



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BASE DE RECARGA DE DRONES

Autor: Ignacio Mendialdua Landecho

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

Madrid

Julio 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Diseño de una estación base de recarga de drones en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2021/2022 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

Fdo.: Ignacio Mendiáldua Landecho

Fecha: 17/ 07/2022



Autorizada la entrega del proyecto

Fdo.: Dr. Antonio García de Garmendia

Fecha: 17/ 07/2022





MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BASE DE RECARGA DE DRONES

Autor: Ignacio Mendialdua Landecho

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

Madrid

Julio 2022

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BASE DE RECARGA DE DRONES.

Autor: Ignacio Mendialdua Landecho

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

En la actualidad existen una gran variedad de drones, desde aquellos destinados a su uso militar, como los diseñados para uso doméstico o industrial. Todos ellos tienen en común que son aeronaves no tripuladas de diferentes tamaños que son capaces de llegar a lugares a veces inalcanzables, cada uno con sus propias características técnicas. En este trabajo nos referiremos exclusivamente a los destinados para su uso doméstico y aplicaciones profesionales. En la última década son diversos los ámbitos profesionales en los que se han implementado su uso, pero podríamos centrarlos principalmente en tres: la inspección, la agricultura, la seguridad y vigilancia. Su uso en la inspección abarca desde inspecciones de construcciones, como de torres eléctricas, aerogeneradores, torres de telecomunicación, minas, centrales nucleares o instalaciones de ciclo combinado, entre otros. En la agricultura se utilizan en distintas actividades como la vigilancia del ganado, el control de cultivos y regadíos, o la topografía (mapeado en 3D a través de imágenes). Por último, en la seguridad y vigilancia se usan tanto en el control de incendios forestales, como en vigilancias de fronteras, como control de daños causados por otras catástrofes naturales.

Estas actividades requieren normalmente de vuelos de larga duración en el exterior, y se ven afectados negativamente por dos factores principales: la duración de la batería del dron, y las condiciones climatológicas. La duración media de batería para un dron de uso profesional de tamaño mediano y cuatro motores es de aproximadamente entre 20 y 30 minutos. Teniendo en cuenta que la mayoría de actividades requieren de un largo proceso de analizar imágenes durante el vuelo o de realizar muy largas distancias, la escasa duración de la batería del dron puede llegar a interrumpir una operación o incluso hacer imposible la realización total de la misma.

Pongamos un ejemplo, imaginemos que un agricultor debe de inspeccionar sus cultivos desde el punto A desde donde tiene acceso y desde donde puede manejar tranquilamente la operación hasta el punto B, donde terminan sus cultivos. Ahora pongamos que la duración de la batería del dron solo le permite inspeccionar hasta un punto intermedio C, momento en el que recibe el aviso de retorno antes de que se agote la batería. En esta situación el agricultor nunca podrá realizar la inspección completa y llegar hasta el punto

B. Aquí es donde entraría en juego el aparato en cuestión del que trata este proyecto: una estación de recarga de drones. Instalando la estación en un punto intermedio C, el agricultor se aseguraría llegar siempre hasta B. Cuando el dron indicase escasez de batería, este iría hasta la estación, esperaría a recargarse, y continuaría hasta el punto final B, pudiendo completar totalmente la operación de inspección. Este sencillo ejemplo es solo uno de los muchos casos en los que se podrían aplicar, y nos da una visión de la importancia y potencial que tienen actualmente estas estaciones.

Una estación de recarga aporta esa capacidad de llegar aún más lejos con estos aparatos y de forma totalmente autónoma, sin la necesidad de la presencia del operario. En este Trabajo se diseñará una estación de recarga de drones que sea capaz de recibir a un dron cuando tenga un nivel bajo de batería y albergarlo en su interior de forma segura en su interior hasta su total recarga de manera totalmente autónoma gracias a un sistema automatizado. Para el diseño se ha buscado el obtener una estación transportable, ligera, sencilla, que no necesite una conexión a red y que sea versátil, capaz de adaptarse a todo tipo de entornos de trabajo.

Metodología

Para la realización de este diseño se ha partido de un previo trabajo de investigación donde se han analizado todos los diseños de estaciones base de recarga de drones existentes hasta el momento. De esta manera se ha conseguido tener una idea clara sobre los diferentes avances y evolución de la técnica, así como las tendencias de los diseños que han ido cambiando a lo largo del tiempo. Conociendo cuales son las necesidades que se demandan de estas estaciones y qué soluciones ofrecen los diseños actuales a esas necesidades y cuales no, se ha realizado un proceso creativo para dar lugar con el diseño idóneo de la estación mediante la realización de bocetos y dibujos.

Una vez se ha tenido una idea clara del diseño se ha comenzado a entrar más en detalle en todos los elementos que conforman esa estación. Para los principales se ha realizado un proceso de selección de materiales con la ayuda del software *CES Granta EduPack 2021* que permite aplicar filtros y restricciones entre un gran número de materiales. Después de la selección de los materiales se ha procedido a realizar los cálculos mecánicos relacionados con el dimensionamiento de los espesores de esos materiales escogidos anteriormente para asegurar la función de protección del dron y adaptabilidad a todo tipo de entornos.

Después de realizar los cálculos mecánicos se ha procedido a realizar los cálculos eléctricos, donde se ha descrito el funcionamiento de los paneles solares como fuente de alimentación, se ha seleccionado la capacidad de la batería y los diferentes elementos y

dispositivos electrónicos involucrados en hacer funcionar la estación de manera autónoma. También se han realizado los cálculos electrónicos, relacionados con la conexión de esos dispositivos a un autómata programable y de la programación del mismo mediante un esquema de la automatización secuencial con la metodología *Grafcet* de programación. Por último, se ha realizado un estudio económico de todos los costes de fabricación, materiales y dispositivos con los que se ha podido estudiar el coste final en crear una sola estación de recarga.

Resultados

Concluidos todos los cálculos y estudio económico se obtiene una estación de recarga robusta y sencilla capaz de proteger al dron ante cualquier tipo de situaciones y climatologías, una estación que usa solo energía solar para su funcionamiento y polivalente, gracias a su sistema que le permite ser instalada mediante unos soportes en diferentes localizaciones. Aunque en la mayoría de aspectos se ha conseguido un diseño capaz de cumplir con las características que se fijaron al principio del Trabajo, hay un aspecto en el que no se ha conseguido destacar tan notablemente y es el del peso de la estación, que resulta más elevado de lo esperado (alrededor de los 38kg) y que limita la capacidad de ser fácilmente transportable.

En cuanto al precio, se ha conseguido ajustar los costes lo mínimo posible siempre con materiales y dispositivos de calidad, obteniendo un precio bastante competente de 2152€. Aunque en la actualidad no haya mucha información acerca de precios de otras estaciones de recarga de drones (pues es una tecnología nueva aún en desarrollo) podemos decir que es un coste asumible teniendo en cuenta los elevados precios de la industria de los drones.

DESIGN OF A DRONE RECHARGING BASE STATION.

Author: Ignacio Mendialdua Landecho

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

ICAI – Universidad Pontificia Comillas

PROJECT SUMMARY

Introduction

There are currently a wide variety of drones, from those intended for military use to those designed for domestic or industrial use. All of them have in common that they are unmanned aircraft of different sizes that are capable of reaching sometimes unreachable places, each with its own technical characteristics. In this paper we will refer exclusively to those intended for domestic use and professional applications. In the last decade there are several professional fields in which their use has been implemented, but we could focus mainly on three: inspection, agriculture, security and surveillance. Their use in inspection ranges from construction inspections, such as electrical towers, wind turbines, telecommunication towers, mines, nuclear power plants or combined cycle facilities, among others. In agriculture, they are used in different activities such as livestock monitoring, crop and irrigation control, or topography (3D mapping through images). Finally, in security and surveillance they are used in forest fire control, border surveillance, and damage control caused by other natural disasters.

These activities usually require long duration flights outdoors, and are negatively affected by two main factors: drone battery life and weather conditions. The average battery life for a medium-sized, four-motor professional drone is approximately 20 to 30 minutes. Considering that most activities require a long process of analyzing images during the flight or very long distances, the low battery life of the drone can interrupt an operation or even make it impossible to perform the whole operation.

Let's take an example, let's imagine that a farmer has to inspect his crops from point A from where he has access and from where he can calmly manage the operation to point B, where his crops end. Now let's say that the drone's battery life only allows him to inspect up to an intermediate point C, at which point he receives the return warning before the battery runs out. In this situation the farmer will never be able to complete the full inspection and get to point B. This is where the device in question that this project is about would come into play: a drone charging station. By installing the station at an intermediate point C, the farmer would be assured of always getting to B. When the drone indicated a battery shortage, it would go to the station, wait to recharge, and continue to the end point B, being able to fully complete the inspection operation. This simple example is just one

of many cases in which they could be applied, and gives us a glimpse of the importance and potential that these stations currently have.

A recharging station provides the ability to go even further with these devices and in a totally autonomous way, without the need for the presence of the operator. In this work we will design a drone charging station that is able to receive a drone when it has a low battery level and house it safely inside until it is fully recharged in a completely autonomous way thanks to an automated system. For the design we have sought to obtain a transportable, lightweight, simple station that does not require a network connection and is versatile, able to adapt to all types of work environments.

Methodology

For the realization of this design, we have started from a previous research work where we have analyzed all the designs of drone recharging base stations existing so far. In this way it has been possible to have a clear idea about the different advances and evolution of the technique, as well as the trends of the designs that have been changing over time. Knowing which are the needs that are demanded of these stations and which are the solutions offered by the current designs to those needs and which are not, a creative process has been carried out to give rise to the ideal design of the station through the realization of sketches and drawings.

Once we had a clear idea of the design, we began to go into more detail on all the elements that make up the station. For the main ones, a material selection process has been carried out with the help of *CES Granta EduPack 2021* software, which allows to apply filters and restrictions among a large number of materials. After the selection of the materials, the mechanical calculations related to the sizing of the thicknesses of the materials previously chosen to ensure the protection function of the drone and adaptability to all types of environments have been carried out.

After the mechanical calculations, the electrical calculations have been performed, where the operation of the solar panels as a power source has been described, the battery capacity has been selected and the different elements and electronic devices involved in the autonomous operation of the station have been selected. The electronic calculations related to the connection of these devices to a programmable automaton and its programming by means of a sequential automation scheme with the *Grafset* programming methodology have also been carried out. Finally, an economic study of all manufacturing costs, materials and devices has been carried out to study the final cost of creating a single recharging station.

Results

Concluidos todos los cálculos y estudio económico se obtiene una estación de recarga robusta y sencilla capaz de proteger al dron ante cualquier tipo de situaciones y climatologías, una estación que usa solo energía solar para su funcionamiento y polivalente, gracias a su sistema que le permite ser instalada mediante unos soportes en diferentes localizaciones. Aunque en la mayoría de aspectos se ha conseguido un diseño capaz de cumplir con las características que se fijaron al principio del Trabajo, hay un aspecto en el que no se ha conseguido destacar tan notablemente y es el del peso de la estación, que resulta más elevado de lo esperado (alrededor de los 38kg) y que limita la capacidad de ser fácilmente transportable.

En cuanto al precio, se ha conseguido ajustar los costes lo mínimo posible siempre con materiales y dispositivos de calidad, obteniendo un precio bastante competente de 2152€. Aunque en la actualidad no haya mucha información acerca de precios de otras estaciones de recarga de drones (pues es una tecnología nueva aún en desarrollo) podemos decir que es un coste asumible teniendo en cuenta los elevados precios de la industria de los drones.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: ESTADO DE LA CUESTIÓN	24
1. Estaciones de recarga de drones	24
1.1 Evolución a lo largo del tiempo	26
1.2 Problemas que resuelven.....	32
CAPÍTULO II: DISEÑO	36
1. Características de la estación	36
2. Comparativa con otros diseños.....	38
3. Propuesta de diseño	40
3.1 Elementos de la estación.	40
3.2 Proceso de diseño y presentación del diseño final	43
3.3 Funcionamiento.....	49
4. Dimensionamiento.....	52
CAPÍTULO III: SELECCIÓN DE MATERIALES.....	55
1. Estructura principal.....	55
2. Plataforma de recarga	61
3. Carcasa inferior y los elementos de unión.	63
4. Material aislante.....	69
5. Conclusiones.....	71
CAPÍTULO IV: CÁLCULOS MECÁNICOS	73
1. Simulación de cargas	73

1.1 Cargas permanentes.....	73
1.2 Cargas variables	74
1.3 Cargas totales	76
1.4 Introducción de datos y geometría	77
1.5 Mallado.....	79
1.6 Condiciones de contorno y resultados.....	81
1.7 Resultados	83
2. Espesor de material aislante.....	88
3. Conclusiones.....	90
CAPÍTULO V: CÁLCULOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	92
1. Cálculos eléctricos	92
1.1 Elementos.....	94
1.2 Batería y paneles	100
2. Cálculos electrónicos.	103
2.1 Hardware	103
2.2 Software	106
3. Conclusiones.....	109
CAPÍTULO VI: ESTUDIO ECONÓMICO.....	111
1. Estimación del coste total de la estación	111
1.1 Costes de fabricación	111
1.2 Costes de los materiales y dispositivos	116

2. Estudio de inversión con caso práctico.....	120
3. Conclusiones.....	122
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES	124
ANEXO: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	127
1. Objetivo principal	127
2. Objetivos secundarios.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Código de clasificación. Fuente:Tecnológico Nacional de México.201725	
Ilustración 2: evolución en el tiempo de las estaciones de recarga de drones. Fuente: ilustración de elaboración propia.....	26
Ilustración 3: Sistema de recambio de batería del dron. Fuente: Mingxi W. et al. 2016	27
Ilustración 4: Estación de recarga con capacidad de almacenar seis drones simultáneamente. Fuente: Straus I. et al. 2017	28
Ilustración 5: Estación de recarga WiPort. Fuente: WiPo Wireless Power web. 2022. .	29
Ilustración 6: Transmisor y receptor del dispositivo de recarga de WiPo. Fuente: WiPo Wireless Power web. 2022.	29
Ilustración 7: Estación base de recarga Heisha D80 con instalación fotovoltaica como fuente de energía. Fuente: Heisha Tech web.....	30
Ilustración 8: Estación de recarga y almacenamiento con altura ajustable. Fuente: Yoseon Y. 2020.	31
Ilustración 9: organización de los problemas que resuelven las estaciones por grupos.	33
Ilustración 10: Proceso de recibimiento del dron en la estación de Yoseon. Fuente: Yoseon Y. 2020.....	38
Ilustración 11: Estructura de la estación de Yoseon. Fuente: Yoseon Y. 2020.....	38
Ilustración 12: Mapa de memoria de elaboración propia..	40
Ilustración 13:Bocetos iniciales. Dibujos de elaboración propia.	43
Ilustración 14: desarrollo de los bocetos anteriores. Dibujos de elaboración propia.	44
Ilustración 15: Diseño final de la estación. Dibujo de elaboración propia (2022).	45
Ilustración 16: Diseño de parte inferior de la estación. Dibujo de elaboración propia. .	45
Ilustración 17: Dibujo de despiece de la estación. Dibujo de elaboración propia.....	46

Ilustración 18: Proceso de cerrado de la compuerta y detalle de carriles utilizados.	
Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	47
Ilustración 19: soporte para elementos cilíndricos. Dibujo de elaboración propia.	48
Ilustración 20: Soporte para superficies planas. Dibujo de elaboración propia.	48
Ilustración 21: Soporte para vehículo. Dibujo de elaboración propia (2022).	48
Ilustración 22: Ejemplo del lenguaje gráfico utilizado en la metodología Grafcet.	
Fuente: ilustración de elaboración propia.....	50
Ilustración 23: Grafcet descriptivo del proceso automatizado de recarga. Fuente:	
ilustración de elaboración propia.....	51
Ilustración 24: Grafcet descriptivo de la operación de recarga del dron de la estación.	
Fuente: ilustración de elaboración propia.....	51
Ilustración 25: Drones medianos de uso profesional más utilizados. Fuente: tabla de	
elaboración propia. Ilustración 26: Grafcet descriptivo de la operación de recarga del	
dron de la estación. Fuente: ilustración de elaboración propia.	51
Ilustración 27: Drones medianos de uso profesional más utilizados. Fuente: tabla de	
elaboración propia. Ilustración 28: Grafcet descriptivo de la operación de recarga del	
dron de la estación. Fuente: ilustración de elaboración propia.	51
Ilustración 29: Drones medianos de uso profesional más utilizados. Fuente: tabla de	
elaboración propia. Ilustración 30: Grafcet descriptivo de la operación de recarga del	
dron de la estación. Fuente: ilustración de elaboración propia.	51
Ilustración 31: Drones medianos de uso profesional más utilizados. Fuente: tabla de	
elaboración propia.	52
Ilustración 32: Dimensiones del 3DR Solo y Autel Evo Lite+. Fuente: elaboración	
propia con imágenes de www.3DR.com y www.Autel.com 3DRobotics Solo	53

Ilustración 33: Dimensiones del 3DR Solo y Autel Evo Lite+. Fuente: elaboración propia con imágenes de www.3DR.com y www.Autel.com3DRobotics Solo	53
Ilustración 34: Dimensiones del 3DR Solo y Autel Evo Lite+. Fuente: elaboración propia con imágenes de www.3DR.com y www.Autel.com3DRobotics Solo	53
Ilustración 35: Dimensiones del 3DR Solo y Autel Evo Lite+. Fuente: elaboración propia con imágenes de www.3DR.com y www.Autel.com	53
Ilustración 36: Dimensiones de la estructura principal de la estación. Fuente: dibujo de elaboración propia.	53
Ilustración 37: Gráfico densidad-tenacidad a rotura para los metales seleccionados. Fuente: gráfico realizado con software CES Granta EduPack (2022).	57
Ilustración 38: Gráfico densidad-resistencia a tracción de los materiales seleccionados. Fuente: gráfico realizado con el software CES Granta EduPack (2022).....	58
Ilustración 39: Gráfico densidad - precio para una comparativa de precio entre los materiales. Fuente: gráfico realizado con el software CES Granta EduPack (2022).	59
Ilustración 40: Propiedades del aluminio 2024 T3. Fuente: tabla de elaboración propia con los datos obtenidos de CES Granta EduPack (2022).....	60
Ilustración 41: Propiedades del aluminio 7475 T7351. Fuente: tabla de elaboración propia con los datos obtenidos de CES Granta EduPack (2022).....	60
Ilustración 42: Precio-Densidad para aluminio. Fuente: CES Granta EduPack (2022).	61
Ilustración 43: Calidad de trabajo en deformación en frío. Fuente: CES Granta EduPack (2022).	61
Ilustración 44: Propiedades del aluminio Al 1050. Fuente: CES Granta EduPack.....	62
Ilustración 45: Estación de recarga y sus partes. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	63

Ilustración 46: Gráfico densidad-tenacidad a rotura para los polímeros seleccionados.	
Fuente: gráfico realizado con software CES Granta EduPack (2022).	64
Ilustración 47: Gráfico comportamiento ante radiación UV-Dureza. Fuente: gráfico de elaboración propia con el software CES Granta EduPack (2022).....	65
Ilustración 48:Máxima temperatura de servicio para los polímeros. Fuente: CES Granta EduPack (2022)	66
Ilustración 49: Máxima temperatura de servicio para los polímeros. Fuente: CES Granta EduPack (2022).	66
Ilustración 50: Maquinabilidad para el moldeo por inyección de los polímeros. Fuente: gráfico realizado con el software CES Granta EduPack (2022).....	67
Ilustración 51: Comparativa entre los precios de los polímeros PE-HD y SAN. Fuente: precios obtenidos con el software CES Granta EduPack (2022).....	68
Ilustración 52: Propiedades del aluminio PE-HD. Fuente: tabla de elaboración propia con los datos obtenidos de CES Granta EduPack (2022).....	68
Ilustración 53: Estructura principal de la estación y material aislante. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).....	69
Ilustración 54: Tabla del Anexo E para sobrecarga de nieve, indicado el valor más alto. Fuente: CTE-DB-SE-AE (2014).	75
Ilustración 55: Tabla de cargas y fuerzas mayoradas. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).	76
Ilustración 56: Cargas que actúan sobre la estructura. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	77
Ilustración 57: Módulo Static Structural de ANSYS. Fuente: Software ANSYS 2021 R2 (2022).	77

Ilustración 58: Selección de los materiales en la sección Engineering Data del módulo Static Structural. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).....	78
Ilustración 59: Geometría de la simulación con Design Modeler. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).....	79
Ilustración 60: Tabla de iteración de mallado. Fuente: tabla de elaboración propia.....	80
Ilustración 61: Mallado con tamaño de elemento de 20mm. Fuente: ANSYS 2021 R2.80	
Ilustración 62: Introducción de condiciones en la simulación. Fuente: ANSYS 2021 R2.	81
Ilustración 63: Suma de fuerzas que actúan sobre la geometría. Fuente: Tabla de elaboración propia (2022).....	81
Ilustración 64: Fuerzas que actúan sobre la superficie superior. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).....	82
Ilustración 65: Fuerza que actúa sobre la superficie lateral. Fuente: ANSYS 2021 R2. 82	
Ilustración 66: Fuerza que actúa sobre la superficie inferior. Fuente: ANSYS 2021. ...	83
Ilustración 67: Tabla de parámetros del menú principal para cambiar el espesor. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).....	84
Ilustración 68: Tabla de resultados para la simulación con Al2024 T3. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).....	84
Ilustración 69: Pantalla de soluciones en ANSYS para espesor 5mm Al2024 T3. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).....	85
Ilustración 70: Pantalla de soluciones en ANSYS para espesor 5mm Al2024 T3. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).....	85
Ilustración 71: Tabla de resultados para la simulación con Al2024 T3. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).....	86

Ilustración 72: Pantalla de soluciones de ANSYS para un espesor de 10mm y el material Al 7475 T7351. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).	86
Ilustración 73: Pantalla de soluciones de ANSYS para un espesor de 10mm y el material Al 7475 T7351. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).	86
Ilustración 74: Representación gráfica del problema. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	89
Ilustración 75: Cableado de la instalación eléctrica. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	92
Ilustración 76: conexión del distribuidor de carga a los diferentes dispositivos. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	93
Ilustración 77: Localización de los dispositivos en la estación. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	93
Ilustración 78: Deslizador de guía lineal tornillo sin fin. Fuente: www.Antrella.com ..	94
Ilustración 79: Especificaciones técnicas del motor paso a paso. Fuente: www.bricogeek.com (2022).	94
Ilustración 80: Anemómetro con 1 relé SC-WS102. Fuente: Saioa Control, www.saiaccontrol.com , (2022).	95
Ilustración 81: WiForce Light de WiPo WirelessPower. Fuente: www.wipowirelesspower.com (2022).	98
Ilustración 82: Plataforma de recarga y transmisor. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	98
Ilustración 83: Código para aterrizaje de precisión. Fuente: www.Flytnow.com	99
Ilustración 84: Acoplamiento Inductivo Resonante. Fuente: www.wikipedia.com	99
Ilustración 85: Tabla de estimación de consumo total de la estación para tres días. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).	100

Ilustración 86: regulador de carga solar Thlevel PWM (derecha) y distribuidor de cargas MAXGE 4P (izquierda). Fuente: www.thlevel.com y www.efectoled.es . (2022).	102
Ilustración 87: Circuito de control del sistema de automatización. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	104
Ilustración 88: Circuito de potencia del sistema de automatización. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	105
Ilustración 89: Bloque de datos del programa principal OB. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	106
Ilustración 90: Graficet tecnológico de la automatización del sistema para programar PLC. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).	107
Ilustración 91: Máquina de extrusión de plásticos. Fuente: https://todoenpolimeros.com/procesos-de-moldeo/ . España. (2022).	113
Ilustración 92: Estructura de la plataforma de recarga y operación de doblado con punzón. Fuente: Ilustraciones de elaboración propia (2022).	114
Ilustración 93: Costes totales de fabricación. Fuente: tabla de elaboración propia.....	115
Ilustración 94: Diseño en SolidEdge de una pieza elemento de unión y la carcasa inferior. Fuente: SolidEdge 2021 módulo de Impresión 3D (2022).	117
Ilustración 95: Tabla de costes de materiales y dispositivos. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).	119
Ilustración 96: Cálculo de valor presente y futuro si no se invierte en la estación. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).	121
Ilustración 97: Cálculo de valor presente y futuro si se invierte en la estación. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).	121
Ilustración 98: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: www.un.org (2022).	127
Ilustración 99: Metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 9. Fuente: www.un.org	128

CAPÍTULO I: ESTADO DE LA CUESTIÓN

En este apartado se presentarán las diferentes estaciones base de recarga de drones existentes hasta el momento, su evolución a lo largo del tiempo, qué problemas resuelven y cuáles quedan aún por desarrollar. De esta manera, se tendrá una idea general del estado de la técnica, y se podrán seleccionar los problemas que se desean resolver con el diseño presentado en este proyecto. Para este apartado se han analizado las estaciones de recarga comercializadas, así como las principales invenciones publicadas relacionadas con esta tecnología.

A día de hoy empresas consolidadas en la industria de los drones como DJI [1] o Skydio Drones [2] ya están lanzando al mercado estaciones de recarga diseñada para sus propios drones y como se verá en las secciones siguientes, son muchas empresas las que están invirtiendo y desarrollando actualmente estaciones de recarga. Se podría decir que es momento de mayor crecimiento e importancia para este tipo de tecnología de la que queda mucho por descubrir y desarrollar y que es, por lo tanto, el momento idóneo para la elaboración de este proyecto.

1. Estaciones de recarga de drones

Se va analizar en diferentes apartados la evolución de las estaciones de recarga de drones a lo largo del tiempo, desde los primeros diseños de hace más de una década hasta los de hoy en día, así como las diferentes características de algunas de estas invenciones y el problema que tratan de resolver. De esta manera se tendrá un contexto de la situación actual de este tipo de tecnología y dará una visión global de qué es lo que hay inventado y qué puede ofrecer la estación presentada en este proyecto.

Para la realización de este apartado se ha hecho una recopilación del estado del arte relacionado con estaciones de recarga de drones hasta el momento. Para esta recopilación se ha hecho una búsqueda inicial mediante palabras clave como pueden ser “UAV”, “UAV dock”, “Drone Dock”, “Drone Station”, “UAV station” en buscadores como Google, así como diversos artículos y publicaciones de revistas internacionales con IEEexplorer. Después se ha centrado la búsqueda de nuevo con palabras clave para encontrar invenciones publicadas en patentes, para búsqueda se ha utilizado el buscador Google Patents y Espacenet.

Una vez realizada la búsqueda inicial y escogiendo aquellas relacionadas, se ha visto el tipo de categoría en el que se encontraban según la clasificación CPC de patentes ^[1], que se puede encontrar en la parte superior de las patentes justo con la demás información general. Las principales clasificaciones usadas para la búsqueda de estas patentes son:

- B64F1/222. “Ground or aircraft-carrier-deck installations for storing aircraft.”
- B64F1/125. “Ground or aircraft-carrier-deck installations mooring or ground handling devices.”
- B64C39/024. “Aircraft not otherwise provided for characterized by special use for remote controlling.”
- G05D1/1062. “Control of position, course or altitude of land, water, air, or space vehicles specially adapted for avoiding bad weather conditions.”

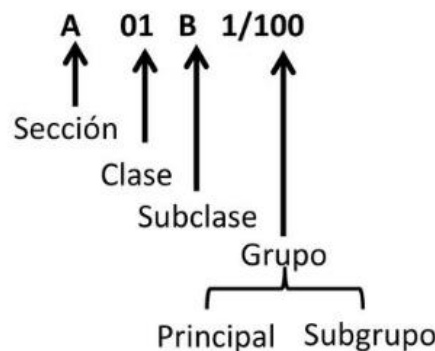


Ilustración 1: Código de clasificación.
 Fuente: Tecnológico Nacional de México. 2017

Como se puede observar en la *¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.* el nivel de búsqueda es el más específico posible, de esta manera se ha intentado reducir al máximo el número de patentes entre las que buscar. Aun así, en estas secciones encontramos cientos de publicaciones diferentes, de las cuales se han seleccionado aquellas relacionadas directa e indirectamente a estaciones base de recarga de drones, como por ejemplo métodos de comunicación entre dispositivos y drones o diferentes tecnologías de recarga de los mismos. Toda esta información recolectada de las publicaciones de invenciones y los productos desarrollados por diferentes empresas ha

¹ La Clasificación Cooperativa de Patentes o CPC por sus siglas en inglés, es un sistema de clasificación común de las publicaciones de patentes creado en conjunto entre la Oficina Europea de Patentes (EPO) y la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO). Es un sistema jerárquico de símbolos con arreglo a los distintos sectores de la tecnología a los que pertenecen las patentes.

sido clasificada según fecha de publicación o de lanzamiento del producto para la realización del siguiente apartado.

1.1 Evolución a lo largo del tiempo



*Ilustración 2: evolución en el tiempo de las estaciones de recarga de drones.
Fuente: ilustración de elaboración propia.*

En la *Ilustración 2* se muestra un esquema que servirá de guía en este apartado en el que se tratará la evolución en el tiempo de las estaciones base de recarga de drones, desde el año 2010 hasta el presente. Ese primer año encontramos la primera invención relacionada en cierta manera con la recarga de un dron durante el servicio. En este caso no se trata directamente de una estación de recarga propiamente dicha, sino de una solución para cargar el dron durante el servicio. Se trata de la invención de Doe Seop S. (2020) [3] en la que una aeronave no tripulada mediante un dispositivo acoplado a su lateral, es capaz de recargar su batería creando un contacto entre una línea de tensión eléctrica y el dispositivo en cuestión. Como se ha comentado, no se trata de una estación propiamente dicha, pero da una imagen de la situación en aquella época y del comienzo de desarrollo de ideas para solucionar el principal problema de escasez de batería.

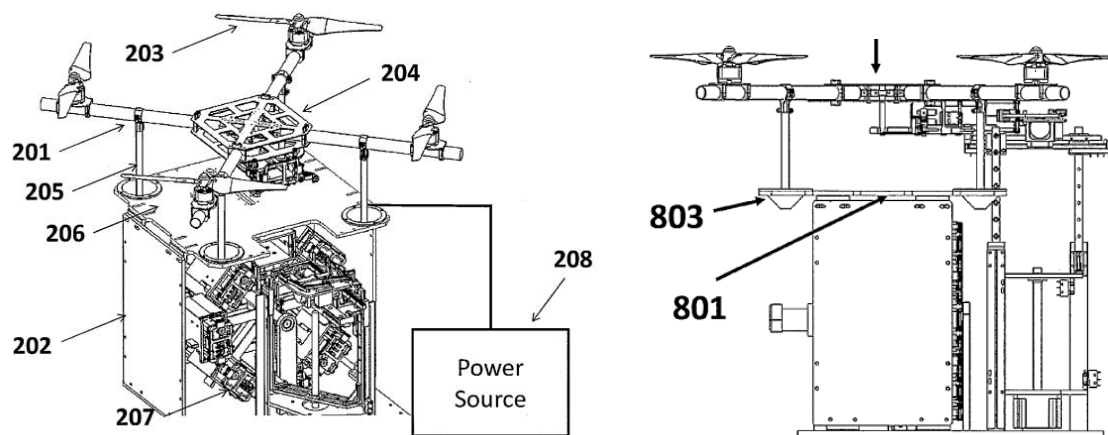
No es hasta el año 2014 cuando encontramos otra publicación relacionada, en este caso se trata de una imagen un poco diferente. En el diseño de Godzdanker R. et al (2014) [4] se presenta algo más similar al concepto de “estación”. Se trata de una plataforma de aterrizaje elevada preparada con un sistema de bloqueo para mantener su estabilidad durante la carga. En este caso está diseñada para drones de mayor tamaño y uso militar, con un sistema de recarga de combustible, en vez de eléctrico.

Un año después, en 2015, no se publican nuevas invenciones de estaciones completas de recarga como tal, sin embargo, si se empiezan a ver ciertos avances en nuevas tecnologías de recarga para UAVs (Vehículo Aéreo No Tripulado). Por ejemplo, en la patente Knorr S. (2015) [5] se muestra un posible sistema de recarga mediante el contacto de las “patas” del dron que, con una plataforma, de tal manera que se cargan las células de batería con una batería externa recargable, que hace que no sea necesaria la conexión directa a red.

También en 2015 empresas reconocidas en el sector de los drones como DJI realizaron varios lanzamientos de nuevos productos como el DJI Phantom 3 (predecesor del actual DJI Phantom 4)[6] el DJI Inspire 1 [7], el 3DRobotics Solo [8], o el Parrot Bebop [9].

Estos drones incluían nuevas tecnologías como cámaras de calidad 4K, diferentes modos de vuelo inteligente, operaciones autónomas mediante “waypoints” (coordenadas para ubicar puntos de referencia tridimensionales en GPS), y opciones como el “Follow Me” donde el dron es capaz de seguir a un objeto en movimiento. Todas estas nuevas tecnologías abrían un camino nuevo para esos drones antes destinados a usuarios particulares y que ahora generaban un gran interés para su uso profesional.

Estos lanzamientos y un aumento del interés en el ámbito del uso profesional de drones, pudieron ser los percusores del aumento de invenciones de estaciones de recarga al año siguiente, en 2016. Este año una empresa española llamada Edronic [10] lanza una plataforma de recarga de drones compatible con varios drones de la empresa DJI, esta plataforma ofrece una carga sin necesidad de conexión entre dron y plataforma, y está pensada tanto para uso doméstico como profesional, eso sí, el dron queda desprotegido en todo momento durante el proceso. También se publican patentes en las que el método de recarga es mediante un sistema de recambio de batería como se observa en la patente Mingxi W. et al. (2016) [11] en la que una vez aterrizado el dron, un sistema con seis brazos acoplados realiza el cambio de batería en cuestión de minutos (ver *Ilustración 3*), esta estación es capaz de cargar hasta seis baterías al mismo tiempo, con el único inconveniente de tener que asegurar en todo momento una correcta disposición del dron para una correcta extracción de la batería.



*Ilustración 3: Sistema de recambio de batería del dron.
Fuente: Mingxi W. et al. 2016*

También se introducen ideas alternativas a métodos de recarga tradicionales como el aprovechamiento de los casquillos para la alimentación de bombillas mediante un dispositivo con rosca que se monta en los mismos. Este dispositivo se conecta a red mediante la rosca Edison de bombilla y el dron, al entrar en contacto con él, es recargado. Esta invención de Douglas A. (2016) [12] está pensada para drones de tamaño pequeño. Hablando de métodos de recarga alternativos, se vuelve a publicar una invención (Napoles A. et al. (2016) [13]) relacionada con la recarga aprovechando la electricidad de

una línea eléctrica, esta vez con un dispositivo más sencillo que el presentado en 2010 y donde el dron puede descansar durante la recarga gracias a una plataforma que realiza toda la operación. Por último, otros inventos como la patente Junxiong Z. et al. (2016) [14] van más allá, y exploran la idea de recargar el dron durante su operación, sin la necesidad de interrumpirla. Para ello se presenta un dron “hembra” de mayor tamaño que alberga una batería externa y que realiza la conexión al dron “macho” que se desea recargar durante el vuelo, realizando todas sus funciones durante la recarga.

A partir de 2017 se encuentran de nuevo una variedad de invenciones, esta vez no hay tanta innovación en nuevas tecnologías, sino que desarrollan las ya existentes y se implementan en estaciones más completas. La estación de Wankewycz T. (2017) [15] con título “Dron box”, se presenta una estación que ya se asemeja más al diseño que conocemos actualmente como estación de recarga, donde el dron al aterrizar es introducido en un habitáculo con forma de caja cuadrada (de ahí el nombre) y es almacenado hasta su recarga completa o hasta que las condiciones meteorológicas exteriores permitan reanudar su vuelo. Este mismo concepto se aplica en el diseño de Straus I. et al. (2017) [16], solo que esta vez, se manejan varios drones al mismo tiempo. En este caso cuando un dron ocupa un habitáculo de la estación para su recarga, inmediatamente, un dron ya recargado de otro habitáculo de la estación abandona la misma para continuar la operación del anterior, de esta manera se asegura una continuidad en la operación (ver *Ilustración 4*).

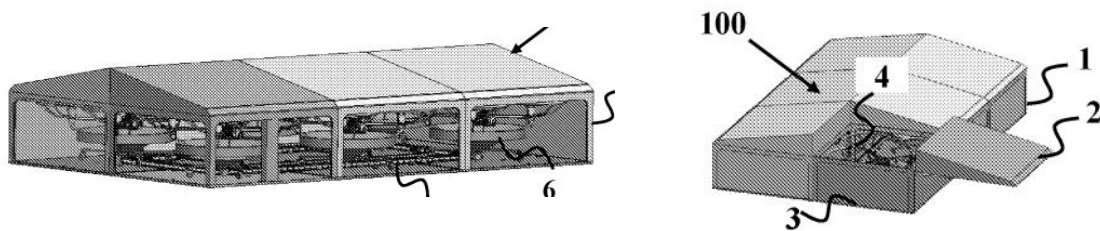


Ilustración 4: Estación de recarga con capacidad de almacenar seis drones simultáneamente. Fuente: Straus I. et al. 2017

Se presentan también estaciones capaces de albergar varios drones que no solo están destinadas para la recarga del dron sino también para la entrega y almacenamiento de paquetes (Curlander J. et al. (2017) [17]), enfocadas a ese futuro cercano donde la entrega de paquetes se realice con drones. Relacionada con ese concepto de drones circulando por vías urbanas, se presentan proyectos como en la patente Johnson D. et al. (2017) [18] en donde se desarrolla una plataforma de recarga de drones para ser instalada en la parte superior del alumbrado público de las calles.

En 2018 la empresa IdroneImages lanza al mercado una estación de recarga de drones mediante contacto de plataforma de aterrizaje con el dispositivo en los puntos de apoyo del dron, que conectan directamente con la batería [19]. El producto, llamado “Drone in

a box”, solo está pensado para la recarga del modelo DJI Mavic Pro, un dron de tamaño pequeño desarrollado por la empresa DJI y cuyo primer modelo se comercializó en el año 2016. Este mismo año a través de la empresa Amazon, se publicó la patente Gentry N. et al. (2018) [20] en la que se muestran numerosas plataformas y estaciones de recarga con usos muy diferentes todas enfocadas a la recarga de batería y entrega de paquetes y cartas en ciudades y poblados, desde estaciones instaladas en azoteas de edificios, hasta plataformas acopladas en alumbrado público o en tejados de casas individuales.

Gracias al buen recibimiento que habían tenido las estaciones comercializadas en los últimos dos años, en 2019 ocurren lanzamientos de varias estaciones de recarga por diferentes empresas. Skydio anuncia su producto “Skydio Dock”. Se trata de una estación de nuevo en forma de caja en la que un dispositivo en forma de brazo se extiende desde su interior para recibir e introducir (o expulsar al finalizar la recarga) el dron, y en cuyo extremo se encuentra una plataforma de forma cónica que hace de apoyo del dron al aterrizar y en cuyo interior se realiza el contacto entre batería del dron y conexión a red [21]. Esta estación está destinada solo para drones desarrollados por la propia marca. La empresa Nando Smart Vision lanza su estación de recarga de nuevo solo para el “Nando Drone” desarrollado por ellos mismos [22]. Esto se debe a que sus drones incorporan unos contactos metálicos en los apoyos del dron que, al aterrizar y hacer contacto con la plataforma, hacen posible su carga (similar a la estación de IdroneImages mencionada antes [19]).

