



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE

MEMORIA PRESENTADA POR:

Sergio Gómez Esteban

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

DIRECTOR:

Dra. Amparo Ribes Greus

CODIRECTOR:

Roberto Teruel Juanes

Septiembre de 2016

AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE.....	1
CAPITULO 1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	8
1.1- ANTECEDENTES.....	10
1.2- OBJETO.....	13
CAPITULO 2. GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO ELÉCTRICO	16
2.1 Pilas de combustible	18
2.1.1 Tipos de pila de combustible y aplicaciones	20
2.1.1.1 Pila de combustible alcalina (AFC).....	21
2.1.1.2 Pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC).....	21
2.1.1.3 Pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC).....	21
2.1.1.4 Pila de combustible de óxido sólido (SOFC).....	21
2.1.1.5 Pila de combustible de membrana de intercambio (PEMFC).....	22
2.1.2 Pilas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC). Pilas de combustible alimentadas por alcoholes	29
2.2.- Baterías de Litio-ion.....	41
2.2.1. Carga y descarga.....	42
2.2.2. Construcción.....	42
2.2.3. Formatos	43
2.2.4. Electroquímica.....	44
2.2.5. Electrolitos.....	45
2.2.6. Ventajas e Inconvenientes.....	46
2.2.7. Especificaciones según el diseño.....	50
2.2.8. Procedimiento de carga	50
2.2.9. Instrucciones de uso.....	51

2.2.10. Dispositivos con elementos múltiples.	52
2.2.11. Seguridad	53
2.2.12.- Investigación.	54
2.3- Baterías de polímero de litio (Li-poly).....	55
2.3.1. Diseño original	55
2.3.2. Tecnología	55
2.3.3. Aplicaciones.	57
2.3.4.- Los vehículos eléctricos.	58
2.3.5.- Desventajas.	58
2.4. Baterías de fosfato de Litio-Hierro (Li – Fe).....	59
2.4.1 Historia.	59
2.4.2. Ventajas y desventajas.....	59
2.4.3. Seguridad.....	61
2.4.4. Aplicaciones.	61
CAPITULO 3.- DIMENSIONAMIENTO, SELECCIÓN DE COMPONENTES Y CALCULOS JUSTIFICATIVOS.....	64
3. Dimensionamiento y Selección de componentes	66
3.1 Dimensionamiento del Drone.....	66
3.2- Selección de componentes	67
3.3- Diseño del cableado necesario. Potencia del motor, intensidades y tensiones	70
3.4 Algunas precauciones sobre seguridad en el uso de la UAV.	72
CAPITULO 4.- DISTRIBUCION E INSTALACION DE COMPONENTES.....	74
4. Distribución e Instalación de componentes	76
CAPITULO 5.- IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE ALIMENTACION EN EL DRONE	80
5. Implantación del sistema de alimentación en el Drone.	82
5.1 Pilas de combustible DMFC 50W.....	83

5.2 Baterías de polímero de litio de 4500 mA y 11.1 V.....	83
5.3 Unidad de Control de Alimentación (ACU).....	85
CAPITULO 6. PROGRAMACION Y CONFIGURACION DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.....	92
6.1 Instalación del programa de configuración del variador de velocidad en el PC ..	94
6.2. Conexión del ESC al PC.....	95
6.3 Configuración de los parámetros del ESC.....	96
6.4 Justificación de los ajustes del variador	97
6.4.1 Brake/reverse type.	97
6.4.2 Brake Amount	98
6.4.3 Reverse Throttle	98
6.4.4 Puch Control.....	98
6.4.5 Drag Brake.....	99
6.4.6 Start Power	99
6.4.7 <i>CutOff Voltaje</i> (Voltaje de Corte).....	99
6.4.8 <i>Motor Timing</i> (avance del motor).....	100
6.4.9 Motor type	101
6.4.10 Arming Time	101
6.5 Ajuste de los recorridos de la Emisora.	102
CAPITULO 7. INSTALACION, CONFIGURACION Y UTILIZACION DEL eLogger V3	104
7.1 Instalación de eLogger V3.....	106
7.2 Configuración eLogger.....	107
7.3 Utilización de eLogger	112
7.3.1 Captura de Datos	112
7.3.2 Lectura de Datos.....	113
7.3.3 Visualización gráfica de los datos	115

CAPITULO 8. DIMENSIONADO DE NUESTRA PROPIA PILA DE COMBUSTIBLE DMFC.....	118
8.1 Superficie de la celda.....	121
8.2 Numero de celdas	121
8.3 Diseño final de la pila DMFC	122
CAPITULO 9. CONCLUSIONES FINALES.....	124
9.- Conclusiones.	126
CAPITULO 10. REFERENCIAS	128
10.1.- Publicaciones periódicas y libros.	130
10.2.- Paginas Web.....	131

CAPITULO 1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1- ANTECEDENTES

Los **vehículos no tripulados** para aplicaciones aeronáuticas y navales están cobrando cada vez más importancia, dado el número de aplicaciones que se les puede encomendar. Se trata por tanto de un campo en el que el mercado está aumentando vertiginosamente en el que no hay pilas diseñadas *ex profeso* para tales aplicaciones. Estos vehículos reciben diferentes denominaciones dependiendo del campo, de la aplicación y del ámbito en el que este trabajo. En general, en el caso de **aplicaciones aeronáuticas** se suelen denominar como UAV (Unmanned Aerial Vehicle, Vehículo Aéreo No Tripulado), RPV (Remotely Piloted Vehicle, Vehículo pilotado remotamente), etc. De forma global también se denominan como “**drones**”. Todos estos vehículos pueden controlarse de forma remota desde tierra u operar de forma autónoma siguiendo rutas preprogramadas, llegando incluso a tener cierta capacidad de decisión. Entre las aplicaciones civiles puede citarse: vigilancia, salvamento marítimo, vigilancia aduanera, detección y seguimiento de incendios, control del tráfico rodado, control de inmigración ilegal, gestión de emergencias y catástrofes naturales, control agroforestal (fumigación, deforestación), monitorización de bancos de pesca, vigilancia energética (oleoductos, líneas eléctricas), inspección de grandes infraestructuras, meteorología, fotografía aérea (cartografía, topografía), publicidad, operación en ambientes radiológicos (por ejemplo, en el accidente nuclear de la central de Fukushima en Japón), distribución de ayuda humanitaria en lugares remotos, etc.

En este contexto, la tecnología basada en el uso de pilas de combustible se perfila como una alternativa para mejorar la autonomía en este tipo de vehículos. Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos, capaces de producir energía eléctrica a partir de una reacción química que se produce en sus electrodos. Entre sus ventajas cabe destacar su funcionamiento en régimen continuo (a diferencia de las baterías o pilas) y las elevadas eficiencias de conversión (respecto de sistemas basados en la combustión).

En particular, las pilas alimentadas por bioalcoholes (metanol, DMFC¹, y etanol, DEFC²) presentan numerosas ventajas respecto a otras pilas de baja temperatura alimentadas por hidrógeno en aplicaciones vehiculares. Las pilas DMFC y DEFC presentan elevadas eficacias, bajo impacto ambiental y utilizan biocombustibles. Sin embargo, entre sus limitaciones, cabe destacar el efecto *crossover* (flujo cruzado) que provoca reducciones considerables de eficacia y pérdidas de combustible. Gran parte de la investigación en el campo de estas pilas se centra en evitar o minimizar el efecto *crossover*, fundamentalmente a través del desarrollo de nuevos electrolitos poliméricos.

Al margen de ensayos sobre nuevos materiales para pilas DMFC y DEFC, basados en su caracterización físico-química y de sus propiedades de transporte, se deben realizar estudios sobre la viabilidad de los nuevos sistemas en aplicaciones reales. Estos estudios deben considerar la potencia requerida de los sistemas, las dimensiones de los dispositivos, la durabilidad de los materiales en condiciones de funcionamiento, etc...

En este proyecto se pretende buscar una solución al problema de autonomía que deben afrontar los vehículos aéreos eléctricos, ya que las baterías que usan, aunque tienen mucha potencia, su densidad energética es muy baja, por lo que el tiempo de vuelo es reducido. De este modo, los sistemas basados en pilas de combustible ampliarían considerablemente el tiempo de vuelo, además de que estos sistemas permitirán mejorar algunos de los aspectos negativos de las baterías como el tiempo de recarga o las pérdidas de rendimiento con los ciclos de cargar y descarga.

Basándonos en los datos de potencia y peso de las pilas de combustible DMFC actuales, hemos diseñado una UAV que sea capaz de volar con esas especificaciones de potencia y carga alar. El UAV al que se ha acoplado la pila de combustible es un modelo diseñado por el grupo de investigación cuyo responsable es el Dr. Juan Antonio García Manrique, del Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), el cual se va a usar para la competición europea “Air Cargo”, que trata de estimular el interés por la aeronáutica construyendo un avión de unas dimensiones y potencia dadas con la intención de levantar el máximo peso posible. Dado que la potencia marcada por la organización es

¹ Direct Methanol Fuel Cells

² Direct Ethanol Fuel Cells

TFM Sergio Gómez Esteban

bastante limitada, y la gran capacidad de carga que tienen los aviones, es perfecto para cargar nuestras pesadas pilas de combustible de limitada potencia.

1.2- OBJETO

El presente proyecto persigue diseñar sistemas, a pequeña escala, que permitan estudiar el comportamiento de nuevas pilas de combustible en aplicaciones vehiculares. En particular, el objetivo principal es aumentar la autonomía de los vehículos aéreos impulsados mediante sistemas de generación eléctrica adaptando un sistema basado en pilas de combustible que amplíe el tiempo de vuelo al mismo tiempo que mitigue el tiempo de recarga o las pérdidas de rendimiento con los ciclos de carga y descarga que presentan las actuales baterías.

De este modo, las actividades realizadas se centran fundamentalmente en el dimensionado de la UAV, dimensionar y colocar la electrónica adecuada tanto para hacer volar a la UAV como para medir todos los valores de tensión corriente y temperatura de las diferentes partes de la UAV. Finalmente dimensionar las necesidades y requerimientos exigibles a la pila de combustible que se emplee, así como diseñar una centralita que se encargue de gestionar los diferentes sistemas de alimentación de los que dispone la UAV en función de las exigencias que demanda el motor en cada momento con el fin de conservar la integridad de cada uno de los sistemas de alimentación.

El objetivo principal puede desglosarse en diferentes objetivos parciales:

- Dimensionado del tamaño de la UAV y selección de la electrónica adecuada para esas dimensiones y requerimientos energéticos.
 - Dimensionar la UAV.
 - Seleccionar la electrónica adecuada para el avión.
- Diseñar y programar la unidad de control de Alimentación (ACU).
 - Estudiar los requisitos energéticos que necesitara el drone para despegar y mantenerse en el aire.
 - Diseñar la electrónica necesaria para gestionar la energía en función de los requisitos del motor.
 - Hacer flujograma de la unidad de control de alimentación.
 - Elegir y programar la centralita que gestionara la electrónica.

- Programación y configuración del variador de velocidad (ESC).
 - Instalación del programa de configuración del variador de velocidad.
 - Configuración del ESC en función de los requisitos necesarios para el drone.
- Elegir, instalar y configurar el eLogger o telemetría.
 - Estudio de mercado de cuál es la mejor telemetría para nuestras necesidades.
 - Instalar y configurar el eLogger para su uso en el drone.
- Dimensionar la pila de combustible.
 - Estudio de las diferentes pilas de combustible del mercado con la intención de dimensionar el tamaño necesario que debería tener la pila de combustible del drone.

Se espera que los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto sean útiles para el estudio de pilas de combustible alimentadas por bioalcoholes, tanto desde el punto de vista de diseño y estructural, como de las prestaciones en la generación de potencia (velocidad de respuesta, rendimiento, valores óptimos...), y estudiar su viabilidad a escala real.

CAPITULO 2. GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO ELÉCTRICO

2. Generación y almacenamiento eléctrico

En el presente capítulo se describen algunos de los distintos métodos para la obtención de energía eléctrica en sistemas vehiculares:

- Pilas de Combustible.
- Baterías de Litio-ion
- Baterías de polímero de Litio-ion (Li-poly)
- Baterías de fosfato de Litio-hierro

2.1 Pilas de combustible

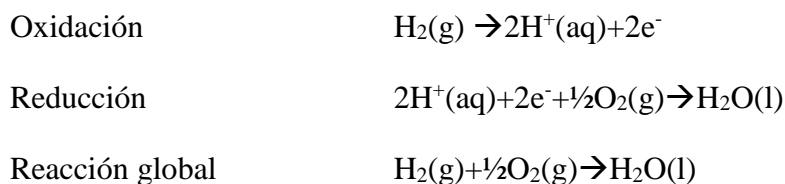
Una pila de combustible es un dispositivo que convierte energía química en energía eléctrica a partir de una reacción electroquímica que conlleva la oxidación de un combustible y la reducción de un comburente (normalmente oxígeno). A diferencia de la pila eléctrica o batería, una pila de combustible no se agota ni necesita ser recargada, sino que funciona indefinidamente mientras se le suministre combustible y comburente.

La primera pila de combustible se fabricó en 1839 por William Grove y consistía en dos barras de platino rodeadas por tubos que contenían hidrógeno y oxígeno respectivamente sumergidos en un electrolito ácido. En 1932, Francis Bacon presentó una pila de combustible que utilizaba hidrógeno, oxígeno, un electrolito alcalino y electrodos de níquel. En 1952, Bacon y algunos colaboradores llegaron a conseguir una pila de combustible de 5 kW. A partir de finales de los años 50 se produjo un gran avance en la tecnología de pilas de combustible impulsado por las agencias aeroespaciales (NASA) dada la necesidad de utilizar sistemas compactos para generar electricidad en las misiones espaciales. En las misiones tripuladas de los programas Gemini y Apollo durante los años 60 y 70 se utilizaron pilas de combustible alcalinas, que proporcionaban energía y agua.

En la actualidad, el campo de aplicación de esta tecnología se ha ampliado a aplicaciones terrestres. Dada su flexibilidad de operación, se han diseñado y utilizado pilas de combustible en aplicaciones militares, en sistemas de generación eléctrica estacionaria de distintos rangos de potencia, en sistemas vehiculares y en aplicaciones

portátiles de baja potencia, utilizando para ello distintos materiales y condiciones de trabajo.

En una pila de combustible, el compuesto utilizado como combustible (normalmente hidrógeno) se oxida al ponerse en contacto con el ánodo. Los electrones generados pasan a través de un circuito externo generando así corriente eléctrica continua, y reaccionan con el comburente (normalmente oxígeno) en el cátodo, reduciéndolo. En las reacciones de oxidación/reducción intervienen además otros compuestos iónicos que se transportan a través del electrolito. Para una pila alimentada con hidrógeno y oxígeno, el producto final de esta reacción es la generación de corriente continua, agua y calor, de acuerdo con las siguientes reacciones:



El esquema general de una pila de combustible alimentada por hidrógeno se puede observar en la Figura 2.1.

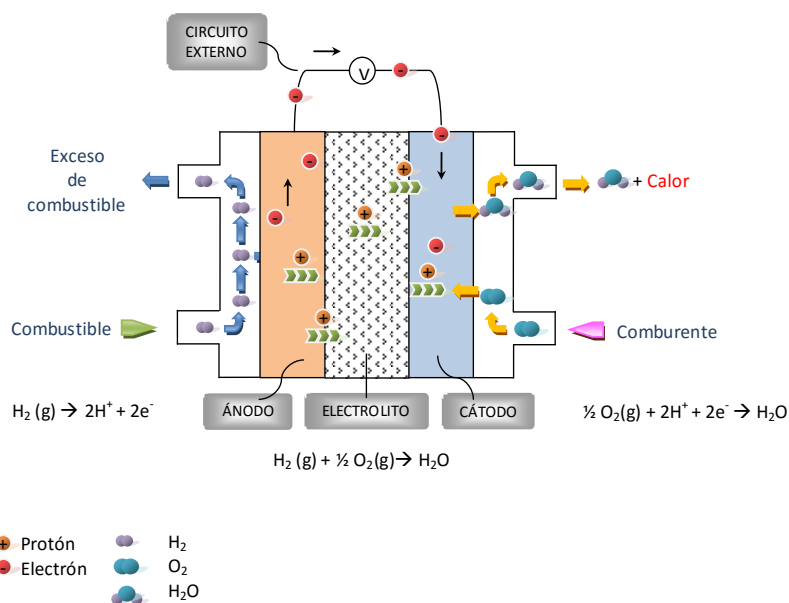


Figura 2.1. Esquema general de una pila de combustible de hidrógeno.

2.1.1 Tipos de pila de combustible y aplicaciones

Las pilas de combustible se pueden clasificar en función de diferentes criterios, tales como el catalizador utilizado, los rangos de temperatura de funcionamiento o el combustible empleado, entre otros. Sin embargo el criterio más común es el del tipo de electrolito, pudiendo distinguir entre los siguientes tipos de pilas de combustible:

- AFC³: Pila de combustible alcalina.
- PAFC⁴: Pila de combustible de ácido fosfórico.
- MCFC⁵: Pila de combustible de carbonatos fundidos.
- SOFC⁶: Pila de combustible de óxido sólido
- PEMFC⁷: Pila de combustible de membrana de intercambio.

³ Alkaline Fuel Cell

⁴ Phosporic Acid Fuel Cell

⁵ Molten Carbonate Fuel Cell

⁶ Solid Oxide Fuel Cell

⁷ Proton Exchange Membrane Fuel Cell o Polymeric Electrolyte Fuel Cell

2.1.1.1 Pila de combustible alcalina (AFC).

En estas pilas se emplea como electrolitos soluciones acuosas de KOH de entre 30% y 35% en peso. Su principal inconveniente es la generación de carbonatos al reaccionar el electrolito con impurezas del combustible (H_2) y del comburente (O_2). A concentraciones superiores a 50 ppm el CO_2 reacciona con el electrolito provocando una conducción iónica y eléctrica deficiente. Asimismo se ha de considerar la necesidad de reposición del disolvente por evaporación.

2.1.1.2 Pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC).

El electrolito utilizado en este tipo de pilas es una disolución concentrada de ácido fosfórico (85%-98%). Dado que el ácido tiene poca reactividad con el dióxido de carbono, se pueden utilizar combustibles que contengan hasta un 30% de CO_2 sin necesidad de purificar totalmente el hidrógeno y el aire.

2.1.1.3 Pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC).

Las pilas MCFC contienen una mezcla de carbonatos de metales alcalinos fundidos como electrolito. El transporte de la carga lo realizan los iones carbonato (CO_3^-) que se consumen en el ánodo y se regeneran en el cátodo. Estas pilas operan a altas temperaturas para alcanzar altos valores de conductividad, evitando así el uso de catalizadores compuestos por metales nobles; de modo que es posible fabricar los electrodos con níquel sinterizado. Otra ventaja es la posibilidad de utilizar combustibles que contengan monóxido y dióxido de carbono sin peligro de envenenamiento catalítico.

2.1.1.4 Pila de combustible de óxido sólido (SOFC).

Las pilas SOFC utilizan óxidos sólidos (cerámicas impermeables) como electrolito lo que permite operar a temperaturas elevadas ($600^\circ C - 1000^\circ C$) y alcanzar así elevadas conductividades protónicas. La carga se transfiere mediante el transporte de iones de oxígeno (O^-) desde el cátodo hasta el ánodo a través de una red cristalina. El material más frecuentemente utilizado como electrolito es el óxido de zirconio (ZrO) con pequeñas cantidades de óxido de calcio (CaO), ytrio (Y_2O_3), y terbio (Yb_2O_3) o una

mezcla de tierras raras. Además, el uso de temperaturas elevadas permite obtener calor para la producción adicional de energía eléctrica u otros usos.

Existen dos configuraciones básicas de pilas de combustible de óxidos sólidos: la pila plana (PSOFC⁸) y la tubular (TSOFC⁹), tal y como se muestra en la Figura 2.4.

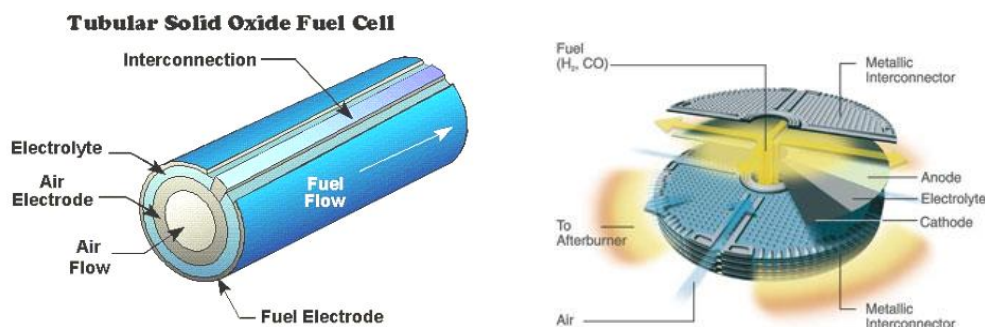


Figura 2.2. Pila de combustible de óxido sólido de conformación cilíndrica.

2.1.1.5 Pila de combustible de membrana de intercambio (PEMFC).

Las pilas PEMFC utilizan como electrolito una membrana polimérica conteniendo grupos funcionales capaces de intercambiar cationes. Normalmente, se trata de membranas con carácter fuertemente ácido debido a la incorporación a la matriz de grupos funcionales sulfónicos que transporta los protones generados (H⁺). El material comercial más extensamente utilizado como electrolito en PEMFC alimentadas por hidrógeno es el Nafión®, cuya estructura se muestra en la Figura 2.3.

