

INGENIERÍA GRÁFICA PARA EL DISEÑO MECÁNICO AEROESPACIAL

MUSE 2020-2021

PROJECT BASED LEARNING MÓDULO 4: PANELES SOLARES

Preparado por	David Estébanez Mérida, Jonathan Martín Palomo, María Páez López, Andrés Pedraza Rodríguez, María Elena Piqueras Carreño, Daniel del Río Velilla
Aprobado por	Equipo completo
Referencia	PBL_G4
Revisión	3.r03
Fecha de Edición	2021-02-01

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Nombre	Organización	Medio	Fecha
Javier Pérez Álvarez	Instituto de Microgravitación Ignacio Da Riva	Microsoft Teams	2021-02-01

LISTA DE MODIFICACIONES

Motivo de la modificación	Versión	Revisión	Fecha
Creación del documento	1.0	00	2021-01-13
Comienzo de la redacción: Introducción, metodología, productos, GUI, simulación, propuestas de mejora y conclusiones	2.0	05	2021-01-31
Detalles finales: diseño axiomático y evolución del diseño	3.0	03	2021-02-01

CONTROL

Preparado por: Equipo completo Fecha: 2021-02-01	Aprobado por: Equipo completo Fecha: 2021-02-01
---	--

Índice

1. Introducción	1
1.1. Abstract	1
1.2. Objetivos y requisitos	1
2. Documentos aplicables y de referencia	3
3. Definiciones	4
4. Metodología	5
4.1. Estructura de trabajo	5
4.2. Gestión del tiempo	6
4.3. Diseño axiomático	10
5. Productos	11
5.1. Paneles solares	11
5.1.1. Paneles solares de aluminio	11
5.1.2. Paneles solares de material compuesto	12
5.1.3. Construcción de productos: Ley de paneles	15
5.2. Mecanismo de suelta	16
5.3. Mecanismo SADA	20
5.4. Bisagras	22
5.5. Estructuras de soporte	22
5.6. Células solares	23
5.7. Cableado eléctrico	25
6. GUI (Graphical User Interface)	28
6.1. Geometría y material	28
6.2. Potencia	29
6.3. Despliegue y orientación	30
7. Simulación mecanismos	32
8. Evolución del diseño	33
9. Propuestas de mejora, trabajo no terminado	35
10. Conclusiones	36

1. Introducción

1.1. Abstract

Como proyecto final de la asignatura Ingeniería gráfica para diseño mecánico aeroespacial del Máster Universitario de Sistemas Espaciales se ha llevado a cabo el diseño modular de un microsatélite. En este documento, se recoge el desarrollo del diseño del módulo 4 correspondiente al Deployable Solar Array junto con una Graphic User Interface que se utilizará para definir su configuración.

El trabajo se ha realizado con la herramienta de CAD CATIA para el diseño del módulo y Matlab para la GUI. Para la organización de los archivos se creó un repositorio en GitHub que ha permitido el tener un control de versiones.

Finalmente, se ha conseguido diseñar un módulo paramétrico fácilmente modificable mediante la vinculación de los parámetros de CATIA con la GUI.

1.2. Objetivos y requisitos

El objetivo del trabajo consiste en desarrollar un modelo 3D paramétrico de la estructura completa del satélite mediante un modelo :

- Módulo 1: Sistema de comunicaciones y cámara.
- Módulo 2: Cableado entre módulos.
- Módulo 3: Adaptador y sistema de separación.
- **Módulo 4: Paneles solares.**

Aunque cada uno de estos módulo se han desarrollado en equipos independientes, el objetivo final del trabajo es que tanto los módulos de forma individual como integrados entre sí cumplan con los objetivos del trabajo, así como con los requisitos geométricos, funcionales y de material.

Este informe se centra en el diseño e integración de los paneles solares con la estructura modular del satélite.

Para ello, de los objetivos marcados en el proyecto, los que conciernen directamente al módulo de los paneles solares son los siguientes:

- Interface con otros módulos.
- Cableado del módulo.
- Despliegue de los paneles solares.
- Uniones necesarias para el montaje.

Además, el diseño debe de incluir también los siguientes materiales acorde con las normas ECSS:

- Aleaciones ligeras.
- Aceros inoxidables.
- Materiales compuestos.
- Materiales plásticos de uso aeroespacial.

Además, a la hora de diseñar el módulo se tiene que tener en cuenta tanto los requisitos geométricos como los requisitos funciones establecidos para este proyecto y recogidos en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Requisitos geométricos

ID Requisito	Definición
RG1	Las dimensiones no deben superar las medidas de 400x400x450
RG2	Forma en planta cuadrada
RG3	Forma en planta hexagonal

Tabla 2: Requisitos funcionales

ID Requisito	Definición
FR1	Minimizar la masa del equipo (máximo 40 kg)
FR2	Permitir diferentes espacios de carga útil
FR3	Control de la forma en planta de la estructura
FR4	Definir zonas para sistemas de potencia y ordenador
FR5	Permitir la unión de paneles solares desplegables
FR6	Permitir el montaje en un sola dirección
FR7	Definición de geometría en función de tipo de material
FR8	Interface con sistema de separación
FR9	Cableado de cada módulo
FR10	Incluir cámara lateral

2. Documentos aplicables y de referencia

Los siguientes documentos han sido aplicados a lo largo del desarrollo del trabajo:

- ECSS-E-HB-32-21A: Adhesive bonding handbook
- ECSS-E-HB-32-22A: Insert design handbook
- ECSS-E-HB-32-23A: Threaded fasteners handbook
- ECSS-Q-70-36C: Material selection for controlling stress-corrosion cracking

3. Definiciones

A lo largo del presente documento se harán uso de las siguientes definiciones y abreviaturas:

Tabla 3: Definiciones

Abreviatura	Definición
CAD	Computer-Aided Design
CATIA	Computer-Aided Three Dimensional Interactive Application
DXF	Drawing Exchange Format
GIMP	GNU Image Manipulation Program
GUI	Graphical User Interface
PBL	Project Based Learning
SADA	Solar Array Drive Assemblies

4. Metodología

4.1. Estructura de trabajo

Para trabajar en grupo de una manera más ordenada se creó un repositorio en GitHub. De esta manera, gracias al control de versiones, los comentarios en los commits y el poder navegar a lo largo del timeline del repositorio hemos evitado muchos conflictos entre piezas, recuperado archivos que habíamos descartado y solucionado otros problemas que normalmente ocurren cuando se ha de trabajar en equipo.

GitHub

Dentro del repositorio, y por tanto dentro de nuestra carpeta local clonada, los diversos archivos se distribuyen a lo largo de los subdirectorios de la siguiente manera ordenados por subconjuntos, productos y partes etiquetados de la siguiente manera:

NNN_NN

Dónde:

- el primer número diseña el módulo dentro de todo el proyecto
- el segundo número diseña el subconjunto dentro del módulo
- el tercer número describe el producto dentro del subconjunto
- los dos números después de la barra baja enumeran la parte dentro del producto en caso de que se trate de un CATPart y no aparecerá ningún número si es un CATProduct

Sin embargo, a la hora de hacer ensamblajes más complejos se ha cambiado ligeramente esa nomenclatura de forma que si existen varias versiones de un CATProduct estas se enumeran con dos números después de la barra baja.

Cada parte se ha parametrizado de forma independiente y luego todos los parámetros se establecerán y vincularán en un solo CATPart llamado *NNN_parameters* que es un producto que contiene partes de parámetros y está etiquetada como el producto al que pertenece.

A grandes rasgos la estructura de carpetas es la siguiente:

Tabla 4: Esquema de la estructura de archivos.

Designación	Subconjunto	Producto
41	Paneles solares	
411		Panel sándwich (insertos de la derecha en la parte superior)
412		Panel de aluminio
413		Panel sándwich (insertos de la izquierda en la parte superior)
42	Mecanismo de suelta	
421		Suelta al satélite
422		Suelta a los paneles tipo sándwich
423		Suelta a los paneles de aluminio
424		Sueltas colocadas en el soporte triangular
43	Mecanismo de orientación	
431		Motor con su encoder, su engranaje y su soporte
432		Eje de salida con su engranaje y sus anillos elásticos
433		Carcasa
434		Adaptador en forma de T
435		Conectores eléctricos y bridás
44	Bisagras	
441		Bisagra
45	Estructuras de soporte	
451		Soporte triangular
452		Soporte triangular (simetría)
46	Células solares	
461		Módulo de células solares
462		Módulo de células solares (sin base de aluminio)
47	Cableado	
48	Elementos de unión	

4.2. Gestión del tiempo

En un primer momento se hizo la siguiente estimación de tiempos y fechas.

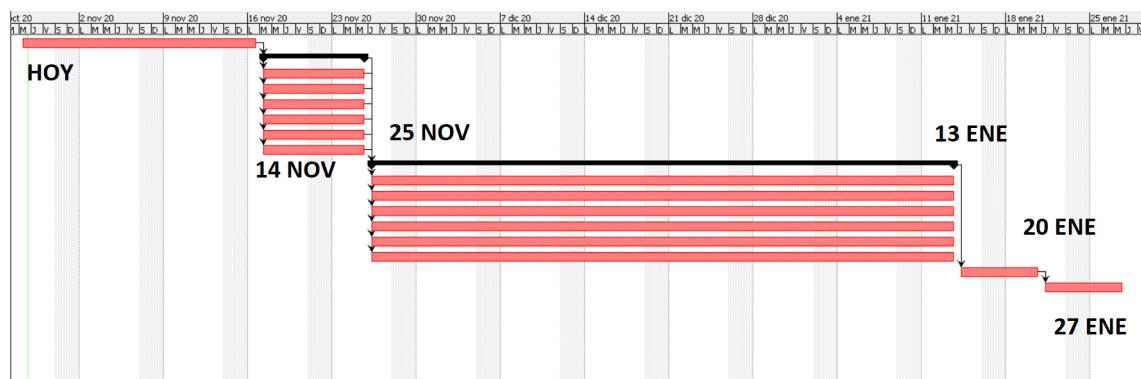


Figura 1: Diagrama de Gantt inicial.

Sin embargo, aunque esta estimación se hiciese sin mucho detalle, los cambios en deadlines de otras asignaturas y que se pospusiera la fecha de entrega de este trabajo han hecho que la distribución de tiempos haya sido muy distinta. En general, la mayoría del tiempo empleado en el proyecto se ha llevado a cabo a partir de la última semana de diciembre, tal y como se puede observar en la Tabla 7. Las horas empleadas previas a dicha fecha estaban dedicadas a ideas preliminares y sus diseños correspondientes. Es por ello, que

las horas dedicadas por persona en dicho periodo se pueden estimar como de unas 15 horas. A partir de entonces, las horas sí que están detalladas en la Tabla 7.

Además, se han contabilizado las horas de reuniones grupales internas realizadas durante el transcurso del proyecto. Dichas reuniones pueden consultarse en la Tabla 5.

