material.</p>

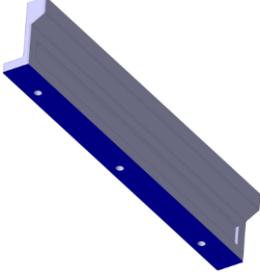
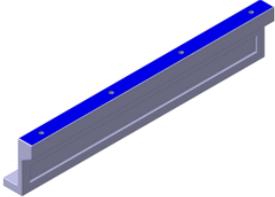
2.2 NÚCLEO 5056 CR-PAA/CR11		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Concepción y diseño	El número de celdas, su tamaño y su espesor tienen una relación directa con la carga a la que pueda estar sometida y con el tamaño final de la pieza.
SUPERFICIE INTERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Apoyo con la superficie superior de la piel inferior	Esta superficie debe coincidir con el plano superior de la piel, en el que va apoyada. El ancho del núcleo coincide con la longitud de la estructura de apoyo y el ancho de la piel. Se fija a esta mediante un adhesivo REDUX 312L.
SUPERFICIE SUPERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Paralelismo con la superficie inferior	Proporcionará un reparto igual de la carga en toda la estructura, manteniéndose la horizontalidad.
SUPERFICIE INTERIOR TALADROS		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Nº agujeros y distancia entre sí	Hay doce agujeros pasantes, cuya función es albergar unos insertos para este tipo de material. Permitirán la unión de lo anterior con el resto del conjunto mecánico. En estas cavidades se inyectará un adhesivo Epoxy STYCAST 1090/9 para fijar cada uno de los insertos una vez solidificado. La dimensión de sus diámetros depende de la adherencia y resistencia que aporte el adhesivo usando. El reparto de estos está ligado a la geometría de las 3 piezas que irán fijadas.
SUPERFICIES LATERALES		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Perpendicularidad respecto de la base	A partir de estas dos superficies se posicionan dos piezas, respectivamente, que también irán fijadas con el adhesivo REDUX 312L.

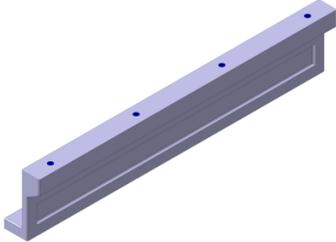
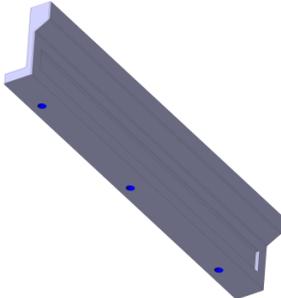
2.3 PERFIL EN U 20x30x2		
SUPERFICIE INFERIOR		
Imagen de la superficie	Característica	Funcionalidad
	Apoyo con la superficie superior de la piel	Una de las dos caras paralelas de la pieza debe coincidir con el plano superior de la piel inferior en el que va apoyada. Su longitud coincide con el ancho de la piel y el núcleo y con la longitud de la estructura de apoyo. Este perfil se fija mediante un pegamento REDUX 312L.
SUPERFICIES SUPERIOR		
Imagen de la superficie	Característica	Funcionalidad
	Paralelismo con la superficie inferior	Proporcionará un reparto igual de la carga en toda la estructura.
SUPERFICIE LATERAL		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Perpendicularidad respecto de las dos superficies horizontales	La principal función de estos perfiles de aluminio es reforzar la unión del panel con las dos estructuras. Para ello, la cara lateral debe ser coincidente con ambas superficies laterales del núcleo.
SUPERFICIE INTERIOR TALADROS		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Nº agujeros y distancia entre sí	Hay cuatro agujeros pasantes por ambas caras horizontales que permitirán el posicionamiento de esta pieza con la piel inferior ya que son concéntricos con los de la piel inferior y, por los tanto, con los de las estructuras base. El diámetro de los orificios será igual que los de la piel.

2.4 PIEL CFRP SUPERIOR		
SUPERFICIE INFERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Apoyo con la superficie superior de los perfiles	Esta superficie debe coincidir con la superficie superior del perfil, también van fijadas con el adhesivo REDUX 312L.
SUPERFICIES SUPERIORES		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Paralelismo con la superficie inferior de estas tres superficies marcadas.	Proporcionará un reparto igual de la carga en toda la estructura, debido a la alineación de todos los ejes de los taladros. En estos lugares se apoyarán tres brackets inferiores y es necesario que se mantenga el paralelismo con el apoyo.
SUPERFICIE INTERIOR TALADROS		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	Nº agujeros laterales y disposición	Permitirán el posicionamiento de la piel con respecto a los dos perfiles. Los orificios deben ser concéntricos y con el mismo diámetro.
	Nº agujeros centrales y disposición	Hay doce agujeros centrales que deben ser concéntricos a los del núcleo. El diámetro dependerá de la elección del inserto elegido para el panel, ya que estos serán coincidentes. Así mismo, debe ser menor que el diámetro de los agujeros del núcleo porque el adhesivo introducido en cada agujero central del núcleo estará retenido por ambas pieles.

3.3 Estructura base

Tabla 5. Superficies funcionales de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

3. ESTRUCTURA BASE		
SUPERFICIE INFERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	<p>Apoyo con la superficie exterior</p>	<p>Debe ser coincidente con el plano en el que se apoyará la estructura para que se produzca un contacto completo de todo el conjunto.</p>
BASE INFERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	<p>Anchura de la base inferior</p>	<p>El espesor debe ser suficiente para asegurar que el anclaje con la superficie de apoyo exterior soporte todas las sollicitaciones mecánicas existentes, por lo tanto, esta medida dependerá del cono de presión generado.</p> <p>La dimensión del plano de apoyo será la suficiente para que los elementos de unión tengan el espacio idóneo.</p>
SUPERFICIE SUPERIOR		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	<p>Paralelismo con la superficie inferior</p>	<p>Proporcionará un reparto igual de la carga en toda la estructura.</p>

SUPERFICIE INTERIOR TALADROS		
Imagen	Característica	Funcionalidad
	<p>Nº agujeros superiores de fijación y disposición</p>	<p>Hay cuatro agujeros ciegos roscados que permitirán la unión de esta pieza con el panel sándwich.</p> <p>La profundidad del taladro dependerá del cono de presión que soporte la fijación, que tendrá relación directa con la longitud del tornillo y de las piezas a unir. Acorde a esta elección se elegirá un inserto roscado, que será necesario debido al material de la pieza.</p> <p>La distancia entre los agujeros debe de ser igual y dependerá de la longitud de la pieza, proporcionando una unión uniforme.</p>
	<p>Modificación base inferior</p>	<p>Esta pieza debe fijarse con la superficie de apoyo, por lo que, son necesarios agujeros pasantes que bloquean la holgura del elemento de unión.</p> <p>El número de taladros y la distancia entre ellos está determinada por el cono de presión generado.</p>



4. INTERFACES ENTRE SUPERFICIES. MONTABILIDAD DEL CONJUNTO

A continuación, se detalla el posicionamiento y la metodología en cada uno con la finalidad de establecer cada requisito funcional.

4.1 Elementos del panel sándwich

Tabla 6. Interfaces entre superficies: Panel sándwich. Fuente: Elaboración propia

PANEL SÁNDWICH		
OPERACIÓN 1: Apoyo y posicionamiento de la piel inferior y los perfiles en U		
Grados de libertad	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
3GDL OGDL (Fijados los perfiles)	Elección de tres planos que delimitan la posición de la piel y que posicionarán los perfiles. Se debe asegurar un correcto acabado superficial que garantice el contacto completo entre las caras de los perfiles y de las pieles, que se fijarán con adhesivo. Para posicionar los perfiles, se debe comprobar que el lado paralelo a l eje de los taladros queda en el interior de la piel.	Problemas de desalineamiento de la estructura debido a un acabado superficial incorrecto y mal posicionamiento si los taladros no son coaxiales.
OPERACIÓN 2: Fijación del núcleo CR-PAA/CR11		
GDL	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
1GDL 0 GDL (Fijado el núcleo)	El núcleo debe situarse entre los dos perfiles en forma de U. El ancho debe corresponder a la longitud de los perfiles.	Si el posicionamiento de los perfiles no es el correcto, hará problemas de posicionamiento con el núcleo.
OPERACIÓN 3: Fijación de la piel superior		
GDL	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
3GDL 0 GDL (Fijada la piel)	Debe colocarse en la parte superior, de manera que los agujeros laterales de los perfiles y la piel inferior sean concéntricos con los de la piel superior y de igual manera con los taladros centrales del núcleo.	Problemas de desalineamiento de la estructura debido a un acabado superficial incorrecto y mal posicionamiento si los taladros no son coaxiales.
OPERACIÓN 4: Fijación de insertos roscados		
GDL	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
2GDL 0 GDL (Solidificado el adhesivo)	Para una instalación correcta del inserto es necesaria una distancia suficiente desde la parte inferior del inserto a la piel inferior para que el pegamento de relleno (Epoxy STYCAST 1090/9) fluya correctamente. La profundidad de la rosca será la justa para que la unión con el bracket sea correcta. Se debe verificar que el contacto con la superficie del bracket es compatible y no se producirán pares galvánicos por el contacto entre distintos materiales.	Si la fijación no es correcta se producirán desalineaciones ya que esta unión representará el soporte de todo el conjunto mecánico.



4.2 Estructuras base – Superficie exterior

Tabla 7. Interfaces entre superficies: Estructura base - Superficie exterior. Fuente: Elaboración propia.

ESTRUCTURAS BASE - SUPERFICIE EXTERIOR		
OPERACIÓN 1: Apoyo y posicionamiento de las estructuras base sobre la superficie exterior.		
Grados de libertad	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
3 GDL	Elección de tres planos que delimitan la primera estructura base. Ambas se apoyarán sobre la superficie exterior de apoyo, por lo que se debe asegurar un correcto acabado superficial que garanticen el contacto completo. Se situará la otra pieza de forma simétrica a una distancia determinada respecto de los ejes de los taladros superiores.	Problemas de desalineamiento y repartos no uniformes de la carga en el conjunto final.
OPERACIÓN 2: Ejecución de las uniones de las estructuras base a la superficie exterior.		
Grados de libertad	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
1GDL (tras la primera fijación de cada pieza) 0 GDL (tras fijar el segundo taladro de cada pieza)	Se realizarán de forma intercalada las uniones, produciéndose un reparto equilibrado. Para ello, se usarán insertos roscados, arandelas y pernos como elementos de unión con la superficie exterior. El par de apriete que se debe realizar corresponde a los límites recomendados. Previamente, se colocan los insertos roscados, y se posicionan las arandelas.	Problemas de desalineamiento de la estructura.



4.3 Panel sándwich – Estructuras base

Tabla 8. Interfaces entre superficies: Panel sándwich - Estructura. Fuente: Elaboración propia.

ESTRUCTURAS BASE - PANEL SÁNDWICH		
OPERACIÓN 1: Apoyo del panel sándwich sobre la superficie superior de ambas estructuras base.		
Grados de libertad	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
3GDL	Asegurar el acabado superficial de ambas superficies en contacto debido a que este va a ser permanente.	Superficies no paralelas y contactos incompletos. Puede provocar la aparición de tensiones internas debido al reparto no uniforme de la carga.
1 GDL	El ancho del panel debe de coincidir con la longitud de las estructuras base, también, el largo del panel coincidirá con la distancia establecida por ambas estructuras base.	Taladros no coaxiales si las medidas o el posicionamiento no es el correcto.
OPERACIÓN 2: Ejecución de las uniones del panel sándwich a las estructuras base.		
Grados de libertad	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
0 GDL	<p>Se coloca un pasador cilíndrico de acero entre los taladros de los perfiles en U para reforzar la unión. Este va a absorber parte la carga del conjunto, por lo que la dimensión del espesor de este dependerá de ello.</p> <p>En los taladros de las dos estructuras base se han colocado también insertos roscados debido al tipo de material. A continuación, se introducirá un perno en cada taladro aplicando el mismo par de apriete en todos, realizando cada unión de forma intercalada, que permitan un reparto uniforme.</p>	Taladros no coaxiales si las medidas o el posicionamiento no es el correcto.

4.4 Brackets inferiores – Panel sándwich

Tabla 9. Interfaces entre superficies: Panel sándwich - Brackets inferiores. Fuente: Elaboración propia.

PANEL SÁNDWICH - BRACKET INFERIOR		
OPERACIÓN 1: Apoyo del bracket inferior sobre la superficie superior del panel sándwich.		
Grados de libertad	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
3GDL	Asegurar el acabado superficial de ambas superficies en contacto debido a que este va a ser permanente.	Superficies no paralelas y contactos incompletos. Puede provocar la aparición de tensiones internas debido al reparto no uniforme de la carga.
OPERACIÓN 2: Ejecución de las uniones del panel sándwich a las estructuras base.		
Grados de libertad	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
1GDL (tras la primera fijación de cada pieza) 0 GDL (tras fijar el segundo taladro de cada pieza)	Se realizarán de forma intercalada las uniones para obtener un reparto equilibrado. Se usarán tornillos como elemento de unión entre ambas piezas, el par de apriete que se debe realizar corresponde a los límites recomendados.	Taladros no coaxiales si las medidas o el posicionamiento no es el correcto.

4.5 Rótula libre – Bracket inferior

Tabla 10. Interfaces entre superficies: Bracket inferior – Horquilla inferior. Fuente: Elaboración propia.

BRACKET INFERIOR – RÓTULA LIBRE		
OPERACIÓN 1: Introducción de la rótula		
Grados de libertad	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	RIESGOS QUE ASUMIR
3GDL	Elección de una rótula comercial de cuyos parámetros dependerá la geometría del saliente. El conjunto de la rótula se introduce en el agujero del saliente con un apriete, siendo sus caras coincidentes.	Superficies no paralelas y contactos incompletos. Puede provocar la aparición de tensiones internas debido al reparto no uniforme de la carga.

