

# Project Based Learning

## Módulo 2

**Ingeniería Gráfica Aeroespacial**

Preparado por	Romane Chiara Busato
	Rafael Luque Lopez
	Diego Mataix Caballero
	Ana Isabel Soria Carro
	Javier Vega Mateos
	Pablo Zapatero Montaña
Aprobado por	
Edición	001
Revisión	00
Fecha de Edición	2021 - 01 - 27

# Tabla de contenido

<b>Tabla de contenido</b>	<b>2</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>4</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>6</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1.1. Abstract . . . . .	7
1.2. Objetivos y requisitos . . . . .	7
<b>2. Definiciones</b>	<b>9</b>
2.1. Acrónimos y abreviaciones . . . . .	9
<b>3. Documentos aplicables y de referencia</b>	<b>10</b>
3.1. Documentos aplicables . . . . .	10
3.2. Documentos de referencia . . . . .	10
<b>4. Metodología</b>	<b>11</b>
4.1. Organización del trabajo . . . . .	11
4.2. Gestión del tiempo . . . . .	12
<b>5. Productos</b>	<b>15</b>
5.1. Bandeja . . . . .	15
5.1.1. Geometría . . . . .	16
5.1.2. Materiales . . . . .	19
5.1.3. Interfaces internas y externas . . . . .	19
5.1.4. Parametrización . . . . .	20
5.1.5. Metodología de diseño con la herramienta CATIA . . . . .	21
5.2. Bandeja interior y ordenador . . . . .	22
5.2.1. Ordenador . . . . .	22
5.2.2. Bandeja interior . . . . .	23
5.2.3. Montaje . . . . .	24
5.3. Paneles de cierre . . . . .	26
5.3.1. Geometría . . . . .	26
5.3.2. Parametrización . . . . .	28
5.4. Paneles de cortadura . . . . .	29
5.4.1. Geometría . . . . .	29

---

5.4.2. Parametrización . . . . .	30
5.5. Separadores . . . . .	31
5.5.1. Geometría . . . . .	31
5.5.2. Parametrización . . . . .	32
<b>6. Uniones</b>	<b>35</b>
6.1. Taladros . . . . .	35
6.2. Helicoils . . . . .	36
6.3. Tornillos . . . . .	37
6.4. Insertos . . . . .	37
<b>7. Cableado</b>	<b>39</b>
7.1. Cableado interior del modulo . . . . .	39
7.2. Tapa de protección del cableado exterior . . . . .	40
<b>8. GUI</b>	<b>41</b>
<b>9. Conclusiones</b>	<b>44</b>
9.1. Desviaciones respecto a la primera declaración de intenciones . . . . .	44
9.1.1. Bandeja . . . . .	44
9.1.2. Ordenador . . . . .	45
9.1.3. Paneles de cortadura . . . . .	45
<b>10. Propuestas de mejora</b>	<b>47</b>

# **Lista de figuras**

4.1. WBS . . . . .	11
4.2. Gantt Chart . . . . .	12
5.1. Parametrización de la forma en planta . . . . .	16
5.2. Fila de dientes bandeja Al-6061 . . . . .	16
5.3. Fila de dientes bandeja MC . . . . .	16
5.4. Acoplamiento bandeja-panel de cierre . . . . .	17
5.5. Bandeja en forma cuadrada de aluminio, Al-6061 . . . . .	18
5.6. Bandeja en forma cuadrada de aluminio, Al-6061 . . . . .	18
5.7. Bandeja en forma cuadrada de material compuesto, CFRP . . . . .	18
5.8. Bandeja en forma hexagonal de material compuesto, CFRP . . . . .	18
5.9. Acoplamiento separador-bandeja Al6061 . . . . .	18
5.10. Acoplamiento separador-bandeja MC . . . . .	18
5.11. Interfaces internas y externas con el resto de elementos del módulo de ordenador y el módulo de potencia . . . . .	19
5.12. Interfaces internas . . . . .	20
5.13. División de los parámetros referentes a la bandeja en varios niveles. . . . .	20
5.14. Ordenador A. ISISpace On Board Computer . . . . .	22
5.15. Ordenador B. MICROSATPRO . . . . .	22
5.16. Bandeja del ordenador en Honeycomb Al 2024 . . . . .	23
5.17. Bandeja del ordenador en material compuesto monolítico CFRP . . . . .	23
5.18. Product Tree del montaje de la bandeja interior y el ordenador . . . . .	25
5.19. Panel de cierre en Z . . . . .	27
5.20. Panel de cierre definitivo . . . . .	27
5.21. Panel de cierre con las cavidades eléctricas . . . . .	27
5.22. Panel de cortadura inicial . . . . .	29
5.23. Panel de cortadura final . . . . .	30
5.24. Separadores del Módulo . . . . .	31
5.25. Sección del separador . . . . .	32
5.26. Orificios de venteado . . . . .	32
5.27. Separador para bandeja superior metálica . . . . .	33
5.28. Separador para bandeja superior de material compuesto . . . . .	33
5.29. Ensamblaje del separador para bandeja superior metálica . . . . .	34
5.30. Ensamblaje del separador separador bandeja superior de material compuesto . . . . .	34
6.1. Métrica 3 . . . . .	35
6.2. Métrica 4 . . . . .	35

6.3.	Tipos de unión empleados . . . . .	35
6.4.	Helicoil . . . . .	36
6.5.	Tornillo corto . . . . .	37
6.6.	Tornillo largo . . . . .	37
6.7.	Inserto roscado M3 ciego . . . . .	38
6.8.	Inserto no roscado M3 pasante . . . . .	38
6.9.	Trisert-3 M3 . . . . .	38
7.1.	Rutado geométrico . . . . .	39
7.2.	Tapa de protección del cableado exterior . . . . .	40
8.1.	Interfaz de inicio . . . . .	41
8.2.	Geometría cuadrada seleccionada . . . . .	42
8.3.	Geometría hexagonal seleccionada . . . . .	42
8.4.	Aluminio 6061 seleccionado . . . . .	42
8.5.	CFRP seleccionado . . . . .	42
8.6.	Separador para aluminio . . . . .	43
8.7.	Separador para compuesto . . . . .	43
8.8.	Interfaz de ordenador . . . . .	43
9.1.	Forma en cruz bandeja cuadrada . . . . .	45
9.2.	Forma cuadrado bandeja cuadrada . . . . .	45
9.3.	Forma en cruz bandeja hexagonal . . . . .	46
9.4.	Forma cuadrado bandeja hexagonal . . . . .	46

# **Lista de tablas**

1.1.	Requisitos funcionales del proyecto . . . . .	7
4.1.	Horas de reuniones . . . . .	13
4.2.	Estimación horas totales . . . . .	14
5.1.	Propiedades Materiales . . . . .	19
5.2.	Propiedades Materiales . . . . .	23
5.3.	Propiedades Aluminio 6061 . . . . .	26
5.4.	Parámetros del panel de cierre (250) . . . . .	28
5.5.	Parámetros de la pieza 251-01 . . . . .	28
6.1.	Métricas utilizadas . . . . .	36
6.2.	Propiedades Acero A2 . . . . .	36
6.3.	Helicoil métrica 3 . . . . .	36
6.4.	Helicoil métrica 4 . . . . .	36
6.5.	Propiedades Acero C 8.8 . . . . .	37
7.1.	Configuración para el cableado . . . . .	39

# 1. Introducción

## 1.1. Abstract

Se presenta el proceso de diseño de un pequeño satélite como parte de la asignatura Ingeniería gráfica para el diseño mecánico. El proyecto consiste en el diseño grupal del módulo de que aloja el ordenador de a bordo, seguido del ensamblaje de esos módulos entre si.

Utilizando el software de diseño mecánico CATIA, se diseñan todas las piezas de la estructura, así como los elementos de soporte y protección del ordenador. La electrónica utilizada está sacada del catálogo del fabricante de ordenadores de uso espacial correspondiente.

Se propone un módulo cuya geometría está totalmente parametrizada, para poder elegir la geometría de la bandeja, los materiales y la configuración del ordenador de a bordo. Así el cliente puede elegir el tamaño del módulo y puede elegir entre dos opciones de ordenador, ambas certificadas para uso espacial.

El producto final propuesto presenta un módulo del ordenador funcional y complejo, que cumple con los requisitos de proyecto, así como una interfaz gráfica muy intuitiva que le permite elegir la configuración al cliente. Sin embargo no se ha conseguido proponer un ensamblaje de los módulos entre si completamente funcional.

## 1.2. Objetivos y requisitos

Se propone diseñar un pequeño satélite, incluyendo un sistema de potencia, un ordenador, unos equipos experimentales y unos paneles solares despegables. Este informe presenta el módulo 2, que incluye el ordenador y la interfaz electrónica con el resto de los módulos.

En la Tabla 1.1 se pueden observar los requisitos funcionales impuestos por el cliente. Los coloreados en azul son los que afectan directamente al módulo 2.

Tabla 1.1 Requisitos funcionales del proyecto

Requisitos Funcionales	
<b>FR1</b>	Masa total máxima 40kg
<b>FR2</b>	Se debe permitir diferentes espacios de carga útil
<b>FR3</b>	El cliente debe tener el control de la forma en planta de la estructura
<b>FR4</b>	Se debe definir zonas para el sistema de potencia y el ordenador
<b>FR5</b>	Se debe permitir la unión de paneles despegables
<b>FR6</b>	Se debe permitir el montaje en una sola dirección
<b>FR7</b>	Se debe definir la geometría en función del tipo de material
<b>FR8</b>	Se debe definir la interfaz con el sistema de separación
<b>FR9</b>	Se debe incluir el cableado de cada módulo
<b>FR10</b>	Se debe incluir una cámara en una pared lateral

El cliente debe poder elegir entre dos formas de planta diferentes, cuadrada y hexagonal, el material de la bandeja y las dimensiones del satélite.

Se debe diseñar la estructura del módulo, que incluye la bandeja inferior, que será cuadrada o hexagonal, los separadores (4 o 6 dependiendo de la forma en planta del módulo), y los paneles de cierre. Se añaden a esta estructura exterior los paneles de cortadura, que proporcionan un apoyo adicional a la bandeja superior. Además, se debe incluir un ordenador, los cables y conectores necesarios para poder comunicarse con los demás módulos, y todas las uniones necesarias. Por último, hay que diseñar una interfaz GUI que permitirá la comunicación con el cliente.

Aparte del trabajo sobre el módulo, se debe permitir el montaje con los otros módulos: unión física entre la bandeja y el módulo de potencia, unión física de los separadores, los paneles de cierre y los paneles de cortadura con el módulo de experimentos, y unión eléctrica con los tres módulos.

## 2. Definiciones

### 2.1. Acrónimos y abreviaciones

- GUI: Graphical User Interface
- WBS: Work Breakdown Structure
- ECSS: European Cooperation for Space Standardization
- CFRP: Carbon fiber reinforced polymer

### 3. Documentos aplicables y de referencia

#### 3.1. Documentos aplicables

ID	Título	Referencia	Iss/Rev	Fecha
AD01	Insert design handbook	ECSS-E-HB-32-22A Archivo		20/03/2011
AD02	Threaded fasteners handbook	ECSS-E-HB-32-23A Archivo		16/04/2010
AD03	Project Planning and Implementation	ECSS-M-ST-10C	Rev.1	6/03/2009

#### 3.2. Documentos de referencia

ID	Título	Referencia	Iss/Rev	Fecha
RD01	Filetes insertos para obtener roscas de alta resistencia Sencillez, rapidez y resistencia	HELICOIL-plus-ES-0100		
RD02	MICROSATPRO Technical Specifications	STM Specifications sheet		
RD03	On Board Computer (iOBC)	ISISpace Specifications sheet		
RD04	Insert Technology for Applications	TRISERT-3		
RD05	Advance composite catalog	Shur-Lok Master Catalog		

## 4. Metodología

### 4.1. Organización del trabajo

Siguiendo la normativa establecida en el **AD03** se realiza un WBS para gestionar el proyecto y tener un marco para la gestión de los contenidos técnicos.

Como se puede observar en la Figura 4.1 divide el proyecto en paquetes de trabajo manejables, organizados de acuerdo con la naturaleza del trabajo y dividiendo el trabajo total en una estructura jerárquicas top-down.