Tabla 5: Reuniones grupales

Reuniones de equipo			
Fecha	Horas	Participantes	Breve comentario de los temas tratados
29/10/2020	1	Dani, Representantes	- Comentar la declaración de intenciones entre los representantes de cada grupo
29/12/2020	0,5	Andrés, David, Jonathan, María Elena	- Github Desktop: definición de la línea de trabajo a partir de ese momento. Descripción de su uso y aplicación al PBL
29/12/2020	0,5	Dani, David	- Pattern para colocar bisagras en panel compuesto.
31/12/2020	0,5	Andrés, María	- Funcionamiento Github, diseño conceptual SADA
03/01/2021	0,5	Dani, David	- Pattern para colocar células en panel compuesto
03/01/2021	1	Dani, Representantes	- Fijar una nomenclatura común, organización de GitHub y revisión de interfaces entre módulos
05/01/2021	1	Andrés, Dani, María, María Elena	- Discusión sobre la forma de soltar los paneles y mecanismo de orientación
08/01/2021	1	María, María Elena	- Diseño SADA
10/01/2021	2	Todos	- Aclaración sobre ciertos aspectos de diseño para continuar con el trabajo y evitar desviaciones. Las conclusiones fueron: - Cosas que entran a la GUI: Tamaño del satélite -> Dimensiones máximas del panel (+10 %) ->n1, n2 Potencia -> Número de hojas desplegadas Tensión -> Conexiones Configuración (hexagonal o cuadrada) Materiales - Cosas que salen de la GUI: Células en columna->n1 Células en fila ->n2 Número de hojas desplegadas Tensión->conexiones ->cableado Configuración (hexagonal o cuadrada) Materiales
12/01/2021	1	Todos	- Proposición de mecanismos de orientación
21/01/2021	1	Todos	- Organización del informe
30/01/2021	5,5	María, Andrés	- Realización de póster mediante la herramienta GIMP

Por último, destacar que no solo se ha llevado una cuenta de las horas de reuniones grupales, si no que también se ha llevado un registro de las tutorías realizadas con el profesor Javier Pérez Álvarez. Dicho registro se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Tutorías

Tutorías		
Fecha	Horas	Breve comentario de los temas tratados
22/10/2020	1,5	<ul style="list-style-type: none"> - Paneles desplegables "acordeón" - Apertura y cierre de los paneles mediante piezas de materiales que cambia con temperatura o corriente - Paneles orientables: motores en cada lateral - ¿Paneles desplegables dentro de la envolvente? - Acoplamiento: ¿a qué módulo? - ¿Calcular esfuerzos en la unión al satélite? - Comentarios acerca del alcance de la presentación de declaración de intenciones
16/11/2020	1,5	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de progreso - Diseño de la GUI
01/12/2020	1,5	<ul style="list-style-type: none"> - Panel compuesto: tipos de insertos potenciales para ser incluidos, honeycomb se simula como un body sin más, no es necesario representar los hexágonos - Unión con otros módulos - Revisión de progreso
07/01/2021	1	<ul style="list-style-type: none"> - Mecanismo SADA: incorporación de motor más grande, opciones de cableado alternativas, acoplamiento al módulo - Panel aluminio/compuesto: se plantea la opción de automatización de posicionamiento de células en función de la potencia/voltaje requeridos - Bisagras: cambio a métrica 3 o 4 - Panel compuesto: la resina será simulada con un body y el cableado se hará con Sketch y Rib
28/01/2021	0,5	<ul style="list-style-type: none"> - Conectores de potencia de los paneles - ¿Qué incluir en el bill of material? - ¿Cómo hacer el desglose de masa? - Póster: (si el póster puede ser en español) y presentación - ¿Hay que dar tratamientos superficiales a las piezas? - Harness del compuesto - Confirmar la matriz de parámetros, y que la matriz que relacione los requisitos funcionales con los parámetros - Si los part y diseños que hemos descartado a lo largo del proceso de diseño se explican solamente en la parte que toque, o si hay que incluir como en el ejemplo del producto tree los part number que eran y tachados como que al final se descartaron - Que el drawing es únicamente de nuestro módulo ya montado - Qué diferencia hay en producto tree entre assembly product y assembly part - En el product que se moverá, ¿hace falta que vayan todos los tornillos?

Tabla 7: Horas personales de trabajo empleadas por cada miembro del equipo

Horas de trabajo personal empleadas						
Fecha	Andrés	Dani	David	Jonathan	María	María Elena
23/12/2020	0	0	0	0	0	0
24/12/2020	0	0	0	6	0	0
25/12/2020	0	0	0	5	0	0
26/12/2020	0	2	3	4	2	0
27/12/2020	0	3	2	0	0	0
28/12/2020	0	0	2	3	3	0
29/12/2020	0	4	3	3	2	0
30/12/2020	0	3	0	2	4	0
31/12/2020	0	0	0	0	0	1,5
01/01/2021	0	0	2	0	0	0,5
02/01/2021	3	1,5	3	0	2	3,5
03/01/2021	3	6	0	0	3	7,5
04/01/2021	3	0	4	0	2	6,5
05/01/2021	3	1	1	3	1	0
06/01/2021	0	3	0	0	0	3
07/01/2021	0	3	0	5	3	0,5
08/01/2021	0	0,5	2	0	0	0
09/01/2021	0	0	0	0	2	0
10/01/2021	3	2	2	2	3	0
11/01/2021	0	3	4	0	0	0
12/01/2021	0	3	0	0	0	1,5
13/01/2021	0	0	0	1	0	0
14/01/2021	3	3	3	0	3	0
15/01/2021	0	0	4	0	0	2
16/01/2021	0	3	0	2	0	6
17/01/2021	3	0	0	0	4	3,5
18/01/2021	2,5	2	3	0	4	0
19/01/2021	0	4	4	3	0	3,5
20/01/2021	2	0	0	4	0	0
21/01/2021	0	0	0	0	0	2,5
22/01/2021	0	5	4	0	0	0
23/01/2021	0	9	0	1	5	0,2
24/01/2021	0	0	0	0	1	0
25/01/2021	0	0	0	0	0	0
26/01/2021	0	0	0	0	0	0
27/01/2021	0	1	4	0	0	1,75
28/01/2021	0	3	2	0	5	0
29/01/2021	6	5	8	1	4	7
30/01/2021	4	10	10	6	12	9
31/01/2021	10	14	12	10	14	14
01/02/2021	12		6	12	6	10
Total	57,5	94	88	73	85	83,95

4.3. Diseño axiomático

Para definir las relaciones que existen entre los parámetros de diseño del modulo desarrollado y los requisitos funcionales y geométricos previamente descritos, se ha desarrollado una matriz que los relacione. Los parámetros de diseño empleados son los siguientes:

- **DP1:** Altura del satélite.
- **DP2:** Longitud de la base del satélite.
- **DP3:** Longitud horizontal del panel.
- **DP4:** Longitud vertical del panel.
- **DP5:** Número de células por cupón.
- **DP6:** Número de cupones en la dirección vertical.
- **DP7:** Número de columnas de cupones.
- **DP8:** Material.
- **DP9:** Potencia requerida.
- **DP10:** Espesor de los paneles

En la Tabla 8, se muestra la matriz de diseño que relaciona los parámetros de diseño con los requisitos del diseño:

Tabla 8: Relación entre los requisitos de diseño geométricos y funcionales y los parámetros de diseño.

	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6	DP7	DP8	DP9	DP10
RG1	x	x	x	x	x	x	x			
RG2										
RG3										
FR1	x	x	x	x	x	x	x	x		x
FR2										
FR3										
FR4										
FR5										
FR6										
FR7							x			x
FR8										
FR9					x	x	x			
FR10										

Se puede comprobar que el modelo esta bastante desacoplado con respecto a lo parámetros que rigen el diseño del satélite, estando incluso algunos de ellos totalmente desacoplados. El único requisitos que afecta a prácticamente todos los parámetros es, como era de esperar, el de reducción de la masa del conjunto.

5. Productos

A continuación, se describen los componentes principales del módulo de paneles solares así como su funcionamiento en líneas generales. Estos productos, a su vez, se componen de partes más detalladas ensambladas entre sí.

5.1. Paneles solares

Un panel solar está compuesto por células fotovoltaicas integradas sobre un panel que sirve de soporte estructural y da rigidez al conjunto.

Uno de los requisitos del trabajo era poder elegir el material con el que se fabricaría el panel, por lo que se han elegido dos opciones:

1. Material metálico: aluminio
2. Material compuesto: estructura tipo sándwich

Dentro de la opción de estructura tipo sándwich se va a poder elegir entre núcleo metálico o polimérico. También se ha considerado como parámetro de diseño el espesor del aluminio y del núcleo del sándwich.

A continuación, se va a comentar el proceso de diseño de ambos paneles, empezando por la idea inicial y terminando con la solución final utilizada.

5.1.1. Paneles solares de aluminio

Cuando se utiliza un panel de aluminio, las células solares vienen agrupadas en cupones de distintos tamaños que se fijan al panel por medio de una unión desmontable. Dentro de un cupón, las células se conectan en serie, todos los cupones de un panel están conectados en paralelo y los paneles están conectados en paralelo entre sí.

En la primera iteración de diseño, se eligió como parámetros de entrada las dimensiones del panel (alto y ancho) y el número de células por cupón.

En vez de definir el número de filas y columnas, se creó una regla en CATIA que, con el ancho del panel y el del cupón, se calculaba el número de cupones que entraban en la dirección horizontal y se posicionaban para ocupar toda la superficie disponible. Esta misma regla también calculaba el número de cupones que podían entrar verticalmente en función del número de células que se hubieran seleccionado.

Esta distribución de cupones hacía que se desaprovechara mucha superficie de panel, por lo que en la siguiente iteración de diseño se cambió el concepto.

Se eligieron como parámetros de entrada el número de cupones en la dirección vertical, dirección horizontal y a las células por cupón. Despues se construye panel a partir de estos parámetros, con esto se asegura un mayor aprovechamiento de la superficie.

Como los cupones se fijan al panel con un conjunto de tornillo avellanado, arandela y tuerca, se ha parametrizado la posición de los agujeros como el número de ellos para que varíe con el número de células por cupón. Los cupones llevan los conectores en la cara opuesta a las células, por lo que también se ha realizado ese vaciado.

Una vez posicionados los taladros y vaciados del cupón de referencia, se realizan los restantes por medio de un pattern.

Para unir los paneles entre sí se van a utilizar bisagras cargadas, por lo que se han realizado los agujeros necesarios para la unión en las esquinas del panel.

El mecanismo de suelta también está unido a cada panel, así que se ha realizado un vaciado para el gatillo y los taladros para que se una el mecanismo.

Al poder variar el espesor del panel, se ha parametrizado la longitud de todos los tornillos para que varíe con el espesor y así reducir el peso al mínimo posible.