5. DIAGRAMAS

5.1 Diagrama *Pieuvre* o *Pulpo* del conjunto mecánico

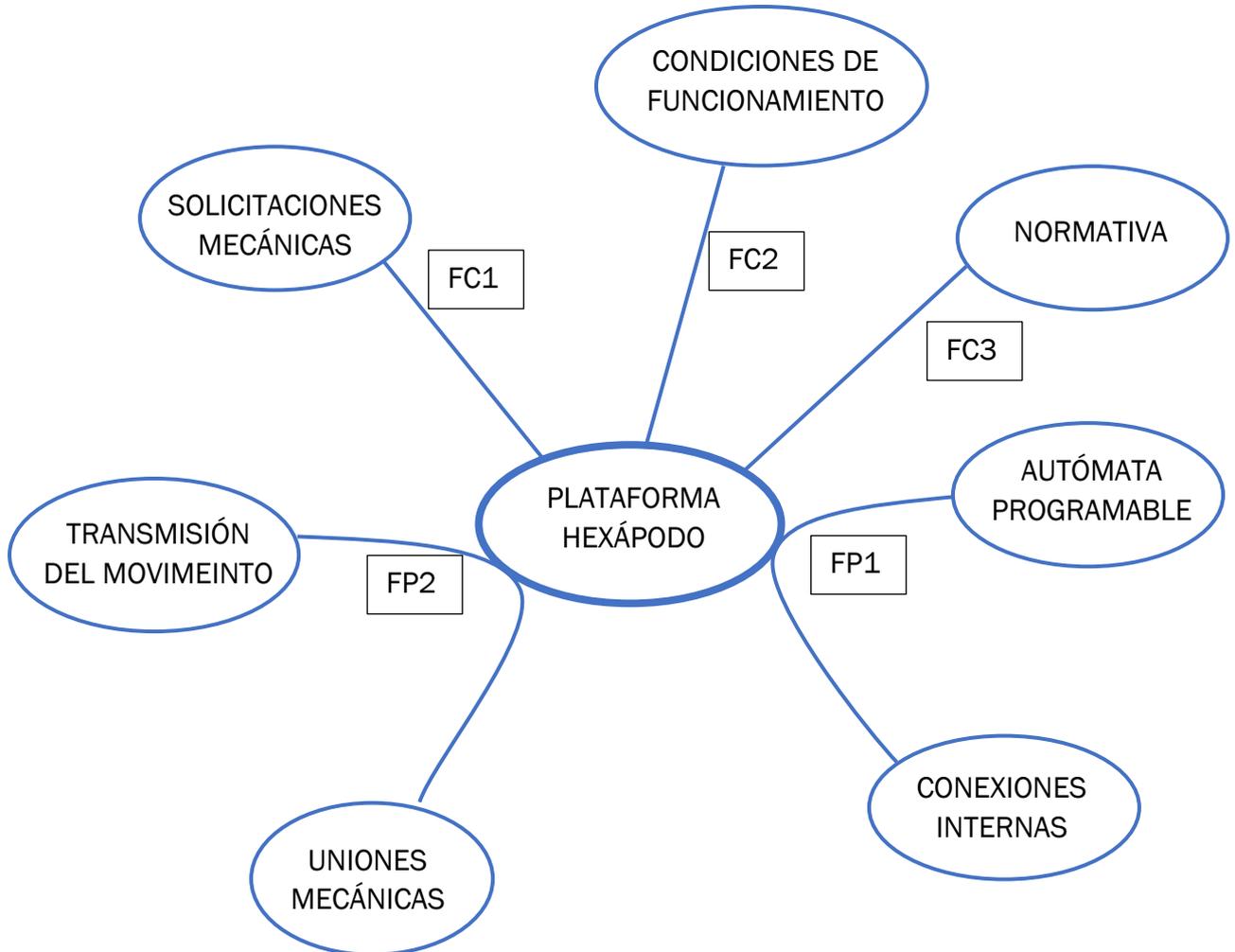
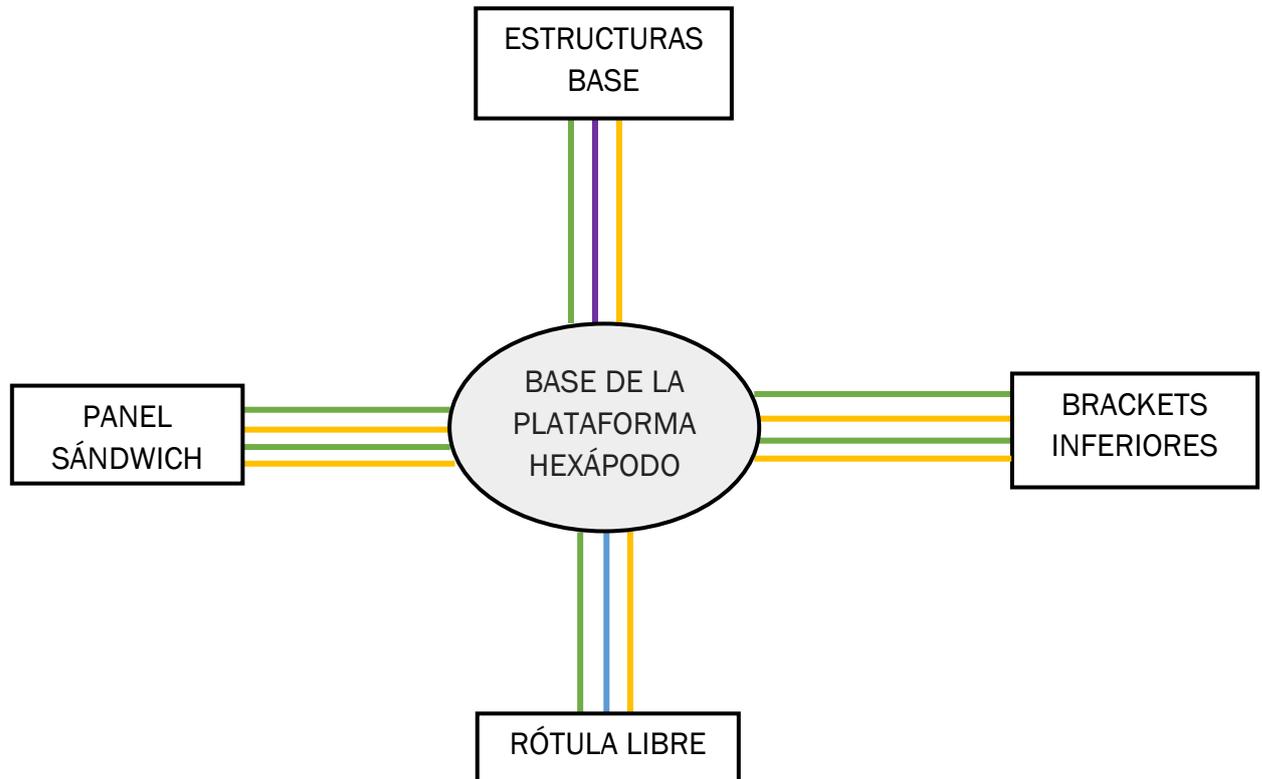


Tabla 11. Funciones del diagrama de *Pieuvre*. Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE	FUNCIÓN
FP1	Permite manipular el conjunto mecánico a través de la ejecución del código del autómata.
FP2	El movimiento se transmite desde los actuadores lineales a las piezas adyacentes.
FC1	Soporta las solicitaciones mecánicas a las que está sometida.
FC2	Funciona bajo rangos específicos de temperatura, esfuerzos y presión.
FC3	Cumple la normativa de referencia.

5.2 Diagrama *Pieuvre* de contactos en la base de la Plataforma Hexápodo



CONTACTOS MECÁNICOS	
1.	Contacto superficie superior de las estructuras base con la superficie inferior panel sándwich.
2.	Contacto superficie superior del panel sándwich con la superficie inferior brackets inferiores.
3.	Contacto superficie cilíndrica del saliente del bracket inferior con superficie cilíndrica exterior de la rótula libre.
FIJACIONES	
1.	Unión de las dos estructuras base con el panel sándwich, formando la base del conjunto.
2.	Unión del panel sándwich con los brackets inferiores mediante insertos en el panel sándwich.
3.	Apriete entre el agujero del saliente del bracket inferior y la superficie exterior de la rótula libre.
MOVIMIENTOS RELATIVOS A LA BASE FIJA	
1.	Movimiento rotación en tres ejes de la rótula, que será transmitido al resto del conjunto. Cada rotación está limitada unos grados, de esto dependerá la elección de la rótula.
CONEXIONES EXTERNAS	
1.	Fijación de las estructuras base al mundo exterior.



CAPÍTULO VI:

DOSSIER 2. LENGUAJE ISO DE ESPECIFICACIÓN GEOMÉTRICA.

En este dossier se representarán las especificaciones y los requerimientos funcionales que deben estar presentes. El objetivo es expresar el análisis técnico funcional realizado a lenguaje ISO-GPS.

6.1 Lenguaje de especificación geométrica ISO-GPS

Este lenguaje internacional consta de un conjunto estructurado de anotaciones que describen la variación permitida y controlada que puede ser asumida en la geometría de una pieza o conjunto determinado. Estas anotaciones GPS son indicaciones destinadas a determinar las características de los productos. Es decir, trata de expresar una o varias condiciones de una o varias características geométricas que deben ser verificadas.

Representa el producto con una definición no nominal de su geometría en la cual se establecen las variaciones admisibles respecto del modelo nominal.

Estas indicaciones pueden ser a escalas microscópicas, como es el caso de los acabados superficiales, y macroscópicas, en las que se distinguen especificaciones dimensionales y geométricas.

Es un lenguaje detallado y preciso, que no da lugar a interpretaciones ambiguas y que aporta notables ventajas en el diseño: reducción de costes, de piezas no funcionales...

Cabe destacar que, es necesario determinar una serie de referencias que sirvan para posicionar y orientar cada elemento y que completarán la información definida en cada especificación. Se establece una jerarquía en las referencias, en base al método que se ha seguido en la montabilidad del conjunto. [15]

6.2 Cadenas de cotas

En este dossier se representarán las cadenas de cotas de cada exigencia funcional del conjunto, de las que se determinarán las cotas funcionales de cada pieza que se expresarán en lenguaje ISO.

Cabe destacar que no se han cuantificado la mayoría de los valores de tolerancia por tratarse de un anteproyecto, optando por crear un código para cada tolerancia referido a la pieza y a la parte de esta que corresponde. Las tolerancias que sí se han cuantificado ha sido debido a la información proporcionada desde Aciturri y de fichas técnicas de elementos comerciales.

6.2.1 Profundidad del filete en agujero ciego de la estructura base

Tabla 12. Información del requerimiento funcional JF. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT (µm)
JF	F1	+			
	F2	-			

El vector \vec{JF} marca el sentido positivo, siendo $\vec{F1} > 0$ y $\vec{F2} < 0$, la expresión queda de la forma:

$$JF = F1 - F2$$

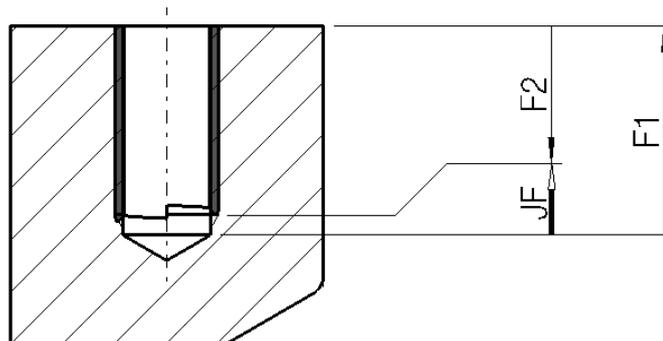


Figura 11. Cadena de cotas JF. Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Apriete del casquillo en el perfil en U del panel sándwich

Tabla 13. Información del requerimiento funcional JE. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JE	E1	+	16	+ - t1pu/2	
	E2	-	16	+ - t1c/2	

Se obtienen las siguientes expresiones:

$$JE = E1 - E2$$

$$JE \text{ MIN} = E1 \text{ MIN} - E2 \text{ MÁX} = -t1pu/2 + t1c/2$$

$$JE \text{ MÁX} = E1 \text{ MÁX} - E2 \text{ MIN} = + t1pu/2 - t1c/2$$

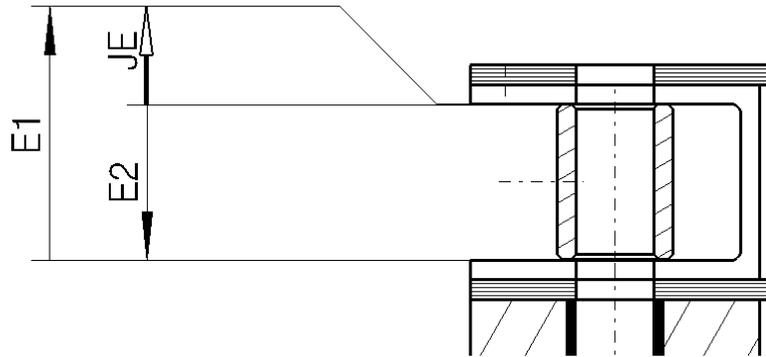


Figura 12. Cadena de cotas JE. Fuente: Elaboración propia.

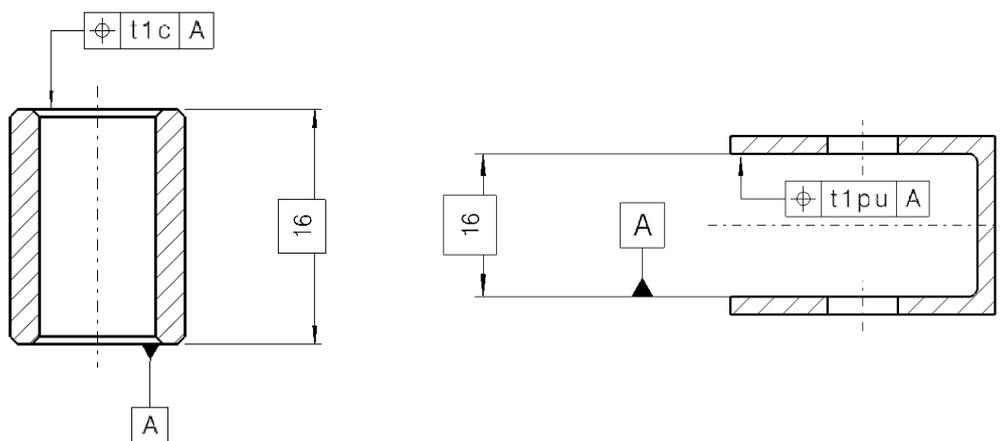


Figura 13. Tolerancias en el despiece del requerimiento funcional JE. Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Holgura en los agujeros laterales en la unión Estructura Base – Panel Sándwich

6.2.3.1 Pieles CRFP – Tornillo

Tabla 14. Información del requerimiento funcional JC. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JB	B2	+	8	+ - 0,010	
	T1	-	8	0/-0,015	

Las expresiones quedan de la forma:

$$JB = B2 - T1$$

$$JB \text{ MIN} = B2 \text{ MIN} - T1 \text{ MÁX} = -0,010 - 0 = -0,010$$

$$JB \text{ MÁX} = B2 \text{ MÁX} - T1 \text{ MIN} = +0,010 - (-0,015) = +0,025$$

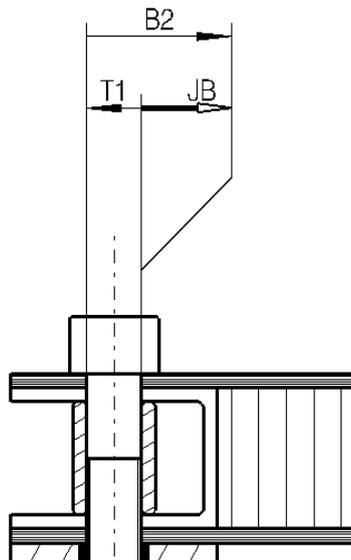


Figura 14. Cadena de cotas JB. Fuente: Elaboración propia.