Por último, aparece en el mercado la estación “Wiport” de la empresa WiPo Wireless Power. Esta empresa, mediante un dispositivo desarrollado por ellos mismos basado en la recarga a través del acoplamiento inductivo resonante enfocado específicamente para drones, son capaces de realizar a recarga por inducción de diferentes modelos de drones desde profesionales [23]. Ese dispositivo de recarga está formado por un receptor, que debe ser instalado en el dron, y un transmisor, que es instalado en la plataforma de aterrizaje (*Ilustración 6*). La estación en forma de caja recibe al dron en la parte de la cara superior, al aterrizar el dron en la plataforma, esta desciende hasta que el dron está completamente dentro, momento en el que las compuertas superiores se cierran, asilándolo por completo (ver *Ilustración 5*). Esta estación también permite la opción de incluir paneles solares como alternativa para la recarga de la batería.



Ilustración 6: Transmisor y receptor del dispositivo de recarga de WiPo. Fuente: WiPo Wireless Power web. 2022.



Ilustración 5: Estación de recarga WiPort. Fuente: WiPo Wireless Power web. 2022.

En los años tanto 2020 como 2021, siguiendo la inercia de los años anteriores y la buena respuesta del mercado ante la entrada de esta nueva tecnología, muchas compañías decidieron aprovechar el momento. En estos dos últimos años se ve una tendencia por crear una estación similar a las anteriormente mencionadas de WiPo o IdroneImages que no solo estaban enfocadas a recargar el dron, sino también a ejercer como refugio durante su carga. Entre ellas está la empresa Hextronics, que ofrecía una carga casi instantánea con una tecnología de recambio de batería a través de un sistema de movimiento lineal [24]. Esta estación también en forma de caja, cuenta con una bandeja de aterrizaje que recibe al dron y lo introduce en su interior para posicionarlo e intercambiar inmediatamente la batería agotada por otra recargada, el único modelo de dron compatible con la estación es el DJI Mavic Pro.

Al mismo tiempo, Heisha Tech ofrece dos modelos de estación, dependiendo del tamaño del dron. Las dos estaciones tienen un diseño similar en forma cilíndrica, donde la compuerta gira a través de un único eje, el modelo D80 está pensado para drones de tamaño pequeño (similares al DJI Mavic Pro) [25], mientras que el modelo D135 servirá para albergar drones de un mayor tamaño (DJI M300 o tamaño similar) [26]. La tecnología de recarga de estas dos estaciones es desconocida, aunque sí se especifica que es inalámbrica, y que el tiempo medio de recarga es de 90 minutos para los dos modelos. También permite la opción de incorporar un panel solar externo e incorpora: un control de temperatura, un localizador GPS y un sistema de alarma y bloqueo antirrobo (ver *Ilustración 7*).



Ilustración 7: Estación base de recarga Heisha D80 con instalación fotovoltaica como fuente de energía. Fuente: Heisha Tech web.

Por último, cabe destacar la estación “Hive” de la empresa Airscope. Esta estación de grandes dimensiones está diseñada con la intención de soportar todo tipo de adversidades climatológicas y proteger al dron en todo momento. Se trata de un diseño robusto fabricado con acero y en forma de contenedor industrial que cuenta con un sistema de cambio rápido de baterías en su interior, permitiendo hacer la operación de recarga en

menos de un minuto tras el aterrizaje del dron. También incluye un sistema de seguridad y de control climatológico.

En cuanto a las invenciones publicadas en estos dos últimos años 2020 y 2021, encontramos varias interesantes como la patente de Jun-pil Y. et al. (2020) [27], cuyo diseño es una caja con una compuerta en la parte superior que recibe al dron en una bandeja elevadiza que tras el aterrizaje desciende por completo. Este diseño es muy similar a los ya vistos, son embargo, realizan varias mejoras e incluyen un sistema de seguridad y control climatológico. También resulta de gran interés para este proyecto la patente Yoseon Y. (2020) [28] ya que su diseño comparte ciertas similitudes con el propuesto en este proyecto, más adelante se hará una comparativa y se resaltarán los puntos en los que difieren y que valor aporta cada una de ellas. Esta patente presenta una estación de nuevo en forma rectangular en la que el dron es recibido por una bandeja de aterrizaje desde su interior y posteriormente recargado de forma inalámbrica (ver *Ilustración 8*). La estación incluye la posibilidad de incluir paneles fotovoltaicos, y permite ajustar la altura de la estación dependiendo del tamaño del dron que se esté recargando.

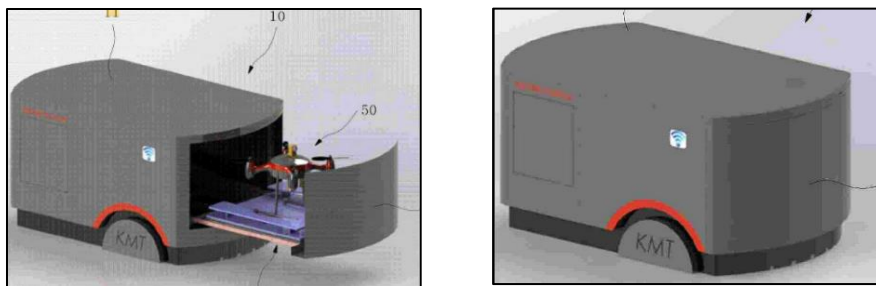


Ilustración 8: Estación de recarga y almacenamiento con altura ajustable. Fuente: Yoseon Y. 2020.

Este mismo año 2022, el día 21 de marzo, la empresa líder en el mercado de los drones DJI, dio a conocer su nuevo producto llamado “DJI Dock” [1]. Consiste en una estación de recarga diseñada para ser usada únicamente con su nuevo dron DJI Matrice 300. Esta tiene un diseño muy similar a los que creados en los últimos años. Se trata de una caja de un material ligero, dividida en dos partes, la superior que es la que se abre como una compuerta para recibir al dron y donde se alberga el mismo, y la inferior, ella que se encuentra toda la tecnología relacionada con la recarga. La estación cuenta con un sistema de refrigeración, una estación climatológica, y localización GPS. El sistema de recarga se realiza al entrar en contacto los apoyos del dron con la plataforma de recarga, y la batería es refrigerada en todo momento para evitar sobrecalentamientos. Según el manual, es posible recargar la batería de 10% a 90% en cuestión de 25 minutos.

El hecho de que una empresa tan consolidada como DJI haya desarrollado una estación de recarga reafirma el hecho de que sigue existiendo una necesidad real de este tipo de tecnologías en la industria y en el uso profesional de drones. Seguramente este lanzamiento repercutirá en que otras empresas competidoras y líderes en este sector como

3D Robotics, Parrot o ISITU empiecen a desarrollar este tipo de tecnologías en un futuro cercano.

1.2 Problemas que resuelven

En el apartado anterior se ha observado como iban evolucionando los diseños a lo largo del tiempo, incorporando nuevas tecnologías y respondiendo a las necesidades del mercado. Para ese apartado, se han elegido diferentes patentes y estaciones comercializadas como ejemplo para analizar las tendencias y nuevos avances de cada año, sin embargo, son más de 70 patentes las que se han analizado para el desarrollo de este proyecto y cada una de ellas aporta un valor único. Para saber cuáles son las necesidades profesionales actuales que se requieren de una estación de recarga, se ha estudiado cuáles son los problemas que resuelven cada una de esas invenciones, para así poder analizar cuáles son los que resolverá el diseño presentado en este proyecto (*Ilustración 9*).

Grupo	Problema que resuelve	Subgrupo
Recarga del dron	Desprotección del dron durante la recarga y su almacenamiento	Almacenamiento de varios drones al mismo tiempo
		Almacenamiento de un único dron
		Con posibilidad de mantenimiento del dron
		Con posibilidad de mantenimiento de dron (estación móvil)
	Recargar el dron (sin protección)	Posibilidad de mantenimiento e intercambio de datos
		Plataforma en movimiento
	Dificultad de carga y entrega de mercancía	Solo carga y entrega
	Recarga del dron con fuentes de alimentación externas	Posibilidad de mantenimiento
		Líneas eléctricas
	Recarga sin necesidad de conexión física	Tomas de luz
Recambio de batería		
Necesidad de uso de renovables	Recarga inalámbrica	
	Energía solar	
Operación de vuelo	Corto tiempo de vuelo de operación con imposibilidad de ser interrumpida	Energía eólica
		Dispositivo fijo
		Dispositivo móvil
	Reducción de gasto de energía durante el vuelo	
Operación de vuelo	Aterrizaje, despegue y estancia sin necesidad de intervención de operario	
	Operaciones fallidas debido a un mal sistema de comunicación dron-estación	
Funcionalidad de la estación	Necesidad de dar varios usos diferentes a una estación	
	Transportabilidad de la estación	

Ilustración 9: organización de los problemas que resuelven las estaciones por grupos.

Como se puede observar, se han clasificados los problemas principales que se resuelven en diferentes grupos, dentro de los cuales se han diferenciado diferentes subgrupos dependiendo de las características del diseño. La clasificación se ha realizado partiendo de la base de que se resuelve el problema principal de una estación de recarga, el de recargar el dron. Y a partir de ahí se han ido analizando las características de cada una de ellas y que problemas resolvían, la mayoría de ellas resuelven más de uno.

La mayoría de estos diseños resuelve de alguna manera el problema de proteger al dron del exterior durante la recarga, pues un dron con unas condiciones climatológicas adversas no puede seguir operando y necesita refugio. Es interesante ver que muchas de ellas también están destinadas a la carga y descarga de mercancía (paquetes o cartas) o al mantenimiento de los drones ante fallo en la operación. Otro problema muy común que cumplen casi todos los diseños es el de realizar la operación sin la necesidad de intervención del operario, sino que se realice de manera autónoma mediante un sistema de sensores y comunicaciones entre dron y estación.

Como el objetivo de este Trabajo es el de presentar un diseño que aporte un valor añadido a los ya existentes, se ha analizado cuales son aquellos problemas que no todas las estaciones resuelven, con el objetivo de encontrar esa combinación entre ellos que lo haga único. Estos problemas son:

- Transportabilidad de la estación: muchas veces una empresa de inspección o un usuario que posee una estación base de recarga, necesita cambiarla de ubicación para darle otros usos. Mientras que algunas estaciones están diseñadas para ser instaladas permanentemente o no centran su diseño en hacerlo ligero y transportable, otras pocas si se han centrado más en este aspecto. Por ejemplo, las patentes Boss G. et al (2018) [29] y Doe Seop S. (2020) [30], que presentan unas estaciones acoplables a techos de diferentes vehículos terrestres, o los diseños de las patentes Godzdanker R. et al. (2014) [4] y Wenming H. et al. (2018) [31] que incorporan ruedas para facilitar su transporte.
- Necesidad de usar fuentes renovables: muchas de las estaciones comercializadas en el apartado anterior como la “D80” de Heisha Tech o la estación “WiPort” de WiPo Wireless Power, ya dan la opción de incorporar paneles solares en sus estaciones, siendo solo la segunda la que no incluye de manera íntegra en el diseño, y no como complemento externo. También existen varias patentes que lo incluyen como la Yan W. (2018) [32] o Lee Young K. et al. (2017) [33]. Sin embargo, sorprende que, siendo una solución sencilla ante una falta de suministro eléctrico, no lo incorporen la mayoría de ellas.

- Poder utilizar una misma estación para diferentes usos: este es otro de los problemas que menos invenciones resuelven. Si una persona desea utilizar una misma estación para diferentes localizaciones, entornos, y usos, necesitará una estación polivalente que le permita utilizarla en diferentes aplicaciones. Los únicos diseños que intentan hacer su estación polivalente, proponiendo diferentes usos de la misma son la patente Gentry N. et al. (2018) [20], Kolosiuk M. (2020) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Zihui L. (2019) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Estos serán los problemas que se tendrán en cuenta a la hora de realizar el diseño de la estación en el siguiente capítulo del Trabajo. Aparte, la estación resolverá también los principales problemas como recargar la batería del dron, almacenarlo de forma segura y protegerlo del exterior y realizar la operación de recarga sin la necesidad de un operario.

CAPÍTULO II: DISEÑO

En este capítulo se presentará el proceso realizado para la elaboración del diseño de la estación de recarga de drones propuesta en este Trabajo sobre el que se trabajará en los siguientes capítulos.

Este proceso de diseño comienza con la identificación de los problemas que se quieren resolver. Como se ha visto en el Estado del Arte, los problemas pueden ser muy variados, y es por eso que es necesaria una identificación para posteriormente conocer las características y atributos necesarios en el diseño. Una vez definidas esas características se realizarán varios bocetos hasta llegar a un diseño definitivo y posteriormente se realizará su dimensionamiento. Por último, se analizarán las diferencias y similitudes del diseño a otras estaciones ya inventadas.

1. Características de la estación

En el anterior Capítulo se realizó un estudio de los diferentes problemas que resolvían todas las estaciones de recarga de drones inventadas hasta día de hoy (ver Ilustración 9). Se observó que los problemas son muy variados y que se pueden dividir en diferentes grupos: los relacionados con la recarga del dron, los relacionados con la operación de vuelo, y finalmente los que tienen que ver con la funcionalidad de la estación. En general todas las invenciones tratan de resolver un problema u otro e incluso varios a la vez.

El propósito de este Trabajo es el de realizar un diseño práctico y sencillo pero que aporte algo nuevo, no solo una mera repetición de lo ya existente. Para intentar ir en ese camino, antes se han analizado los problemas que la mayoría de las estaciones ya inventadas no abordaban. Estos problemas eran:

- Transportabilidad de la estación.
- Necesidad de usar fuentes renovables.
- Poder utilizar una misma estación para diferentes usos.

Ya hay varias estaciones que resuelven estos problemas individualmente, sin embargo, un bajo número de ellas aborda soluciones para resolver estos tres problemas al mismo tiempo. Para intentar dar con ese diseño más innovador y que aporte algo nuevo, se seleccionarán esos tres problemas como los principales que deberá resolver la estación de este proyecto.

Además de resolver estos problemas, también resolverán algunos más básicos, que se dan por supuesto en cualquier diseño actual de una estación de recarga de drones, al ser

abordado por todos los diseños, como son: recargar la batería del dron, almacenarlo de forma segura protegiéndolo del exterior, y realizar toda la operación de recarga sin la necesidad de un operario. Como se decía, estos problemas que resolverá la estación son más comunes en todas las existentes, y es por eso que no supondrán un reto a la hora de realizar un diseño o pensar en soluciones innovadoras.

No ocurre lo mismo con los tres problemas principales, que sí requieren de un pensamiento previo sobre las características que deberá de tener la estación para resolverlos. Empecemos por el primero: la transportabilidad de la estación. Cuando nos referimos a transportabilidad pensamos en la facilidad con la cual un objeto puede ser llevado desde un punto a otro. En este caso se busca una estación cuyo transporte no requiera de un gran esfuerzo físico y que pueda ser desplazada con facilidad en diferentes situaciones. Muchos de los inventos resultan pesados y aparatosos, y suelen estar pensados para ser instalados de manera permanente en un punto en concreto. Como queremos que nuestra estación pueda ser utilizada en diferentes entornos y sea polivalente, el que sea manejable y fácilmente transportable resulta un factor clave. Las principales características que deberá de presentar la estación para alcanzar este objetivo serán: ligereza, fácil agarre, tamaño manejable, posibilidad de transportar en vehículos.

Muchas veces ocurrirá que la estación debe ser utilizada en lugares remotos como una montaña o bosque, donde el acceso a la red eléctrica es complicado o inexistente. Es por eso que surge el problema de la necesidad de fuentes renovables. En el caso de nuestra estación, para incorporar esas fuentes renovables, deberá incorporar las siguientes características: posibilidad de instalación de paneles solares, incorporar baterías y facilidad de mantenimiento de los paneles. Por último, está el problema de que se necesita una estación capaz de adaptarse a diferentes usos. Antes se ha comentado el echo de querer una estación transportable para poder llevarla de un lugar a otro y realizar diferentes operaciones lo cual está directamente relacionado con este tercer problema en el que se requiere una estación cuyo uso se adapte a diferentes entornos, es por eso que la característica principal que deberá de tener en relación a este problema es la de ser polivalente. Este sería el punto que más haría destacar a la estación de cualquier otra existente, pero lo analizaremos en detalle más adelante.

En cuanto a los problemas más básicos, también requerirán que la estación tenga las siguientes características: contar con un dispositivo de recarga, tener una estructura resistente, medir las condiciones meteorológicas en el exterior y un sistema de comunicaciones operario-estación.

2. Comparativa con otros diseños

Antes de empezar el proceso creativo para dar con el diseño, y tras la realización del Estado del Arte en el que se han visto todos los inventos existentes, se buscará aquel que más se asimile al concepto que se tiene en mente. Para seleccionar un invento en concreto, también hay que tener en cuenta que cumpla con la mayor parte de las características descritas anteriormente y que resuelva algunos de los problemas que se quieren resolver con esta estación.

Como se ha comentado en el Capítulo de Estado de la Cuestión, la invención de Yoseon Y. (2020) [20] es la que resulta de más interés para este Trabajo. En esta invención Yoseon propone una estación de recarga de drones de geometría rectangular que dispone de una plataforma de recarga en su interior que sale al exterior y se eleva para recibir al dron (*Ilustración 10*). Esta estación es ajustable en altura gracias a su estructura principal formada por dos rectángulos (creados a partir de tubos cuadrados) que permiten introducir uno dentro del otro (*Ilustración 11*), lo que le permite ajustarse a diferentes tamaños de drones. En cuanto a la operación de recarga el proceso es muy similar al que se quiere para el diseño de este Trabajo: el dron manda una señal de falta de batería y la estación desliza y eleva su plataforma al exterior para recibirlo, una vez aterrizado el dron es introducido en el interior y recargado. Al finalizar, la plataforma se desliza y eleva de nuevo y el dron abandona la estación.

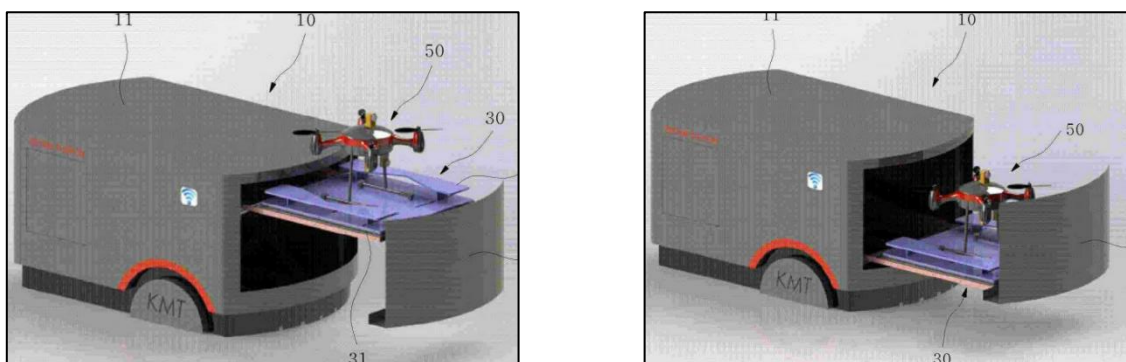


Ilustración 10: Proceso de recibimiento del dron en la estación de Yoseon. Fuente: Yoseon Y. 2020.

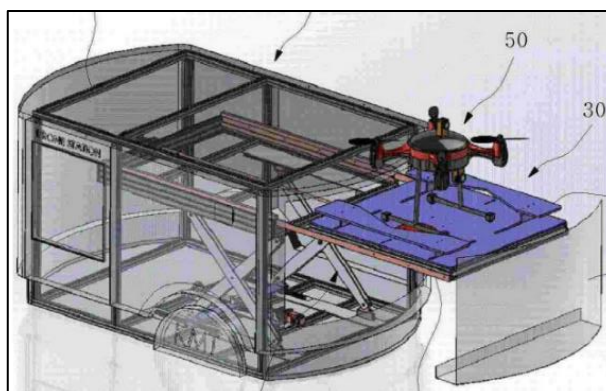


Ilustración 11: Estructura de la estación de Yoseon. Fuente: Yoseon Y. 2020.

La estación de Yoseon tiene grandes ventajas, siendo la principal y más característica la de poder ajustar la altura de la estación para hacer el habitáculo interior más grande y así acomodarse a drones de diferentes tamaños. Esta característica le otorga a esta invención un gran valor, pues es la única que ofrece esta posibilidad. El objetivo de Yoseon es el de una estación que sea instalada en un lugar y que sea compatible con una gran variedad de drones de distintos tamaños, su intención al poder ajustarse también es la de hacer la estación más pequeña para ocupar menos espacio cuando no está siendo utilizada. El problema es que la estación es ajustable en altura, pero en cuanto a las dimensiones de ancho y largo son fijas. Normalmente, los drones cuando aumentan en tamaño lo hacen no solo a lo alto, sino también a lo ancho y largo. Aunque la altura de la estación sea ajustable, la altura y anchura siguen siendo fijas y de gran tamaño para albergar a los drones más grandes, lo que es un punto en contra de la transportabilidad de la estación. Por lo tanto, se tendrá en cuenta para la realización del diseño resulta mejor mantener un tamaño medio que la haga transportable, a centrarse en que sea ajustable a drones de mayor tamaño.

Otra característica que hace única a la estación de Yoseon es la plataforma de recarga con dos movimientos, uno horizontal que desliza la plataforma al exterior, y uno vertical que la eleva hasta una altura similar al techo de la estación. La razón por la cual esta plataforma realiza los dos movimientos es que el dron aterrice de manera segura, sin chocar sin ningún obstáculo. Si nos fijamos en la *Ilustración 11*, si la plataforma no se elevara, el dron debería de aterrizar entre la compuerta y el resto de la estación, teniendo poco margen de movimiento y una alta probabilidad de colisión. Esta solución de elevar la plataforma resulta interesante y efectiva, sin embargo, hace más complejo el diseño al tener que introducir todos los elementos que lo hacen posible. En el caso de nuestra estación, se podría proponer una solución mucho más sencilla, en la que, para evitar el choque del dron en el aterrizaje o despegue con algún elemento de la estación, la compuerta lateral de la estación acaba debajo de la plataforma al deslizarse esta al exterior, dando así más espacio al dron al realizar estas operaciones y evitando este problema. Otros aspectos que se ven mejorables en la estación de Yoseon para aplicar en nuestro diseño son por ejemplo el uso de paneles solares, los cuales se instalan de manera externa en este diseño de Yoseon en vez de integrados, lo cual resultaría más efectivo al ahorrar espacio y facilidad de instalación. También el aspecto de incluir unos soportes o unas ruedas para una fácil transportabilidad, podría resultar interesante, cosa que no vemos en el de Yoseon.

Con esta comparativa se han sacado conclusiones de qué aspectos se pueden implementar en el diseño para mejorarlo y aportar algo nuevo a los inventos ya existentes. Con esta comparativa tenemos una base donde partir para iniciar el proceso creativo con el que se llegará al diseño final y que se explica a continuación en el siguiente capítulo.

3. Propuesta de diseño

3.1 Elementos de la estación.

Antes de la realización de los bocetos que después resultarán en dibujos más definitivos, se debe saber cuales son los elementos que incorporará la estación para cumplir con las características descritas anteriormente, que han surgido de los problemas que se desean resolver con la estación. Para dar con esos elementos se ha realizado un proceso de *brainstorming* individual en el que han surgido diferentes ideas, a continuación, se muestran los resultados en forma de mapa de memoria:

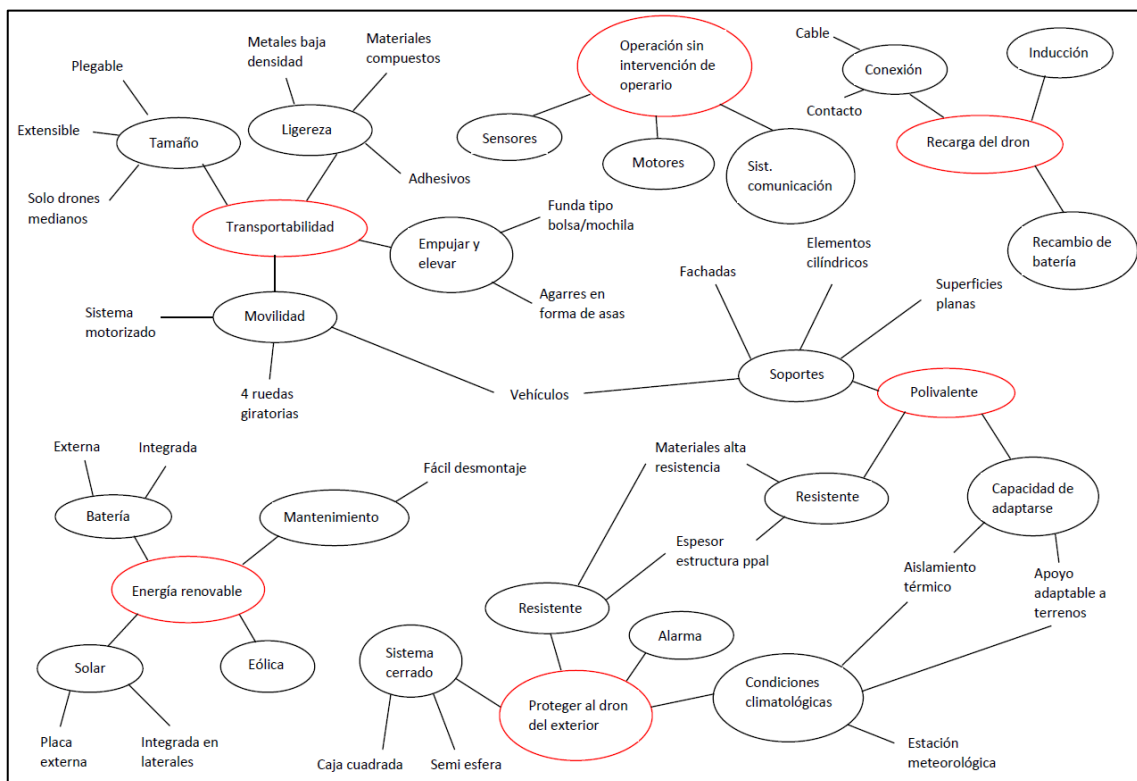


Ilustración 12: Mapa de memoria de elaboración propia..

En este mapa de memoria se reflejan varias ideas o soluciones para cada uno de los problemas presentados anteriormente. Una vez realizado, el siguiente paso es el de elegir entre aquellas que dan solución a más de un problema. En la mayoría de los casos el criterio para elegir una u otra no ha sido otro que la sencillez que aportaría al diseño, ya que el objetivo como se sabe no es el de crear un diseño complejo que contenga más elementos de los necesarios para su correcto funcionamiento. Finalmente, esas ideas o soluciones que serán plasmadas en el diseño para cumplir con las características establecidas serán:

Transportabilidad:

- Materiales ligeros: en la medida de lo posible, en el proceso de selección de materiales que se realizará en el capítulo siguiente de este Trabajo, la densidad del mismo será un factor importante. Con unos materiales ligeros la estación reduciría su peso y resultará más fácil moverla.
- Estación diseñada para albergar drones medianos: en la industria existen numerosos tipos de drones, pero se podrían clasificar en tres grupos grandes de drones pequeños, medianos y grandes. Como se verá en el apartado siguiente de dimensionamiento, para hacer la estación de un tamaño razonable para su transportabilidad, se ha decidido que esté enfocada a drones de tamaño mediano.
- 4 ruedas giratorias: la forma más sencilla de transportar cualquier elemento por un terreno liso es mediante el uso de ruedas. En este caso se han escogido unas ruedas giratorias que harán muy sencilla la manejabilidad de la estación y resultará más ligera al ser empujada. Estas ruedas a su vez serán plegables para cuando la estación deba ser apoyada y fijada y no se requiera su uso.
- Agarres en forma de asas: para poder ser empujada o elevada se incluirán unas asas en los laterales de la estación. Estas asas también servirán como mecanismo para la sujeción de la caja con cintas de sujeción.
- Posibilidad de transportar con vehículo: mediante un soporte, la estación podrá ser transportada en vehículos a motor que dispongan de unas sujeciones en su techo (bacas). También gracias a las asas se podrá asegurar su sujeción en maleteros de rancheras, o el interior de furgonetas y camiones.

Polivalente:

- Aislamiento térmico: para proteger al dron de cualquier condición climatológica a la que se pueda ver sometido, se incluirá un material aislante en el interior de la estación que asegure una temperatura ambiente estable.
- Soportes: para poder ser utilizada en diferentes terrenos y aplicaciones, se diseñarán diferentes soportes sobre los que la estación de podrá montar y desmontar. Estos soportes serán variados, habiendo uno adaptable a elementos cilíndricos, otro a superficies planas perpendiculares al suelo, y otro para adaptarse a las sujeciones o bacas de los vehículos.
- Materiales resistentes: para poder soportar todo tipo de condiciones climatológicas y proteger al dron ante cualquier incidente, se necesitarán materiales resistentes.

Energía renovable:

- Placas solares integradas: se hará un diseño en el que las placas solares formen parte de la estructura principal y no deban ser conectadas como un elemento externo, ahorrando así espacio y haciendo el diseño más sencillo.
- Batería integrada: al tener placas solares, es necesario incluir en el diseño unas baterías que después abastecerán a la plataforma de recarga del dron y demás elementos electrónicos.
- Fácil montaje y desmontaje: al ser un elemento delicado, tener un tiempo de vida limitado, y estar integrado en la misma, es necesario que el diseño facilite su extracción para reparar o recambiar.

Proteger el dron del exterior:

- Materiales resistentes: como se ha indicado anteriormente, unos materiales resistentes que aseguren la protección del dron ante cualquier incidente.
- Aislamiento térmico: como se requiere que sea usada en lugares diferentes, unas condiciones climatológicas extremas podrían afectar al dron de manera negativa si no se protege con un material aislante.
- Sistema cerrado en forma de caja cuadrada: el dron y todo el sistema de recarga irá protegido dentro de una estructura cuadrada cerrada.
- Estación meteorológica: que servirá para prevenir que se realice una operación de despegue cuando las condiciones climatológicas puedan afectar negativamente a la operación de vuelo.
- Alarma: necesario para proteger al dron ante robos cuando la estación está desatendida o en un lugar sin seguridad.

Recarga del dron:

- Recarga mediante inducción: mediante un transmisor y un receptor donde uno irá montado el dron y otro en la plataforma de recarga, el dron se cargará por inducción cuando se haya terminado la operación de aterrizaje.
- Plataforma de recarga que recibe al dron: como el dron necesitaría de mucha precisión de vuelo para introducirse por sí mismo en un habitáculo de espacio reducido, la mejor opción de realizar el aterrizaje es sobre una plataforma que sea capaz de deslizarse hacia el exterior y recibir al dron. Esa plataforma una vez con el dron aterrizado, se introduciría de nuevo hacia dentro, comenzando la operación de recarga.

Operación sin intervención del operario:

- Sensores: para detectar cuando el dron haya aterrizado correctamente, así como para extraer e introducir tanto la plataforma de recarga como la compuerta de la estación.
- Motores: serán necesarios dos motores lineales de correa que desplacen la plataforma de recarga y que se activarán cuando los sensores detecten el dron.
- Sistemas de comunicación: para que la operación se realice con éxito sin la intervención del operario se deberá de establecer un sistema de comunicación automatizado entre dron y estación, de manera que cuando el dron necesite de los servicios de la estación, pueda realizar la operación de recarga de manera automática.

3.2 Proceso de diseño y presentación del diseño final

Todo proceso de diseño, tras la definición de los elementos que se precisan para su funcionamiento, sigue con la creación de varios diseños conceptuales que después resultarán en un diseño detallado final. En este caso el proceso de crear ese diseño conceptual empezó con la realización de varios bocetos como los que se muestran a continuación, que se centraba más en dar forma a la estructura principal de la estación, sin entrar en detalles:

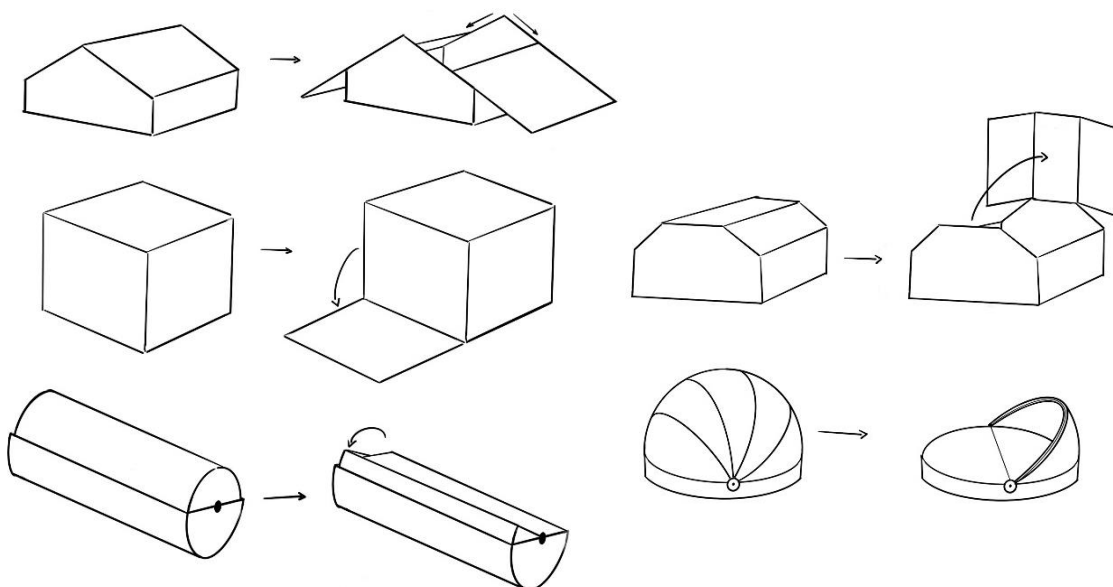


Ilustración 13: Bocetos iniciales. Dibujo de elaboración propia.

De estos bocetos se escogieron los que resultaban más realistas y de nuevo más sencillos, pues como se ha comentado, ese es uno de los objetivos principales. A esos bocetos elegidos se les dio forma intentando incluir en ellos algunos de los elementos antes mencionados, los resultados de este proceso se pueden ver en las siguientes ilustraciones:

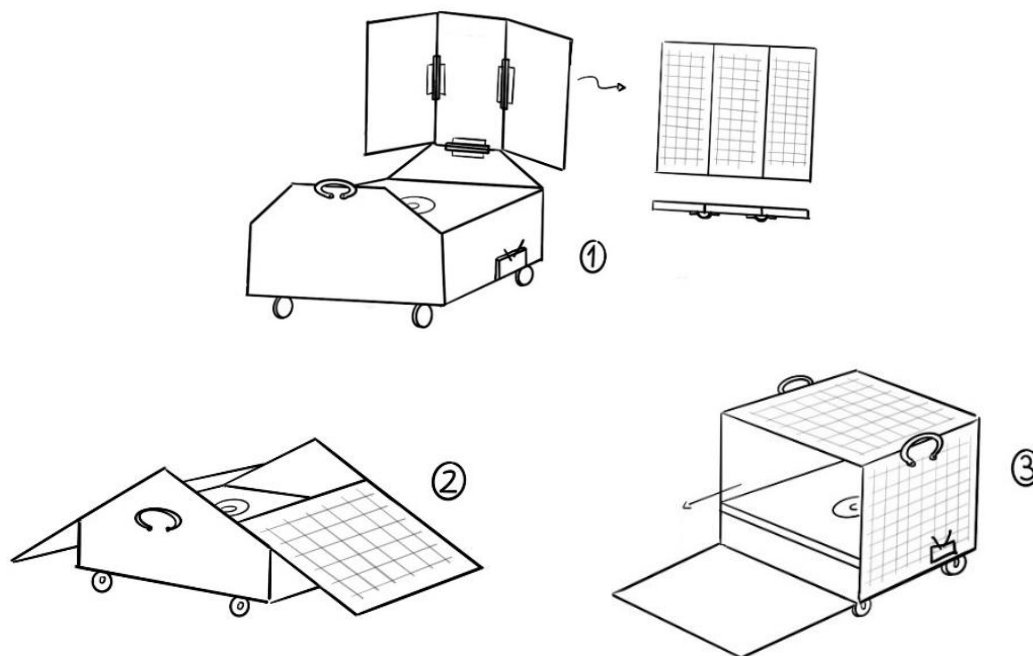


Ilustración 14: desarrollo de los bocetos anteriores. Dibujos de elaboración propia.

Con estas ideas en mente, y pensando de nuevo en la sencillez, facilidad de transporte y versatilidad, el diseño conceptual que se escogió como definitivo es el indicado con el número 3 en la ilustración anterior (*Ilustración 14*). El diseño indicado con el número 1 se ha descartado por ser demasiado compleja la forma de apertura de la estación, harían falta tres paneles solares, cada uno con un movimiento independiente y por lo tanto tres motores, pero coordinados para realizar la apertura de forma conjunta. En cuanto al diseño número 2, aunque la forma de apertura es sencilla, habría un problema al tener un espacio limitado para el aterrizaje del dron.

En este diseño escogido marcado como número 3 en la *Ilustración 14*, la estación de forma cuadrada cuenta con una compuerta lateral en una de sus caras que al abrir permite la salida de la plataforma de recarga donde aterrizará el dron. Teniendo en cuenta que hace falta espacio para todos los dispositivos de la estación, ésta constará de dos compartimentos: uno superior donde se encontrará el habitáculo del dron junto con la plataforma de recarga y los motores que la mueven (estructura principal), y otro en la parte inferior donde se albergarán las baterías (carcasa inferior), el sistema de climatización, la alarma y los elementos de comunicación. En cuanto a los paneles solares, estos irán anclados a la cara superior y dos de las caras laterales de la estación. En la siguiente ilustración se muestra el diseño detallado final de la estación:

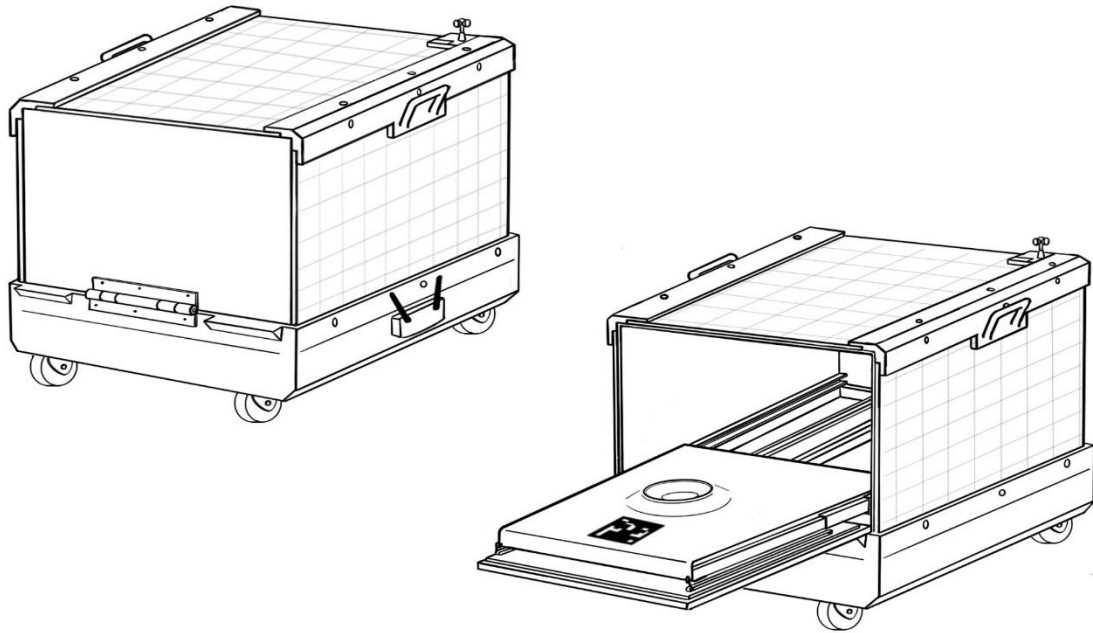


Ilustración 15: Diseño final de la estación. Dibujo de elaboración propia (2022).