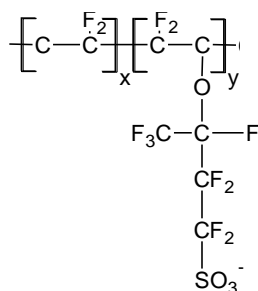


Figura 2.3. Estructura molecular del Nafión

⁸ Planar Solid Oxide Fuel Cell

⁹ Tubular Solid Oxide Fuel Cell

Tabla 2.1 Características principales de los distintos tipos de pilas de combustible.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE (I)			
CARACTERÍSTICAS O PROPIEDAD	TIPO DE PILA DE COMBUSTIBLE		
	AFC	PEMFC	DMFC
ELECTROLITO	Hidróxido potásico 6-12N	Ácido sulfónico fluorado incorporado en una membrana polimérica conductora de protones con un 28% de agua	Metanol líquido o gaseoso
MATRIZ DEL ELECTROLITO	Matriz porosa de asbestos	-	Polímeros como Alcohol polivinílico (PVA)
COMBUSTIBLE	Hidrógeno muy puro	Gas rico en hidrógeno con poco CO	Agua/Metanol
OXIDANTE	Oxígeno de alto grado de pureza (CO ₂ <50ppm)	Aire/Oxígeno	Aire/Oxígeno
ÁNODO	Níquel de doble porosidad	Carbón poroso con platino (0,2mg/cm ²) en dos capas como catalizador disperso impregnado de materiales de la membrana	Catalizador con alta carga de platino (4mg/cm ²)

		solubilizados	
CARACTERÍSTICAS O PROPIEDAD	TIPO DE PILA DE COMBUSTIBLE		
	AFC	PEMFC	DMFC
CÁTODO	Estructura porosa de óxido de níquel con litio	Carbón poroso con platino	Platino negro
PLACA BIPOLAR	-	Grafito	-
TEMPERATURA (°C)	25 -120	<100	<130
PRESIÓN(BARES)	2	2	3
DENSIDAD DE ENERGÍA(kW/kg)	0,08 - 6	1	-
DENSIDAD DE POTENCIA (kW/m ²)	-	20	6
DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/cm ²)	420 -1000	2000	100 - 800
EFICIENCIA ELECTRICA	-	50	-
APLICACIONES	Usos militares de corta duración y proyectos espaciales	Transporte residencial en producción de electricidad y calor	Uso en de Transporte
SITUACIÓN TECNOLÓGICA	Desarrollo total	Estado precomercial	Fases iniciales de I+D

ELECTROLITO	Ácido fosfórico	Mezcla de carbonatos de litio, potasio, sodio y metales alcalinotérreos estabilizados	Óxido de circonio con y trio
MATRIZ DEL ELECTROLITO	Carburo de silicio teflonado	Polvo cerámico en forma de baldosas o matriz de aluminio de litio	
COMBUSTIBLE	Eliminación de azufre de los gases de alimentación	Relaciones de 4/1 de moles de H ₂ /CO ₂	Hidrógeno con CO y CO ₂
OXIDANTE	Aire seco	Composición superior a 2 moles CO ₂ por cada mol de O ₂	Aire
CARACTERÍSTICAS O PROPIEDAD	TIPO DE PILA DE COMBUSTIBLE		
	AFC	PEMFC	DMFC
ÁNODO	Carbón poroso dopado con platino (5kg/Mwe)	Polvo de níquel sinterizado con pequeñas cantidades de cromo o aluminio en espesores de 0,8 - 1 mm	Material poroso compuesto(cerámico metálico) de óxido de níquel y circonio estabilizado con ytrio
CÁTODO	Carbón poroso dopado con platino (5kg/Mwe)	óxido de níquel litiado de 0,4-0,8mm de espesor	Manguito de lantano dopado con estroncio
PLACA BIPOLAR	Grafito	Acero inoxidable de 0,4-0,6mm	Cromito de lantano cromado

TEMPERATURA (°C)	190	650	850 -100
PRESIÓN(BARES)	8	Variable de diseño	Variable de diseño
DENSIDAD DE ENERGÍA(kW/kG)	-	-	-
DENSIDAD DE POTENCIA (kW/m ²)	0-8 - 9,2	0,8-1,3	16
DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/cm ²)	300	170 - 300	350 – 400
EFICIENCIA ELECTRICA	40-50	50-55	50
APLICACIONES	Cogeneración en unidades de 200kWe	Cogeneración y producción centralizada de electricidad (>1MW)	Uso residencial y PYMES en generación de energía eléctrica, ACS y energía térmica para calefacción. (1kW) Cogeneración y producción centralizada de electricidad (>1MW)
SITUACIÓN TECNOLÓGICA	Fase comercial	Fase de I+D Experimentación con prototipos	Fase de I+D Experimentación con prototipos

Tal y como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad las distintas aplicaciones de las pilas de combustible abarcan una amplia variedad de productos en dispositivos portátiles, vehículos y generadores de calor y energía en aplicaciones estacionarias.

Industria militar

Las pilas de combustible pueden aportar una solución de generación energética válida para el equipamiento militar portátil terrestre o marítimo. Desde 1980 la marina estadounidense ha empleado pilas de combustible en embarcaciones para el estudio de profundidades marinas y en submarinos no tripulados. Dada su eficacia se reduce la necesidad de combustible durante las maniobras. Un ejemplo de estos vehículos es el Quantum AMV (*Alternative Mobility Vehicle*) “Aggressor” (Figura 5), propulsado por una pila de combustible. Es capaz de acelerar de 0 a 60 km/h. en poco más de 4 segundos, y alcanzar velocidades máximas de 130 km/h. Además se puede utilizar como generador eléctrico.



Figura 2.4. Quantum AMV vehículo militar alimentado por pilas de combustible.

Dispositivos portátiles

Las pilas de combustible ofrecen serias ventajas respecto a las baterías convencionales, tales como mayores tiempos de operación, reducción del peso y facilidad de recarga. Su aplicación en ordenadores portátiles, teléfonos móviles y videocámaras, requiere baja temperaturas de operación, disponibilidad de combustible y una activación rápida. Por ello la investigación en este sector se centra en pilas de combustible PEMFC y DMFC. Existen diversos prototipos de dispositivos móviles alimentados por pilas de combustible, como el teléfono móvil *Samsung Electro-Mechanics*, que utiliza una micro-pila de combustible y un generador de hidrogeno alimentado por agua (ver Figura 2.6).

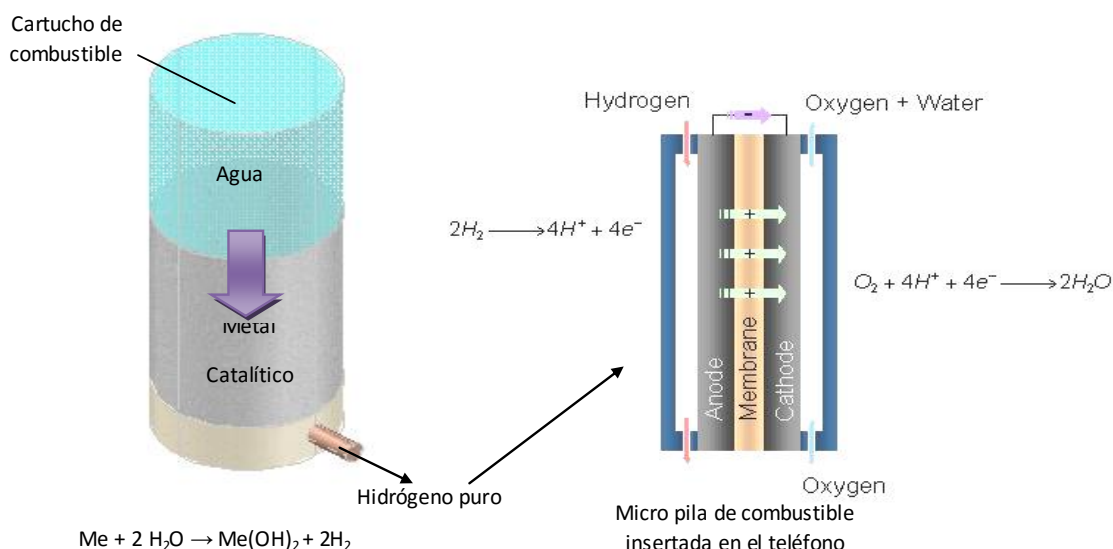


Figura 2.5. Esquema de funcionamiento del móvil de Samsung Electro-Mechanics.

Transporte

A partir de los años 80, el desarrollo de pilas de combustible para vehículos ha ido en continuo aumento, debido a la necesidad de poseer automóviles, camiones y autobuses más eficientes y medioambientalmente más respetuosos. Las pilas de combustible utilizada en vehículos deben ser capaces de alcanzar las temperaturas operativas con rapidez, proveer una economía competitiva de combustible y ofrecer unas prestaciones aceptables.

Las pilas de membrana de intercambio protónico (PEMFC) son las más adecuadas para este tipo de aplicaciones, dado su baja temperatura de funcionamiento (alrededor de 80°C) y su ligereza. Las pilas PEMFC pueden alcanzar rápidamente la temperatura operativa y ofrecen una eficacia superior al 60 % comparada con el 25 % que se consigue con los motores de combustión interna. En particular, investigaciones efectuadas en el *Pembina Institute* indican que los vehículos que emplean metanol como combustible pueden alcanzar eficiencias de 1,76 veces las de vehículos impulsados por un motor de combustión de gasolina.

Algunos de los fabricantes más importantes a nivel mundial, tales como General Motors, Ford, Daimler Chrysler, Toyota u Honda entre otros, disponen de prototipos con esta tecnología. Se han realizado ensayos en autobuses impulsados con pilas PEMFC en Vancouver y Chicago, y ya se están llevando a cabo experiencias similares en distintas ciudades de Alemania y otras diez ciudades europeas, incluida Madrid.

De hecho las últimas investigaciones realizadas para su aplicación en el transporte han sido realizadas por Boeing que consiguió hacer volar el primer avión tripulado propulsado por pilas de combustible de hidrógeno.



Figura 2.6 Primer avión propulsado por pila de combustible de hidrógeno

El avión mide 16 metros y alcanza en vuelo una velocidad de 100 kilómetros por hora, alcanzado los mil metros de altura. Para ello el avión consta de un sistema híbrido de baterías de ión litio y pila de combustible de hidrogeno. El sistema utiliza la potencia de las dos fuentes de energía para despegar y alcanzar la velocidad de crucero, una vez alcanzada el sistema desconecta las baterías, para mantener la velocidad y altitud solo con la energía generada por las pilas de combustible de hidrogeno.

Para nuestro proyecto vamos a utilizar las pilas de combustible de intercambio protónico, de las cuales hablaremos extensamente a continuación.

2.1.2 Pilas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC). Pilas de combustible alimentadas por alcoholes

Las pilas de combustible PEMFC son muy versátiles dado que proporcionan energía eléctrica en un amplio rango de potencias, lo que permite su aplicación tanto en el campo de la automoción como en dispositivos portátiles y de baja potencia. Sin

embargo, la tecnología PEMFC aún se enfrenta a dificultades que relentizan su comercialización, fundamentalmente derivadas de su elevado coste y limitada durabilidad.

Principales elementos de una pila de combustible tipo PEMFC

Membrane Electrode Assembly – MEA

La parte central de una celda de PEMFC se conoce como ensamble electrodo-membrana o *MEA*¹⁰ y consta de dos electrodos porosos impregnados con electrocatalizador (típicamente platino) y la membrana conductora de protones situada entre ellos. La MEA se encuentra flanqueada por difusores de gas y finalmente por placas colectoras de corriente.

A las bajas temperaturas a las que operan las PEMFC las reacciones electroquímicas transcurren de manera lenta, por lo que es necesaria la presencia de un electrocatalizador, que disminuya la energía de activación de las reacciones, tanto en el ánodo como en el cátodo. El material catalítico se encuentra disperso dentro de los poros de los electrodos, donde se produce la transferencia de carga. La capa de electrocatalizador se encuentra adyacente a cada lado de la superficie de la membrana. El electrocatalizador, normalmente platino y carbón (Pt/C) de alta superficie específica, encarece la pila. El Pt/C debe estar íntimamente mezclado con la membrana ionomérica en sus superficies y tener tanto conductividad iónica (protónica) como electrónica. De esta manera se forma una interfase ternaria donde entran en contacto el gas de reacción, el electrodo y el electrolito (Figura 2.7).

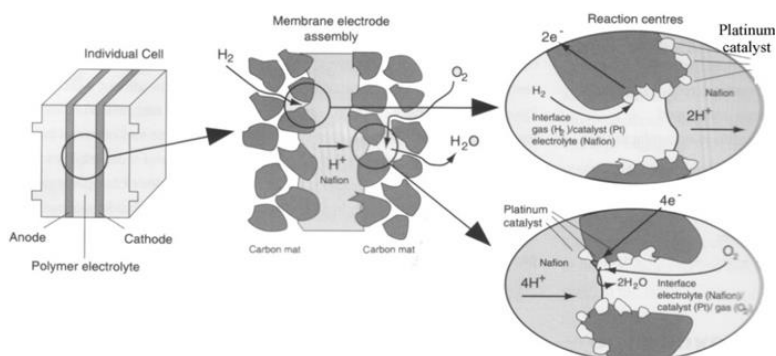


Figura 2.7. Esquema de intercambio protónico en la capa del electrocatalizador.

¹⁰ Membrane Electrode Assembly

Una gran desventaja en el uso de Pt, al margen de su coste, es la alta adsorción de CO en su superficie que inhibe su acción catalizadora. Por ello en celdas PEMFC, la corriente de hidrógeno ha de tener bajos contenidos de CO, generalmente por debajo de los 10 ppm. Este hecho provoca que las investigaciones se centren en la sustitución del Pt y en un diseño más efectivos de electrodos porosos.

Otros elementos. Difusor de gas, soportes y placas colectoras

Una celda elemental de una pila PEMFC genera poca potencia eléctrica, por lo que es necesario agrupar varias de estas celdas para conformar un *Fuel Cell Stack*. (Figura 2.8) Con estas asociaciones de celdas elementales se consigue aumentar la tensión (U) e intensidad (I, densidad de corriente) y por tanto la potencia eléctrica suministrada ($P = I \cdot U$).

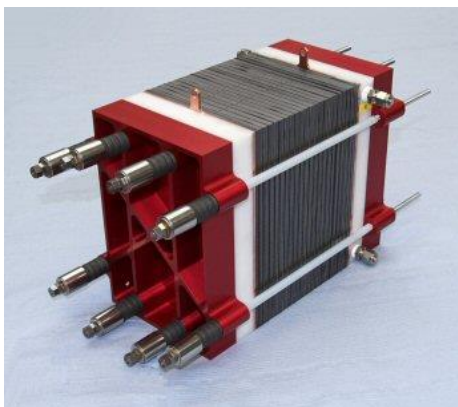


Figura 2.8. Fuel cell stack.

La capa contigua al electrocatalizador que se encuentra en contacto con la membrana consiste en un difusor de gas. Los difusores de gas están compuestos normalmente de tejido de carbón o de papel carbón poroso tratado con politetrafluoroetileno (PTFE) para hacerlo hidrofóbico en el lado opuesto a la membrana (Figura 2.9). Su función es permitir un acceso directo y uniforme de los gases reactantes a la región del catalizador evitando su difusión a través de capas de agua líquida. La cara hidrofóbica impide el paso de agua líquida desde la membrana al exterior del MEA, hecho que dificultaría la entrada de los gases. Otra función es la de evitar la pérdida excesiva de humedad en la membrana, ya que la conductividad protónica depende de su contenido de agua. El

difusor debe además ser un material altamente conductor y suele tener espesores del orden de 100 a 300 μm .

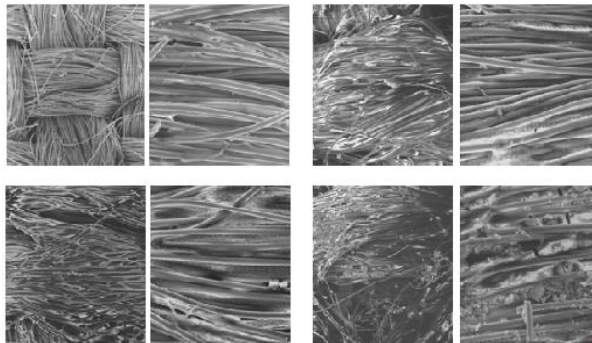


Figura 2.9. Telas de carbón utilizadas en difusores de gas.

Adyacentes a los difusores se encuentran las placas colectoras de corriente que se encargan de reunir la corriente generada a ambos lados de la membrana, es decir, en los electrodos. Están compuestas de grafito de alta densidad empapado en un material resinoso. Han de ser altamente conductoras y tener buenas propiedades mecánicas para dar soporte mecánico a la pila de combustible, ya que tanto las membranas como los difusores de gases son materiales flexibles y no soportan grandes peso ni esfuerzos. Las placas colectoras tienen canales o campos por donde fluyen los gases para distribuirlos por los difusores de gas y por lo tanto deben ser impermeables a combustible y comburente. Las placas que operan en modo bipolar en monoceldas acopladas en serie tienen mecanizadas ambas caras (Figura 2.10).

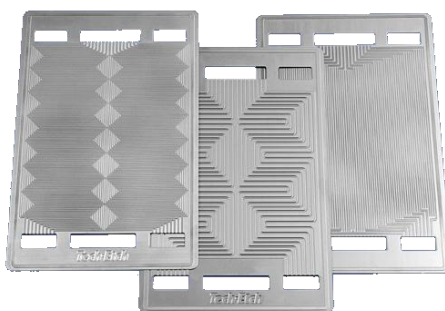


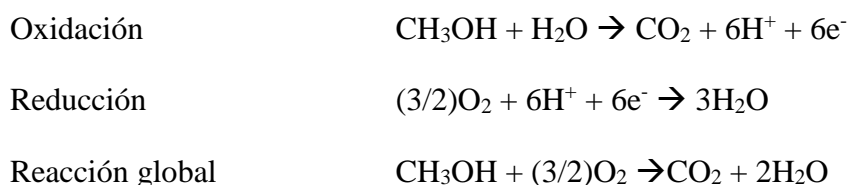
Figura 2.10. Placas colectoras de corriente.

Pilas de combustible de metanol y etanol directo (pilas DMFC¹¹ y DEFC¹²)

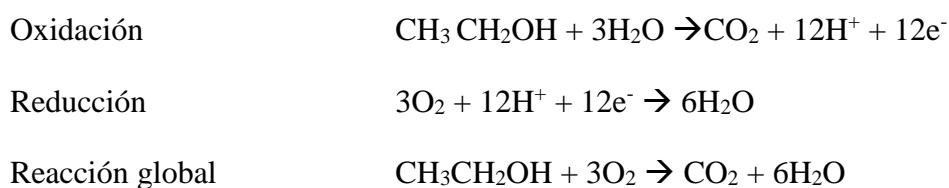
El uso de hidrógeno en pilas de combustible plantea ciertos problemas respecto al transporte y almacenamiento, debido principalmente a su baja densidad y alta peligrosidad. Como alternativa, durante los últimos años, se han desarrollado las pilas de combustible que utilizan alcoholes para su oxidación directa en el ánodo. Dichas pilas se conocen como DMFC y DEFC, y se plantean como una solución a algunos de los problemas en el uso de hidrógeno para aplicaciones en vehículos.

Las pilas DMFC y DEFC se pueden considerar como un caso particular de pilas PEMFC, y se basan en las siguientes reacciones electroquímicas:

DMFC (oxidación de metanol)



DEFC (oxidación de etanol)



Las pilas DMFC se alimentan con una disolución de metanol, normalmente de baja concentración (2 M; 4-8 % vol). Cada molécula de metanol al entrar en contacto con el ánodo se oxida produciendo CO₂, seis protones y seis electrones. Los protones atraviesan el electrodo mientras que los electrones son conducidos por un circuito externo y reaccionan con el oxígeno para dar agua, tal y como se observa en la Figura

¹¹ Direct Methanol Fuel Cells

¹² Direct Ethanol Fuel Cells

2.11. Las pilas DEFC poseen un esquema similar, aunque la tecnología de éstas no se encuentra tan desarrollada como en el caso de las pilas DMFC.

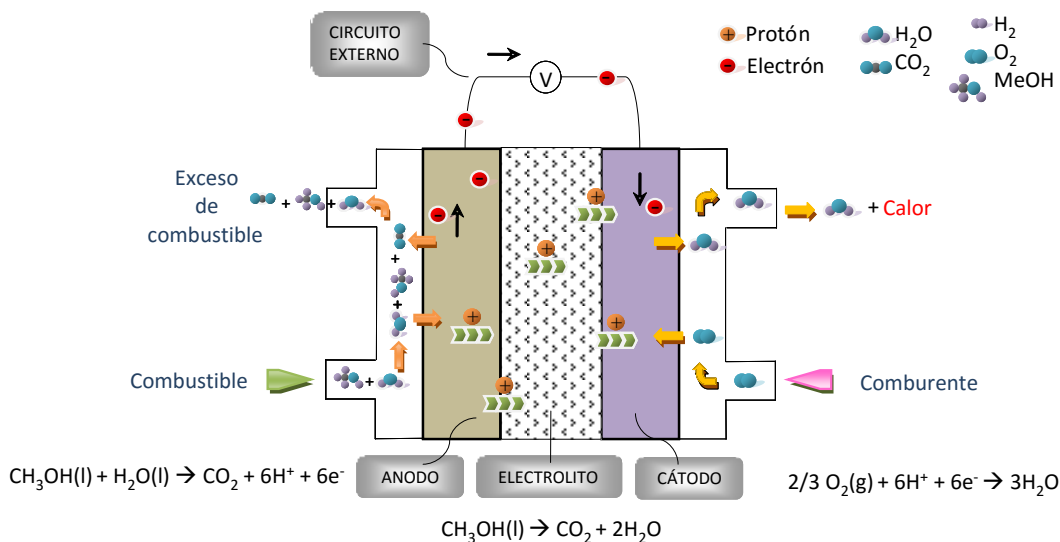


Figura 2.11. Esquema general de una celda individual de una pila DMFC.