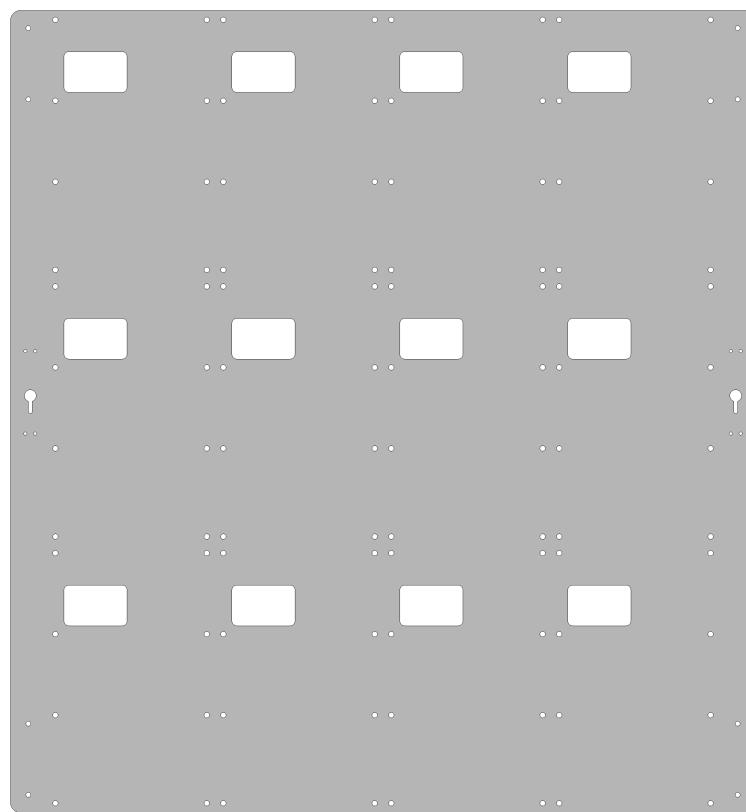


Figura 2: Panel de aluminio

5.1.2. Paneles solares de material compuesto

El panel solar de material compuesto está conformado por tres elementos. El primero de ellos es el núcleo de tipo honeycomb, el segundo es el layer superior de fibra de carbono y el tercero es el layer inferior, también del mismo material.

Al contrario de lo que ocurre en el proceso de diseño del panel de aluminio, esta vez las células van pegadas al layer de la estructura tipo sándwich. Las células se siguen estructurando en cupones pero, esta vez, dichos cupones no disponen de la base de aluminio que va atornillada al panel. Sin embargo, la conexión se realiza de la misma manera que en el panel de aluminio: dentro de un mismo cupón las células están conectadas en serie, los cupones están conectados en paralelo y los paneles de nuevo están conectados en paralelo entre sí.

El primer diseño paramétrico del panel de material compuesto seguía la misma filosofía que el de aluminio, en realidad han sido siempre diseños paralelos. Los parámetros de entrada eran las dimensiones del panel pero, de nuevo, se desaprovechaba mucho material. Además, el concepto de cupón no existía para

compuesto, ya que en un primer momento se pretendía que todas las células estuvieran en serie.

Finalmente, al igual que en el panel de aluminio, se impuso que los parámetros de entrada fueran el número de cupones en la dirección vertical y dirección horizontal. Por otro lado, y con el objetivo de que el rango de potencia/intensidad fuese más amplio, se decidió incorporar el concepto de cupón. De esta manera, las células del material compuesto se dividen también en cupones con su correspondiente nuevo parámetro de entrada, las células por cupón.

El posicionamiento de los cupones de células en el layer superior de fibra de carbono se realiza mediante un pattern realizado sobre un hole que coloca dichos cupones en su sitio correspondiente. También se ha creado un pequeño hole para poder colocar el harness sobre el layer de arriba. Dichas posiciones dependerán, tal y como se ha comentado, de los parámetros de entrada.

Los agujeros en el panel de material compuesto es un tema algo más complicado de abarcar que en el de aluminio. En este caso, se deben hacer agujeros que atraviesen tanto las layers de fibra de carbono como el núcleo honeycomb para poder unir los paneles entre sí por medio de bisagras. También son necesarios agujeros para el mecanismo de suelta. Por ello, se realizan agujeros tanto para el gatillo (pasante) como para los taladros. Todos los agujeros realizados en el panel de material compuesto son más grandes que los del panel de aluminio debido a la utilización de insertos.

Los insertos utilizados para las bisagras son los Shur-Lok SL644 y los utilizados para el mecanismo de suelta son de diseño propio, mecanizados. Se pueden observar en la siguiente figura:

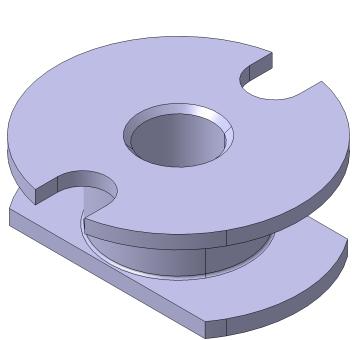


Figura 3: Inserto utilizado para las bisagras

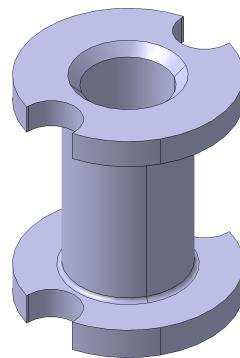


Figura 4: Inserto utilizado para el mecanismo de suelta

Una vez introducido el concepto de insertos, conviene destacar un par de detalles. Los insertos que se introducen en el panel para las bisagras son no pasantes (los insertos del mecanismo de suelta sí lo son). Esta situación, junto con que las bisagras se unen tanto por la cara de arriba como por la de abajo del panel, impone la condición de que sea necesario hacer dos tipos de paneles:

- Un primer panel con agujeros tanto en el layer superior como en el inferior en el lado derecho.
- Un segundo panel con agujeros tanto en el layer superior como en el inferior en el lado izquierdo.

Finalmente, mencionar que el espesor del panel está también parametrizado. No obstante, se considerará que el espesor de las layers es fijo y únicamente variará el espesor del núcleo.

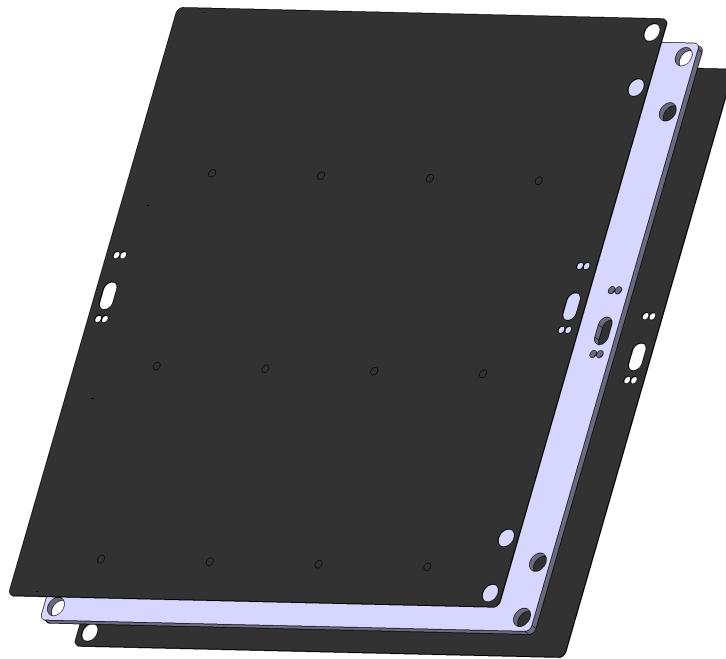


Figura 5: Panel de material compuesto con agujeros en el lado derecho del upper layer

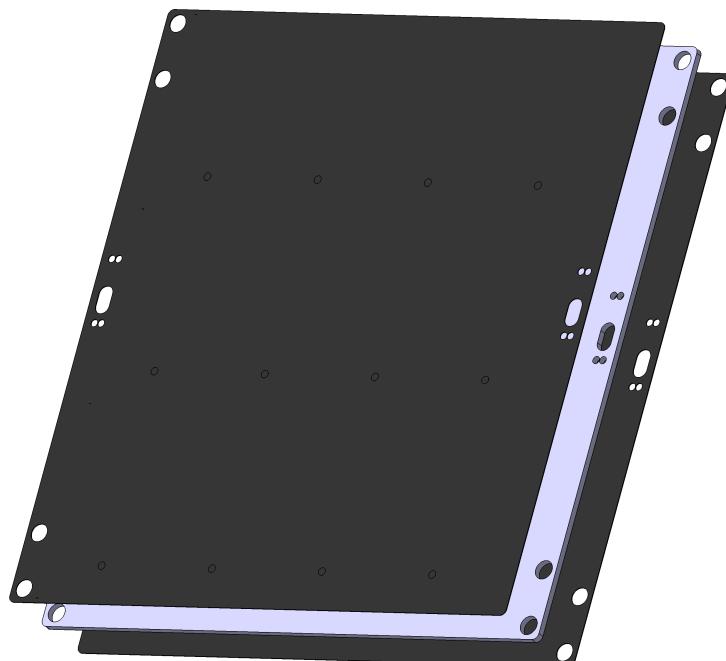


Figura 6: Panel de material compuesto con agujeros en el lado izquierdo del upper layer

5.1.3. Construcción de productos: Ley de paneles

Con el objetivo de juntar todos los componentes y hacer el producto final, los paneles se han ido estructurando en una serie de productos de tal manera que la unión entre paneles sea lo más sencilla posible. Para ello, se han creado productos formados por la unión de dos bisagras, un panel y cuatro tornillos. Para cada tipo de panel (aluminio y compuesto) se han creado cuatro productos diferentes.

En el caso del aluminio, los cuatro productos corresponden a la unión de las dos bisagras al panel de las cuatro formas diferentes en las que se puede hacer:

- Dos bisagras atornilladas al lado derecho del panel y por la parte de arriba
- Dos bisagras atornilladas al lado derecho del panel y por la parte de abajo
- Dos bisagras atornilladas al lado izquierdo del panel y por la parte de arriba
- Dos bisagras atornilladas al lado izquierdo del panel y por la parte de abajo

En el caso de los paneles de material compuesto, el proceso realizado es el mismo salvo por la diferencia de que, al tener dos paneles diferentes, se utilizan paneles diferentes para cada producto.

A continuación, para cada tipo de panel, esos cuatro productos, junto con los tornillos correspondientes, se juntan en dos productos finales que serán los que finalmente se unan a la estructura final. Uno de ellos será el que se une por la izquierda al satélite y otro el que se une por la derecha.