Entrando más en detalle, en la siguiente ilustración se muestra la parte inferior de la estación que albergará las baterías, la estación climatológica, la estación y los elementos necesarios para las comunicaciones dron-estación:

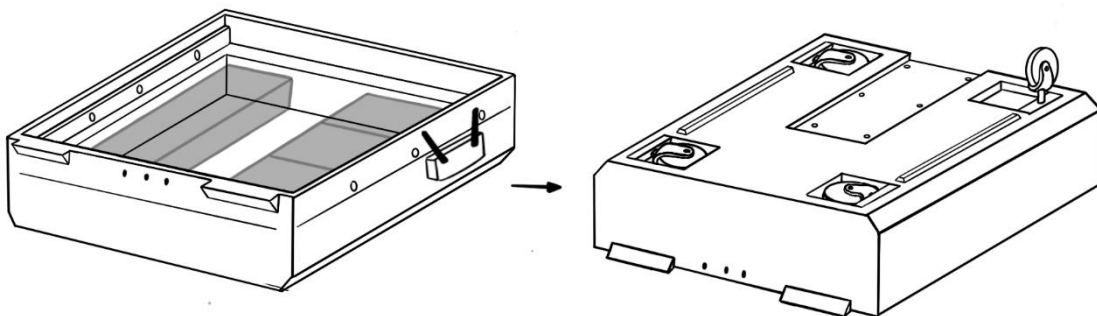


Ilustración 16: Diseño de la parte inferior de la estación. Dibujo de elaboración propia (2022).

Para continuar describiendo todos los elementos que involucran el diseño, se muestra a continuación un dibujo de despiece, para dar una visión más clara del conjunto, la posición de cada elemento y el montaje. Se puede observar que se ha intentado en todo momento hacer la estación lo más sencilla posible, así como un montaje sencillo con elementos de unión atornillados para un montaje y desmontaje sencillo:

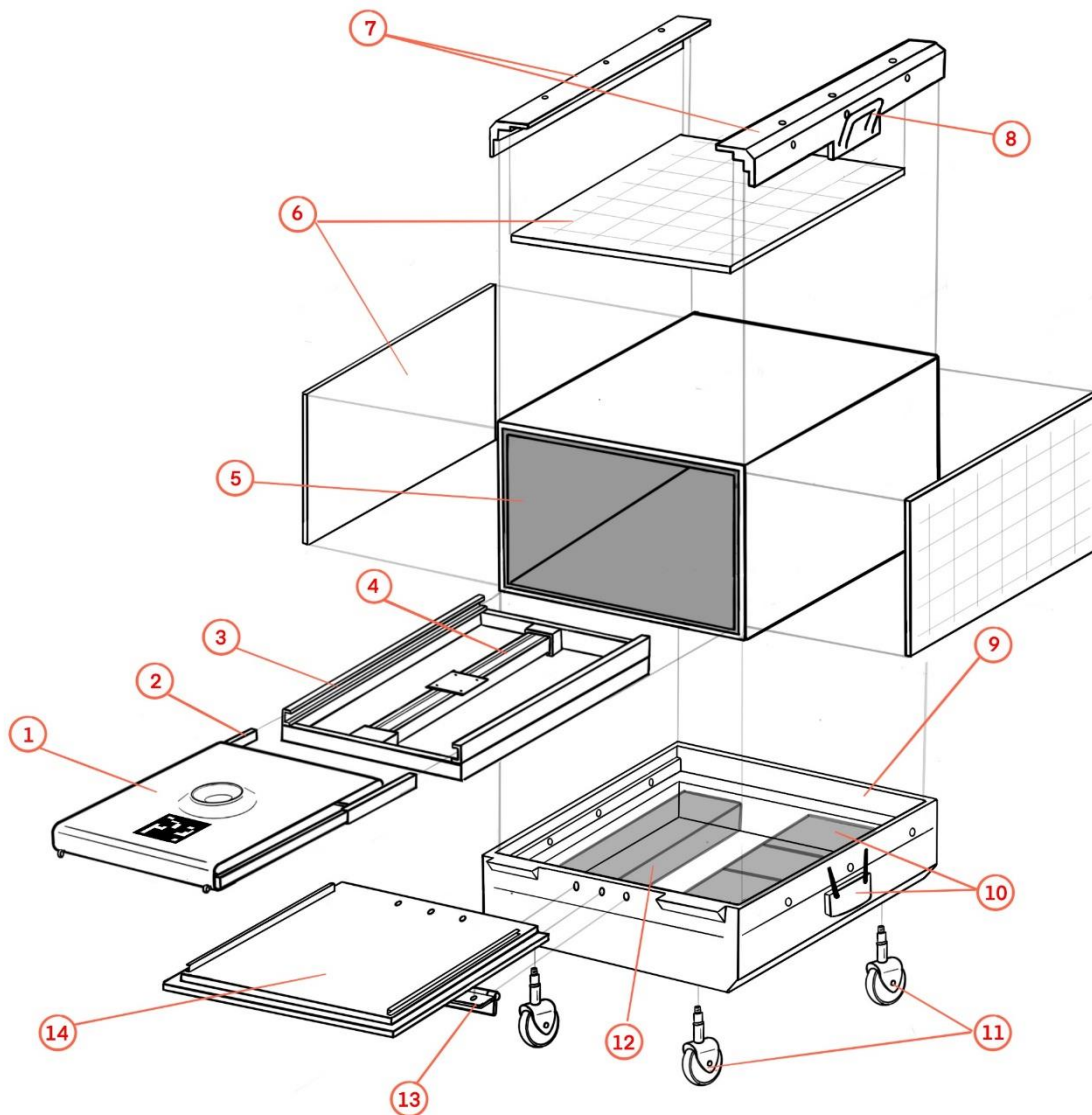
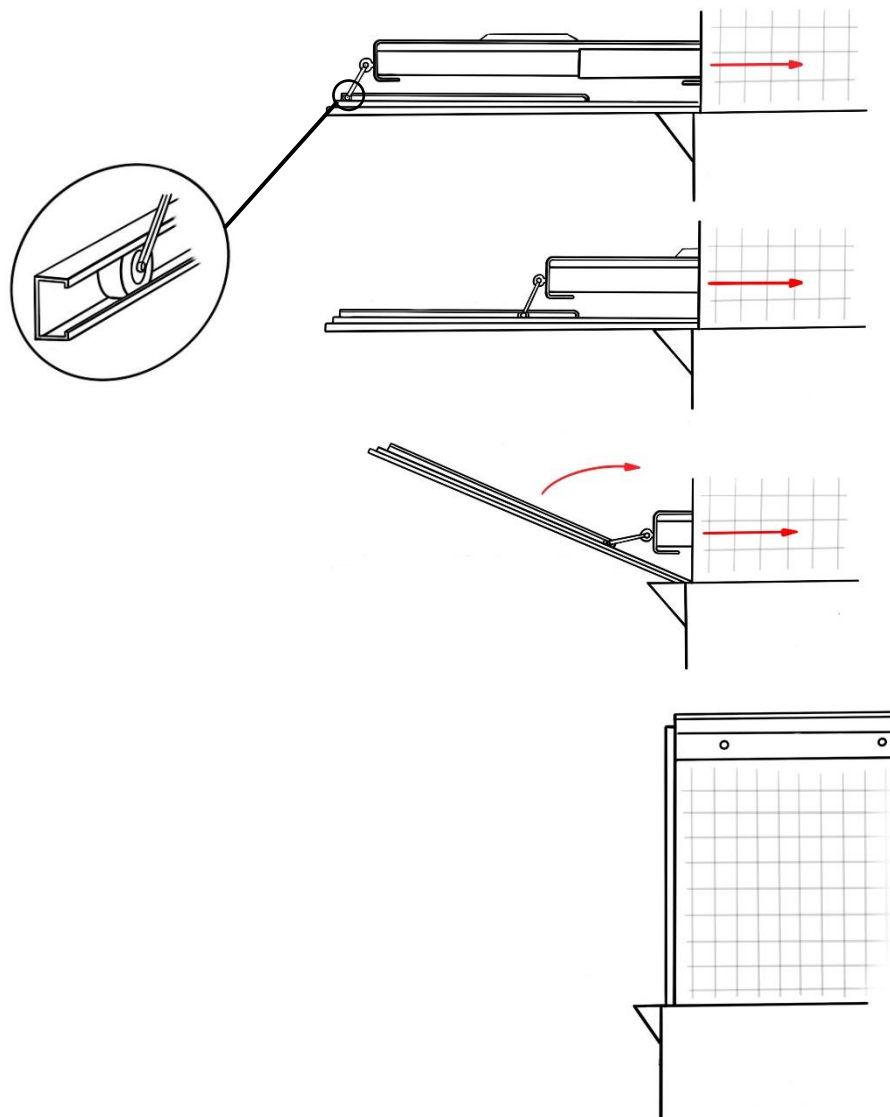


Ilustración 17: Dibujo de despiece de la estación. Dibujo de elaboración propia.

A continuación, una lista con los elementos enumerados en ambas ilustraciones 4 y 5:

- | | |
|--|---|
| 1. Plataforma de recarga. | 8. Agarraderas. |
| 2. Guías deslizantes de la plataforma. | 9. Carcasa inferior. |
| 3. Sujeción de las guías deslizantes. | 10. Sistema de comunicación, localizador GPS y otros dispositivos eléctricos. |
| 4. Sistema de desplazamiento plataforma. | 11. Ruedas. |
| 5. Estructura principal. | 12. Batería. |
| 6. Paneles solares. | 13. Bisagra de unión compuerta-estación. |
| 7. Elementos de unión. | 14. Compuerta. |
| 8. Elementos de unión. | |

Resulta interesante mencionar también el sistema de apertura y cerrado de la compuerta de la estación. Como se observa, la compuerta cuenta con dos raíles en su cara interior, sobre esos dos raíles deslizan dos ruedas, cada una de ellas sujeta a un elemento rígido recto que conecta con el extremo de la plataforma, por lo tanto, tiene libertad de giro en ambos extremos. Para entender mejor el funcionamiento consultar la *Ilustración 7* que se muestra en la página siguiente. El funcionamiento es muy sencillo, cuando la compuerta está cerrada y se desea recibir al dron, la plataforma se desplazará hacia al exterior empujando la compuerta, ésta se abrirá hasta quedar en una posición paralela a la plataforma. Una vez se quiere cerrar la compuerta e introducir al dron, la plataforma realiza el mismo movimiento lineal hacia el interior, gracias a esa unión entre la compuerta y la plataforma, cuando la rueda llegue al final del carril el elemento rígido unido a la plataforma tirará de la compuerta hasta cerrarse por completo. Cuando la plataforma se introduce por completo y se para, la compuerta ya estará totalmente cerrada. Este funcionamiento evita la necesidad de tener otro motor encargado de abrir y cerrar la puerta, ahorrando costes, espacio y energía.



*Ilustración 18: Proceso de cerrado de la compuerta y detalle de carriles utilizados.
Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).*

En el apartado anterior de este capítulo se ha hablado también de la importancia de crear una estación polivalente, para ello se ha mencionado el uso de soportes que permitan que la estación sea instalada fácilmente en diferentes lugares y entornos. Estos soportes se han diseñado como un complemento aparte de la estación y pueden ser intercambiables. Todos estos soportes se podrán unir a la estación por la parte de debajo de la carcasa inferior, donde habrá un hueco con orificios para ser atornillados de manera sencilla y asegurar una correcta sujeción. Estos soportes se han diseñado para que la estación pueda ser instalada en superficies planas, elementos cilíndricos o vehículos:

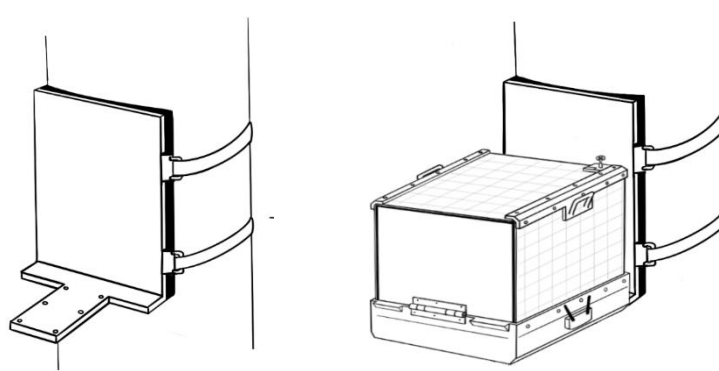


Ilustración 19: soporte para elementos cilíndricos. Dibujo de elaboración propia.

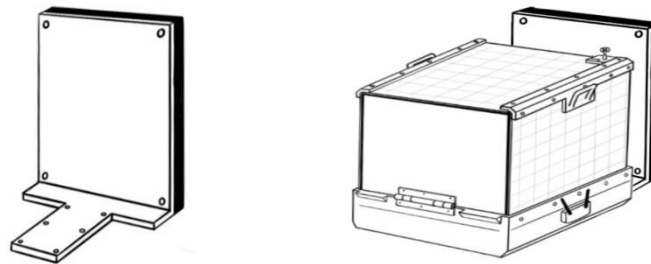


Ilustración 20: Soporte para superficies planas. Dibujo de elaboración propia.

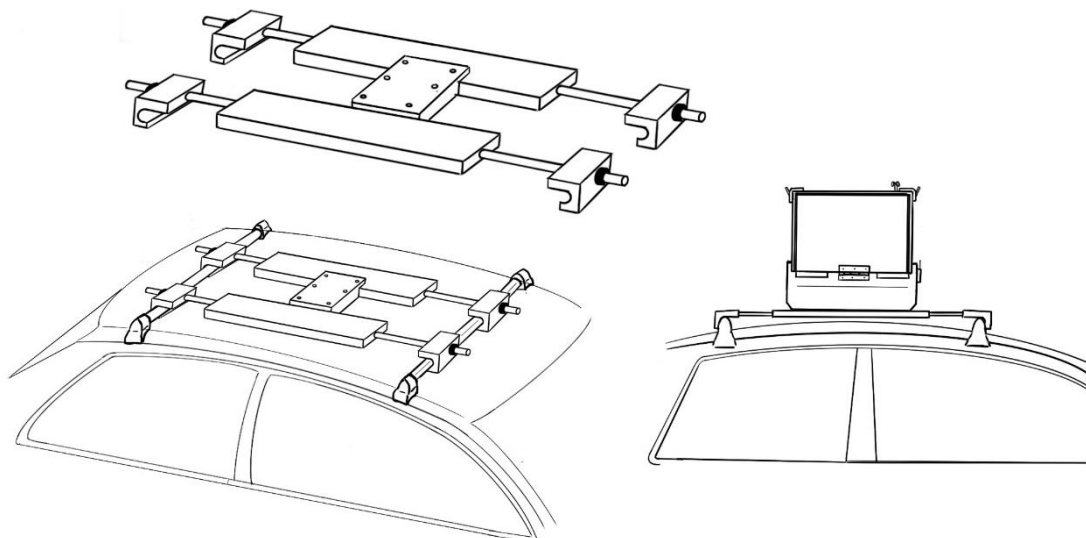


Ilustración 21: Soporte para vehículo. Dibujo de elaboración propia (2022).

Estas ilustraciones solo muestran ejemplos de posibles soportes para instalar la estación en diferentes entornos y condiciones. No es objetivo de este Trabajo entrar en un diseño en detalle de estos soportes, solo se pretende mostrarlos para que sirvan como ejemplos de las diferentes posibilidades que se pueden conseguir con los mismos.

3.3 Funcionamiento

Por último, se va a explicar en este apartado el funcionamiento de la estación. Para ello hay que establecer un escenario inicial en el cual el dron está realizando una operación (por ejemplo, de inspección) llevada a cabo por un operario y el dron tiene batería insuficiente para continuar la operación por mucho tiempo. Para la automatización del proceso, además de un sistema de comunicación entre el dron y la estación, serán necesarios una serie de sensores y actuadores, en este caso estos elementos serán:

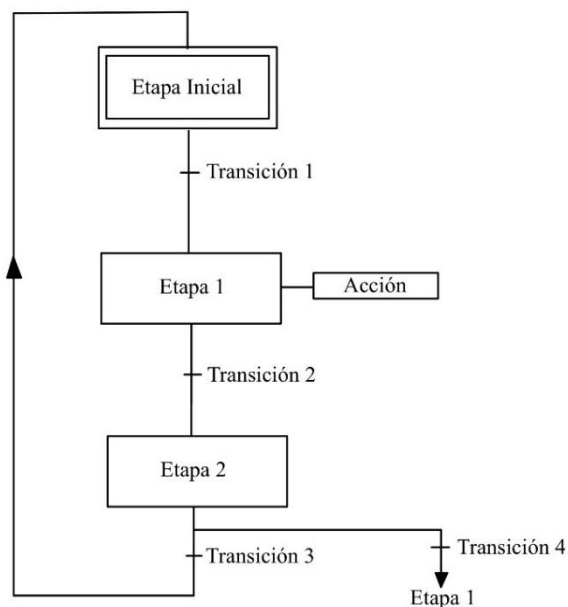
- Finales de carrera de los motores de los actuadores lineales que desplazan la plataforma. Cuando la plataforma esté en su posición final al introducirse o extraerse enviará una señal con valor 1, en los demás casos la señal 0.
- Sensor de la plataforma. Una vez el dron ha aterrizado y se ha apoyado en la plataforma el sensor mandará una señal de valor 1.
- Estación climatológica. Se realizará una lectura constante de termómetro y anemómetro, si las condiciones son aptas para realizar el despegue del dron la estación enviará una señal de valor 1, en caso contrario la señal enviada será de valor 0.

Con la ayuda de estos elementos y el sistema de comunicaciones entre dron y estación, el procedimiento que realizaría la estación será el siguiente:

1. Dron comunica a la estación el estado crítico de la batería cuando esta a la distancia cercana.
2. Estación recibe información y se prepara para la llegada del dron.
3. Se activan los motores lineales que desplazan la plataforma hasta final de carrera. Al desplazarse la plataforma empuja la compuerta que queda al final totalmente abierta, paralela a la plataforma y debajo de la misma.
4. Se detecta final de carrera y se comunica al dron que ya puede iniciar el aterrizaje.
5. Dron comienza aterrizaje hasta que se posa en la plataforma. Una vez los sensores de la plataforma detectan que el dron ha aterrizado se procede a introducir la plataforma.
6. Se accionan de nuevo los motores lineales hasta final de carrera, cuando la plataforma está totalmente introducida. Con la introducción de la plataforma la compuerta se va elevando hasta cerrarse por completo.

7. Una vez el sensor de la compuerta detecta que esta totalmente cerrada se inicia la recarga del dron.
8. Una vez pasado el tiempo de recarga, si no es interrumpido antes por orden del operario y si las condiciones climáticas medidas por la estación meteorológica son adecuadas, se da la orden de comenzar la etapa de abandonar la estación.
9. Se accionan de nuevo los motores lineales que desplazan la plataforma con el dron hasta el exterior, parando cuando se indique final de carrera.
10. Se manda señal al dron para que inicie despegue.
11. Se detecta con el sensor de la plataforma que el dron ha comenzado el despegue.
12. Segundos después, se activa de nuevo los motores lineales hasta introducir totalmente la plataforma y la compuerta quede totalmente cerrada.
13. Fin de la operación.

Para mostrar de forma simple la automatización de este proceso que se acaba de explicar, se ha creado un *grafcet*² descriptivo para mostrar el funcionamiento secuencial de la estación. Este lenguaje utiliza los siguientes elementos gráficos:



*Ilustración 22: Ejemplo del lenguaje gráfico utilizado en la metodología Grafcet.
Fuente: ilustración de elaboración propia.*

² Grafcet nació en 1977 en Francia en un grupo de trabajo de la AFCET (Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica). Es una metodología que sirve para representar procesos automatizados secuenciales. Es un lenguaje funcional y gráfico, que describe las condiciones de funcionamiento de una máquina secuencial con una sucesión de etapas que tienen asignadas unas acciones [35].

Las etapas describen el estado en el que se encuentra la estación en ese momento. Cuando la estación se encuentra en esa etapa, las acciones asociadas a esa etapa son activadas. Esas acciones suelen ser, por ejemplo, el accionar un motor, piloto, alarma, etc. Por último, las transiciones son las condiciones que hacen que se pueda pasar de una etapa a otra. Esas transiciones suelen ir asociadas a la activación de un sensor o accionamiento de un pulsador, es decir, señales de valor 0 o 1.

En este caso se ha realizado un *Grafset* descriptivo que ilustra de manera muy clara el proceso automatizado de la operación de recarga (*Ilustración 23*). En la realidad, el *Grafset* descriptivo es solo la etapa previa utilizada para entender bien el proceso y donde no se entra en detalles tecnológicos antes de realizar el *Grafset* final o tecnológico, en el que se definen las variables de entrada y salida y se dan las condiciones lógicas en las transiciones y acciones según sea el diseño del hardware.

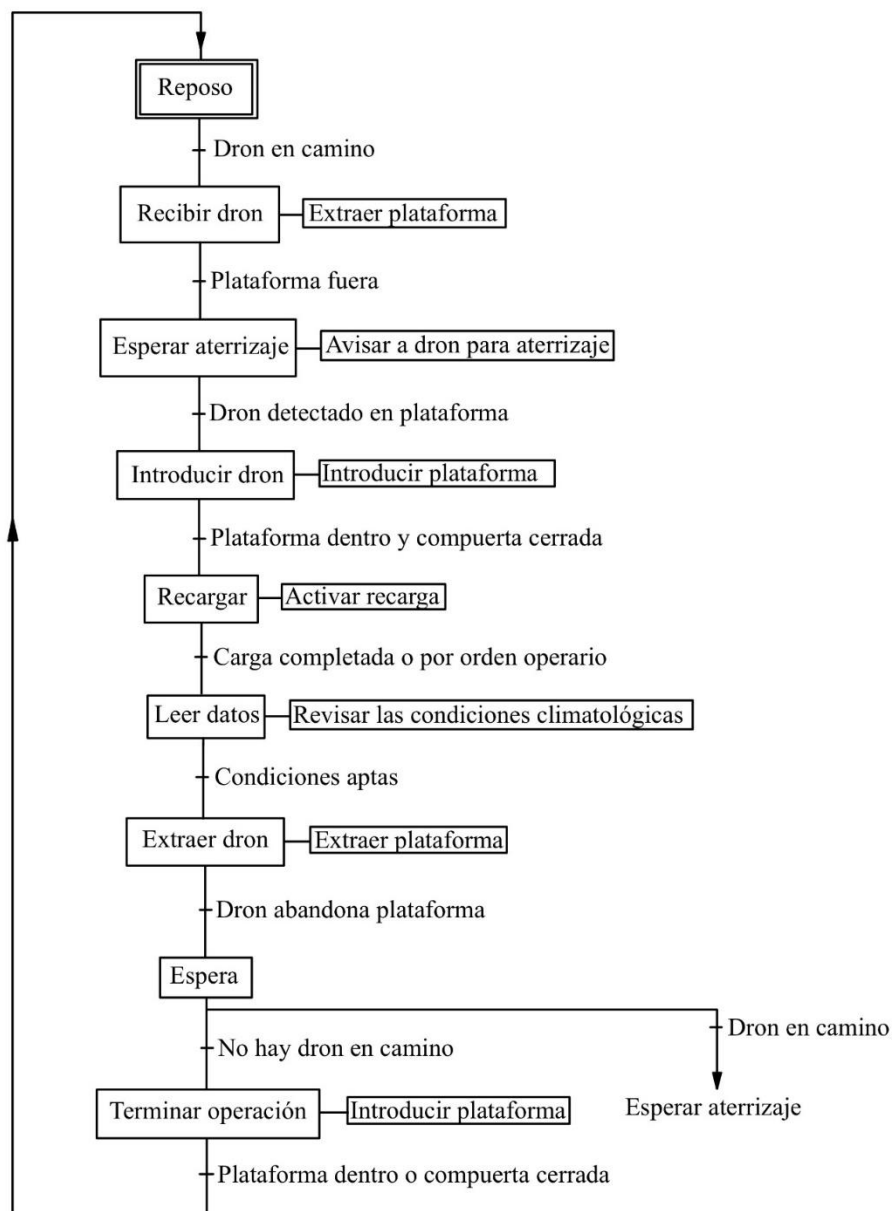


Ilustración 23: Grafset descriptivo del proceso automatizado de recarga. Fuente: ilustración de elaboración propia.

4. Dimensionamiento

Antes de entrar en detalle sobre los materiales que se utilizarán, los espesores o los elementos mecánicos y eléctricos necesarios es imprescindible definir las dimensiones de la estación. Lo más sencillo sería que la estación tuviera las dimensiones suficientes como para albergar cualquier tipo de dron, sin embargo, esto no es posible porque la estación debe ser transportable, por lo tanto, manejable y ligera, cosa que no es posible si está diseñada para albergar drones de gran tamaño (que llegan en ocasiones a alcanzar el metro y medio de anchura). Para saber entonces el tamaño de la estación, hay que analizar primero que tipo de drones se desean albergar en ella. En la actualidad hay infinidad de drones de diferentes marcas, tipos y tamaños, como esta estación está destinada a un uso más profesional que amateur, se van a descartar los drones comercializados para los segundos.

Teniendo en cuenta solo los destinados a un uso más profesional, se ha hecho un estudio de mercado y se ha observado que existen tres grandes grupos: los drones de tamaño pequeño, los drones de tamaño mediano y los drones de tamaño grande. Tiene sentido entonces dimensionar la estación en base a los tamaños de los drones del tipo mediano. A continuación, se muestra una tabla con las dimensiones de los drones de tamaño mediano más utilizados en aplicaciones profesionales ([36] a [52]):

Empresa	Modelo	Dimensiones LxAnxAI (mm)
Autel	Evo Lite+	517 x 430 x 85
	X-Star Premium	171 x 130 x 203
	EVO II	424 x 354 x 110
DJI	Phantom 4 Pro 2	290 x 290 x 196
	Mavic Pro Platinum	245 x 289 x 55
	Mavic Air 2 pro	183 x 253 x 77
	P4 Multispectral	290 x 290 x 196
	Mavic 3	347.5 x 283 x 107.7
Parrot	Anafi Work	175 x 240 x 65
	Bebop 2	330 x 300 x 100
Yuneec	Q500 Typhoon	420 x 420 x 210
Skydio	X2	223 x 273 x 74
Fimi	Fimi X8 SE	200 x 145 x 56
3DRobotics	Solo	460 x 460 x 250
Halo drone	Halo drone pro	304 x 304 x 70
GoPro	Karma	328 x 436 x 117
Hexoplus	Hexo +	435 x 410 x 244

Ilustración 31: Drones medianos de uso profesional más utilizados. Fuente: tabla de elaboración propia.

Dentro de este grupo, los que mayores dimensiones tienen son:



Ilustración 35: Dimensiones del 3DR Solo y Autel Evo Lite+. Fuente: elaboración propia con imágenes de www.3DR.com y www.Autel.com

Conociendo las dimensiones máximas de ancho, largo y alto que tendrán los drones se pueden establecer las dimensiones de la estación. El dron será albergado dentro de la estructura cuadrada principal, donde se encuentra también la plataforma de recarga. Para la dimensión de esta estructura hay que tener en cuenta entonces no solo el habitáculo necesario para el dron sino también el espacio de la plataforma. En cuanto al espacio necesario par el dron, se sabe que tendrá que ser mayor de $517 \times 460 \times 250\text{mm}$, habrá que dejar un margen tanto en el ancho como en el largo y el alto para que haya cierto margen de movimiento y que no quede demasiado justo. Para la plataforma se ha estimado que será necesaria, aproximadamente, una altura de 50mm, mientras que el ancho y largo lo establece el espacio necesario para el dron mencionado antes. Teniendo esto en cuenta, las dimensiones de la estructura principal de la estación serán:

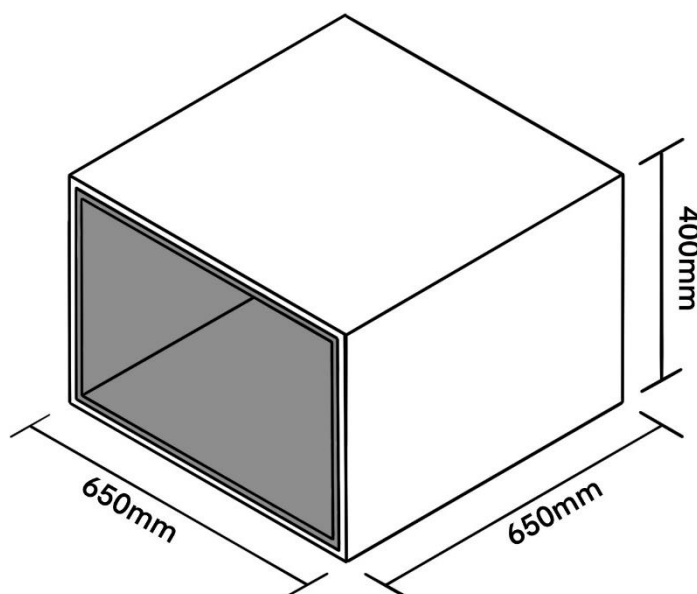


Ilustración 36: Dimensiones de la estructura principal de la estación. Fuente: dibujo de elaboración propia.

CAPÍTULO III: SELECCIÓN DE MATERIALES

En este capítulo del Trabajo se realiza un proceso de selección de materiales para los diferentes elementos estructurales de la estación presentados en el diseño. Concretamente se seleccionarán los materiales para la estructura principal de la estación (materiales que en el capítulo siguiente se utilizarán para las simulaciones), para la plataforma de recarga, para la carcasa inferior y elementos de unión, y para el material aislante del interior de la estación (ver todos estos elementos en la *Ilustración 13 y 14* del capítulo anterior).

1. Estructura principal

La estructura principal de la estación se encuentra en el interior de la misma, es la estructura cuadrada que alberga al dron y a la plataforma de recarga en su interior y que se ha dimensionado en el anterior capítulo. Para este apartado se realizará un estudio de los posibles materiales para este elemento de la estación. Para ello será necesario establecer cual es su función y qué requisitos debe cumplir. Esta estructura principal, como su propio nombre indica, debe cumplir su función de armadura para la estación y proteger en todo momento al dron y el dispositivo de recarga. Todos los demás elementos constructivos de la estación van montados sobre esta estructura, por lo tanto, es la parte con más importancia.

Debido a que el material debe tener esa función de armadura y juega un papel tan importante en la estación se centrará la búsqueda en un material metálico, debido a sus excelentes propiedades mecánicas. Como se sabe, los materiales metálicos se pueden clasificar como:

- Metales ferrosos: dentro de los cuales encontramos los aceros al carbono (alto, medio o bajo contenido en carbono), fundiciones (blanca, gris laminar, gris maleable, gris dúctil) y aceros aleados (débilmente como el HSLA o fuertemente como los inoxidables o aceros rápidos).
- Metales no ferrosos: metales pesados (cobre, latón, cinc, bronce), metales ligeros (aluminio, titanio), metales ultraligeros (magnesio).

El primer paso antes de entrar en la búsqueda del material para este elemento, es elegir entre estos subgrupos aquellos que más se ajustan a lo que se está buscando. Dentro de los metales ferrosos se descartarán aquellos aceros con alto o medio contenido en carbono, ya que presentan una muy alta dureza y baja ductilidad y suelen ser destinados a fabricar elementos como ejes, engranajes, railes, herramientas de corte o muelles. También se descartarán las fundiciones, no solo por su escasa maquinabilidad, sino también porque suelen utilizarse para elementos más bastos de grandes dimensiones,

absorber vibraciones, o piezas específicas para motores y tuberías. En cuanto a los aceros aleados se considerarán solo los aceros fuertemente aleados, concretamente los aceros inoxidables, pues presentan unas propiedades excelentes ante la corrosión, son ligeros, resistentes y fácilmente mecanizables. De los no ferrosos se descartarán los metales pesados y se escogerán los ligeros, dentro de los cuales se descartará el titanio, ya que sus aplicaciones no son tanto estructurales como aeroespaciales, quirúrgicas, para turbomáquinas o intercambiadores de calor. Los subgrupos seleccionados para la búsqueda serán entonces:

- Aceros con contenido bajo en carbono: son aquellos aceros que contienen menos del 0,25% en carbono. Estos aceros no destacan por una gran resistencia, pero sí por tener una gran ductilidad, tenacidad, bajo coste, fácilmente mecanizables y soldables.
- Aceros inoxidables: tienen un contenido en carbono menor del 1% (normalmente menor incluso que el 0,1%) y contienen una concentración mínima de cromo del 10,5% que genera una excelente resistencia a la corrosión. Hay tres tipos dependiendo de el contenido en carbono, cromo y níquel: martensítico, austenítico y ferrítico.
- Aleaciones de aluminio: destacan por tener una buena resistencia a la corrosión, tener una fácil fabricación, baja densidad, no ser tóxico y tener un precio bajo. Sus aplicaciones son muy variadas y encontramos aluminios destinados para la construcción, para la industria aeroespacial, los transportes o industria alimentaria. Se dividen en series dependiendo de los aleantes, desde la serie 1000 (99% de aluminio) hasta la 8000.

Una vez seleccionados estos subgrupos sobre los que se realizará la búsqueda, hay que analizar los criterios de búsqueda que se utilizarán y las prioridades. Se dará prioridad a las dos principales propiedades física y mecánica: la densidad del material y su resistencia al impacto. Como se ha comentado en el segundo capítulo, el diseño gira en torno a una estación ligera y transportable, y es por eso, que resulta imprescindible que el material sea ligero y que por lo tanto tenga una baja densidad. También es importante una buena resistencia al impacto por el hecho de que la estación será transportada de un lugar a otro e instalada en diferentes entornos, la mayoría de las veces a alturas elevadas y en caso de fallo o accidente el impacto será el mayor peligro al que se vea expuesta, en cuyo caso deberá proteger al dron.

Siguiendo estos dos criterios de búsqueda principales, seleccionando los subgrupos de materiales metálicos seleccionados, y con la ayuda del software CES Granta EduPack, se ha realizado un gráfico en el que en el eje horizontal viene representada la densidad (kg/m^3) y en el eje vertical la tenacidad a fractura ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$) que representa la resistencia al impacto. El resultado se muestra en la *Ilustración 1:4*

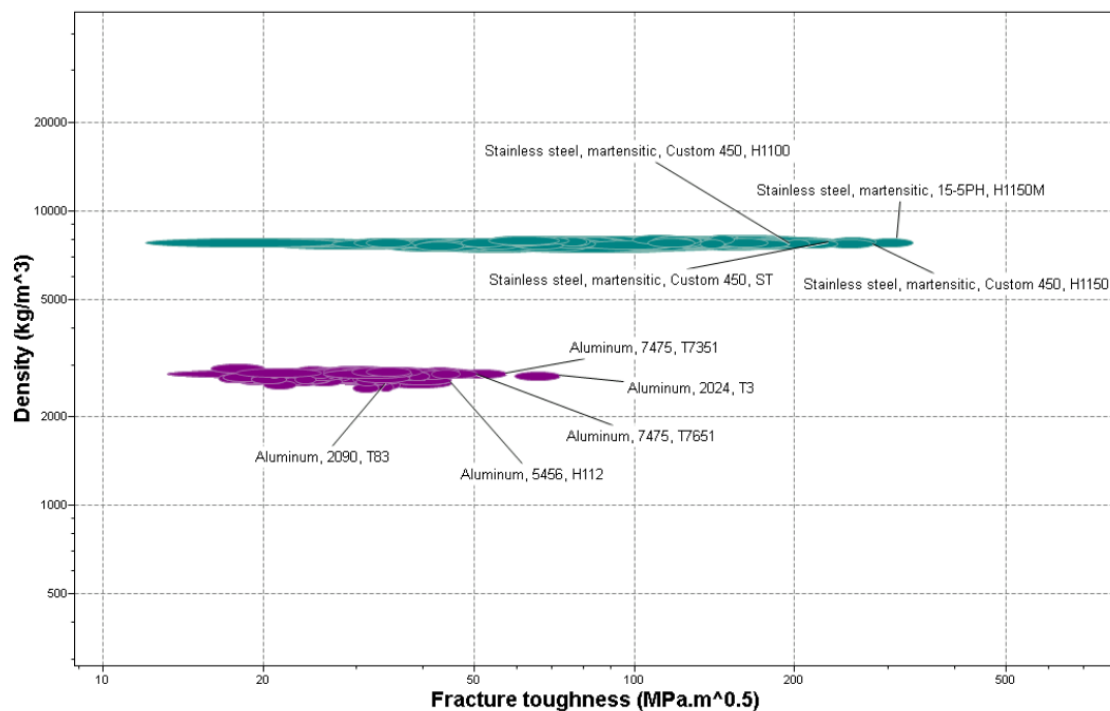


Ilustración 37: Gráfico densidad-tenacidad a rotura para los metales seleccionados. Fuente: gráfico realizado con software CES Granta EduPack (2022).

A primera vista se puede observar que los subgrupos se han dividido en dos grandes grupos. Las aleaciones de aluminio se encuentran en el grupo inferior con una menor densidad (alrededor de 2500 kg/m^3), y en el grupo superior se encuentran los inoxidables y los de bajo contenido en carbono, todos con densidades también similares (alrededor de 8000 kg/m^3). Si estuviéramos aplicando solo como criterio de selección la densidad, se descartarían los inoxidables y de bajo contenido en carbono, sin embargo, la tenacidad a fractura de éstos es de casi el doble que las de las aleaciones de aluminio, lo que hace que tampoco se puedan descartar. Teniendo esto en mente, se han señalado en el gráfico aquellos materiales de ambos grupos que presentan la menor densidad y la mayor tenacidad a fractura posible, estos materiales son:

- Aluminio 2090 T83.
- Aluminio 5456 H112.
- Aluminio 7475 T7651.
- Aluminio 2024 T3.
- Aluminio 7475 T7351.
- Acero inoxidable martensítico 450 ST.
- Acero inoxidable martensítico 450 H1150.
- Acero inoxidable martensítico 450 H1100.
- Acero inoxidable martensítico 15-5PH H150M.