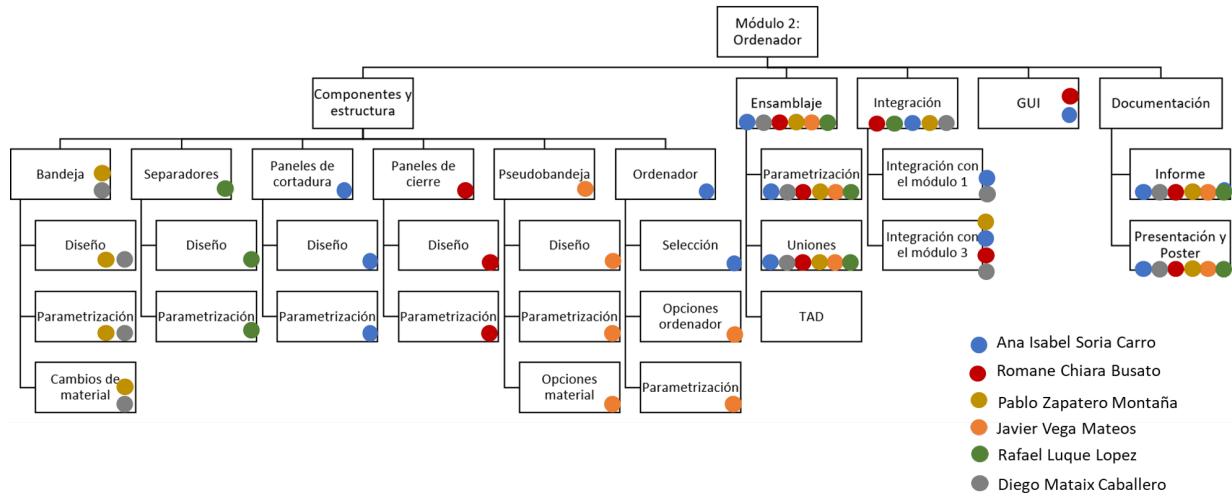


Figura 4.1 WBS

La repartición de trabajo se hizo lo más uniforme posible y se puede observar que cada representante del grupo tiene un peso de trabajo equivalente. En la leyenda de la Figura 4.1 se asigna un color cada participante que se relaciona con los paquetes de trabajo realizados.

Cada participante del grupo ha trabajado por su cuenta para entregar las correspondientes partes del módulo a tiempo. A la hora de diseñar la bandeja, los encargados han tenido que organizarse y tener reuniones individuales por Microsoft Teams, dado que el diseño de las geometrías estaban muy relacionados. También se han realizado reuniones grupales, la explicación en detalle se realiza en la Sección 4.2.

Para realizar el montaje, se ha organizado así : Los representantes que han diseñado la bandeja han tenido reuniones con todos los demás, cada uno para hacer el montaje de su pieza con la bandeja. Una vez el montaje de su pieza con la bandeja hecho, el participante se ha puesto con la realización de la GUI, uniones y entregables.

## 4.2. Gestión del tiempo

En este apartado se describe como ha sido gestionado el tiempo y las horas de reuniones realizadas.

La organización y gestión del proyecto han sido elementos clave a la hora de producir un diseño que cumpla los requisitos de manera satisfactoria. Por lo tanto, las distintas etapas de realización del proyecto se han repartido en el tiempo de la siguiente manera:

- Estudio preliminar : Octubre 2020
- Diseño de las partes : Noviembre 2020 - Enero 2021
- Montaje del modulo : Enero 2021
- Entregables : Enero 2021

Con el objetivo inicial de repartir de una manera razonable la carga de trabajo a lo largo del proyecto, se planteó el siguiente Gantt chart (ver figura 4.2), que contiene dos *entregables*, la declaración de intenciones y la entrega final del proyecto.

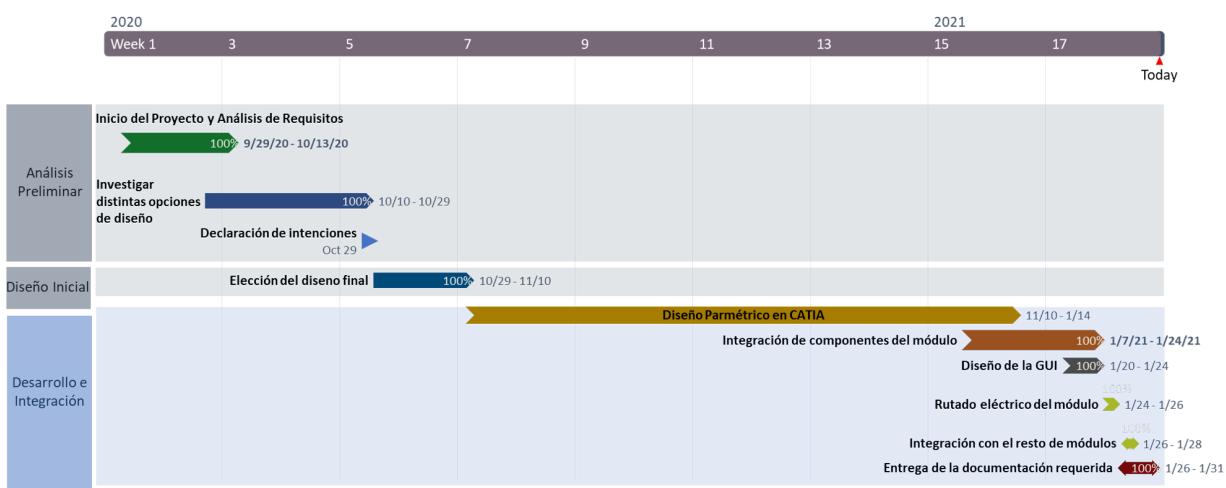


Figura 4.2 Gantt Chart

La mayoría del trabajo para el estudio preliminar, el montaje y los entregables fue realizado en reunión, ya que era un trabajo colectivo. Al contrario, el diseño de las partes fue un trabajo individual, con una buena comunicación que permitió la coordinación de las diferentes geometrías. La mayor parte del tiempo se ha dedicado a este diseño, ya que cada parte se ha diseñado teniendo en cuenta la evolución de la geometría de las otras.

A continuación en la Tablas 4.1 se puede observar las reuniones realizadas a lo largo del semestre. En la Tabla 4.2 se hace una estimación de las horas totales dedicadas al proyecto.

Estudio preliminar de diseño		
16/10/2020	Investigación preliminar para la estructura	3 h
24/10/2020	Investigación preliminar para el ordenador Reunión representantes de cada módulo	3 h
26/10/2020	Estudio preliminar de la geometría Reunión con cliente	4 h
27/10/2020	Presentación del estudio preliminar	3 h
Diseño de la partes		
11/11/2020	Repartición del trabajo de diseño	3h
18/11/2020	Reunión semanal y ajustes	3 h
27/11/2020	Reunión semanal y ajustes	6 h
07/12/2020	Reunión semanal	1,5 h
18/12/2020	Reunión semanal	1h
31/12/2020	Reunión con Módulo 3 sobre interfaces	0,5 h
03/01/2021	Reunión semanal y ajustes Reunión representante de cada módulo	3 h
05/01/2021	Reunión con cliente	2h

Tabla 4.1 Horas de reuniones  
Montaje del módulo y Entregables

Montaje del módulo y Entregables		
07/01/2021	Organización para el montaje	3 h
08/01/2021	Diseño de uniones Montaje preliminar paneles de cierre - bandeja	3 h
11/01/2021	Separadores - Paneles de Cierre Bandeja - Paneles de Cortadura	3 h
12/01/2021	Uniones Bandeja - Paneles de Cortadura	4 h
14/01/2021	Separadores - Bandeja Pseudo-bandeja y ordenador - Bandeja	5h
15/01/2021	Separadores - Bandeja Pseudo-bandeja - Bandeja	4h
16/01/2021	Separadores - Bandeja Ordenador - Bandeja	4h
20/01/2021	Inicio diseño GUI	3 h
24/01/2021	Finalización GUI	3 h
29/01/2021	Reunión con módulo 1 Cambio paneles de cortadura Cambios paneles de cierre - Bandeja Redactar informe	6 h
30/01/2021	Modificaciones para cuadrar uniones Reunión con módulo 1 Redactar informe Presentación Plantear póster	10h
31/01/2021	Ajuste de uniones Acabar presentación	10 h
01/01/2021	Ensamblaje final	8h

Tabla 4.2 Estimación horas totales

Mes	Fechas	Tareas	Horas
<b>Estudio preliminar de diseño</b>			
Octubre	16 oct - 24 oct	Investigación preliminar para el ordenador Reunión representantes de cada módulo	15
	26 oct - 1 nov	Estudio preliminar de geometría Reunión con cliente Presentación del estudio preliminar	20
<b>Diseño de las partes</b>			
Noviembre	2 nov - 8 nov	Diseño preliminar de las piezas Reunión semanal	30
	9 nov - 15 nov	Diseño preliminar de las piezas Reunión semanal	30
	16 nov - 22 nov	Diseño preliminar de las piezas Reunión semanal	30
	23 nov - 29 nov	Diseño preliminar de las piezas Reunión semanal	30
Diciembre	30 nov - 6 dic	Diseño de las piezas y ajustes Reunión semanal	20
	21 dic - 27 dic	Diseño de las piezas y ajustes Reunión semanal	40
Enero	28 dic- 5 ene	Reunión representantes Reunión con el cliente	25
<b>Montaje del módulo y Entregables</b>			
Enero	7 ene - 10 ene	Diseño de uniones Organización para el montaje	50
	11 ene - 17 ene	Integración del módulo	40
	18 ene - 24 ene	Integración del módulo Informe y presentación	30
	25 ene - 31 ene	Integración del módulo Entregables	140
Estimación horas totales			<b>500</b>

## 5. Productos

En este apartado se realiza la explicación en detalle de cada pieza del módulo individualmente.

### 5.1. Bandeja

La bandeja resulta el elemento principal del módulo por ser el soporte al que se acoplarán el resto de elementos. Esto define las interfaces físicas internas del módulo con:

- Paneles de cierre
- Paneles de cortadura
- Separadores
- Bandeja soporte del ordenador
- Cableado

Las interfaces externas con el resto del satélite, por su parte, recaen parcialmente sobre las bandejas:

- Módulo de potencia
- Módulo de experimentos

Con el fin de gestionar los distintos archivos que contienen el producto de la bandeja se ha definido una nomenclatura, constante para todo el módulo. En este caso, la nomenclatura del *product* dedicado a la bandeja se declara como sigue:

- 21: Se refiere al *subset* al que pertenece la bandeja del módulo 2.
- 211: Se refiere al *product* de la bandeja.
- 211\_01: Para el *part* que contiene la bandeja.
- 211\_01\_Parameters: Para el *part* que contiene los parámetros internos exclusivos de la bandeja
- 211\_02: que contiene los perfiles en L de la bandeja de material compuesto para el caso hexagonal
- 211\_03: Para el *part* que contiene los perfiles en L de la bandeja de material compuesto para el caso cuadrado
- 26\_03: Para el *part* que contiene los insertos que se utilizarán en la bandeja
- Part1: Es un *part* de referencia que se utiliza para instanciar un número de veces práctico para nuestro caso (3 para el caso cuadrado y 5 para el caso hexagonal)

El proceso de definición de diseño se ha seguido atendiendo a tres criterios, principalmente:

1. Cumplimiento de los requisitos funcionales impuestos
2. Búsqueda de la solución geométrica y de fabricación más sencilla para cumplir con dichos requisitos
3. Facilidad de integración con el resto de módulos que conforman el satélite

### 5.1.1. Geometría

Primeramente y por simplicidad, se ha comenzado por definir una geometría en planta base que permita el cumplimiento del requisito **FR3** y proporcione al cliente el control de la forma en planta de la estructura. Se han escogido dos posibles configuraciones (en planta cuadrada y en forma hexagonal) y se le ha asociado un parámetro que permita al cliente la modificación de esta a su antojo.

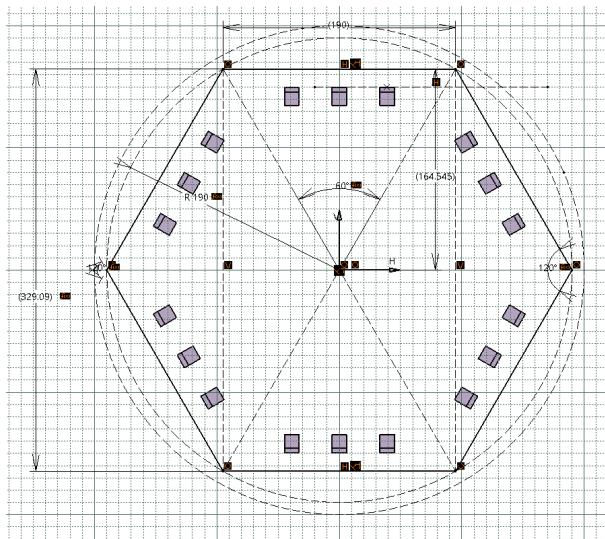


Figura 5.1 Parametrización de la forma en planta

Seguidamente se incorpora una fila de dientes, separadas una distancia prudencial de los bordes de la bandeja para permitir la interfaz y el acoplamiento con los paneles de cierre. Se realiza tanto en la parte superior como en la inferior para asegurar la interfaz externa con los paneles de cierre de los módulos inferior y superior.

Estos dientes se han diseñado diferente para material compuesto y para la aleación de aluminio por cuestiones de fabricación (molde RTM para el primero y mecanizado para el segundo).