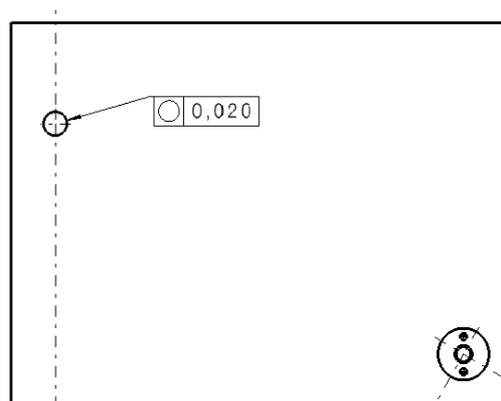


Figura 15. Tolerancias en el despiece del requerimiento funcional JB. Fuente: Elaboración propia

6.2.3.2 Perfil en U 30 x 20 x 2

Tabla 15. Información del requerimiento funcional JC. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JC	C2	+	8	+ - 0,010	
	T1	-	8	0/-0,015	

Las expresiones quedan de la forma:

$$JC = C2 - T1$$

$$JC \text{ MIN} = C2 \text{ MIN} - T1 \text{ MÁX} = -0,010 - 0 = -0,010$$

$$JC \text{ MÁX} = C2 \text{ MÁX} - T1 \text{ MIN} = +0,010 - (-0,015) = +0,025$$

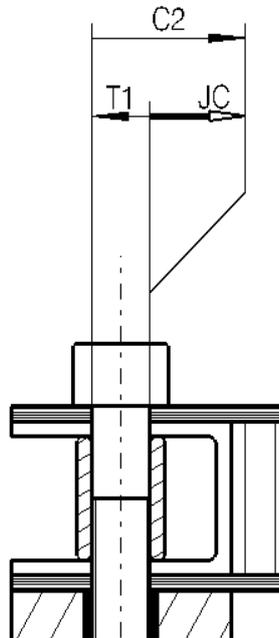


Figura 16. Cadena de cotas JC. Fuente: Elaboración propia.

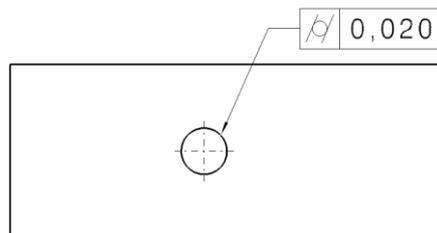


Figura 17. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JC. Fuente: Elaboración propia.

6.2.3.3 Casquillo cilíndrico

Tabla 16. Información del requerimiento funcional JD. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JD	D2	+	8	H7 (0/+0,015)	
	T1	-	8	m6 (0,006/0,015)	

Las expresiones quedan de la forma:

$$JD = D2 - T1$$

$$JD \text{ MIN} = D2 \text{ MIN} - T1 \text{ MÁX} = 0,000 - 0,015 = -0,015$$

$$JD \text{ MÁX} = D2 \text{ MÁX} - T1 \text{ MIN} = 0,015 - 0,006 = +0,009$$

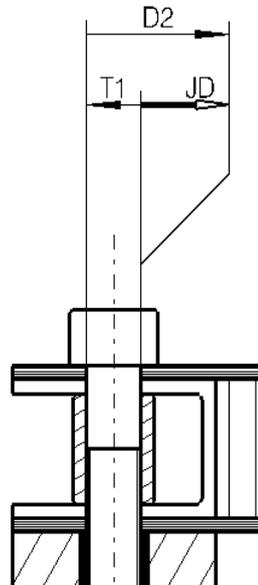


Figura 18. Cadena de cotas JD. Fuente: Elaboración propia.

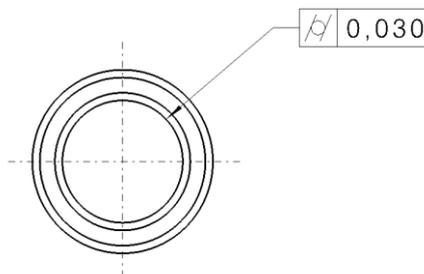


Figura 19. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JD. Fuente: Elaboración propia.

6.3.4 Demasía de rosca en la unión Estructura base – Panel sándwich

Tabla 17. Información del requerimiento funcional JG. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JG	G1	+	24	t1pcs/2	
	G2	-			

La expresión quedará de la siguiente forma:

$$JG = G1 - G2$$

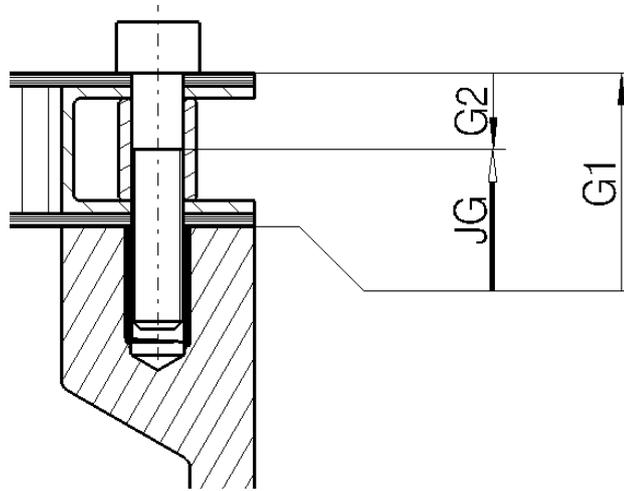


Figura 20. Cadena de cotas JG. Fuente: Elaboración propia.

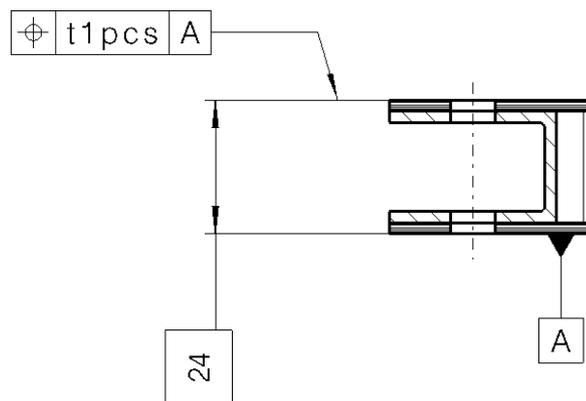


Figura 21. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JG. Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Profundidad tornillo en el filete roscado

Tabla 18. Información del requerimiento funcional JH. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JH	H1	-	40		
	H2	+	24	t1pcs/2	
	H3	+	20		

La expresión queda de la forma:

$$JH = H2 + H3 - H1$$

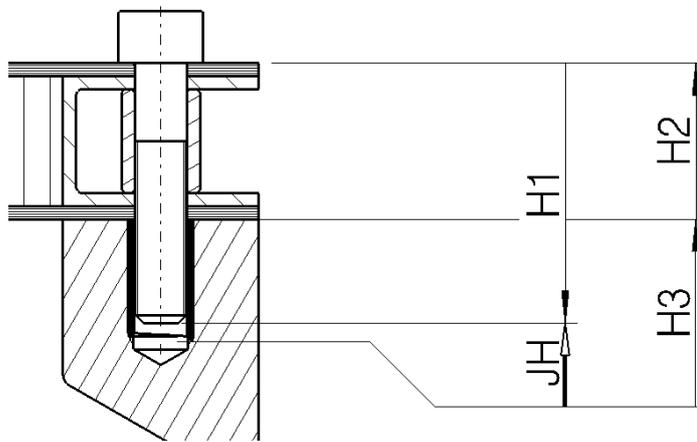


Figura 22. Cadena de cotas JH. Fuente: Elaboración propia.

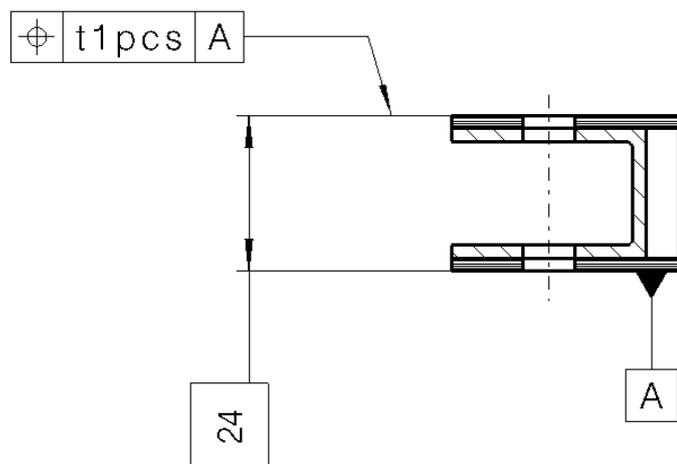


Figura 23. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JH. Fuente: Elaboración propia.

6.2.5 Holgura en los agujeros en la unión del Bracket inferior – Panel sándwich

Tabla 19. Información del requerimiento funcional JK. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JK	K1	+	6	+- 0,010	
	K2	-	6		

La expresión queda de la forma:

$$JK = K1 - K2$$

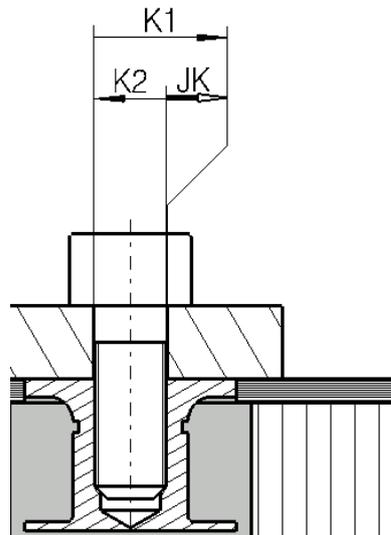


Figura 24. Cadena de cotas JK. Fuente: Elaboración propia.

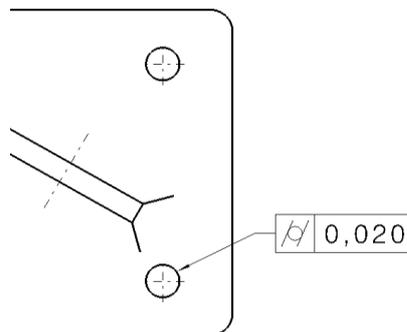


Figura 25. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JK Fuente: Elaboración propia.

6.2.6 Profundidad del tornillo en inserto del Panel Sándwich

Tabla 20. Información del requerimiento funcional JM. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JM	M1	-	16		
	M2	+	6	t1bcs/2	
	M3	+	11		

La expresión queda de la forma:

$$JM = M2 + M3 - M1$$

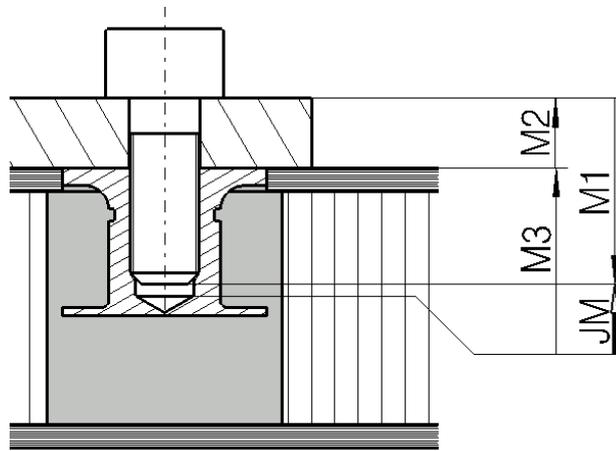


Figura 26. Cadena de cotas JM. Fuente: Elaboración propia.

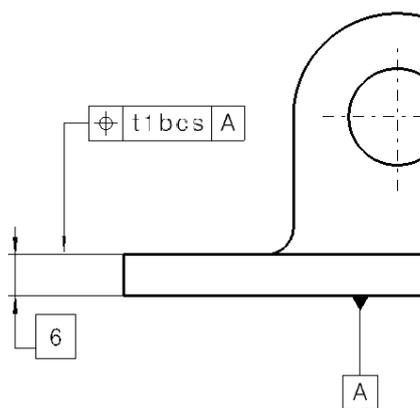


Figura 27. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JM y JN. Fuente: Elaboración propia.

6.2.7 Demasía de rosca en la unión Bracket inferior – Panel Sándwich

Tabla 21 Información del requerimiento funcional JN. Fuente: Elaboración propia.

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JN	N1	+	6	t1bcs/2	
	N2	-			

La expresión queda de la forma:

$$JN = N1 - N2$$

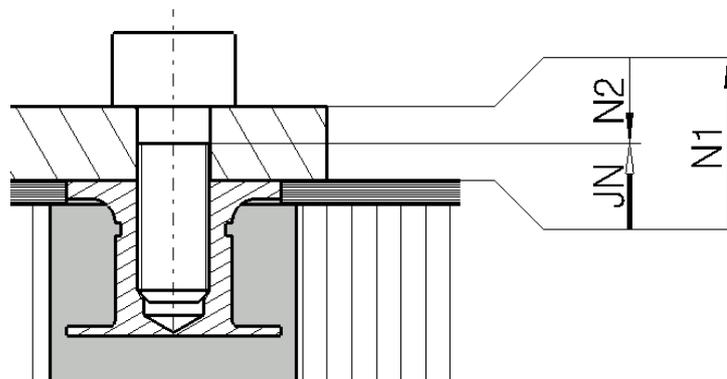


Figura 28. Cadena de cotas JN. Fuente: Elaboración propia.

La tolerancia de despiece se puede observar en la Figura 27.

6.2.8 Coincidencia de ambas caras Rótula libre - Bracket inferior

Tabla 22. Información del requerimiento funcional JI. Fuente: Elaboración propia

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JI	I1	+	4	t1bs/2	
	I2	-	4	t1r	

La expresión queda de la forma:

$$JI = I1 - I2$$

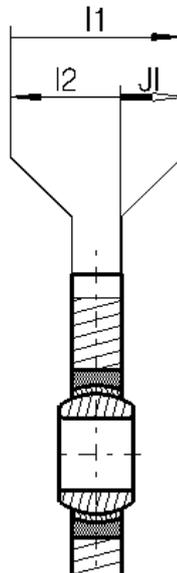


Figura 29. Cadena de cotas JI. Fuente: Elaboración propia.

Por catálogo el ancho del anillo exterior tiene una tolerancia $t_{1r} = 0$

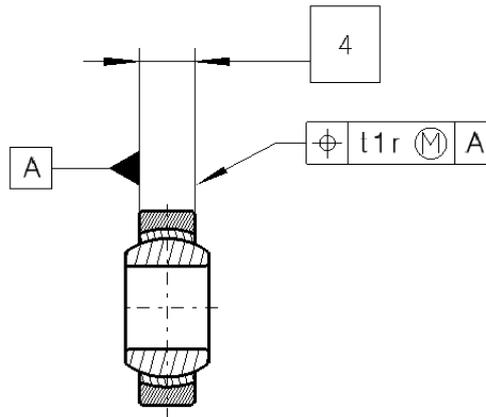


Figura 30. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional J1. Fuente: Elaboración propia.