El metanol puede obtenerse por medio de recursos renovables (bio-alcoholes), además, la infraestructura de almacenamiento y abastecimiento es muy parecida a la empleada para la gasolina, y por tanto, el coste necesario para impulsar su uso para pilas de combustible se minimizaría al ser líquidos a temperatura ambiente.

Sin embargo, las pilas DMFC todavía presentan serias limitaciones respecto a las alimentadas con hidrógeno. El rendimiento de la reacción de oxidación no es muy alto y en la reacción de reducción se genera CO_2 , por lo que no se pueden considerar como dispositivos de emisión cero. Pese a todo, el impacto ambiental que se produce es mucho menor que en los dispositivos de combustión.

El principal factor responsable de la disminución de la eficiencia de la pila es el fenómeno de “*crossover*”. Se trata de un flujo cruzado como consecuencia de la difusión del combustible sin reaccionar desde el ánodo al cátodo a través del electrolito, de manera que el reactivo difundido reacciona en el cátodo en presencia del oxidante en lugar de hacerlo en el ánodo (Figura 2.12). Al no existir un flujo de electrones externo, la reacción del combustible no genera energía eléctrica neta. Este hecho, junto a la creación de un potencial mixto, provoca un descenso en la eficiencia de la pila.

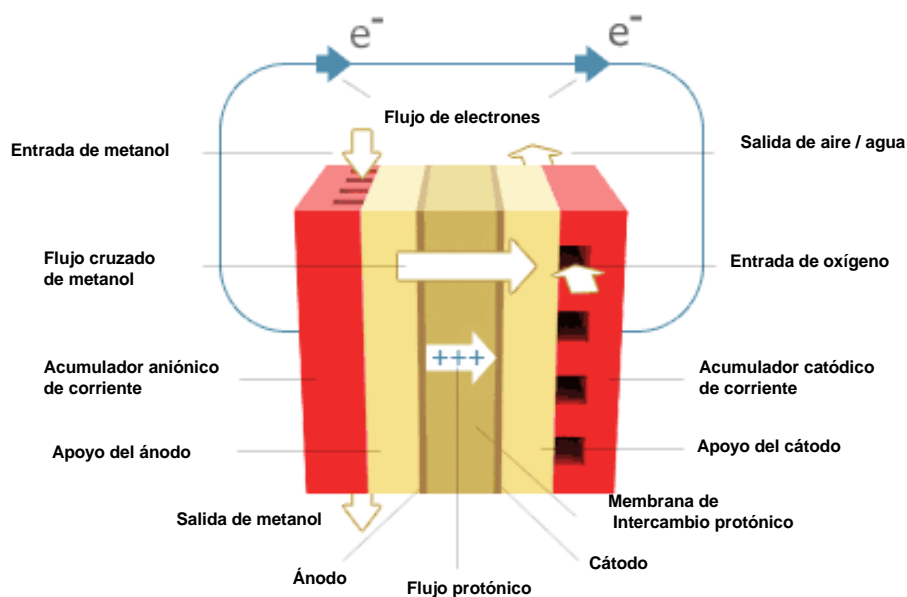


Figura 2.12. Pila de combustible de metanol donde se observa el efecto crossover que sufre la pila.

El *crossover* puede tener lugar en cualquier tipo de pila de combustible cuando se utilizan electrolitos permeables al reactivo. Principalmente ocurre al utilizar electrolitos de intercambio iónico inicialmente diseñados para pilas de hidrógeno en una pila de metanol o etanol. Por tanto, a pesar de que existen algunas soluciones parciales para tratar de solventar el fenómeno de *crossover* (añadir reactivo en exceso o utilizar electrolitos líquidos bombeados) la investigación actual se centra en el uso de materiales electrolíticos que permitan discriminar el transporte del alcohol respecto al transporte de los protones a través de la membrana.

Los componentes principales de una pila de combustible son los electrodos (ánodo y cátodo) y el electrolito.

Electrodos

Sobre la superficie de los electrodos tiene lugar las reacciones electroquímicas de una pila de combustible. En el ánodo se produce la oxidación del combustible (H_2 , hidrocarburos o alcoholes) mientras que en el cátodo el comburente se reduce (generalmente oxígeno). Los electrodos suelen tener una textura porosa que permite un buen contacto entre las distintas fases (gaseosas, líquidas y sólidas) y una alta relación de superficie / volumen. Sobre la superficie de los electrodos se depositan partículas de

catalizador que facilitan el transcurso de las reacciones electroquímicas, reduciendo su energía de activación (ver Figura 2.2).

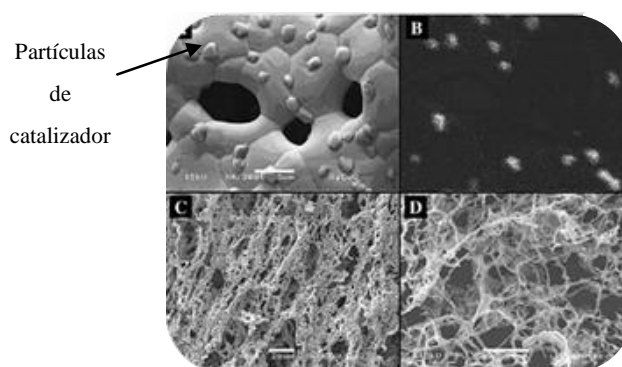


Figura 2.2. Vista microscópica (SEM) de electrodos.

El uso de metales como catalizadores, tales como el platino o el níquel, es uno de los factores que encarece el coste de las pilas, especialmente las que operan a bajas temperaturas. Además estos materiales presentan alta susceptibilidad al envenenamiento, por lo que es necesario controlar el contenido de ciertos compuestos en el combustible que puedan inhibir el catalizador o que puedan ser generados en su oxidación (como CO, CO₂), lo que limita la flexibilidad de operación.

Electrolito

El electrolito es la parte central de una pila de combustible y tiene tres funciones principales:

- Conductor iónico. Los iones deben pasar a través del electrolito para mantener el equilibrio de cargas entre el ánodo y el cátodo, permitiendo así que se produzca la reacción. En el caso de pilas alimentadas por hidrógeno, los electrolitos deben poseer una permeabilidad elevada a los protones generados durante la oxidación.
- Aislante electrónico. Los electrones generados en la reacción deben dirigirse al circuito externo para producir corriente eléctrica, pero no pasar a través del electrolito, para evitar pérdidas de eficiencia eléctrica.

- Separador de los reactantes anódico y catódico. Las reacciones electroquímicas anódica y catódica han de tener lugar en compartimentos separados para obtener una corriente eléctrica neta. Por tanto cualquier flujo de reactante a través del electrolito disminuiría la eficiencia de la pila.

Los electrolitos utilizados en las pilas de combustible pueden tener una naturaleza diferente, según sea su aplicación y rango de trabajo, tal y como se estudiará en secciones posteriores del presente capítulo.

Las ventajas más significativas del uso de Pilas de Combustible se resumen a continuación:

Beneficios medioambientales

- **Altas eficiencias en la utilización del combustible.** El funcionamiento de las pilas de combustible, basado en la conversión directa del combustible a energía a través de una reacción electroquímica, permite obtener rendimientos de conversión más elevados que en una combustión tradicional.

- **Emisión cero de contaminantes.** Cuando el combustible es hidrógeno, los productos obtenidos en la reacción electroquímica son electricidad, agua y energía calorífica (como subproducto) en lugar de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otras partículas inherentes a la combustión de combustibles fósiles.

- **Reducción del peligro medioambiental inherente de las industrias extractivas.** Las pilas de combustible no producen deterioro ambiental asociado a la extracción de combustibles fósiles de la Tierra cuando el hidrógeno es producido a partir de fuentes renovables.

- **Funcionamiento silencioso.** Al carecer de partes móviles, se ha estimado que el nivel de ruido a 30 metros de una pila de combustible de tamaño medio es únicamente de 55 decibelios.

Beneficios desde el punto de vista de la ingeniería.

- **Admisión de diversos combustibles.** Cualquier combustible que incluya hidrógeno en su composición puede ser reformado. Pueden emplearse para este proceso gas natural, carbón gasificado, gasóleo o metanol.
- **Altas densidades energéticas.** En la actualidad la cantidad de energía que puede generar una pila de combustible se encuentra normalmente en el rango de 1 kWh/litro, aunque estos valores continúan aumentando con el transcurso de nuevas investigaciones y desarrollos.
- **Bajas temperaturas y presiones de operación.** Existen pilas de combustible que trabajan en el rango de temperaturas cercanas o ligeramente superiores a los 80 °C, lo que representa una ventaja respecto a los vehículos con motores de combustión interna desde el punto de vista la resistencia y corrosión de materiales utilizados en la pila.
- **Flexibilidad de emplazamiento.** Debido a su bajo nivel de ruido, bajas emisiones y requerimientos mínimos, las pilas de combustible pueden ser instaladas en multitud de lugares interiores o exteriores, residenciales, industriales o comerciales.
- **Capacidad de cogeneración.** Cuando se captura el calor residual generado por la reacción electroquímica de la pila de combustible, éste puede emplearse de nuevo. Con las capacidades de cogeneración, la eficiencia de una pila de combustible puede alcanzar el 90 %.
- **Rápida respuesta a variaciones de carga.** Para recibir energía adicional de la celda de combustible se debe introducir más combustible en el sistema.
- **Carácter modular.** La construcción modular supone una menor dependencia de la economía de escala. La disponibilidad de las pilas de combustible como módulos independientes supone una ventaja adicional, ya que un cambio en la potencia requerida se consigue fácilmente mediante la interconexión de módulos.
- **Simplicidad del dispositivo.** Las pilas de combustible carecen de partes móviles. La falta de movimiento permite un diseño más simple, una mayor fiabilidad y operatividad y un sistema que es menos propenso a presentar problemas mecánicos y de desgaste.

- Seguridad energética

El hidrógeno usado como combustible en las pilas de combustible se puede producir a nivel doméstico a través del reformado de gas natural, electrólisis del agua o del uso de fuentes renovables como la energía eólica o la fotovoltaica. Alternativamente, también se pueden utilizar otros combustibles (alcoholes y otros hidrocarburos), lo que permite flexibilizar el mercado. Además, dichos compuestos pueden ser obtenidos mediante energías renovables, convirtiendo en sostenible el proceso de conversión energética.

La generación de energía a este nivel también evita la dependencia de fuentes externas que pueden localizarse en regiones del Mundo inestables o del fenómeno de agotamiento de las reservas petrolíferas. Asimismo, un sistema de pilas de combustible residencial permite una independencia a sus habitantes respecto a la red de suministro eléctrico, el cual puede presentar irregularidades en momentos determinados.

La tecnología de pilas de combustible también cuenta con algunos *inconvenientes*, como los que se describen a continuación:

- En la actualidad, la producción de hidrógeno resulta muy costosa al no ser una fuente primaria. Además, es necesario un elevado gasto energético para licuar el hidrógeno. También suponen altos costes aquellos destinados a los sistemas de almacenamiento y suministro de hidrógeno, metanol o gas natural.
- La producción de algunos componentes, implica un coste elevado al no efectuarse a gran escala. Se estima que, en la actualidad, un coche con pila de combustible cuesta un 30 % más que uno de gasolina o diésel con prestaciones similares.
- Al tratarse de una tecnología emergente, determinados problemas aún no resueltos afectan al funcionamiento de las pilas de combustible, especialmente en lo que respecta a su vida útil, lo que repercute en su comercialización.
- Al tratarse de una tecnología en desarrollo y contar todavía con una baja demanda de unidades, su precio no puede competir con el de las tecnologías convencionales en la actualidad. Es de esperar que, al aumentar la demanda los precios se vayan equiparando.

- Sensibilidad hacia los venenos catalíticos. Los electrodos empleados incorporan catalizadores para favorecer el desarrollo de las reacciones electroquímicas. El contacto de estas sustancias con los llamados venenos catalíticos, tales como compuestos de azufre o monóxido de carbono provocan su desactivación irreversible. En la actualidad se está estudiando la sustitución de estos catalizadores por materiales menos sensibles

2.2.- Baterías de Litio-ion

Una **batería de litio-ion** (también llamado **de iones de litio - LIB**) es una batería recargable en los que los iones de litio se mueven desde la parte negativa del electrodo a la parte positiva del electrodo durante la descarga, y de forma opuesta durante la carga. Las características de la química, el rendimiento, el coste y la seguridad varían entre los diferentes tipos de LIB. A diferencia de las primeras baterías de litio (que son desechables), los elementos electroquímicos de litio-ion utilizan como material en el electrodo un intercalado compuesto de litio, en lugar del litio metálico. Las baterías de ión litio son más caras que las baterías de NiCd, pero pueden operar en un rango de temperatura más amplio, con densidades de energía más altas, siendo más pequeñas y ligeras. También son frágiles y por lo tanto necesitan un circuito de protección para limitar picos de tensión.

Las baterías de litio son comunes en la electrónica de consumo. Se trata de una de las baterías recargables más populares en los dispositivos electrónicos portátiles, con una de las mejores densidades de energía, sin efecto memoria, y una muy baja tasa de autodescarga cuando no están en uso. Las LIB también están creciendo en popularidad para las aplicaciones militares, vehículos eléctricos, y aeroespaciales. La investigación está produciendo una corriente de mejoras en la tradicional tecnología LIB, centrándose en la mejora densidad de energía, el coste, la durabilidad y la seguridad intrínseca. A partir de 2011, las baterías de litio-ion cuentan con un 67% de todas las ventas de baterías portátiles en Japón.



Figura 2.2 – Batería de iones de litio de un portátil

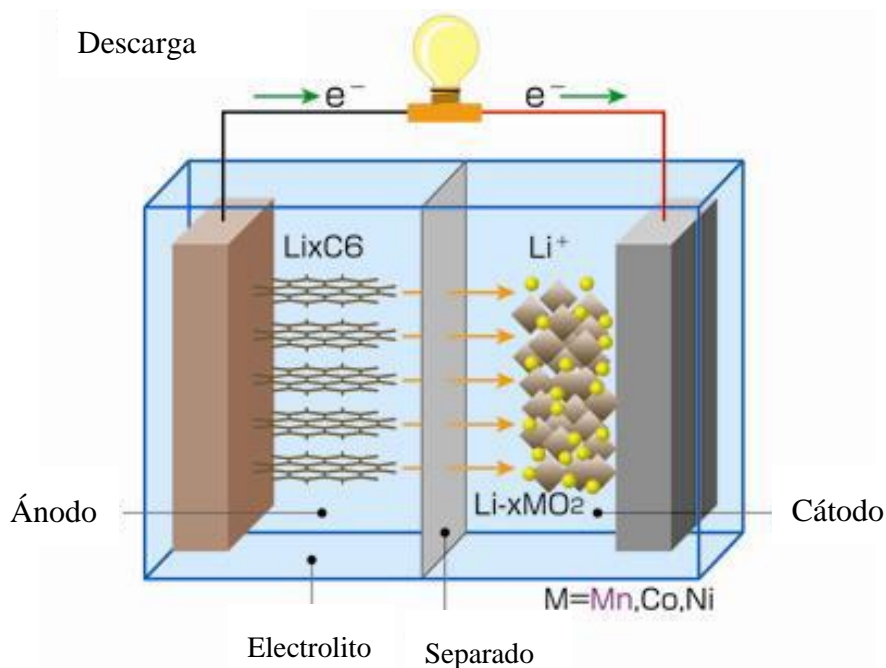
2.2.1. Carga y descarga.

Durante la descarga, los iones de litio Li^+ llevan la corriente desde el electrodo negativo al electrodo positivo, a través del electrolito no acuoso y el diafragma de separación. Durante la carga, una fuente externa de energía eléctrica (el circuito de carga) aplica un voltaje más alto (pero de la misma polaridad) que el producido por la batería, obligando a la corriente a pasar en sentido inverso. Los iones de litio viajan desde el electrodo positivo al electrodo negativo, donde se integran en el material poroso de los electrodos, en un proceso conocido como *intercalación*.

2.2.2. Construcción

Los tres componentes principales funcionales de una batería de iones de litio son el ánodo, el cátodo y el electrolito (Figura 2.2.2). El ánodo de una pila convencional de iones de litio es de base carbono, el cátodo es un óxido de metal, y el electrolito es una sal de litio en un disolvente orgánico. El material del ánodo comercial más comúnmente utilizado es el grafito, mientras que para el cátodo se pueden utilizar generalmente:

- Óxidos de capas (como óxido de litio cobalto).
- Polianiones (como fosfato de hierro litio).
- Espinelas (como el óxido de manganeso de litio).



*** El electron se mueve en direccion inversa durante la carga**

Figura 2.2.2 - . Esquema general de una batería de iones de litio

El Litio puro es muy reactivo. Reacciona violentamente con el agua para formar hidróxido de litio y el gas hidrógeno. Por lo tanto, se utiliza normalmente un electrolito no acuoso, y un recipiente rígido sellado, el cual evita que entre agua en la batería.

El electrolito es normalmente una mezcla de carbonatos orgánicos, tales como el carbonato de etileno o carbonato de dietilo, que contienen complejos de iones de litio. En general estos electrolitos no acuosos, no usan la coordinación de las sales de aniones tales como hexafluorofosfato litio (LiPF₆), litio monohidratado hexafluoroarsenate (LiAsF₆), perclorato de litio (LiClO₄), litio tetrafluoroborato (LiBF₄), y el litio triflato (LiCF₃SO₃) etc. Dependiendo de las opciones de materiales, el voltaje, la capacidad, la duración y la seguridad de una batería de litio-ion pueden cambiar drásticamente. Recientemente las nuevas arquitecturas de nanotecnología se están empleando para mejorar el rendimiento.

2.2.3. Formatos

Los elementos de Li-ion están disponibles en varios formatos, que en general se puede dividir en cuatro grupos:

- Cilindro pequeño (cuerpo sólido, sin terminales, como los utilizados en las baterías de portátiles).
- Cilindro Grande (cuerpo sólido con grandes terminales roscados).
- Bolsa (cuerpo suave y plano, como los utilizados en los teléfonos móviles).
- Prismático (semi-plástico, carcasa dura con los grandes terminales de rosca, se usa frecuentemente en los paquetes de baterías de los vehículos).

Los elementos con la carcasa de tipo “bolsa” son los elementos con la densidad de energía más alta. Sin embargo, los elementos de tipo bolsa (y los elementos prismáticos) requieren un medio externo de contención para evitar la expansión cuando su nivel de SOC (State of charge o estado de la carga, es el equivalente al medidor de combustible de un coche) es alto.

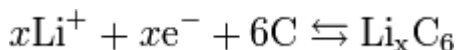
2.2.4. Electroquímica

Las reacciones electroquímicas en una batería de iones de litio implican el transporte del litio en ánodo, cátodo y electrolito. Cuando un elemento a base de litio se descarga, el Li^+ (Figura 2.2.2) se extrae del ánodo y se inserta en el cátodo. Cuando el elemento se está cargando, ocurre lo contrario. Como ocurre en las pilas de combustible, sólo se puede extraer energía útil del elemento, si hay un flujo de electrones a través de un circuito externo cerrado. Las siguientes ecuaciones se expresan en unidades de moles, por lo que es posible utilizar el coeficiente de x .

La semi-reacción de oxidación, que tiene lugar en el electrodo positivo es la siguiente:

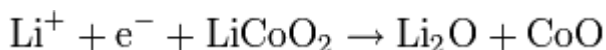


Y la semi-reacción de reducción, que tiene lugar en el electrodo negativo:

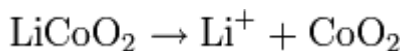


Quedando la reacción total:

La reacción total tiene unos límites. Una sobredescarga produce saturaciones de óxido de cobalto litio, dando lugar a la producción de óxido de litio, quedando la siguiente reacción irreversible:



Ensayos de difracción de rayos X han demostrado que una sobrecarga de 5.2 Voltios produce la síntesis de óxido de cobalto:



En una batería de litio-ion, los iones de litio son transportados desde cátodo hacia el ánodo, con la transición de un metal, el cobalto (Co), en Li_xCoO_2 se oxida de Co^{3+} a Co^{4+} durante la carga, y se reduce el Co^{4+} a Co^{3+} durante la descarga:

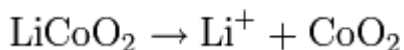


Tabla 2.2 Electrodo Positivos.

Material del electrodo	Tensión media	Capacidad específica	Energía específica
LiCoO ₂	3.7 V	140 mA·h/g	0.518 kW·h/kg
LiMn ₂ O ₄	4.0 V	100 mA·h/g	0.400 kW·h/kg
LiNiO ₂	3.5 V	180 mA·h/g	0.630 kW·h/kg
LiFePO ₄	3.3 V	150 mA·h/g	0.495 kW·h/kg
Li ₂ FePO ₄ F	3.6 V	115 mA·h/g	0.414 kW·h/kg
LiCo _{1/3} Ni _{1/3} Mn _{1/3} O ₂	3.6 V	160 mA·h/g	0.576 kW·h/kg
Li(Li _a Ni _x Mn _y Co _z)O ₂	4.2 V	220 mA·h/g	0.920 kW·h/kg

Tabla 2.3 Electrodo Negativos.