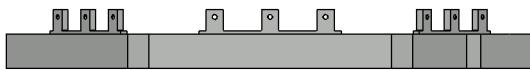


Figura 5.2 Fila de dientes bandeja Al-6061

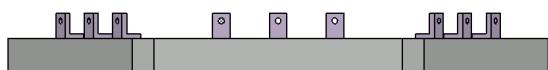


Figura 5.3 Fila de dientes bandeja MC

No obstante esta solución cumple con las interfaces internas, pero no con las externas. Para permitir el acoplamiento con el módulo inferior de potencia, se ha decidido eliminar la fila inferior de dientes.

Por otra parte y para permitir salidas/llegadas del cableado intermodular se practica un orificio en la cara asociada a la conexión con el resto de módulos. Este orificio se acopla debidamente con la tapa de cierre que protegerá al cableado de las inclemencias de la operatividad espacial.

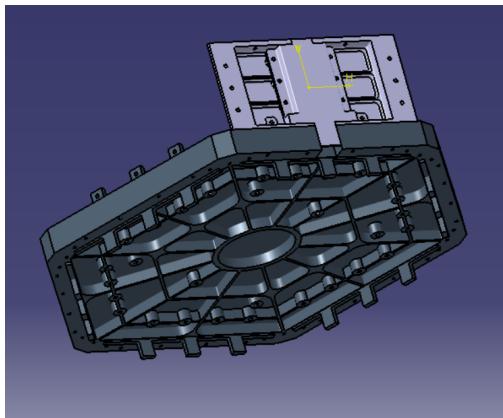


Figura 5.4 Acoplamiento bandeja-panel de cierre

El vaciado interior tiene un doble propósito: Aligerar el peso del módulo manteniendo un comportamiento estructural satisfactorio y alojar tanto paneles de cortadura como la bandeja soporte a la que se unirá el ordenador. Servirá también de base para el trazado del cableado.

Este vaciado interior no existe en el diseño de bandeja de material compuesto, principalmente por su ligereza de base y su gran respuesta estructural.

Se realiza un segundo vaciado en la parte inferior de la bandeja, también con un doble propósito: aligerar peso sin comprometer la rigidez de la estructura y permitir uniones atornilladas entre los elementos que se acoplan en el vaciado superior y la bandeja. Este se ha diseñado diferente dependiendo de la forma en planta que se considere:

- Caso FP Cuadrada: Doble vaciado de tipo *orthogrid* que consistente en nervios de anchura 1.2mm y nodos de diámetro 12mm dispuestos estratégicamente para permitir las uniones detalladas. La dimensión de los nervios se ha escogido para maximizar el vaciado de material sin comprometer la rigidez de la bandeja. Por su parte, la dimensión de los nodos es la mínima para cumplir con las normas de separación entre taladro y pared.
- Caso FP Hexagonal: Vaciado simple emulando al *isogrid* con nervios de anchura 1.2mm y nodos de tamaño 12mm. La solución de nervios radiales partiendo de un centro con vaciado circular se ha pensado para maximizar el aligeramiento de peso y cubrir la mayor parte de la superficie de la bandeja para acoplar los puntos fuertes que sirvan de apoyo a las uniones. No obstante, nos hemos visto obligados a forzar la presencia de puntos fuertes en posiciones sin nervios para asegurar el mismo posicionamiento de los paneles de cortadura que el resto de módulos y permitir al satélite trabajar uniformemente a cortadura en lugar de hacerlo modularmente.

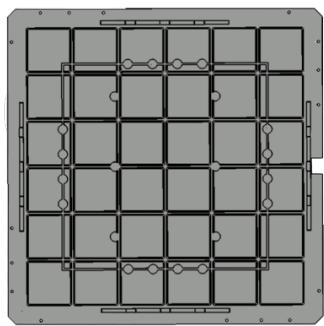


Figura 5.5 Bandeja en forma cuadrada de aluminio, Al-6061

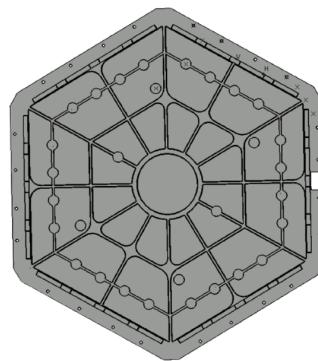


Figura 5.6 Bandeja en forma cuadrada de aluminio, Al-6061

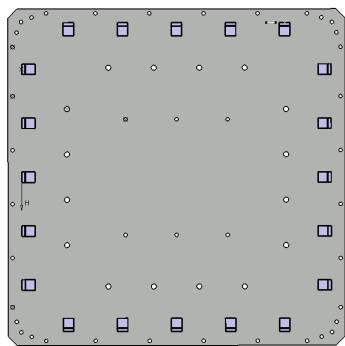


Figura 5.7 Bandeja en forma cuadrada de material compuesto, CFRP

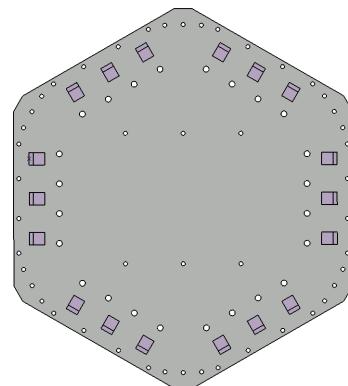


Figura 5.8 Bandeja en forma hexagonal de material compuesto, CFRP

El acoplamiento con los separadores propios del módulo se realiza en la parte superior de la bandeja, con taladros pasantes que llegarán, atravesando el espesor propio de la bandeja, a los separadores del módulo de potencia.

Se han escogido puntos de unión de métrica 3 y un chaflán en la columna del separador que coincida con el chaflán de los picos de la bandeja para reducir material.

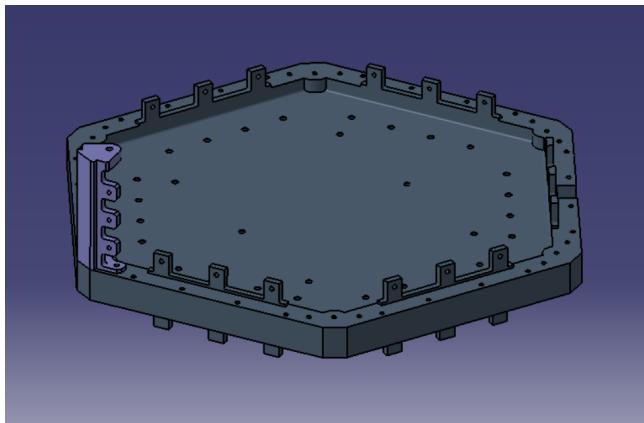


Figura 5.9 Acoplamiento separador-bandeja Al6061

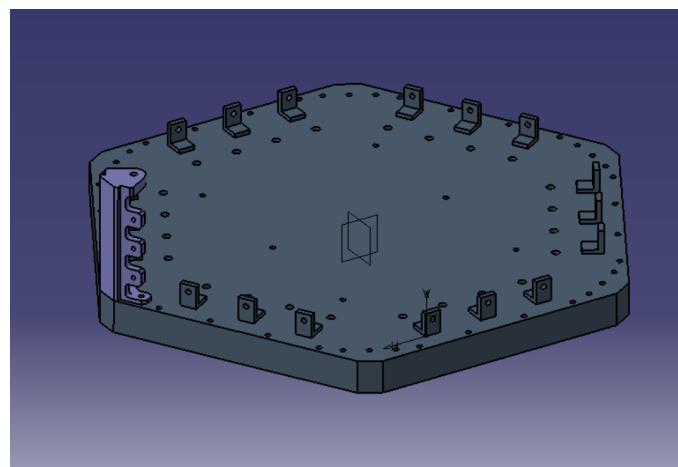


Figura 5.10 Acoplamiento separador-bandeja MC

## 5.1.2. Materiales

En cuanto a la selección de materiales se proponen dos opciones: Una aleación de aluminio aeroespacial de la serie 6000 y un material compuesto monolítico de fibra de carbono embebido en matriz epoxi.

Tabla 5.1 Propiedades Materiales

	ALUMINIO 6061	CFRP
<i>Young Modulus E</i>	6,89e10 N/m <sup>2</sup>	2,4e11 N/m <sup>2</sup>
<i>Density ρ</i>	2700 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>
<i>Yield Strength σ<sub>R</sub></i>	2,76e8 N/m <sup>2</sup>	3,8e9 N/m <sup>2</sup>
<i>Poisson Ratio ν</i>	0,33	0,02

La selección de un material u otro cambia de forma considerable la geometría de la bandeja, pasando de tener una estructura en aluminio con vacíados, a una estructura monolítica de CFRP. Del mismo modo, se provocan cambios en las uniones con el resto de componentes, ya que en el caso del aluminio, se deben usar helicoils para los casos en los que no hay uniones con taladro pasante, y en el caso del compuesto es necesario utilizar insertos en la bandeja, que fortalecen dichos puntos, y permiten usar el mismo tipo de tornillos.

## 5.1.3. Interfaces internas y externas

Teniendo en cuenta que la bandeja tiene interfaces internas, con todos los componentes del módulo, así como externas, con varios componentes del módulo de potencia, en el proceso de diseño ha sido necesario prestar especial atención al tipo de uniones y al material de las partes que deben unirse. En la figura 5.11 se presentan las listas de interfaces internas y externas tanto para los casos de material compuesto monolítico como para los de una construcción en aluminio Al-6061 con vacíados.

**Interfaces Internas**

Bandeja de material metálico, Al-6061					
ID	Módulo	Componente 1	Componente 2	Tipo de unión	Métrica
1.10	Ordenador	211	221	Inserto	M4
1.20	Ordenador	211	231	Inserto	M3
1.30	Ordenador	211	241	Inserto	M4
1.40	Ordenador	211	250_1	Inserto	M3
1.50	Ordenador	211	250_2	Inserto	M3

Bandeja de material compuesto, CFRP					
ID	Módulo	Componente 1	Componente 2	Tipo de unión	Métrica
2.10	Ordenador	211	221	Roscada	M4
2.20	Ordenador	211	231	Pasante	M3
2.30	Ordenador	211	241	Pasante	M4
2.40	Ordenador	211	250_1	Pasante	M3
2.50	Ordenador	211	250_2	Pasante	M3

**Interfaces Externas**

Bandeja de material metálico, Al-6061					
ID	Componente 1	Módulo al que se une	Componente 2	Tipo de unión	Métrica
3.10	211, 231	Potencia	Separadores	Pasante	M3
3.20	211, 251	Potencia	Paneles de cierre	Pasante	M3
3.30	211, 241	Potencia	Paneles de cortadura	Pasante	M4

Bandeja de material compuesto, CFRP					
ID	Componente 1	Módulo al que se une	Componente 2	Tipo de unión	Métrica
4.10	211, 231	Potencia	Separadores	Pasante	M3
4.20	211, 251	Potencia	Paneles de cierre	Pasante	M3
4.30	211, 241	Potencia	Paneles de cortadura	Pasante	M4

Figura 5.11 Interfaces internas y externas con el resto de elementos del módulo de ordenador y el módulo de potencia

Estas interfaces pueden verse de manera más representativa en la figura 5.12, donde se muestran las uniones con el resto de elementos del módulos que se han descrito en la sección 5.1.1

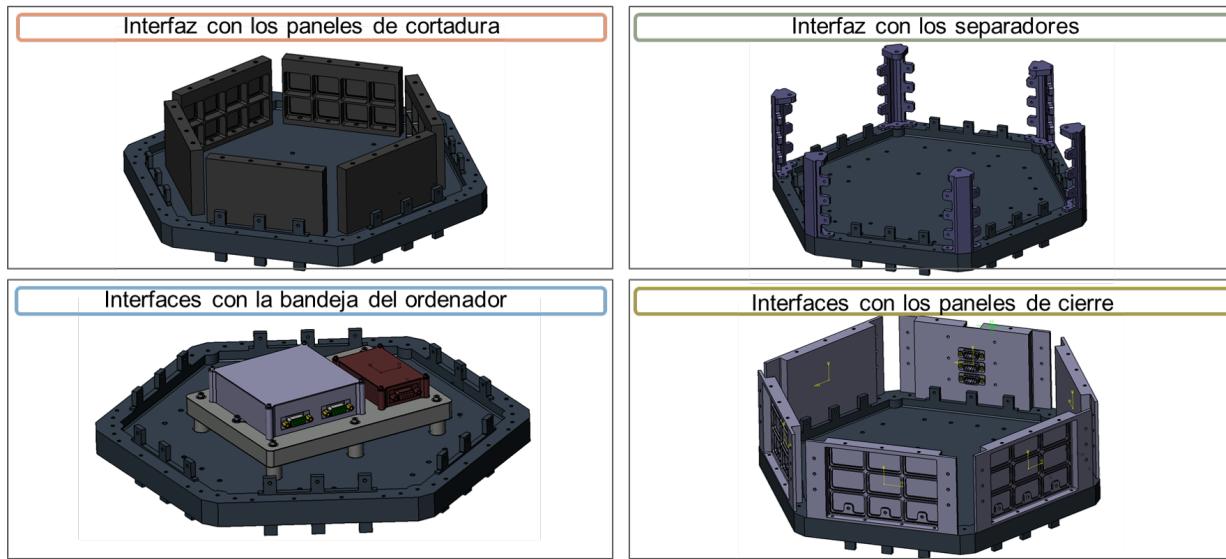


Figura 5.12 Interfaces internas

#### 5.1.4. Parametrización

Dado que uno de los principales objetivos es la creación de un diseño paramétrico que permita al cliente escoger unas características concretas para la opción del satélite que desee, es esencial implementar una metodología de parametrización robusta que modifique la geometría de, en este caso la bandeja, adecuadamente. Dada la extensión de las leyes y parámetros usados para definir esta pieza, se procede a definir los parámetros en distintos niveles, de modo que se pueda separar los parámetros de más alto nivel, aquellos con los que interacciona la GUI, de los parámetros que definen la geometría de la bandeja, y, por último, el resto de parámetros que dependen a su vez de los dos niveles superiores. De este modo, al cambiar alguno de los parámetros de alto nivel, se provoca una cascada de cambios hacia el resto de parámetros de niveles inferiores. La división de parámetros según estos tres niveles puede verse en la Figura 5.13.