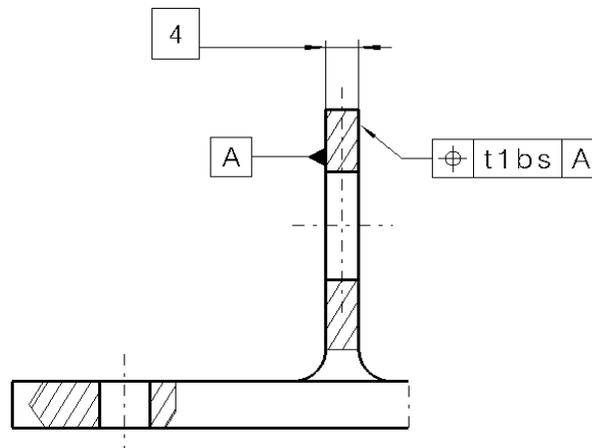


Figura 31. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional J1. Fuente: Elaboración propia.

6.2.9 Apriete de la Rótula libre en el saliente del Bracket inferior

Tabla 23. Información del requerimiento funcional JR. Fuente: Elaboración propia

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA (mm)	IT
JR	R1	+	14	S6 (-0,004/-0,015)	
	R2 (Desviación radial exterior)	-	14	H5 (0/-0,008)	

Quedan las siguientes expresiones:

$$JR = R1 - R2$$

$$JR \text{ MIN} = R1 \text{ MIN} - R2 \text{ MÁX} = -0,015 - 0 = -0,015$$

$$JR \text{ MÁX} = R1 \text{ MÁX} - R2 \text{ MIN} = -0,004 - (-0,008) = +0,004$$

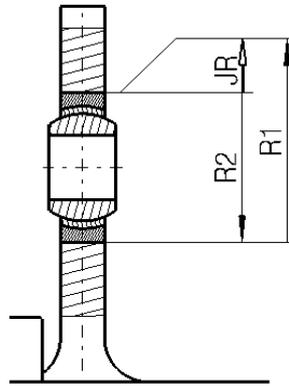


Figura 32. Cadena de cotas JR. Fuente: Elaboración propia.

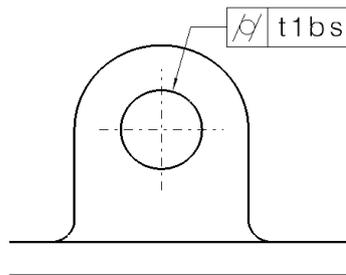


Figura 33. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JR. Fuente: Elaboración propia.

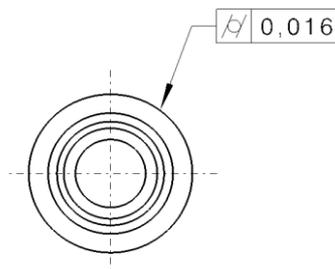


Figura 34. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JR. Fuente: Elaboración propia.

6.2.10 Altura total

Tabla 24. Información del requerimiento funcional JA Fuente: Elaboración propia

CONDICIÓN	VECTORES	DIRECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	TOLERANCIA +/- (mm)	IT
JA	A1	+	100	t1ecs/2 + t2ecs	
	A2	+	24	t1pcs/2	
	A3	+	26	t2bgs/2 + t1bgs	
	A4	+		+0,004/-0,015	

El vector \vec{JA} marca el sentido positivo, siendo $\vec{A1}, \vec{A2}, \vec{A3}, \vec{A4} > 0$. La expresión queda de la forma:

$$JA = A1 + A2 + A3 + A4$$

$$JA \text{ MIN} = A1 \text{ MIN} + A2 \text{ MIN} + A3 \text{ MIN} + A4 \text{ MIN} = \\ = -(t1ecs/2 + t2ecs + t1pcs/2 + t2bgs/2 + t1bgs + (-0,015))$$

$$JA \text{ MÁX} = A1 \text{ MÁX} + A2 \text{ MÁX} + A3 \text{ MÁX} + A4 \text{ MÁX} = \\ = + (t1ecs/2 + t2ecs + t1pcs/2 + t2bgs/2 + t1bgs + 0,005)$$

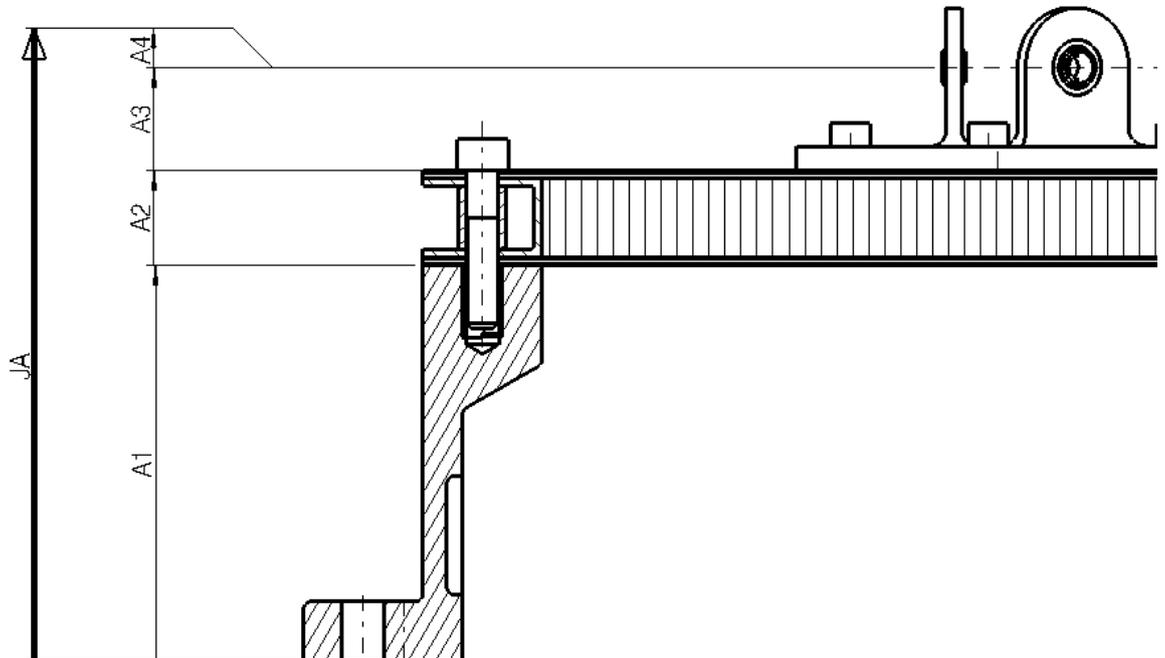


Figura 35. Cadena de cotas JA. Fuente: Elaboración propia.

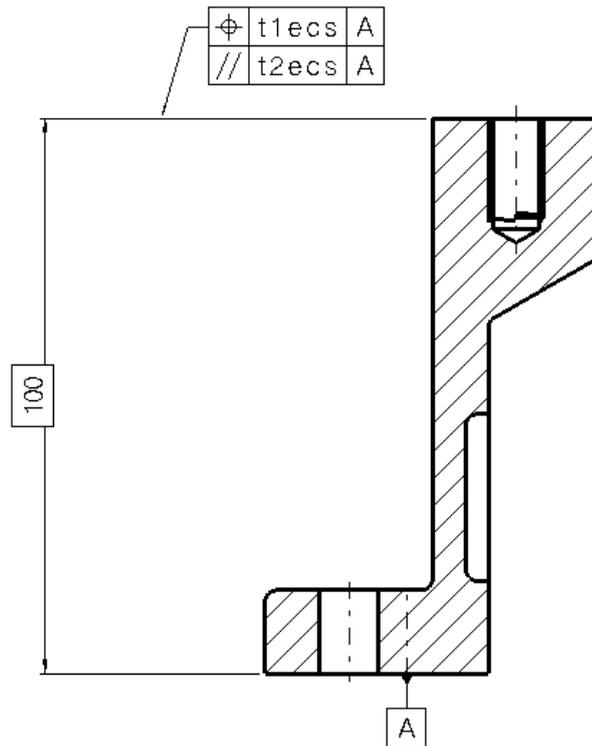
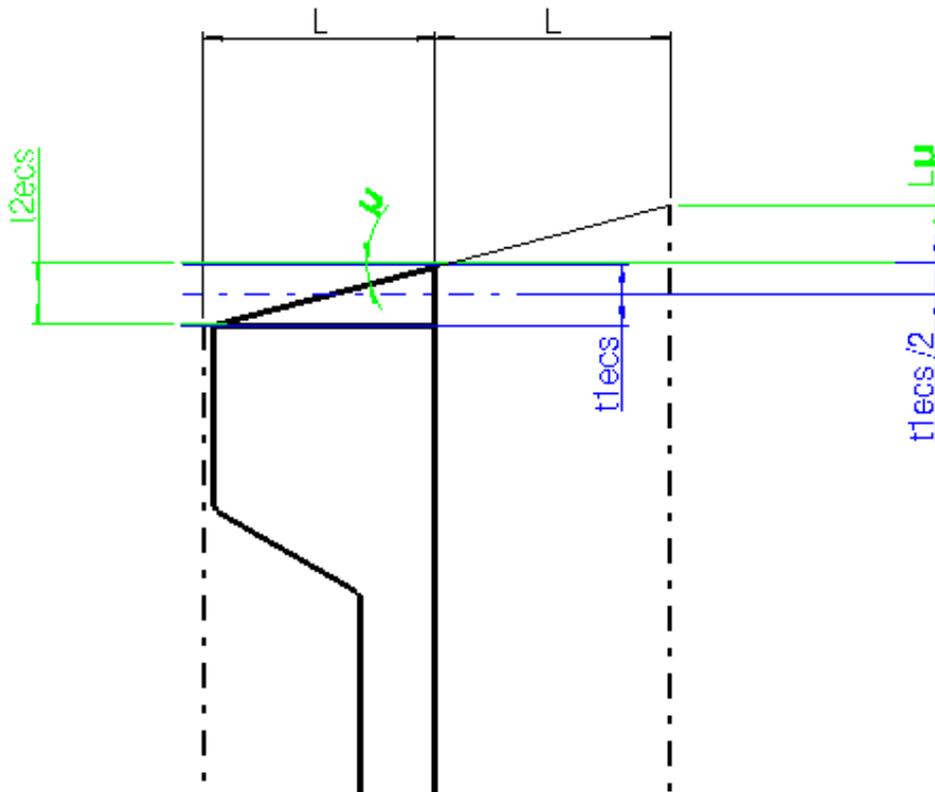


Figura 36. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JA. Fuente: Elaboración propia.

Se calcula la influencia que puede tener la desviación de la inclinación máxima junto con la tolerancia de localización. [16]



Para hallar la afectación de la tolerancia de paralelismo, se obtiene:

$$\tan(\mu) = t2ecs/L.$$

Como μ resulta un ángulo muy pequeño su tangente será igual al valor de ese mismo ángulo. Por lo tanto, se tiene que:

$$L \cdot \mu = t2ecs$$

Por lo tanto, la desviación total en la superficie superior de Estructura Base será:

$$t2ecs + t1ecs/2$$

En el Panel Sándwich se cuenta con:

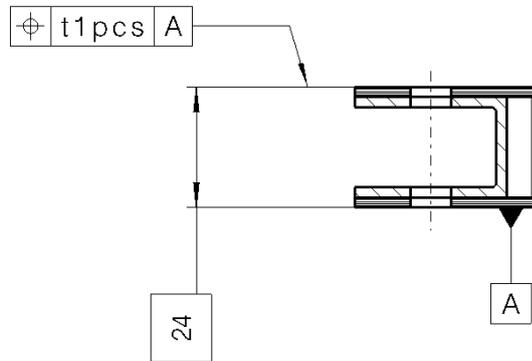


Figura 37. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JA. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en el Bracket inferior:

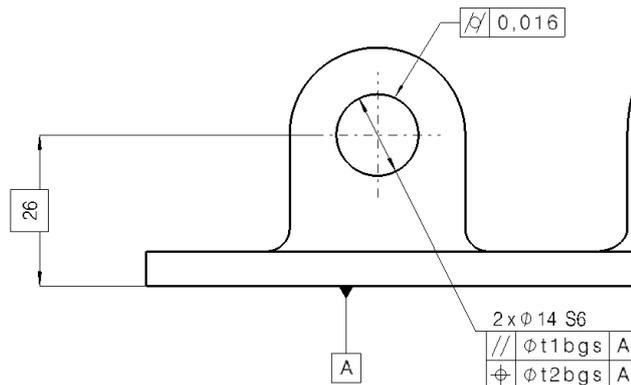


Figura 38. Tolerancia en el despiece del requerimiento funcional JA. Fuente: Elaboración propia.



6.3 Expresión del análisis funcional técnico a lenguaje ISO-GPS

A los planos nominales realizados de cada elemento, se ha añadido la información recogida en el cuaderno de cargas funcional técnico mediante especificaciones geométricas.

Es de vital importancia seguir un orden que permita la correcta definición del posicionamiento. Los datos técnicos sobre la geometría general, la puesta en posición y las condiciones fijadas en cada requerimiento que se han analizado en el cuaderno de cargas son necesarios para completar la acotación de todos los elementos simultáneamente mediante reglas ISO precisas.

En primer lugar, se deben localizar las superficies de contacto que será necesario jerarquizar dependiendo de los grados de libertad que restrinjan cada una. De cada componente, se eligen unos elementos de referencia, el principal corresponde con la designación de las letras A, B y C para cada elemento de referencia.

6.3.1 Posicionamiento de las Estructuras base sobre el mundo exterior

La orientación y el posicionamiento de estos elementos son primordiales en la etapa de montaje ya que representan la base del conjunto mecánico.

En primer lugar, el posicionamiento contará con el contacto de las superficies inferiores de las dos estructuras base con el terreno.

De acuerdo con lo explicado anteriormente. Se toma, la primera superficie de referencia siendo esta el plano horizontal de la superficie exterior denominada **referencia A**. Las superficies inferiores de ambas piezas idénticas serán los planos de la **referencia D**. Entre los planos de referencia A y D debe producirse un contacto completo.

Es necesaria una tolerancia de planitud que afecte a las dos superficies inferiores de las Estructuras Base, por lo tanto, debe quedar reflejado como un requerimiento de zona compartida fijando la distancia entre ellas mediante cotas teóricamente exactas.



6.3.2 Posicionamiento de los elementos del Panel Sándwich.

En primer lugar, se sitúa la piel inferior, cuyas caras inferior y superior están contacto con otros elementos. A la superficie inferior de la piel se colocará la **referencia A**. La **referencia B** corresponde al plano perpendicular a A que contiene los ejes de los cuatro taladros lateral. Por último, queda restringido el elemento estableciendo que la **referencia C** es el plano perpendicular a los dos anteriores y que establece la simetría de panel.

Cada perfil en forma de U de aluminio se apoya en los extremos de la cara superior de la piel, paralela a la referencia A, de manera que la referencia B debe contener, también, los ejes de los taladros del perfil al igual que el plano medio con la referencia C.

Análogamente, en la cara superior de la piel inferior se apoyará el núcleo honeycomb, siendo estas caras paralelas a la referencia A. El plano de la referencia B debe ser paralelo con el plano de simetría del núcleo. Por último, el plano de referencia C coincidirá con el plano medio del núcleo. De esta forma quedan restringidas la orientación y posición del núcleo.

La piel superior sigue una metodología similar. Esta debe apoyarse sobre las superficies superiores de ambos perfiles y el núcleo, paralelas a la referencia A. La referencia B debe coincidir con el plano que contiene los ejes de los 4 taladros. Para finalizar, el plano medio también coincidirá con la referencia C, por lo que, se consigue también que los agujeros centrales del núcleo y de la piel superior sean concéntricos.