Material del electrodo	Tensión media	Capacidad específica	Energía específica
Graphite (LiC ₆)	0.1-0.2 V	372 mA·h/g	0.0372-0.0744 kW·h/kg
Hard Carbon (LiC ₆)	? V	? mA·h/g	? kW·h/kg
Titanate (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)	1-2 V	160 mA·h/g	0.16-0.32 kW·h/kg
Si (Li _{4.4} Si)	0.5-1 V	4212 mA·h/g	2.106-4.212 kW·h/kg
Ge (Li _{4.4} Ge)	0.7-1.2 V	1624 mA·h/g	1.137-1.949 kW·h/kg

2.2.5. Electrolitos

El voltaje de los elementos que figuran en la sección de Electroquímica es más grande que el potencial que se puede electrolizar en las soluciones acuosas, además el litio es muy reactivo con el agua (al entrar en contacto con el agua se produce una reacción exotérmica, normalmente con fuego), por lo tanto, se utilizan las soluciones no acuosas o apróticas.

Los electrolitos líquidos en las baterías de iones de litio consisten en las sales de litio, como LiPF_6 , LiBF_4 LiClO_4 o en un solvente orgánico, como el carbonato de etileno, carbonato de dimetilo, y carbonato de dietilo. Un electrolito líquido conduce los iones de litio, que actúa como un portador entre el cátodo y el ánodo de una pila cuando pasa una corriente eléctrica por un circuito externo. Las conductividades típicas del electrolito líquido a temperatura ambiente (20°C (68°F)) están en el rango de $10\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($1\text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$), aumentando en aproximadamente el 30-40% a 40°C (104°F) y disminuyendo a una cantidad ligeramente inferior a 0°C (32°F).

Desafortunadamente, los disolventes orgánicos se descomponen fácilmente en los ánodos durante el proceso de carga. Sin embargo, en el caso de los disolventes orgánicos que se utilizan como electrolito, el disolvente se descompone en la carga inicial y este forma una capa sólida llamada “interfase de electrolito sólido” (SEI), que es un aislante eléctrico pero que, sin embargo, ofrece la suficiente conductividad iónica. La interfase evita que se descomponga el electrolito después de la segunda carga. Por ejemplo, el carbonato de etileno se descompone a un voltaje relativamente alto, $0,7\text{ V}$ vs litio, y forma una interfaz densa y estable.

Una buena solución para la inestabilidad en la interfaz es la aplicación de una nueva clase de compuesto a base de electrolitos poliméricos como el POE (poli (oxietileno)), desarrollado por “Syzdek et al”. Pueden ser sólidos (de alto peso molecular) y se les aplica en seco a los elementos de Li-polymer, o líquido (de bajo peso molecular) y se aplicará de forma regular a los elementos de Li-ion.

Otra cuestión a la que se enfrenta la tecnología Li-ion es la seguridad. La aplicación a gran escala de los elementos de litio en los vehículos eléctricos necesita una gran disminución de la tasa de fallo. Una de las soluciones en la nueva tecnología basada en la “fase inversa en los electrolitos compuestos”, para ello se empleó un material de cerámica porosa llena de electrolito.

2.2.6. Ventajas e Inconvenientes.

A continuación se resumen las prestaciones y limitaciones de pilas Li – ión más comunes, usando ánodos de carbono, cátodos de óxido de metal, y sal de litio como disolvente orgánico para el electrolito.

Ventajas

- Una elevada densidad de energía: Acumulan mucha mayor carga por unidad de peso y volumen.
- Poco peso: A igualdad de carga almacenada, son menos pesadas y ocupan menos volumen que las de tipo Ni-MH y mucho menos que las de Ni-Cd y Plomo.
- Gran capacidad de descarga. Algunas baterías de Li-Ion -las llamadas "Lipo" Litio-ion Polímero- que hay en el mercado, se pueden descargar totalmente en menos de dos minutos.
- Poco espesor: Se presentan en placas rectangulares, con menos de 5 mm de espesor. Esto las hace especialmente interesantes para integrarlas en dispositivos portátiles que deben tener poco espesor.
- Alto voltaje por célula: Cada batería proporciona 3.7 voltios, equivalentes a tres baterías de Ni-MH o Ni-Cd (1.2 V cada una).
- Carecen de efecto memoria.
- Descarga lineal: Durante toda la descarga, el voltaje de la batería varía poco, lo que evita la necesidad de circuitos reguladores. Esto es una ventaja, ya que hace muy fácil saber la carga que almacena la batería.
- Larga vida en las baterías profesionales para vehículos eléctricos. Algunos fabricantes muestran datos de más de 3.000 ciclos de carga/descarga para una pérdida de capacidad del 20% a C/3.
- Facilidad para saber la carga que almacenan. Basta con medir, en reposo, el voltaje de la batería. La energía almacenada es una función del voltaje medido.
- Muy baja tasa de autodescarga: Cuando guardamos una batería, ésta se descarga progresivamente aunque no la usemos. En el caso de las baterías de Ni-MH, esta "autodescarga" puede suponer más de un 20% mensual. En el caso de Li-Ion es de menos un 6% en el mismo periodo.

Mucha de ellas, tras seis meses en reposo, pueden retener un 80% de su carga.

Desventajas

A pesar de todas sus ventajas, esta tecnología presenta ciertas limitaciones, como las que se muestran a continuación:

- **Duración media:** Depende de la cantidad de carga que almacenen, independientemente de su uso. Tienen una vida útil de unos 3 años o más si se almacenan con un 40% de su carga máxima (en realidad, cualquier batería, independientemente de su tecnología, si se almacena sin carga se deteriora. Basta con recordar el proceso de sulfatación en las antiguas baterías de zinc-carbón cuando se almacenaban al descargarse completamente).
- **Soportan un número limitado de cargas:** entre 300 y 1000, menos que una batería de Ni-Cd e igual que las de Ni-MH, por lo que hoy día ya empiezan a ser consideradas en la categoría de consumibles.
- **Son costosas:** Su fabricación es más costosa que las de Ni-Cd e igual que las de Ni-MH, si bien actualmente el precio baja rápidamente debido a su gran penetración en el mercado, con el consiguiente abaratamiento. Podemos decir que se utilizan en todos los teléfonos móviles y ordenadores portátiles del mundo y continúa extendiendo su uso a todo tipo de herramientas portátiles de baja potencia.
- **Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar:** Están fabricadas con materiales inflamables que las hace propensas a detonaciones o incendios, por lo que es necesario dotarlas de circuitos electrónicos que controlen en todo momento la temperatura de la batería.
- **Capacidad limitada de trabajo en frío:** Ofrecen un rendimiento inferior a las baterías de Ni-Cd o Ni-MH a bajas temperaturas, reduciendo su duración hasta en un 25%.

Resistencia Interna

- La resistencia interna estándar (de cobalto) en las baterías de iones de litio es elevada en comparación con los otros compuestos químicos recargables, tales

como níquel-hidruro metálico y níquel-cadmio, y LiFePO_4 y los elementos de litio-polímero. Aumenta la resistencia interna con los ciclos de carga y descarga y con la edad. El aumento de la resistencia interna hace que el voltaje en los terminales caiga mucho de valor, cuando están descargándose, lo que reduce la corriente máxima. Con el tiempo el aumento de la resistencia significa que la batería ya no podrá operar durante un período de tiempo largo.

- Para dispositivos de más potencia, tales como coches eléctricos, la conexión de muchas baterías pequeñas conectadas en paralelo es más eficaz y eficiente que la conexión de una batería de gran tamaño.

Cuidados de la Batería

Estas baterías no tienen efecto memoria, y por ello no es necesario descargarlas por completo. De hecho no es recomendable, dado que puede acortar mucho su vida útil. Sin embargo, y a pesar de no requerir de un mantenimiento especial, al igual que las otras baterías, necesitan ciertos cuidados:

- Es recomendable que permanezcan en un sitio fresco ($\sim 15^\circ\text{C}$).
- Cuando se vayan a almacenar mucho tiempo, se recomienda dejarlas con carga intermedia (40%). Asimismo, se debe evitar mantenerlas con carga completa durante largos períodos.
- La primera carga no es decisiva en cuanto a su duración y no es preciso hacerla; el funcionamiento de una batería de ion de Litio en la primera carga es igual al de las siguientes. Es un mito probablemente heredado de las baterías de níquel.
- Es preciso cargarlas con un cargador específico para esta tecnología. Usar un cargador inadecuado dañará la batería y puede hacer que se incendie.
- Existen también bolsas especiales en donde se las guarda al momento de cargarlas en caso de que se incendien ya que estas baterías son muy delicadas.

Hay que tener en cuenta que existen en el mercado muchas combinaciones de Litio, lo que puede llevar a muchas características diferentes.

2.2.7. Especificaciones según el diseño.

- Densidad de energía específica: de 150 a 250 W · h / kg (540 a 900 kJ / kg)
- Densidad de energía volumétrica: de 250 a 620 W · h / l (900 a 1900 J / cm³)
- Densidad de potencia específica: de 300 a 1500 W / kg (a 20 segundos y 285W·h / l).

Debido a que las baterías de litio-ion pueden tener una variedad de materiales en el cátodo y ánodo, la densidad de energía y la tensión variará a consecuencia de dichos materiales.

Las baterías de litio con un cátodo de fosfato de hierro litio y el ánodo de grafito tienen un valor nominal de voltaje en circuito abierto de 3.2 V y un voltaje de carga típico de 3.6 V. Los cátodos de níquel cobalto, manganeso de litio óxido (NMC) con los ánodos de grafito tienen una tensión nominal de 3.7 V con una carga de 4.2 V máx. El proceso de carga se realiza a una tensión constante, y limitando la corriente del circuito (es decir, se carga con corriente constante hasta que se alcanza una tensión de 4.2 V en el elemento y continua aplicando una tensión constante hasta que la corriente caiga cerca de cero amperios). Por lo general, la carga terminara cuando se llega al 3% de la corriente de carga inicial. En el pasado, las baterías de litio-ion no podían ser cargadas rápidamente y se necesitaba al menos dos horas para una carga completa. Las actuales generaciones de células se pueden cargar completamente en 45 minutos o menos. Algunas variedades de iones de litio pueden alcanzar el 90% en tan sólo 10 minutos.

2.2.8. Procedimiento de carga

- Etapa 1: Se aplica una corriente de carga hasta llegar al límite de tensión por elemento.
- Etapa 2: Se aplica el voltaje máximo por elemento, hasta que la corriente llegue al 3% de la carga nominal.

- Etapa 3: Una vez cada 500 horas se aplica una carga superior.

El tiempo de carga es de tres a cinco horas, dependiendo del cargador utilizado. En general, las baterías del teléfono móvil se pueden cargar a 1C y un ordenador portátil tipo-a 0.8 c, donde 1C es la corriente que descarga dicha batería en una hora. La carga se detiene por lo general cuando la corriente de carga desciende de 0.03C, pero se puede dejar indefinidamente dependiendo de lo rápido que desee cargar. Algunos cargadores rápidos saltan la etapa 2 y dejan la batería está lista a un 70% de carga.

Se recomienda concluir la carga cuando la tensión desciende por debajo de 4.05 V / célula.

Normalmente, los elementos de litio-ion están cargados a $4.2 \pm 0,05$ V / elemento, excepto para aplicaciones militares de larga duración, donde los elementos se utilizan 3.92 V para aumentar la duración de la batería. La mayoría de los circuitos de protección, detienen la carga si se llega a V 4.3 o 90 ° C. Si la tensión cae por debajo de 2.50 V por elemento, el circuito de protección de la batería también puede hacer un control de la carga con equipos regulares de carga. La mayoría de los circuitos de protección para las baterías detienen la descarga cuando la tensión se encuentra entre 2.7 a 3.0 V por elemento.

Por razones de seguridad, se recomienda que la batería se mantenga en estos niveles de voltaje y corriente durante los dos ciclos de carga y descarga.

2.2.9. Instrucciones de uso.

Para prolongar la vida de la batería, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Evitar gastar la batería por debajo del umbral de tensión de seguridad (2.4 a 2.8 V / por elemento, dependiendo de la química), para que esto no pase, un circuito electrónico se encarga de supervisar la descarga de la batería, y antes de llegar a los umbrales de seguridad, detendría la descarga rápidamente. En caso de no tener el circuito electrónico de protección, y la batería llegase a los umbrales de seguridad, la batería podría quedar estropeada, en muchas baterías modernas este proceso se puede invertir, sobre todo en las baterías de un solo elemento, mediante la aplicación de un voltaje de carga durante el tiempo suficiente para

hacer subir la tensión del elemento por encima del umbral de tensión de seguridad, sin embargo este comportamiento varía según el fabricante.

- Las baterías de litio deben almacenarse en un sitio frío, como por ejemplo en un refrigerador.
- La tasa de degradación de las baterías de litio-ion depende en gran medida de la temperatura, se degradan mucho más rápido si se almacenan o se utilizan a temperaturas más altas.
- La tasa de degradación de las baterías de litio-ion también está relacionada con el nivel de carga de la batería, se degradan mucho más rápido cuando se almacenan al 100% de carga. Dado que las baterías tienden a romperse si están almacenadas a un nivel de carga alto, y ya que las baterías no tienen apenas auto-descarga, con frecuencia se recomienda almacenar las baterías a un 40% del nivel de carga.

2.2.10. Dispositivos con elementos múltiples.

Las baterías de Li-ion requieren de un sistema de gestión del estado de la batería para evitar que cada elemento trabaje fuera de los márgenes de seguridad (como el exceso de carga, de descarga, el rango de temperatura de seguridad) y para equilibrar los elementos y así eliminar los desajustes del SOC (estado de la carga), mejorando significativamente la eficiencia de la batería y aumentando la capacidad total. A medida que aumenta el número de elementos, también aumenta las corrientes de carga, por lo que los desajustes entre elementos también aumentan. Hay dos tipos de desajuste en el paquete, el estado en el que se encuentra la carga (SOC) y la capacidad / energía ("C/E") que no coincida. El desajuste más común es el de tipo SOC.



Figura 2.2.10 – Dispositivo de elementos múltiples del fabricante VARTA

2.2.11. Seguridad

Las baterías de litio expuestas a altas temperaturas se pueden romper, arder o explotar. El cortocircuito en una batería de litio hace que el elemento se sobrecaliente y posiblemente acabe incendiándose. Los elementos adyacentes también pueden acabar calentándose y en algunos casos, toda la batería puede acabar incendiada o rota. En el caso de un incendio, el dispositivo puede emitir humos irritantes.

La sustitución del óxido de litio cobalto (material con el que se hace el cátodo en las baterías de litio-ion) por un fosfato de metal de litio como el fosfato de litio-hierro (Figura 2.2.11), mejora la cantidad de ciclos de carga y descarga, la vida útil y la seguridad, pero disminuye la capacidad. En la actualidad, estas baterías de iones de litio "más seguras" se utilizan principalmente en los coches eléctricos y otras aplicaciones que necesitan una batería de gran capacidad, donde los problemas de seguridad son fundamentales.

Hay baterías de litio que contienen dispositivos de seguridad para proteger a los elementos de la perturbación. Sin embargo, los contaminantes dentro de los elementos pueden destruir a estos dispositivos de seguridad.



Figura 2.2.11 – Batería de fosfato de hierro-litio, antes de sellarla (A123 systems)

2.2.12.- Investigación.

La investigación en este campo se centra en mejorar la densidad energética, la seguridad, el ciclo de recarga, el coste y otras características de estas baterías. Las nuevas baterías en estado sólido de los últimos diseños, tienen el potencial para ofrecer tres veces la densidad de energía típica en las baterías de iones de litio, y con la mitad de coste por kilovatio-hora. Este enfoque elimina las cubiertas, los separadores, y los electrolitos líquidos. Al eliminar estos elementos, se pueden conseguir alrededor del 95% de la densidad de energía teórica de los materiales activos. Los primeros ensayos de esta tecnología se toparon con barreras de coste, porque la tecnología industrial en los semiconductores de vacío, aumentaban los costes en 20-30 veces.

2.3- Baterías de polímero de litio (Li-poly)

Las baterías de polímero de Lithium-ion, o más comúnmente conocidas baterías de polímero de litio (abreviadas como Li-poly, Li-Pol, LiPo, LIP, PLI o LiP), son las baterías recargables. Normalmente, las baterías están compuestas por varios elementos secundarios idénticos, además de otros conectados en paralelo para aumentar la intensidad de descarga.



Figura 2.3. Batería de 3 elementos y 20C de descarga para un modelo radiocontrol

2.3.1. Diseño original

Este tipo de tecnología ha evolucionado a partir de baterías de iones de litio. La principal diferencia es que el electrolito de [lithium-salt](#) no se lleva a cabo en un disolvente orgánico, sino en un sólido compuesto de polímero como el óxido de polietileno o poliacrilonitrilo. Las ventajas de las baterías de polímero de Li-poly frente a las de Li-ion, son que el coste de fabricación es potencialmente menor, y tienen la capacidad de adaptarse a una amplia variedad de formas de envasado y robustez. Las baterías de Li-poly comenzaron a aparecer en la electrónica de consumo en 1995.

2.3.2. Tecnología

Los elementos que se comercializan actualmente en las baterías de polímero son los elementos en forma de bolsa. A diferencia de los elementos de iones de litio cilíndricos,

que tienen una caja de metal rígido, estos elementos tienen una bolsa flexible, una carcasa de papel de aluminio (laminado de polímero). En las pilas cilíndricas, la carcasa rígida presiona a los electrodos y al separador, mientras que en las células de polímero esta presión externa no es necesaria porque las hojas de los electrodos y las hojas de separación se laminan unos sobre los otros.

Dado que los elementos individuales de bolsa no tienen una cubierta de metal resistente, son 20% más ligeras que el equivalente en elementos cilíndricos. Sin embargo, todos los elementos de Li-Ion pueden deformarse con altos niveles de carga (SOC), esto puede acabar en la delaminación (hinchazón o deformación de la bolsa), y la reducción de la fiabilidad y en los ciclos de vida; en el caso de las pilas cilíndricas se establece un contenido, mientras que los elementos en bolsa, por sí mismos, no están contenidos. Por lo tanto, para lograr el rendimiento nominal, una batería compuesta de elementos de tipo bolsa debe incluir un revestimiento externo resistente, para mantener su forma externa.

El voltaje de los elementos de Li-poly varía desde 2.7 V (descargado) a cerca de 4.23 V (completamente cargado), los elementos de Li-poly han de ser protegidos de sobrecarga, mediante la limitación de la tensión aplicada, que como máximo será de 4.235 V por elemento. La sobrecarga de una batería Li-poly pueden causar una explosión o un incendio. Durante la descarga de la batería, se ha de detener dicha descarga tan pronto como el voltaje caiga por debajo de 3,0 V por elemento aproximadamente, de no detenerse la descarga a tiempo, la batería ya no aceptará una carga completa y con el tiempo tendrá problemas para mantener la tensión alta bajo descarga. Esto se puede lograr, al igual que con otras baterías de litio, con un circuito que evita sobrecargas y descargas profundas.

En los inicios de su desarrollo, la tecnología en baterías de polímero de litio ha tenido problemas con la resistencia interna. Otra dificultad reside en los elevados tiempos de carga completa y ritmos más lentos en comparación con el caudal máximo de tecnologías más maduras. Las baterías de Li-poly suelen requerir más de una hora para una carga completa. Las recientes mejoras de diseño han aumentado las corrientes de descarga máxima de dos veces a 15 o incluso 30 veces la capacidad del elemento (velocidad de descarga en amperios, capacidad del elemento en amperios-hora). En diciembre de 2007 Toshiba anunció un nuevo diseño que ofrece un ritmo mucho más

rápido en el proceso de carga (unos 5 minutos para llegar al 90%). Estos elementos fueron liberados al mercado en marzo de 2008 y se espera que tengan un efecto dramático en la herramienta eléctrica y las industrias de vehículos eléctricos, y un efecto importante sobre electrónica de consumo.

En comparación con la batería de litio-ion, la batería de Li-poly tiene un ciclo de vida de mayor velocidad de degradación. Sin embargo, en los últimos años, los fabricantes han estado declarando más de 500 ciclos de carga-descarga antes de que la capacidad se redujese al 80%. Otra variante de los elementos Li-poly, es la "batería recargable de litio con film fino", se ha demostrado que proporciona más de 10.000 ciclos.

2.3.3. Aplicaciones.

Una ventaja convincente de los elementos Li-poly es que los fabricantes pueden dar la forma que se quiera a la batería, lo que puede ser importante para los fabricantes de teléfonos móviles, pudiendo trabajar constantemente en los teléfonos más pequeños, delgados y ligeros.

Las baterías de Li-poly también se están ganando el favor del mundo del radio control de aviones, así como el de coches teledirigidos, donde las ventajas de un menor peso y un aumento considerable de los tiempos de funcionamiento puede ser una justificación suficiente para el aumento de precio. Algunos propietarios de armas de airsoft se han cambiado a las baterías de Li-poly, por las mismas razones anteriores y el aumento de la frecuencia de fuego que proporcionan. Sin embargo, el litio, necesita cargadores específicos para baterías de litio, de no usarlos se pueden producir incendios y explosiones. Las explosiones también pueden ocurrir si la batería se cortocircuita, o cuando una gran corriente pasa a través del elemento en un instante. Los aficionados de radio-control toman precauciones especiales para asegurar que sus cables estén correctamente conectados y aislados. Además los incendios pueden ocurrir si el elemento o el paquete están pinchados. Las baterías en automóviles de radio-control a menudo están protegidas por cajas de plástico duro, para evitar pinchazos. También se usan variadores de velocidad del motor especialmente diseñados para evitar una descarga excesiva y posteriores daños en la batería. Esto se logra mediante un corte de tensión baja (LVC), que se ajusta para mantener el voltaje del elemento por encima de 3V por elemento (normalmente).