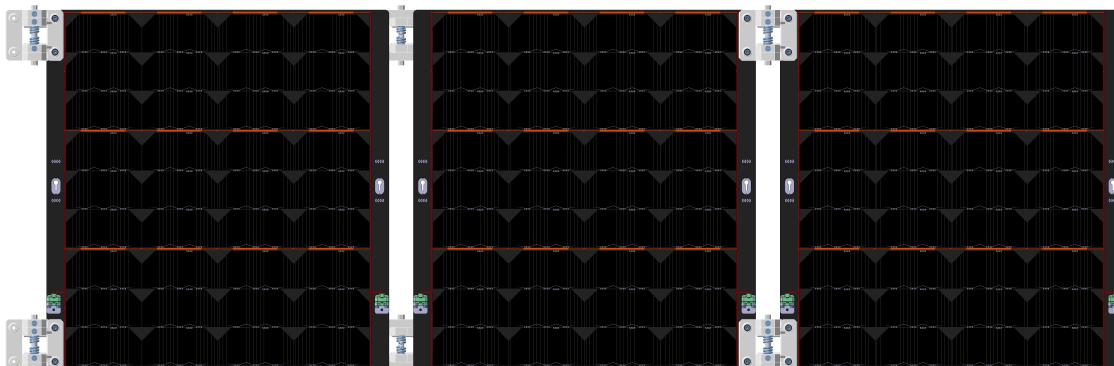


Figura 7: Unión de paneles de material compuesto. Unión por la derecha

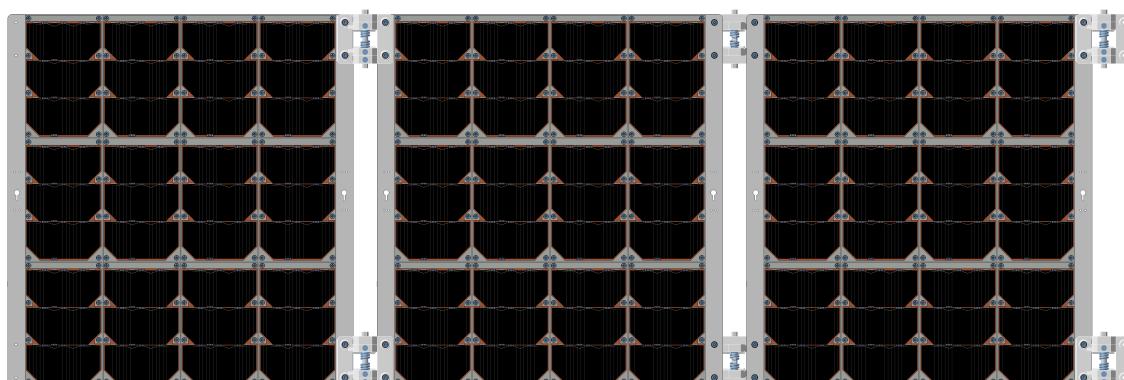


Figura 8: Unión de paneles de aluminio. Unión por la izquierda

En estos productos es donde se introduce la ley que permite cambiar el número de paneles desplegados. En ella, a modo general, se activan y desactivan los productos y constraints necesarios en función del parámetro que marca el número de paneles. La ley funciona desactivando primero todos los paneles (salvo el primero) y posteriormente va activando sucesivamente.

Por último, estos productos deben unirse a la estructura final. Como se debe poder elegir entre paneles de aluminio o material compuesto, dicha unión tiene que hacer mediante otra ley. En primer lugar se unen los productos al triángulo mediante las constraints correspondientes, tanto los paneles de aluminio como los de compuesto. A continuación, se elabora la ley, en la cual se activan y desactivan los productos y constraints correspondientes en función de si se trata de un tipo de panel u otro.

5.2. Mecanismo de suelta

La función del mecanismo de despliegue es la de mantener elementos sujetos entre sí. Más adelante se trata las distintas funciones que desempeña, así como el planteamiento inicial frente al definitivo. Pero antes es necesario comprender el comportamiento del mecanismo.

De entre los distintos modelos posibles, se ha escogido uno de no retorno. Es por ello, que una vez ejecutado el mecanismo, los paneles no podrán volver a plegarse. Esta elección se ha tomado en base a reducir la complejidad del proceso, así como el peso del conjunto. Los modelos que permiten recoger los paneles requieren de motores que conllevan elementos de soporte y de adaptación que incrementarían el número de componentes.

El mecanismo está conformado por una base con un raíl y un gatillo que se desplaza por el anterior. El gatillo se liga a la base por medio de dos muelles que se encuentran a tracción. La posición inicial del gatillo se mantiene gracias a un hilo de contención por el que se hace pasar un potencial (3V). Es así como, el hilo se quema y libera el gatillo que se mueve por la acción de los muelles. La Figura 9 es una representación gráfica del modelo en CATIA. Por motivos de optimización de tiempo se ha desestimado la simulación del hilo en tanto que no aporta información relevante.

El material de los componentes principales es de aluminio EN AW 7075. Mientras que el de los muelles, siguiendo el criterio de la norma [1], es de acero 1095 Spring Steel.

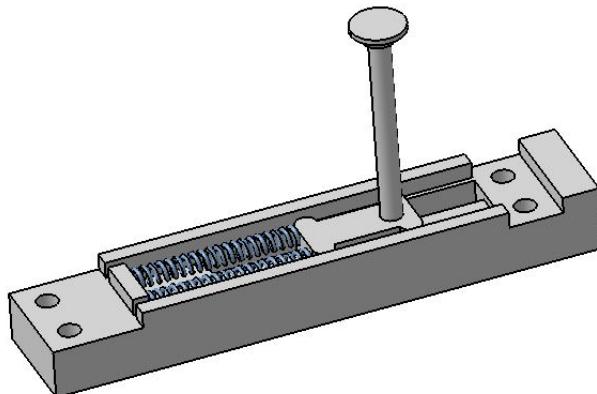


Figura 9: Mecanismo de despliegue

La idea inicial consiste en un único mecanismo fijado al satélite que atraviesa el conjunto de paneles limitando su movimiento. Esta primera opción fue desechada en tanto que el gatillo requerido presentaba

una longitud desproporcionada y, por tanto, era susceptible a un fallo en el proceso de despliegue.

En la solución final se emplean distintas sueltas, que enganchan por partes los paneles al satélite, reduciendo así la longitud necesaria del gatillo. Un mecanismo engancha la estructura de soporte triangular con el satélite y otro sujetla la estructura de soporte al primer panel. A continuación, se colocan por pares en cada panel, mecanismos que se enganchan al panel contiguo. Esto genera un proceso de despliegue más controlado.

Se han creado cuatro mecanismos de despliegue a fin de cubrir los requisitos de las distintas piezas a enganchar, donde la principal diferencia entre ellas es la longitud del gatillo y el tipo de unión empleada:

- Suelta entre paneles de aluminio: La longitud del gatillo es la suma de la altura de la bisagra cerrada y el espesor el panel. El tipo de unión es Métrica 2; tornillo pasante, arandelas y tuerca. Figuras 10 y 11.
- Suelta entre paneles de compuesto: La longitud del gatillo es la suma de la altura de la bisagra cerrada y el espesor del panel. El tipo de unión es Métrica 2; tornillo ciego, arandela e inserto. Figuras 12 y 13.
- Suelta entre estructura triangular y paneles: La longitud del gatillo es el sumatorio de la altura de la bisagra cerrada juntos con el espesor correspondiente al panel en función del tipo de material escogido (aluminio o compuesto, introducido por medio de una ley). El tipo de unión es Métrica 2; tornillo, arandela y helicoil. Figuras 14 y 15.
- Suelta entre el satélite y la estructura triangular: La longitud del gatillo es la distancia del satélite a la estructura más el espesor de la misma. El tipo de unión es Métrica 2; tornillo, arandela y helicoil. Figuras 16 y 17.

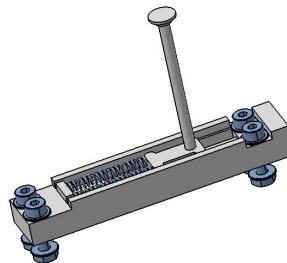


Figura 10: Suelta entre paneles de aluminio

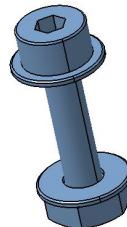


Figura 11: Unión para panel de aluminio

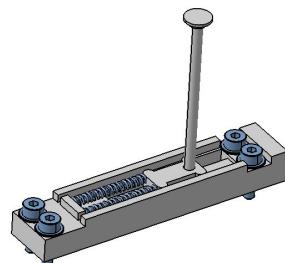


Figura 12: Suelta entre paneles de compuesto



Figura 13: Unión para panel de compuesto

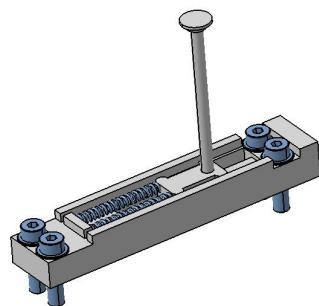


Figura 14: Suelta entre triángulo y paneles



Figura 15: Unión para triángulo y paneles

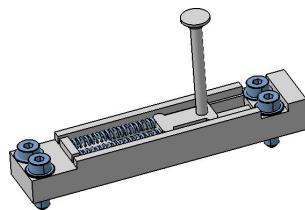


Figura 16: Suelta entre triangulo y satélite



Figura 17: Unión para triángulo y satelite

Como se observa en la Figura 18, el mecanismo de despliegue que se encuentra sujetando los paneles entre sí, está superpuesto sobre la ranura donde se engancha el panel anterior. Es por ello que se ha generado un espacio inferior donde se permite el libre movimiento del gatillo, Figura 19. El diseño del espacio inferior se ha mantenido como en los distintos tipos de mecanismo de suelta.

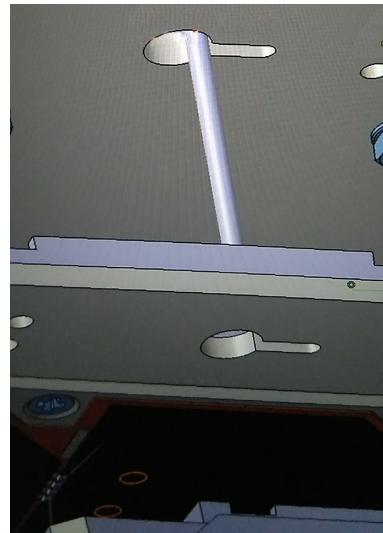


Figura 18: Enganche entre paneles

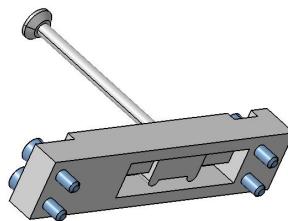


Figura 19: Hueco inferior del mecanismo de suelta

El mecanismo es complementado con su correspondiente ranura en la que se engancha el gatillo. La variación de esta en función del tipo del material en el que se emplaza queda representada en la Figura 20. Los componentes en los que es necesario incluir estas ranuras son; el panel de material compuesto, el de aluminio y la estructura de soporte. Es igual en el caso de la estructura de soporte y el panel de aluminio. Sin embargo, para el panel de material compuesto se debe generar un inserto con la forma adecuada.