6.3.3 Posicionamiento del Panel Sándwich sobre las Estructuras Base

Se agrupa toda la información en este diagrama CLIC con la finalidad de sintetizar la información. [17]

Tabla 25. Diagrama CLIC de la interfaz del Panel Sándwich - Estructuras Base. Fuente: Elaboración propia.

Panel sándwich		Marca: (p)		Conjunto: Plataforma Hexápodo	
Plano coplanario		Grupo de 4 taladros		Grupo de 4 taladros	
A	p	B	p	C	p
Contacto		Tornillo M8: Juego bloqueado en <i>Panel sándwich</i> . Apriete en <i>Estructura base</i> con inserto roscado.		Tornillo M8: Juego bloqueado en <i>Panel sándwich</i> . Apriete en <i>Estructura base</i> con inserto roscado.	
D, F	ei, ed	E	ei	F	ed
Plano coplanario		Grupo de 4 taladros		Grupo de 4 taladros	

A continuación, se muestra gráficamente cada superficie para una mejor comprensión de la información recogida en la *Tabla 25*.

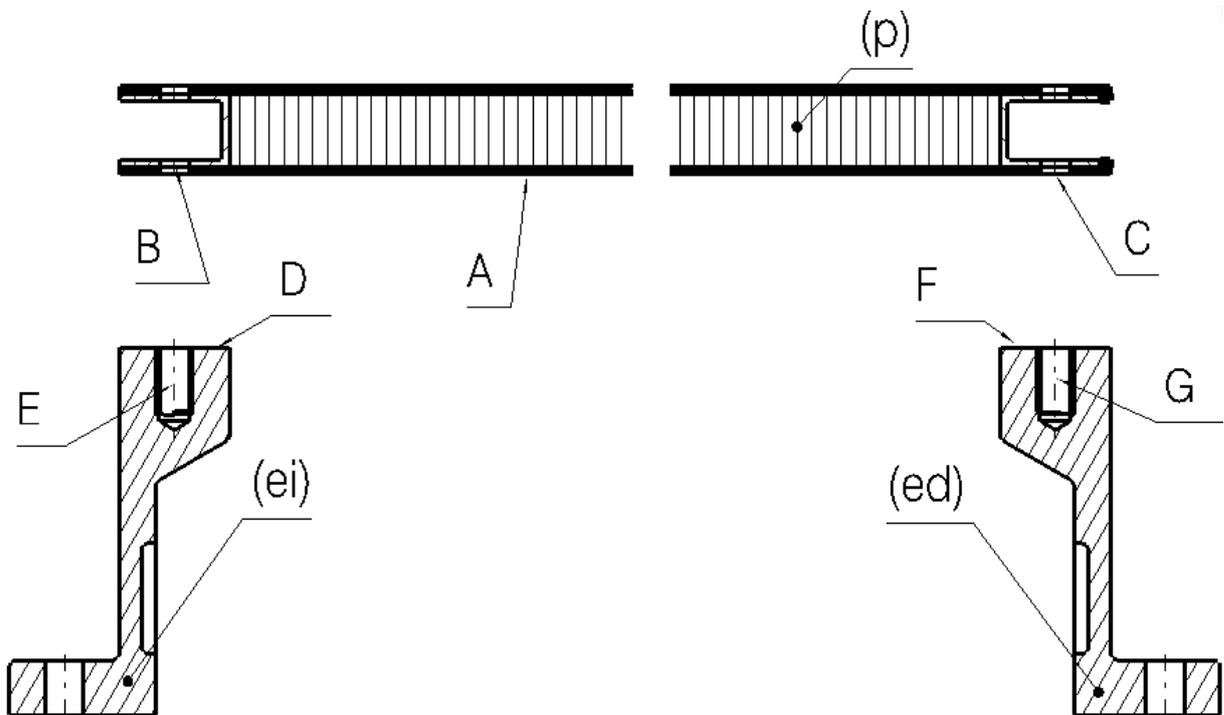


Figura 39. Superficies que intervienen en el posicionamiento Panel sándwich - Estructuras Base



Después, se fijan los requerimientos necesarios que afectan a la unión.

En primer lugar, en las superficies de referencia D y F, para asegurar el contacto con la referencia A, es necesario establecer una tolerancia de posición y de paralelismo respecto de la base inferior de esa pieza. Asimismo, se han establecido unos determinados estados superficiales en las zonas de contacto.

Para determinar la orientación y restringir la posición de los ejes de los taladros, también se establecen tolerancias de perpendicularidad y posición, respectivamente, referidas a los ejes respecto de las superficies de referencia. Estas tolerancias describen un volumen cilíndrico cuyas dimensiones se explicitan en el valor y en las descripciones de la tolerancia. En el caso de las estructuras base es necesario proyectar esa dimensión la longitud del espesor del panel sándwich.

De esta manera, se consigue determinar de manera correcta la situación de estos elementos...

6.3.4 Posicionamiento de los Brackets inferiores sobre el Panel Sándwich

Tabla 26. Diagrama CLIC de la interfaz del Bracket - Panel Sándwich. Fuente: Elaboración propia.

Bracket inferior		Marca: (b)		Conjunto: Plataforma Hexápodo	
Plano coplanario		Grupo de 2 taladros		Grupo de 2 taladros	
A	b	B	b	C	b
Contacto		Tornillo M6: Juego bloqueado en <i>Bracket inferior</i> . Apriete en <i>Panel Sándwich</i> en inserto especial para paneles.		Tornillo M6: Juego bloqueado en <i>Bracket inferior</i> . Apriete en <i>Panel Sándwich</i> en inserto especial para paneles.	
D	p	E	p	F	p
Plano coplanario		Grupo de 2 taladros		Grupo de 2 taladros	

Se muestra gráficamente cada superficie de la *Tabla 26* para una mayor aclaración.

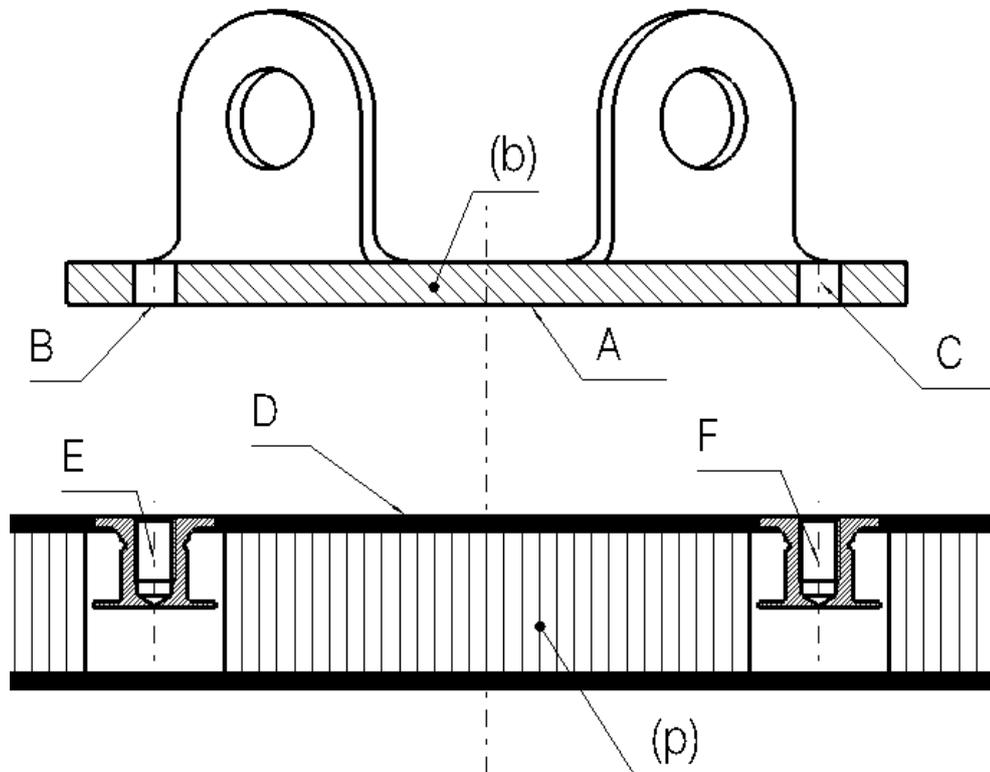


Figura 40. Superficies que intervienen en el posicionamiento Brackets inferiores - Panel sándwich



El procedimiento es muy similar al caso anterior, se deben establecer los requerimientos que contribuyen a la unión.

En primer lugar, en la superficie de referencia D, para asegurar el contacto con la referencia A, es necesario establecer una tolerancia de posición respecto de la base inferior del panel. También se ha preparado la zona de unión aportando un estado superficial específico en cada pieza.

A continuación, se determina la orientación y se restringe la posición de los ejes de los taladros, se establecen tolerancias de perpendicularidad y posición, respectivamente. Estas van acompañadas de cotas teóricamente exactas que determinan la distancia entre los ejes, que deben ser las mismas en ambas piezas.

También es necesario proyectar la dimensión de la longitud del espesor de la base del bracket inferior en el taladro del panel sándwich, así se evitarán posibles defectos en la orientación del bracket.



CAPÍTULO VII: ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se realizará una aproximación de los costes que supondría la realización de este estudio.

Se calcularán los costes directos e indirectos para obtener los costes totales.

Los **directos** representan aquellos costes que se pueden relacionar de manera objetiva al conjunto total del precio del servicio o producto que se ofrece. Por ejemplo, el coste de los materiales o mano de obra.

Los **indirectos** son los costes que intervienen en el resultado final pero no en el producto explícitamente. Normalmente, corresponden a costes de explotación o administrativos.

Cabe destacar que estos costes sólo se refieren a la base del conjunto mecánico y que faltaría añadir el resto del conjunto, así como toda la parte electrónica de la que también está formado (cableado, rúcords, autómatas, distribuidores, etc).



7.1 Costes directos

En primer lugar, se cuantificará el precio total de los materiales que han sido usados.

Para calcular el mecanizado de las piezas necesarias, se han llevado a cabo los siguientes pasos:

- Cálculo del peso de la pieza en función de su volumen y la de densidad del material correspondiente, teniendo en cuenta cómo debería ser el tocho macizo de partida.
- Aproximación del tiempo mecanizado. [7]

En la siguiente tabla se detalla el cálculo.

Tabla 27. Aproximación del cálculo del coste de mecanizado. Fuente: Elaboración propia.

	kg/dm ³	m ³	kg	€/kg	€ material	Horas mecanizado	€/h	€/hora	€ Total
Bracket inferior	2,81	4,68E-05	0,1315	4	0,53	2	15	30	30,53
Estructura base	2,79	0,003	8,3700	4	33,48	3	15	45	78,48

A continuación, en la tabla siguiente se muestra la lista de todos los materiales necesarios:

Tabla 28. Lista de costes materiales. Fuente: Elaboración propia

CONCEPTO	PRECIO DE COMPRA UNITARIO (€)	UNIDADES	PRECIO TOTAL (€)
Estructura Base	78,4800	2	156,96
Bracket Inferior	30,5260	3	91,58
Bandeja sándwich	157,0000	1	157,00
Filetes roscados HELICOIL	1,2640	10	12,64
Cojinete SELFOIL® AF-8-12-16	0,6940	8	5,55
Perno 10 x 30	0,1200	6	0,72
Perno M8 x 40	0,1200	8	0,96
Perno M6 x 16	0,1200	12	1,44
Rótula libre radial GE6-UK	21,3300	6	127,98
	TOTAL		554,83



A continuación, se realiza una estimación de las horas empleadas en la elaboración de este trabajo de fin de grado para poder calcular el coste de la mano de obra

Tabla 29. Recuento del número de horas empleadas. Fuente: Elaboración propia.

ACTIVIDAD	HORAS EMPLEADAS
Planificación del TFG	20
Documentación	30
Diseño del modelo en 3D	100
Elaboración planos	60
Elaboración de la memoria	110
TOTAL DE HORAS EMPLEADAS	320

El coste total que supone un trabajador es:

Tabla 30. Coste total anual de un trabajador. Elaboración propia.

Sueldo bruto	27000,00 €/año
Prestaciones a la seguridad social (30%)	8100,00 €/año
Formación en riesgos laborales y EPI	150,00 €/año
TOTAL	35250,00 €/año

Para hallar el número de horas totales trabajadas a lo largo de un año, es necesario hallar los días útiles de trabajo. Para ello, se cuentan los días correspondiente a los fines de semana, los días festivos, los días laborales de vacaciones y los días pertenecientes a asuntos propios. Por lo tanto, el número de días trabajos durante el año son 220, que multiplicado por 8 horas de jornada diarias corresponde a un total de **1760 h/año**.

El coste de mano de obra por hora corresponde a un total de **20,03€/h**. Multiplicando este coste unitario por el número total de horas, el coste de mano de obra asciende a un total de **5.207,80 €**

El total de los costes directos se aprecia en la siguiente tabla



Tabla 31. Costes totales directos. Fuente: Elaboración propia.

Costes materiales	554,83 €
Costes de mano de obra	5.207,80 €
TOTAL	5.762,63 €

7.2 Costes indirectos

Como ya se ha comentado anteriormente, son aquellos que no se pueden relacionar con el proceso de elaboración, pero sí con el producto final. Resultan ser indispensables también.

Tabla 32. Costes indirectos totales. Fuente: Elaboración propia.

Costes administrativos	150,00 €
Costes de explotación	320,00 €
TOTAL	470,00 €

7.3 Costes totales

Por último, los costes totales serán la suma de los directos e indirectos.

Tabla 33. Costes totales. Fuente: ELaboración propia.

Costes directos	5.762,63 €
Costes indirectos	470,00 €
TOTAL	6.232,63 €



CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

8.1 Conclusiones

Se obtienen las siguientes conclusiones tras haber realizado el análisis técnico funcional de la base de este anteproyecto de Plataforma Hexápodo:

- El análisis funcional técnico supone un proceso práctico y efectivo para la concepción mecánica de un producto industrial.
- Esta etapa de análisis técnico puede abaratar los procesos posteriores de obtención del producto.
- Es necesario el uso de diagramas o tablas que ayuden a clasificar y organizar la información con el objetivo de jerarquizar todas las necesidades que han de cumplirse para un funcionamiento óptimo.
- Como ya se ha comentado se parte de un anteproyecto cuyo modelo es aproximado. Tras el análisis técnico de las funcionalidades requeridas se han realizado diversas modificaciones, que se recogen en este documento técnico, que cumplen las especificaciones de funcionamiento del producto.
- Resulta de vital importancia conocer la función detallada y precisa de cada elemento, así como, sus procesos de fabricación, especificaciones técnicas, superficies que vayan a interferir con otras... Esto determinará los procesos de fabricación y verificación.

8.2 Líneas de trabajo futuro

Se ha elaborado el análisis técnico funcional de una parte del producto industrial, en este caso usado en la industria aeronáutica.