Las baterías de Li-poly también están ganando terreno en PDAs y ordenadores portátiles, tales como la familia MacBook de Apple, el Kindle de Amazon, Lenovo Thinkpad X300 y baterías Ultrabay, la serie de OQO de computadoras portátiles, los HP Mini y los productos de Dell con baterías D-bay. También se pueden encontrar en los pequeños dispositivos de música digital tales como iPods, Zunes y otros reproductores de MP3 y en el iPhone y el iPad de Apple, así como en los equipos inalámbricos para jugar a la PlayStation 3 de Sony. Por lo que son codiciadas en aplicaciones donde los factores de tamaño pequeño y densidad de energía superan las consideraciones del coste.

2.3.4.- Los vehículos eléctricos.

Estas baterías también pueden potenciar la próxima generación de vehículos eléctricos de baterías. El coste de un coche eléctrico de este tipo actualmente es prohibitivo, pero los defensores argumentan que con una mayor producción, el coste de las baterías Li-poly va a bajar. Hyundai Motor Company planea utilizar este tipo de baterías en sus vehículos eléctricos híbridos. El Audi A2 con motor eléctrico y baterías Li-poli cubrió la distancia de 600 km sin recargar el 26 de octubre 2010, logrando un nuevo récord.

2.3.5.- Desventajas.

A medida que estas baterías de polímero de litio salieron por primera vez al mercado, eran muy caras. Ahora que los precios se han reducido, y que se utilizan en una gran variedad de dispositivos de RC (radio controlador) y de dispositivos móviles. Su principal factor de riesgo es la volatilidad. Cuando se perforan, las baterías Li-poly reaccionan con rapidez y provocan grandes incendios.

2.4. Baterías de fosfato de Litio-Hierro (Li – Fe).

El fosfato de hierro de litio (LiFePO_4) de la batería, también llamada LFP, es un tipo de batería recargable, en concreto una batería de iones de litio, que utiliza LiFePO_4 como material catódico.

2.4.1 Historia.

Las baterías LiFePO_4 fueron descubiertas por el grupo de investigación de John Goodenough de la Universidad de Texas en 1996, como material para el cátodo en las pilas de litio recargables. Debido a su bajo coste, no toxicidad, la alta abundancia del hierro, su excelente estabilidad térmica, las características de seguridad, un buen rendimiento electroquímico, y una capacidad específica alta ($170 \text{ mA} \cdot \text{h} / \text{g}$, o $610 \text{ C} / \text{g}$) obtuvo su aceptación en el mercado.

La principal barrera a la comercialización fue su conductividad eléctrica intrínsecamente baja. Este problema, sin embargo, se podía superar en parte con la reducción del tamaño de las partículas y la eficacia del recubrimiento de las partículas LiFePO_4 con materiales conductores como el carbono, y en parte mediante el empleo del dopaje. Los planteamientos desarrollados por Yet-Ming Chiang y sus colaboradores en el MIT (Massachusetts Institute Technology) con cationes de materiales como el aluminio, el niobio y circonio. Posteriormente se ha demostrado que la mayor parte de la mejora en la conductividad se debe a la presencia del carbono nanoscópico procedentes de los precursores orgánicos. Los productos que utilizan los materiales nanofosfatos carbonizados y dopados, desarrollados por Chiang, están ahora en un alto volumen de producción y se utilizan en los productos industriales de grandes corporaciones como Black&Decker, DeWalt, el Fisker Karma, Daimler, Cessna y BAE Systems.

2.4.2. Ventajas y desventajas

La batería LiFePO_4 utiliza una química de iones de litio originales y comparte muchas de sus ventajas y desventajas con otras químicas de litio-ion. Sin embargo, una ventaja clave sobre otros iones de litio es la mayor estabilidad térmica y química, que ofrece mejores características de seguridad que las baterías de iones de litio con otros materiales catódicos. Debido a las uniones significativamente más fuertes entre los

átomos de oxígeno del fosfato (en comparación con el cobalto), el oxígeno se libera fácilmente, y como resultado, en caso de una mala manipulación del manejo durante la carga o descarga, las células de litio de fosfato de hierro son prácticamente incombustibles, además pueden manejar temperaturas altas sin descomponerse.

Las baterías con química de Fosfato de hierro-litio también ofrecen un ciclo de vida más largo, en comparación con los elementos de iones de litio estándar. El uso de fosfatos también reduce los problemas de costes y los problemas con el medio ambiente de los elementos de cobalto. Su seguridad también ha aumentado considerablemente en este tipo de química, especialmente en comparación con los elementos Li-Poly, habitualmente utilizadas en el aeromodelismo.

Una de las ventajas principales de LiFePO_4 en comparación con Lithium-ion es la mayor corriente de pico.

Las baterías LiFePO_4 también presentan algunos inconvenientes. La densidad de energía (energía/volumen) de una batería nueva de LiFePO_4 es algo menor que la de una batería nueva de Lithium-ion (con una reducción del 14% en la densidad de energía). Los fabricantes de baterías de todo el mundo están trabajando para encontrar mejores soluciones con el fin de maximizar el rendimiento de almacenamiento de energía y reducir el tamaño y peso.

Muchos modelos comerciales de baterías de LiFePO_4 tienen una tasa de descarga baja en comparación con las baterías de plomo-ácido o Lithium-ion. Dado que la tasa de descarga es un porcentaje de la capacidad de la batería, se puede superar mediante el uso de una batería más grande (más amperios-hora). Sin embargo, "A123 Systems" afirma que sus baterías pueden producir una descarga pulsante de 100C.

Mientras que los elementos de LiFePO_4 tienen menor voltaje y densidad de energía que las Lithium-ion, esta desventaja se compensa en el tiempo, por la menor pérdida de capacidad (también conocido como ciclos de vida más largos). Las baterías de LiFePO_4 en comparación con otras baterías de iones de litio Por ejemplo:

- Después de un año en la estantería, un elemento de LiFePO_4 tiene aproximadamente la misma densidad de energía que un elemento de LiCoO_2 Li-ion.

- Después de un año en la estantería, un elemento de LiFePO_4 probablemente tenga una densidad de energía mayor a la de un elemento de LiCoO_2 Li-ion, debido a las diferencias en sus respectivos ciclos de vida.

2.4.3. Seguridad.

El LiFePO_4 es un material del cátodo intrínsecamente más seguro que el utilizado en las baterías de LiCoO_2 Li-ion. El enlace Fe-PO es más fuerte que el enlace Co-O, de modo que cuando se abusa, (corto circuito, sobrecalentamiento, etc.) los átomos de oxígeno son mucho más difíciles de eliminar. Esta estabilización de las energías redox también ayuda a la migración más rápida de los iones.

Como el litio migra fuera del cátodo en un elemento de LiCoO_2 Li-ion, el CoO_2 sufre una expansión no lineal que afecta a la integridad estructural de la célula. Los estados lithiated y unlithiated de LiFePO_4 son estructuralmente similares, esto significa que los elementos de LiFePO_4 son estructuralmente hablando más estables que los elementos de LiCoO_2 Li-ion.

El litio no se mantiene en el cátodo de un elemento de LiFePO_4 cargado completamente. En un elemento LiCoO_2 Li-ion, se queda aproximadamente el 50% en el cátodo. Los elementos de LiFePO_4 son muy resistentes a la pérdida de oxígeno, razón por la que generalmente acabaría en una reacción exotérmica en el resto de elementos de litio.

2.4.4. Aplicaciones.

Las baterías LiFePO_4 fueron presentadas en 2008, y se utilizaron inicialmente como fuente de energía para un vehículo hexápodo (a pie). Litio Technology Corp. anunció en mayo de 2007, que habían desarrollado una nueva batería de litio de fosfato hierro con elementos lo suficientemente grandes como para usarlos en vehículos híbridos.

Este tipo de baterías se utiliza en los coches eléctricos fabricados por Aptera y QUICC, en el One Laptop per Child (OLPC), la Killacyle (la motocicleta eléctrica más rápida del mundo) en generadores de Roehr motorcycle company con 5,8KW*h de Capacidad para alimentar su moto eléctrica supersport, entre otros.

Las baterías de OLPC son fabricados por la empresa BYD de Shenzhen, China, el mayor productor mundial de baterías Li-ion. BYD, también es un fabricante de automóviles, planea usar sus baterías de fosfato de hierro para alimentar su PHEV, el F3DM y F6DM (Dual Mode), que será el primer coche eléctrico comercial con el modo dual del mundo.

Las baterías de LiFePO_4 están ganando popularidad en el mundo de los aficionados de los vehículos de radio control, debido a las ventajas sobre las baterías Li-poly cada vez más populares. Se pueden recargar mucho más rápido y tienen más ciclos de vida, no son propensos arder o explotar durante la carga, y son más robustas que las de tipo Li-poly. One Laptop per Child usa baterías LiFePO_4 en el ordenador portátil XO-1.5, ya que no contienen metales pesados tóxicos, con la intención de cumplir la normativa de Sustancias Peligrosas de la Unión Europea. Las baterías LiFePO_4 son utilizadas también por los vehículos eléctricos del fabricante Smith Electric y utilizadas por “Minneapolis Electric Bike” y “Chicago Electric Bicycles”.

CAPITULO 3.- DIMENSIONAMIENTO, SELECCIÓN DE COMPONENTES Y CALCULOS JUSTIFICATIVOS

3. Dimensionamiento y Selección de componentes

En este apartado se hará el dimensionamiento del drone y la selección de los principales componentes que forma el sistema diseñado, junto con una breve descripción de los principales elementos: Drone, Motor Brushless, Variador de Velocidad (ESC), componentes mecánicos, Telemetría, receptor de radio, conexiones...

3.1 Dimensionamiento del Drone

La especificación más importante en la que nos hemos basado para el dimensionado del drone es que sea capaz de mantener el vuelo a baja velocidad con una gran carga, debido al sobrepeso de las pilas de combustible. Por lo que hemos dimensionado un avión con una carga alar lo más baja posible, para ello hemos aumentado mucho la envergadura de las alas, además de utilizar un perfil de ala que genera mucha sustentación, un perfil de ala muy típico en veleros. Una vez tenemos claras las especificaciones pasamos a la descripción del drone.

El chasis del drone está construido principalmente de contrachapado de madera de 3mm de grosor, tubos de carbono para rigidificar el armazón y las alas. Para el entelado de las alas se ha usado Oracover. Todo ello pegado en su mayoría con cola blanca de carpintero y las para las zonas de más estrés mecánico se ha usado Epoxi. El drone tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 3.1- Especificaciones del Drone

Envergadura de las Alas (mm):	2500
Superficie de las Alas (dm ²):	71.25
Longitud del fuselaje (mm):	1653
Peso en Orden de Vuelo (sin baterías) (g):	8000
Carga Alar (g/dm ²):	112
Airfoil (perfil del Ala):	Modern F3b-F3f

3.2- Selección de componentes

Una vez tenemos claro el tamaño del dron y la potencia que va a necesitar para volar, pasamos a la selección de componentes, partiendo del motor AXI Gold 2826/10 920KV y eligiendo el resto de componentes a partir de las demandas de este.

Para la selección de los diferentes elementos del sistema, se ha seguido el esquema de la Figura 3.1.

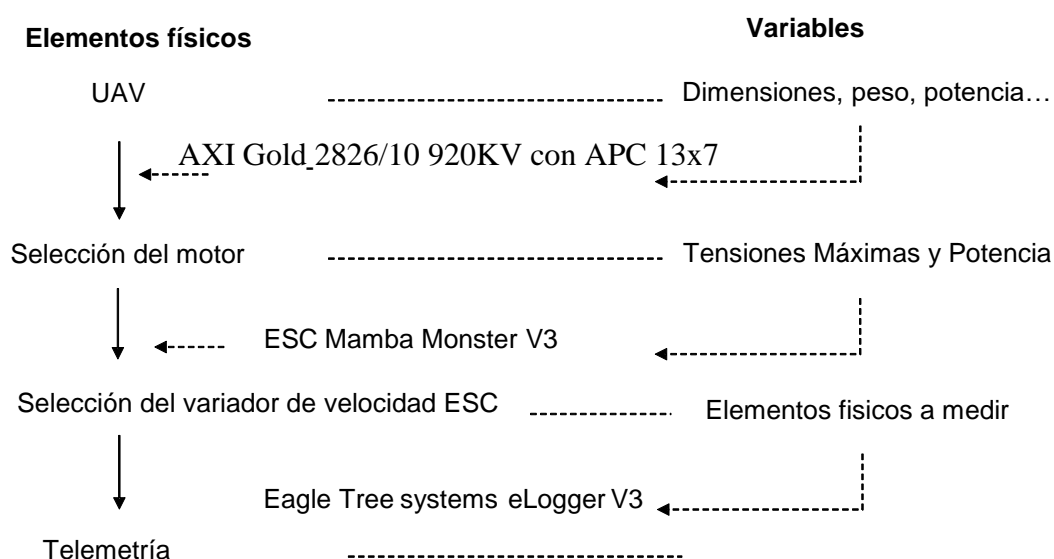


Figura 3.1 – Esquema de selección de componentes.

Motor

Para la modificación de los sistemas, en primer lugar se requiere elegir el motor capaz de hacer volar al Dron. Se tomó como parámetro inicial el empuje mínimo necesario para hacer volar un avión de estas dimensiones, seleccionado un motor brushless que satisfaga ese empuje: el modelo “AXI Gold 2826/10 920KV”, con una potencia de 880W a una tensión de alimentación máxima de 12.6V con una hélice de la marca APC de 13x7 (lo que proporciona cerca de 36 A de consumo), con la que nos da un empuje suficiente para hacer volar al dron.

Variador de velocidad - ESC

Una vez se ha elegido el motor, se requiere un Variador de velocidad (ESC). Valorando los datos que facilita el fabricante del motor, se elige el ESC del fabricante Castle

Creations, concretamente el modelo Mamba Monster V3, que soporta los 26V de alimentación y 120A de consumo continuo. Otra de las razones por la que se ha elegido este variador es por la garantía que ofrece el fabricante, y el contrastado soporte técnico.

Telemetría

Finalmente se requiere una telemetría capaz de tomar las siguientes mediciones:

- Al menos 3 mediciones de Temperatura simultáneas (Motor, ESC y pila de combustible).
- Amperímetro y voltímetro.
- Sensor de RPM.
- Visualización de los datos en el PC, para posterior estudio.
- Modo de funcionamiento autónomo (capaz de guardar la información recogida sin necesidad de estar conectado al PC).
- Modo de funcionamiento online, para poder visualizar los datos instantáneamente en el PC o el Drone.

Considerando las anteriores necesidades y aspectos sobre el presupuesto (ver **Presupuesto**) se ha seleccionada el modelo eLogger V3 del fabricante “Eagle Tree Systems”, que soporta 150 A y una tensión máxima de 70 V. Dicha telemetría es capaz de guardar una gran cantidad de datos durante un largo periodo de tiempo (a máxima resolución es capaz de memorizar 45 minutos de información).

El diseño de la distribución de la electrónica de radiocontrol dentro de la UAV se llevó a cabo de acuerdo con la Figura 3.2 (plano nº12), con el fin de dejar el mayor espacio posible para la colocación de las pilas de combustible y la batería como se muestra en la ampliación de la zona central inferior de la UAV en la Figura 3.3 (plano nº13).

Una vez se tiene la distribución, se acopla el motor brushless al fuselaje del drone mediante la bancada que suministra el fabricante del motor. Finalmente se sujeta el resto de componentes al fuselaje del drone mediante velcro, cinta de doble cara, o bridas, quedando la instalación de los componentes.

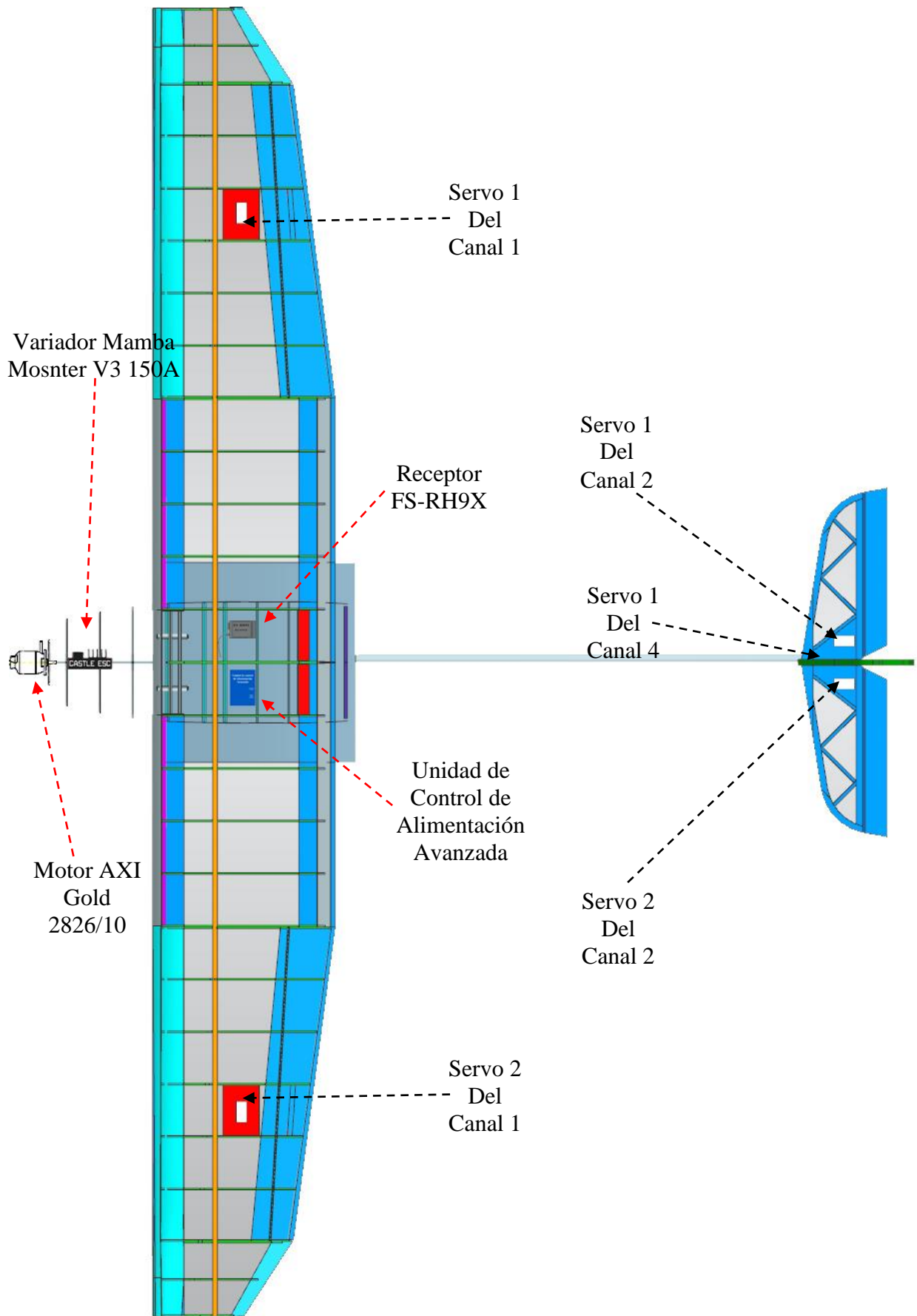


Figura 3.2 – Distribución de la electrónica de radiocontrol en la UAV.

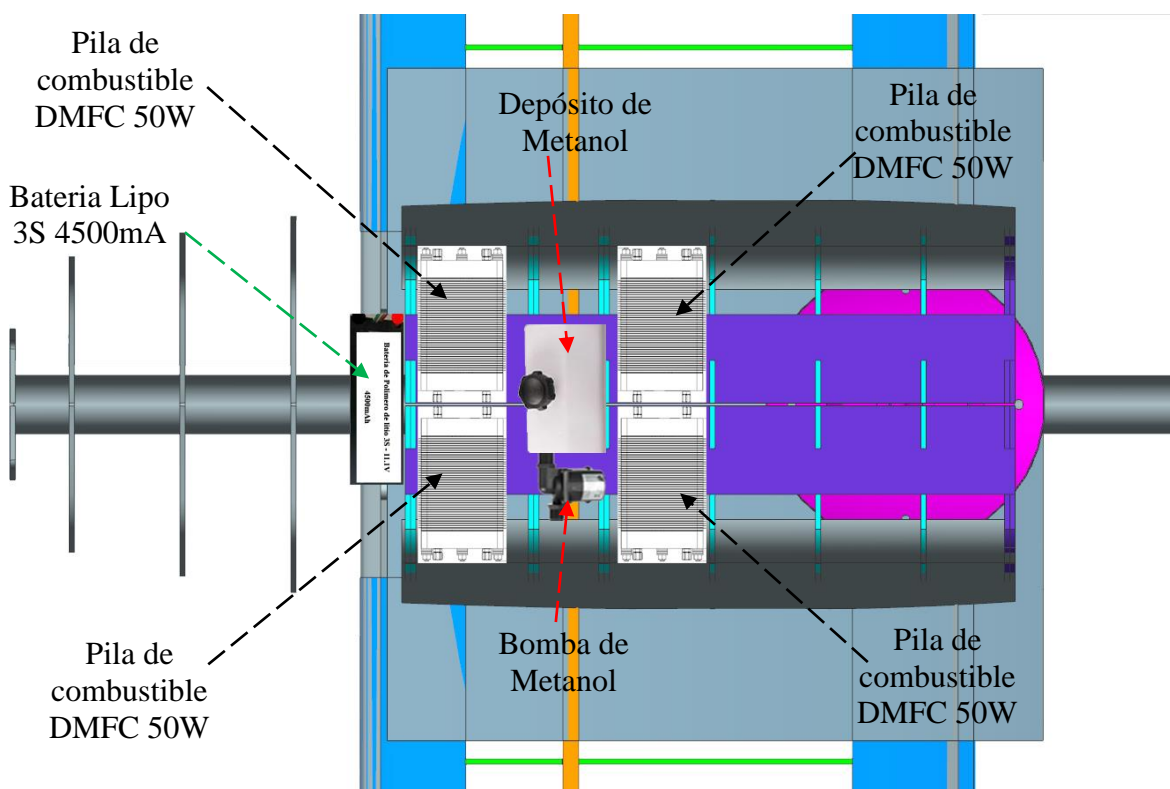


Figura 3.3 – Distribución del sistema de alimentación en la UAV.