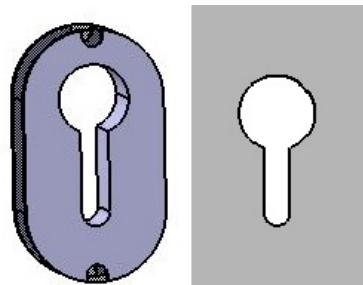


Figura 20: Ranura en panel de Sandwich y en panel de aluminio

5.3. Mecanismo SADA

Con el fin de disponer de una orientación más óptima respecto del Sol, se ha incluido un mecanismo de orientación SADA (Solar Array Drive Assemblies) que consiste en un motor paso a paso [2] unido a una reductora con una relación de engranajes 3:1 para así disponer de un control más fino (Figura 21).

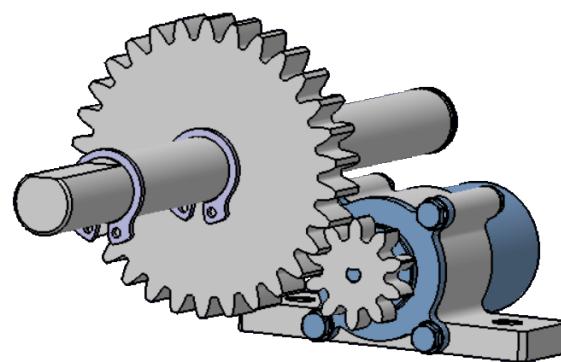


Figura 21: Motor paso a paso y sistema de engranajes.

Tanto motor como reductora se alojan en una carcasa (Figura 23) donde también están fijados unos rodamientos para el eje de salida. Estos rodamientos han de ser de lubricación seca, es decir que estén lubricados con grafito o di-sulfato de molibdeno inmersos en una matriz de resina [3]. Asimismo, también se ha diseñado la pieza que permite sujetar el motor a la carcasa del conjunto del SADA.

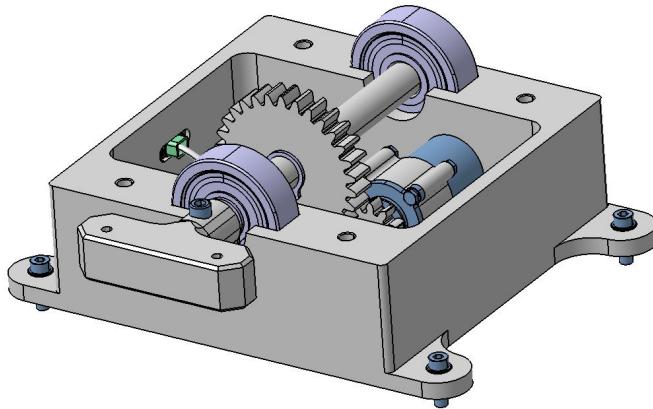


Figura 22: Vista del interior del SADA, sin la carcasa superior.

El eje de salida va, a su vez, unido a una pieza de adaptación donde se fija una bisagra con muelle que se une unirá con una pieza con forma triangular con el fin de reducir el momento de inercia necesario para el giro del SADA.

Asimismo, en la carcasa inferior del SADA también se ha añadido un conector ([4]) para el cableado del motor y unas bridas que permitan guiar al cable hasta el conector lateral.

A continuación, se muestra la unión del SADA al módulo del satélite, este caso se ha utilizado unión con tornillo, tuerca y helicoil de métrica M3.



Figura 23: Unión SADA al satélite.

Este diseño fue el que se eligió finalmente de entre una serie de configuraciones. Como es la interfaz entre el módulo y el satélite el diseño había que salvar una serie de restricciones. En primer lugar, debía ser lo suficientemente robusto como para soportar el panel y su giro, pero no podía ocupar demasiado espacio. Se propusieron otras opciones que incluían un mecanismo doble alojado en el interior de una pieza móvil, una disposición de engranajes diferente para hacerlo más compacto. Ya que el motor, dada la naturaleza modular del diseño completo del satélite, había de estar en la parte de fuera. Finalmente, se seleccionó este diseño

y la colocación en la parte superior porque era el que mejor desacoplaba los distintos problemas y el que permitía una mayor libertad en cuanto a la configuración.

5.4. Bisagras

Para desplegar los paneles una vez en órbita se ha diseñado un mecanismo basado en bisagras con muelle. Las bisagras se componen principalmente de dos hojas, una interior y una exterior, y un eje. Para asegurar la posición correcta tras la suelta se han incluido unos spring-plungers [5] fijos a la hoja interior y unos rebajes en el eje, de esta forma, al soltarse los paneles los muelles se descomprimen y las esferas de los spring-plungers ruedan por el exterior del eje hasta que llegan a los rebajes cuya posición está determinada ya que el eje, al ser hexagonal en sus extremos, no gira respecto a la hoja exterior. Además, como mecanismo redundante, las bases de ambas hojas encajan de forma que la bisagra no puede abrirse de más y el propio muelle de suelta habría de servir en la otra dirección en caso de que los spring-plunger fallaran.

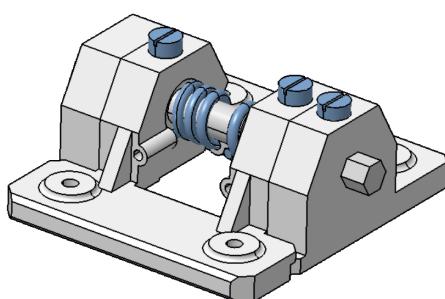


Figura 24: Bisagra abierta.

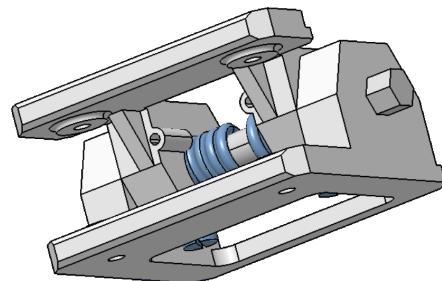


Figura 25: Bisagra cerrada.

El diseño final de la bisagra fue el resultado de sucesivas modificaciones de la idea inicial. En un primer lugar, era el muelle el que se encargaba de que los paneles no volvieran a cerrarse y la geometría de los paneles hacía que no se abrieran de más porque chocaban. Sin embargo, este diseño era demasiado tosco y se refinó más, incluyendo los spring-plungers y las formas hexagonales del eje para asegurar su posición respecto de las hojas.

5.5. Estructuras de soporte

Para crear una transición entre el SADA y los paneles solares se ha incluido una estructura de soporte en forma de triángulo. En uno de sus vértices se atornilla la hoja de una bisagra que tiene en su otra hoja la estructura en forma de T que está unida al eje de salida del SADA. Además, esta estructura también incluye una ranura a la que se engancha el primer mecanismo de suelta que está en el panel de cierre del módulo inferior y cuenta también con agujeros para instalar los mecanismos de suelta que van al primer panel.

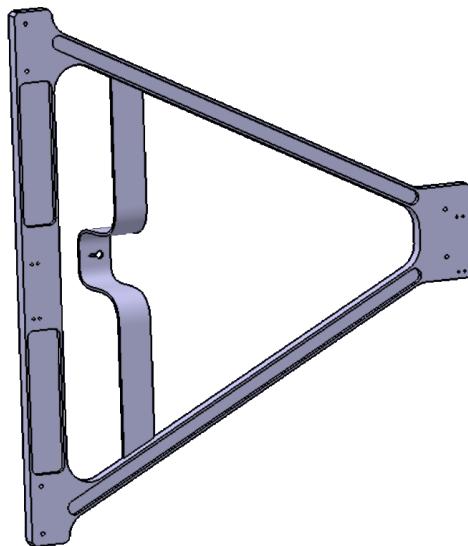


Figura 26: Estructura de soporte en forma triangular.

Para salvar la distancia hasta el panel de cierre del módulo inferior se ha añadido una estructura en forma de omega, para no interferir con los vaciados y las geometrías de dicho módulo.

El diseño de la estructura triangular ha sufrido varias modificaciones a lo largo del trabajo, pero la idea original sigue intacta: servir de soporte para todo aquello que no se pudiera incluir en los paneles. Es por ello que, en sus sucesivas versiones, se han modificado las posiciones de los agujeros, los vaciados y las ranuras con el fin de adaptarse a las posiciones de los mecanismos de suelta. De hecho, la lámina con forma de omega es la última modificación y surge de la interacción con el módulo de potencia.

5.6. Células solares

Las células solares son el elemento que permitirán convertir la radiación solar que incida sobre los paneles en energía eléctrica. Por ello, uno de los principales requisitos que se han considerado a la hora de seleccionar estos elementos ha sido el de aprovechar al máximo la superficie disponible.

Por tanto, para la selección de las células solares se ha considerado la opción de crear los cupones desde cero utilizando células disponibles en el mercado. Sin embargo, la falta de referencias y la dificultad para encontrar información acerca del diseño de este tipo de componentes ha motivado la selección de un cupón comercial.

Entre las principales ventajas que tiene esta decisión esta, por un lado, el evitar problemas relacionados con fallos en los mismos debidos a la falta de experiencia previa, pues son elementos que ya han sido aprobados para su uso espacial. En concreto, los cupones elegidos han sido los módulos NanoPower MSP de GomSpace [6], cuya representación aparece en la Figura 27.

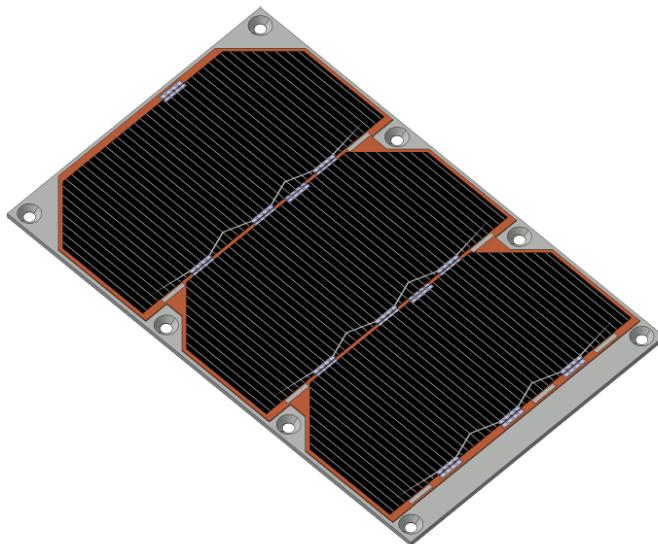


Figura 27: Vista del módulo elegido.

Una de las características más interesantes de este módulo es el hecho de que permite un buen aprovechamiento del espacio del panel. Además, este tipo de módulos se fabrica con un número de células variable, lo cual es muy interesante dada la filosofía de diseño paramétrico que se ha seguido.

En la Figura 28, se observa la parte trasera de dichos módulos. Como se puede apreciar, en esa parte del modulo se encuentran las conexiones del módulo. Esta característica es la que ha provocado que la base del panel de aluminio tenga que disponer de unas perforaciones lo suficientemente grandes como para permitir las conexiones eléctricas.