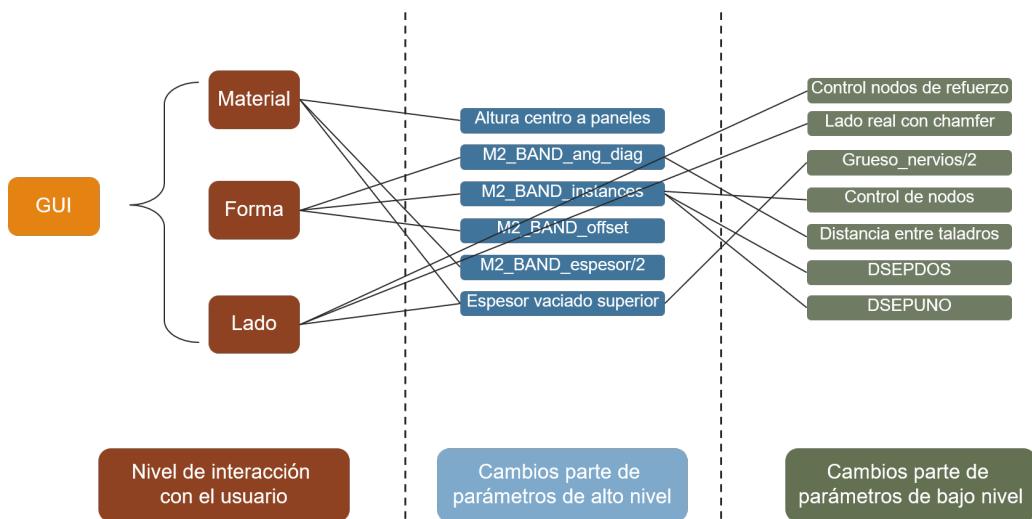


Figura 5.13 División de los parámetros referentes a la bandeja en varios niveles.

La razón por la que se decide implementar esta metodología a la hora realizar el diseño de la bandeja, es que dado el proceso iterativo de diseño del módulo, es necesario que sea sencillo producir

cambios a todos los componentes del árbol que definen la pieza. Esto cobra especial relevancia a la hora de ensamblar los componentes del módulo, donde se requiere que un gran número de parámetros de todas las piezas se relacionen entre sí, este fue el caso de las uniones con los paneles de cierre y la bandeja, donde era especialmente necesario que cuadrasen las uniones, tanto con los dientes de la bandeja, como con la base de la bandeja, para todas las opciones de geometría y material disponibles.

### 5.1.5. Metodología de diseño con la herramienta CATIA

A la hora de implementar los conceptos de diseño estudiados en la herramienta CATIA, se ha pretendido usar una metodología que permita utilizar el menor número posible de *sketches*, así como de *constraints*, haciendo especial hincapié en no usar *proyecciones* ya que al parametrizar el diseño estas se pierden, provocando una cascada de errores en el producto. Para ello se ha hecho un gran uso de los patrones, que pueden ser parametrizados de manera que faciliten la conversión de la planta de cuadrada a hexagonal, y viceversa. Del mismo modo, se han utilizado un gran número de operaciones *booleanas* para facilitar la parametrización de las piezas. Estas herramientas son de gran utilidad y muestran la gran potencia que tiene la herramienta CATIA para el diseño paramétrico, ya que con un solo *sketch* se puede crear un diseño complejo de manera sencilla.

## 5.2. Bandeja interior y ordenador

Durante los estudios preliminares de diseño del modulo 2 se detecto el problema que suponen las vibraciones para con la electrónica embarcada en satélites. Esto se consideró un riesgo de probabilidad baja pero severidad muy alta, por lo que se consideró que debía ser mitigado mediante el diseño. Por ello, uno de las primeras decisiones que se tomaron fue la inclusión de una bandeja que mitigara los efectos que las vibraciones durante el lanzamiento, la separación del vehículo lanzador y el transporte en tierra previo al lanzamiento. En este apartado por tanto se van a detallar los diseños de la bandeja interior, del ordenador y la integración de ambos entre si y con la estructura del resto del modulo.

### 5.2.1. Ordenador

El diseño del ordenador se abordo inicialmente desde dos puntos de vista distintos, el diseño completo del ordenador y la selección de un ordenador comercial al que se le realizarían ciertas modificaciones de ser necesarias. Tras valorar profundamente ambas ideas se opto por la segunda de ellas, seleccionando dos ordenadores comerciales que ofrecían todas las prestaciones que el proyecto necesitaba.

Los ordenadores seleccionados fueron el ordenador ISIS On-Board Computer, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en **RD03**, y el ordenador MICROSATPRO, cuyas especificaciones técnicas se pueden encontrar en **RD02**. De aquí en adelante el primero de estos ordenadores sera designado como ordenador A, mientras que el segundo será el ordenador B.



Figura 5.14 Ordenador A. ISISpace On Board Computer



Figura 5.15 Ordenador B. MICROSATPRO

Como se puede ver en las imágenes, el ordenador A requería del diseño de un alojamiento. Para ello se optó por el diseño de una caja de instrumentación en aleación de aluminio 2024-T85. El diseño de esta caja de instrumentación supuso una reducción del tamaño en planta respecto al ordenador B, pero en contraparte también supuso un aumento en la altura respecto al otro ordenador.

Posteriormente se localizo otro riesgo, el sobrecalentamiento del ordenador como consecuencia del gran consumo de potencia de la tarjeta de comunicaciones. Como solución de diseño para mitigar este riesgo se optó por la construcción de un alojamiento para la tarjeta de comunicaciones, la cual en algunas de las posibles configuraciones del satélite se encontrará fuera del ordenador principal, evitando de este modo los problemas de sobrecalentamiento mencionados. Sin embargo, en las configuraciones más pequeñas esta separación de componentes no ha podido ser implementada debido a la escasa superficie disponible para alojar todo la electrónica.

Todas las configuraciones ofrecidas en cuanto a electrónica se detallan más adelante.

### 5.2.2. Bandeja interior

Como se ha mencionado en el apartado anterior, se vio necesario el diseño de una bandeja que ejerciera de soporte para la electrónica del modulo y que estuviera aislada de las vibraciones mediante 6 uniones flexibles. El diseño de esta bandeja se ha realizado en dos materiales distintos, un material compuesto monolítico de fibra de carbono embebido en matriz epoxi y un material compuesto con núcleo de honeycomb de aluminio y pieles metálicas.

Los materiales seleccionados han sido:

	ALUMINIO 2024-T85	CFRP
<i>Young Modulus E</i>	7.31e10 N/m <sup>2</sup>	2,4e11 N/m <sup>2</sup>
<i>Density ρ</i>	2780 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>
<i>Yield Strength σ<sub>R</sub></i>	4.14e8 N/m <sup>2</sup>	3,8e9 N/m <sup>2</sup>
<i>Poisson Ratio Η</i>	0,33	0,02

Tabla 5.2 Propiedades Materiales

En cuanto al material del núcleo de aluminio, se ha optado por emplear una configuración 2024 Hexagonal Aluminium Honeycomb 1/4 - 2024 - 0.0015.



Figura 5.16 Bandeja del ordenador en Honeycomb Al 2024

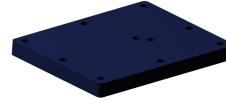


Figura 5.17 Bandeja del ordenador en material compuesto monolítico CFRP

Para realizar las uniones de esta bandeja con la bandeja inferior se han empleado unas uniones flexibles que sirvan para minimizar las vibraciones transmitidas a la electrónica. Estas uniones se explican en el capítulo 6.

Del mismo modo al tratarse de dos configuraciones de material compuesto se ha requerido del uso de insertos para realizar las uniones entre la electrónica del modulo y la bandeja interior, las cuales

cuentan se han realizado en métricas M3 y M4. Todas estas uniones serán también explicadas en el capítulo 6.

### 5.2.3. Montaje

Se ha realizado un montaje parametrizado en base a los parámetros de alto nivel susceptibles de modificación por parte del usuario. Para ello ha sido necesaria una parametrización robusta que gobierne el tamaño de la bandeja interior y de la colocación de todos los elementos. Los parámetros de alto nivel en cuestión han sido:

- Lado de la bandeja principal del módulo.
- Selección de ordenador. A o B.
- Material bandeja interior.

Las distintas combinaciones de estos parámetros y sus efectos sobre el montaje de la bandeja interior y de la electrónica del satélite resultan en 8 configuraciones distintas, suponiendo cada una de ellas una solución de diseño diferente. Estas 8 configuraciones son:

1. Bandeja interior en Hexagonal Aluminium Honeycomb, ordenador A y tarjeta de comunicaciones externa.
2. Bandeja interior en CFRP, ordenador A y tarjeta de comunicaciones externa.
3. Bandeja interior en Hexagonal Aluminium Honeycomb, ordenador A y tarjeta de comunicaciones interna.
4. Bandeja interior en CFRP, ordenador A y tarjeta de comunicaciones interna.
5. Bandeja interior en Hexagonal Aluminium Honeycomb, ordenador B y tarjeta de comunicaciones externa.
6. Bandeja interior en CFRP, ordenador B y tarjeta de comunicaciones externa.
7. Bandeja interior en Hexagonal Aluminium Honeycomb, ordenador B y tarjeta de comunicaciones interna.
8. Bandeja interior en CFRP, ordenador B y tarjeta de comunicaciones interna.

En la Figura 5.18 se observa el product tree correspondiente al montaje de esta parte del modulo 2. El montaje de esta parte ya supone una alta complejidad y se ha diseñado de modo que su montaje con el resto del módulo sea lo más sencilla posible.

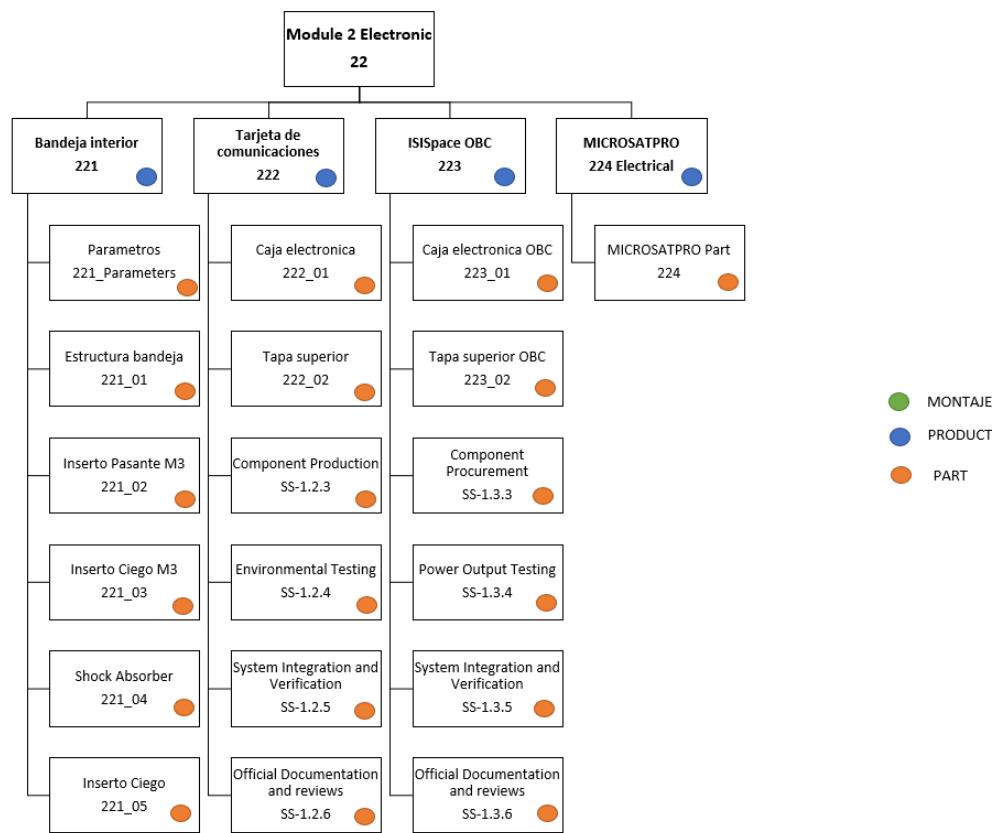


Figura 5.18 Product Tree del montaje de la bandeja interior y el ordenador

## 5.3. Paneles de cierre

En este apartado se expondrá el diseño de la geometría y la parametrización de los paneles de cierre del módulo, que contarán con interfaces con la bandeja del módulo, la del módulo de experimentos y con los separadores.