El proceso de concepción mecánica de un producto industrial resulta ser más extenso de lo que en este trabajo se ha expuesto. Se ha mostrado el comienzo del estudio del análisis geométrico, pero este debe continuar con análisis estructurales, de montaje, dinámicos, etc.



Se debe cuantificar las exigencias funcionales y el reparto de tolerancias. Esto implica definir en profundidad todas sus tolerancias dimensionales, referencias de superficies, especificaciones funcionales, estados superficiales, etc.

Tras este estudio completo, se busca optimizar el dispositivo todo lo posible. Por eso, cabe la posibilidad de que se decida eliminar superficies u otros elementos que faciliten la fabricación de las piezas o su montaje, reduzcan el peso total del conjunto, etc. Lo que se traducirá en un ahorro de tiempo y coste.



CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA

- [1] González Alvarez, N. X. y Reinoso Mendoza, E. P. (2011). *Estudio, diseño y construcción de una plataforma robótica didáctica tipo Stewart aplicada al estudio de controladores difusos*. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.
- [2] Gallardo, J. y Alcaraz, L. (2018). Kinematics of the Gough-Stewart Platform by Means of the Newton-Homotopy Method. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 16, 2850–2856.
- [3] Arruga Cantalapiedra, S. (2011). *Control de posicionamiento de la Plataforma Hexapod*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [4] Nieves Belma, D. (2019-2020). *Diseño e implementación de una Plataforma Stewart*. Universitat Politècnica de València.
- [5] Boisseau, P. (2016). *La conception mécanique-2e éd.* Dunod.
- [6] Jacotin, Y.I, & Perot, S. (2020). Fascicule de cours: Étude de conception. Département de Génie Mécanique: Deuxième Année mécanique. ENIM
- [7] *Productos – Alcupla*. Alcupla. Consulta realizada el 27 de noviembre de 2022. Disponible en: <https://www.alcupla.com/productos/>
- [8] Willian D. Callister, J. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Editorial Reverté, S.A.
- [9] *¿Qué son los compuestos CRFP y por qué son útiles? ¿Qué son los compuestos CRFP y por qué son útiles?* Consulta realizada el 15 de noviembre de 2022. Disponible en: <https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnología-matemáticas/ciencia/understanding-cfrp-composites-820393>
- [10] *Carbon Fiber DataSheet | Hexcel*. Hexcel | Composite Materials and Structures. Consulta realizada el 22 de noviembre de 2022. Disponible en: https://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/HexWeb_CRIII_DataSheet.pdf



- [11] *Perfiles U de aluminio* - Alu-Stock S.A. Alustock. Consulta realizada el 15 de octubre de 2022. Disponible en: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/perfiles-en-u-aluminio/>
- [12] Imatec Italia Srl - Il tuo partner per materiali compositi. Consulta realizada el 10 de noviembre de 2022. Disponible en: https://www.imatec.it/wp-content/uploads/2016/05/312_eu.pdf
- [13] Ellsworth Web Application Host. Consulta realizada el 1 de diciembre de 2022. Disponible en: <https://webaps.ellsworth.com/edl/Actions/GetLibraryFile.aspx?document=7971&language=en>
- [14] *Shur-Lok - Sandwich Structure*. Shur-Lok - Home. Consulta realizada el 23 de noviembre de 2022. Disponible en: <https://www.shur-lok.com/products/sandwich-structure.html>
- [15] Anselmetti, B. Manuel de tolérancement. Vol. 1, langage des normes ISO de cotation.
- [16] Anselmetti, B. De la chaîne de cotes unidirectionnelle à la cotation ISO 3D. Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée ENS de Cachan. Université Paris Sud.
- [17] Anselmetti, B. Manuel de tolérancement. Vol. 2, bases de la cotation fonctionnelle.
- [18] Hendren. (2019) *CATIA V5-6R2018: Anotación y tolerancia funcional* (1.ª ed.). ASCENSO.
- [19] Charpentier, F. (2021). *Mémento de spécification géométrique des produits: les normes ISO-GPS*. Dunod.
- [20] Henzold. (2006). *Geometrical dimensioning and tolerancing for design, manufacturing and inspections : a handbook for geometrical product specification using ISO an ASME Standards / Georg Henzold* (2nd ed.). Elsevier.
- [21] Serrano Mira, J.; Romero Subirón, F.; Bruscas Bellido, G. M. Establecimiento de la cadena de cotas funcionales en conjuntos mecánicos. Congreso Internacional DE Ingeniería Gráfica n.º XVI (Universidad Jaime I de Castellón, España).



- [22] *Entretoises, colonnettes, piliers CCB Composants*. Entretoises, Abstandsbolzen, Spacers - CCB. Consulta realizada el 24 de noviembre de 2022. Disponible en: <http://www.ccb.fr/french2/Entretoises.asp>
- [23] García García, M. (2022). *Determinación de las exigencias geométricas funcionales en lenguaje ISO-GPS de un anteproyecto de bomba de agua de un motor de automoción*. Universidad de Valladolid.
- [24] Varona Madrid, J. (2020). *Implementation of a 6-rss Stewart platform as a earthquake wave simulator*. Universidad de Cantabria



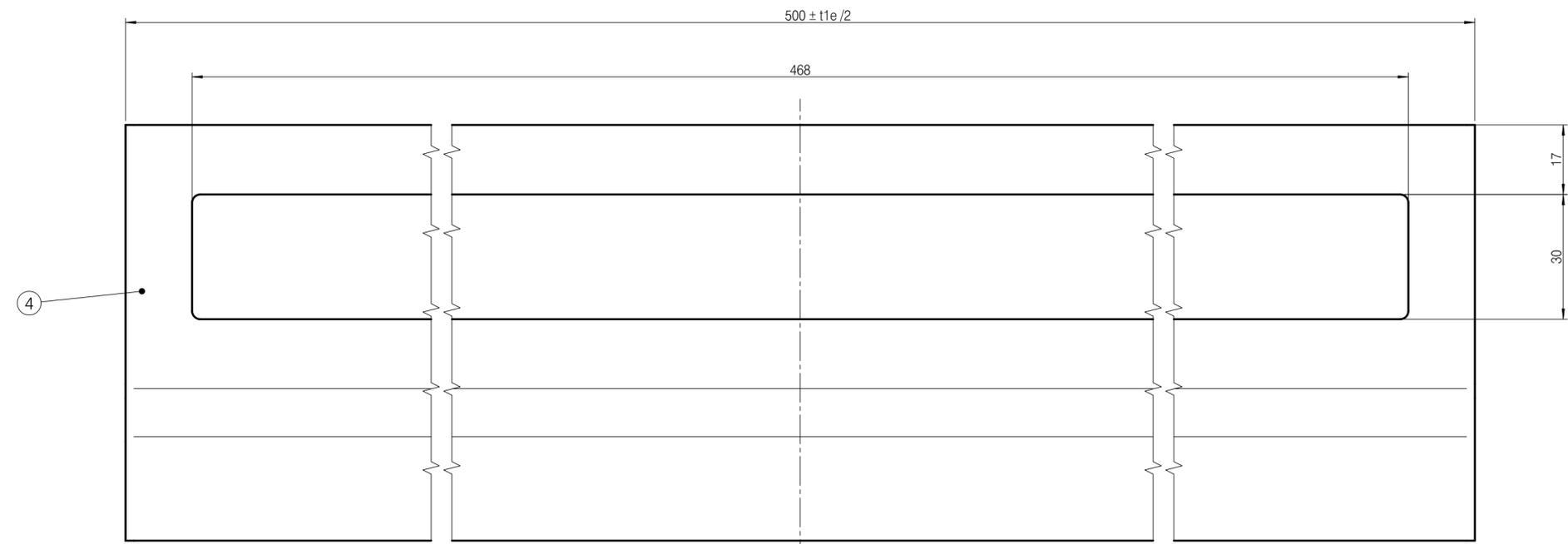
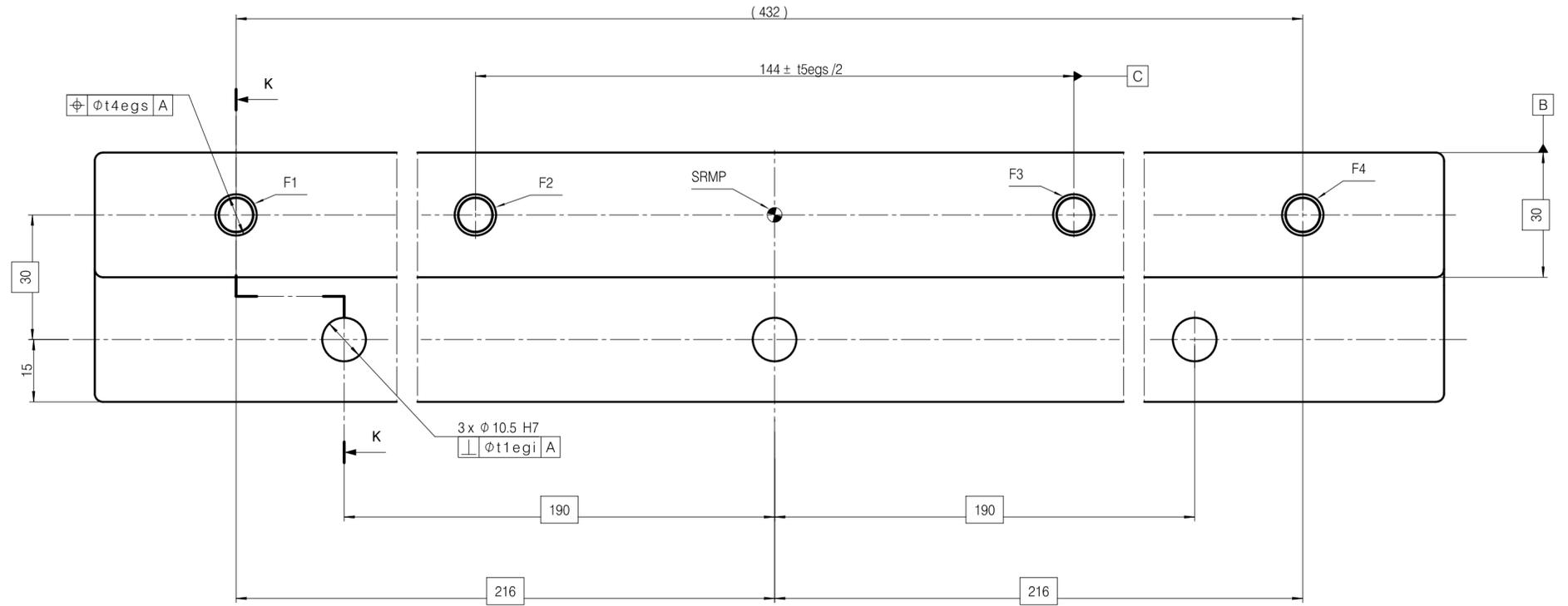
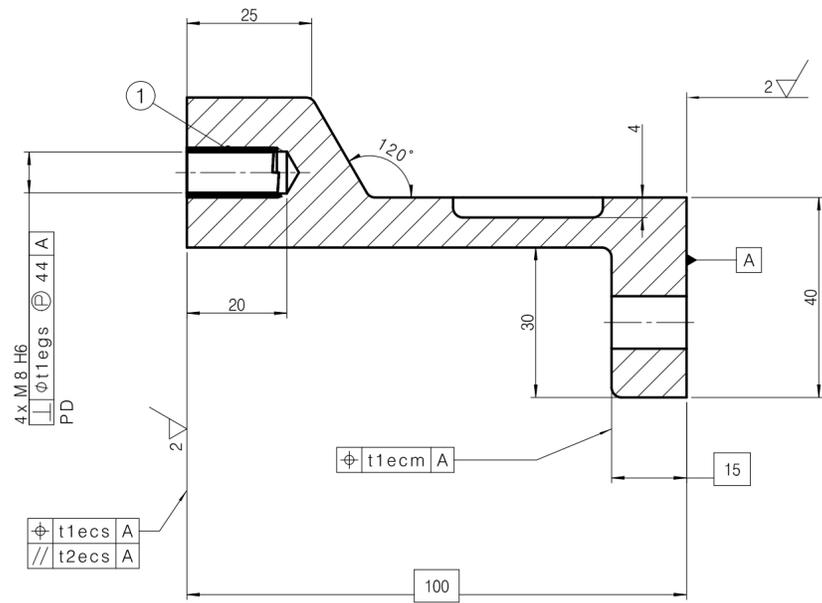
CAPÍTULO X: NORMATIVA

- [25] European Committee for Standardization. (2017). UNE-EN ISO 1101:2017. Geometrical product specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerances of form, orientation, location and run-out. (ISO 1101:2017).
- [26] European Committee for Standardization. (2021). UNE-EN ISO 5458. Geometrical product specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerances of form, orientation, location and run-out. (ISO 5458:2021).
- [27] Comité técnico AEN/CTN 82. (2011). UNE-EN ISO 5459. Especificación geométrica de productos (GPS) - Tolerancia geométrica - Referencias específicas y sistemas de referencias específicas. (ISO 5459:2011).
- [28] Comité técnico AEN/CTN 1. (2011). UNE-EN ISO 6410-2. Dibujos técnicos. Roscas y piezas roscadas. Parte2: Insertos roscados. (ISO 6410-2:1993).