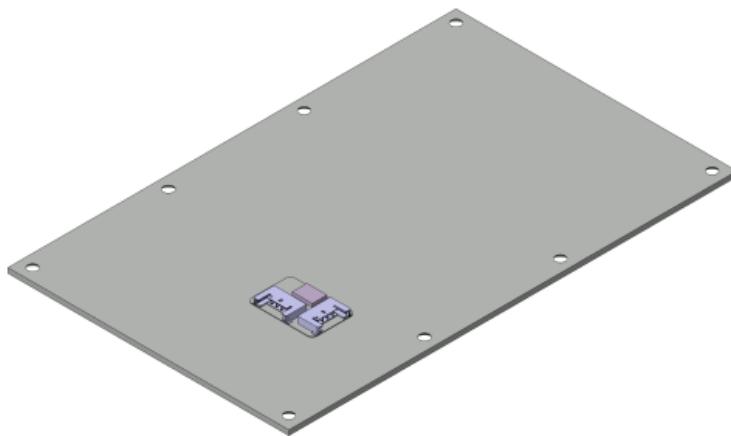


Figura 28: Vista trasera del módulo elegido.

Para la realización de los agujeros en el panel de aluminio, en los que se atornillaran estos módulos, se ha tenido en cuenta que tiene que ser posible introducir una llave de tubo en las tuercas de la parte posterior.

Para los paneles de material compuesto se han montado las mismas células que se utilizan en estos módulos, pero estas se pegan directamente sobre la superficie del panel. Estas células son el modelo 3G30A de

Azurspace [7]. La representación de estas células aparece en la Figura 29.



Figura 29: Vista de las células empleadas en los paneles de material compuesto.

5.7. Cableado eléctrico

La realización del cableado se ha realizado, en el caso de los paneles de aluminio, por la parte posterior. Mientras que en el caso de los paneles de material compuesto este cableado esta dispuesto por la parte frontal. En ambos casos, se ha realizado sin entrar en detalles y sin que existan conexiones eléctricas reales. Aún así, se ha respetado la posición que este debería tener en la realidad para que tales ecuaciones sean adecuadas.

Los conectores que existen en la parte trasera de los módulos de células solares son los mismos que vienen montados por defecto, en concreto el modelo Pico-Lock PCB Header del fabricante Molex [8]. Por lo tanto, los conectores del cableado elegidos son los correspondientes a los existentes en los módulos de células solares, es decir, el modelo Pico-Lock Receptacle Crimp Housing tambien de Molex [9].

Este cableado se ha realizado en distintas partes, de forma que se pueda parametrizar para que los módulos estén conectados en serie en la dirección Y, y en paralelo cada dos columnas en la dirección X. Aunque se podría realizar cualquier otro tipo de conexión si los requisitos de tensión e intensidad así lo requirieran. En la Figura 30 se muestra la parte trasera del panel con el cableado montado.

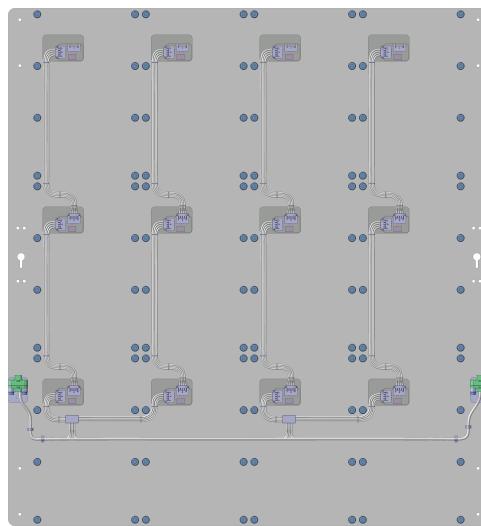


Figura 30: Vista trasera del panel de aluminio con las conexiones eléctricas realizadas.

Los conectores en los que se monta el cable que une eléctricamente los paneles entre sí son apropiados para entorno espacial, en concreto el modelo Gecko Screw-Lok de Harwin [4]. La posición de estos conectores se muestra en la Figura 31.

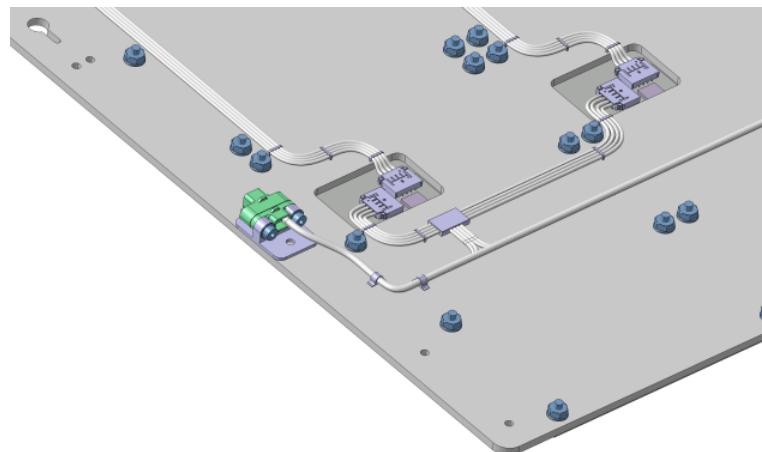


Figura 31: Vista de detalle de las conexiones eléctricas del panel de aluminio.

El cableado de los paneles de material compuesto se muestra en la Figura 32, y una vista en detalle del mismo en la Figura 33.

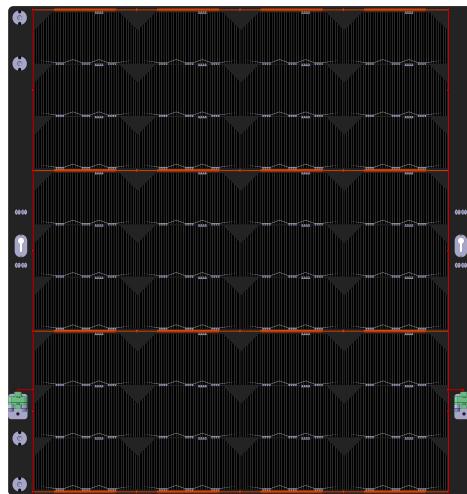


Figura 32: Vista del panel de material compuesto con las conexiones eléctricas realizadas.

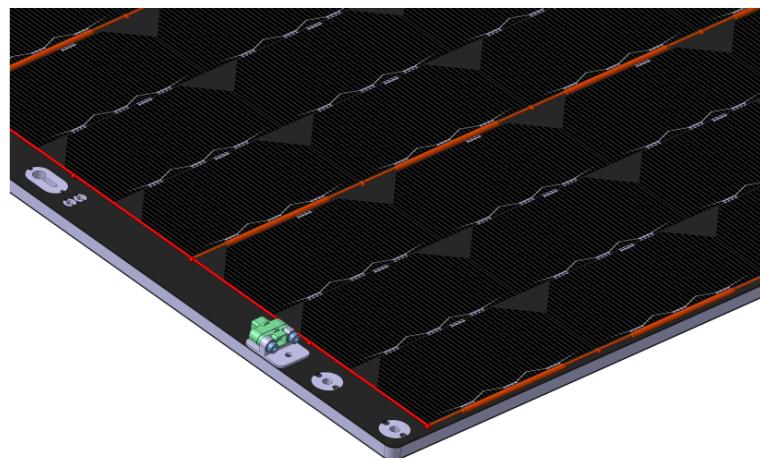


Figura 33: Vista de detalle de las conexiones eléctricas del panel de material compuesto.

6. GUI (Graphical User Interface)

Para permitir que el usuario pueda elegir la configuración final de los paneles sin tener que modificar manualmente los parámetros de CATIA, se ha diseñado una GUI (Graphical User Interface). El objetivo principal de la GUI es que de manera simple e intuitiva se puedan modificar los parámetros correspondientes. Estos parámetros se almacenan en una tabla de diseño de excel, y se utilizan como valores de entrada para la configuración del satélite en CATIA.

La GUI se estructura en 3 pestañas principales:

- Geometría y Material
- Potencia
- Despliegue y orientación

6.1. Geometría y material

En la ventana de geometría y material se permite configurar los siguientes parámetros (Figura 34):

- Forma en planta : Hexagonal o cuadrada.
- Introducir las dimensiones laterales del satélite y sobre-dimensión máxima permitida: Debido a que los paneles solares no entran dentro de la envolvente, sus dimensiones no tienen que cumplir con el requisito RG1, sin embargo, se ha establecido que la sobre-dimensión máxima con respecto a la medida del satélite sea de un 10 %. Al introducir estos valores, se puede establecer el número máximo de células solares que podrían colocarse en un panel.
- Materiales: Permite elegir el tipo de material de los paneles, así como los espesores. Además, para el caso del material compuesto, también se ofrece la opción de elegir entre 3 núcleos diferentes, así como dos valores diferentes de espesor del núcleo.

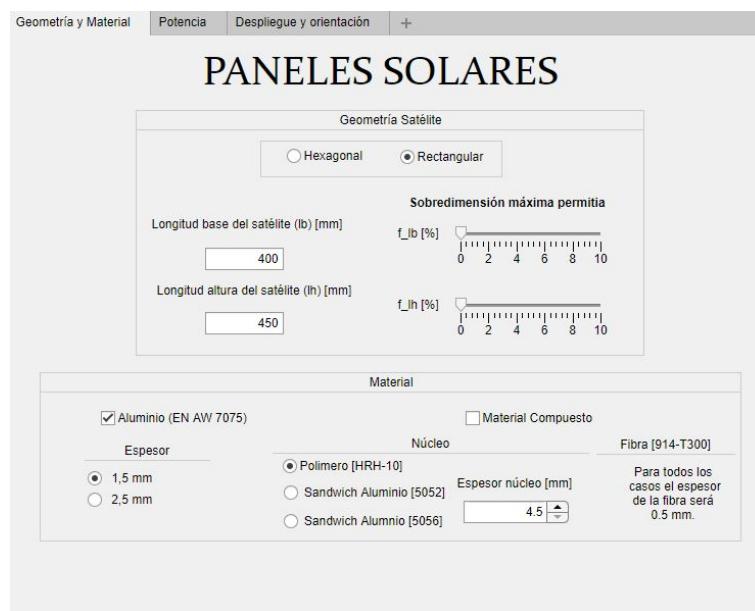


Figura 34: Configuración GUI: Pestaña geometría y material.

6.2. Potencia

En función de la misión, los requisitos de potencia serán diferentes, por lo que se ha considerado de interés permitir al usuario configurar el diseño de los paneles solares. Para ello, se ofrece la opción de elegir tanto la cantidad de células solares por panel, como el número de paneles de por cada lado. Esto permitirá hacer una estimación de la potencia que puede llegar a generar los paneles solares desplegados. Además, también se ofrece la posibilidad de elegir el tipo de conexiones eléctricas de los paneles.

Por tanto, para configurar las células solares se permite elegir los siguientes parámetros (Figura 36):

- Número de células por cupón.
- Número de cupones por columna.
- Número de columnas.
- Número de paneles desplegados por cada lado

Una vez introducidos estos valores, internamente se calcula el número de células totales, que junto con el rendimiento de la célula a una temperatura de 28 °C, el valor de la irradiancia de 1367 W/m² y un ángulo incidente entre el Sol y el satélite de 0°, permite estimar el valor de la potencia que se podría conseguir. Se ha considerado que el valor del ángulo incidente es 0° debido a la capacidad de los paneles de orientarse.