Las piezas relativas al panel de cierre y el producto final se pueden encontrar en la carpeta 25. La organización de la carpeta es la siguiente :

- "250" : producto final del panel de cierre
- "250-parámetros" : parte que contiene los parámetros del panel que pueden ser modificados
- "251-01" : parte principal del panel
- "251-02" : helicoides para la unión con la bandeja superior
- "251-03" : helicoides para la unión con la placa de protección del cableado
- "252-01" : placa de protección del cableado
- "253-01" : conector eléctrico para la interfaz eléctrica con los otros módulos
- "254-01", "254-02", "254-03" : tornillo, arandela y tuerca para uniones conectores / panel

Se utilizan uniones de métrica 3, con las características expuestas en la Sección 6. Los taladros son pasantes para las uniones con la bandeja inferior y los separadores, y atornilladas para las uniones con la bandeja superior y la placa de protección.

El material elegido para el panel es el Aluminio 6061.

ALUMINIO 6061	
<i>Young Modulus E</i>	6,89e10 N/m <sup>2</sup>
<i>Density ρ</i>	2700 kg/m <sup>3</sup>
<i>Yield Strength σ<sub>R</sub></i>	2,76e8 N/m <sup>2</sup>
<i>Poisson Ratio</i>	0,33

Tabla 5.3 Propiedades Aluminio 6061

### 5.3.1. Geometría

En primer diseño se ha propuesto un panel de cierre en forma Z (figura 5.19), que permitía contar con uniones con la bandeja inferior en el exterior y uniones con la bandeja superior al interior. Esto facilitaba la compatibilidad de las uniones con los paneles de cierre de la bandeja superior, ya que ciertas uniones se encontraban en una zona más exterior y las otras en una más interior. Al final, se ha decidido unir cada bandeja con los dos paneles de cierre (inferior y superior) con uniones pasantes por la bandeja y el panel superior, y atornilladas por el panel inferior. Entonces se ha cambiado de geometría el panel y se propone un panel de cierre en forma U (figura 5.20). Los agujeros con la bandeja inferior son pasantes, y los con la bandeja superior son atornillados. Los soporte de las uniones con los separadores son a la extremidad exterior del panel.

Luego se ha añadido un vaciado orthogrid que permite aligerar la pieza considerablemente sin disminuir su resistencia a tracción/compresión. Se ha elegido un vaciado en T, que suministra la mayor resistencia. La matriz del vaciado puede tener 2 o 3 líneas y 3 o 5 columnas, dependiendo de las dimensiones del panel. Por la última línea del vaciado, se ha añadido soportes para las uniones horizontales con la bandeja.

Se ha parametrizado la pieza, de manera que se puede insertar unas cavidades eléctricas para los conectores que permiten una conexión eléctrica con los otros módulos. Las tres cavidades son situadas al centro del panel. Se conectan 3 conectores a esas cavidades, uno por cada modulo. Al panel con las

cavidades se añade una placa de protección del cableado que se fija al panel. Esta placa se une al panel a través puntos fuertes que se han sido añadidos al panel (figura 5.21) Se había pensado hacer pasar el cableado por un hueco en las bandejas y los paneles de cierre como se puede ver en la figura 5.21, con la idea de no añadir anchor al satélite. Sin embargo después consultación con los otros módulos se ha concluido que no era posible, ya que los otros módulos no pudieron hacer este hueco. Entonces se cambió la tapa de protección para cumplir con el requisito de ensamblaje final.

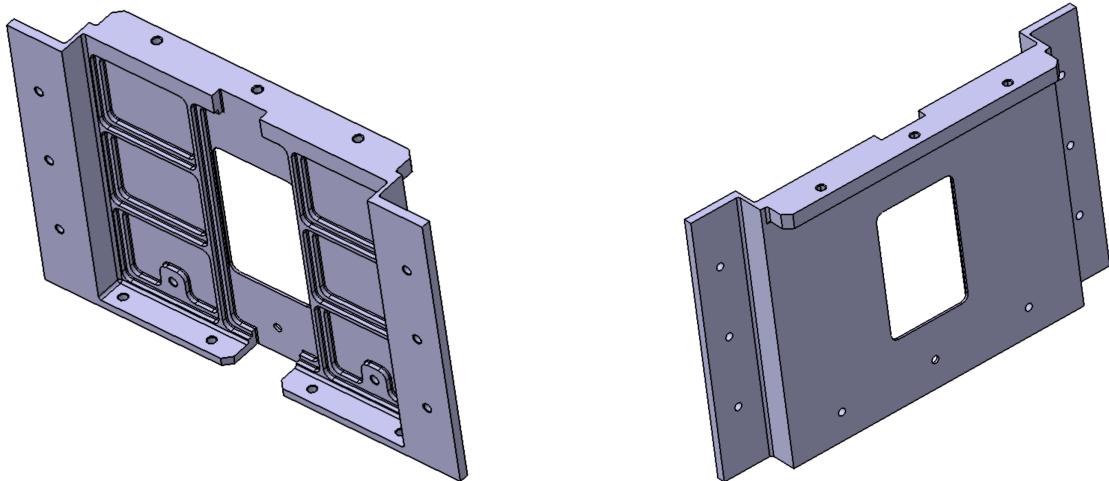


Figura 5.19 Panel de cierre en Z

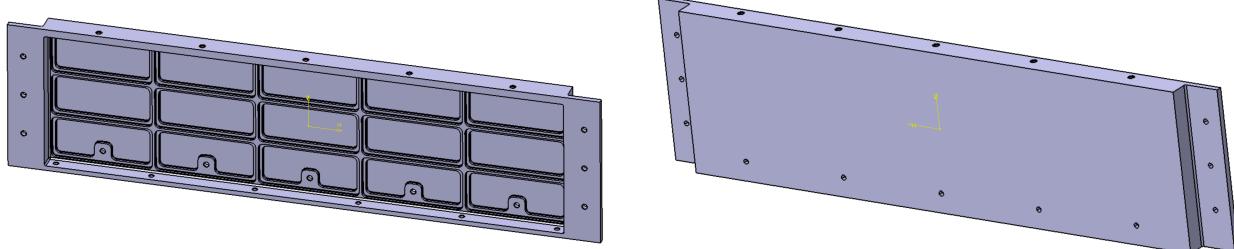


Figura 5.20 Panel de cierre definitivo

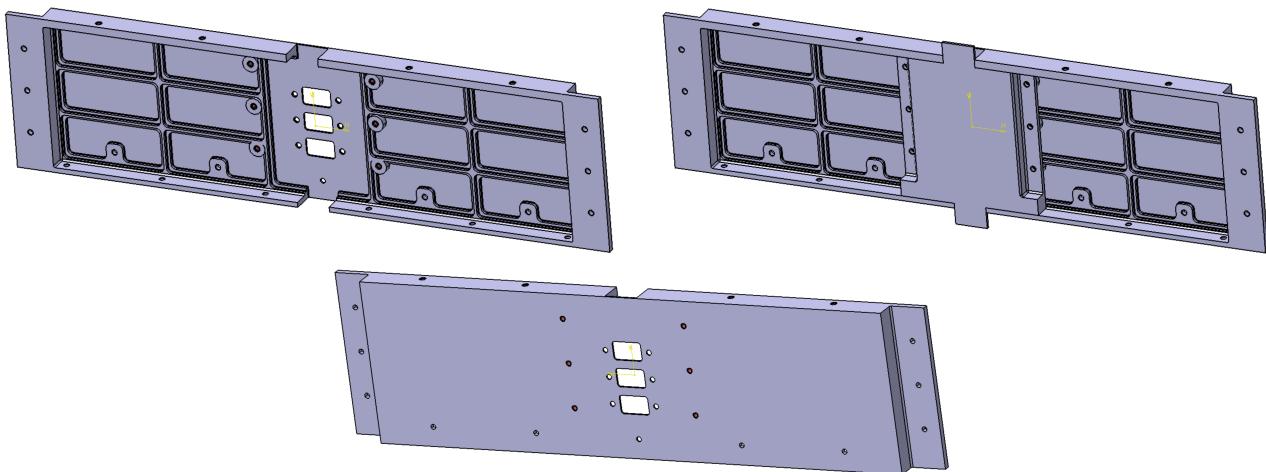


Figura 5.21 Panel de cierre con las cavidades eléctricas

### 5.3.2. Parametrización

Para simplificar el proceso de diseño y montaje, se ha utilizado parámetros para cada dimensión del panel, sin embargo el cliente solo tiene acceso al anchor del panel a través de su elección de tamaño para el satélite.

En la parte 250-parámetros se puede encontrar los parámetros que permiten que la geometría del panel cuadra con la geometría elegida por el cliente (Figura 5.4).

Parámetro	Descripción
Altura	Altura del módulo 2
Anchor	Dimensión del lado competente del módulo, anchor total del panel
Tipo	Determina si el panel es normal o permite la conexión eléctrica del satélite

Tabla 5.4 Parámetros del panel de cierre (250)

En la tabla 5.5, se puede encontrar los parámetros principales de la pieza 251-01. Para hacer más legible el archivo, el resto de los parámetros así como las fórmulas de construcción se encuentran en los parámetros ocultos y las relaciones ocultas.

Parámetro	Descripción
Altura-Módulo	Altura del módulo 2
Anchor-Módulo	Dimensión del lado competente del módulo, anchor total del panel
Espesor-Panel	Espesor del panel sin el vaciado
Número-Anchor-Vacíos	Numero de vacíos en el anchor del panel
Número-Altura-Vacíos	Numero de vacíos en la altura del panel
Espesor-Panel-Mínima	Espesor del panel al centro de los vacíos
Tipo-Panel-Cierre	Controla si hay una abertura para la conexión eléctrica del satélite

Tabla 5.5 Parámetros de la pieza 251-01

La ley "LeyTipoPanel" permite controlar el tipo de panel : cambia la geometría del panel y añade las cavidades eléctricas y la placa de protección del cableado. Además, añade los helicoils necesarios para la unión entre el panel y la placa.

La ley "LeyUniones" hace coincidir los helicoils con los agujeros en el panel.

La ley "LeyParametros" relaciona los parámetros de cada pieza del panel.

La matriz del vaciado está controlada en una ley del assembly general, según esta ley :

if Anchor-Módulo > 260 mm  $\Rightarrow$  Número-Anchor-Vacíos = 5  
 if Anchor-Módulo  $\leq$  260 mm  $\Rightarrow$  Número-Anchor-Vacíos = 3

if Altura-Módulo > 80 mm  $\Rightarrow$  Número-Altura-Vacíos = 3  
 if Altura-Módulo  $\leq$  80 mm  $\Rightarrow$  Número-Altura-Vacíos = 2

## 5.4. Paneles de cortadura

### 5.4.1. Geometría

En este apartado se expondrá el diseño de la geometría y la parametrización de los paneles de cortadura del módulo.

Las piezas relativas al panel de cortadura y el producto final se pueden encontrar en la carpeta 24. La organización de la carpeta es la siguiente :

"241" : producto final del panel de cierre

"241\_01" : parte principal del panel de cortadura

"241\_01\_Parameters" : parte que contiene los parámetros del panel

Los paneles de cortadura contarán con interfaces con la bandeja de este módulo y la bandeja superior. Además, deberán coincidir con la posición de los paneles de cortadura del módulo inferior.

En un primer momento se propuso un panel de cortadura en forma de Z, para facilitar las uniones con la bandeja inferior, la cual está unida a la vez con los paneles de cortadura del módulo 1. El diseño propuesto se puede observar en la Figura 5.22.