ANEXO I: DOSSIER 3. MODELOS Y PLANOS DE DEFINICIÓN

1. Plano Estructura Base.
2. Plano Panel Sándwich.
3. Plano Bracket Inferior
4. Plano de acotación funcional del conjunto de la base del anteproyecto.
5. FTA Estructura Base
6. FTA Bracket Inferior



FILETE ROSCADO F1 (4130 008 0016) (1)

REF	X	Y
F1	-216	0
F2	-72	0
F3	+72	0
F4	+216	0

Código de tolerancias Estructura base (e)

ecs	Cara superior
eci	Cara inferior
ecm	Cara intermedia
egs	Agujeros superiores
egi	Agujeros inferiores

Tabla de equivalencias

(e)	(p)
t2egs	t3pgl
t3egs	t4pgl
t4egs	t5pgl
t5egs	t6pgl
t1e	t1p

Tolerancias generales ISO 22081

0.5 CZ A B C

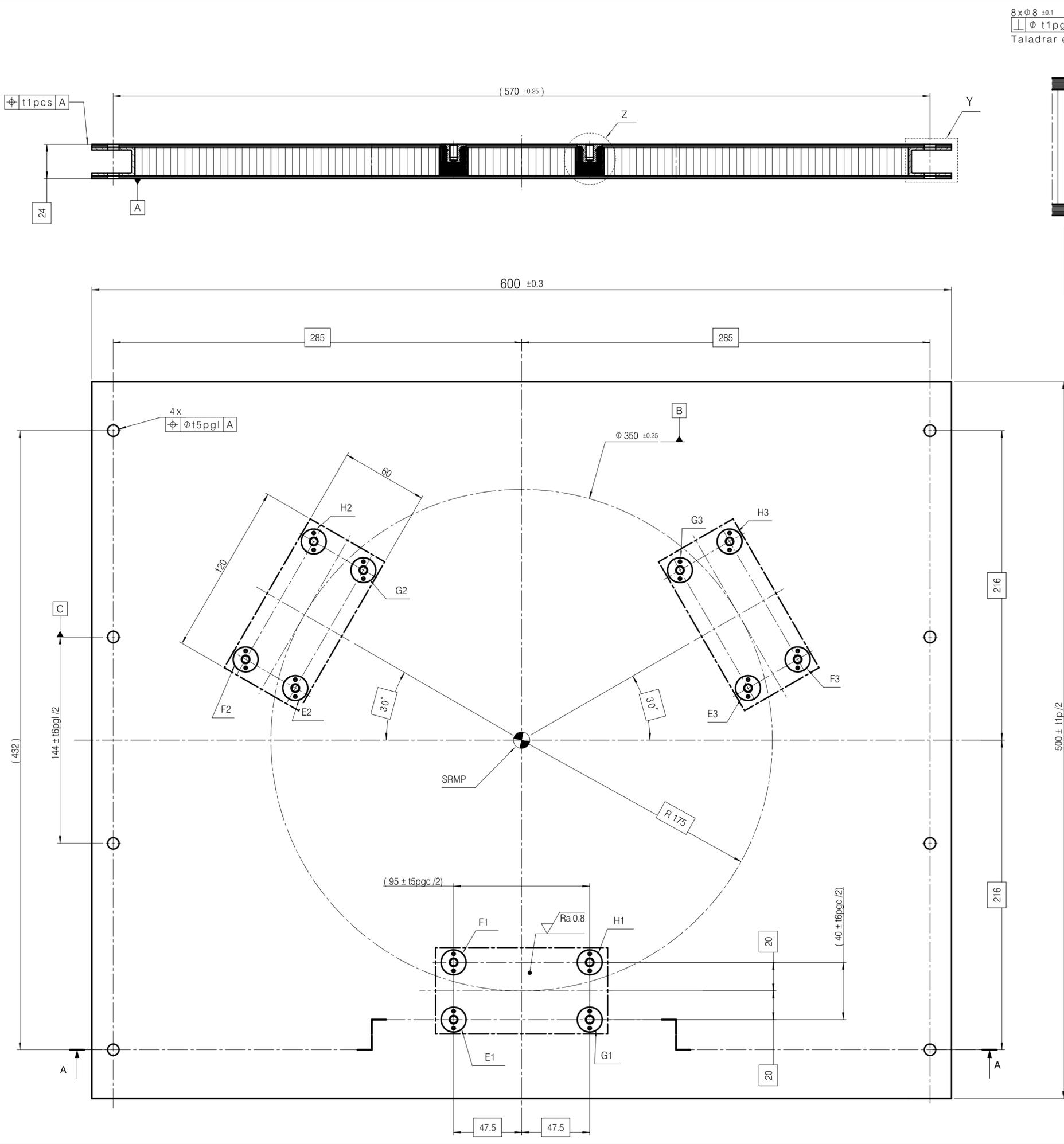
Medidas lineales ISO 2768-m

Radios no acotados R = 2 mm

√ (2√)

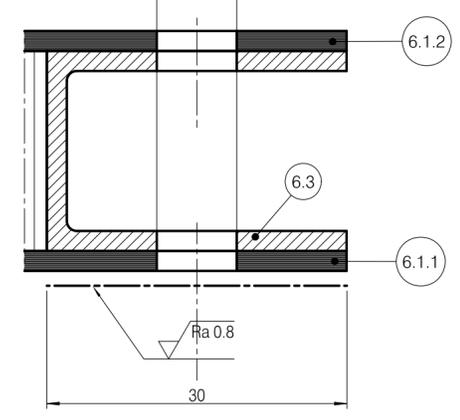
Marca	Num. piezas	Denominación	Material y medidas
4	2	Estructura base	EN-AW 2024
1	8	FILETE ROSCADO HELICOIL (4130 008 0016)	Comercial

DESCRIPCIÓN				Expresión Gráfica en la Ingeniería	
Estructura base con filetes rosacados				Universidad de Valladolid	
Denominación				PLAT HEX_Asse02	
Firma				SCALE	DATE
				1:2	29/11/2022
Apellidos y Nombre.				TRABAJO DE FIN DE GRADO	
Gómez Guadilla, Ana María				BASE DE PLATAFORMA HEXÁPODO	
Titulación				SHEET	
Ingeniería Mecánica				1/6	
				SIZE	
				A2	



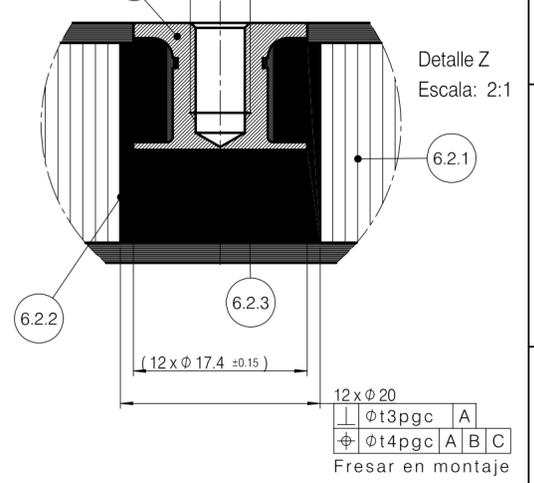
8 x Ø 8 ± 0.1
 ⊥ Ø t1pgl A
 Taladrar en montaje

Detalle E
 Escala: 2:1



12 x M6
 ⊥ Ø t1pgc CZ A B C
 ⊥ Ø t2pgc ⊕ 6 A

Detalle Z
 Escala: 2:1



12 x Ø 20
 ⊥ Ø t3pgc A
 ⊥ Ø t4pgc A B C
 Fresar en montaje

INSERTO PANEL SANDWICH F1 (SL601 M6 - 17.40 CSN) (5)		
REF	X	Y
E1	-47,5	-195
E2	-157,98	+36,36
E3	+157,98	+36,36
F1	-47,5	-155
F2	-192,63	+56,36
F3	+192,63	+56,36
G1	+47,5	-195
G2	-110,48	+118,64
G3	+110,48	+118,64
H1	+47,5	-155
H2	-145,13	+138,64
H3	+145,13	+138,64

Código de tolerancias	
Panel sándwich (p)	
pcs	Cara superior
pci	Cara inferior
pgl	Agujeros laterales
pgc	Agujeros centrales

Tabla de equivalencias	
(e)	(p)
t2egs	t3pgl
t3egs	t4pgl
t4egs	t5pgl
t5egs	t6pgl
t1e	t1p

Tabla de equivalencias	
(p)	(b)
t1pgc	t1bgl
t2pgc	t2bgl
t5pgc	t3bgl
t6pgc	t4bgl

ISO 22081: 2021
 ✓ (√ Ra 0.8)

Num. piezas	Denominación	Material y medidas
5	12 INSERTO PANEL SANDWICH SL601 M6 - 17.40 C S N	ASTM A582 Grado 303
6.3	2 PERFIL C 20x30x2	EN-AW 2024
6.2.3	Relleno	Epoxy STYCAST 1090/9
6.2.2	Adhesivo	REDUX 312L
6.2.1	1 NÚCLEO	Honeycomb 5056 CR-PAA/CR11
6.1.2	1 PIEL SUPERIOR	CFRP IM_G8552
6.1.1	1 PIEL INFERIOR	CFRP IM_G8552

DESCRIPTION		Expresión Gráfica en la Ingeniería	
Panel sándwich		Universidad de Valladolid	
Firma		Denominación	
		PLAT HEX_Asse01	
Apellidos y Nombre.	Gómez Guadilla, Ana María	Titulación	Ingeniería Mecánica
SCALE	DATE	TRABAJO DE FIN DE GRADO	SHEET
1:2	29/11/2022	BASE DE PLATAFORMA HEXÁPODO	2/6
SIZE			A2

H G F E D C B A

4

3

2

1

4

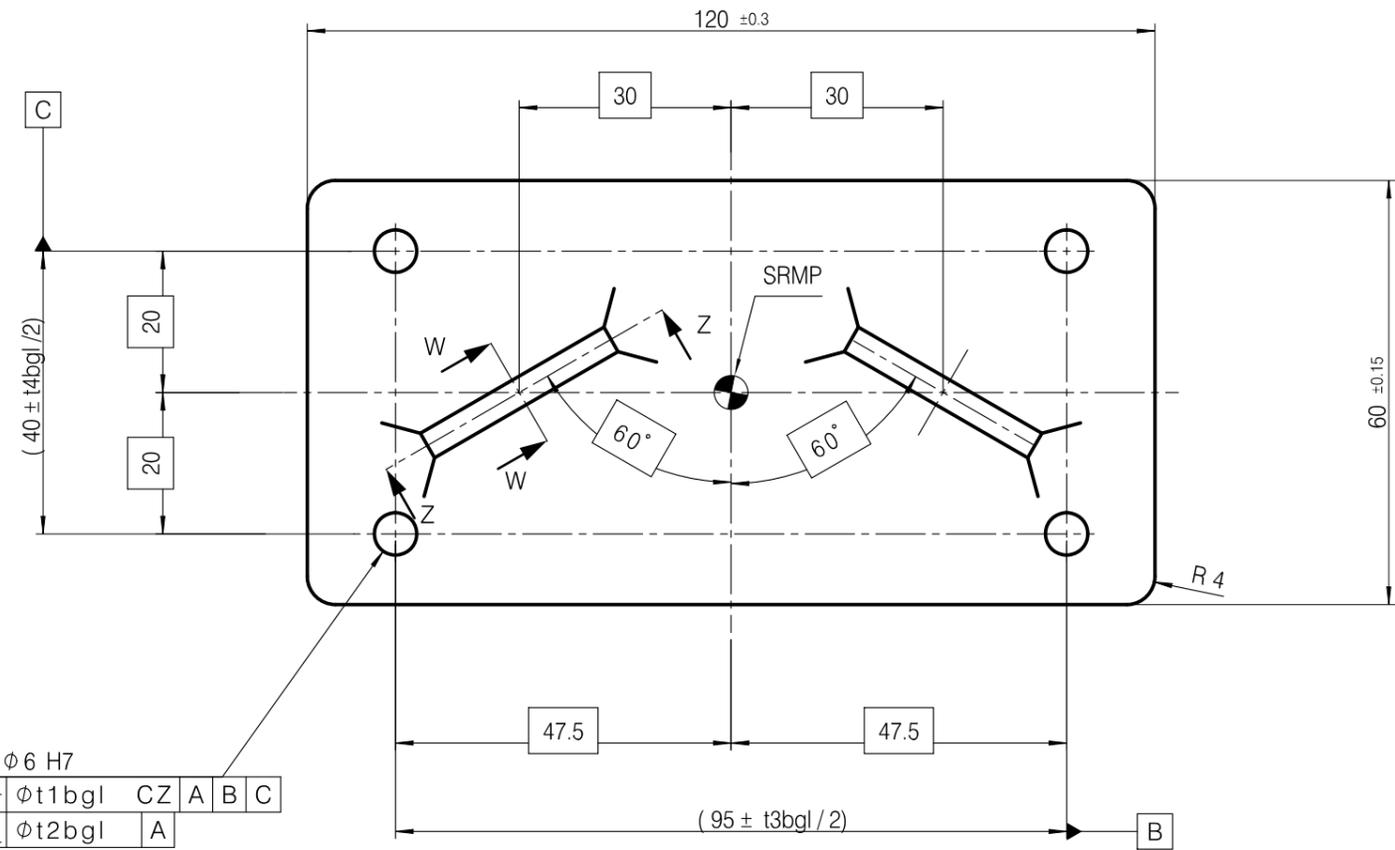
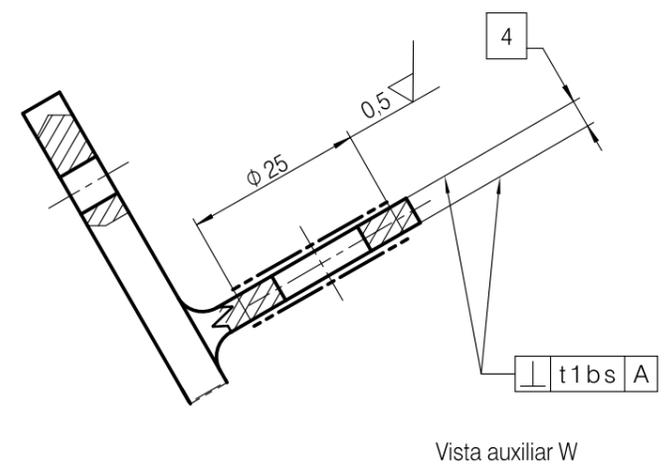
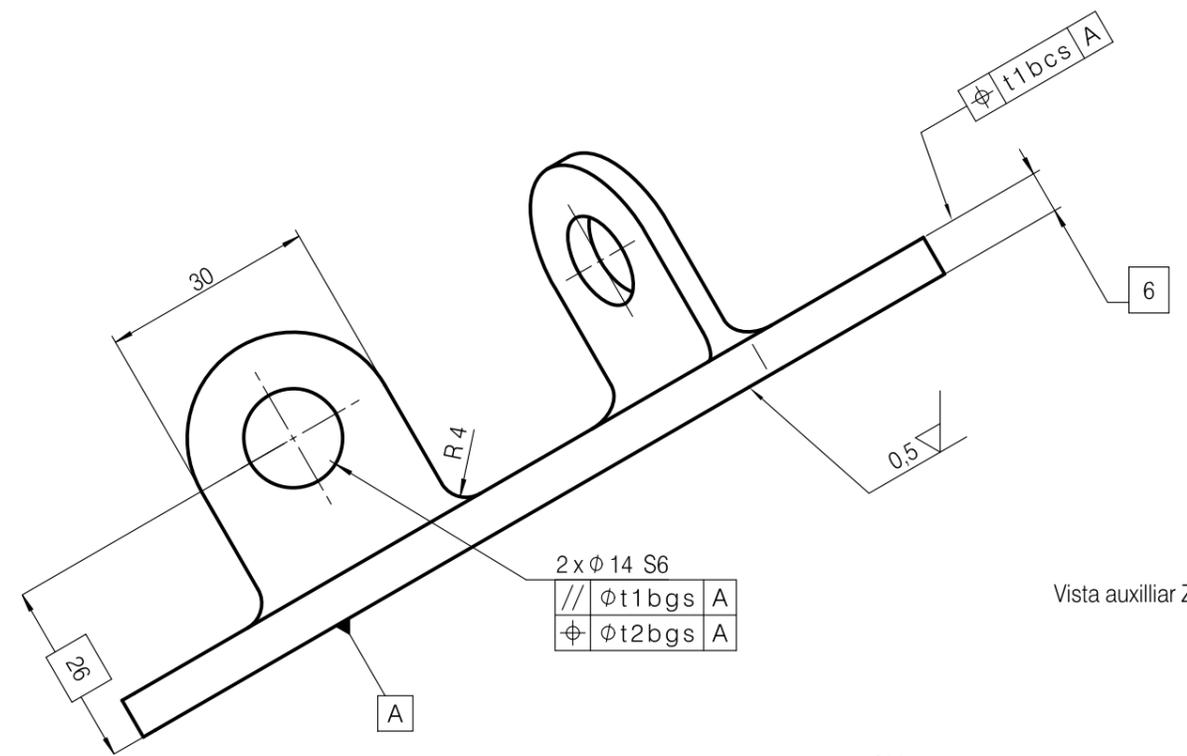
3