Para que sea más fácil visualizar el tipo de configuración que se ha elegido con dichos parámetros, cada vez que se calcula el valor de la potencia, se muestra una representación del número de células por panel y de su disposición en el mismo (Figura 35).

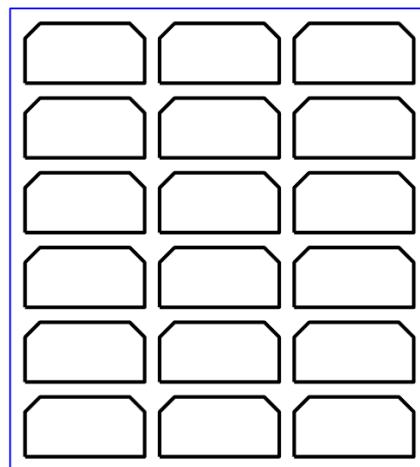


Figura 35: Configuración GUI: Representación células solares.

Además, hay que tener en cuenta que no siempre serán posibles todas combinaciones posibles de número de células por cupón, número de cupones y número de columnas. Por lo que internamente, para cada combinación de parámetros, se van actualizando en tiempo real los límites superior de cada uno de ellos para los valores de longitud y sobre-dimensión máxima establecidos.

Asimismo, una vez elegida la configuración, también se calcula internamente el valor mínimo de las longitudes del panel para ese número de células y configuración. Este valor, se podrá utilizar también como

parámetro de entrada para CATIA.

Por otro lado, también es posible elegir el tipo de conexiones eléctricas. Para ello, tanto en el caso del material compuesto, como para el aluminio, se han considerado que las conexiones eléctricas dentro de un mismo cupón se realizan en serie. Mientras que las conexiones eléctricas entre cupones y paneles se realizan en paralelo. Esta es la razón por la que, en vez de elegir como parámetro de entrada únicamente el número de células por columna y número de columnas, se ha introducido el parámetro del número de células por cupón y número de cupones. Además, cabe destacar que, en el caso del compuesto no existen cupones físicos como tal, únicamente se utiliza ese concepto para relacionar las conexiones eléctricas. De igual forma que en el caso anterior, cuando se le da al botón de calcular la potencia, también aparece por pantalla la tensión y la intensidad que tendría cada uno de los dos bloques de paneles trabajando en el punto de máxima potencia.

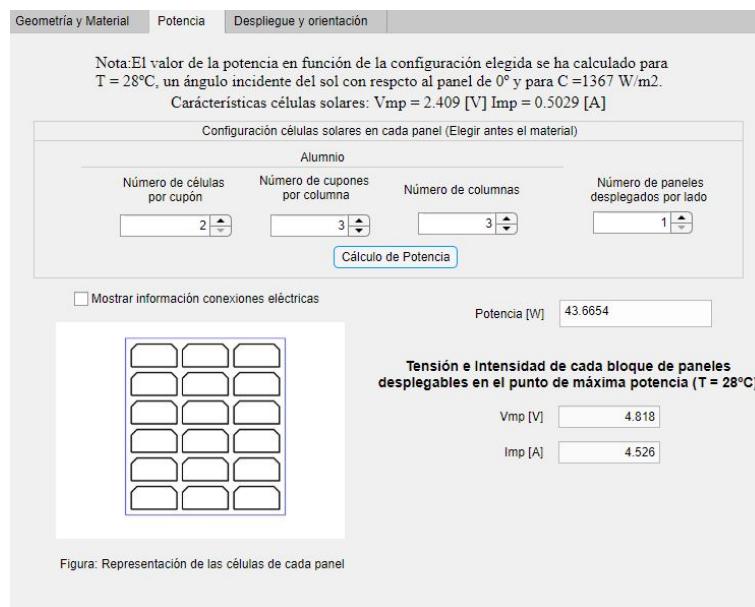


Figura 36: Configuración GUI: Potencia y configuraciones eléctricas.

6.3. Despliegue y orientación

Por último, la pestaña de despliegue y orientación permite decidir en qué posición se muestra el satélite. En este caso, se puede configurar estos tres parámetros:

- Estado del despliegue: Sí o no.
- Orientación.
- Ángulo de orientación .

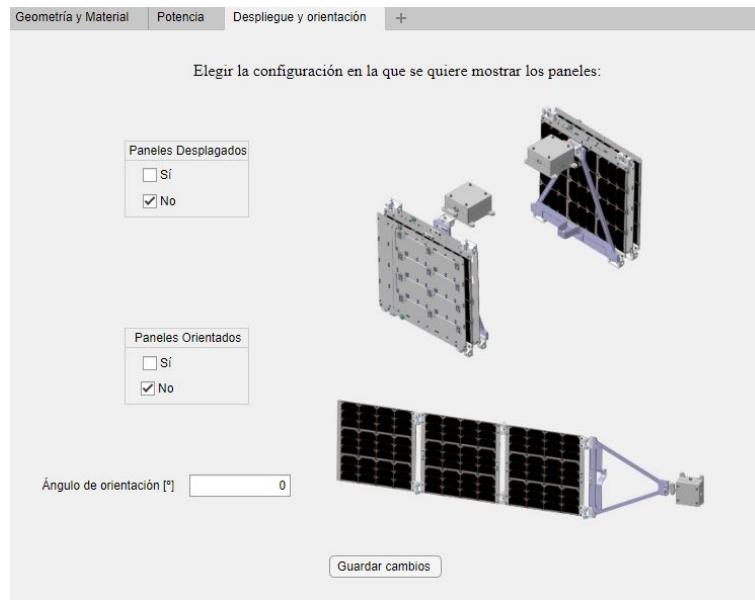


Figura 37: PONER LA FINAL Configuración GUI: Despliegue y orientación.

Es muy importante resaltar, que si se quieren actualizar todos los parámetros en la tabla de diseño del Excel, es necesario darle al botón de "Guardar cambios" que aparece en la última ventana. Para prevenir que el usuario no guarde estos valores, antes de cerrar la GUI salta un mensaje para recordar que se guarden los valores antes de cerrar (38).

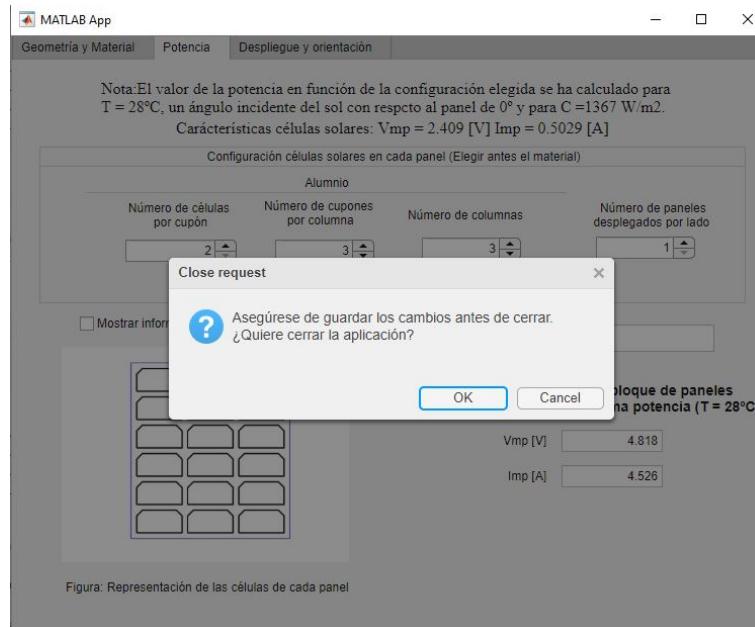


Figura 38: Configuración GUI: Avisos

7. Simulación mecanismos

Dado que este módulo cuenta con una gran cantidad de partes móviles que realizan un desplazamiento sinérgico, es muy interesante emplear el módulo de CATIA "DMU Kinematics" para simular la suelta de los paneles.

Para realizar las simulaciones se ha hecho un assembly simplificado en el cual no se incluyen todos los subconjuntos en detalle y que permite obtener los resultados en un periodo (más o menos) razonable de tiempo. Además, se han organizado las partes de forma que el producto que se simula no tiene que lidiar con un gran número de restricciones, ya que los componentes que lo integran son piezas que se mueven juntas.

Para simular correctamente los tiempos entre el movimiento del mecanismo de suelta y la apertura de los paneles, se han definido los desplazamientos haciendo uso de la herramienta MATLAB y se han exportado estos a un archivo DXF, que es compatible con los programas tipo CAD, para poder abrirlo así con CATIA y poder crear un sketch que más tarde se usa como ley de movimiento.

Los tipos de unión que aparecen en el mecanismo son: de tipo "gear" entre los dos engranajes, de tipo "revolute" para las bisagras y de tipo "prismatic" para los mecanismos de suelta. A continuación se expone un ejemplo de cada una de ellas, el resto de uniones iguales sigue una ley similar pero con otros desfases.

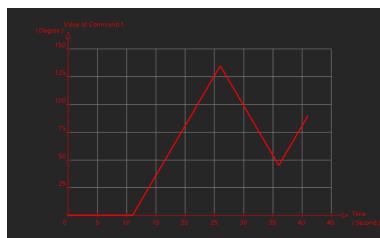


Figura 39: Ley de los engranajes.

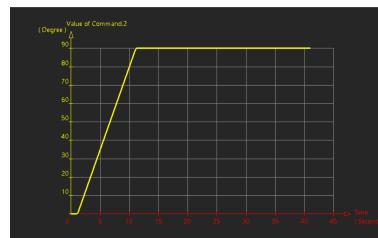


Figura 40: Ley de las bisagras.

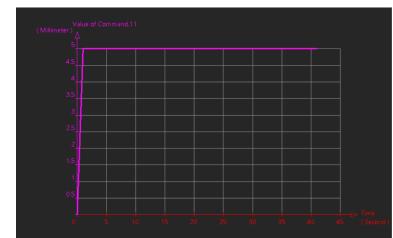


Figura 41: Ley de la suelta.

A lo largo del tiempo de simulación se tiene la siguiente distribución de movimientos:

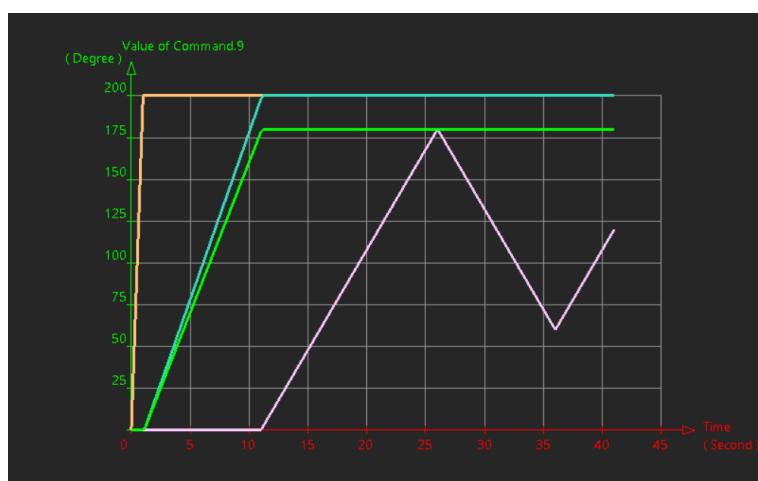


Figura 42: Leyes de movimiento superpuestas.