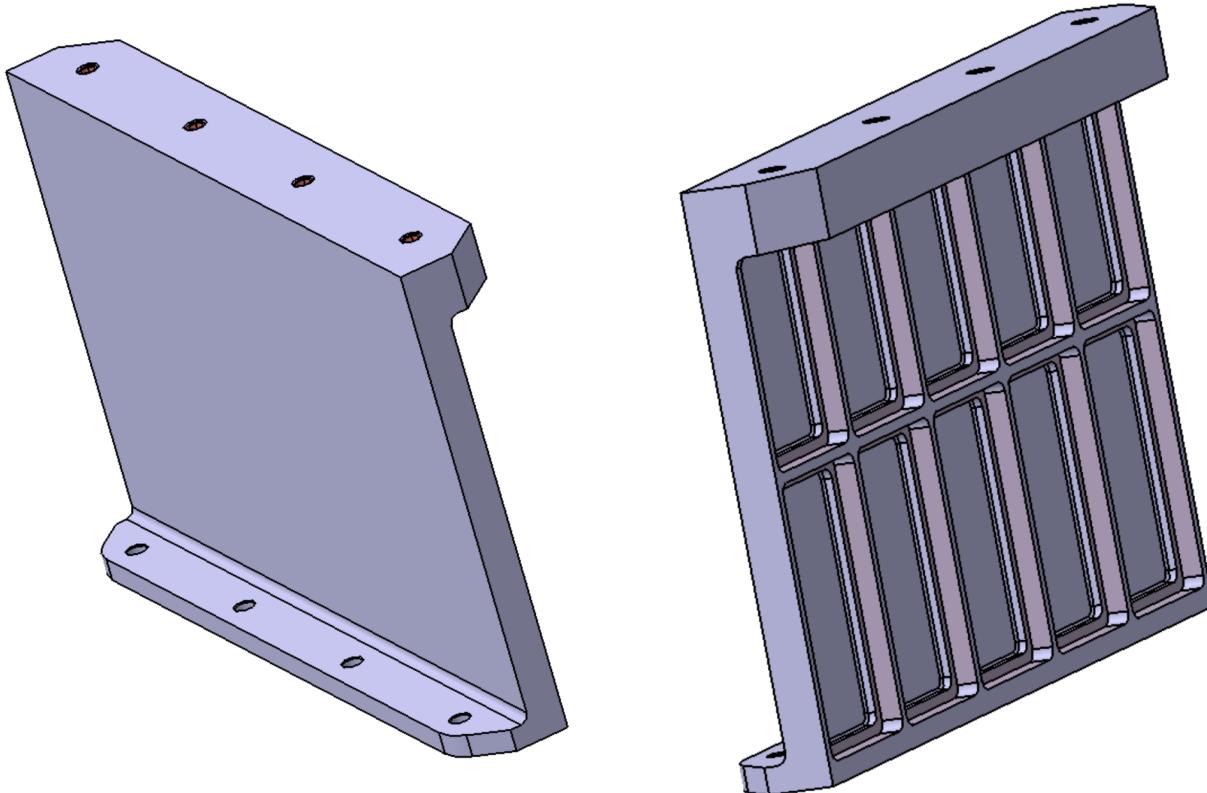


Figura 5.22 Panel de cortadura inicial

A la hora de cuadrar la unión a la bandeja con el módulo inferior se vio que esta manera no era la más adecuada y se propuso cambiar el diseño al de la Figura 5.23. El material utilizado a la hora de diseñar la pieza es el Aluminio 6061, con características de la Tabla 5.3. Con tal de aligerar la pieza y cumplir con los requisitos peso se realiza un vaciado ortogrid.



Figura 5.23 Panel de cortadura final

Tanto las uniones con la bandeja de arriba como con la bandeja de abajo son de métrica 4, con las características expuestas en la Sección 6. Los taladros inferiores son pasantes pero los superiores son ciegos y por tanto deberán llevar helicoils, con las características expuestas en la Tabla ??.

#### 5.4.2. Parametrización

Con tal de modificar el panel de cortadura a medida que el proyecto evoluciona, se parametrizan todas las dimensiones, sin embargo, el cliente no podrá modificar la pieza sino que esta cambiará su dimensión y posición en función de la geometría y de las dimensiones de la bandeja. A su vez, el número de vaciados y las uniones cambiarán con la longitud del panel.

## 5.5. Separadores

En este apartado se expondrá el diseño de la geometría y la parametrización de los separadores del módulo. El diseño de los separadores vendrá determinado en gran medida por sus interfaces. Deberá unirse a las bandejas inferior y superior y servir de apoyo a los paneles de cierre. Además, dependiendo de las opciones seleccionadas, la unión con las bandejas deberá coincidir con la unión de los separadores del resto de módulos con las mismas.

### 5.5.1. Geometría

La geometría de esta pieza vendrá determinada por la necesidad de soportar parte de las cargas transmitidas entre las bandejas, así como por las características de sus uniones a otros elementos.

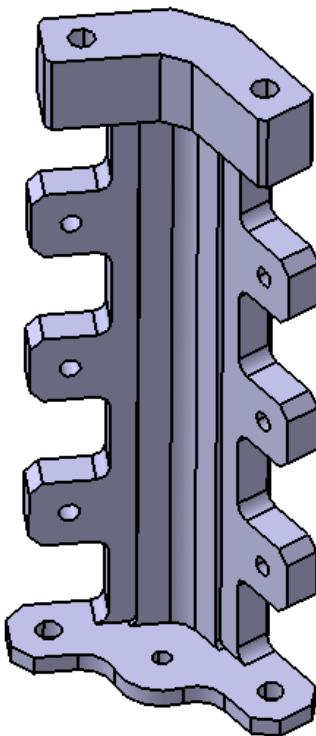


Figura 5.24 Separadores del Módulo

coincidido con las esperadas, por lo que se ha alcanzado una solución de compromiso, como se ha mencionado, se harán coincidentes los taladros exteriores con el separador del módulo inferior, aumentándolos a M4, mientras que el taladro central se mantendrá en su función original.

Por un lado se contará con una parte superior, que se introducirá en la bandeja superior, y se unirá a la misma mediante dos tornillos M4 no pasantes, roscados en helicoils incluidos dentro del separador.

Por otro lado, la parte inferior del separador se encargará de la unión con la bandeja inferior, en este caso se emplearán 3 tornillos uno de M3 roscado en la bandeja, y dos de M4 roscados en el separador inferior. En un principio se eligió un diseño con 3 tornillos pero más separados de la esquina con el objetivo de dejar espacio a las uniones de la bandeja con el separador del módulo inferior, sin embargo, las características de los separadores del módulo inferior no han

En cuanto a la última de las interfaces, para las uniones con los paneles de cierre se incluirán 3 dientes a cada lado del separador. El ancho de estos dientes vendrá determinado por el Helicoil escogido, según lo expuesto en el apartado Uniones. Las dimensiones de estos dientes se determinarán también según la distancia necesaria de la unión al borde de la pieza, siguiendo el criterio general de mantener una distancia mayor a  $1,5d$  entre el límite del material y el eje del taladro. Se elige este criterio por ser mas conservador que el presentado por el catálogo de Helicoil.

En la figura 5.26 se muestra un corte de la sección del separador, la sección ha sido diseñada para aportar una cierta forma de sección en T en cada uno de los lados del separador. Uno de los lados de estas T (el exterior) será de mayor dimensión para acomodar al panel de cierre.

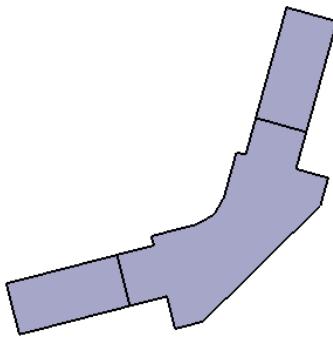


Figura 5.25 Sección del separador

Por último en cuanto a geometría, cabe resaltar que se realizarán venteados de las uniones no pasantes. En el caso del separador estas se encuentran únicamente en la unión con la bandeja superior (solo en algunos casos, como se verá a continuación) y se venteará por debajo de las mismas para evitar que el encaje en la bandeja superior pueda bloquear el venteado.

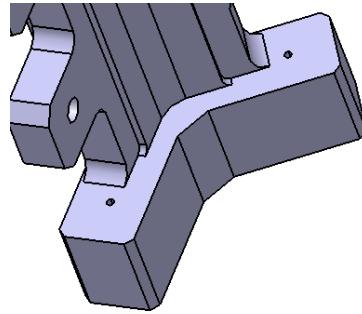


Figura 5.26 Orificios de venteado

### 5.5.2. Parametrización

Esta pieza se encuentra ligada únicamente a dos de los parámetros generales del módulo, concretamente, la altura y la geometría de la planta. No existirá una dependencia con el ancho de la bandeja, ya que las dimensiones de los separadores en estas direcciones vienen definidas en base a la métrica de los tornillos necesarios. Sin embargo, para que sea posible la conexión entre módulos, los separadores tendrán que adaptarse a la geometría de la bandeja superior.

En cuanto a la altitud introducida por el usuario, las diferentes altitudes se reflejarán en la separación entre los dientes, que se encontrarán siempre equiespaciados en el espacio libre del separador, i.e. el espacio que queda libre tras incluir las bases inferior y superior. El cambio de planta de cuadrada a hexagonal por otro lado, hará cambiar el ángulo de las esquinas del módulo, y los separadores de adaptarán automáticamente a este nuevo ángulo de las esquinas.

El último parámetro a tener en cuenta será el cambio del material de la bandeja del módulo de experimentos. Este cambio llevará a un rediseño completo de la base superior. Por un lado, el material compuesto impedirá contar con una cavidad para la parte superior del separador, por lo que deberá estar contenido por completo en este módulo. Por otro, el ancho de los insertos complicaba al módulo superior incluir tantas uniones en tan poco espacio, por lo que se decide adaptarse a su nuevo diseño y sustituir las dos uniones M4 por una M5, que además unirá el separador tanto a la bandeja como al separador superior, al contar con 3 puntos de unión en la base inferior, se podrá prevenir el giro del separador.

Estas nuevas condiciones llevan a varias decisiones de diseño:

Para seleccionar la posición de este taladro se adopta una solución de compromiso conjuntamente con el módulo 3, ya que una posición muy alejada lleva a problemas de diseño con este separador, pero una muy cercana a la esquina no deja espacio a la cabeza del tornillo sobre el separador del módulo superior.

Por otro lado, esta nueva base, al no poder introducirse en la bandeja superior, ocupará espacio en nuestro módulo, dada la nueva métrica de la unión, este espacio ocupado podría ser excesivo, por lo que se decide emplear en este caso taladros pasantes para reducir el tamaño necesario.

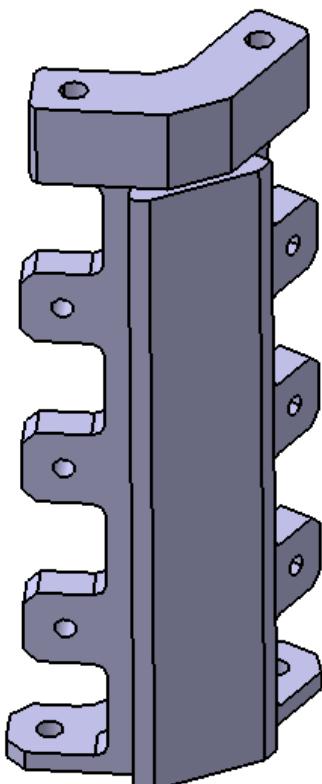


Figura 5.27 Separador para bandeja superior metálica

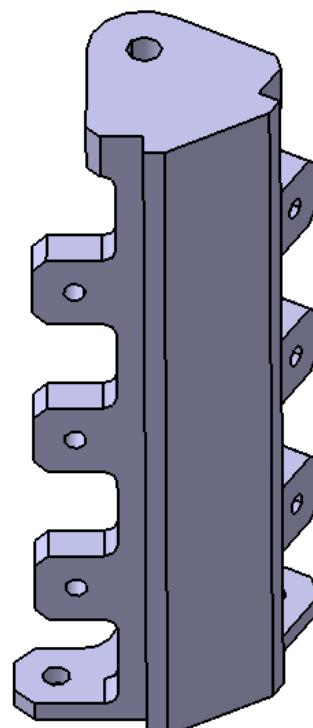


Figura 5.28 Separador para bandeja superior de material compuesto

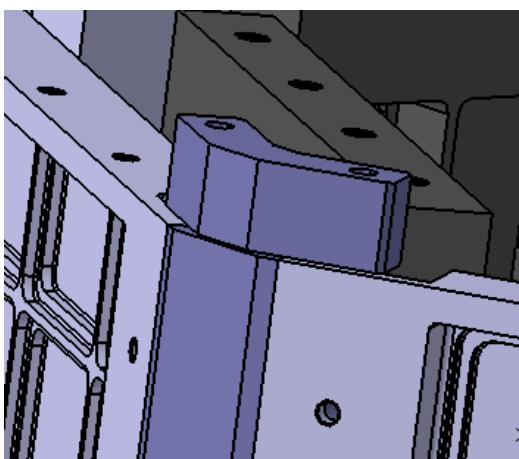


Figura 5.29 Ensamblaje del separador para bandeja superior metálica



Figura 5.30 Ensamblaje del separador separador bandeja superior de material compuesto

## 6. Uniones

En este apartado se exponen las características de los taladros, helicoils, insertos y tornillos utilizados para las uniones del módulo. Todos los parámetros siguen las normas establecidas por el **AD01** y el **AD02**, así como el **RD01**.

### 6.1. Taladros

Se utiliza uniones atornilladas de métrica 3 y de métrica 4, con tornillos cortos, como se recomienda para las aplicaciones en el campo espacial. En la tabla 6.1 se puede ver las diferentes métricas utilizadas para las uniones a lo largo del módulo.

Para las uniones de los paneles de cierre, se utiliza métrica 3 ya que el numero de uniones es suficiente para justificarlo.