Otra propiedad importante en este elemento será la resistencia mecánica. Como se ha comentado, la resistencia al impacto resulta esencial para la protección del dron ante accidentes, pero la estación en su funcionamiento ordinario estará sujeta a diferentes cargas debidas a causas naturales (nieve, hielo, escombros, etc), al propio peso de la plataforma de recarga y el dron, y otros tipos como las generadas al ser transportada o elevada por sus agarraderas. Todas esas cargas podrían generar deformaciones y acabar dañando la estructura de la estación, de ahí la importancia de una buena resistencia mecánica. Para ello se han tomado de nuevo en el software CES Granta EduPack los materiales seleccionados antes, y se ha realizado un gráfico densidad – resistencia a tracción, los resultados se muestran a continuación:

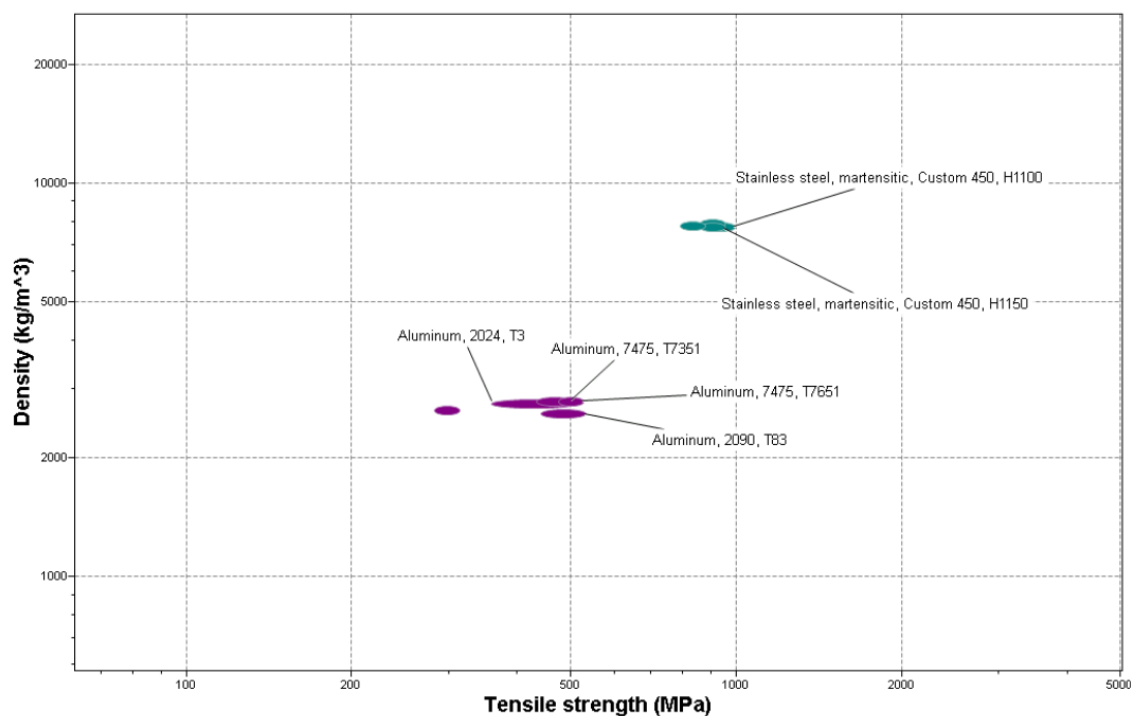


Ilustración 38: Gráfico densidad-resistencia a tracción de los materiales seleccionados. Fuente: gráfico realizado con el software CES Granta EduPack (2022).

Como era de esperar, todos los aceros inoxidables presentan una mayor resistencia a tracción, pero las resistencias de las aleaciones de aluminio son mayores de lo esperado y al contrario que antes, no llegan a ser ni a mitad que las de los aceros, siendo en alguna de ellas hasta 550MPa que se considera una resistencia considerable para esta aplicación. Para tener más datos sobre los que apoyar una decisión final, se va a realizar de nuevo una comparativa, esta vez utilizando otro factor clave en la realización de todo diseño: el precio. Hasta ahora no se ha mencionado nada sobre este aspecto en el Trabajo, pero sí que el objetivo es el de realizar un diseño práctico y sencillo que destaque sobre los ya existentes, por lo tanto, el intentar obtener los menores costes posibles para el diseño es algo implícito en la realización de todo diseño. Así pues, utilizando de nuevo el software, los precios de estos materiales serán:

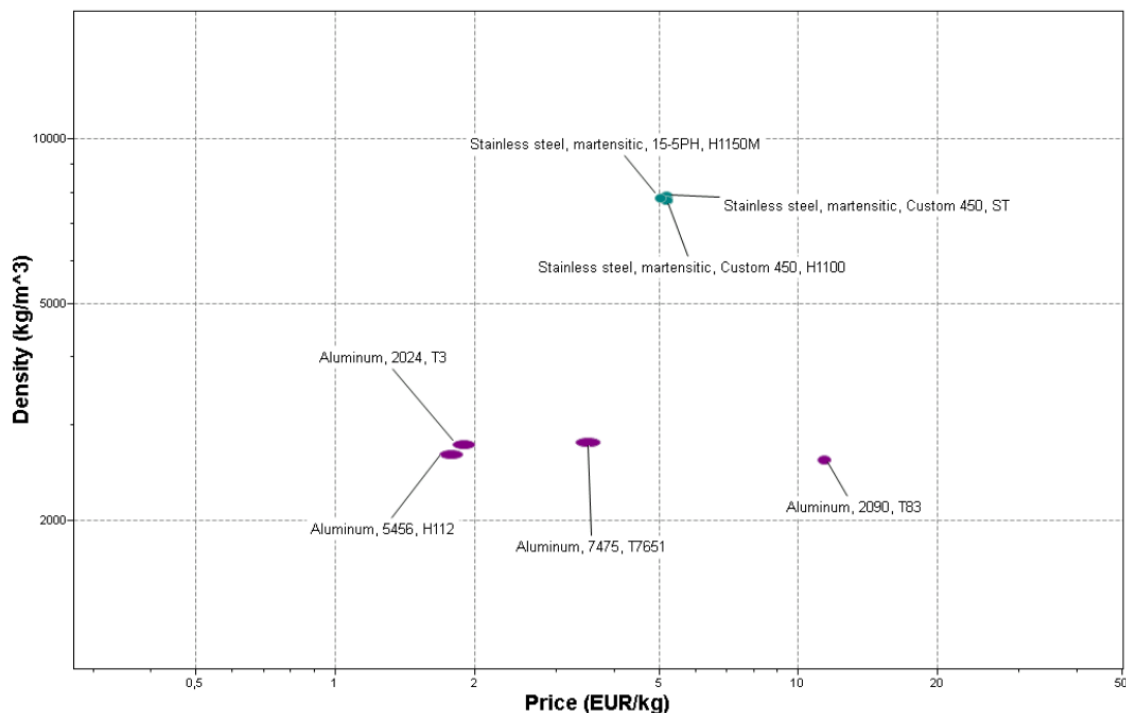


Ilustración 39: Gráfico densidad - precio para una comparativa de precio entre los materiales. Fuente: gráfico realizado con el software CES Granta EduPack (2022).

Como se puede observar, aparte del aluminio 2090 T83, los demás aluminios tienen todos unos precios menores que los aceros inoxidables. Los dos metales que tienen el precio más bajo son el aluminio 2024 T3 y el aluminio 5456 H112. Tras analizar los precios, la resistencia mecánica y la densidad, queda claro que las aleaciones de aluminio son la opción más viable. Aunque es verdad que la tenacidad a rotura de los aluminios es mucho menor que la de los aceros inoxidables, seguimos estando en valores de más de $50 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$, similares a las que ofrecería un acero aleado (como el acero 4340 con $50 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$) [54] por lo que incluso sobrepasan las necesidades de la estación. Es por eso que los materiales que mejores propiedades presentan y que han sido seleccionados finalmente para la estructura principal son:

- Aluminio 2024 T3.
- Aluminio 7475 T7651.

Aunque el aluminio 2024 T3 tiene uno de los precios más bajos de todos los materiales y por lo tanto podría ser el favorito de los dos, el aluminio 7475 T7651 tiene unas propiedades mecánicas mejores. Para una misma aplicación, haría falta más material de aluminio 2024 que de aluminio 7475 y entonces el precio podría llegar a igualarse. Como no se puede tomar una decisión final entre ambos, en el capítulo siguiente del trabajo se realizarán unas simulaciones de carga sobre esta estructura principal, y se calculará para ambos elementos el espesor necesario y por ende la cantidad de material, y ya se podrá tomar una decisión final.

Las principales propiedades de estos dos materiales se muestran en las siguientes tablas:

Aluminio 2024 T3	
Composición	Al 91-95/ Cu 3.8-4.9/ Mg 1.2-1.8/ Mn 0.3-0.9
Densidad	2.78e3 Kg/m ³
Límite elástico	372 Mpa
Módulo de Young	75.7 Gpa
Resistencia a tracción	510 Mpa
Dureza (Vickers)	148 HV
Tenacidad a fractura	72.2 Mpa.m ^{0.5}
Máxima temperatura de servicio	200 °C
Mínima temperatura de servicio	-273°C
Conductividad térmica	131 W/m.°C
Calor específico	980 J/Kg.°C

Ilustración 40: Propiedades del aluminio 2024 T3. Fuente: tabla de elaboración propia con los datos obtenidos de CES Granta EduPack (2022).

Aluminio 7475 T7351	
Composición	Al 89-92/ Zn 5.2-6.2/ Mg 1.9-2.6/ Cu 1.2-1.9/ Cr 0.18-0.25
Densidad	2.81e3 Kg/m ³
Límite elástico	450 Mpa
Módulo de Young	73.6 Gpa
Resistencia a tracción	526 Mpa
Dureza (Vickers)	170 HV
Tenacidad a fractura	50.3 Mpa.m ^{0.5}
Máxima temperatura de servicio	100 °C
Mínima temperatura de servicio	-273°C
Conductividad térmica	169 W/m.°C
Calor específico	1000 J/Kg.°C

Ilustración 41: Propiedades del aluminio 7475 T7351. Fuente: tabla de elaboración propia con los datos obtenidos de CES Granta EduPack (2022).

2. Plataforma de recarga

Esta selección de material resulta mucho más sencilla que las anteriores. Como se ha visto anteriormente, la plataforma de recarga está formada por una plancha de aluminio soldada para obtener la forma deseada, a la que irán unidos el motor que la desplaza, las guías laterales que usa para desplazarse linealmente y que ayudan a su sujeción, y el dispositivo de recarga incluido dentro de un elemento cónico de plástico. Ahora mismo nos interesa obtener el material de esa plancha de aluminio a la que se dará forma mediante operaciones de doblado.

Como la plataforma simplemente debe estar diseñada para soportar el peso del dron, y este como se ha visto, no supera en ninguno de los casos los 2,5kg, no se necesita de un material resistente. Simplemente se seleccionará un material ligero, de un coste bajo y que trabaje bien en operaciones de doblado.

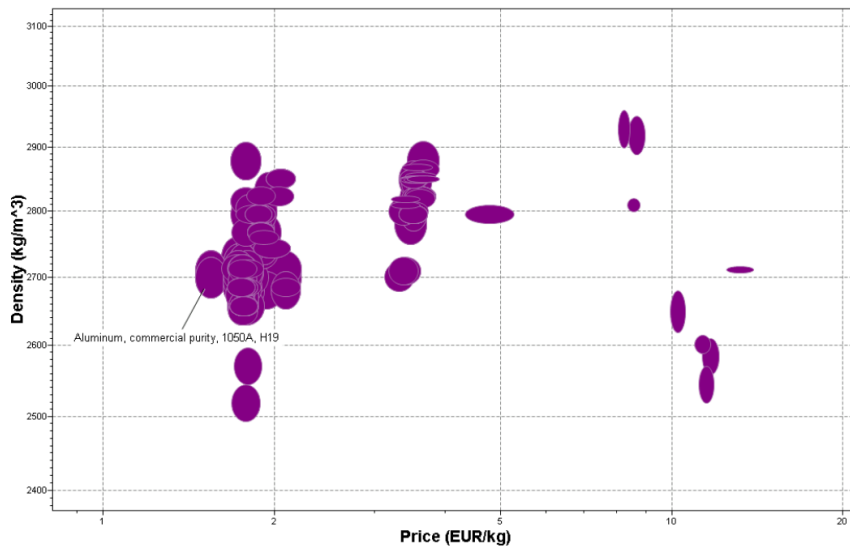


Ilustración 42: Precio-Densidad para aluminio. Fuente: CES Granta EduPack (2022).

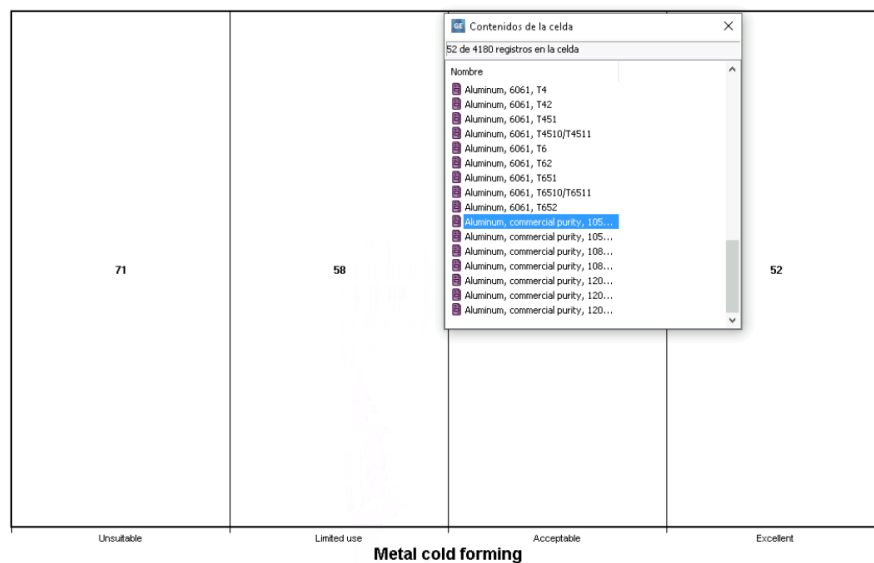


Ilustración 43: Calidad de trabajo en deformación en frío. Fuente: CES Granta EduPack (2022).

Observando estas dos gráficas queda bastante claro que la mejor opción será utilizar el Al 1050 para la plataforma de recarga, pues presenta un precio bajo (1,46€/kg), baja densidad y un excelente comportamiento ante procesos de deformación en frío. Las propiedades de este material son:

Aluminio 1050	
Composición	Al 99.1
Densidad	2.705e3 Kg/m ³
Límite elástico	157 Mpa
Módulo de Young	69 Gpa
Resistencia a tracción	157 Mpa
Dureza (Vickers)	45 HV
Tenacidad a fractura	32 Mpa.m ^{0.5}
Máxima temperatura de servicio	100 °C
Mínima temperatura de servicio	-273°C
Conductividad térmica	224 W/m.°C
Calor específico	893 J/Kg.°C

Ilustración 44: Propiedades del aluminio Al 1050. Fuente: CES Granta EduPack (2022).

3. Carcasa inferior y los elementos de unión.

En este apartado se realizará la selección de material de la carcasa inferior y los dos elementos de unión de la estación, que tendrán el mismo material. Estos dos elementos se muestran en la siguiente ilustración a modo de recordatorio:

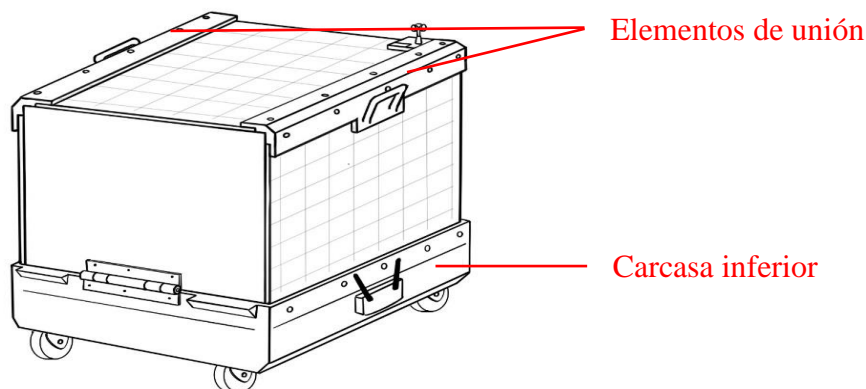


Ilustración 45: Estación de recarga y sus partes. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

Estos elementos también tienen una función estructural importante en la estación de recarga, pero sus requerimientos mecánicos son menores, pudiendo escoger entre materiales más baratos y ligeros. Es por esta razón que se ha decidido escoger un polímero como material para estos elementos. Como se sabe, los polímeros se dividen principalmente en tres clases:

- Termoplásticos: dependiendo de si su estructura es lineal o ramificada sin grupos voluminosos o con grupos voluminosos sus características serán distintas. Para los primeros se tiene un material dúctil, semicristalino, opaco o traslúcido y que funden. Los segundos serán amorfos, de comportamiento frágil, transparentes y que funden en un intervalo de temperatura.
- Elastómeros: son amorfos o con un pequeño grado de cristalinidad, tienen un comportamiento elástico, no funden, sino que se descomponen, y se usan a una cierta temperatura por encima de la cual son elásticos y no rígidos.
- Termoestables: son amorfos, de comportamiento frágil, opacos no pueden reciclarse y no funden, sino que se descomponen.

De estos tres grandes grupos el único que se ha descartado es el de elastómeros, pues estos elementos de la estación deben ser rígidos y no elásticos y un elastómero no podría utilizarse con estos fines. La selección se realizará entonces entre los termoplásticos y los termoestables. Igual que el apartado anterior, se van a establecer las dos propiedades principales que se requieren para estos materiales y que servirán para hacer una primera

selección y descartar un gran número de materiales que no las cumplan. Esas dos propiedades son de nuevo las seleccionadas para el apartado anterior: densidad y resistencia al impacto. Las razones son las mismas que antes, aunque esta vez las funciones de estos elementos no sean proteger al dron sino asegurar la sujeción de todos los paneles y resguardar las baterías y sistemas de comunicación. Como se ha hecho antes la resistencia al impacto se mide con la tenacidad a fractura, y el software utilizado para el proceso de selección es el CES Granta EduPack:

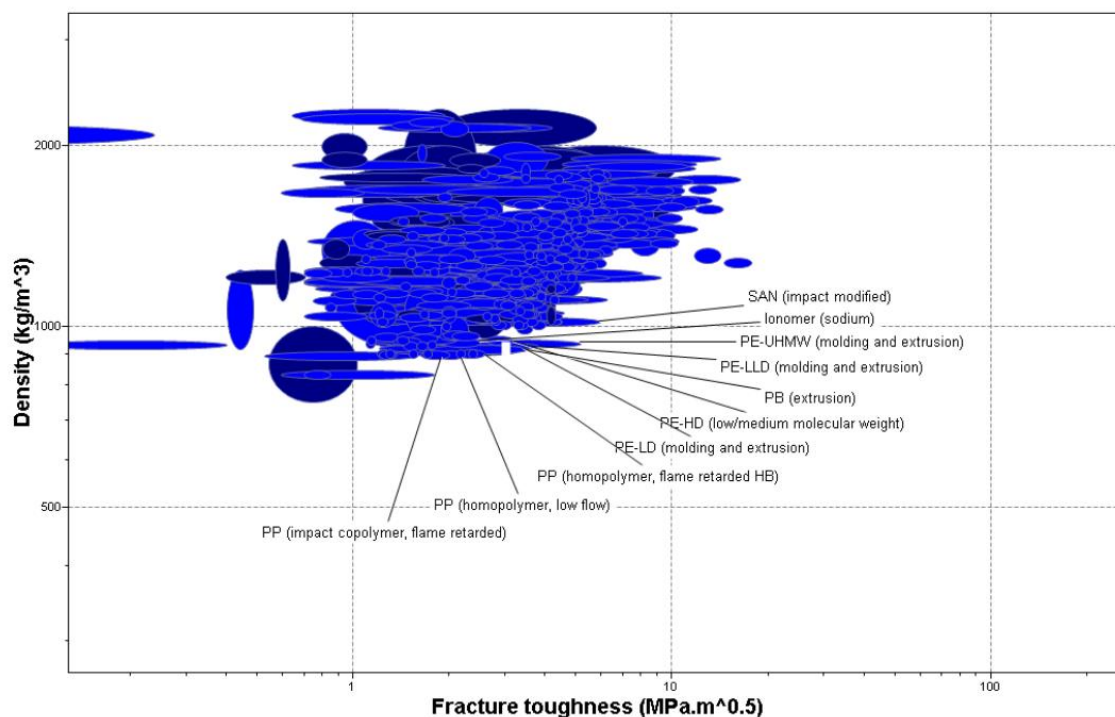


Ilustración 46: Gráfico densidad-tenacidad a rotura para los polímeros seleccionados. Fuente: gráfico realizado con software CES Granta EduPack (2022).

Como se puede observar en la *Ilustración 36* de todos los termoplásticos y termoestables se han seleccionado aquellos que, con la densidad más baja posible, muestran una buena resistencia al impacto, esos 10 materiales son:

- SAN (estireno acrilonitrilo) modificado para impacto.
- Inómero (sodio).
- PE-UHMW (peso molecular ultra alto).
- PE-LLD (baja densidad lineal).
- PB.
- PE-HD (densidad alta peso molecular medio-alto).
- PE-LD (densidad baja).
- PP homopolímero (ignífugo HB).
- PP homopolímero (flujo bajo).
- PP copolímero de impacto (ignífugo).

Tanto la carcasa inferior como los elementos de unión son piezas que estarán expuestas al exterior de forma permanente, lo que significa una constante exposición a radiación UV, factor que deteriora el estado de los polímeros, acortando su tiempo de vida útil [55]. Estos elementos de la estación también estarán en muchas ocasiones en contacto con otros objetos, en los elementos de unión las agarraderas serán utilizadas para elevar y mover la estación y serán atravesados por tornillos para el montaje de los paneles solares. La carcasa inferior sirve como apoyo de toda la estación cuando las ruedas están plegadas, lo que significa que estará en contacto con todo tipo de terrenos que pueden dañar el material. Por esta razón, será importante estudiar la dureza de los materiales, que aseguren la máxima vida útil de los mismos. Para estas dos propiedades se ha realizado de nuevo otro gráfico en el que se muestra en el eje vertical el comportamiento del material ante la radiación UV, y en el horizontal la dureza de Vickers (HV), seleccionando los 10 materiales mencionados anteriormente se obtiene el siguiente gráfico:

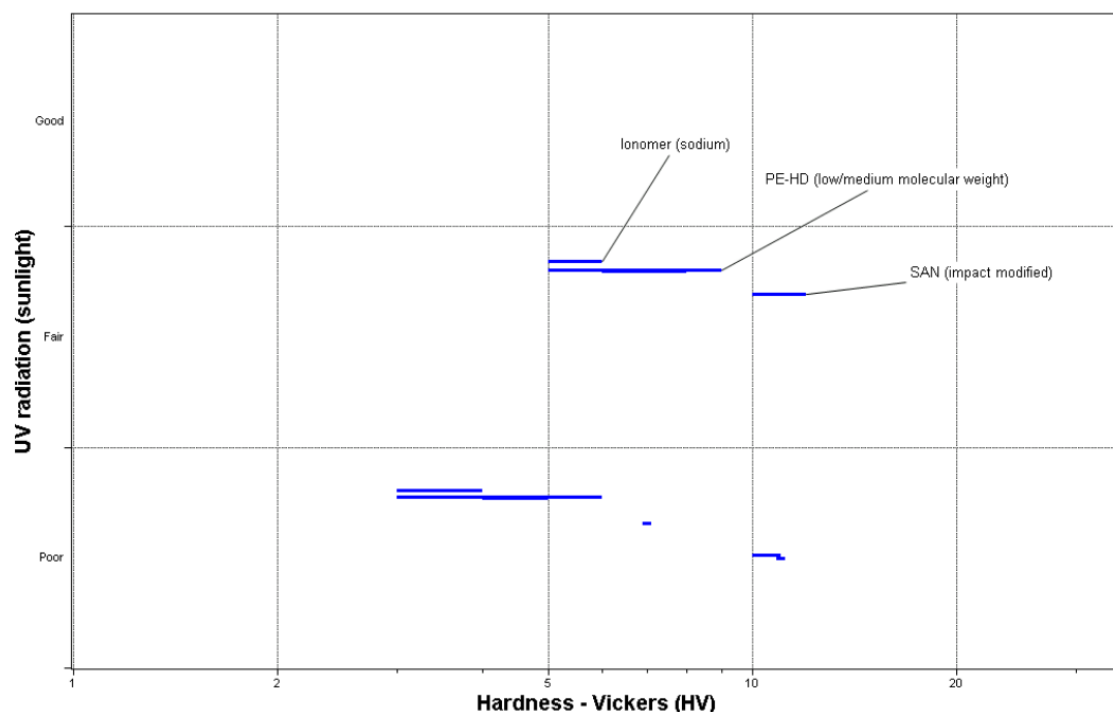


Ilustración 47: Gráfico comportamiento ante radiación UV-Dureza. Fuente: gráfico de elaboración propia con el software CES Granta EduPack (2022).

Ninguno de los polímeros tiene una excelente resistencia a la radiación UV, pero si podemos observar que la de algunos es mucho mayor que la de otros. En este caso se han destacado aquellos materiales que tengan la mejor resistencia UV combinado con la dureza más elevada.

En el segundo capítulo se ha señalado el objetivo de tener una estación polivalente, que tenga la capacidad de ser utilizada en todo tipo de entornos y condiciones. Estas condiciones afectarán a estos materiales que, como se ha comentado antes, estarán en permanente contacto con el exterior. Las condiciones del exterior que también pueden

afectar a los polímeros, a parte de las ya estudiadas, serán las condiciones extremas de temperatura y por ello deben también formar parte del proceso de selección de estos materiales. En las siguientes dos ilustraciones se muestran las máximas y mínimas temperaturas de servicio para estos materiales:

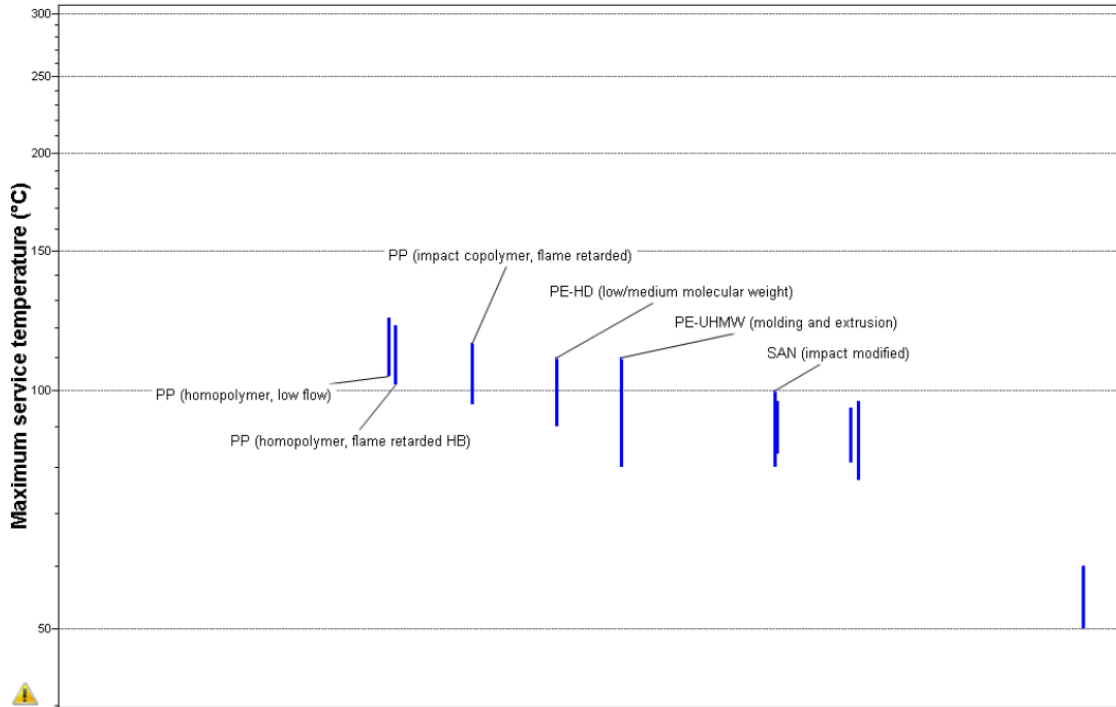


Ilustración 48: Máxima temperatura de servicio para los polímeros. Fuente: CES Granta EduPack (2022)

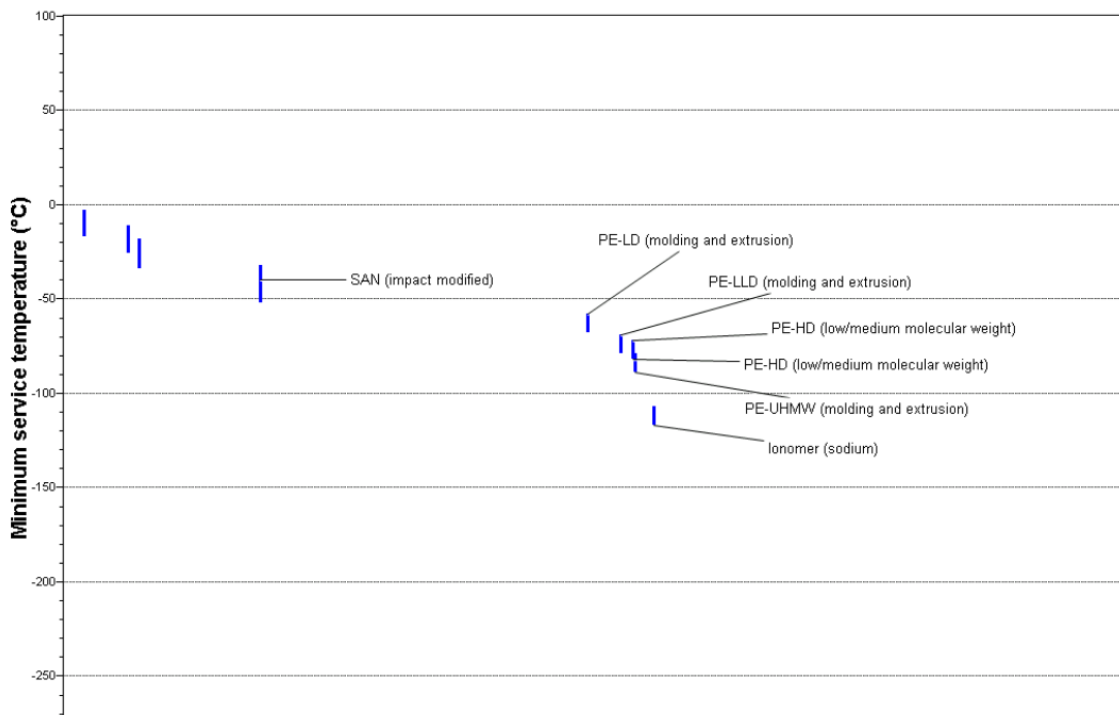


Ilustración 49: Máxima temperatura de servicio para los polímeros. Fuente: CES Granta EduPack (2022).

Para terminar este proceso de selección se ha de tener también en cuenta el proceso de fabricación de estos elementos. Al contrario que en la estructura principal, en la cual el diseño era sencillo y esta formado por 5 caras metálicas, en este caso tanto los elementos de unión como la carcasa inferior tienen formas más complejas, que requieren de un proceso de fabricación más complejo.

Existen muchos procesos de fabricación para polímeros, pero el más común entre los termoplásticos y termoestables y el que mejor relación entre el coste y complejidad de las geometrías ofrece es el de moldeo por inyección [56]. En este proceso el polímero entra a través de una tolva (en forma de gránulos) a un cilindro caliente donde se funde, para después ser introducido a presión mediante un pistón en un molde frío de la geometría deseada donde se solidifica [57]. Hay polímeros que se comportan mejor que otros ante este proceso con el que se obtendrían de manera sencilla nuestros elementos. Con la ayuda del software se puede saber cuáles de los polímeros seleccionados antes son los que mejor se comportan y así poder tomar una decisión más precisa:

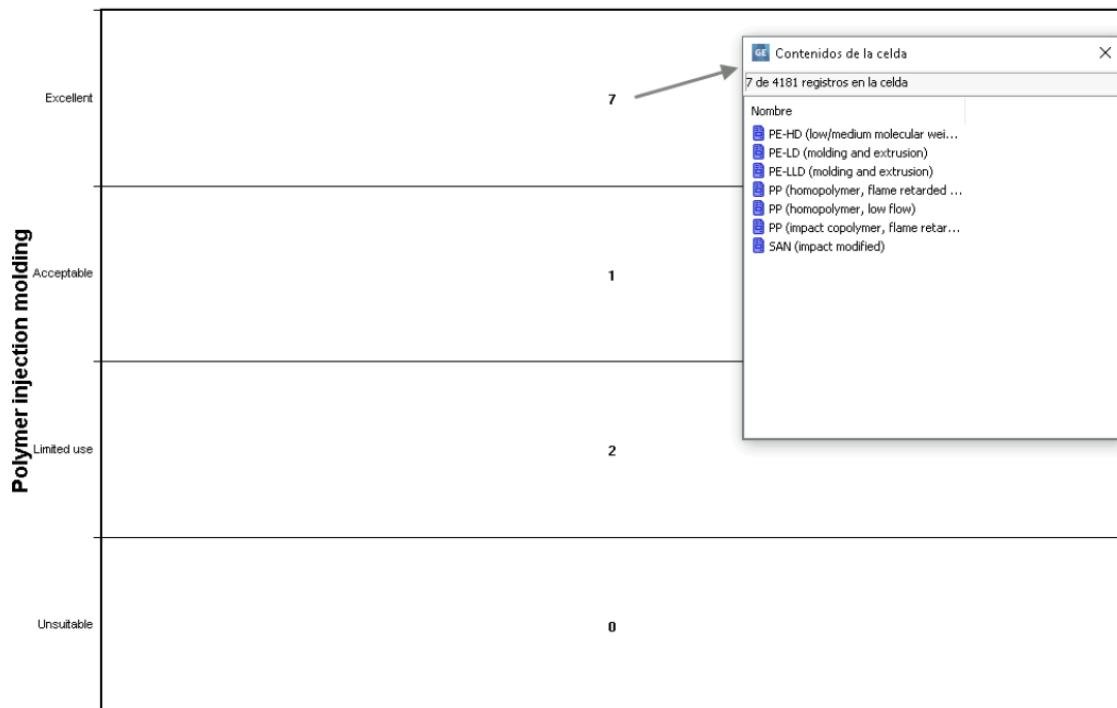


Ilustración 50: Maquinabilidad para el moldeo por inyección de los polímeros. Fuente: gráfico realizado con el software CES Granta EduPack (2022).

Después de analizar todos los gráficos se ha llegado a la conclusión de que los dos polímeros que mejor se adecuan a todos los requerimientos necesarios para la carcasa inferior y los elementos de unión son:

- PE-HD (densidad alta y peso molecular medio-alto).
- SAN (estireno acrilonitrilo) modificado para impacto.

Ambos presentan densidades y resistencia al impacto similares, el SAN tiene una dureza mayor que el PE-HD, pero un peor comportamiento frente a radiación UV. El PE-HD también es capaz de soportar temperaturas de servicio mayores, y ambos se comportan de forma excelente en el moldeo por inyección. Aunque son muy similares en todos los aspectos menos en las temperaturas de servicio, se ha realizado una última comparativa estudiando el precio de cada material para salir de dudas:

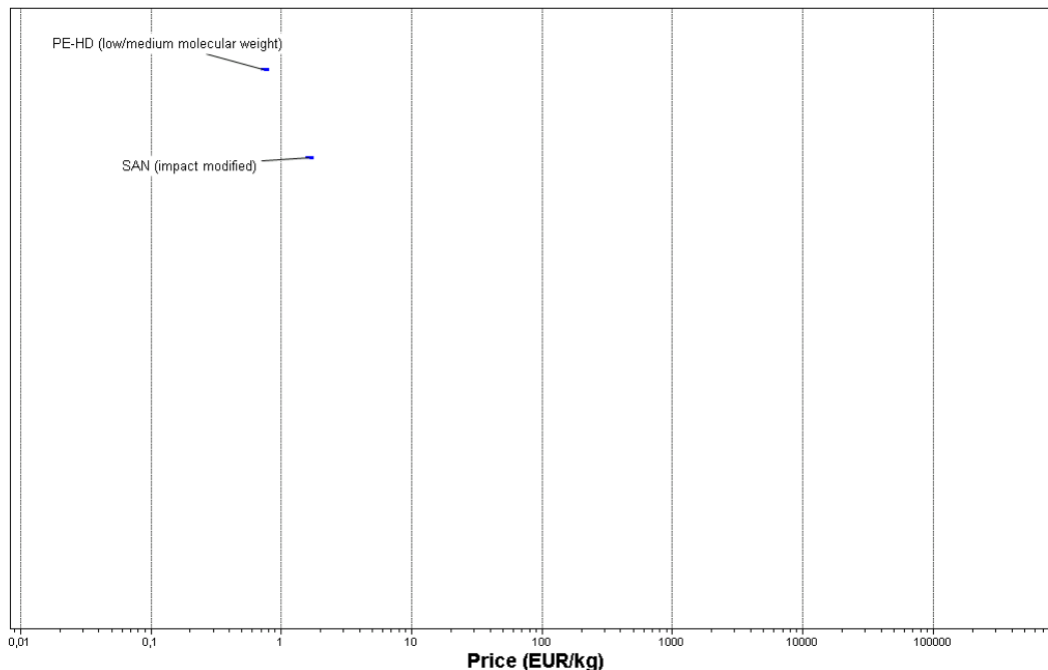


Ilustración 51: Comparativa entre los precios de los polímeros PE-HD y SAN. Fuente: precios obtenidos con el software CES Granta EduPack (2022).

Se puede observar que, además de mejores propiedades, El PE-HD presenta un precio menor, por lo que será finalmente el material seleccionado. Sus principales propiedades son:

PE-HD (densidad alta y peso molecular medio)	
Composición	(CH ₂ -CH ₂) _n
Densidad	960 Kg/m ³
Límite elástico	29 Mpa
Módulo de Young	0.8 Gpa
Resistencia a tracción	44.8 Mpa
Dureza (Vickers)	9 HV
Tenacidad a fractura	3.16 Mpa.m ^{0.5}
Máxima temperatura de servicio	110 °C
Mínima temperatura de servicio	-82°C
Conductividad térmica	0.435 W/m.°C
Calor específico	1810 J/Kg.°C

Ilustración 52: Propiedades del aluminio PE-HD. Fuente: tabla de elaboración propia con los datos obtenidos de CES Granta EduPack (2022).