2

1

Código de tolerancias	
Bracket inferior (b)	
bcs	Cara superior
bci	Cara inferior
bgl	Agujeros laterales
bs	Saliente
bgs	Agujeros del saliente

Tabla de equivalencias	
(p)	(b)
t1pgc	t1bgl
t2pgc	t2bgl
t5pgc	t3bgl
t6pgc	t4bgl

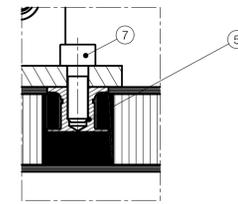
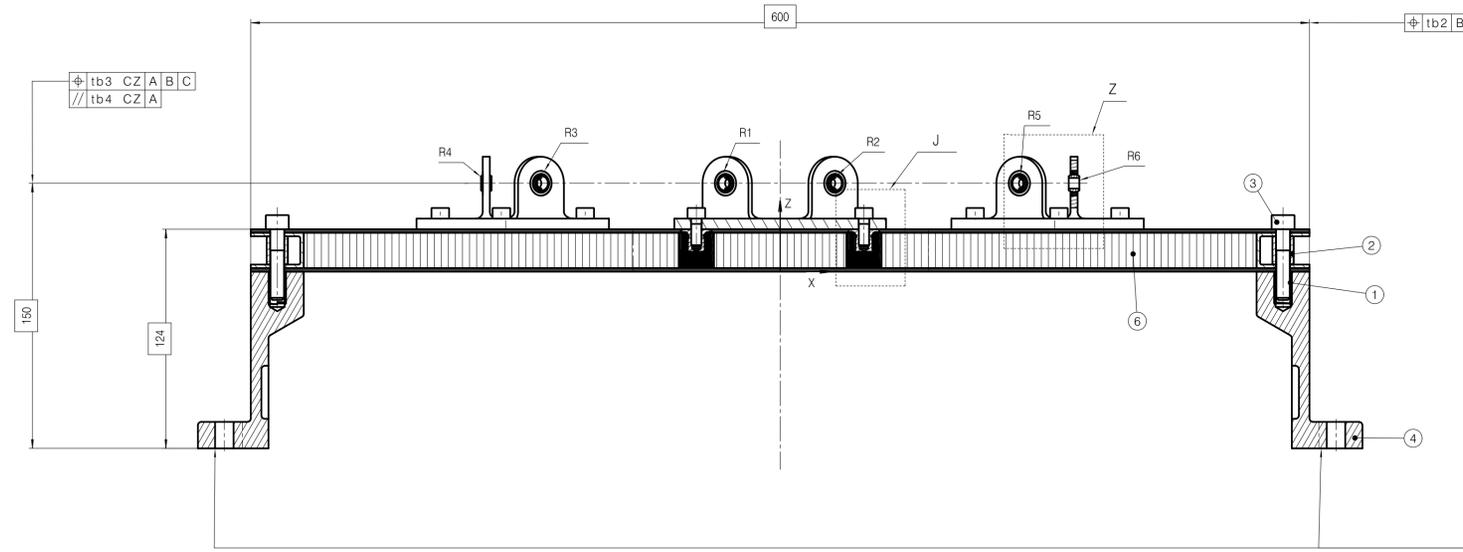


Tolerancias generales ISO 22081
 $\triangle 0,5 CZ A B C$
 Medidas lineales ISO 2768-m $\text{\textcircled{E}}$
 Redondeo general R = 0,5 mm
 $\sqrt{0,5}$

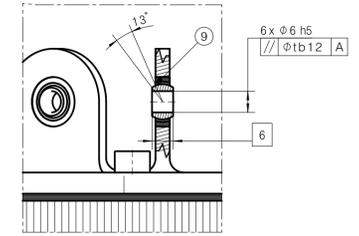
8	3	Bracket inferior	EN-AW 7075
Marca	Num. piezas	Denominación	Material y medidas

DESCRIPTION Bracket inferior	Expresión Gráfica en la Ingeniería		
	Universidad de Valladolid		
Firma	Denominación PLAT HEX_Marc 04		
Apellidos y Nombre. Gómez Guadilla, Ana María	SCALE 1:1	DATE 29/11/2022	TRABAJO DE FIN DE GRADO BASE DE PLATAFORMA HEXÁPODO
	Titulación Ingeniería Mecánica		SHEET 3/6
		SIZE A3	

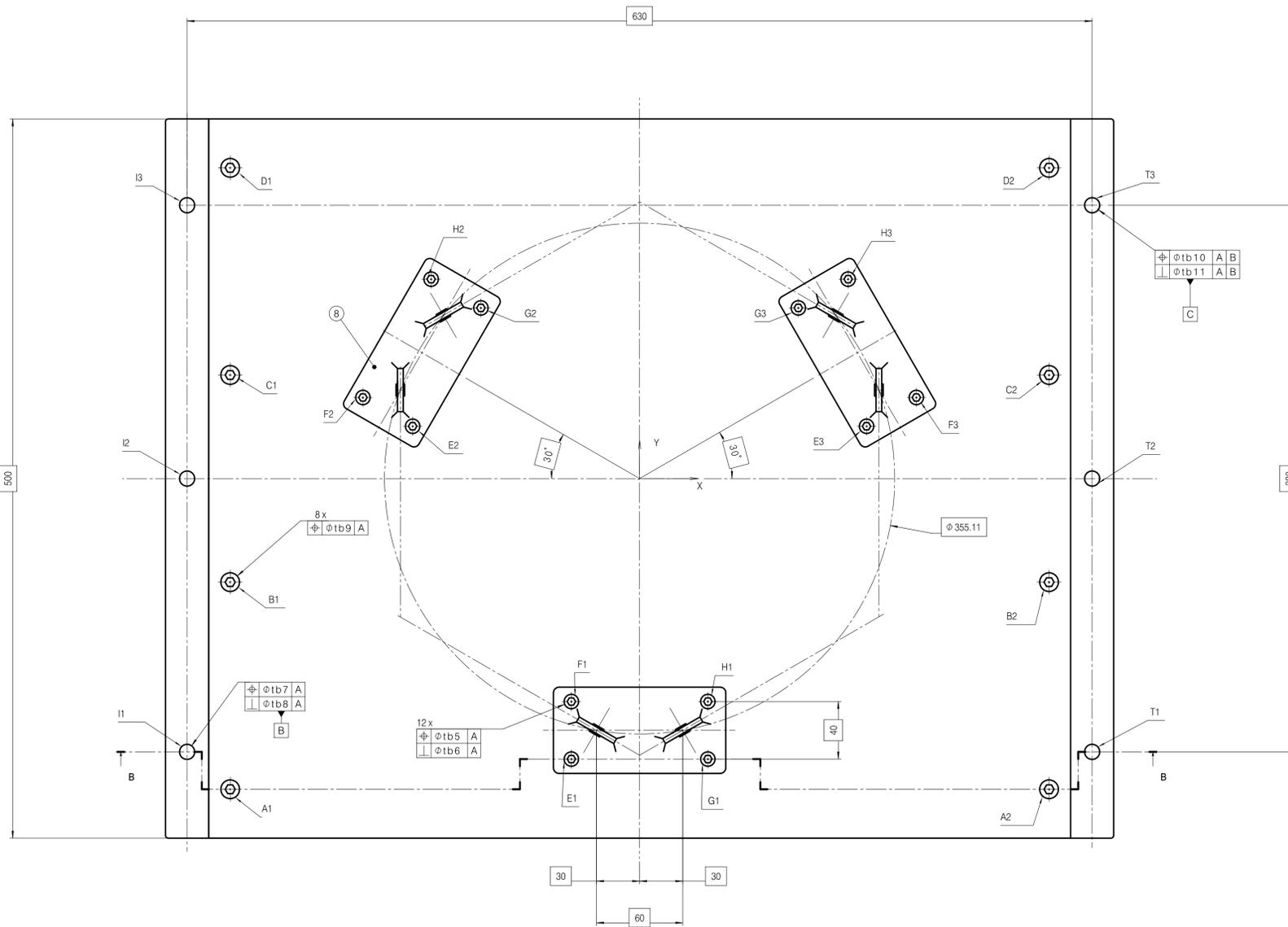
H G F E D C B A



Detalle J
Escala: 1:1



Detalle Z
Escala: 1:1



COJINETE C1 (AF-8-12-16) (2)		
REF	X	Y
A1	-285	-216
A2	+285	-216
B1	-285	-72
B2	+285	-72
C1	-285	+72
C2	+285	+72
D1	-285	+216
D2	+285	+216

TALADROS T1 (TORNILLO M8 x 40) (3)		
REF	X	Y
A1	-285	-216
A2	+285	-216
B1	-285	-72
B2	+285	-72
C1	-285	+72
C2	+285	+72
D1	-285	+216
D2	+285	+216

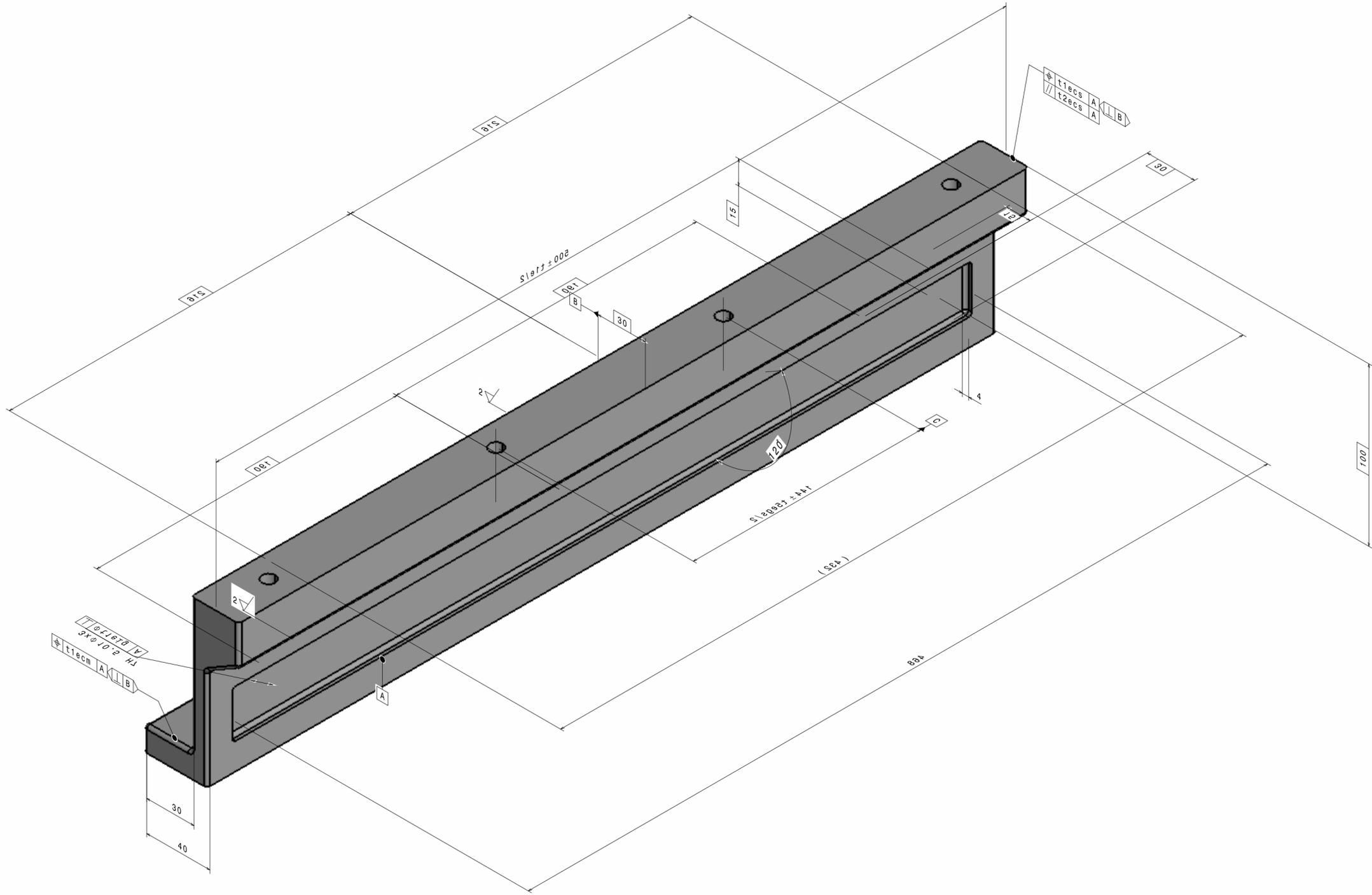
ROTULAS GE6-UK (0066498580000) (9)		
REF	X	Y
R1	-30	-175
R2	+30	-175
R3	-136,55	+113,48
R4	-166,55	+61,52
R5	+136,55	+113,48
R6	+166,55	+61,52

TALADRO T2 (TORNILLO M6 x 16) (7)		
REF	X	Y
E1	-47,5	-195
E2	-157,98	+36,36
E3	+157,98	+36,36
F1	-47,5	-155
F2	-192,63	+56,36
F3	+192,63	+56,36
G1	+47,5	-195
G2	-110,48	+118,64
G3	+110,48	+118,64
H1	+47,5	-155
H2	-145,13	+138,64
H3	+145,13	+138,64

TALADROS M10		
REF	X	Y
I1	-315	-190
T1	+315	-190
I2	-315	0
T2	+315	0
I3	-315	+190
T3	+315	+190

Num. piezas	Denominación	Material
9	Rótula GE6-UK	Comercial
8	Bracket inferior	EN-AW 7075
7	ISO 4762 M6 x 16	Comercial
6	Panel sándwich	-
5	Inserto panel sándwich SL601 M6 - 17.40 C S N	Comercial
4	Estructura base	EN-AW 2024
3	ISO 4762 M8 x 40	Comercial
2	Cojinete SELFOIL® AF-8-12-16	Comercial
1	Filete roscado HELICOIL 4130 008 0016	Comercial

DESCRIPCIÓN	Expresión Gráfica en la Ingeniería		
Piano acotación conjunto	Universidad de Valladolid		
Firma	Denominación		
	BASE DE PLATAFORMA HEXÁPODO		
Apellidos y Nombre.	Título	Trabajo	Hoja
Gómez Guadilla, Ana María	Ingeniería Mecánica	BASE DE PLATAFORMA HEXÁPODO	4/6
			SIZE A1



DESCRIPTION		Expresión Gráfica en la Ingeniería		
FTA Estructura Base		Universidad de Valladolid - Denominación		
Firma		PLAT HEX_Marc 03		
SCALE	DATE:	TRABAJO DE FIN DE GRADO	SHEET	
1:1	01/12/2022	BASE DE PLATAFORMA HEXÁPODO	5/6	
Apellidos y Nombre:		Titulación:		SIZE
Gómez Guadilla, Ana María		Ingeniería Mecánica		A2