3.3- Diseño del cableado necesario. Potencia del motor, intensidades y tensiones

Basándose en los datos que nos facilita el fabricante, se pueden hacer unos cálculos aproximados, con la intención de adecuar el cableado eléctrico que vamos a instalar en la UAV. Los datos son (AXI Gold 2826/10 920KV Brushless):

- KV: 920RPM/V
- Peso: 181g
- Diámetro del Eje: 5mm
- Tamaño: 35x48mm
- Voltaje Máximo: 21v
- Intensidad Máxima: 42A
- Máxima Eficiencia: 84%
- Corriente Máxima Eficiencia: 20 a 30A (>78%)
- Resistencia Interna: 0.042ohm

- Hélice designada: APC 13x7 (código comercial LP 13070)

Considerando que la potencia máxima se dará cuando el motor este alimentado a su máxima tensión, se puede hacer una estimación de la corriente aproximada que absorberá el motor. Tomando como tensión nominal máxima la dada por 3S Lipo es 12.6 V, se puede medir el consumo del motor con la hélice designada.

$$P = V \times I = 388W$$

$$I = \frac{P}{V} = 36A$$

$$rpm = 7000 rpm$$

La intensidad al alimentar a 12.6V resulta:

$$I = 36A$$

La corriente media aproximada que consumirá el motor cuando es alimentado por 12.6 V, es de 36 A, pero se sabe que este valor depende mucho de la carga a la que está sometido el eje del motor, por ello a la hora de elegir el cableado, se proporciona un margen de seguridad, aumentando la intensidad en un 25%_

$$I_{(125\%)} = I \times 1.25 = 36 \times 1.25 = 45A$$

Una vez se conoce la corriente media que va a soportar dicho cableado, se debe elegir el tipo de cable y la sección. Para este tipo de dispositivos, se utiliza generalmente un cable con una funda de silicona que soportan temperaturas de 200°C, además de ser un cable de cobre puro y muy flexible, facilitando la instalación del mismo, especialmente cuando se dispone de espacios pequeños. Dicho cable viene calibrado en AWG (American Wire Gauge), y las características del cable, en función del tamaño vienen determinadas en la Tabla 3.1. A partir de estos datos, se elige un cableado de 10AWG para realizar la instalación eléctrica de la UAV.

Tabla 3.2 – Calibrado del cable AWG, resistencia del cable y corrientes soportadas

AWG gauge	Diámetro del Conductor en mm	Ohms por km	Maximos Amperios Continuos
6	4.1148	1.295928	101
7	3.66522	1.634096	89
8	3.2639	2.060496	73
9	2.90576	2.598088	64
10	2.58826	3.276392	55
11	2.30378	4.1328	47
12	2.05232	5.20864	41
13	1.8288	6.56984	35
14	1.62814	8.282	32
15	1.45034	10.44352	28
16	1.29032	13.17248	22

3.4 Algunas precauciones sobre seguridad en el uso de la UAV.

- Se tendrá especial atención de no invertir la polaridad de los diferentes componentes de la UAV, siempre respetando las conexiones mostradas en los planos y haciendo especial hincapié en la alimentación del Variador de velocidad o ESC (Electronic Speed Control) y la telemetría.
- El sistema siempre se alimentara con una tensión continua, y nunca superior a 26V, ni inferior a 5V.

- No se verterán líquidos sobre la UAV, especialmente sobre las partes electrónicas.
- La UAV nunca debe usarse si las condiciones meteorológicas son adversas (como la nieve, lluvia, hielo, niebla o viento)

CAPITULO 4.- DISTRIBUCION E INSTALACION DE COMPONENTES

4. Distribución e Instalación de componentes

En este apartado se describe el proceso seguido para el montaje o desmontaje, de todos los componentes eléctricos y electrónicos de la UAV.

La distribución se lleva a cabo pensando en el ajuste del centro de gravedad del drone, empezando por alojar el motor en la bancada fabricada para dicho fin situada en el morro del drone.

El proceso de montaje consistió en:

1. Se atornilla el motor a la bancada que proporciona el fabricante (Figura 3.4), para ello se aplica fija tornillos (por ejemplo Nural 50) en las 4 rocas de los tornillos que van a sujetar el motor a dicha bancada. Se atornillaran los cuatro tornillos de métrica 3x8mm, con un par de apriete según la ISO 898/1, para un tornillo de clase 10/9 se aplicaran 6.3N.m de fuerza sobre la dinamométrica.
2. Ahora se atornilla el “porta hélices” al motor como se muestra en la Figura 3.4, para ello se vuelve a aplicar fija tornillos en las 3 rocas de los tornillos del porta hélices. Se atornillaran los tres tornillos de métrica 3x10mm, con un par de apriete según la ISO 898/1, para un tornillo de clase 10/9 se aplicaran 6.3N.m de fuerza sobre la dinamométrica. Se debe garantizar de que el eje gira suave y libre, para cerciorarse de que todo está correctamente montado, debiendo quedar como en la Figura 3.3.



Figura 3.4 – Motor con porta Hélices

3. Se atornilla la bancada del motor, a la bancada del drone, para ello se aplica fija tornillos (por ejemplo Nural 50) en las 4 rocas de los tornillos que van a sujetar el motor a dicha bancada. Se atornillaran los cuatro tornillos de métrica 3x10mm, con un par de apriete según la ISO 898/1, para un tornillo de clase 10/9 se aplicaran 6.3N.m de fuerza sobre la dinamométrica.
4. Se sujeta el variador con velcro al drone en la ubicación que se muestra en la figura 3.2 (Plano 12). Finalmente se conecta al canal 3 del receptor, como se muestra en la Figura 3.6 (Plano 7).
5. Se conectara el Motor brushless al variador como se muestra en la Figura 3.6 (Plano 7).
6. Se sujetara unidad de control de Alimentación con velcro al drone en la ubicación que se muestra en la figura 3.2 (Plano 12), y conectándola al variador como se muestra en la Figura 3.6 (Plano 7).
7. Se sujetara el receptor con velcro al drone en la ubicación que se muestra en la figura 3.2 (Plano 12). Finalmente se conecta a la salida de batería auxiliar de la unidad de control de alimentación, como se muestra en la Figura 3.6 (Plano 7).
8. Se sujetaran los 5 servo motores con los tornillos suministrados por el fabricante de los servos, atornillándolos al drone en la ubicación que se muestra en la figura 3.2 (Plano 12), y ajustando el varillaje haciendo un ángulo de 90° con el brazo del servo, a la vez que los mandos del avión quedan planos al ala, acortando o alargando el tirante del varillaje, como se muestra en la Figura 3.5.

Finalmente se conectarán al receptor como se muestra en la Figura 3.6 (Plano 7), prestando atención en los servos 1 y 2, que están conectados con un cable en Y al canal 1, y los servos 3 y 4 también usan un cable en Y para conectarse al canal 2.



Figura 3.5 – Ajuste del varillaje del servo con el brazo.

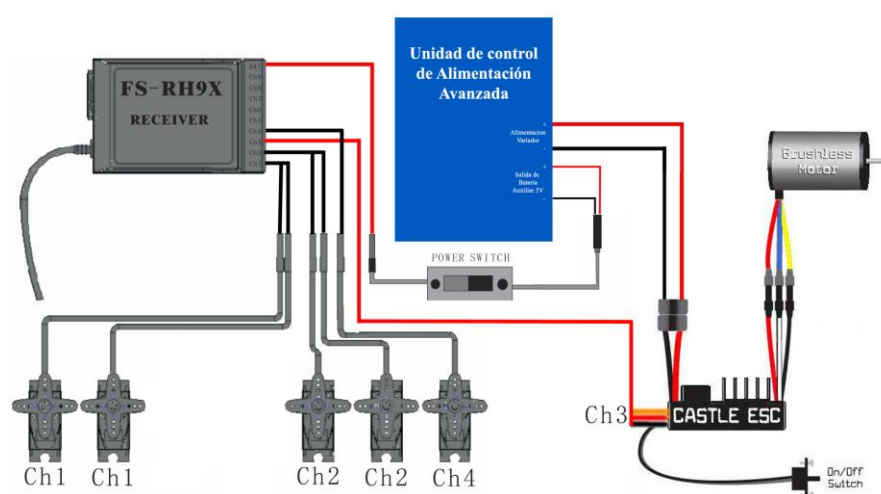


Figura 3.6 – Conexión de la electrónica de control.

9. Se sujetara la batería de polímero de litio con una cinta de velcro al drone en la ubicación que se muestra en la figura 3.3 (Plano 12), y conectándola a la unidad de control de alimentación como se muestra en el Plano 13.
10. Se sujetara el depósito y la bomba de metanol además de las pilas de combustible al drone en la ubicación que se muestra en la figura 3.3 (Plano 12), y conectando las cuatro pilas de combustible a la unidad de control de alimentación como se muestra en el Plano 13.
11. Finalmente se conectara la bomba de metanol con el depósito mediante tubos de silicona de 6mm de diámetro, y al mismo tiempo la bomba de metanol a las pilas de combustible como se muestra en el plano 9.

CAPITULO 5.- IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE ALIMENTACION EN EL DRONE

5. Implantación del sistema de alimentación en el Drone.

En el presente capítulo se va exponer como implantar las pilas de combustible en el drone, con el fin de asegurar siempre el correcto funcionamiento de las pilas de combustible, haciendo que no funcionen por encima de sus posibilidades y evitar daños en las mismas. Además de asegurarnos de que el drone siempre dispone de potencia mientras vuela. Con ese fin se ha diseñado dos unidades de control de la alimentación, cada una de ellas de diferente complejidad en función de la prueba a realizar. Para ello, se consideran los siguientes componentes:

- Cuatro pilas de Combustible DMFC 50W del fabricante “Baltic Fuel Cells”(o similares características), conectadas en paralelo.
- Una batería de polímero de litio de 4500 mA y 11.1 V, del fabricante Turnigy.
- Unidad de control de Alimentación (ACU).
- Resto de componentes ya instalados en la UAV (ver capítulo 3.1.2)

5.1 Pilas de combustible DMFC 50W.

Las pilas de combustible de metanol del fabricante “Baltic Fuel Cells” tienen las características mostradas en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2 – Características de la pila de combustible DMFC 50W.

Características de la pila de combustible H-100	
Tipo de Fuel Cell	DMFC
Número de Celdas	30 Serie
Power	50 W
Tension Maxima	26 V
Power V@I	11 V / 5 A (observar figura 3.8)
Peso	1485 gr
Dimensiones	145 mm x 75 mm x 100 mm
Protección voltaje mínimo	11V (externa)
Protección corriente máxima	5A (externa)
Protección Temperatura	75°C (externa)

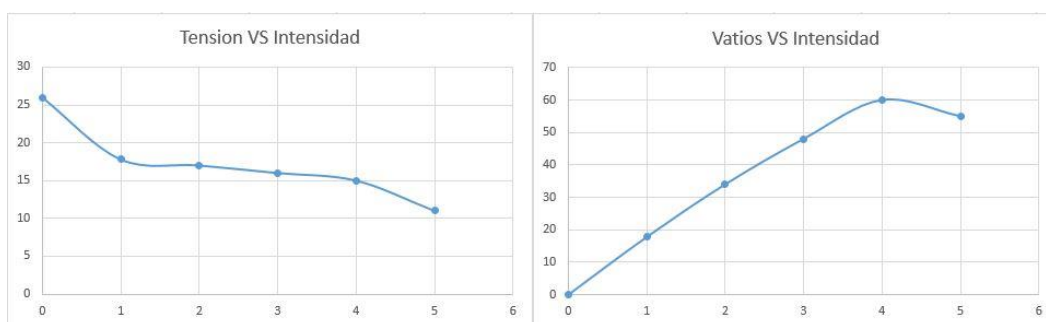


Figura 3.8 - Curva de polarización de la pila de combustible DMFC 50W, donde se observa que el punto de mayor rendimiento es cuando proporciona una tensión de 11 V, con una intensidad de 5 A, proporcionando 50W.

5.2 Baterías de polímero de litio de 4500 mA y 11.1 V.

Las baterías de Polímero de litio (Li-Poly) de 4500 mA y 11.1 V del fabricante TURNIGY, tienen características señaladas en la Tabla 3.2.

Características de la batería Li-Poly de 4500 mA y 11.1 V de Turnigy	
Número de Celdas	3 Serie
Capacidad	4500 mA
Tension Nominal	11.1 V
Peso	400 gr
Dimensiones	138 mm x 45 mm x 34 mm
Descarga Continua	30C -> 4500 mA x 30 = 135 A
Descarga Pulsante (10seg)	40C -> 4500 mA x 40 = 180 A
Protección voltaje mínimo	9 V
Protección Temperatura	65°C (externa)
Máxima Intensidad Carga	2C -> 4500 mA x 2 C = 9 Amperios
Eficiencia	90 %

Tabla 3.2 – Características de las baterías Li-Poly del fabricante Turnigy.

Este tipo de baterías son de muy alto rendimiento y eficiencia, pero para alargar su vida es recomendable que no estén cargadas a máxima capacidad más de 1 hora, y que no se descarguen por debajo del 15%, se recomienda que la descarga no sea inferior al 30% para mantener un margen de seguridad, a modo de Buffer, y que la carga no sea superior al 80%. En caso de que no vayan a usarse en un tiempo superior a una semana, se recomienda almacenarlas a una carga entre el 50 y el 65 %, nunca descargadas o cargadas al 100 %.

5.3 Unidad de Control de Alimentación (ACU).

Se han diseñado dos versiones de la ACU, la simple y la avanzada:

5.3.1 Unidad de Control de Alimentación Simple

La unidad de control de Alimentación simplificada será la encargada de decidir que fuente de alimentación se usa para alimentar al motor.

Esa decisión será basada en función de lo que el piloto necesite, será una decisión tomada de forma manual. Para ello se configurara en la emisora el canal 5 (el cual está libre) como un interruptor de On/Off. La señal de dicho canal será leída por la ACU, haciendo que si está en On el motor se moverá con la energía producida por la batería de LiPo, y si el interruptor está en Off (posición de reposo del Relé, ya que es donde se trabajara más tiempo, y así minimizamos el consumo energético) el motor se moverá con la energía producida por las pilas de combustible.

Para conseguir esto, la ACU internamente está dotada de un circuito electrónico (este circuito se llama “receiver controlled On/Off switch”) que es capaz de leer la señal enviada por la emisora, y maniobrar en función de dicha señal un Relé de “12V y 60A”. Estando conectado el contacto normalmente cerrado al positivo de la pila de combustible, y el contacto normalmente abierto, al contacto de la batería de LiPo. Tal y como se muestra en el Plano 10.

5.3.2 Unidad de Control de Alimentación avanzado

Esta unidad será la encargada de decidir cuál de los dos sistemas de alimentación se usa, siempre intentando hacer que el conjunto funcione con la máxima eficiencia. Asimismo será la encargada de mantener las medidas de seguridad de dichos componentes. Y si fuera necesario cargar la batería de LiPo. Para ello se basara en las consignas marcadas por el flujograma de la Figura 3.9.

Se obligara a la pila de combustible a trabajar siempre en su punto de máxima eficiencia, que lo desarrolla a 11 V y 5 A (ver Figura 3.8). En función de los requerimientos de potencia del sistema, se utilizará un par de pilas de combustible, o las

cuatro a la vez, ya que como se puede ver en el plano 11, las pilas han sido conectadas a los relés en grupos de dos.

Siempre que las solicitudes de potencia generadas por el motor puedan ser suplidas por la potencia generada por las pilas de combustible, se usara la potencia de las pilas de combustible. En caso de que la potencia requerida por el motor sea mayor a la que puedan suministrar las cuatro pilas de combustible ($220W = 11V \times 20 A$), se usara también la potencia de las baterías de polímero de litio. Normalmente este caso se dará en las aceleraciones.

Si los requerimientos de potencia del sistema son inferiores a 110 W ($11V \times 10 A$), el sobrante de energía se usará para recargar las baterías, hasta que alcancen el 95%. En caso de que las baterías se encuentren ya al 95% de carga, se desconectara una de las pilas de combustible.

Si las baterías de polímero de litio llegan al 30 % de su carga, el sistema entrará en un modo de baja potencia, limitada a 110 W. Las cuatro pilas de combustible entraran en funcionamiento. Una de ellas se encargara de alimentar al sistema en modo de bajas prestaciones, y la otra se encargara de recargar la batería de polímero de litio.

Con este sistema se persigue utilizar las pilas de combustible a modo de generador eléctrico, siempre funcionando en el punto de máximo rendimiento, y utilizar las baterías de polímero de litio a modo de almacenamiento del sobrante, y para ayudar en las aceleraciones.

Si solo se desea usar la potencia generada por las cuatro pilas de combustible, la mejor manera de conseguirlo es configurando un Dual Rate (DR) en el acelerador de la emisora, de forma que limite la potencia del motor por debajo de los 220W desde un interruptor de la emisora.

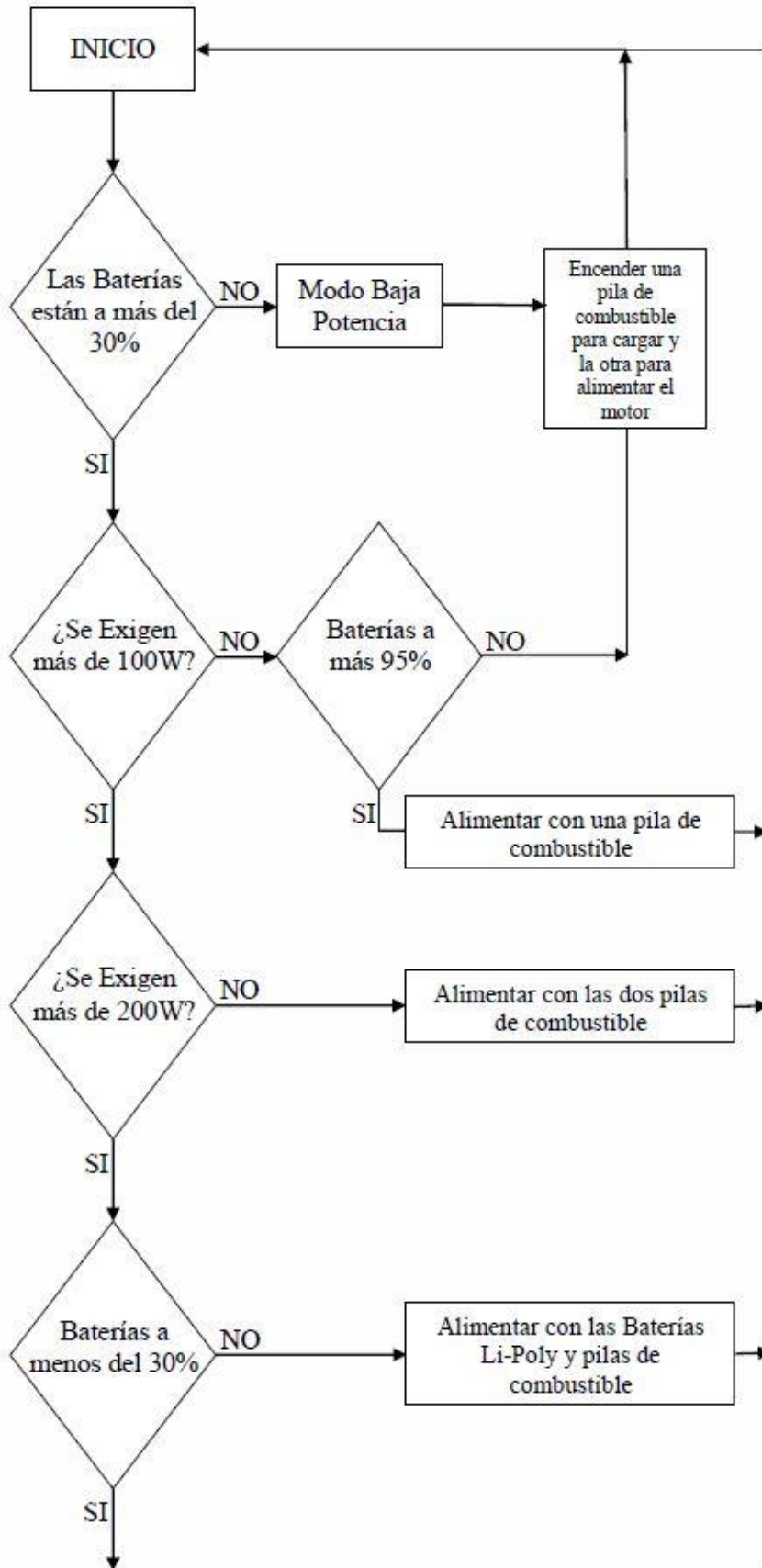


Figura 3.9. – Flujograma de funcionamiento de la Unidad de control de Alimentación.