4. Material aislante

Como se ha observado en el segundo capítulo del Trabajo, en las paredes interiores de la estructura principal habrá una capa de material aislante. Se ha mencionado en varias ocasiones que la estación debe ser diseñada para ser usada en todo tipo de entornos de trabajo. Esto implica que la estación debe ser diseñada para soportar temperaturas extremas tanto de frío como de calor. La estación debe proteger en todo momento al dron y los demás elementos mecánicos y electrónicos que hacen posible el funcionamiento de la estación. Si el dron o alguno de estos elementos se ve expuesto a una alta humedad, o temperaturas muy extremas, se podrían dañar de forma irreversible.

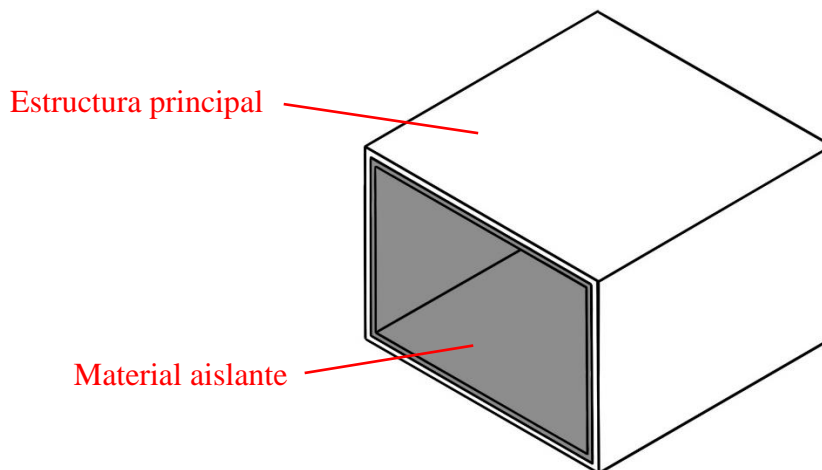


Ilustración 53: Estructura principal de la estación y material aislante. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

En este caso el proceso de selección del material no es tan complejo como para los anteriores elementos, pues la variedad de estos materiales no es tan amplia. Para realizarlo de una manera sencilla se han analizado cuáles son los principales aislantes térmicos utilizados en la actualidad [58]:

- Espuma de poliuretano (PU): Espuma ligera con gran adherencia. Conductividad térmica entre 0,019 y 0,040 W/mK [6]. Usado también para paneles sándwich.
- Poliestireno expandido (EPS): usado comúnmente en construcción. Aislante térmico muy ligero con conductividad térmica entre 0,029 y 0,053 W/mK [59]. Tiene una estructura abierta lo que hace que absorba humedad.
- Poliestireno extruido (XPS): utilizado en cubiertas. Conductividad entre 0,025 y 0,040 W/mK [60]. Gran resistencia mecánica y no absorbe humedad.
- Lana de roca: no inflamable pero sí tóxico. Conductividad entre 0,03 y 0,05 W/mK [60]. También absorbe agua, por lo tanto, humedad.

- Lana de vidrio: aislamiento ignífugo. Conductividad entre 0,023 y 0,04 W/mK [60]. Absorbe humedad al igual que el anterior.
- Corcho: conductividad entre 0,03 W/mK y 0,040 W/mK. Natural, biodegradable.

Como se ha explicado, tanto el poliestireno expandido como la lana de roca y la lana de vidrio absorben humedad, cosa que no interesa en la función que le queremos dar, por ese motivo se descartarán estos materiales. Quedan como opción entonces el poliestireno extruido y el corcho, ambos con valores de conductividad térmica muy similares.

En cuanto a los precios, consultando diferentes proveedores se ha observado que el corcho tiene un precio más elevado (hasta dos veces) [61], posiblemente debido a que es un material natural y el proceso para su obtención resulta más costoso. Sabiendo esto, resulta más sencillo realizar la selección, y se seleccionará el poliestireno extruido (XPS) como material aislante para esta estación.

En cuanto al espesor de material necesario para tener unas condiciones óptimas en el interior, se realizarán en el siguiente capítulo los cálculos mecánicos necesarios una vez se conozca el espesor de la estructura principal.

5. Conclusiones

En este capítulo se ha realizado una selección de los materiales que se utilizarán para alguno de los elementos más importantes como son la estructura principal, la plataforma de recarga, la carcasa inferior y elementos de unión y el material aislante del interior de la estructura principal.

Para la estructura principal se ha buscado un material que fuese resistente, ligero, con resistencia antes impacto y temperaturas y con un precio lo más asequible posible. Utilizando el software CES Granta EduPack se ha podido realizar una primera selección de una gran biblioteca de materiales metálicos y después ir realizando filtros mediante gráficos comparativo hasta que se ha dado con dos materiales, ambos candidatos para ser utilizados, el Al 2024 T3 que presenta una baja densidad, peso y buena resistencia y un Al 7475 T7351 con un precio un poco más elevado al igual que mayor densidad, pero mejores propiedades mecánicas. En el próximo capítulo de *Cálculos mecánicos* se realizará una comparación entre ambos mediante una simulación de cargas y se escogerá el más indicado. Para la plataforma de recarga el proceso ha sido más sencillo, al no necesitar una gran resistencia mecánica simplemente se ha buscado un aluminio que trabaje bien ante operaciones de doblado en frío y que tenga un bajo precio y densidad.

Para la carcasa inferior y los elementos de unión se ha realizado una búsqueda entre la biblioteca de polímeros que ofrece el programa. Se ha buscado un polímero resistente ante rayaduras con buena dureza, que soporte altas temperaturas, que sea ligero, que tenga una buena maquinabilidad en inyección de plásticos y que tenga un precio asequible. Tras realizar varios filtros mediante gráficos se ha seleccionado como material idóneo para estos elementos el PE-HD. Por último, se han estudiado diferentes materiales aislantes y basándose en las características necesarias para una correcta protección del dron, se ha seleccionado el material aislante de poliestireno extruido (XPS).

CAPÍTULO IV: CÁLCULOS MECÁNICOS

En el capítulo anterior se ha realizado una selección de materiales tanto para la estructura principal como para otros elementos de la estación. En cuanto a los materiales seleccionados para la primera, se concluyó que había dos candidatos principales, el aluminio 2024 T3 y el 7475 T7351. Ambos tenían sus ventajas y desventajas, sin embargo, la decisión final de que material debe ser utilizado se tomará en este capítulo basándonos en unas simulaciones de carga. Mediante el cálculo de espesor necesario para cumplir con las funciones de estructura principal, se concluirá cuál de los dos materiales resulta más económico de utilizar. También se calculará el espesor del material aislante del interior de esta estructura.

1. Simulación de cargas

Para el cálculo del espesor de material de la estructura principal se ha realizado una simulación de cargas, que consiste en la creación de una geometría en tres dimensiones similar a la de la estructura y aplicar sobre ella las diferentes cargas permanentes y variables, obteniendo los resultados de deformación total en las diferentes superficies. De esta manera se podrá ajustar el espesor del material necesario para evitar esa deformación para cada material.

Para la realización de esta simulación se ha utilizado el software *ANSYS 2021 R2* que permite simular la deformación de cualquier geometría sometida a cargas. El primer paso antes de la realización de la simulación es el de definir todas estas diferentes cargas que actuarán sobre esta estructura.

1.1 Cargas permanentes

Las cargas permanentes son aquellas que se definen como cargas que siempre están presentes y que no dependen de ningún agente externo. En este caso serían todas las cargas generadas por el propio peso de los elementos que van apoyados en la estructura como son el panel solar superior y el dron junto con la plataforma de recarga que descansan en el interior.

- **Panel solar superior:** analizando diferentes distribuidores de paneles solares ([1] al [4]) podemos concluir que aproximadamente para un panel solar de dimensiones aproximadas de 600x600x30mm (similar a las dimensiones de la estación) el peso medio se encuentra en 4,43kg. Para hacerlo más restrictivo se redondeará esa cifra a 5kg.

$$F_{panel} = 5kg \cdot 9,8067m/s^2 = 49,0335N \quad [1]$$

$$q_{panel} = 49,0335N \cdot \frac{1kN}{1000N} \cdot (0,7m \cdot 0,7m) = 0,0766kN/m^2 \quad [2]$$

- **Plataforma y dron:** entre los drones analizados en el capítulo de “Diseño” se ha escogido aquel de mayor peso, que resulta ser el DJI Phantom con casi 1,5kg. De nuevo, para redondear y hacerlo más restrictivo se tomarán 2kg como peso del dron. En cuanto a la plataforma, resulta complejo el cálculo exacto del peso, se sabe que debe incluir no solo la bandeja con carriles donde desliza la plataforma, sino también los motores que la desplazan y la propia plataforma. Un peso estimado de para todos estos elementos será de aproximadamente 8kg.

$$F_{dron-plat} = 10kg \cdot 9,8067m/s^2 = 98,067N \quad [3]$$

$$q_{dron-plat} = 0,09807kN \cdot (0,7m \cdot 0,7m) = 0,04805kN/m^2 \quad [4]$$

1.2 Cargas variables

Las cargas variables son aquellas que si que dependen de factores externos a la estructura. Sus cálculos resultan más complejos al depender de factores que no se pueden controlar como el viento, la nieve y el hielo. Para la realización de esta estimación de cargas que afectarán sobre esta estructura principal de ha recurrido al “Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Seguridad Estructural y Acciones en la Edificación (CTE-DB-SE-AE)”. Gracias a este documento se ha podido observar como se aplican las cargas variables en diferentes estructuras, para así poder aplicarlo a nuestra estación, que al fin y al cabo debe comportarse como un elemento estructural.

Como indica el CTE, las principales cargas variables son:

- **Carga por formación de nieve:** en casos puntuales una nevada puede tener como consecuencia la acumulación de nieve sobre una fachada o elemento estructural y actuar como una carga más que lo deforme. La expresión viene dada por la siguiente fórmula:

$$q_N = \mu \cdot S_k \quad [5]$$

Donde μ corresponde al coeficiente de forma de la cubierta, que como viene reflejado en el apartado 3.5.3 del CTE, cuando es menor a 30° de inclinación, el

coeficiente toma valor 1. El S_k es el valor característico de la carga de nieve en la localización en la que se encuentre la estructura. En el caso de la estación, ésta se moverá por todo el territorio nacional, por lo tanto, habría que escoger el valor más alto, siempre escogiendo el peor escenario posible. Ese caso se da para localizaciones que se encuentren a una altitud de 2000m en la zona 2, que corresponde al norte, y el valor característico de la carga de nieve llega a los $4,6\text{kN/m}^2$.

Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m^2)

Altitud ⁽¹⁾ (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	4,3	0,2
1.800-2000	4,3	4,6	4,0	4,6	2,5	4,3	0,2

⁽¹⁾ Para altitudes intermedias, puede interpolarse linealmente.

Ilustración 54: Tabla del Anexo E para sobrecarga de nieve, indicado el valor más alto. Fuente: CTE-DB-SE-AE (2014).

Una vez se tienen estos valores se puede concluir que la carga por formación de nieve es la siguiente:

$$q_N = 1 \cdot 4,6\text{kN/m}^2 = 4,6\text{ kN/m}^2 \quad [5]$$

En el CTE se especifica que si la estructura no se encuentra protegida del viento este valor de carga de nieve debe incrementarse en un 20%, sabiendo esto y que siempre debemos considerar las condiciones más restrictivas:

$$q_N = 1 \cdot 4,6\text{kN/m}^2 \cdot 1,2 = 5,52\text{kN/m}^2 \quad [6]$$

$$F_N = q_N \cdot A = 5,52\text{kN/m}^2 \cdot (0,65\text{m} \times 0,65\text{m}) = 2,332\text{kN} \quad [7]$$

- **Carga por formación de hielo:** en este caso la expresión de esta carga viene dada por la siguiente fórmula:

$$q_H = K \cdot \mu \cdot S_k \quad [8]$$

Ambos S_k y μ son iguales que antes, pero la K es una constante con valor 3. El valor de la carga por formación de hielo será entonces:

$$q_H = 3 \cdot 1 \cdot 4,6kN/m^2 = 13,8kN/m^2 \quad [9]$$

$$F_H = q_H \cdot A = 13,8kN/m^2 \cdot (0,65m \cdot 0,65m) = 5,835kN \quad [10]$$

- **Carga por viento:** En este caso se tiene en cuenta la carga que genera el viento al impactar sobre las superficies laterales de la estación. Esta carga se calcula para el momento en el que el viento está en dirección perpendicular a la pared i , al ser el momento de mayor carga. La expresión de la carga generada por el viento es la siguiente:

$$q_V = q_b \cdot C_e \cdot C_p \quad [11]$$

Donde q_b es la presión dinámica del viento que se recoge en el Anejo D del CTE y cuyo valor máximo es aproximadamente $0,52kN/m^2$. El C_e es el coeficiente de exposición, cuyo valor máximo es de 3,5. Por último, el C_p que es el coeficiente eólico o de presión y que depende de la esbeltez ($\lambda = \text{ancho/alto} = 1,627$) y que en este caso toma el valor de 0,8. El valor de la carga creada por el viento es entonces:

$$q_V = 0,52kN/m^2 \cdot 3,5 \cdot 0,8 = 1,456kN/m^2 \quad [12]$$

$$F_V = q_V \cdot A = 1,456kN/m^2 \cdot (0,7m \cdot 0,7m) = 0,7134kN \quad [13]$$

1.3 Cargas totales

En el punto 4.2.2 del CTE-DB-SE-AE se especifica que se han de aplicar unos coeficientes parciales de seguridad (γ) o coeficientes de mayoración que aseguren la resistencia y estabilidad de la estructura. El valor de estos coeficientes será de 1,35 para cargas permanentes y de 1,5 para cargas variables. Aplicando estos coeficientes de mayoración, las cargas y fuerzas que actuarán sobre la estructura serán:

Tipo	Carga (kN/m ²)	Fuerza (N)	Coef. Mayoración (γ)	Carga mayorada (kN/m ²)	Fuerza mayorada (N)
Panel	0.0766	49.034	1.35	0.103	66.195
Dron y plataforma	0.04805	98.067	1.35	0.065	132.390
Nieve	5.52	2332.000	1.5	8.280	3498.000
Hielo	13.8	5830.500	1.5	20.700	8745.750
Viento	1.456	713.400	1.5	2.184	1070.100

Ilustración 55: Tabla de cargas y fuerzas mayoradas. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).

En la superficie superior de la estructura afectará la carga permanente del panel y las cargas variables de nieve y hielo. En la superficie lateral afectará la acción del viento, y en la superficie inferior interior afectará la carga permanente de dron y plataforma de recarga.

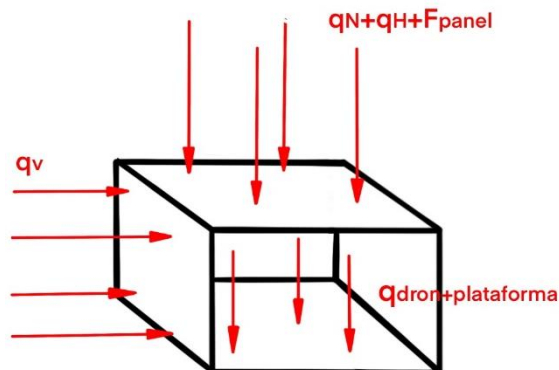


Ilustración 56: Cargas que actúan sobre la estructura.
Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

1.4 Introducción de datos y geometría

Para iniciar la simulación con el software *ANSYS 2021 R2* utilizado, es necesario seleccionar el módulo del programa con el que se quiere trabajar. Como en este caso queremos realizar una simulación de cargas estáticas sobre una estructura, se utilizará el módulo llamado *Static Structural*:

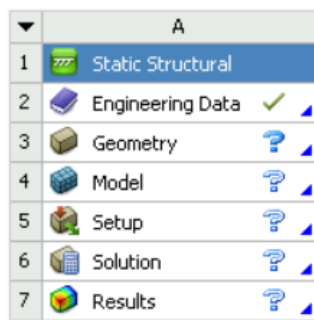


Ilustración 57: Módulo *Static Structural* de ANSYS. Fuente: Software ANSYS 2021 R2 (2022).

Como se puede observar este módulo de trabajo se divide en seis partes diferentes. En la sección de *Engineering Data* se introducen todos los datos previos a la realización de la simulación como las características del material utilizado, la temperatura y la presión ambiente. En la segunda sección de *Geometry* es donde se realiza la geometría en tres dimensiones mediante la herramienta *DesignModeler* que permite crear a partir de bocetos en 2D figuras en 3D de todo tipo. En la sección *Model* se realiza el mallado de la geometría y se introducen las condiciones de contorno. En la cuarta sección de *Setup* se

introducen los valores de las diferentes cargas, sus direcciones e indicaciones sobre que superficies aplican. Por último, en *Solution* y *Results* se indica el tipo de resultados que se desean obtener (deformación, tensión, etc) y sobre que superficie, una vez finalizado se mostrará la geometría en tres dimensiones en su estado tras la aplicación de esas cargas junto con los resultados obtenidos.

En este apartado nos centraremos solo en la primera sección de *Engineering Data* y en la creación de la geometría con *Design Modeler*. Como se ha comentado, lo primero que hay que hacer es abrir la ventana de *Engineering Data* e introducir las características de los materiales que se van a utilizar. En el anterior capítulo se realizó la selección de materiales mediante el programa *GRANTA Edupack 2021 R1*, como ambos programas pertenecen a ANSYS resulta fácil exportar las fichas técnicas de cada uno de estos dos materiales e introducirlas en la biblioteca de nuestro módulo de simulación. Primero escogeremos el material Al 2024 T3, como se muestra a continuación:

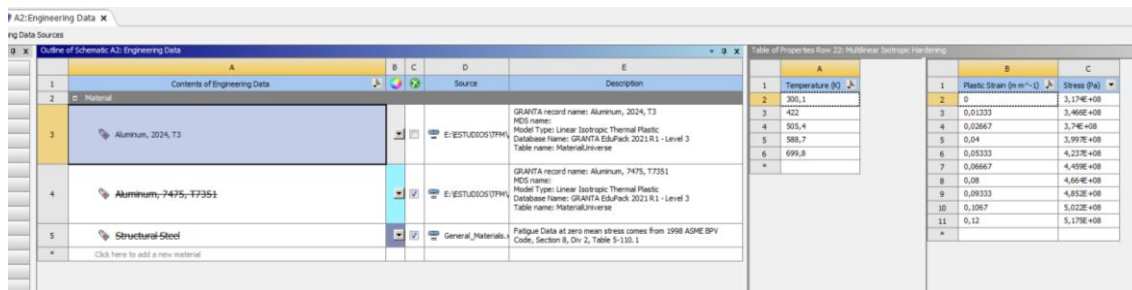


Ilustración 58: Selección de los materiales en la sección *Engineering Data* del módulo *Static Structural*. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Una vez seleccionados los materiales se pasa a la segunda sección de *Geometry* para realizar la geometría en tres dimensiones de la estructura principal. Normalmente, si las geometrías son muy complejas es necesario realizar una simplificación, de esta manera el software será capaz de trabajar de manera más eficiente y se obtendrán resultados igualmente válidos. En este caso en concreto la geometría de la estructura principal resulta muy sencilla de por sí, por lo que no es necesario realizar ninguna simplificación, y los resultados serán más cercanos a los resultados reales. Para las dimensiones se han tomado los resultados obtenidos en el capítulo de *Diseño*, donde se obtuvieron las dimensiones exactas que tendrá la estación.

El primero paso para crear la geometría ha sido generar un boceto en el plano XY de un rectángulo de 650 x 400mm que corresponde a la cara de la estación paralela a la compuerta. A continuación, se ha seleccionado el boceto y extruido a la profundidad requerida de 650mm creando unas superficies finas. Una vez extruido se ha generado una superficie a partir de ese boceto inicial, obteniendo dos cuerpos, el extruido y la superficie plana. Para unificar ambos cuerpos es necesario realizar una operación de unión con el comando *Boolean* que une ambos cuerpos en uno solo creando una superficie cuyo

espesor inicial es de 1mm. Como se quiere ir probando durante la simulación con diferentes espesores de las paredes, se seleccionará más adelante el espeso como parámetro.

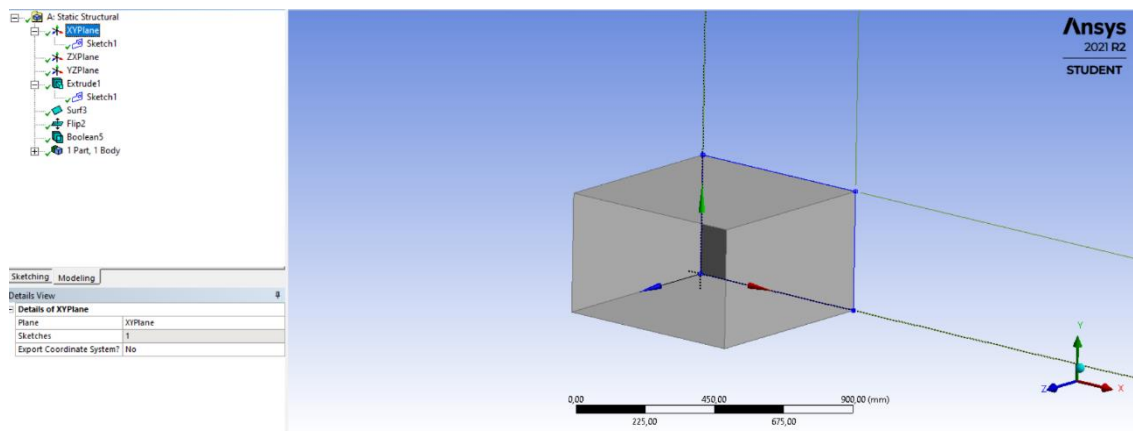


Ilustración 59: Geometría de la simulación con Design Modeler. Fuente: ANSYS 2021 R2

1.5 Mallado

El mallado resulta una de las partes más complejas a la hora de realizar una simulación de elementos finitos. Consiste en dividir la geometría en elementos finitos de igual tamaño que se conectan entre sí por nodos. La suma de las soluciones que se obtengan sobre cada una de esos elementos generará el resultado final de la simulación, y es por eso que, cuanto mayor es el número de celdas más precisa es la solución y a la vez más complejo es el cálculo y más tiempo tarda en realizarlo. Es crucial encontrar en este proceso el menor número de elementos que conformen la malla sin perder precisión en el cálculo y soluciones. Para encontrar ese número perfecto debemos realizar un proceso de iteración donde para diferentes mallas con tamaños de elemento cada vez más pequeños se realizará la misma simulación. Cuando los resultados sean cada vez más similares entre sí será cuando se haya dado con ese número idóneo de tamaño de elemento.

Para realizar este proceso es necesario realizar una simulación que nos de algún resultado con el que poder iterar. En este caso se aplicará una simple carga a la parte superior de la estructura y se calculará la deformación total máxima de todo el conjunto, el proceso de como se realiza la simulación se explicará paso a paso en las próximas secciones, por eso para este proceso en el que el resultado no es relevante, no se explicará como se realizó el proceso previo a la simulación. Empezando con un tamaño elevado de elemento de 30mm se realiza el proceso en el que se obtienen los siguientes resultados recogidos en la tabla:

Tamaño de elemento (mm)	nº Elementos	Deformación Máxima (mm)
30	1826	87.060
20	4158	58.725
15	7181	26.305
12	11178	16.739
10	16250	13.625
8	27501	13.464

Ilustración 60: Tabla de iteración de mallado. Fuente: tabla de elaboración propia (2022)

Como se puede observar, para simulación realizada cuando menor es el tamaño de celda mayor es el resultado obtenido de deformación y a la vez mayor es el tiempo requerido para calcularlo. Una vez llegados a un tamaño de elemento de 8mm y una cantidad de 27501 elementos se observa que el resultado obtenido es muy similar al anterior, lo que significa que ya se había llegado al tamaño óptimo de elemento con 10mm. Este será el valor óptimo de mallado de nuestra geometría y se utilizará para todas las simulaciones. A continuación, se muestra una imagen de este mallado:

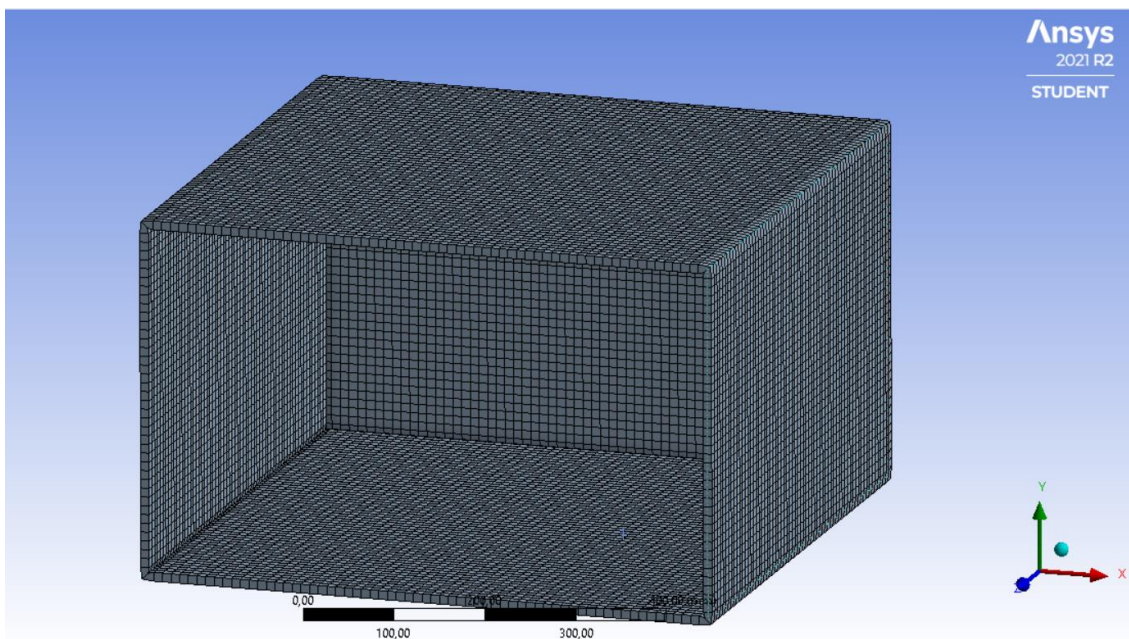


Ilustración 61: Mallado con tamaño de elemento de 20mm. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022)

1.6 Condiciones de contorno y resultados

Las condiciones de contorno se establecen también en la sección de *Model* al igual que el mallado. En este caso las condiciones de contorno son muy sencillas, pues la estructura principal solo está restringida en movimientos en su parte inferior. Al ir apoyada e introducida dentro de la pieza que se ha nombrado como carcasa inferior, la parte inferior de la estructura principal quedará anclada y restringida de todo movimiento. Para aplicar estas condiciones se han seleccionado los bordes de la superficie inferior y se han señalado como *Fixed Support* (soporte fijo), de esta manera, al hacer la simulación se tendrá en cuenta esta condición.

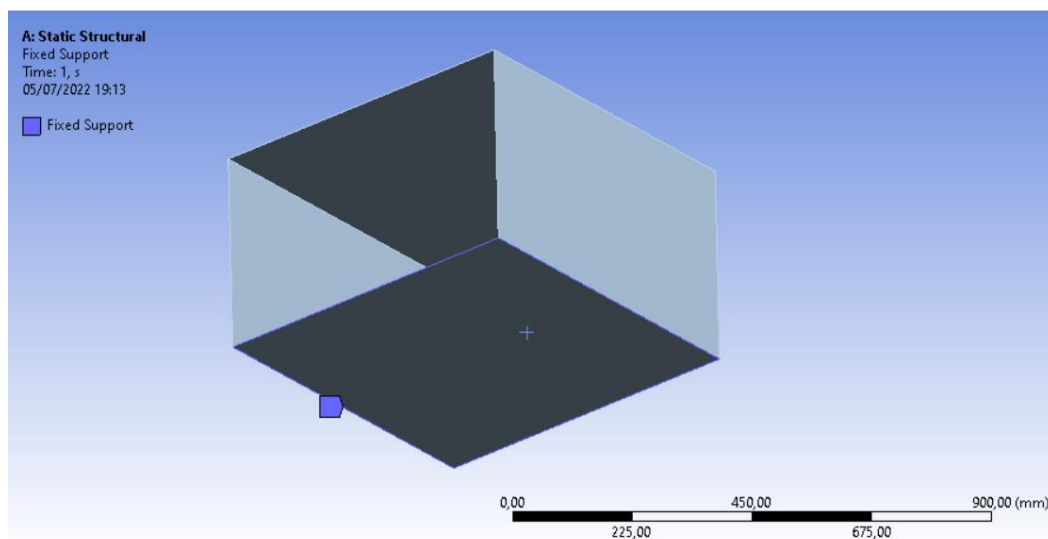


Ilustración 62: Introducción de condiciones en la simulación. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

A continuación, habrá que introducir las cargas que actúan sobre la estructura y que se han calculado al principio de este capítulo. El software permite introducir fuerzas aplicadas sobre superficies y se encarga de distribuir las uniformemente por toda la superficie. Como antes se han calculado antes las fuerzas (N), podemos aplicarlas directamente sobre las superficies en las que actúan.

Superficie	Fuerzas que actúan	Valor (N)	Fuerza total (N)
Superior	Fhielo	8745.750	12310
	Fnieve	3498.000	
	Fpanel	66.195	
Lateral	Fviento	1070.100	1070
Inferior	Fdron-Plataforma	132.390	132

Ilustración 63: Suma de fuerzas que actúan sobre la geometría. Fuente: Tabla de elaboración propia (2022).

Primero se introducen las fuerzas que actúan sobre la superficie superior, que como se ha calculado antes tienen un valor de 12310 N:

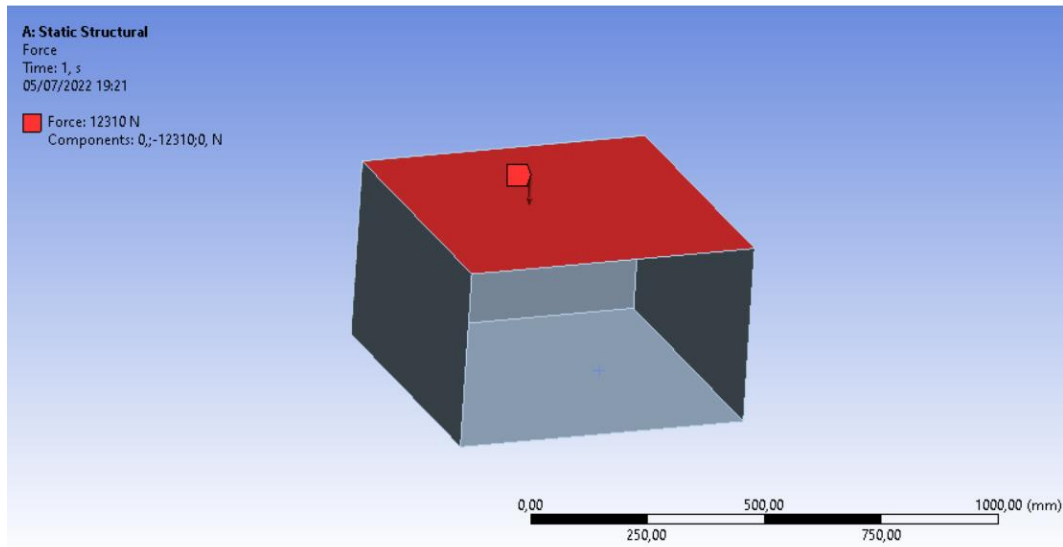


Ilustración 64: Fuerzas que actúan sobre la superficie superior. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Ahora se introducen las debidas al viento que afectan a la superficie lateral con un valor de 1070N:

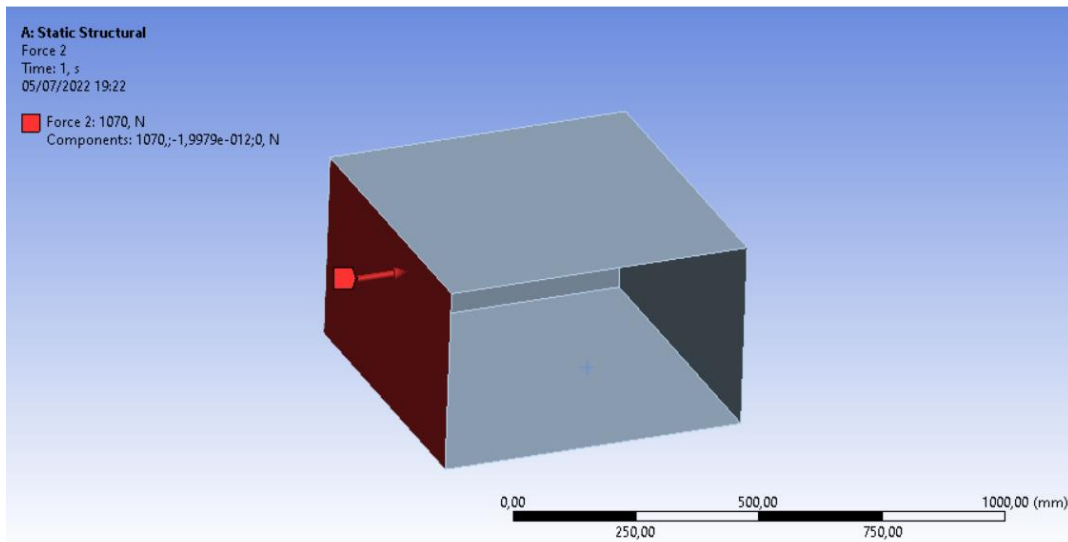


Ilustración 65: Fuerza que actúa sobre la superficie lateral. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Por último, se ha introducido la que incide sobre la superficie inferior debida al peso del dron y plataforma de recarga, que tiene un valor de 132N. Aunque estos valores son mucho menores que los de la carga en la superficie superior, se incluyen porque pueden afectar también a la deformación de las demás caras:

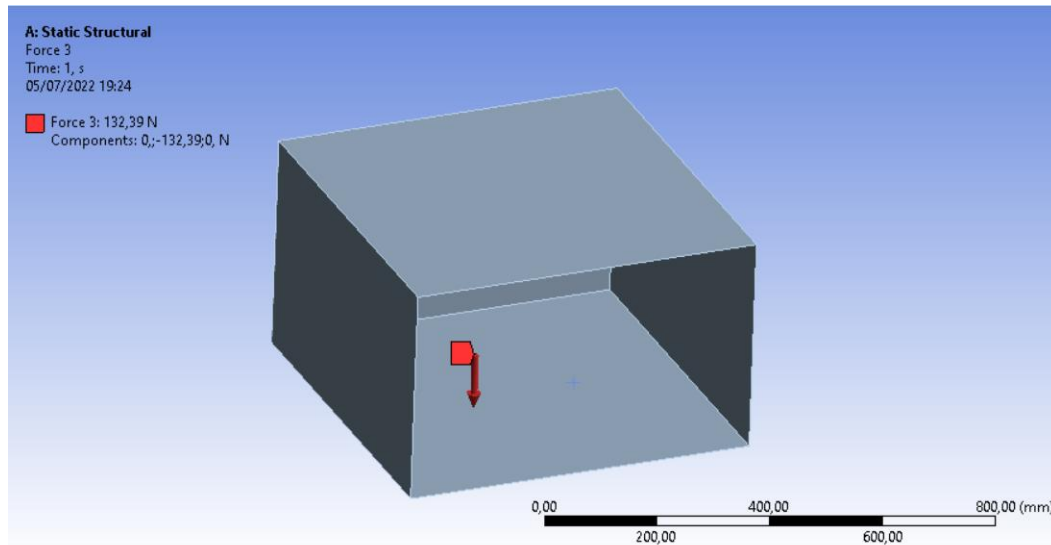


Ilustración 66: Fuerza que actúa sobre la superficie inferior. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Una vez introducidas las cargas se ha pasado al siguiente paso en el que se define la solución que se quiere obtener. En esta simulación lo que pretendemos es calcular la deformación que generan todas estas cargas sobre la estructura para reducirla hasta un valor mínimo. Para ello se ha indicado que se calcule la deformación total máxima obtenida en toda la estructura, que nos dará el valor que se obtenga en el punto con mayor deformación. Para ese valor límite se establecerá que la deformación máxima adquirida en la estructura no puede superar los 15mm.

1.7 Resultados

Una vez las condiciones de contorno y las cargas han sido introducidas, solo queda la parte de la simulación y obtención de resultados. Como se ha comentado, el objetivo de esta simulación es el de estudiar el comportamiento de la estructura principal frente a las cargas que se verá sometida mediante la obtención de la deformación total. Se va a intentar obtener el espesor mínimo de cada uno de los dos materiales que hagan que esa deformación total tome el valor límite.

El valor de espesor se ha introducido como un parámetro a la hora de realizar la geometría, por lo tanto, desde el panel principal del programa se pueden ir cambiando los valores de espesor e ir obteniendo los diferentes valores de la deformación total. En el panel de *Model* a su vez, se podrá ver la geometría en tres dimensiones y sobre ella mediante colores, indicadas las zonas con mayor deformación. Por defecto el programa da un valor inicial de espesor de 1mm y partiremos de ese espesor mínimo.