Dimensión	Valor
Thread Diameter	3,65 mm
Hole Diameter	3,2 mm
Thread Depth	4,5 mm
Pitch	0,5 mm

Figura 6.1 Métrica 3

Dimensión	Valor
Thread Diameter	4,91 mm
Hole Diameter	4,2 mm
Thread Depth	8,8 mm
Pitch	0,7 mm

Figura 6.2 Métrica 4

Dado el requisito de montaje en una única dirección, no se emplearán tuercas, sino los tipos de uniones expuestos en la figura , mediante Helicoils en el caso de que se rosque en aluminio, o insertos específicos para material compuesto en caso de que se rosque en el mismo.

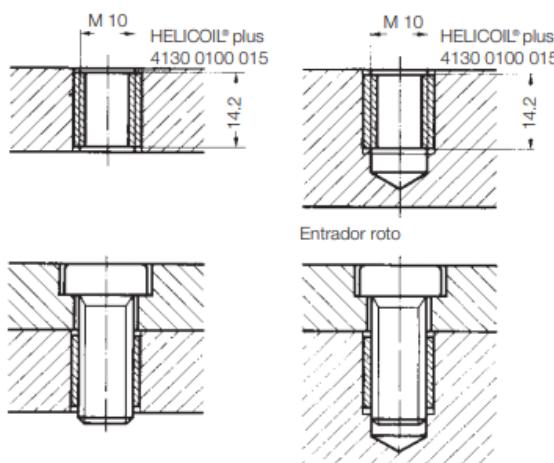


Figura 6.3 Tipos de unión empleados

Unión	Métrica
Bandeja - Separadores	M3
Bandeja - Paneles de cierre	M3
Bandeja - Paneles de cortadura	M4
Bandeja - Bandeja Ordenador	M3
Separadores - Paneles de cierre	M3
Bandeja Ordenador - Ordenador	M3

Tabla 6.1 Métricas utilizadas

## 6.2. Helicoils

En las uniones de taladros ciegos, cuando el material es algún tipo de metal inoxidable se deben utilizar Helicoils para obtener terrajados muy resistentes. Los Helicoils son de material Acero A2 cuyas propiedades se pueden encontrar en la tabla 6.2

<i>Young Modulus E</i>	190E9 N/m <sup>2</sup>
<i>Density ρ</i>	7750 kg/m <sup>2</sup>
<i>Yield Strength σ<sub>R</sub></i>	450E6 N/m <sup>2</sup>

Tabla 6.2 Propiedades Acero A2

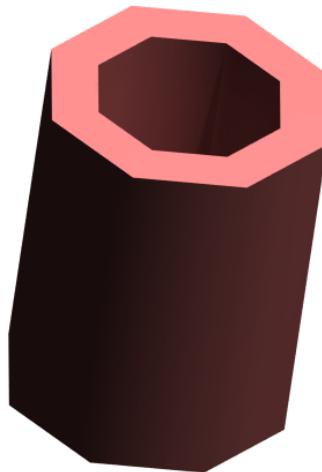


Figura 6.4 Helicoil

Dimensión	Valor
Thread Diameter	3,65 mm
Hole Diameter	3,2 mm
Thread Depth	4,5 mm
Pitch	0,5 mm

Tabla 6.3 Helicoil métrica 3

Dimensión	Valor
Thread Diameter	4,91 mm
Hole Diameter	4 mm
Thread Depth	6 mm
Pitch	0,7 mm

Tabla 6.4 Helicoil métrica 4

## 6.3. Tornillos

Los tornillos y las arandelas son en acero carbono de grado 8.8, cuyas propiedades se pueden encontrar en la tabla 6.5

<i>Young Modulus E</i>	200E9 N/m <sup>2</sup>
<i>Density ρ</i>	7870 kg/m <sup>3</sup>
<i>Yield Strength σ<sub>R</sub></i>	800E6 N/m <sup>2</sup>

Tabla 6.5 Propiedades Acero C 8.8

Se ha diseñado un producto para facilitar la inserción conjunta del tornillo y la arandela. En la Figura 6.5 se utiliza los siguientes componentes:

- Arandela: ISO 7089 Washer 3x7 Steel Grade a Plain Normal Series.2
- Tornillo: EN ISO 4762 Screw M3x6 Steel Hexagon Socket Head Cap

En cambio para el tornillo de la Figura 6.6 se utilizan:

- Arandela: ISO 7089 4x9 Steel Grade a Normal Series Plain Washer
- Tornillo: EN ISO 4762 M4x25 Steel Hexagon Socket Head Cap Screw New 3



Figura 6.5 Tornillo corto



Figura 6.6 Tornillo largo

El tamaño varia según la unión. Por ejemplo, para la unión del panel de cortadura con la bandeja y el panel de cortadura del módulo inferior se necesita el tornillo largo.

## 6.4. Insertos

Cuando el material utilizado son materiales compuestos se deben emplear insertos para poder realizar las uniones atornilladas. Tomando como referencia el **RD05** se han diseñado los insertos rosados y no roscados mostrados en las Figuras 6.7 y 6.8. El primero de estos insertos ha sido empleado para realizar las uniones tanto del ordenador A como de la tarjeta de comunicaciones con la bandeja interior. El segundo se ha empleado para realizar la unión pasante que fija la bandeja a los shock absorbers.



Figura 6.7 Inserto roscado M3 ciego



Figura 6.8 Inserto no roscado M3 pasante

Siguiendo el documento de referencia **RD04** se diseña un modelo CATIA del inserto de la Figura 6.9. Se ha diseñado de métrica 3 para las uniones de la bandeja a los paneles de cierre y de métrica 4 para la unión con los paneles de cortadura.



Figura 6.9 Trisert-3 M3

## 7. Cableado

### 7.1. Cableado interior del modulo

Dada la gran cantidad de configuraciones y la gran variación entre ellas en cuanto a conexiones eléctricas, no se conseguido concluir el diseño completo del cableado dentro del tiempo disponible. Sabiendo que el modulo tiene 32 configuraciones diferentes, la parametrization del cableado ha supuesto grandes dificultades. De hecho, se tendría que hacer un geométrica bundle para cada configuración del ordenador, y se tendría que parametrizar los soportes de este rutado para cada forma en planta del modulo y posición de la tarjeta de comunicaciones.

Aunque este objetivo no se ha logrado, se presenta el diseño de este cableado para unos casos mas acotados. A continuación se muestra el diseño presentado para una configuración en planta hexagonal, con el ordenador ISISspace y la tarjeta de comunicaciones en el exterior. Para este caso se logra un cableado parametrizado para los cambios de dimensiones o de material de la bandeja.

Geometría en planta	Hexagonal
Tarjeta de comunicación	Separada
Ordenador	ISIS
Dimensiones	400 a 381mm (para contar con la tarjeta de comunicaciones en el exterior)
Material	Cualquiera

Tabla 7.1 Configuración para el cableado

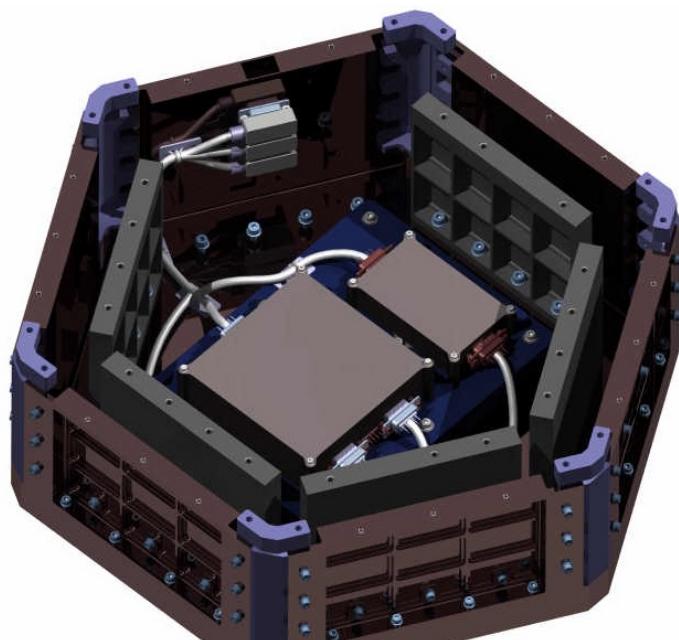


Figura 7.1 Rutado geométrico

Se emplearan backshell a 90 grados para realizar este giro cerrado en el poco espacio disponible entre conectores y paneles de cortadura, que se conectan a los conectores del panel de cierre, y bridas adaptativas para rodear los paneles de cortadura y llegar a los diferentes conectores de las tarjetas del ordenador.

Por supuesto, una de las mejoras propuestas en el capítulo 10. Propuestas de mejora es completar este diseño del cableado, para que sea compatible con cualquier configuración.

## 7.2. Tapa de protección del cableado exterior

Como se explique en la sección 5.3, la tapa propuesta en primer lugar seria una buena opción para limitar la dimensión del satélite, sin embargo no se puede unir con los otros módulos. Al realizar el ensamblaje final del satélite, se ha decidido realizar una tapa de protección única para los tres módulos, realizada por este grupo.

Se propone la tapa de la figura 7.2, que es parametrizada de forma que el montaje con los tres módulos diferentes sería bastante intuitivo. El mayor problema se pone con el modulo 3, que por culpa de la cámara no puede hacer coincidir la abertura para el cableado con los otros dos. Se soluciona este problema con la geometría de la tapa de protección de la figura 7.2. La pieza está subida en la carpeta del montaje del satélite entero, pieza "tapa.CATPart".

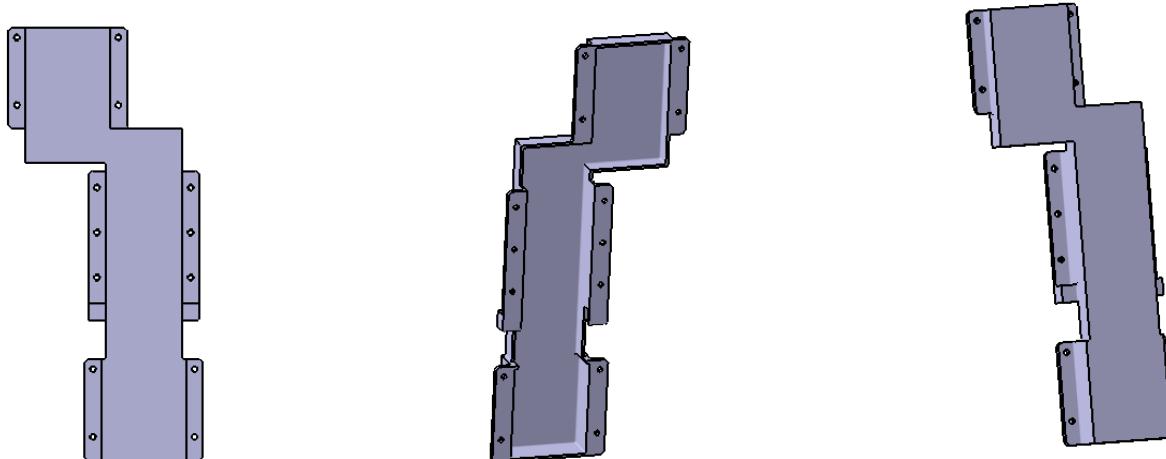


Figura 7.2 Tapa de protección del cableado exterior

## 8. GUI

En este apartado se expone la *Graphical User Interface* diseñada para facilitar al cliente el cambio de parámetros.

La interfaz se realiza con el *Designer App* de MATLAB. Esta modificará un archivo Excel donde se guardaran los parámetros elegidos por el cliente y estos se relacionaran con los parámetros del módulo diseñado en Catia.

La interfaz tiene dos pestañas, una para el diseño de la bandeja y otra para la configuración del ordenador.

En la Figura 8.1 se observa la pestaña de inicio que se abre al abrir la GUI. El cliente puede escoger la geometría de la bandeja pulsando encima de las imágenes.

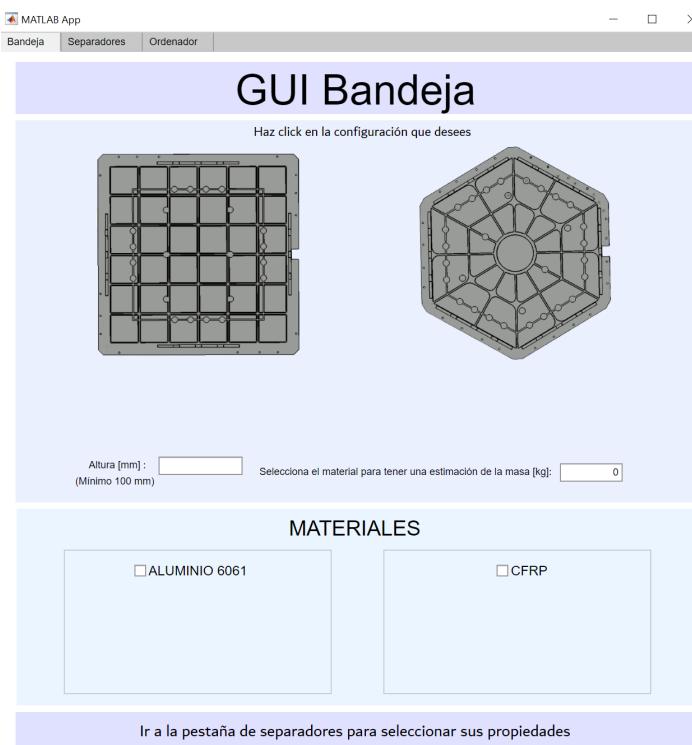


Figura 8.1 Interfaz de inicio

En la Figura 8.2 se observa la interfaz que resulta de seleccionar la geometría cuadrada, y la Figura 8.3 para la geometría hexagonal. En ambos casos los parámetros a seleccionar por el cliente son el lado de la bandeja y la altura. Con tal de clarificar las medidas que se deben escoger aparece una imagen mostrándolas.