8. Evolución del diseño

A continuación se va a mostrar la evolución que ha tenido el diseño respecto a la primera propuesta que se realizó. En la Figura (43) se muestra una vista general del diseño propuesto, mientras que en la Figura (44) se muestra la vista general del diseño final.

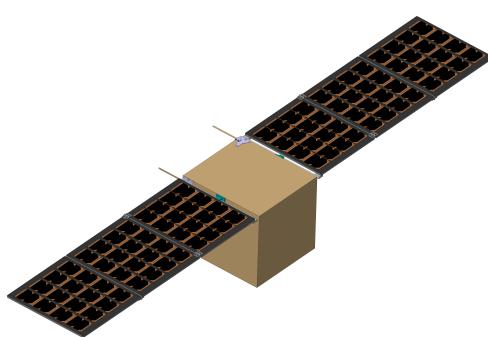


Figura 43: Vista general del diseño preliminar.

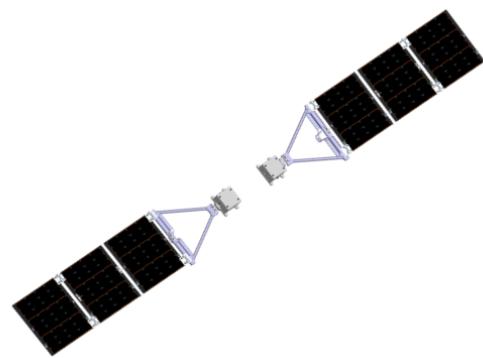


Figura 44: Vista general del diseño final.

En general todos los elementos han sufrido una gran evolución a lo largo de su desarrollo en su complejidad geométrica pero no tanto en la definición en si del mismo.

Uno de los en los que mejor se aprecia esto es en las bisagras. El primer diseño que se hizo de las mismas era muy simple y apenas carecía de detalles. En el diseño final este elemento se ha refinado enormemente, pero la esencia de su funcionamiento se mantiene, tal y como se puede ver en la Figura (45) y en la Figura (46).

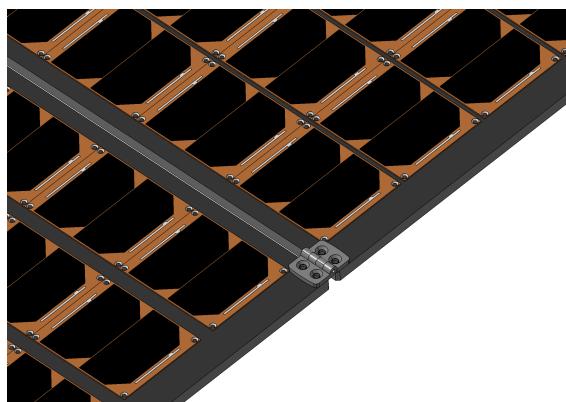


Figura 45: Bisagras del diseño preliminar.

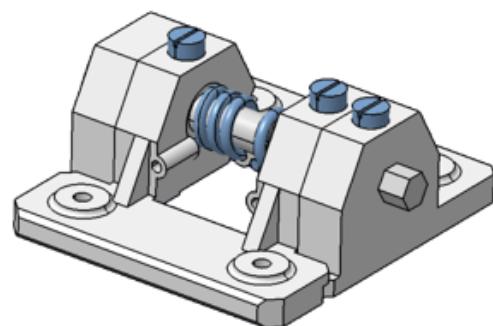


Figura 46: Bisagras del diseño final.

Sin embargo otros elementos han sufrido un cambio radial, tanto que en el diseño final apenas queda nada del diseño preliminar que se realizó. el mejor ejemplo de esto es la sujeción del paneles al resto del satélite y el mecanismo de orientación, que tal y como se puede observar en la Figura (47) y en la Figura (48).

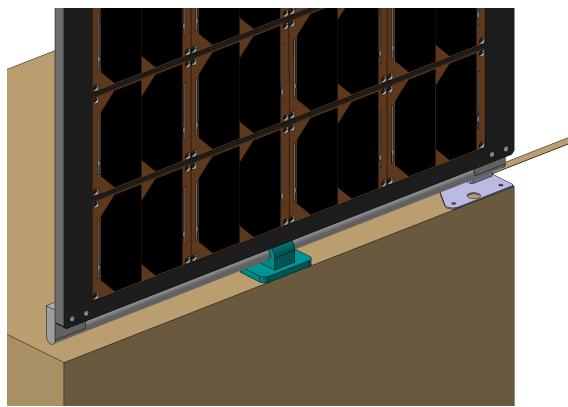


Figura 47: Unión con el satélite del diseño preliminar.



Figura 48: Unión con el satélite del diseño final.

9. Propuestas de mejora, trabajo no terminado

La característica más interesante del trabajo realizado es el hecho de que es un diseño paramétrico. Esto significa que las posibilidades disponibles son prácticamente infinitas. Este es, por tanto, uno de los puntos en los que se podría seguir trabajando para introducir mejoras en el proyecto, de forma que existiesen mas posibilidades en lo relativo a dimensiones, geometrías o materiales empleados.

En concreto, sería interesante desarrollar en mayor profundidad el aspecto eléctrico del panel, de forma que existiese una mayor relación entre la batería y las distintas cargas de pago del satélite con los paneles solares. También sería conveniente implementar distintos tipos de células solares que permitieran aumentar las posibles combinaciones de tensión e intensidad.

Otro aspecto interesante sería el de reducir el peso del mecanismo SADA, las dimensiones de los engranajes y la longitud de los tornillos utilizados para el mismo. Se trataría de pasar por un nuevo proceso de diseño y poder mejorar los aspectos mencionados. Las bisagras también podrían cambiarse y hacerse más compactas debido a su elevado tamaño en relación con los paneles. Además, la forma de despliegue de los paneles podría modificarse y estudiar nuevas formas que eviten menos problemas a la hora de realizar la simulación. Así como la realización de un estudio más detallado del impacto del despliegue de los paneles. Buscando una optimización en la disposición del mecanismo de suelta que reduzca las cargas generadas a lo largo de del módulo.

Por otro lado, el tema de la uniformidad en el diseño con la herramienta CATIA ha sido una tarea complicada. Si bien es cierto que, trabajando con GitHub el proceso ha sido muy sencillo, evitando interferencias entre los diferentes miembros del equipo, la selección de los parámetros globales así como el uso de parámetros internos no ha sido del todo uniforme y ha generado ciertos problemas. En próximas ocasiones, se debería dejar claro desde el principio cómo trabajar con los parámetros y su compatibilidad con el resto de productos.

10. Conclusiones

A lo largo del desarrollo del proyecto, se ha comprobado que el diseño paramétrico ofrece numerosas ventajas en el manejo de un diseño complejo. Especialmente a la hora de hacer cambios en alguna de sus partes, pudiendo ser estos controlados con la simple variación de unos reducidos parámetros. Sin embargo, también se ha podido comprobar que el diseño paramétrico es una metodología en sí misma, buscando en las etapas iniciales el diseño más simple y robusto posible para poder adelantarse a las necesidades que posteriormente se tendrán.

El resultado del trabajo se puede considerar satisfactorio por dos razones. La primera de ellas es el hecho de que, aunque con algunas limitaciones, el diseño es capaz de cumplir con los requisitos funcionales y geométricos que condicionaban su diseño.

Si bien es cierto que el módulo de paneles solares era uno de los más independientes en lo que se refiere a relación con el resto de los módulos (interfaces geométricas y/o eléctricas, compatibilidad de dimensiones, etc.), esta independencia no necesariamente implicaba una menor complejidad del diseño. En las primeras etapas del diseño, se fijaron unos objetivos que parecían ser ambiciosos. Pero, sin embargo, a lo largo del diseño de los distintos elementos del módulo han podido ser alcanzados, siendo esta la segunda razón que lleva a considerar el trabajo como satisfactorio.

El nivel organizativo que requería el proyecto era elevado, mucho mayor que cualquier otro trabajo en el que se haya formado parte. Era, por tanto, necesario asignar una serie de tareas y funciones a cada miembro del equipo desde el inicio, con el objetivo de evitar interferencias y retrasos en el calendario establecido. Por lo tanto, se ha comprobado de primera mano cómo es trabajar a un nivel organizativo parecido a cómo podría trabajar un equipo de una empresa en proyectos reales.

Tampoco puede quedar sin comentar la experiencia que el equipo al completo ha tenido con la herramienta CATIA. Ha sido un proceso bastante sufrido pero que tiene un final feliz. La sensación del grupo entero es que se ha aumentado el nivel de partida a unos niveles muy altos. Es cierto que, si se hubiera seguido un proceso de validación frecuentemente, muchos de los problemas se hubieran solventado mucho antes y la experiencia hubiera sido mucho más agradable. La sensación general es que se trata de una herramienta muy potente a la que se le tiene que tener mucho respeto. La paciencia y la serenidad son imprescindibles para poder aprender y eso se ve reflejado en el resultado final.

Referencias

- [1] ESA-ESTEC. *Data for selection of space materials and processes*. 2004. URL: <http://www.esmat.esa.int/ecss-q-70-71a.pdf>.
- [2] PhySPACE. *phySPACE 19-2 stepper motor*. 2021. URL: <https://www.phytron.eu/products/motors-actuators/physpace/>.
- [3] SKF. *SKF Rodamientos*. 2021. URL: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6300-2RSH>.
- [4] Harwin. *Gecko Screw-Lok*. 2021. URL: <https://www.harwin.com/products/G125-2240696F1/>.
- [5] ELESA. *ELESA-GN815*. 2021. URL: <https://www.traceparts.com/en/product/elesa-gn-815-threaded-plungers-screwdriver-slotted-head-steel-gn-815m4st?CatalogPath=ELESA%5C3AELESA.080.030&Product=10-03072013-060721&PartNumber=GN.33913&tab=Rfq>.
- [6] GomSpace. *NanoPower MSP*. 2019. URL: <https://gomspace.com/UserFiles/Subsystems/datasheet/gs-ds-nanopower-msp-12.pdf>.
- [7] AzurSpace. *3G30A Cells*. 2021. URL: http://www.azurspace.com/images/products/0003401-01-01_DB_3G30A.pdf.
- [8] Molex. *Pico-Lock PCB Header*. 2021. URL: https://www.molex.com/molex/products/part-detail/pcb_headers/5040500491.
- [9] Molex. *Pico-Lock Receptacle Crimp Housing*. 2021. URL: https://www.molex.com/molex/products/part-detail/crimp_housings/5040510401.