Aluminio 2024 T3

Empezaremos la simulación con este material, pues es el primero que se ha importado a la biblioteca en *Engineering Data*. La primera simulación que se realizará será para el valor de espesor que viene por defecto de 1mm. Como es de esperar, para un espesor de valor tan pequeño, obtendremos una deformación máxima de valores muy elevados. Se irá aumentando el valor de ese espesor hasta alcanzar el valor de deformación máxima que se ha considerado como óptimo y que no debe superar los 15mm de deformación máxima. Este proceso de ir aumentando los valores de espesor y obteniendo los resultados se controlará desde el panel principal del programa en *Parameters Set*:

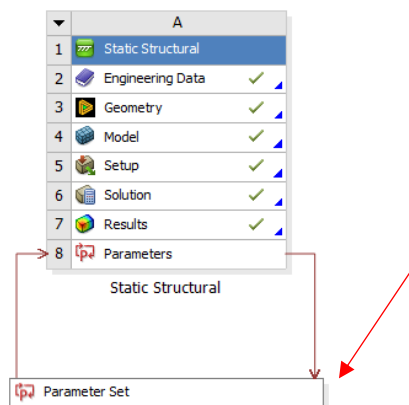


Ilustración 67: Tabla de parámetros del menú principal para cambiar el espesor. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Como los resultados que aparecen en la tabla de parámetros resultan difíciles de plasmar en imágenes, se han recogido en la siguiente tabla:

Al 2024 T3	
Espesor	Deformación Total (mm)
1mm	420.345
3mm	33.60
4mm	19.48
5mm	12.28
6mm	8.237

Ilustración 68: Tabla de resultados para la simulación con Al2024 T3. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Observando los resultados, vemos que para una deformación cercana a la que se considera aceptable de 12,28mm, necesitaríamos tener un espesor en la estructura de Al 2024 T3 de 5mm. Aunque resulte un espesor un poco grueso, se trata de la estructura principal que estará sometida a muchas cargas, de ahí la mayoración de todas las variables y permanentes y la insistencia de escoger siempre las situaciones más desfavorables. A continuación, se muestra el panel de control de la simulación para ese espesor:

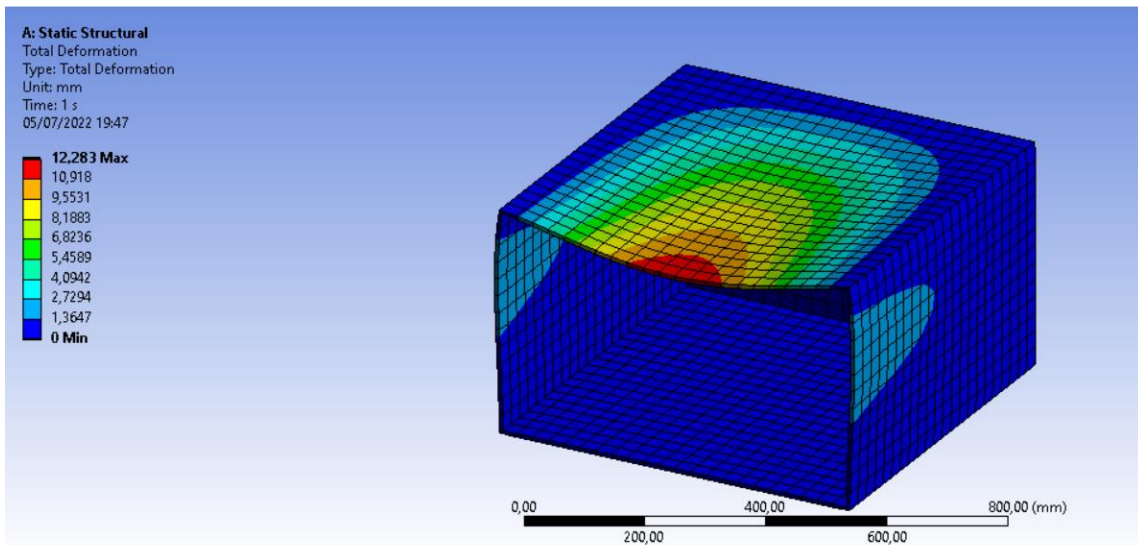


Ilustración 69: Pantalla de soluciones en ANSYS para espesor 5mm Al2024 T3. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

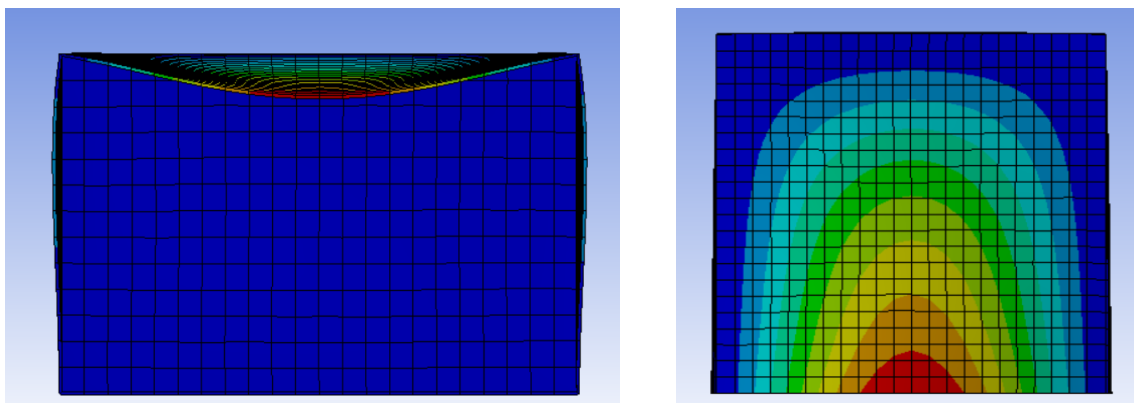


Ilustración 70: Pantalla de soluciones en ANSYS para espesor 5mm Al2024 T3. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Aluminio 7475 T7351

De nuevo habrá que realizar el mismo proceso con este otro material. Antes de realizarla simulación, se puede intuir que los resultados serán de un espesor menor para una carga del mismo valor, debido a que alguna de sus propiedades mecánicas es mejor. Igual que antes el primer resultado obtenido con el espesor que viene dado por defecto de 1mm será desproporcionado en comparación con el tamaño de la estructura. Los resultados para distintos espesores serán:

Al 7475 T7351	
Espesor	Deformación Total (mm)
1mm	421.60
3mm	33.772
4mm	19.56
5mm	12.329
6mm	8.268

Ilustración 71: Tabla de resultados para la simulación con Al2024 T3. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Sorprendentemente, para este material que en un principio parecía presentar propiedades mecánicas mejores que el anterior, se obtienen unos resultados muy similares, por no decir casi idénticos de comportamiento ante estas cargas. Incluso para este material obtenemos que para un mismo espesor de 5mm la deformación es un poco mayor (12,329mm frente a 12,28mm).

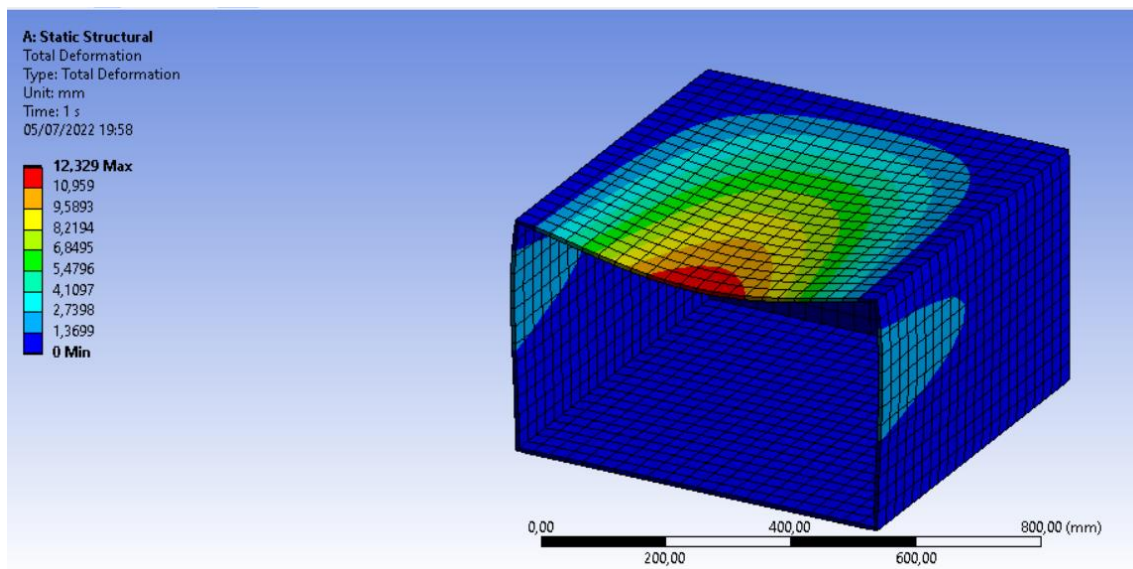


Ilustración 72: Pantalla de soluciones de ANSYS para un espesor de 10mm y el material Al 7475 T7351. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

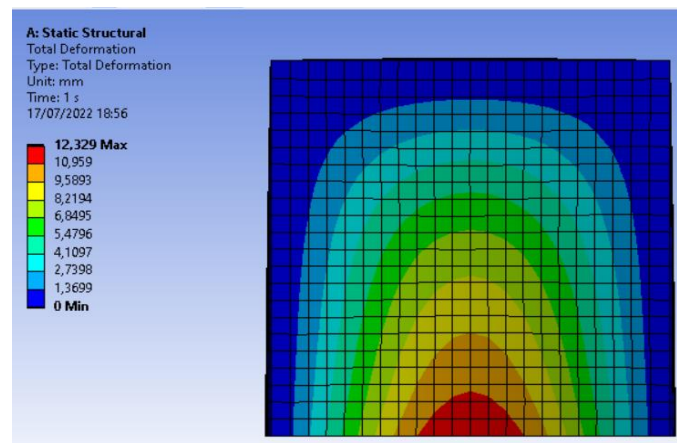


Ilustración 73: Pantalla de soluciones de ANSYS para un espesor de 10mm y el material Al 7475 T7351. Fuente: ANSYS 2021 R2 (2022).

Decisión final

Una vez terminadas estas simulaciones, llega la hora de tomar la decisión final de que material utilizar para la estructura principal. La decisión se deberá tomar en base a dos factores que han sido considerados importantes en el proceso de selección como son el peso y el coste, se requiere una estación transportable, pero también un bajo coste total de fabricación.

Tomando los datos de densidad y coste de la ficha técnica obtenida con el software *GRANTA EduPack* sabemos que el Al 2024 tiene una densidad menor ($2.78e3 \text{ kg/m}^3$ frente a $2.81e3 \text{ kg/m}^3$), lo que significa que, ante un mismo volumen como es el caso, va a presentar un peso menor el Al 2024 que el Al 7475. En cuanto al precio, el Al 2024 presenta un precio de tan solo 1,9 €/kg mientras que el Al 7475 tiene un precio de hasta 2,6 €/kg. Es entonces tanto por el peso como por el precio que el material idóneo para ser utilizado en esta estructura principal será el Al 2024 T3. Con este material Al 2024 T3 la estructura principal tendrá un peso aproximado de 20kg.

2. Espesor de material aislante.

En el capítulo de selección de materiales también se ha realizado un estudio para dar con el material aislante idóneo para la estación (poliestireno extruido XPS). Lo que se pretende es mantener al dron protegido de temperaturas extremas exteriores, pues podrían dañar sus sistemas eléctricos y electrónicos.

Como condiciones externas de tempera habrá que suponer do escenarios críticos, uno donde exista una temperatura exterior muy elevada y otro donde la temperatura exterior sea muy baja. En el caso extremo de temperatura alta podemos suponer una situación en la que la estación se vea sometida a altas temperaturas y un impacto directo del sol. Se tomará como esa temperatura extrema la máxima temperatura de servicio que es capaz de soportar el material de la estructura principal, es decir, 200°C. En cuanto a la temperatura mínima, siendo realistas nunca se llegarán a alcanzar temperaturas de -200°C, así que podríamos establecer como mínima extrema los -50°C.

Temperatura máxima de 200°C

Primero se ha realizado el cálculo de espesor mínimo para la temperatura exterior máxima de 200°C. Para la realización de estos cálculos no se tendrá en cuenta el material de los paneles solares anterior al material de la estructura principal, pues resultaría más complejo y de esta manera obtendremos resultados más restrictivos. Al haber tenido en cuenta como temperatura máxima la que es capaz de soportar el material, no es necesario tener en cuenta otros factores que influyen a la transmisión de calor como convección y radiación debida al sol, pues se da por hecho que la estación ya ha llegado a esa temperatura debido a estos factores. De esta manera se simplifican los cálculos y solo se ha de tener en cuenta la conducción. Los datos necesarios para realizar los cálculos son:

- Conductividad térmica del Al 2024- T3: $K_{Al} = 131W/m^{\circ}C$
- Conductividad térmica del poliestireno extruido: $K_{XPS} = 10,92W/m^{\circ}C$
- Área: $A = 0,65 \times 0,65 \text{ mm} = 0,4225m^2$
- Calor transferido: $q = 131W$
- Text: 200°C
- Tint: 20°C

Utilizando las fórmulas de transmisión de calor:

$$q = \frac{T_{ext} - T_{int}}{R} \quad [14]$$

$$R = R_{Al} + R_{XPS} = \frac{e_{Al}}{K_{Al} \cdot A} + \frac{e_{XPS}}{K_{XPS} \cdot A} \quad [15]$$

El objetivo con este aislante es que la temperatura disminuya desde 200°C en la cara exterior de la estructura hasta 20°C en el interior del aislante, por lo tanto, una reducción del 90%. Sabiendo esto podemos obtener la siguiente relación:

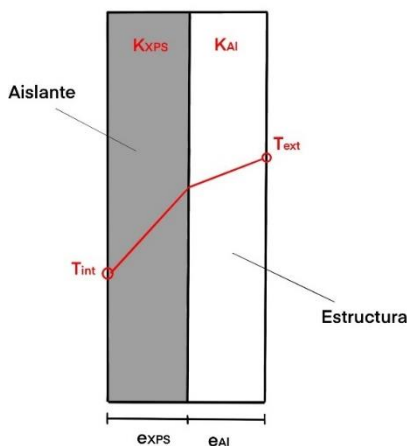


Ilustración 74: Representación gráfica del problema. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

$$\frac{q_{\text{sin aislante}}}{q_{\text{con aislante}}} = 0,1 = \frac{R_{\text{sin aislante}}}{R_{\text{con aislante}}} \quad [16]$$

$$0,1 = \frac{R_{AI}}{R_{AI} + R_{XPS}} \quad [17]$$

$$R_{AI} = \frac{0,005m}{\frac{131W}{m} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 0,4225m^2} \quad [18]$$

$$R_{XPS} = \frac{e_{XPS}}{\frac{10,92W}{m} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 0,4225m^2} \quad [19]$$

Introduciendo las fórmulas [18] y [19] en la fórmula [17], despejamos el valor de espesor del material aislante, obteniendo:

$$e_{XPS} = 0,00375m \approx 4mm$$

Lo que significa que se necesitarán por lo menos 4mm de espesor de poliestireno extruido para proteger al dron de estas altas temperaturas.

Temperatura mínima de -50°C

Si bien es cierto que si el material aislante es capaz de proteger al dron con 8mm de 200°C de temperatura lo hará con una temperatura de -50°C, vamos a hacer las comprobaciones:

$$0,4 = \frac{R_{AI}}{R_{AI} + R_{XPS}} \quad [20]$$

$$R_{AI} = \frac{0,005m}{\frac{131W}{m} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 0,4225m^2} \quad [21]$$

$$R_{XPS} = \frac{e_{XPS}}{\frac{10,92W}{m} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 0,4225m^2} \quad [22]$$

De nuevo despejando el espesor de la fórmula [20] se obtiene que el espesor debe ser por lo menos $e_{XPS} = 0,0006m = 0,6mm$, por lo tanto, nos quedaremos con el anterior espesor de 4mm que es más restrictivo.

3. Conclusiones

Este capítulo ha estado compuesto por dos partes. En la primera se ha realizado una simulación de cargas de la estructura principal de la estación utilizando el software *ANSYS 2021 R2* con su módulo de trabajo *Static Structural*. El primer paso que se ha realizado ha sido el de importar los datos de los materiales que se habían seleccionado como candidatos en el capítulo anterior del Trabajo a la biblioteca del programa, después, se ha construido la geometría en tres dimensiones de la estación y se han introducido las condiciones de contorno, así como las cargas variables y permanentes que actuaban sobre cada una de las superficies. Para el cálculo de esas cargas variables, se han utilizado los datos del Código Técnico de Edificación, con el que ha sido posible aproximar los valores de esas cargas que dependen de factores externos como la climatología.

Una vez introducidos estos datos, se han realizado simulaciones para ambos materiales y diferentes espesores en cada uno de ellos, el resultado obtenido en cada una de estas simulaciones eran valores de deformación máxima obtenida en la estructura, para poder obtener un espesor que asegure una buena protección se ha escogido un límite de deformación de 15mm, que asegurará una correcta protección del dron. Tras realizar estas simulaciones se ha concluido que los datos obtenidos de espesor y deformación del Al 2024 T3 y del Al 7475 T7351 son casi idénticos, y que ambos para un espesor de 4mm cumplen con el límite máximo de deformación. Esto ha llevado a la decisión de elegir de los dos el más barato y ligero, en este caso el Al 2024 T3 con un espesor de 4mm.

En la segunda parte de este capítulo se ha tratado de calcular el valor mínimo de espesor de aislante térmico necesario. Ya en el capítulo anterior de *Selección de Materiales*, se concluyó que el material idóneo para esta tarea era el poliestireno extruido (XPS), pero no se podía calcular el espesor sin antes saber el espesor del material en contacto con el exterior, el de la estructura principal. Una vez se ha calculado el espesor de esta estructura de 4mm de aluminio, poniendo como temperatura máxima alcanzada por el mismo en su cara exterior su temperatura máxima de trabajo de 200°C y el objetivo de mantener una temperatura de 20°C en el interior de la estación, se ha calculado el espesor de este aislante, cuyo valor será de 4mm.

En el siguiente capítulo se dejará de lado los materiales y los cálculos mecánicos y se realizarán los cálculos eléctricos y electrónicos relacionados con el funcionamiento de la estación, su automatización y la recarga del dron. Todos los resultados obtenidos tanto en este capítulo como en el siguiente nos permitirán la realización de la última parte del Trabajo: el estudio económico, que concluirá si realmente la estación es viable económicamente.

CAPÍTULO V: CÁLCULOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

En este capítulo se han realizado los cálculos correspondientes a la instalación eléctrica, así como los relacionados con la electrónica necesaria para automatizar el proceso de recarga. Para la instalación eléctrica se ha realizado un circuito simple en el que solo con la potencia adquirida a través de los paneles se pueda alimentar a todas las cargas necesarias en la instalación, también habrá la opción de conexión directa a red si se da el caso de una climatología muy poco soleada, aunque por su simpleza no se han realizado los cálculos. Para la electrónica, se han centrado los cálculos en la implementación de un sistema automatizado con la utilización de un autómata programable, como se explicará más adelante.

1. Cálculos eléctricos

En el capítulo de *Diseño* ya se enumeraron todos los elementos de la estación, y en el plano de despiece se han observado los diferentes componentes eléctricos que conforman la estación, así como los paneles solares que la conforman. Estos tres paneles (de la cara superior y los dos laterales) deberán ser suficientes para abastecer a toda la estación a través de una batería. A continuación, se muestra el circuito sencillo que se va a implementar en la estación:

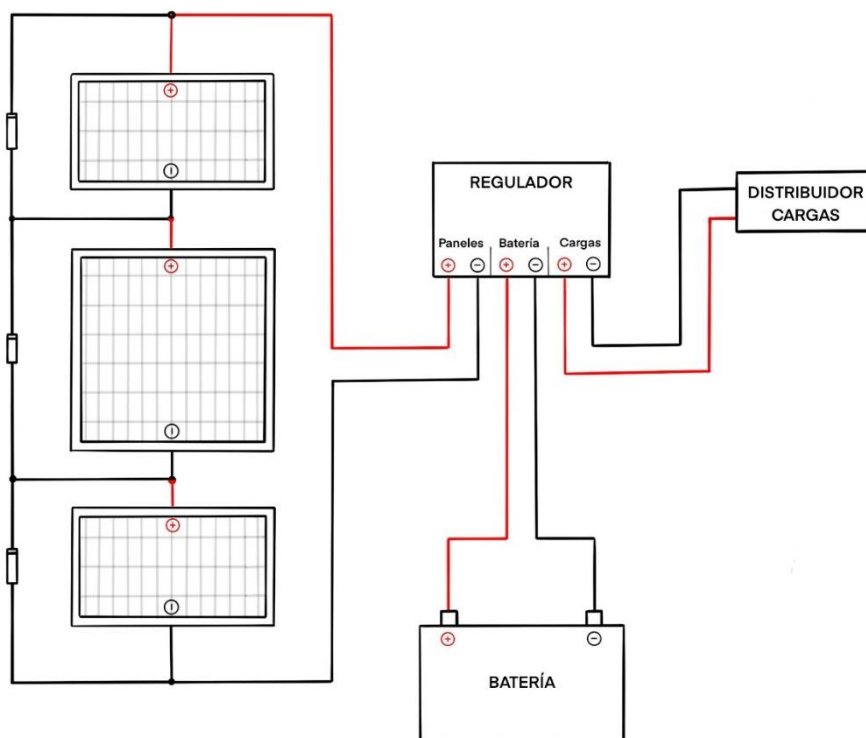


Ilustración 75: Cableado de la instalación eléctrica. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

Como se puede observar, la alimentación de las cargas se realizará a través de un regulador, al que irán conectados los paneles y la batería. Al estar conectados los paneles en serie, la tensión obtenida de los mismos será la suma de las tensiones de los tres, es por eso que es necesario este regulador para que de alguna manera ajuste esta tensión irregular obtenida de los paneles a la de entrada de la batería. Para conocer la capacidad de esta batería y de los paneles, se debe obtener primero la carga que se desea alimentar con la instalación. Las cargas a su vez son alimentadas a través de un distribuidor conectado a ese regulador, todos estos dispositivos que hay alimentar se muestran en la siguiente ilustración:

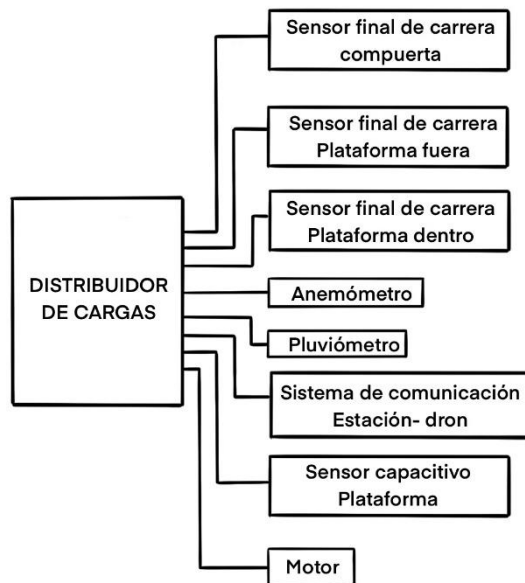


Ilustración 76: conexión del distribuidor de carga a los diferentes dispositivos.
Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

El posicionamiento de estos dispositivos en la estación se puede observar a continuación:

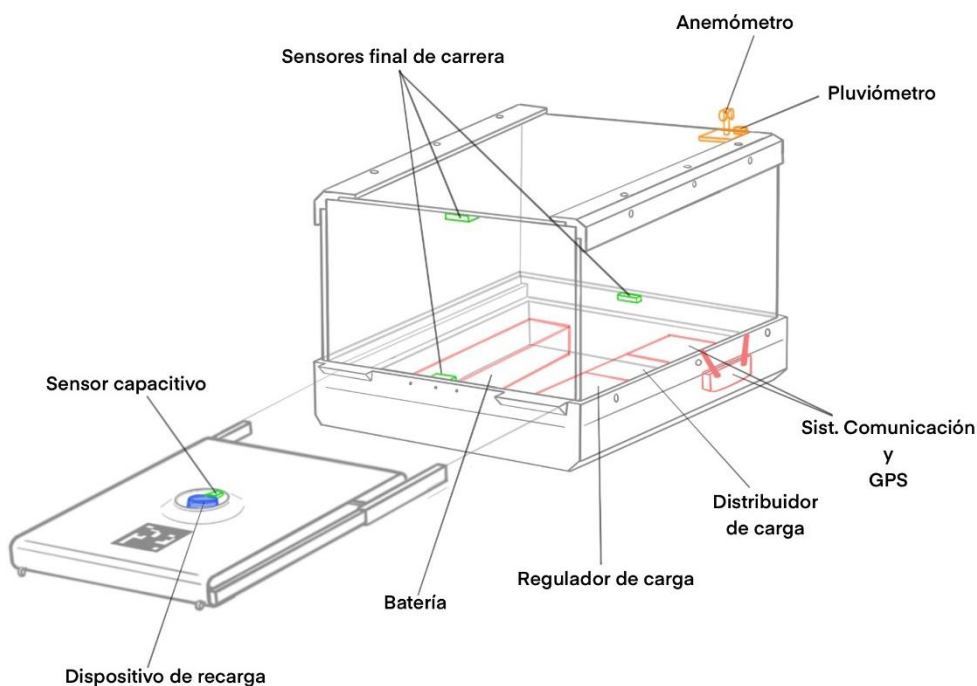


Ilustración 77: Localización de los dispositivos en la estación. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

1.1 Elementos

La carga total que deberá alimentar la instalación será la suma de los consumos que generan cada uno de los dispositivos eléctricos que componen la estación. A continuación, se van a estudiar cada uno de estos dispositivos, sus especificaciones y su consumo diario en la estación.

Motor

Se trata del motor que forma parte del deslizador de guía lineal con tornillo sin fin. Este dispositivo está formado por dos raíles donde desliza una base de forma lineal gracias a un tornillo sin fin que girado por un motor eléctrico monofásico paso a paso que se encuentra en el extremo. Un ejemplo de este dispositivo sería el que se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 78: Deslizador de guía lineal con tornillo sin fin. Fuente: www.Antrella.com (2022).

Sobre esta base que se desliza de manera lineal va anclada la plataforma de recarga del dron, que debe salir para recibir al dron y entrar con este para realizar su recarga. El motor utilizado para este tipo de dispositivos es un motor paso a paso de dos fases, en concreto, la gran mayoría de fabricantes utilizan para deslizadores de gran tamaño (mayor de 150mm) un motor NEMA 23 (Natural Electric Manufactures Association), cuyas especificaciones son las siguientes:

Motor paso a paso	
Corriente	3A
Ángulo de paso	1.8°
Pasos	200/vuelta
Fases	4
Intensidad	2A/fase
Par nominal	1Nm
Resistencia	1.12 Ohm
Consumo	72W/h

Ilustración 79: Especificaciones técnicas del motor paso a paso. Fuente: www.bricogeek.com (2022).

Anemómetro

Los drones son muy susceptibles tanto al viento como a la lluvia. Según la gran mayoría de fabricantes, un dron de tamaño mediano podrá volar de forma segura con vientos de velocidades menores a 10,5m/s [62]. Es por eso que resulta imprescindible que la estación cuente con este dispositivo.

En el mercado encontramos infinidad de anemómetros de diferentes tipos, tamaños y formas. En este caso se ha buscado uno de tamaño pequeño y cuyo funcionamiento sea muy simple, para que de manera sencilla se pueda programar para mandar una señal cada vez que la velocidad es superior a ese límite de 10,5m/s. El modelo escogido para esta estación sería uno como el de la imagen de abajo. Se trata de un sensor de viento con 1 relé. El funcionamiento es muy sencillo, simplemente es necesario establecer un límite de viento en el que el sensor activará el relé asociado al mismo. Esto nos servirá, como veremos más adelante, para el proceso de automatización de la estación.

Este sensor de la marca *Saioa Control* modelo *SC-WS102* funciona a 24V y tiene un consumo muy pequeño (<1W) [63]. Como no hay una medida exacta de potencia para este dispositivo, vamos a tomar un valor máximo de 1W/h, aunque sepamos que realmente su consumo se encuentra por debajo de este valor.



Ilustración 80: Anemómetro con 1 relé SC-WS102. Fuente: Saioa Control, www.saiicontrol.com, (2022).

Pluviómetro

Como se ha comentado antes tanto la lluvia como el viento son los factores que más afectan negativamente al vuelo del dron. Igual que se ha controlado la velocidad del viento con el anemómetro, esta vez se utilizará un pluviómetro que será necesario para saber si llueve en el exterior.

Aunque en el mercado se encuentren diversos tipos de sensores de lluvia, se escoger aquel que resulte más sencillo y cumpla sus funciones. La idea es la misma que el anemómetro, y es por eso que encontramos que la mayoría de pluviómetros actúan directamente como un sensor con un relé que hace que se active cuando se detecta un cierto nivel de lluvia en el exterior. Este dispositivo conectado a 24V también tiene un consumo bastante

moderado de menor de 1W, y de nuevo se tomará como consumo máximo 1W/h. Un ejemplo de este tipo de dispositivos sería el pluviómetro *Popp Z-Rain* de la marca *Z-Wave Plus* [64].

Sistema de comunicación

Los sistemas de comunicación entre drones resultan de mucha complejidad es por ello que no se entrará a fondo en esta cuestión y se intentará dar una solución lo más sencilla posible, Existen actualmente muchas conexiones e interfaces para la comunicación entre drones, gracias a la información de diferentes fuentes [67], sabemos que destacan los siguientes dispositivos:

- Puerto PWM: usado para controlar mediante señales sinusoidales o cuadradas dispositivos externos como servos.
- RS232: puerto serie que se conecta al microcontrolador del dron y que permite la comunicación entre dos dispositivos de manera bidireccional, soporta bien las interferencias. Trabaja bien a largas distancias.
- RS422: puerto serie que permite la comunicación unidireccional de un dispositivo hasta otros 10. Soporta bien las interferencias.
- RS485: puerto serie que permite la comunicación bidireccional entre más de dos dispositivos. Soporta bien las interferencias.
- UART: similar al RS232 trabaja con señales digitales (de 3,3V a 5V), no trabaja bien a largas distancias.

Como se vera en el siguiente apartado interesa un dispositivo que permita enviar información tanto del dron a la estación como de la estación al dron. Por ese motivo, debido a la simpleza y buen funcionamiento ante interferencias y distancias largas, se ha seleccionado el dispositivo RS232. Este dispositivo se deberá instalar en el microcontrolador del dron, y en la estación. En este caso el consumo será similar a los dispositivos anteriores, de alrededor de 1,5W/h, conexión a 24V.

Sensores finales de carrera

Estos sensores son los más comúnmente utilizados en todo tipo de instalaciones y dispositivos. Se trata de unos sensores que se activan al ser empujados por algún elemento, indicando que se ha llegado al punto final del movimiento de ese objeto. Por ejemplo, en el caso de la estación se activarán cuando la compuerta esté totalmente cerrada y cuando la plataforma haya salido o entrado por completo de la estación. Se podría decir que estos dispositivos funcionan como meros interruptores y su consumo es despreciable.

Sensor capacitivo de contacto

Este es el sensor utilizado en la estación para detectar si el dron se encuentra ya en la plataforma de recarga, listo para ser introducido. Su funcionamiento, al igual que los finales de carrea, es muy sencillo. Cuando algún objeto, ya sea metálico o no metálico entra en contacto con este sensor, automáticamente se activa, y se mantiene así hasta que se termine ese contacto. Un buen ejemplo de este tipo de sensores podría ser la pantalla del móvil.

Este sensor iría instalado en la plataforma de recarga de manera que cuando el peso del dron caiga sobre él, se active. Este tipo de sensores pueden llegar a ser bastante sensibles y precisos, cosa que no interesa, al querer detectar un cuerpo pesado como el del dron. Para eso se escogerá un sensor capacitivo de sensibilidad media y que ofrezca buenos resultados como, por ejemplo, el *IFM Electronic* modelo *KG6000* [65], cuyo consumo de alrededor de 0,12W resulta despreciable para los cálculos del Trabajo.

Dispositivo de recarga

Todo el Trabajo gira en torno a una estación de recarga de drones, sin embargo, se ha hablado solo en capítulo de *Estado de la Cuestión* y de *Diseño* acerca de esta cuestión. Ya se dijo que la decisión era la de recargar el dron por inducción, ya que permite poder utilizar una estación para varios modelos de dron diferentes. Durante la investigación de los diferentes inventos para la realización del *Estado de la Cuestión* se analizaron los diferentes métodos de recarga que se han ido implementando en las estaciones a lo largo de los años. Durante esta investigación se ha llegado a la conclusión de que los sistemas de recarga por inducción, resultan aún muy escasos y poco avanzados, y son pocas las compañías que han desarrollado productos finales comercializados.

En este Trabajo nos limitaremos a escoger el mejor dispositivo de recarga comercializado y desarrollado para implementarlo en nuestra estación, pues no es objetivo principal el tratar de crear un dispositivo de recarga nunca antes visto. Tras contactar con diferentes proveedores, e intentando encontrar un dispositivo de tecnología avanzada y precisa se dio con la empresa *WiPo-WirelessPower*. Esta empresa ya se ha mencionado en el primer capítulo pues no solo ha desarrollado un dispositivo de recarga por inducción que comercializa, sino que también han desarrollado una estación de recarga de drones propia.

Este dispositivo de recarga conocido como *WiForce Light* está compuesto por dos partes de forma cilíndrica de mismas dimensiones [66]. Una de estas partes es el transmisor, y otra el receptor, siendo la segunda la que se encuentra en la plataforma de recarga. Aunque la empresa no de muchos detalles inicialmente de como son las conexiones, se sabe que el transmisor debe ir acoplado al dron que se esté usando en ese momento. Este transmisor irá instalado en la parte inferior del dron conectado a la batería, y es compatible con todos los drones comercializados profesionales.



Ilustración 81: WiForce Light de WiPo WirelessPower. Fuente: www.wipowirelesspower.com (2022).

Con este dispositivo, para asegurar una buena conexión y carga ambos elementos deben estar a una distancia de no más de 3cm, al estar el receptor fijo en la plataforma de descarga, se ha de tener en cuenta este parámetro a la hora de instalar el transmisor en el dron, de manera que se asegure la correcta recarga. En cuanto a la alineación, no es necesario que ambos estén cara a cara perfectamente alineados, pero sí se debe intentar que estén lo más centrados posible. Para ello, se ha intentado dar forma a la plataforma de recarga para que el dron aterrice y tenga el receptor lo más cercano posible:

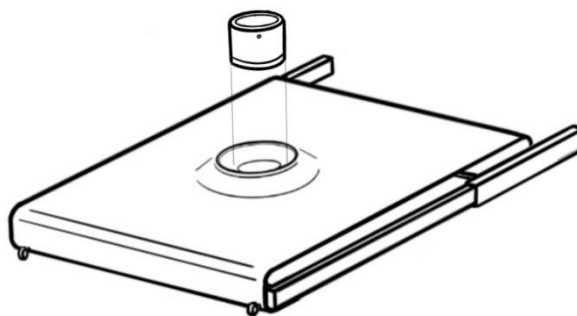


Ilustración 82: Plataforma de recarga y transmisor. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

De esta manera, con la forma cónica que rodea al transmisor lo que se consigue es que, si el dron pierde precisión en el aterrizaje y uno de sus apoyos se acerca mucho al centro, al apoyarse en el plano inclinado del cono se deslice hacia el exterior y recolocue el dron, centrándolo y obteniendo la posición idónea donde la parte central del dron se encuentre en el centro de la plataforma. Para obtener una buena precisión de aterrizaje existen un método utilizado por varios fabricantes de estaciones de drones (como *FlytNow* [67]) que consiste en crear un código, similar a un código QR, que al ser leído por la cámara del dron lo fije como punto de aterrizaje en su mapa, de manera que se consiguen aterrizajes con mucha precisión.

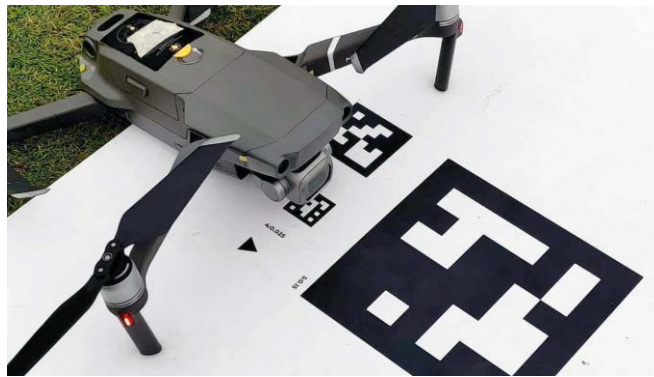


Ilustración 83: Código para aterrizaje de precisión. Fuente: www.flytnow.com (2022).

El dispositivo de recarga *WiForce Light* funciona por una tecnología llamada *Resonant Inductive Coupling* (Acoplamiento Inductivo Resonante) donde se tienen dos bobinas y en una en la que se crea una corriente oscilante que genera un campo magnético, en esta bobina se almacena una gran cantidad de energía que se disipa de manera rápida o lenta a la otra bobina dependiendo de lo cercana que se encuentre. El circuito eléctrico sería el siguiente:

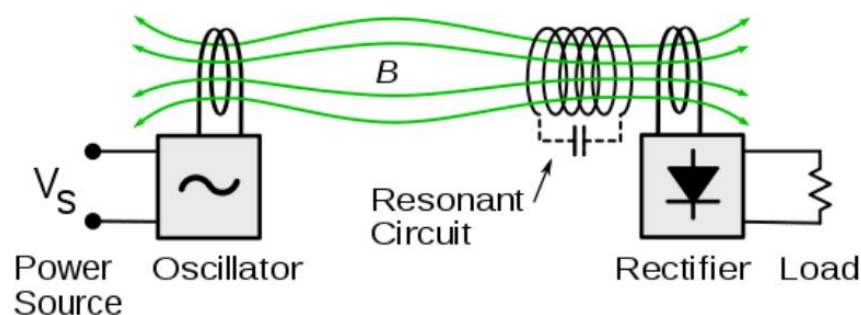


Ilustración 84: Acoplamiento Inductivo Resonante. Fuente: www.wikipedia.com (2022).

Este dispositivo de recarga funcionará a 24V y consumirá una potencia de 100W/h, necesaria para cargar una batería de dron mediano en un tiempo medio de 50 minutos [65].

Localizador GPS

Este dispositivo no influirá en la automatización y funcionamiento de ningún elemento de la estación, simplemente será utilizado para que la localización de la estación esté activa en todo momento y el dron pueda localizarla si se encuentra a una distancia lejana. En la gran mayoría de los drones comercializados es posible introducir en el mapa del sistema de control una localización, por lo que no sería necesario incluir un dispositivo que esté constantemente conectado emitiendo una señal.

Como no todos los drones incorporan esta tecnología y para asegurar una correcta operación se incluirá un sencillo dispositivo GPS en la estación. En el mercado existente

una amplia gama de estos localizadores, todos con precios y características muy similares. Muchos de ellos precisan de una tarjeta SIM conectada a internet de manera constante, sin embargo, encontramos otros que conectan directamente con diferentes satélites y transmiten su señal a una pequeña CPU que incorporan y que transmite los datos. El consumo medio de estos dispositivos es, en la mayoría de ellos de alrededor de 1,5W/h.

1.2 Batería y paneles

Conociendo ya los dispositivos que forman parte de esta instalación eléctrica se ha de calcular un consumo diario de la estación para la selección de las baterías. Para ello se deben estimar las horas de utilización diarias de cada dispositivo. Algunos de ellos estarán constantemente activos, como es el caso del localizador GPS y el sistema de comunicación, pero los demás solo entrarán en funcionamiento cuando sea necesario.

Por ejemplo, el motor paso a paso de la plataforma solo se activará cuando se vaya a recargar un dron. Si a capacidad de carga máxima el motor consigue mover la plataforma a una velocidad aproximada de 100mm/s, tardará 6,5 segundos en sacar la plataforma [68]. Cada vez que un dron llega para realizar la operación de recarga debe salir y entrar, lo que significan 13 segundos de funcionamiento por recarga. Teniendo en cuenta que cada recarga toma un tiempo medio de unos 50 minutos y que la estación será utilizada por lo menos hasta 12 horas diarias, se realizarán aproximadamente 12 operaciones de recarga al día. Como para cada operación debe dedicar 13 segundos, el motor estará en funcionamiento 156 segundos, es decir 0,043 horas al día con un consumo de 72W/h.