Para conseguir todo esto la ACU internamente está compuesta de distintos componentes electrónicos:

1. Arduino UNO es el microcontrolador de la centralita de control y el encargado de gestionar los recursos de alimentación del dron.
2. 3 Relés de 12V y 60A. Se estudió la posibilidad de utilizar relés de estado sólido, pero debido a su alto coste, y que siempre tienen que estar alimentados, por lo que baja la eficiencia del conjunto, se ha decidido usar relés de contactos.
3. 4 resistencias de 500ohmios
4. 4 resistencias de 100ohmios
5. 4 diodo shockley 5V
6. 4 condensadores de 10nF
7. 3 resistencias de 1Kohmios
8. 3 transistores 2N3904
9. 1 Quanum DC Automatic Charger (10~26VDC input voltage / 12.6VDC 4A output). Es el encargado de cargar las baterías LiPo cuando se le envía alimentación.
10. Turnigy 5V/6V 5A Heli-UBEC for Lipoly (6~16V). Se encarga de reducir la tensión de la LiPo (14.4V) a 5V constantes, y con ello alimentar toda la electrónica del Dron.

Estos componentes serán conectados como se muestra en el Plano 11. Y en el Arduino Uno ira cargado el siguiente programa:

int lectura; // variable que almacenara el valor leído del potenciómetro.

int salida = 9; // pin por el que mandaremos un tren de pulsos

int entrada = 10; // pin en el que meternos la señal que viene del receptor

unsigned long pulso; // variable en la que almacenaremos la lectura

int Ain0 = A0 ;

// Entrada analógica 0 para medir la tension de la Lipo

int D1 ;

```
float D2 ;
float LipoV ;

int Ain2 = A2 ; // Entrada analógica 2 para medir la tension de la pila de
combustible 1
float Pila1;

int Ain1 = A1 ; // Entrada analógica 1 para medir la tension de la pila de
combustible 2
float Pila2;

int Carga = 12 ; // Salida digital en el pin 12, a On cargar la lipo con la pila de
combustible 1, Salida Low alimenta al motor con la pila 1.
int OnLipo=13; //Alimentamos con la bateria de Lipo
int OnPila2=8; //Salida digital en el pin 8, a On desconectamos la pila de
combustible 2, Salida Low alimenta al motor con la pila 2.

void setup()
{
  pinMode(salida, OUTPUT); // configuramo el pin como Salida
  pinMode(Carga, OUTPUT); // configuramo el pin como Salida
  pinMode(OnLipo, OUTPUT); // configuramo el pin como Salida
  pinMode(OnPila2, OUTPUT); // configuramo el pin como Salida

  pinMode(entrada, INPUT); // configuramo el pin como entrada
}

void loop()
{
  D1=analogRead(Ain0) ; // Lectura A0 (0..1024)
  D2=map(D1,0,1023,0,100)/100.0 ; // Valor normalizado (0..1)
  LipoV=(26+0.0)*D2+0.0 ; // Valor en Voltios (0..26V) de la bateria de Lipo

  D1=analogRead(Ain1) ; // Lectura A0 (0..1024)
  D2=map(D1,0,1023,0,100)/100.0 ; // Valor normalizado (0..1)
  Pila1=(26+0.0)*D2+0.0 ; // Valor en Voltios (0..26V) de la pila de combustible 1

  D1=analogRead(Ain2) ; // Lectura A0 (0..1024)
  D2=map(D1,0,1023,0,100)/100.0 ; // Valor normalizado (0..1)
```

```
Pila2=(26+0.0)*D2+0.0 ; // Valor en Voltios (0..26V) de la pila de combustible 2
```

```
pulso = pulseIn(entrada, HIGH); // leemos el pulso del canal 3, que es el acelerador
```

//Comprobamos la Tension de la batería Lipo, para asegurarnos que no está descargada, si lo está entramos en modo baja potencia.

```
if (LipoV<10,5) { //Tension de la lipo inferior a 10,5V, modo baja potencia, entramos en modo baja potencia
```

```
if (pulso<1400) {
```

```
digitalWrite(salida, HIGH); // activamos el pin de salida
```

```
delayMicroseconds(pulso); // esperamos el tiempo que dura el pulso en microsegundos
```

```
digitalWrite(salida, LOW); // desactivamos el pin de salida
```

```
}
```

```
else{
```

```
pulso=1400; //Como el valor de acelerador es superior al maximo del modo de baja
```

potencia, lo limitamos al maximo valor que admite el modo baja potencia

```
digitalWrite(salida, HIGH); // activamos el pin de salida
```

```
delayMicroseconds(pulso); // esperamos el tiempo que dura el pulso en microsegundos
```

```
digitalWrite(salida, LOW); // desactivamos el pin de salida
```

```
}
```

```
digitalWrite(Carga,HIGH) ;//Activamos el Pin12 para poner a cargar la Lipo
```

```
digitalWrite(OnLipo,HIGH) ;//Desactivamos la Lipo para que se pueda cargar
```

```
digitalWrite(OnPila2,LOW) ;//Activamos la pila2 para que alimente el motor
```

```
}
```

//Modo normal

```
else{
```

```
digitalWrite(salida, HIGH); // activamos el pin de salida
```

```
delayMicroseconds(pulso); // esperamos el tiempo que dura el pulso en microsegundos
```

```
digitalWrite(salida, LOW); // desactivamos el pin de salida
```

digitalWrite(Carga,LOW) ; //Desactivamos el Pin12 para que la pila1 de combustible alimente el motor.

digitalWrite(OnLipo,HIGH) ; //Desactivamos la Lipo para que sean las pilas de combustible las que alimenten el motor

```
digitalWrite(OnPila2,HIGH) ; //Desactivamos la Pila2
```

//Si la tension de la pila1 es mayor de 11V se exigen menos de 100W, por lo que podemos intentar cargar la Lipo

```
if (Pila1>11) {
```

```
if (LipoV>12.2) { //Si la lipo esta a mas de 12,2V es que tiene mas del 95% de carga
```

```
digitalWrite(Carga,LOW) ;//Desactivamos la Pila1 para utilizar la Pila1 como alimentacion del
motor
}
else{ //La lipo esta por debajo del 95% de carga, por lo que podemos aprovechar la
energia sobrante para cargar
digitalWrite(OnPila2,LOW) ;//Activamos la pila2 para que alimente el motor
digitalWrite(Carga,HIGH) ;//ponemos la Pila1 a cargar la Lipo
digitalWrite(OnLipo,HIGH) ;//Desactivamos la Lipo para que se pueda cargar
}
}

//Si la tension de la pila1 es menor de 11V se exigen mas de 100W, por lo debemos encender la pila2
else{
digitalWrite(OnPila2,LOW) ; //utilizamos la pila2 como alimentacion
digitalWrite(OnLipo,HIGH) ; //Desactivamos la Lipo para que sean las pilas de combustible las que
alimenten el motor
if (Pila2<11) { //Si la tension de la pila 2 es menos a 11V significa que estamos consumiendo
mas de 200W y encendemos Tambien la lipo.
digitalWrite(Carga,LOW) ;
digitalWrite(OnLipo,LOW) ;
digitalWrite(OnPila2,LOW) ;
}
}
}

delayMicroseconds(20000); // PAUSA de 20 milisegundos

}
```

CAPITULO 6. PROGRAMACION Y CONFIGURACION DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

6 Variador de velocidad (ESC)

En el presente capítulo describe la instalación, configuración y uso del software del variador de velocidad. Esto incluye tanto los programas para PC suministrados por el fabricante, como los diferentes valores del software interno del ESC, necesarias para que vuele adecuadamente la UAV.

6.1 Instalación del programa de configuración del variador de velocidad en el PC

Previamente al uso del ESC, es recomendable ajustarlo mediante el programa que suministra el fabricante, denominado *Castle Link*, utilizando el CD de instalación. Los pasos a seguir se muestran a continuación. En caso de no activarse la opción del software, Figura 4.1, se debe ejecutar manualmente desde “Mi PC”. Se recomienda la ruta de instalación (*install*) que aparece por defecto (Figuras 4.2 y 4.3). Finalmente si no ocurre ningún problema, el programa constatará que la instalación se ha completado con éxito (Figura 4.4.), creándose un acceso directo en el escritorio y en el menú *Inicio*.

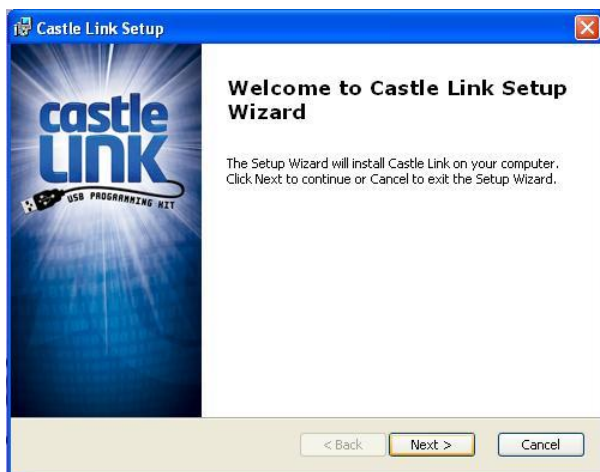


Figura 4.1

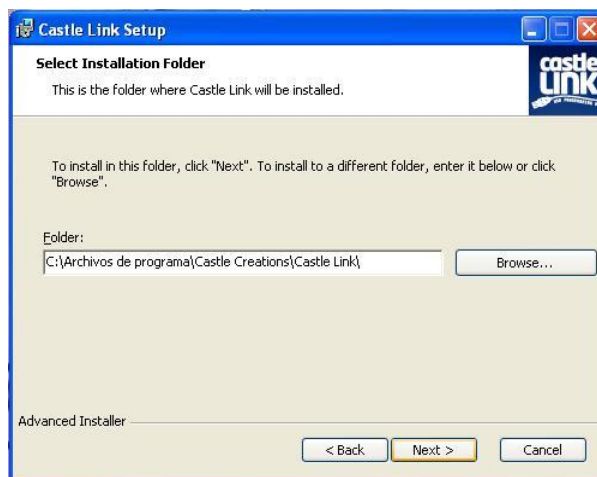


Figura 4.2

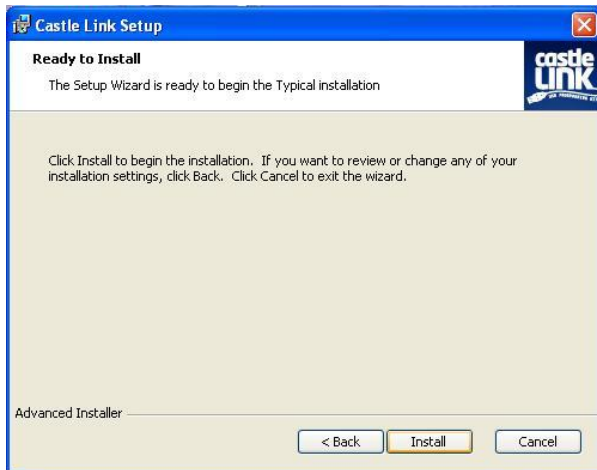


Figura 4.3

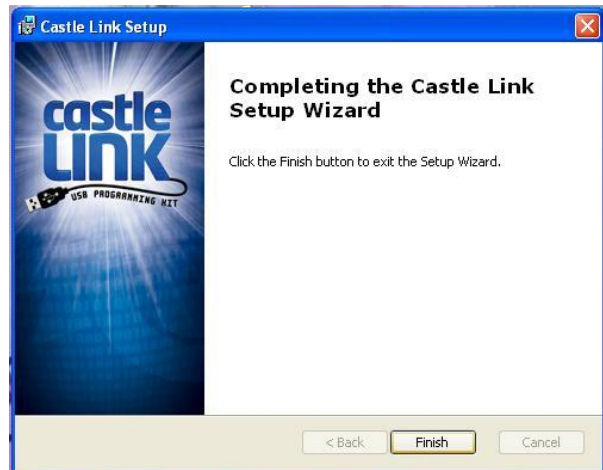


Figura 4.4

6.2. Conexión del ESC al PC.

Para conectar el ESC al PC, se requiere una interfaz que el fabricante denomina “*Castle Link USB*”. Se debe conectar como se muestra en la Figura 4.5 y Figura 4.6, o en el Plano 8.

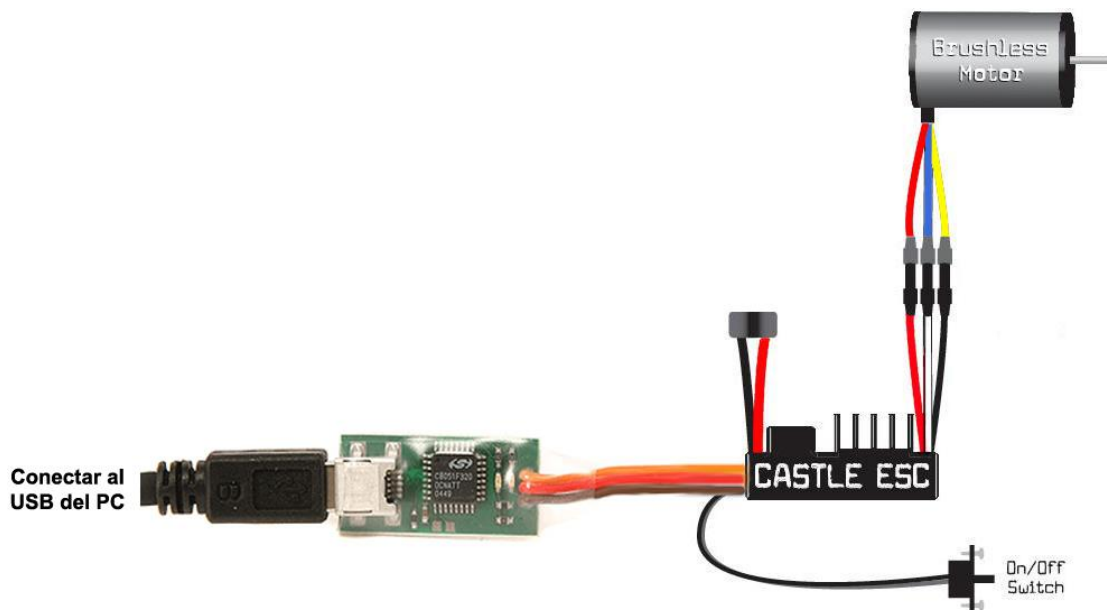


Figura 4.5- Esquema Eléctrico de las conexiones.

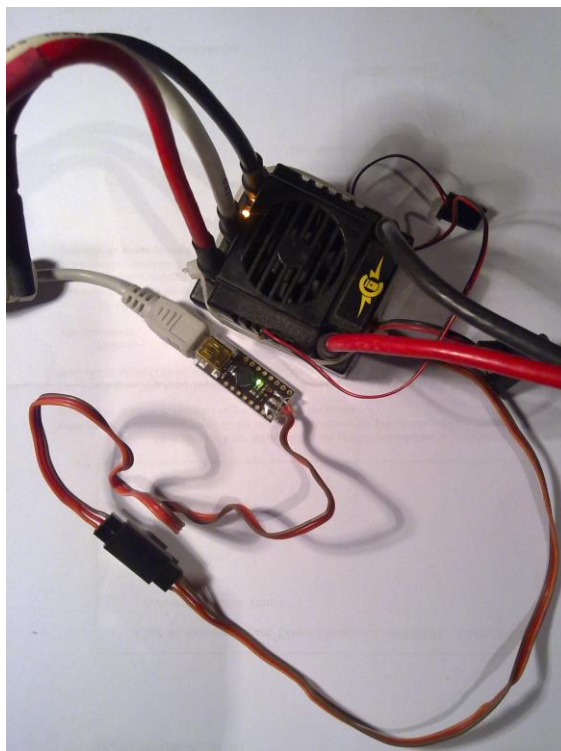


Figura 4.6- En la fotografía se muestra como quedara la conexión.

6.3 Configuración de los parámetros del ESC

Una vez completada la instalación, se ejecuta el programa *Castle Link* desde unos de los accesos directos que ha creado el instalador. Se abrirá una ventana (Figura 4.6) informando de que hay una nueva versión del programa *Castle Link*, para actualizar la versión del programa. En condiciones normales se recomienda la actualización, aunque para el desarrollo del presente proyecto no fue necesaria, dado que con la versión actual se tienen los parámetros suficientes para el ajuste del ESC.



Figura 4.6 – Ventana de información de que hay una nueva versión disponible

Posteriormente aparecerá la pantalla principal del programa, con una serie de pestañas en su parte superior, se presiona la opción “*basic*”, y se configuran los parámetros, de acuerdo a la Figura 4.7. Estos ajustes se justifican en el apartado siguiente.

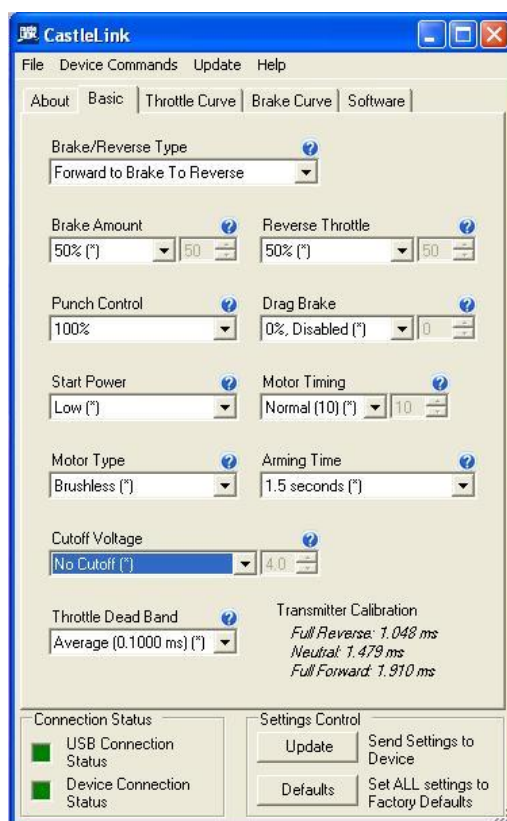


Figura 4.7- Parámetros de configuración del Variador

6.4 Justificación de los ajustes del variador

El ESC es extremadamente flexible, y puede ser ajustado con gran precisión, para ello en esta sección se describen brevemente los ajustes disponibles y cómo pueden influir en el comportamiento del motor.

6.4.1 Brake/reverse type.

En este parámetro podemos configurar si requiere o no función de marcha atrás, y de qué forma se activa, teniendo 3 opciones:

- **1º Reverse:** Es el ajuste de fábrica, con él se tiene la opción de marcha atrás, pero para ello, previamente ha de estar el acelerador de la emisora en posición “Neutra”, durante al menos 2 segundos, y el motor a cero rpm
- **2º Forward / Brake:** Este ajuste es para desconectar la marcha atrás, el variador solo ira hacia delante, o frenara.
- **3º Forward / Brake/ Reverse:** Es la opción que se ha programado en el variador, con esta configuración se tiene la posibilidad de ir hacia delante, frenar, e inmediatamente

después de que el motor frene a cero rpm, y pasando otra vez por el punto “Neutro” de la emisora (sin espera), ir marcha atrás.

6.4.2 Brake Amount

Determina la Fuerza de frenado máxima del motor, cuando la emisora se encuentre en la posición máxima de frenado, los valores pueden variar entre 25%, 50%, 75% y 100%. En este caso se deja el ajuste de fábrica, que es del 50%.

6.4.3 Reverse Throttle

Determina la velocidad máxima marcha atrás (si esta activada), que puede variar entre 25%, 50%, 75% y 100%. En este caso se deja el ajuste de fábrica, que es del 50%.

6.4.4 Puch Control

Este ajuste, también denominado “Control de Tracción” o “potencia de aceleración”, determina la rapidez con la que actúa el variador, respecto a la señal de acelerador de la emisora.

El ajuste permite suavizar la respuesta de aceleración del motor. La aceleración depende de la potencia que sea capaz de entregar la batería. Es posible que no se requiera el 100% de la potencia de la batería, por dos razones básicamente:

1º La potencia que es capaz de dar la batería es superior a la que se puede controlar, por diferentes razones, como el agarre, tipo de conducción, etc.,

2º Si se utiliza toda la potencia que puede entregarte la batería, se está llevando al límite tanto la batería como la electrónica, ya que la batería trabaja al límite para entregarte toda la potencia que puede, y la electrónica a de absorber esa potencia y transformarla en mecánica, con el aumento de temperatura que ello conlleva. Por lo que con un valor alto del control de tracción, conseguirás una aceleración suave, además de bajar las temperaturas de la electrónica, y conservar la batería.

Para el caso del presente proyecto se ha seleccionado el valor máximo de control de tracción que es el 100%, como estrategia de no deteriorar y proteger lo máximos posible las pilas de combustible de la UAV.

6.4.5 Drag Brake

También denominado “Freno Motor”, determina la cantidad de freno aplicado sobre el motor, cuando la emisora se encuentra en la posición “Neutra”, y pudiendo variarse desde 0% (sin freno motor) hasta el 40% de freno.

6.4.6 Start Power

Determina la potencia que se aplica al motor, permitiendo que el arranque de la hélice sea suave en el inicio, y no de un salto grande de rpm. Este parámetro NO controla la aceleración de la hélice, solo la suavidad con al que inicia el movimiento. Por ejemplo cuando se usa en vehículos terrestres, algunos necesitan recibir más energía en el motor, para conseguir moverse suavemente, generalmente los vehículos de tracción integral (4x4 o 4WD), con más superficie de contacto con el suelo, necesitan más energía que los vehículos con solo tracción en un eje (2WD). También con motores de muchas revoluciones por voltio (KV), es aconsejable usar un valor alto de *Start Power*. Para este caso, considerando que el motor de la UAV es de pocas revoluciones por voltio (KV) (i.e., mucho par motor), y arrastra una hélice que no genera una resistencia alta al movimiento, se ha configurado el valor *LOW POWER*.