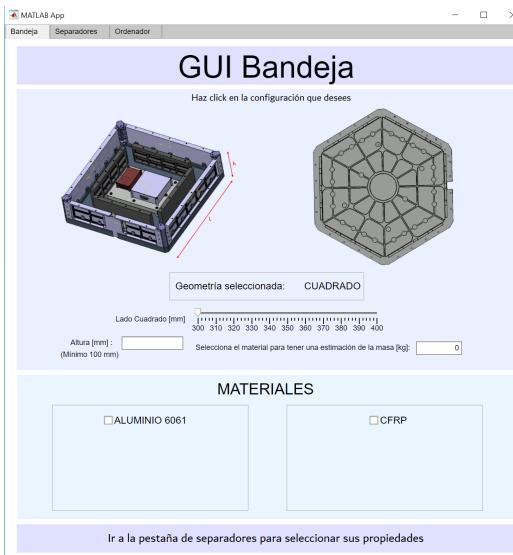


Figura 8.2 Geometría cuadrada seleccionada



Figura 8.3 Geometría hexagonal seleccionada

Como se indica, con tal de obtener una estimación del peso de la bandeja, primero debe ser seleccionado el material. En este caso, ambas bandejas han sido diseñadas para el Aluminio 6061 y el material compuesto CFRP.

Para la estimación de peso se han obtenido valores variando el lado y la geometría, y con estos valores se ha encontrado la función que mejor se adapta.

Como se observa en las Figuras 8.4 y 8.5, cuando se escoge el material aparecen las propiedades: módulo de Young, densidad, yield strength y coeficiente de Poisson. Una vez seleccionada la geometría y el material el cliente debe continuar a la siguiente pestaña para seleccionar la configuración del ordenador.

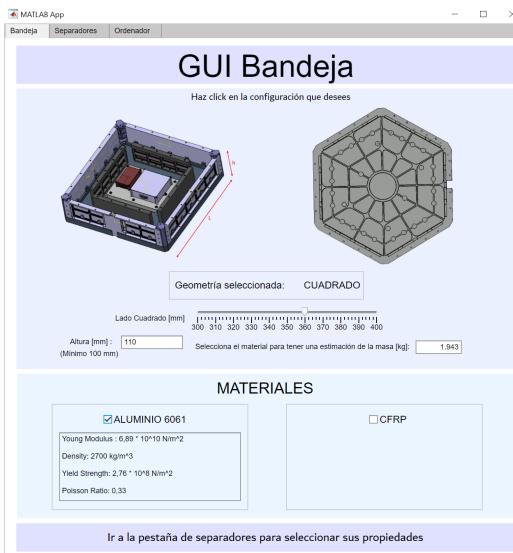


Figura 8.4 Aluminio 6061 seleccionado

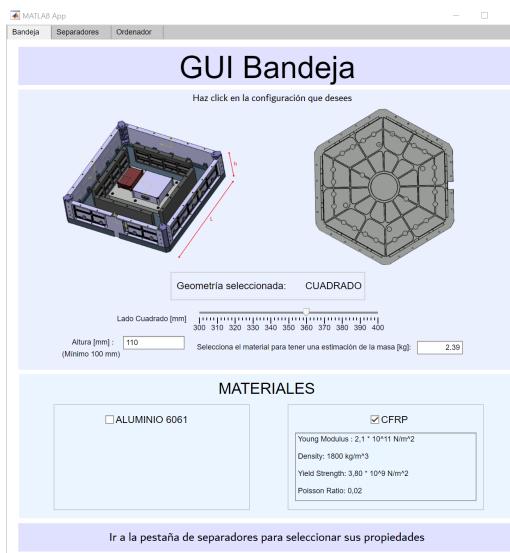


Figura 8.5 CFRP seleccionado

En la segunda pestaña se da la opción de escoger el material de la bandeja superior, lo que comportará un cambio en la geometría del separador diseñado según si la bandeja es de Aluminio o de CFRP.

En la tercera pestaña se observa la interfaz para la selección del ordenador deseado, Figura 8.8.

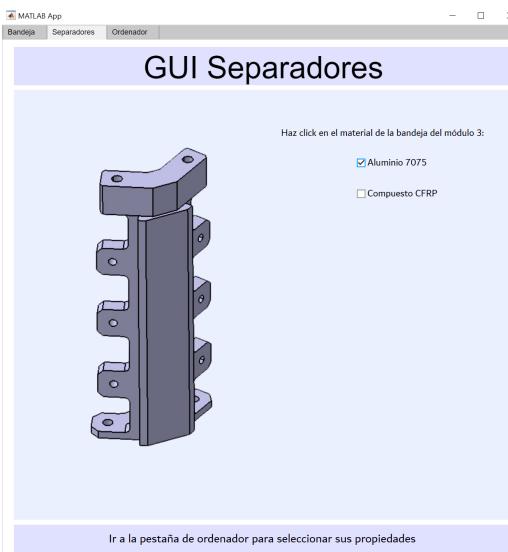


Figura 8.6 Separador para aluminio



Figura 8.7 Separador para compuesto



Figura 8.8 Interfaz de ordenador



Seguidamente se debe escoger la opción del material de la pseudobandeja. En este caso, los materiales a elegir son los dos un material compuesto pero uno con el núcleo de Aluminio y el otro de CFRP. De nuevo, una vez elegida la opción del material deseado, el cliente puede observar una estimación del peso de la pseudobandeja.

Finalmente, cuando el cliente haya seleccionado las opciones que desee, debe dar click al botón "Take me to Catia". De esta manera, el programa actualizará el archivo excel y cuando el cliente vuelva a abrir el modelo 3d las opciones habrán cambiado. Cuando finaliza el proceso de actualizar el archivo la aplicación mostrará por pantalla "TODO LISTO", como se observa en la Figura 8.8.

## **9. Conclusiones**

El modulo es funcional, aunque los problemas mayores son respeto al ensamblaje con los otros módulos.

El diseño de cada parte ha consumido mucho tiempo en el calendario del proyecto, ya que se ha intentado proponer las partes mas robustas posible. En consecuencia, se ha tenido un poco menos tiempo del esperado, y como resultado, la cantidad de tiempo que se tenía para el montaje se redujo.

Los mayores complicaciones han sido con el montaje del modulo, específicamente en el momento de colocar cada parte al cambiar la geometría de la bandeja. La principal dificultad fue arreglar los varios problemas de CATIA que nos aparecían al momento de colocar los separadores y paneles de cierre a la bandeja, los principales siendo la desaparición de algunas restricciones al pasar de geometría cuadrada a hexagonal.

Se ha pasado mucho mas tiempo que previsto a revisiones y correcciones. En consecuencia, se ha quedado sin tiempo para cumplir con el requisito de montaje del satélite entero correctamente. Se ha intentado hacer lo más posible, aunque lo de la interfaz entre el panel de cierre y la bandeja superior así como el problema de la conexión eléctrica del satélite fueron complicados, así que no conseguimos hacer coincidir las uniones pasantes por la bandeja superior, y el cableado exterior no coincide en todas las geometrías, el caso hexagonal dando problemas por culpa de la posición de la cámara en el modulo de experimentos.

El problema con esto es que el objetivo final del proyecto era ensamblar los módulos entre sí, y esto objetivo fue un poco perdido por culpa de complicaciones en cada modulo. Eso siendo un proyecto académico, no tiene muchas consecuencias, sin embargo se tiene que ser una lección para el futuro, ya que este proyecto seria considerado un fallo en la industria.

Una vez dicho esto, todavía podemos apreciar el trabajo realizado durante este semestre : la parte del trabajo de diseño parametrizado de un modulo fue bien realizada, y el modulo cumple con todos los requisitos relevantes (FR3, FR4, FR6, FR7, y FR9). Se propone un modelo complejo, parametrizado y funcional. Además de las dimensiones del modulo se puede elegir entre 32 configuraciones del modulo, eligiendo una geometría de planta, el material de cada bandeja y el tipo de ordenador.

### **9.1. Desviaciones respecto a la primera declaración de intenciones**

Resulta interesante en este punto analizar como ha ido evolucionando el diseño desde su primer análisis preliminar durante todo el proceso hasta llegar a la proposición final. Tan sólo se estudiarán aquellos componentes con cambios significativos, dejando aquellos que no estaban bien definidos al principio o que no han sufrido cambio alguno fuera de este análisis.

#### **9.1.1. Bandeja**

La geometría básica de este componente venía casi completamente determinada por los requisitos impuestos por el cliente.

Aún así, el producto ha sufrido numerosas modificaciones en la integración con el resto de componentes, ya que, la dificultad de diseño de esta pieza, recae sobre las interfaces de ésta misma con los componentes, que requieren la colocación precisa de los puntos para los taladros de las uniones. Del mismo modo, el cambio entre ambos materiales produce una serie de modificaciones del producto, permitiendo que la fabricación del producto sea posible.

### 9.1.2. Ordenador

El planteamiento inicial de ofrecer la posibilidad de separar la tarjeta de comunicaciones del resto de tarjetas para evitar su sobrecalentamiento ha permanecido. Con la solución propuesta, sin embargo, tan sólo se ha conseguido para un rango determinado del tamaño de la bandeja por cuestiones de espacio.

- Bandeja hexagonal: Resulta la opción más restrictiva. La opción A de ordenador permite tarjeta de comunicaciones separada para un tamaño mayor que 380mm. Para la opción B, esto solo se consigue para el tamaño máximo de 400mm
- Bandeja cuadrada: Aunque este caso permite más capacidad de alojamiento, se ha optado por mantener los rangos del caso hexagonal para los dos ordenadores por cuestiones de interfaces externas con el resto de módulos.

En cuanto a la altura mínima de los ordenadores, que, en definitiva, definen la altura del módulo, inicialmente se planteaba distintos rangos en función de si esta se coloca separadamente del resto o no:

- $h_{min} = 90mm$  si se aloja separadamente
- $h_{min} = 160mm$  si se acopla con las demás

Esto tenía en cuenta el posicionamiento de la tarjeta de comunicaciones paralelamente a las otras aumentando la altura completa del ordenador.

Esto ha sido así en la solución final de diseño, pero se decidió colocarlas horizontalmente para que esto no afectase a la altura total del módulo.

### 9.1.3. Paneles de cortadura

La distribución que se pensó inicialmente para paneles de cortadura fue en cruz y en cuadrado para el caso de ambas bandejas.

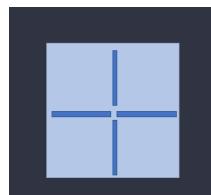


Figura 9.1 Forma en cruz bandeja cuadrada

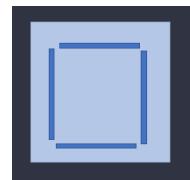


Figura 9.2 Forma cuadrado bandeja cuadrada



Figura 9.3 Forma en cruz bandeja hexagonal

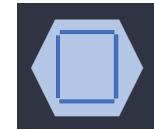


Figura 9.4 Forma cuadrado bandeja hexagonal

Mientras que el perfil inicialmente pensado tenía forma en H.

Por cuestiones de integración interna, primeramente se decidió utilizar perfiles en Z y distribución cuadrada de los paneles en ambos tipo de bandeja. Sin embargo y debido al ajuste con el resto de módulos, la configuración final acabó siendo perfil en I y distribución cuadrada para bandeja cuadrada y distribución hexagonal para bandeja hexagonal.

## 10. Propuestas de mejora

Se ha intentado entregar el proyecto lo mas complejo y funcional posible, pero por culpa de complicaciones en cada modulo todos hemos perdido de vista el objetivo final, así que la mayor propuesta de mejora sera trabajar sobre el ensamblaje final. Además se proponen algunas mejoras para el modulo :

- Permitir el ensamblaje funcional de los módulos entre si
- Permitir el paso del cableado exterior sin añadir espesor al lado del satélite (explicado en la sección 5.3)
- Cambio de material de más partes de la estructura (como los paneles)
- Diseñar el cableado del módulo para cada configuración
- Para el diseño de las uniones con los perfiles en  $L$  de la bandeja de material compuesto sería recomendable estudiar otro tipo de soluciones, así como su viabilidad a la hora de la fabricación con materiales compuestos.