Como la recarga con paneles solares depende directamente de si hay o no hay sol, se van a realizar los cálculos para que la estación pueda tener una autonomía de hasta tres días sin necesidad de energía solar con la batería totalmente cargada, asegurando su autonomía ante climatologías desfavorables continuadas. Estableciendo estos criterios se calculará como se ha realizado antes con el motor el tiempo medio de funcionamiento de cada una de las cargas durante tres días para así obtener un consumo total de la estación. Estos consumos se recogen en la siguiente tabla:

Carga	Consumo (W/h)	horas/día	Nº días	Consumo total (W)
Motor paso a paso	72	0.043	3	9.288
Anemómetro	1	24	3	72
Sistema de comunicación	1.5	24	3	108
Dispositivo de recarga	100	10	3	3000
Localizador GPS	1.5	24	3	108
TOTAL				3297.288

*Ilustración 85: Tabla de estimación de consumo total de la estación para tres días.
Fuente: tabla de elaboración propia (2022).*

Como se puede observar, debemos seleccionar una batería que sea capaz de alimentar una carga de 3297,288W. Lo correcto entonces para esta estación y conseguir la autonomía deseada sería el escoger una batería de litio de 3500W.

Una vez establecido que se necesita una batería de 3500W, se ha de realizar una búsqueda de paneles solares que cumplan no solo con las especificaciones eléctricas, sino también como las dimensiones. Los paneles irán conectados en serie (como se ve en el circuito eléctrico) para que a la salida de los mismos la tensión total sea la suma de tensiones de todos los paneles. Entre cada conexión se ha decidido instalar un diodo de derivación (bypass) que sirve para evitar una pérdida de energía del sistema cuando se pierde uno de los paneles o sobre alguno de ellos no incide el Sol igual que en los demás. Estos diodos soportan las corrientes de los paneles y se han de escoger aquellos con menor tensión umbral que permitirá aumentar al máximo la potencia fotovoltaica (como los diodos *Schottky*).

Los paneles solares se deben encargar de recargar la batería a la vez que se usan los dispositivos eléctricos. Se podría decir entonces que mientras los paneles recargan la batería, ésta se descarga a un ritmo de 1100kW/día (obtenido de los valores diarios de la tabla). Para poder suministrar debidamente a la vez a la batería y a los dispositivos los paneles deberán producir por lo menos 4600W/día (3500W de la batería y 1100W de los dispositivos). Suponiendo que hay en el día al menos 10 horas de sol, será necesario que la suma de las potencias de los paneles sean de 460W/h. Distribuyendo equitativamente esta potencia entre el panel de la cara superior (que es el más grande) y los dos laterales. Las especificaciones de los paneles de la estación serán:

- Paneles de las caras laterales:
 - Dimensiones máximas: 650 x 400mm.
 - Potencia producida por panel: 120W/h.
- Panel cara superior:
 - Dimensiones máximas: 650 x 650mm.
 - Potencia producida: 220W/h.

Buscando entre proveedores se encuentran muchos paneles que cumplen con estas condiciones. Para los paneles de las caras laterales podríamos usar por ejemplo el panel solar fotovoltaico *Xunzel 120W 12V* que genera 120W/h y cuyas dimensiones se adecúan a la estación [69]. Para la cara superior en cambio ha resultado más complicado, pues no se encuentran paneles fabricados para una generación de 220W, lo más común es 200W o 280W. Como necesitamos abastecer a las cargas y batería en todo momento se podrá escoger un panel de 280W. La marca *AutoSolar* ofrece en su catálogo un panel solar policristalino que genera 280W/h a 12V [70], el cual podría encajar perfectamente en la instalación.

Antes de terminar este apartado se va a hacer algo de hincapié en los demás dispositivos del circuito eléctrico que no se han mencionado como el regulador y el distribuidor de cargas. Estos dispositivos suelen ser muy sencillos y por eso no resulta de gran interés para el Trabajo es extenderse mucho más en esta materia. El regulador utilizado al que van conectados los paneles, la batería y la carga, regula el flujo de energía que se transmite d ellos paneles a la batería y posteriormente a las cargas, pues la tensión generada por los paneles suele oscilar con facilidad. Estos dispositivos suelen ir incluido con la compra de los paneles y se encuentran infinidad de ellos en comercios online. El centro de distribución de cargas (nombrado en el esquema como “cargas”) es el dispositivo encargado de recibir la energía que viene del regulador y distribuirla a cada carga dependiendo de los diferentes valores de intensidad de funcionamiento de cada uno de ellos.



Ilustración 86: regulador de carga solar Thlevel PWM (derecha) y distribuidor de cargas MAXGE 4P (izquierda). Fuente: www.thlevel.com y www.efectoled.es. (2022).

2. Cálculos electrónicos.

Una vez concluidos los cálculos eléctricos se va a analizar la automatización de la estación mediante los componentes electrónicos. En el apartado de *Diseño* se ha hablado ya de este proceso de automatización, y se han definidos ese proceso automatizado paso a paso en el que se ven involucrados todos los componentes eléctricos y mecánicos de la estación. Todos estos pasos se realizan dependiendo del estado y señales de los diferentes componentes electrónicos como sensores y sistemas de comunicación. A continuación, se definirá primero el *Hardware* de la instalación y después el *Software*.

2.1 Hardware

La parte *Hardware* de la estación resulta bastante sencilla, pues son pocos los elementos que se ven involucrados. Para la realización de los esquemas, se ha seguido la norma IEC81346³ a la hora de nombrar los elementos electrónicos, siguiendo la lista de elementos que se han analizado en el apartado anterior, los nombres que se han dado son:

- Sensor de final de carrera de la compuerta: BGA.
- Sensor de final de carrera cuando la plataforma ha salido por completo: BGB.
- Sensor de final de carrera cuando la plataforma ha entrado por completo: BGC.
- Anemómetro para indicar si la velocidad del viento es segura: BGD.
- Sistema de comunicación de dron a estación: BEA.
- Sensor capacitivo para detectar la presencia del dron: BGE.
- Pluviómetro para indicar si llueve en el exterior: BGF.
- Relé que acciona el giro a derechas del motor: QAD.
- Relé que acciona el giro a izquierdas del motor: QAI.
- Relé que activa el dispositivo de recarga: KF
- Sistema de comunicación de estación a dron: BEB.

Todos estos elementos son alimentados a +24V y conectados a su vez sus salidas digitales a un PLC. El PLC, también conocido como Autómata Programable es un sistema de control informático industrial (similar a una CPU del ordenador) que lee los datos de entrada de los dispositivos y en base a esos datos toma decisiones que han sido previamente programadas y las transmite a los dispositivos de salida. En nuestro PLC los

³ Norma internacional para la denominación de componentes eléctricos en programación de sistemas automatizados. [1]

dispositivos de entrada, encargados de mandar señales al PLC para la toma de decisiones son: BGA, BGB, BGC, BFA, BEA, BGD y el BGE, que van conectados a las entradas I0.0, I0.1, I0.2, I0.3, I0.4, I0.5, I0.6 del autómata respectivamente. En las salidas irán conectados los dispositivos que ejecutan las órdenes dependiendo de los datos de entrada, estos serán: QAD, QAI, KF y BEB conectados a las salidas Q0.0, Q0.1, Q0.2 y Q0.3. A continuación una ilustración del circuito de control:

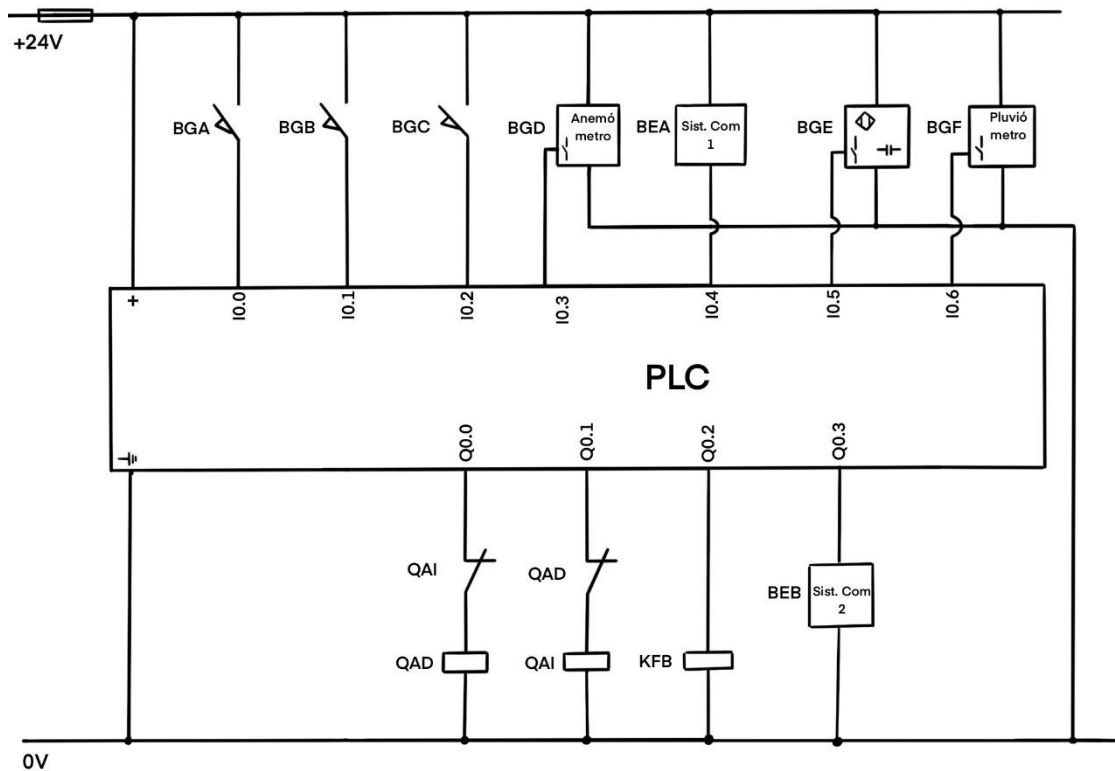


Ilustración 87: Circuito de control del sistema de automatización. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

Como se ha comentado los dispositivos de entrada tienen sus salidas digitales conectadas a las entradas del PLC, por lo que el autómata recibirá de cada uno de ellos diferentes señales:

- BGA, BGB, BGC: estos sensores tienen un valor “0” a su salida cuando el elemento no ha llegado a final de carrera y se encuentran abiertos, y un valor de “1” cuando se llega a final de carrera.
- BGD: Este anemómetro o sensor de viento con relé, estará programado para enviar una señal de valor “1” cuando la lectura indique un viento mayor de 10,5m/s [62] y de “0” en los demás casos.
- BEA: Sistema de comunicación de dron a estación. Cuando el dron se quede sin batería enviará una señal de “1” a la estación, de lo contrario, la señal será de valor “0”.

- BGE: este sensor capacitivo emitirá una señal de valor “1” cuando el dron se encuentre apoyado sobre la plataforma de recarga, señal que indica que ha aterrizado correctamente, mientras el dron no esté apoyado sobre la misma, la señal tendrá valor “0”.
- BGF: este pluviómetro es un dispositivo muy simple que actúa como un sensor con relé igual que el anemómetro, ante presencia de un pequeño nivel de agua considerado como lluvia, generará una señal de valor “1” que indicará que el dron no puede salir de la estación hasta que vuelva a tomar valor “0”.

En cuanto a las salidas, se han de tener en cuenta los siguientes circuitos de potencia que forman parte de la instalación:

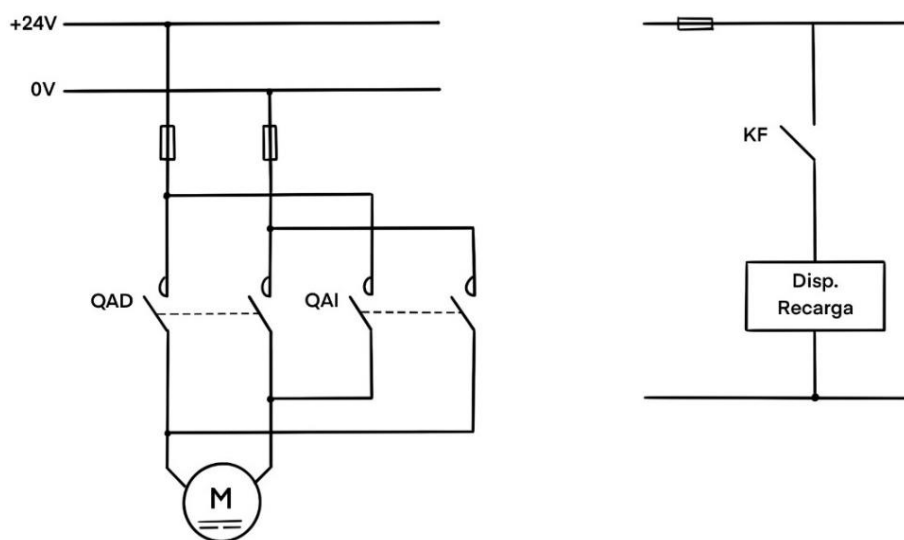


Ilustración 88: Circuito de potencia del sistema de automatización. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

A la izquierda se encuentra el cableado del motor monofásico paso a paso utilizado para el deslizador lineal. En este cableado se puede observar que, al activar el contactor (QAD o QAI) desde el PLC en el circuito de potencia el que esté activo se cierra, dejando pasar la corriente y activando el motor en el sentido de giro deseado. En el circuito de control antes de cada conmutador encontramos un símbolo de interruptor NC (normalmente cerrado) que va asociado a una de las conexiones del contactor y que se abre cuando este se activa, por ejemplo, antes del contactor QAD hay un símbolo de interruptor NC asociado al QAI. De esta manera se está evitando que se manden dos órdenes al mismo tiempo de giros en distintos sentidos al motor que conllevaría a una avería del mismo.

A la derecha se encuentra el circuito de potencia que activa el dispositivo de recarga de la plataforma. Cuando el relé es activado, el interruptor NO (normalmente abierto) KF asociado al relé se cierra y se carga la estación. Como se ha visto en el circuito de control a la salida también se encuentra el sistema de comunicación de la estación al dron (Sist. Com 2) cuya función será la de avisar al dron cuando la plataforma está sacada lista para

recibirlo, por lo tanto, no afectará a ningún elemento mecánico ni eléctrico de la estación, sino que simplemente se usará para avisar al dron con una señal de "1" cuando la plataforma esté preparada y de "0" cuando no lo esté.

2.2 Software

Se acaba de establecer como es la conexión física entre elementos y sus diferentes funciones, pero se ha de estudiar ahora que relaciones se han programado dentro del PLC entre las entradas y salidas. A la hora de programar un PLC existen infinidad de programas y todos ellos utilizan diferentes lenguajes para crear estas relaciones. Algunos de estos lenguajes son puramente códigos (como el Texto Estructurado o la Lista de Instrucciones) y otros son mucho más gráficos (como el Diagrama de Contactos, Diagrama de Bloques o el *Grafcet*). Para este Trabajo se ha decidido usar el lenguaje *Grafcet*, como se explicado ya en el segundo capítulo, pues resulta un lenguaje muy intuitivo y fácil de entender e implementar.

En el capítulo de *Diseño* ya se han explicado ya las bases de este lenguaje y como está estructurado, por lo tanto, no se entrará más en detalle en este capítulo. En ese segundo capítulo se presentó un *Grafcet* descriptivo, que sirve únicamente para exponer de manera gráfica un proceso secuencial automatizado, pero que no muestra el lenguaje correcto que se ha de implementar para la correcta programación. A continuación, se va a transformar ese *Grafcet* descriptivo presentado anteriormente en un *Grafcet* funcional.

El primer paso es el de establecer las entradas y salidas del PLC para que el programa las lea correctamente. Para ello es necesario desde el programa principal crear lo que se conoce como "Bloque de Datos" en el que se muestran las entradas y salidas del PLC se muestran esas entradas físicas con prefijo "pi" y entradas digitales con prefijo "i".

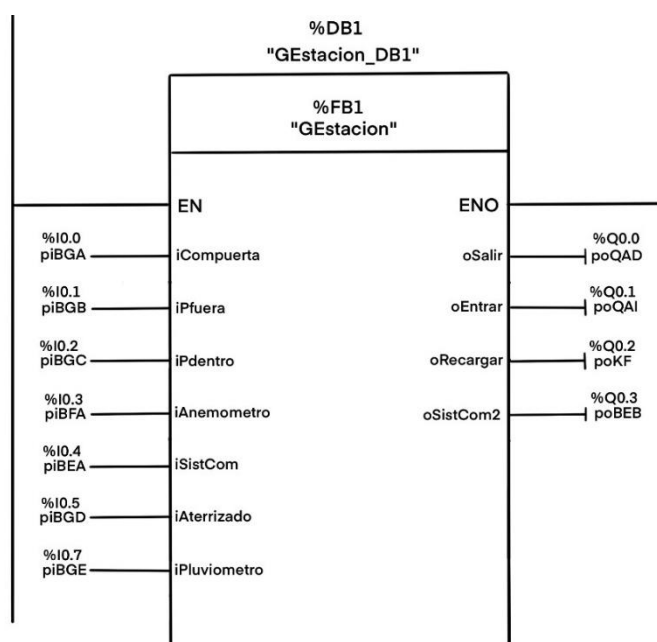


Ilustración 89: Bloque de datos del programa principal OB. Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

Por ejemplo, para la entrada del sensor final de carrera de la compuerta BGA, su salida física se nombra como “piBGA”, se asocia a la entrada I0.0, y se nombra como “iCompuerta” a la entrada digital, de esa manera es más sencillo seguir el proceso en el Grafcet y saber a que sensor nos referimos en todo momento. Otra función del “Bloque de Datos” será la de realizar una llamada a la instancia del programa donde se encuentra el *Grafcet*. Desde el programa principal podemos tener varios Bloques que llamen a diferentes *Grafcets*, y es por ello que es necesario definirlos previamente.

Una vez establecidas las entradas y salidas y los nombres de las entradas digitales, se procede a realizar el *Grafcet* tecnológico del sistema. Siguiendo los pasos de la automatización de la estación descritos en el capítulo de *Diseño*, y utilizando como modelo el *Grafcet* descriptivo presentado en ese mismo capítulo, el tecnológico utilizado en la programación del PLC será el siguiente:

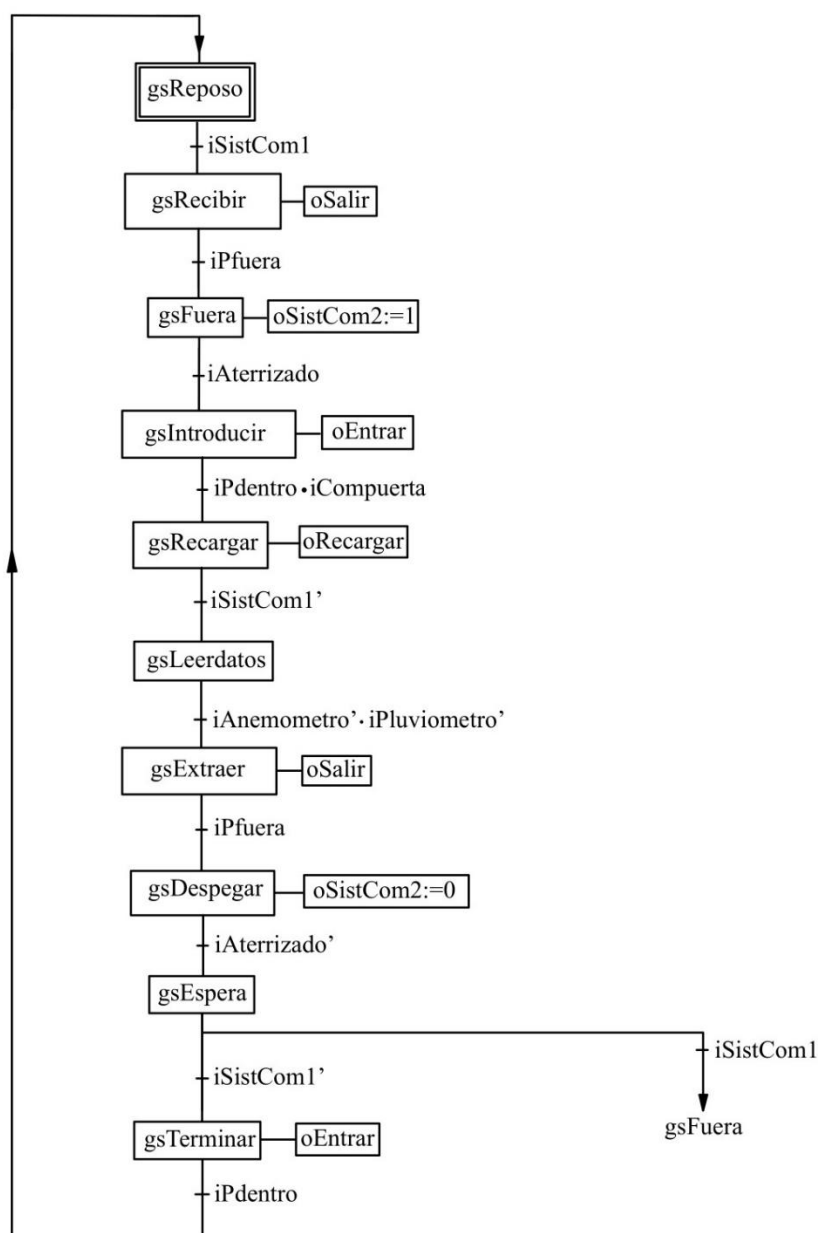


Ilustración 90: Grafcet tecnológico de la automatización del sistema para programar PLC.
Fuente: ilustración de elaboración propia (2022).

Si seguimos el esquema vemos que inicialmente la estación se encuentra en estado de reposo, y ninguno de los dispositivos está en funcionamiento. En cuanto la estación recibe una señal de valor “1” del dron, que significa que necesita recargarse, la estación responde activando el motor para sacar la plataforma hasta que la entrada “iPfuera” toma el valor “1”, momento en el que el dron puede aterrizar y se le manda una señal indicándoselo. Una vez el dron recibe la señal empieza a aterrizar hasta que el sensor capacitivo note su presencia, momento en el que “iAterrizado” toma el valor de “1”. Una vez ocurre esto los motores se activan de nuevo y la plataforma entra hasta que se active el final de carrera y la compuerta está completamente cerrada.

En este momento se inicia la carga del dron que seguirá hasta que el dron indique que está totalmente cargado enviando un valor de “0”. Ahora hasta que el pluviómetro y el anemómetro no indiquen que el dron puede salir no se realiza ninguna acción. Una vez se dan las condiciones óptimas la plataforma vuelve a salir hasta que el dron despega, momento en el que se escoge entre esperar a otro dron sin batería o volver al estado inicial. De esta manera, se ha repasado el *Grafcet* y podemos asegurar que el sistema, aunque se haya intentado diseñar de la manera más simple, funcionará y cumplirá su función.

3. Conclusiones

En este capítulo del Trabajo se han realizado los cálculos eléctricos y electrónicos de la estación de recarga, En la primera parte de cálculos eléctricos se ha diseñado un circuito eléctrico de la instalación donde unas placas solares instaladas en los laterales y parte superior de la estación, a través de un regulador que controla el intercambio de energía entre los paneles y la batería, alimenta los diferentes dispositivos que forman parte de la estación.

Se ha calculado la capacidad necesaria de la batería mediante una estimación del consumo de todos estos dispositivos. Para este cálculo se ha supuesto que se debe tener una batería capaz de suministrar durante tres días a toda la estación sin necesidad de ellos paneles, así en caso de que no haya luz solar suficiente, la batería siempre podrá abastecer a las cargas. Ese consumo de 3 días equivale a 3297W y por lo tanto, la batería escogida será de 3500W. Para los paneles se ha calculado la cantidad de potencia que necesita generar para poder mantener la batería recargada a la vez que ésta alimenta las cargas, obteniendo una generación necesaria entre los tres paneles de 460W/h. Esta potencia se distribuye entre los tres paneles de tal manera que los dos laterales deberán generar por lo menos 120W, y el superior 220W.

En la segunda parte del capítulo se han realizado los cálculos relacionados con la electrónica, más específicamente el hardware y software de la estación relacionado con el proceso de automatización. Ya sabiendo del apartado anterior cuáles son los dispositivos de la estación y su funcionamiento, se ha diseñado el circuito de control y de potencia que muestran las conexiones de los dispositivos a un PLC (autómata programable) encargado de relacionar las señales digitales de la entrada con las salidas. En la parte de software, utilizando el lenguaje gráfico de *Grafset* se ha realizado la programación de este proceso de automatización secuencial.

En el siguiente último capítulo se realizará un estudio económico de la estación, estudiando los costes de materiales, fabricación, y mano de obra, seremos capaces de evaluar si realmente nos encontramos ante un diseño asequible y rentable.

CAPÍTULO VI: ESTUDIO ECONÓMICO

Llegado a este punto se ha presentado en el trabajo el diseño de la estación, su funcionalidad, los materiales necesarios para su construcción, los elementos eléctricos y electrónicos involucrados e incluso la programación y conexión entre dispositivos. Toda esta información se utilizará ahora en este capítulo final donde se va a realizar una estimación del coste total de la estación y su consideración como inversión a largo plazo. Por lo tanto, se intentará dar dos visiones distintas de la estación, una vista como productor de la misma y otra como empresa que realiza una inversión en maquinaria para mejorar sus resultados.

1. Estimación del coste total de la estación

Para realizar una estimación del coste total debemos considerar dos partes separadas, la primera será la relacionada con la estimación de costes de fabricación, que incluyen tanto la mano de obra como el coste de utilización de cada máquina. La segunda parte estará dirigida a una estimación de los costes de materiales y de cada uno de los componentes y dispositivos que serán adquiridos de diferentes proveedores.

1.1 Costes de fabricación

Para estimar los costes totales de fabricación de la estación es necesario estudiar por separado cada uno de esos componentes que se desean estudiar, pues cada uno de ellos requerirá de diferentes procesos, maquinaria y mecanizado. Se van a estudiar por separado entonces la estructura principal, los elementos de unión y carcasa inferior, y la plataforma de recarga junto con la compuerta.

Estructura principal

Como se ha estudiado en los anteriores capítulos de trata de una estructura de forma prismática creada a partir de cinco planchas de aluminio (Al2024 T3) de 5mm de espesor, soldadas entre sí y recubiertas en su interior con una capa de aislante térmico (poliestireno extruido) de 4mm de espesor.

Para estimar los costes por hora de mano de obra y de utilización de maquinaria, no solo de corte sino de todos los procesos de fabricación que se estudiarán en este apartado, se han utilizado diferentes portales de empleo ([71-73]) así como presupuestos de distintos trabajos donde se han realizado estimaciones de costes de procesos similares [74-76]. En algunos casos en los que no se ha encontrado información al respecto, la estimación del

precio por hora de la máquina se ha calculado con el consumo medio de kW/h de la máquina multiplicado por el precio de la electricidad y por el tiempo utilizado.

Estas planchas de aluminio que constituyen la estructura principal suelen ser distribuidas por los proveedores en forma de planchas de aluminio de gran tamaño, por lo que es complicado dar con un proveedor que venda las planchas exactamente en las dimensiones que necesitamos, especialmente si no son simétricas o números exactos. Recordemos que en este caso se necesitan tres planchas de 650x400mm y dos planchas de 650x650mm. Es por eso que se considerará que es necesario realizar una operación de corte de estas planchas igual que de el material aislante del interior. Una vez cortadas deberán pasar a la máquina de taladro vertical, donde se realizarán 6 agujeros por cada plancha, tres en el borde superior y tres en el inferior, donde irán los tornillos que unen los llamados “elementos de unión” y “carcasa inferior” a la estructura principal. Después de cortarse, como se ha mencionado antes, deberán ser soldadas para crear finalmente la geometría deseada. Por último, se deberá pegar en una sencilla operación el material aislante a las paredes interiores de la estación. Las operaciones a realizar serán entonces:

- Cortado de las planchas y el material aislante.
- Operación con taladro, 6 agujeros por plancha para 3 planchas.
- Operación de soldadura.
- Operación de pegado del material aislante.

Para el corte de metal se ha utilizado el salario medio de mano de obra para operador de máquina de corte de 10,86€/h, y para el coste de utilización de la máquina con un consumo medio de 0,72kW/h [77] a 0,414€/kW (a 10 de julio de 2022) tendremos un coste de utilización de aproximadamente 0,30€/h. El tiempo que se ha estimado que se puede tardar en realizar estas operaciones de corte será de aproximadamente 1 hora.

Para la operación de taladrado el coste de mano de obra será idéntico al anterior, el salario medio de un operario de maquinaria de 10,86€/h. Una máquina industrial de taladro de columna consumirá aproximadamente 0,55kW/h [78], con el mismo precio de la electricidad de antes el coste por hora será de 0,228€/h. El tiempo estimado de utilización, teniendo en cuenta que se han de ir cambiando de posición y realizando hasta 18 operaciones de taladro el tiempo invertido estimado será de 1 hora (aproximadamente 3 minutos por operación).

Para la soldadura la estimación de costes es un poco diferente a las anteriores. Al ser una operación en la que se requiere un operario cualificado y con mucho conocimiento técnico el coste de mano de obra se eleva a aproximadamente 14€/h. Al tratarse de aluminio la soldadura será de tipo TIG [79], que requiere de aún más conocimiento y precisión y donde la maquinaria consume alrededor de 5kW [80] el coste de utilización de la máquina será de 2,07€/h. El tiempo estimado también resulta un parámetro complejo, pues depende de la velocidad con la que el soldador tire el cordón de soldadura, la velocidad media de soldadura suele estar alrededor de 1cm/s para asegurar un cordón sin defectos

[81] y teniendo 6 cordones de 65cm y 2 cordones de 40cm el tiempo estimado será de aproximadamente 10 minutos soldando (tiempo utilización de la máquina), sin embargo, teniendo en cuenta paradas y cambio de posición diremos que el tiempo estimado en realizar toda la operación de soldadura es de 1 hora y 30 minutos.

Por último, en la operación de pegar el material aislante al interior de la estación solo se tendrá en cuenta el coste de mano de obra del operario que supondremos de nuevo de 10,86€/h. El tiempo estimado de la operación, teniendo en cuenta la utilización y posicionamiento de utillajes para presionar ambos materiales será de 1 hora. Todos los costes totales de fabricación se recogerán en la tabla al final de este apartado.

Elementos de unión y carcasa inferior

Como se ha visto en el capítulo de *Diseño y Selección de materiales* los elementos denominados como “Elementos de unión” y “Carcasa inferior” estarán fabricados del material PE-HD y serán los encargados de unificar la estructura principal y los paneles.

Estos elementos de plástico se fabricarán mediante moldeo por inyección, este tipo de procesos precisa de la utilización de dos moldes de metal dentro de los cuales se introducirá el plástico a alta presión y temperatura. El coste de estos moldes resulta muy elevado (normalmente entre 1000€ y 2000€ para piezas de tamaño medio [82]), por lo tanto, no se tendrá cuenta en la estimación del precio por unidad de estación de recarga, sino como una inversión inicial cuya rentabilidad se estudiará más adelante. Ahora solo tendremos en cuenta el coste de mano de obra y de utilización de la máquina.

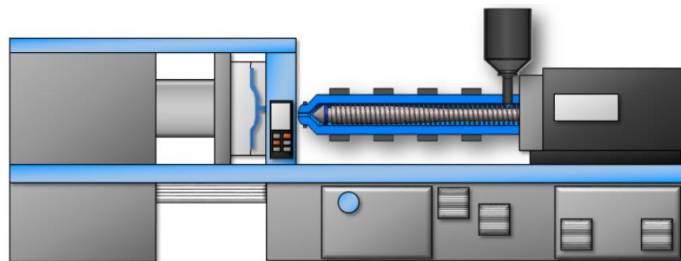


Ilustración 91: Máquina de extrusión de plásticos. Fuente: <https://todoenpolimeros.com/procesos-de-moldeo/>. España. (2022).

El coste de mano de obra para un operario de una máquina de este tipo se estima que estará alrededor de los 11€/h, el de utilización de maquinaria para una máquina de inyección preparada para piezas de tamaño-mediano que consume aproximadamente unos 37,2kW/h [83], por lo tanto, un coste alrededor de 15,4€/h. El tiempo requerido para esta operación, teniendo en cuenta los cambios de molde y la necesidad de calentamiento y enfriamiento, será de 1h y 30 minutos.

Hay que tener en cuenta para ambas piezas un mecanizado final en el que se realizarán los agujeros correspondientes para la unión atornillada a la estructura principal. Igual que antes el coste por la mano de obra de esta operación es de 10,86€/h y por utilización de la máquina de 0,228€/h. El tiempo estimado será de 1h y 15 minutos, ya que a parte de

las mismas operaciones que antes, hay que hacer otros agujeros correspondientes a la unión de la compuerta a la carcasa inferior.

Plataforma de recarga y compuerta

En este caso se ha decidido unirlos en este apartado porque se trata de dos elementos simples individuales que requieren de operaciones parecidas. Como se vio en capítulos anteriores la compuerta será fabricada del mismo material que la estructura principal (Al 2024 T3) y se trata únicamente de una placa de metal de 5mm de espesor con el material aislante a una de sus caras y de dimensiones 650x400mm. La plataforma de recarga, al contrario, será fabricada con una plancha de aluminio de uso más común y menos resistencia (Al 1050) de 2mm de espesor.

La plataforma, como se ha visto anteriormente, tiene la siguiente forma:

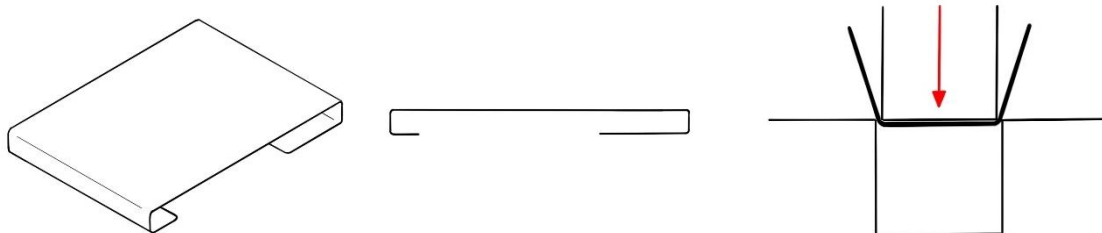


Ilustración 92: Estructura de la plataforma de recarga y operación de doblado con punzón. Fuente: Ilustraciones de elaboración propia (2022).

Como se puede observar se requiere de 2 operaciones de doblado en U con punzón. Para esta operación, la mano de obra del operario de la máquina de doblado será de 10,86€/h y no se tendrá en cuenta el coste de uso de maquinaria al ser manual. El tiempo estimado para ambas operaciones de doblado será de 30 minutos.

En cuanto a la operación de corte inicial realizada para ambas planchas de aluminio se tomarán los mismos costes que los descritos en la estructura principal. Un coste de mano de obra de 10,86€/h y un coste de utilización de máquina de 0,30€/h. El tiempo necesario para realizar estas operaciones se supondrá de alrededor de 30 minutos.

Montaje mecánico, eléctrico y electrónico

El montaje mecánico requiere el atornillar la estructura principal junto con la carcasa inferior, los paneles solares y los elementos de unión. También deberá montar los raíles sobre los que se desliza la plataforma y la unión de la plataforma al sistema motor-guía lineal deslizante. La mano de obra del operario será de 10€/h y el tiempo estimado de alrededor de 1 hora. Para el montaje eléctrico se requiere la mano de obra de un operario

especializado en electrónica cuyo coste por hora es de 12,6€/h aproximadamente. El tiempo estimado para este montaje será de 2 horas.

Por último, será necesaria la mano de obra de un técnico electrónico para la conexión de los diferentes sensores y elementos al PLC, y otro trabajador encargado de la programación del proceso de automatización de la estación. El precio del primero será de 12,6€/h igual que antes, para el segundo la mano de obra resulta más elevada al tratarse de un trabajo que requiere de más conocimientos técnicos. Buscando diferentes ofertas de trabajo en algunos portales de empleo se ha estimado un coste de alrededor de 14,8€/h. El tiempo empleado para la conexión de los elementos será de 1 hora y para la programación se requerirá alrededor de 5 horas, incluyendo las pruebas necesarias.

Costes totales de fabricación

Costes de fabricación			
Tipo	€/h	Tiempo (h)	Coste (€)
Estructura principal			
Mano de obra corte aluminio y XPS	10.86	1	10.86
Máquina de corte	0.3	1	0.3
Mano de obra taladrado	10.86	1	10.86
Máquina taladro de columna	0.228	1	0.228
Mano de obra soldadura	14	1	14
Máquina soldadura TIG	2.07	1.5	3.105
Mano de obra pegado de XPS	10.86	1.5	16.29
Elementos de unión y carcasa inferior			
Mano de obra inyección de plásticos	11	1.5	16.5
Máquina de inyección de plásticos	15.4	1.5	23.1
Mano de obra taladro	10.86	1.25	13.575
Máquina taladro de columna	0.228	1.25	0.285
Plataforma de recarga y compuerta			
Mano de obra corte de aluminio	10.86	0.5	5.43
Máquina de corte	0.3	0.5	0.15
Mano de obra doblado en U	10.86	0.5	5.43
Montaje mecánico, eléctrico y electrónico			
Mano de obra montaje mecánico	10	1	10
Mano de obra montaje eléctrico	12.6	2	25.2
Mano de obra montaje electrónico	12.6	1	12.6
Mano de obra programación PLC	14.8	5	74
TOTAL			241.91 €

Ilustración 93: Costes totales de fabricación. Fuente: tabla de elaboración propia. (2022).

1.2 Costes de los materiales y dispositivos

Para realizar una estimación de los costes de material es necesario primero conocer la cantidad de material necesario y con su peso, poder calcular el coste total. Como en los anteriores apartados se han ido definiendo las dimensiones de todos esos elementos el cálculo resulta sencillo. En cuanto a los costes de los dispositivos simplemente se ha realizado una búsqueda de diferentes proveedores para cada uno de ellos para dar con el más económico y que ofrezca la mejor calidad posible.

Materiales

Se va a empezar por el cálculo de la cantidad de material necesario para fabricar la estructura principal y la compuerta, ya que son del mismo material Al2024 T3. Sabemos que esta estructura está formada por 2 planchas de aluminio de espesor 5mm y dimensiones 650x650mm y 3 planchas de 650x400mm a lo que habría que sumar otra adicional de las mismas dimensiones que es la compuerta. Por lo tanto, tenemos un volumen total de material de:

$$V_{Al\ 2024\ T3} = 2 \cdot (0,65 \cdot 0,65 \cdot 0,005) + 4 \cdot (0,65 \cdot 0,4 \cdot 0,005) = 0,008125m^3 \quad [1]$$

Sabiendo que para este material la densidad es de 2780kg/m³, el peso total de material necesario será:

$$Peso_{Al\ 2024\ T3} = 0,008125m^3 \cdot 2780kg/m^3 = 22,6kg \quad [2]$$

Con un precio medio de 1,8€/kg (precio obtenido en el capítulo de *Selección de materiales*) para este Al 2024 T3.

Para el cálculo del material necesario para la plataforma de recarga, sabemos que solo es necesaria una plancha de aluminio Al 1050 de 2mm de espesor. Esta plataforma tiene unas dimensiones aproximadas de 720x620mm, por lo tanto, haciendo los mismos cálculos que antes, pero esta vez para una densidad de 2680kg/m³ y un precio de 1,46€/kg:

$$V_{Al\ 1050} = 0,72 \cdot 0,62 \cdot 0,002 = 0,0008928m^3 \quad [3]$$

$$Peso_{Al\ 1050} = 0,0008928m^3 \cdot 2680kg/m^3 = 2,4kg \quad [4]$$

En cuanto a los elementos “carcasa inferior” y “elementos de unión” el cálculo del volumen para después obtener el peso resulta más laborioso, pues sus geometrías son más complejas. Para intentar dar con unos volúmenes aproximados, se ha realizado en el software *Siemens Solid Edge 2021* un diseño en 3D simplificado de estos elementos de manera que el programa nos pueda dar un valor semejante al que tendrán las piezas una vez fabricadas con los moldes.

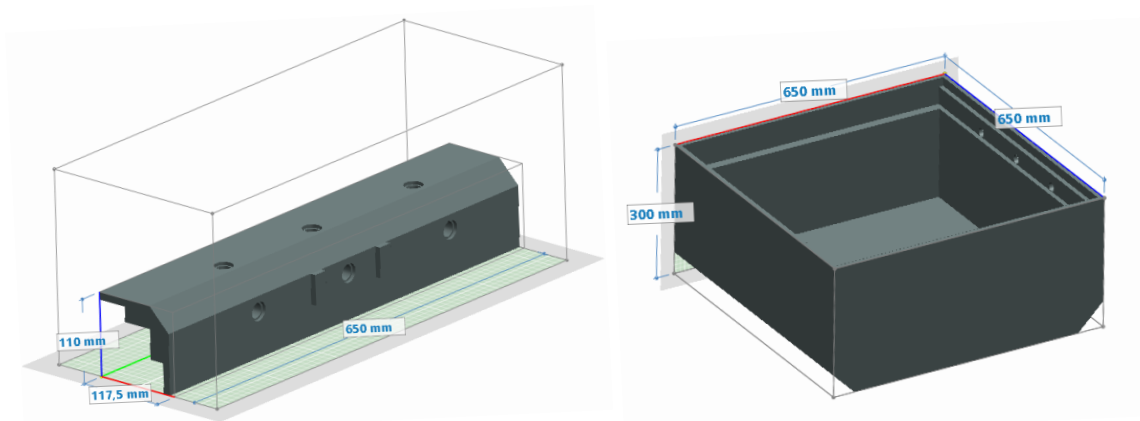


Ilustración 94: Diseño en SolidEdge de una pieza elemento de unión y la carcasa inferior. Fuente: SolidEdge 2021 módulo de Impresión 3D (2022).

En el módulo de *Impresión 3D* del programa, podemos exportar el diseño y nos da los datos de volumen de ambos elementos. Sabiendo que el material es el PE-HD con una densidad de 960kg/m^3 , el peso de estos elementos será:

$$P_{\text{elementos de unión}} = 2 \cdot \rho_{\text{PE-HD}} \cdot V_{\text{el.un}} = 2 \cdot 960\text{kg/m}^3 \cdot 0,0014\text{m}^3 = 2,7\text{kg} \quad [5]$$

$$P_{\text{carcasa}} = \rho_{\text{PE-HD}} \cdot V_{\text{carcasa}} = 960\text{kg/m}^3 \cdot 0,01\text{m}^3 = 9,6\text{kg} \quad [6]$$

El material aislante XPS tiene una densidad de tan solo 33kg/m^3 , teniendo 2 planchas de 4mm de $650 \times 650\text{mm}$ y 4 de $650 \times 400\text{mm}$ el peso será de:

$$V_{\text{XPS}} = 2 \cdot (0,65 \cdot 0,65 \cdot 0,005) + 4 \cdot (0,65 \cdot 0,4 \cdot 0,005) = 0,008125\text{m}^3 \quad [7]$$

$$P_{\text{eso}_{\text{XPS}}} = 0,008125\text{m}^3 \cdot 33\text{kg/m}^3 = 0,27\text{kg} \quad [8]$$

Dispositivos

En el capítulo anterior se han visto todos los dispositivos y elementos involucrados en el funcionamiento y automatización de la estación, y que serían comprados a proveedores externos a la hora de fabricar la estación de recarga. Para la estimación de los costes de todos estos dispositivos se han consultado diferentes tiendas online y contactado con distintos proveedores.

Se va a empezar la estimación del coste de los paneles solares. Ya se han visto en el capítulo anterior que deben ser dos paneles de 120W y un panel de 220W, también se han mencionado dos distribuidores que venden estos paneles a un precio asequible comparado con otros como son el panel *Xunzel 120W 12V* con precio 129€ [84]. Para el panel de 220W también se comentó que no existen muchos fabricantes que hagan paneles de esa

potencia, es más común encontrarnos con paneles de 280W, como el que ofrece *Atersa* con un precio de 122,48€ [85].

La batería necesaria es una batería de 3500W, buscando entre proveedores encontramos la batería de gel de 12V 300Ah de la marca *Tensite* con un precio de 420€ [86]. De la instalación eléctrica también hay que tener en cuenta el regulador de carga solar, este dispositivo suele encontrarse en todas las tiendas que se dedican a la venta de kits de instalaciones solares, por ejemplo, el regulador de la empresa *Victron Energy* con un precio de 160€ [87]. Por último, sería necesario el distribuidor de cargas como el de la empresa *Adajusta* con un precio de 37€ [88].

En cuanto a los demás dispositivos electrónicos se va a empezar por los finales de carrera, como los encontrados en la web de la marca *RS Componentes* con un precio de 17€ la unidad [89]. Después está el sensor capacitivo de la plataforma, con un precio de 55€ aproximadamente según empresas como *Micro Detectors*. El pluviómetro y anemómetro con relé tienen unos precios similares cercanos a los 70€ según distribuidores como *PCE Ibérica* [90]. El dispositivo del sistema de comunicación entre dron y plataforma cuyo conjunto (el que va en el dron y el que va en la plataforma) tiene un precio de 20,80€ [91].

También hay que tener en cuenta el sistema de motor con deslizadera de guía lineal, el sistema de guías deslizantes que utiliza la plataforma para deslizarse al exterior y sujetarse mientras recibe al dron, el autómata programable o PLC, y el localizador GPS. El sistema motor con deslizadera que mueve la plataforma es muy sencillo de encontrar y lo podemos comprar con un coste de 100€ [92]. Las guías utilizadas en la plataforma, similares a las que se pondrían en un cajón, tienen un coste de 23,90€ [93]. Un autómata programable o PLC puede ser adquirido en una tienda de electrónica o especializada en automatización de procesos, normalmente su coste está entorno a los 110€, el más comúnmente utilizado es el de la empresa *Siemens* [94]. En cuanto al localizador GPS existen una gran variedad, aunque nos interesa aquel que no precise de una tarjeta SIM para funcionar, este tipo, aunque más caros, ofrecen mejores resultados, su precio gira en torno a los 55€ [95].

Como se comentó, el dispositivo de recarga será de la empresa *WiPo*, que también ofrece un producto de estación de recarga. Ha sido complicado obtener un precio aproximado de este dispositivo de recarga *WiForce Light* pero tras indagar y contactar con ellos se ha dado un cifra aproximada de 250€. Por último, quedaría el coste de las ruedas que es de aproximadamente 9€ la unidad; el de los tornillos utilizados de diámetro 5mm y longitud 20mm que es de 2,74€ la unidad; y el precio de la pieza de plástico de forma cónica situada en el centro de la plataforma dentro de la cual irá el dispositivo, similar al utilizado como señalización en deportes, que tienen un coste de 2€ la unidad.

Costes totales de materiales y dispositivos

Tras esta búsqueda se van a plasmar todos estos precios mencionados en una tabla:

Costes de materiales y dispositivos			
Tipo	kg	€/kg	Coste (€)
Materiales			
Material Estructura(Al 2024 T3)	22.6	1.8	40.68
Material Plataforma (Al 1050)	2.4	1.46	3.504
Material carcasa inferior (PE-HD)	9.6	0.8	7.68
Material elementos de unñin (PE-HD)	2.7	0.8	2.16
Material aislante	0.27	5.3	1.431
Tipo	Unidades	€/u	Coste (€)
Dispositivos			
Panel solar 120W Xunzel	2	129	258
Panel solar 280W Atersa	1	122.48	122.48
Batería 12V 300Ah	1	420	420
Regulador de carga solar Victron Energy	1	160	160
Sensores final de carrera RSComponentes	3	17	51
Puvliómetro	1	70 €	70
Anemómetro	1	70 €	70
Sensor capacitivo	1	55	55
Sistema de comunicaciones Gravitech	1	20.8	20.8
Sistema motor y deslizador lineal	1	100	100
Guñias de cajón Bañon y Sanchez	1	23.9	23.9
Autómata PLC de Siemens	1	110	110
Localizador GPS Winess	1	55	55
Dispositivo de recarga WiPo	1	250	250
Ruedas	4	9	36
Tornillos	18	2.74	49.32
Semicono de plástico	1	3	3
TOTAL			1,909.96 €

Ilustración 95: Tabla de costes de materiales y dispositivos. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).

El coste total de la estación de recarga será entonces la suma de los costes de materiales y dispositivos sumados a la suma de los costes de fabricación:

$$C_{total\ estación} = C_{fabricación} + C_{materiales\ y\ disp} \quad [9]$$

$$C_{total\ estación} = 241,91€ + 1909,96€ \approx 2152€ \quad [10]$$

2. Estudio de inversión con caso práctico

En este apartado se quiere dar una idea sobre la rentabilidad de esta estación de recarga desde el punto de vista del empresario que quiere realizar una inversión en esta maquinaria para dar unos servicios nuevos en su empresa, para ello hay que realizar varios supuestos e inventarse un caso práctico.

Imaginemos que existe una empresa que llamaremos “UPCDrones” que se dedica a dar servicios de inspección de infraestructuras ferroviarias mediante el uso de drones. Su negocio principal está en contactar con empresas dedicadas a la supervisión, mantenimiento y reparación de vías. Estas empresas necesitan saber el estado de las vías antes de realizar el mantenimiento, pero les resulta muy complejo hacerlo manualmente, por lo que contratan a UPCDrones. El problema al que se enfrenta UPCDrones es que se deben inspeccionar tramos muy largos de vías y la batería de sus drones es muy limitada, apenas aguantan 30 minutos. Cuando un dron se queda sin batería deben hacerlo regresar si están a tiempo al punto de partida desde donde se opera, de lo contrario, deben aterrizarlo e ir a buscarlo, lo que crea muchos conflictos, tiempo, y gastos añadidos a las operaciones.

UPCDrones ingresa una cantidad total de 1500€ por cada inspección de 50km de vías que realiza a precio fijo. Últimamente haciendo el balance de cuentas se han dado cuenta de esta problemática con la batería de los drones, y se han dado cuenta que afecta negativamente, generando unas pérdidas de 350€ por cada inspección de 50km sobre esos ingresos. UPCDrones está pensando en comprar la estación base de recarga de drones de este Trabajo y estima que, con la compra de la estación, sus pérdidas se reducirían a cero, pero se encuentra en una situación comprometida y necesita saber si la inversión merece la pena a corto plazo.

Se supondrán los ingresos mensuales de la empresa UPCDrones y se estimará que dentro de 4 años la empresa venderá la estación de recarga por 1500€, ya que este tipo de tecnologías avanzan y cambian rápidamente. También se tomará para este estudio un valor de TAE (Tasa anual Equivalente) del 7%, que llamaremos en las fórmulas “r”. Teniendo esto en cuenta habrá que comparar la situación de la empresa de aquí a cuatro años si no comprara la estación y la misma situación si la comprar y vendiera dentro de cuatro años. Para la comparativa se calculará el valor presente y futuro para ambos casos utilizando las siguientes fórmulas:

$$V_{valorPresente} = C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \frac{C_4}{(1+r)^4} \quad [11]$$

$$V_{valorFuturo} = C_0 + C_1 \cdot (1+r) + C_2 \cdot (1+r)^2 + C_3 \cdot (1+r)^3 + C_4 \cdot (1+r)^4 \quad [12]$$

Donde “r” es la Tasa Anual Equivalente y “C_x” son los ingresos de ese año “x” en euros.

Si no compra la estación:

Si la empresa UPCDrones decidiera finalmente no invertir en la estación de recarga, cada mes seguirá perdiendo dinero, suponiendo los ingresos comentados anteriormente con la pérdida de dinero correspondiente cada año tendríamos:

Sin estación base					
Año					
	0	1	2	3	4
Total ingresos	2,300.00 €	3,450.00 €	1,150.00 €	1,150.00 €	3,450.00 €
Valor presente	10,099.48 €	-	-	-	-
Valor futuro	-	-	-	-	13,238.36 €

Ilustración 96: Cálculo de valor presente y futuro si no se invierte en la estación. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).

Si comprara la estación este año:

Si UPCDrones decide invertir en la estación este año para anular sus pérdidas y al cuarto año vende la estación a un precio de 1500€ (650€ menos que el precio de compra) obtendríamos los siguientes valores:

Con estación base					
Año					
	0	1	2	3	4
Ingresos	3,000.00 €	4,500.00 €	1,500.00 €	1,500.00 €	4,500.00 €
Inversión	-2,152.00 €				1,500.00 €
Total ingresos	848.00 €	4,500.00 €	1,500.00 €	1,500.00 €	6,000.00 €
Valor presente	12,165.58 €	-	-	-	-
Valor futuro	-	-	-	-	15,946.60 €

Ilustración 97: Cálculo de valor presente y futuro si se invierte en la estación. Fuente: tabla de elaboración propia (2022).

Resultados:

Si la empresa decidiera no invertir en la estación y seguir como lo hace hasta ahora, el valor presente después de operar durante cuatro años sería de 10099,48€, y en el año 4 verá que ha ganado en cuatro años el equivalente a 13238,36€. Si por el contrario la empresa decidiera invertir en la estación a día de hoy y venderla en 4 años, el valor presente de lo que ganará en los siguientes cuatro años sería de 12165,58€, y en un futuro en el año 4 ese dinero sería el equivalente a 15946,60€. Por lo tanto, podemos concluir diciendo que a UPCDrones sí le merecería la pena realizar esta inversión.

3. Conclusiones

Este ha sido el último capítulo de este Trabajo antes del Anexo y las conclusiones finales. En él se ha estudiado el proceso de fabricación de cada elemento de la estación y se ha calculado un coste total de fabricación por unidad de 241,91€, incluyendo costes de mano de obra y de utilización de la maquinaria. También se han calculado los precios de los materiales utilizados teniendo cuenta el peso de cada elemento y el precio por kilogramo de cada material, así como el precio de todos los dispositivos que han sido comprados a proveedores externos, que resulta la parte más costosa de toda la estación. El precio total de los materiales y de los dispositivos es de 1909,96€.

Con ambos costes se puede calcular el valor final sumando ambas cantidades, lo que daría un total de 2€. Hay que decir que a este precio no se le ha añadido ningún sobrecoste debido a la inversión inicial que debería de hacer una empresa que se dedicara a fabricar estas máquinas, pues se ha dado por hecho que ese coste ya está recuperado con las ventas. El coste inicial que se debería de hacer sería el equivalente a los moldes de inyección de plástico, que rondaría los 3000€.

Para concluir el capítulo se ha simulado un caso práctico de una empresa de inspección con drones que debe decidir si invertir en la estación o no para mejorar sus operaciones y aumentar sus ingresos. Al final se ha concluido que sí debería de hacerlo. Este caso práctico se ha realizado para estudiar un supuesto real, aunque como es lógico cada situación de cada empresa sería diferente y podría darse un caso en el que la inversión no fuese tan exitosa como en este caso.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

Para finalizar el Trabajo, se ha realizado este último pequeño capítulo en el que se recogerán algunas de las conclusiones a las que se han llegado tras la realización del mismo, y que pueden aportar información necesaria para futuras actualizaciones o mejoras en el diseño de la estación base de recarga de drones.

Antes de nada, hagamos un breve repaso sobre el proceso que se ha llevado a cabo en este Trabajo. Se ha comenzado el Trabajo realizando un estudio e investigación acerca de los diferentes diseños ya existentes en la actualidad relacionados con estaciones de recarga de drones. Para esta investigación se han utilizado no solo fuentes provenientes de artículos de revistas de innovación e ingeniería o de proveedores de estaciones similares, sino en su gran mayoría de patentes existentes relacionadas con el tema que nos ocupa. En esta investigación se hizo una revisión de las tendencias que han ido cambiando a lo largo de los años y como los diseños han ido evolucionando hasta obtener lo que conocemos hoy en día como estación de recarga de drones.

Gracias a este proceso de investigación y recopilación de información acerca de este tipo de dispositivos pudimos pasar al siguiente capítulo en el que, basándonos en toda esta información, y analizando las necesidades de la sociedad y la industria que las estaciones son capaces de alimentar, se llegó a una serie de características que el diseño debía cumplir: transportabilidad, versatilidad, no necesidad de conexión a red y protección del dron ante cualquier entorno. Sabiendo esto y llevando a cabo un proceso creativo a base de diseños conceptuales, se llegó a un diseño final de la estación. Se definieron los elementos que la conforman, su funcionamiento automatizado y sus dimensiones tras estudiar los diferentes tamaños de los drones de tamaño medio a los que la estación dará servicio.

Los próximos capítulos han tratado sobre la realización de los cálculos tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos de esos elementos de la estación. Primero se realizó un proceso de selección de materiales con el programa *CES Granta EduPack*, después con esa selección se realizaron las simulaciones de cargas sobre la estación, suponiendo cargas debidas a causas naturales y siguiendo el Código Técnico de Edificación (CTE) para este tipo de cargas. Estas simulaciones de cargas realizadas con *ANSYS 2021 R2* junto con los cálculos de transferencia de calor correspondientes, se obtuvo el espesor de todos los elementos principales de la estación. Después se realizaron los cálculos relacionados con la instalación eléctrica, estudiando el consumo de todos los dispositivos se pudo obtener la capacidad de la batería y paneles necesarios para su funcionamiento. En cuanto a los cálculos electrónicos, se estudió la forma de conectar los dispositivos electrónicos de la estación a un autómat programable PLC y se realizó la programación correspondiente al sistema secuencial automatizado de la estación utilizando la metodología del lenguaje gráfico *Grafset*. Por último, se ha realizado un estudio económico en el que, analizando los procesos de fabricación necesarios para obtener los elementos principales y el coste

de los diferentes dispositivos y materiales, se ha obtenido un coste total de la estación. En este apartado también se ha realizado un caso práctico en el que una empresa realiza una inversión a cuatro años en esta estación de drones y que resultados obtiene.

Al finalizar el Trabajo lo que tenemos es una estación que constará de diferentes materiales como el Al 2024 T3, el Al 1050, el plástico PE-HD y el material aislante XPS. Esta estación tendrá un peso aproximado de 38kg, y podrá recargar un dron de tamaño mediano en un tiempo de mínimo 50 minutos. La estación ha sido diseñada además para poder trabajar durante 3 días enteros sin luz solar en caso de emergencia, y dispone de un sistema de comunicación entre dron-estación que hace posible un proceso automatizado de recepción del dron y recarga sin la necesidad de intervención de un operario. Esta estación funcionará completamente con energía solar y en su parte inferior dispone de unas ruedas plegables para mejorar su maniobrabilidad y un sistema que permite ser instalada en diferentes superficies y localizaciones, o en un vehículo a motor. Será capaz de proteger al dron incluso en situaciones extremas de 200°C, y no permitirá la continuación de la operación si las condiciones de vuelo en el exterior no son óptimas, sirviendo no solo como estación de recarga sino también como un sitio donde proteger al dron si las condiciones climatológicas no permiten continuar con una operación. El precio total de esta estación estaría en torno a los 2152€, que resulta una cifra bastante acertada comparando con los precios elevados que encontramos en la industria de los drones.

Un aspecto a mejorar en la estación sería el peso de la misma de 38kg. En la realización de todos los procesos de diseño y selección de materiales, se ha tenido en cuenta la importancia de obtener una estación lo más ligera posible para hacerla más transportable, sin embargo, este peso no resulta del todo satisfactorio, pues para realizar maniobras ágiles de elevación y montaje de la estación, puede que se precise de la ayuda de una segunda persona. Una solución a este problema en un futuro sería la implementación de otros materiales más avanzados en la estructura principal, como por ejemplo materiales compuestos con matrices de resina y fibras de carbono o de vidrio. También podría pensarse en hacer una estructura principal en forma tubular, que podría ayudar a reducir la cantidad de aluminio utilizado y reducir el peso.

ANEXO: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible son unos objetivos globales propuestos por la ONU en el año 2015 para intentar cambiar las situaciones de pobreza, proteger el planeta y asegurar una prosperidad para generaciones venideras.



Ilustración 98: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: www.un.org (2022).

Se intentará en este Anexo relacionar este Trabajo con alguno de estos objetivos, la idea es encontrar que objetivos se ven afectados con la creación de este diseño de una estación base de recarga de drones.

1. Objetivo principal

De los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, hay al menos uno que se ve directamente relacionado con este Trabajo, ese objetivo es el número 9, llamado “Industria, Innovación e Infraestructura”. No hay que olvidar que el diseño de nuestra estación de recarga tiene como objetivo el ser utilizado en aplicaciones profesionales con drones, sobre todo en aplicaciones relacionadas con la inspección industrial, tanto agrícola, como de infraestructuras y de seguridad y vigilancia. El uso de drones para este tipo de trabajos surge de la necesidad de llegar a lugares muchas veces inalcanzables por el ser humano, o lugares que requerían un alto riesgo para los trabajadores. Sustituyendo estas prácticas con drones, podemos asegurar la integridad de los trabajadores y dar unas mejores condiciones de trabajo.

En la descripción del Objetivo 9 que podemos encontrar en los archivos oficiales de la ONU, podemos encontrar una lista de las metas del mismo:

- 9.1** Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos
- 9.2** Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados
- 9.3** Aumentar el acceso de las pequeñas industrias y otras empresas, particularmente en los países en desarrollo, a los servicios financieros, incluidos créditos asequibles, y su integración en las cadenas de valor y los mercados
- 9.4** De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas
- 9.5** Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo
- 9.a** Facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico a los países africanos, los países menos adelantados, los países en desarrollo sin litoral y los pequeños Estados insulares en desarrollo
- 9.b** Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas
- 9.c** Aumentar significativamente el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados de aquí a 2020

Ilustración 99: Metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 9. Fuente: www.un.org (2022).

Sin ir más lejos, en la meta nº1 se menciona el desarrollar infraestructuras de calidad para desarrollar el bienestar humano y económico. Como se ha explicado hace un momento, la estación puede ser aplicada para inspecciones de infraestructuras, que aseguren un buen mantenimiento de la calidad de las mismas, contribuyendo al bienestar de la sociedad. En el apartado 2 también encontramos cierta relación a la hora de mencionar el contribuir al empleo, ya que al ser tecnologías tan modernas y que están aún en desarrollo se están abriendo grandes abanicos de posibilidades para nuevos puestos de trabajo para introducirse en el mundo de los drones.

Por último, en el punto número cuatro, se habla de reconvertir las industrias para que sean sostenibles, promoviendo la adopción de tecnologías limpias. Se ha explicado antes la importancia de la introducción de los drones y las estaciones a la hora de realizar inspecciones que antes debían ser realizadas por personas en condiciones de mucho riesgo. Esto es un ejemplo claro de introducción de tecnologías modernas en una industria más tradicional, introduciendo poco a poco nuevas tecnologías que eviten ese riesgo y velen por el bienestar de los trabajadores. También cuando se hace referencia a la adopción de tecnologías limpias se ha de resaltar la utilización de paneles solares en nuestra estación, que también influirá de manera indirecta en otro objetivo secundario.

2. Objetivos secundarios

Estos objetivos secundarios son aquellos que de alguna manera se ven influenciados de manera indirecta por el diseño de nuestra estación base de recarga. Estos objetivos son dos: el objetivo 7 de “Energía asequible y no contaminante” y el objetivo 15 de “Vida de ecosistemas sostenibles”.

La estación está diseñada para que funcione de forma autónoma y si necesidad de corriente eléctrica, de manera que simplemente con la energía solar captada, sea capaz de funcionar por sí misma. Al estar utilizando directamente energía solar, se está contribuyendo a un menor consumo de energía de la red, que puede provenir de fuentes no renovables, y se está sustituyendo por energía 100% renovable. Puede que la aportación no sea de unas magnitudes muy grandes, pero de alguna manera si contribuye con su granito de arena para este gran objetivo que ha causado tantos problemas en todos los aspectos tanto políticos como económicos como sociales en los últimos años y que actualmente sigue siendo, incluso más, un objetivo cuyas metas resultan muy complicadas de cumplir.

La relación con el objetivo 15 viene en gran parte también de este aspecto de utilizar energías limpias que contribuyen a un ecosistema más sostenible. Con respecto a este objetivo, también se puede relacionar con el tema del uso de la estación ara aplicaciones de inspección agrícola y control animal en grandes parques y reservas. Con la vigilancia de drones y el uso de este tipo de estaciones, se puede llegar a lugares profundos de la naturaleza y controlar los ecosistemas, la supervivencia de especies en peligro de extinción y el bienestar del ganado y de los cultivos. Todo ello contribuye a un ecosistema más sostenible y controlado.

Llegando un poco más allá y buscando alguna otra relación con algún objetivo más, podríamos pensar en el futuro de la aplicación de los drones. Si bien en cierto que en todo momento hemos hablado en este Trabajo de la aplicación de esta estación para situaciones reales que ocurren actualmente, también podemos pensar en sus aplicaciones en un futuro. Todo el mundo ha oído hablar ya de la aplicación de los drones como reparto de cartas y paquetes a lo largo de estos últimos años, desde que Amazon introdujo la idea en 2017. Desde entonces se han ideando finalidad de diseños y patentes (algunas de ellas mencionadas en el *Estado de la cuestión*) y se empieza a hablar de un futuro cercano de este tipo de aplicaciones. Si esto ocurriera, la estación base de recarga de este trabajo tendría mucho futuro en las ciudades, pudiendo llegar a ser instalada en fachadas, farolas o superficies verticales planas, sobre todo gracias a la opción del soporte incluida en el diseño. Si esto ocurriera en un futuro cercano, el flujo de tráfico en las ciudades generado por las furgonetas y camiones de reparto disminuiría drásticamente, disminuyendo a su vez la contaminación acústica, el consumo de combustibles, y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos de la ciudad. Por todos estos motivos, puede que en un futuro no muy lejano, este Trabajo tenga una relación directa con el objetivo número 11 llamado “Ciudades y Comunidades Sostenibles”.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *DJI. “DJI Dock”. <https://www.dji.com/dock?site=brandsite&from=nav>. 2022*
- [2] *Skydio. “Skydio Dock”. <https://www.skydio.com/skydio-dock>. 2019*
- [3] *Silberg E. et al. US7714536B1. “Battery charging arrangement for unmanned aerial vehicle utilizing the electromagnetic field associated with utility power lines to generate power to inductively charge energy supplies”. Estados Unidos. 2010. Patente.*
- [4] *Godzdanker R. et al. US2014124621A1. “Intelligent self-leveling docking system”. Estados Unidos. 2014. Patente.*
- [5] *Knorr S. WO2015107199A1. “Charging apparatus and method for electrically charging energy storage devices”. Francia. 2015. Patente.*
- [6] *DJI. “DJI Phantom 3”. www.dji.com. URL: <https://www.dji.com/phantom-3>.*
- [7] *DJI. “DJI Inspire 1”. www.dji.com. URL: <https://www.dji.com/inspire-1>.*
- [8] *3D Robotics. “3D Robotics Solo”. www.3dr.com. URL: <https://www.3dr.com/products/hardware>.*
- [9] *Parrot. “Parrot Bebop”. www.parrot.com. URL: <https://www.parrot.com/us/drones>.*
- [10] *Edronic. “Charging Station”. www.edronic.com/es/. URL: <https://www.edronic.com/es>.*
- [11] *Mingxi W. et al. US20160039300A1. “Systems and methods for UAV battery power backup”. China, 2016.*
- [12] *Douglas A. US20160221688A1. “Systems and methods for docking and charging unmanned aerial vehicles”. Estados Unidos. 2016. Patente.*
- [13] *Napoles A. et al. US9421869B1. “Deployment and adjustment of airborne unmanned aerial vehicles”. Estados Unidos. 2016. Patente.*
- [14] *Junxiong Z. et al. CN205060016U. “Charge in air and promote two unmanned aerial vehicle systems of duration”. China. 2016. Patente.*
- [15] *Wankewycz T. WO2017029611A1. “Drone Box”. Francia. 2017. Patente.*
- [16] *Straus I. et al. WO2017109780A1. “Autonomous docking station for drones”. Francia. 2017. Patente.*

- [17] *Curlander J. et al. US20170175413A1. “Multi-level fulfillment center for unmanned aerial vehicles”. Estados Unidos. 2017. Patente.*
- [18] *Johnson D. et al. US20170275025A1. “Luminaire-mounted landing platform for a drone”. Estados Unidos. 2017. Patente.*
- [19] *IdroneImages. “Drone in a Box”. www.idroneimages.com. URL: <https://www.idroneimages.com/diab-surveys>*
- [20] *Gentry N. et al. US010112712B1. “Multi-use UAV docking station systems and methods”. Estados Unidos. 2018. Patente.*
- [21] *Skydio. “Skydio Dock”. www.skydio.com. URL: <https://www.skydio.com/skydio-dock>*
- [22] *Nando Smart Vision. “Nando Docking Station”. www.nando-drone.com. URL: <https://www.nando-drone.com/product/>*
- [23] *WiPo Wireless Power. “WiPort”. www.wipo-wirelesspower.com. URL: <https://www.wipo-wirelesspower.com/>*
- [24] *Hextronics. “Hextronic Global Docking Station”. www.hextronics.tech. URL: <https://www.hextronics.tech>*
- [25] *Heisha Tech. “D80”. www.heishatech.com. URL: <https://www.heishatech.com/d80-drone-charging-dock/>*
- [26] *Heisha Tech. “D135”. www.heishatech.com. URL: <https://www.heishatech.com/d135-drone-charging-dock/>*
- [27] *Jun-pil Y. et al. KR102111055B1. “Wireless charging station for drone”. Corea del Sur. 2018. Patente.*
- [28] *Yoseon Y. KR102077545B1. “Dron station with storage and wireless charging”. Corea del Sur. 2020. Patente.*
- [29] *Boss G. et al. US2018229852A1. “Vehicle and UAV refueling and recharging system”. Estados Unidos. 2018. Patente.*
- [30] *Doe Seop S. KR20200088038A. “Drone and drone payload device”. Corea del Sur. 2020. Patente.*
- [31] *Wenming H. et al. CN108791933A. “A kind of unmanned plane stop fixing device”. China. 2018. Patente.*
- [32] *Yan W. CN106026271A. “Self-stabilizing photovoltaic charging type UAV charging base station”. China. 2018. Patente.*
- [33] *Lee Young K. et al. US9630517B2. “Unmanned aerial vehicle, charging station, and automatic charging system for unmanned aerial vehicle including the same”. Estados Unidos. 2017. Patente.*

- [34] DJI. “*DIJI Dock*”. <https://www.dji.com/dock?site=brandsite&from=nav>. 2022
- [35] Mayur G. “¿*Qué es GRAFCET y para qué sirve?*”. URL: www.autycom.com. España. 2019.
- [36] Autel. “*Evo Lite +*”. www.autel.com. URL: <https://auteldrones.com/products/evo-lite-plus>.
- [37] Autel. “*X-Star*”. URL: <https://volandocondrones.com/autel-x-star/>.
- [38] Autel. “*Evo II*”. URL: <https://auteldrones.com/collections/evo-ii>.
- [39] DJI. “*Phantom 4*”. URL: <https://www.dji.com/es/phantom-4-pro-v2>.
- [40] DJI. “*Mavic Pro Platinum*”. URL: <https://www.dji.com/es/mavic-pro-platinum>.
- [41] DJI. “*Mavic Air 2*”. URL: <https://www.dji.com/es/mavic-air-2>.
- [42] DJI. “*P4 Multispectral*”. URL: <https://www.dji.com/es/p4-multispectral>.
- [43] DJI. “*Mavic 3*”. URL: <https://www.dji.com/es/mavic-3>.
- [44] Parrot. “*Anafi Work*”. URL: <https://www.parrot.com/en/drones/anafi>.
- [45] Parrot. “*Bebop*”. URL: <https://www.parrot.com/en/drones/bebop>.
- [46] Yuneec. “*Q500 4k*”. URL: <https://yuneec-futurhobby.com/yuneec-q500-4k>.
- [47] Skydio. “*Skydio x2*”. URL: <https://www.skydio.com/skydio-x2>.
- [48] Fimi. “*Fimi x8 SE*”. URL: <https://www.fimi.com/fimi-x8-se.html>.
- [49] 3DRobotics. “*Solo*”. URL: <https://planetadrones.es/drone-3dr-solo/>.
- [50] Halo. “*Halo drone Pro*”. URL: <https://halorobotics.com/>.
- [51] GoPro. “*Karma*”. URL: <https://gopro.com/es/es/update/karma-drone>.
- [52] HexoPlus. “*Hexo+*”. URL: <https://hexoplus.com/>.
- [53] Yoseon Y. KR102077545B1. “*Dron station with storage and wireless charging*”. Corea del Sur. 2020. Patente.
- [54] Robert O. et al. “*Evaluation of Toughness in AISI 4340 Alloy Steel Austenitized at Low and High Temperatures*”. Estados Unidos. 1976.
- [55] Andradý A.L. “*Ultraviolet Radiation and Polymers*”. *Physical properties of polymers Handbook, Chapter 51*. Estados Unidos. 2007.
- [56] Juárez E. et al. “*Estudio y análisis del moldeo por inyección de materiales poliméricos termoplásticos*”. *3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a pyme. Vol. 1 N°3*. España. 2012.

- [57] *Beltrán M. “Tecnologías de polímeros, procesado y propiedades”*. Publicaciones *www.Universidad de Alicante. España. 2012.*
- [58] *S&P. “Materiales aislantes térmicos, tipos y aplicaciones”*. URL: *www.Solerpalau.com. España. 2018.*
- [59] *RT Arquitectura. “Aislamiento térmico, tipos y características”*.URL: *www.rtarquitectura.com. España. 2022.*
- [60] *Barnacork. “ Corcho aislante”*. URL: *www.barnacork.com. España. 2022.*
- [61] *ISO TC/10-Technical Product Documentation. “IEC 81346 Industrial systems, installations and equipment and industrial products”*. UNE Normalización Española. *www.une.org. España. 2022.*
- [62] *Shon C. “¿Cuál es la velocidad de viento segura para los drones DJI?”*. *Drones and cameras. Estados Unidos. 2022.*
- [63] *Saioa Control. “Saioa Control SC-Ws102”*. *www.saioacontrol.com. Estados Unidos, 2022.*
- [64] *Z-Wave Plus. “Z-Wave Plus Popp Z-Rain”*. *www.interruptorestactileseu.com. España. 2022.*
- [65] *WiPo WirelessPower. “WiPo WirelessPower WiForce Light”*. *www.wipowirelesspower.com. Estados Unidos. 2022.*
- [66] *FlytNow. “FlytNow Drone Stations”*. *www.flytnow.com. Estados Unidos. 2022.*
- [67] *Embention. “Conexiones e interfaces de comunicaciones en drones”*. *www.embention.com. España. 2018.*
- [68] *Antrella. “Antrella 600mm SFU 1204”*. *Especificaciones técnicas. www.amazon.com. España.2022.*
- [69] *Leroy Merlin. “Panel solar fotovoltaico XUNZEL 120W”*. *wwwleroymerlin.es. España. 2022.*
- [70] *AutoSolar. “Panel solar monocristalino 280W”*. *www.autosolar.es. España. 2022.*
- [71] *InfoJobs. “Portal de empleo InfoJobs”*. *www.infojobs.es. España 2022.*
- [72] *LinkedIn. “Portal de empleo LinkedIn”*. *www.linkedin.com. Estados Unidos. 2022.*
- [73] *Job Today. “Portal de empleo JobToday”*. *www.jobtoday.com. Gran Bretaña. 2022.*
- [74] *Burgos A. “Estimar los costes de la manufactura”*. *Experts Training. América Latina. 2022.*

- [75] *María Victoria M. “Estimación de Costes por Procesos Productivos”. Universidad de Sevilla. España. 2022.*
- [76] *Anónimo. “El Coste de los Procesos: ¿Cómo Optimizar el Uso de los Recursos?”. Corporación Universitaria de Asturias. España. 2022.*
- [77] *Makita. “Makita Amoladora GA4530R”. Bauhaus. www.bauhaus.es. España.2022*
- [78] *Herraiz. “Taladro de sobremesa Industrial B16H Optimum”. www.herraiz.com. España. 2022.*
- [79] *Fronius. “¿Qué es la soldadura TIG?”. www.fronius.com. España. 2022.*
- [80] *Modrego. “Soldador inverter tig digital solter icontig 1880 hf”. www.modrego.es. España. 2022.*
- [81] *Joseph W. et al. “Técnica y práctica de la soldadura.2007”. Western Michigan University, Kalamazoo. Estados Unidos. 2007.*
- [82] *Immould. “servicio de cotización gratuita”. www.immould.com. Estados Unidos. 2022.*
- [83] *Vivas M.A. “Estudio energético en inyectoras de plástico”. WEB Development and Engineering Simulations. España. 2014.*
- [84] *Xunzel. “Panel solar fotovoltaico Xunzel 120W 12V”. Leroy Merlin. www.leroymerlin.es. España. 2022.*
- [85] *Artesa. “Panel solar Artesa A-280P GS”. Artesa shop. www.artesa.shop. España. 2022.*
- [86] *Tensite. “Batería de gel 12V 300Ah”. Autosolar. www.autosolar.es. España. 2022.*
- [87] *Victron Energy. “SmartSolar MPPT Charge controller”. Amazon. www.amazon.es. España. 2022.*
- [88] *Adajusta. “Repartidor de conexión tetrapolar de 12 salidas”. www.adajusta.es. España. 2022.*
- [89] *RSComponentes. “RS Pro Final de carrera con Palanca de Rodillo IP65”. www.rescomponentes.com. España. 2022.*
- [90] *PCE Iberica. “Anemómetro PCE-WS P”. www.pceiberica.com. España. 2022.*
- [91] *Gravitech. “Gravitech RS232”. Mouser Spain. www.mouser.es. España. 2022.*
- [92] *FUYU. “FUYU FSL 40”. Amazon. www.amazon.com. España. 2022.*
- [93] *Bañon y Sanchez. “Juego guías H53 100kg”. www.bañonyshanchez.es. España. 2022.*

- [94] *Siemens. “Siemens 6ED1052-1CC08-0BA1”. PLC City. www.plc-city.com. España. 2022.*
- [95] *Winess. “GPS Winess GPS Tracker localization”. Amazon. www.amazon.es. España 2022.*