6.4.7 CutOff Voltaje (Voltaje de Corte)

Este ajuste determina el voltaje mínimo, con el cual el Variador, reduce o desconecta la corriente al motor. Esto suele ser útil en algunas situaciones:

- Cuando el variador es alimentado por baterías de “polímero de litio” (Li-Poly), las cuales NUNCA han de ser descargadas completamente, bajo peligro de explosión. Se ajusta el corte de voltaje, de forma que el variador detenga el motor antes de que la batería este completamente descargada, protegiéndola de una sobredescarga.
- En el caso de alimentar el variador con una pila de combustible, es posible forzar que la pila nunca trabaje por debajo de su tensión de máximo rendimiento, además de que protegerla de sobredescargas. Las pilas de combustible presentan unas curvas de polarización como las mostradas en la Figura 4.8. Las pérdidas de potencial al cerrar el circuito de descarga en funcionamiento (sobrepotenciales) provocan que la potencia sea máxima en un determinado punto de funcionamiento, a partir de la cual el descenso en el voltaje entregado provoca una pérdida considerable del rendimiento. Las curvas

dependen, entre otros factores, de los electrodos y electrolitos utilizados, por lo que los materiales utilizados representan un aspecto fundamental en el estudio del funcionamiento de las pilas de combustible.

- Este hecho puede ser usado también a modo de control de aceleración, ya que los motores en las aceleraciones aumentan considerablemente la corriente (amperios), y se producen descensos en la tensión de las baterías. Si se obliga al variador a que limite esta bajada de tensión en la batería, se consigue que el variador deje de alimentar al motor momentáneamente, hasta que la batería se recupere y vuelva a alimentar al motor, consiguiendo una aceleración más progresiva y suave. Este parámetro también puede influir en la velocidad máxima que alcance la UAV, ya que a altas velocidades el motor también consume mucho, por lo que la batería vuelve a bajar mucho de tensión, así que llegara un momento en el que el variador deje de alimentar al motor, dejándolo en velocidad constante.

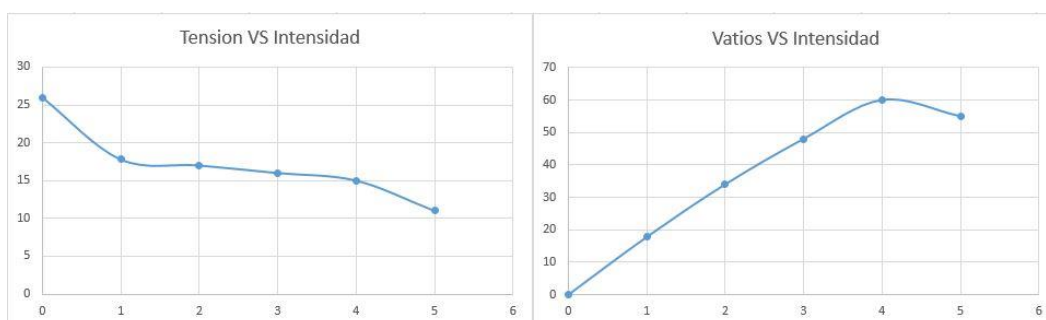


Figura 4.8 - Curva de polarización de la pila de combustible DMFC 50W, donde se observa que el punto de mayor rendimiento es cuando proporciona una tensión de 11 V, con una intensidad de 5 A, proporcionando 50W.

En el caso del presente proyecto se ha ajustado a la tensión de máximo rendimiento de la pila de combustible DMFC, según su grafica de polarización, que son 11V.

6.4.8 Motor Timing (avance del motor)

Avanzar la sincronización, en un motor eléctrico puede tener varios efectos. Reducir el avance de la sincronización reduce el consumo de amperaje, aumenta la autonomía, reduce la temperatura del motor y de la batería, y puede reducir levemente la aceleración, y la potencia. Aumentar el avance de la sincronización, aumentará el consumo, disminuye la autonomía, aumenta la temperatura del motor y de la batería, y puede aumentar levemente la velocidad, y la potencia. Se tienen 3 posibles valores:

- Bajo. Se consigue máxima eficiencia, una larga autonomía y temperaturas más frías en el motor y la batería. Muy útil con motores de altas revoluciones por voltio (KV). En general aumenta la vida útil del motor.

- Normal. En general se consigue la mejor relación de velocidad, potencia, y eficacia para todos los motores.

- Alta: Aumenta el consumo, menor autonomía, aumenta temperaturas del motor y de la batería, y puede aumentar velocidad y la potencia levemente.

El ajuste de *timing* alto se desaconseja para la utilización en la UAV, siendo recomendable el uso de *timing* bajo con el objetivo de proteger las pilas de combustible.

6.4.9 Motor type

Este ajuste determina el tipo de motor que se va a utilizar con el variador. El variador se puede estropear si se elige mal el motor. En este caso se configura en modo *Brushless*, ya que es el tipo de motor que se va a utilizar.

6.4.10 Arming Time

Este ajuste determina el tiempo que el variador detectará a la emisora en la posición neutra, antes de ser armado. Se utiliza como medida de seguridad, evitando que se active el vehículo con la emisora acelerada y el vehículo avance de forma descontrolada, dado que para que el variador se arme (que esté preparado para empezar a mandar potencia al motor), necesita detectar el tiempo programado en la emisora en posición neutra, en este caso 1.5 segundos.

6.5 Ajuste de los recorridos de la Emisora.

Este punto es clave dado que un ajuste erróneo de los recorridos de la emisora puede provocar que el variador no se arme (ya que sólo se arma cuando detecta el punto neutro, ver *arming time*), o simplemente no llegar al máximo de velocidad o frenado. Esto solo es necesario hacerlo cuando se conecta el variador a una emisora nueva, o cada vez que se actualice el software del variador. Para ello simplemente se deben seguir los siguientes pasos.

1. Sin conectar la batería, se comprueba que el interruptor del Variador Mamba está en OFF, ("ON" está marcado en minúsculas en un lado). Se cerciora que el canal 2 de la emisora está configurado con los EPA al máximo (100%) y en la posición de reversa (Rev = On), esto normalmente se hace con un micro interruptor externo en la emisora, o en la opción disponible en la programación de la emisora.
2. Se cerciora que las ruedas del camión están en el aire. Se enciende la emisora, con el variador apagado, y conectamos la batería.
3. Se acelera al máximo con el gatillo de la emisora, como muestra la Figura.4.9, y sin soltar se enciende el variador (interruptor a ON), si todas las conexiones son correctas, se oirá una inicialización del variador con multi-tonos. Después de un par de segundos el LED verde parpadeará rápidamente y se oirá cuatro pitidos (el variador está configurado en su posición de máximo acelerador)

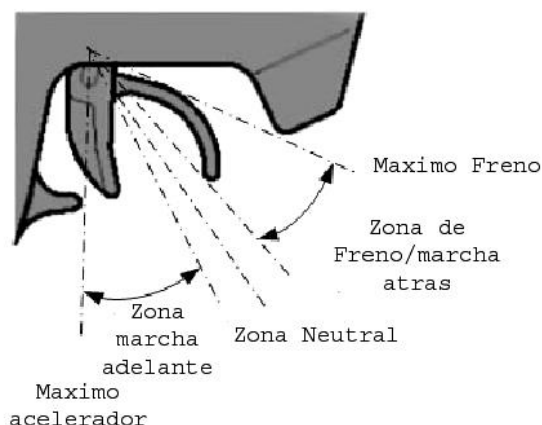


Figura. 4.9 – Recorridos del acelerador de la emisora.

4. Después de que el LED verde parpadee, se oirán los cuatro pitidos, y parpadeara el LED rojo. En ese momento se debe de dejar de acelerar, y frenar al máximo dejándolo sostenido. Después de un par de segundos el LED rojo parpadeara rápidamente y se oirá cuatro pitidos (el variador está configurado en su posición de máximo freno).

5. Después de memorizar el máximo freno, el LED amarillo parpadeara, ahora se puede soltar el gatillo a su posición Neutral. El LED amarillo parpadeara rápidamente, y sonarán cuatro pitidos (el variador ha aceptado la posición Neutra).

6. Después de aceptar la posición neutra, el variador sonara 2 veces, y parpadearan todos los LED. El variador está ajustado y armado.

CAPITULO 7. INSTALACION, CONFIGURACION Y UTILIZACION DEL eLogger V3

7. INSTALACION, CONFIGURACION Y UTILIZACION DEL eLogger V3

En este capítulo se describe la programación a realizar en el eLogger, antes de su instalación en la UAV.

En el presente capítulo describe la instalación, configuración y uso del software del eLogger. Esto incluye tanto los programas para PC suministrados por el fabricante, como los diferentes valores del software interno del eLogger necesarios para medir y guardar todos los datos relevantes durante el vuelo de la UAV.

7.1 Instalación de eLogger V3

Se introduce el CD de instalación que nos proporciona el fabricante. Nada más introducir el CD, aparece la ventana en la Figura 4.10, o de lo contrario se debe ejecutar manualmente desde “Mi PC”. Seleccionar la opción “*Install Eagle Tree Data Recorder Software From this CD*”.

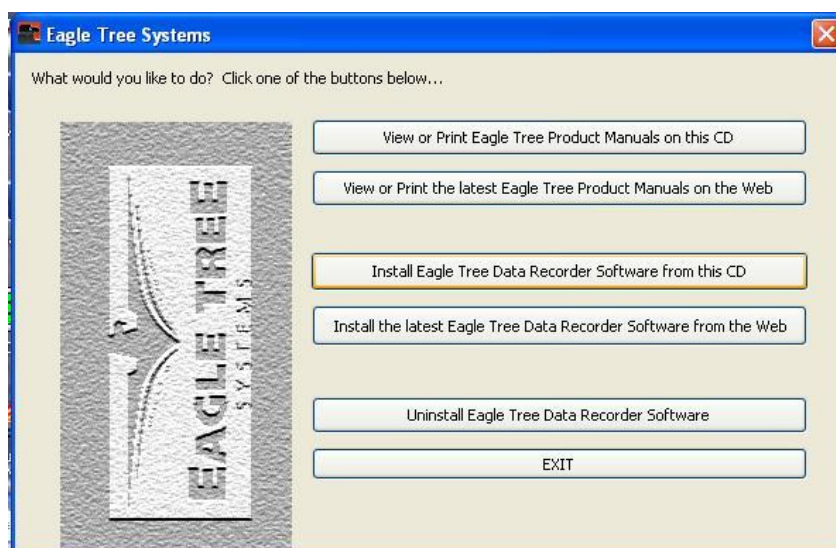


Figura 4.10- Captura del proceso de instalación (paso 1º)

Tras aceptar los términos de la licencia y seleccionar la ruta de instalación, que en este caso es la opción por defecto, se procede a la instalación (Figuras 4.11 a 4.14).

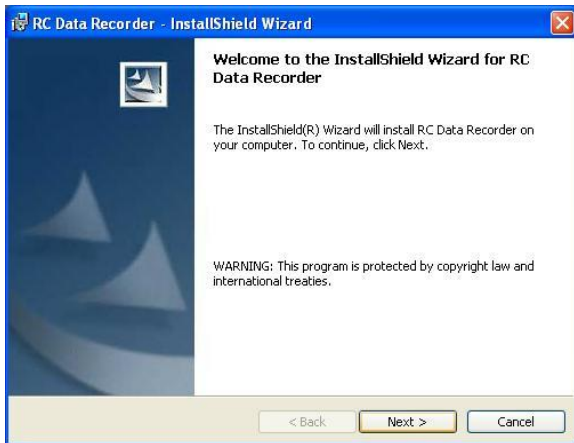


Figura 4.11



Figura 4.12

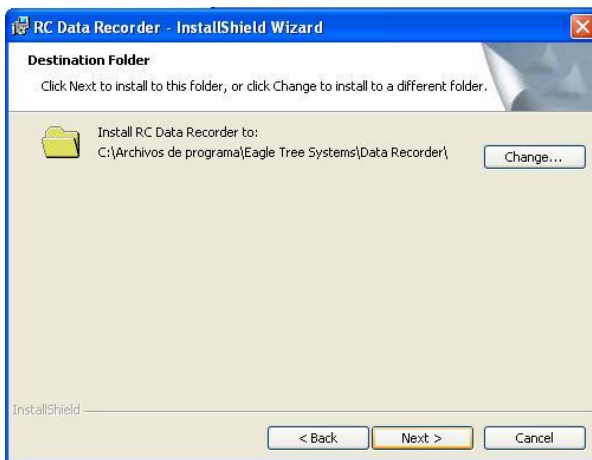


Figura 4.13

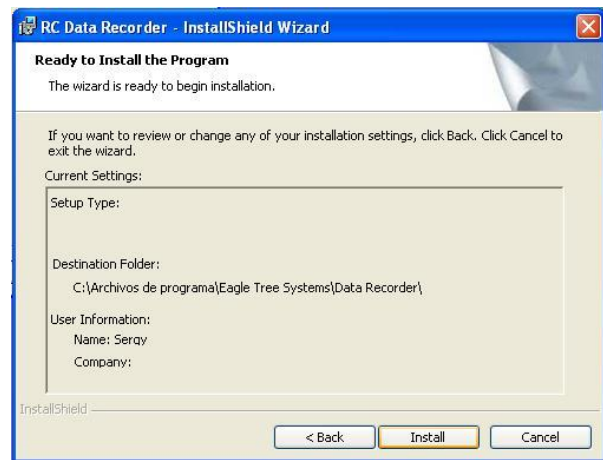


Figura 4.14

7.2 Configuración eLogger.

Una vez finaliza la instalación, se debe ejecutar el programa desde alguno de los accesos directos que ha creado (“Data Recoder” es el nombre del acceso directo). Una vez inicializado, se mostrará la pantalla de la Figura 4.15, para seleccionar el tipo de vehículo para la instalación de la Telemetría, en este caso “Model Planes”. Esta elección se puede variar más adelante. Asimismo se requerirá la conexión de una serie de elementos y sensores, que no aplica en el caso del presente proyecto (Figura 4.16)

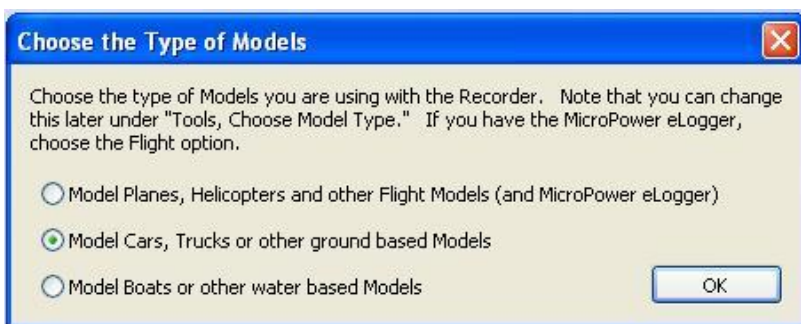


Figura 4.15 - Captura del proceso de configuración (paso 1º)

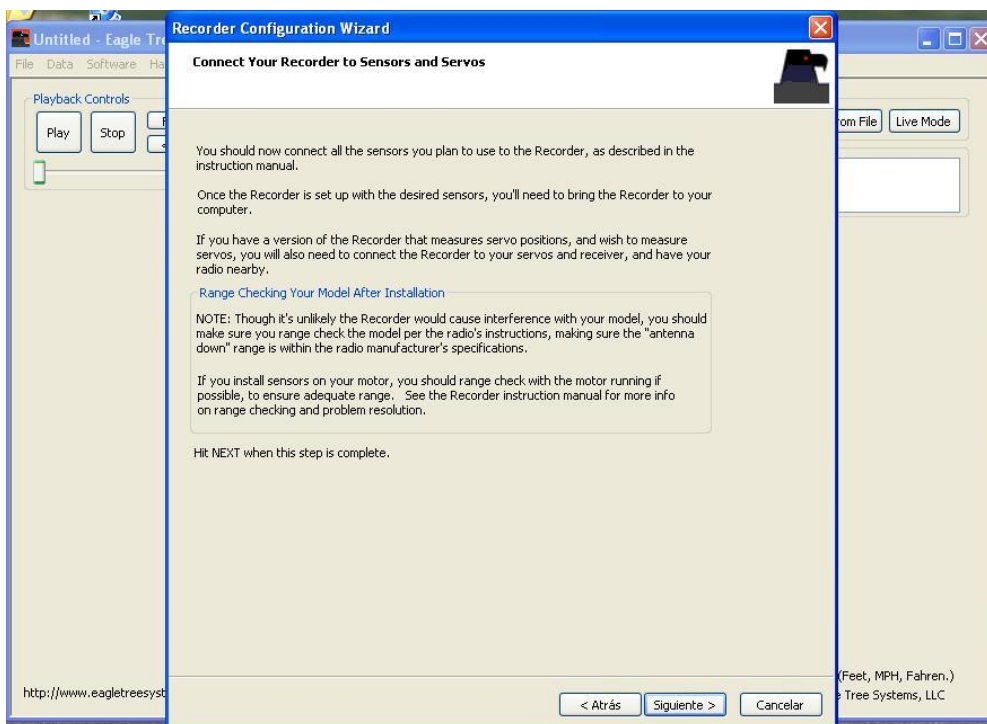


Figura 4.16 - Captura del proceso de configuración (paso 2º)

A continuación, se deberá conectar el *eLogger* al PC, mediante el USB, tal y como muestra el “plano 6” (Figura 4.24). Sin dicha conexión el programa no continuará. Esto solo ocurre durante la primera ejecución. En las siguientes es posible utilizarlo sin conectar la Telemetría al USB. Una vez conectado el *eLogger* al PC, pulsar siguiente en la pantalla que muestra la Figura 4.17.

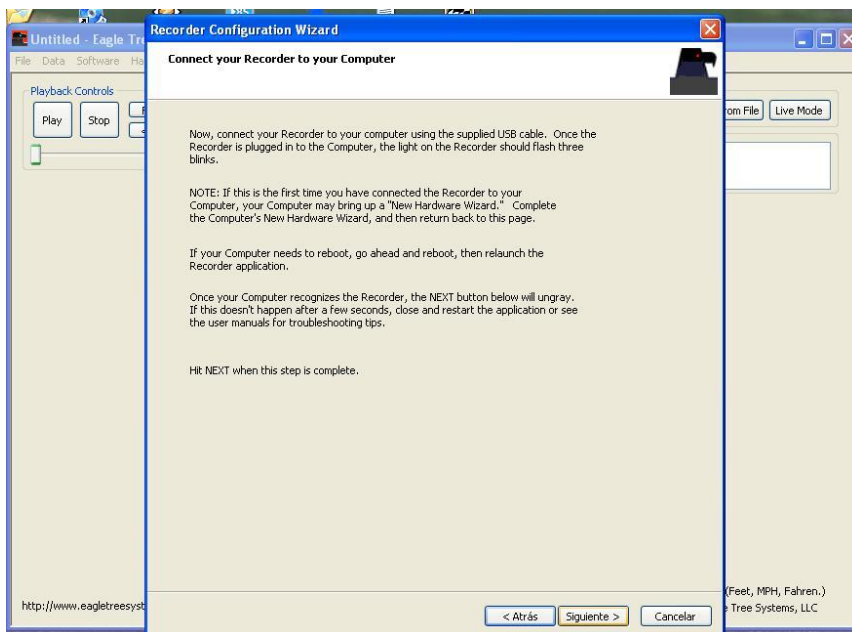


Figura 4.17- Captura del proceso de configuración (paso 3º)

Posteriormente se debe proporcionar el nombre que se le quiere asignar al vehículo en el que se quiere instalar la telemetría, en este caso se denominará “UAV” (Figura 4.18).

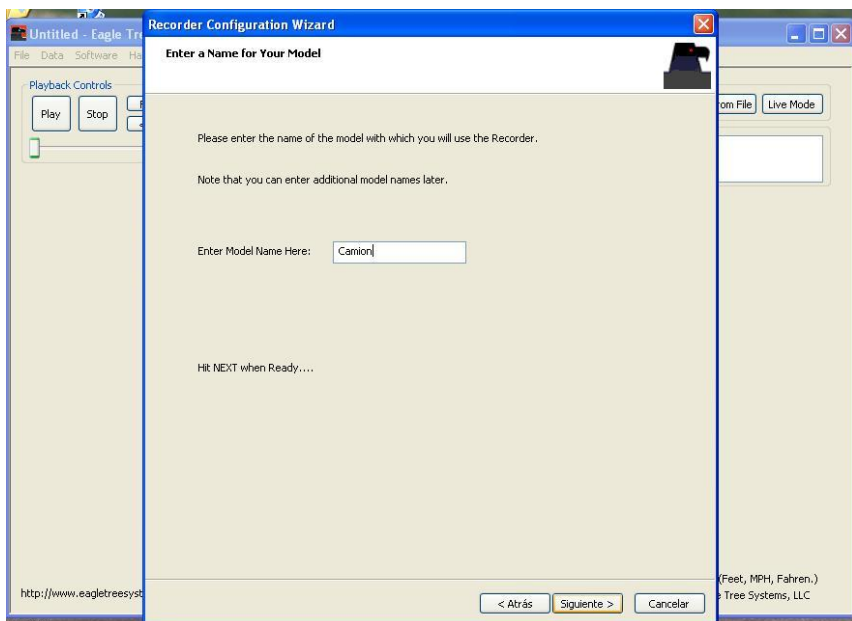


Figura 4.18 - Captura del proceso de configuración (paso 4º)

A continuación se determina la frecuencia de muestreo, configurándose la máxima resolución, tal y como se indica en la Figuras 4.19 y 4.20 (con esta resolución el eLogger es capaz de guardar datos durante 45min)

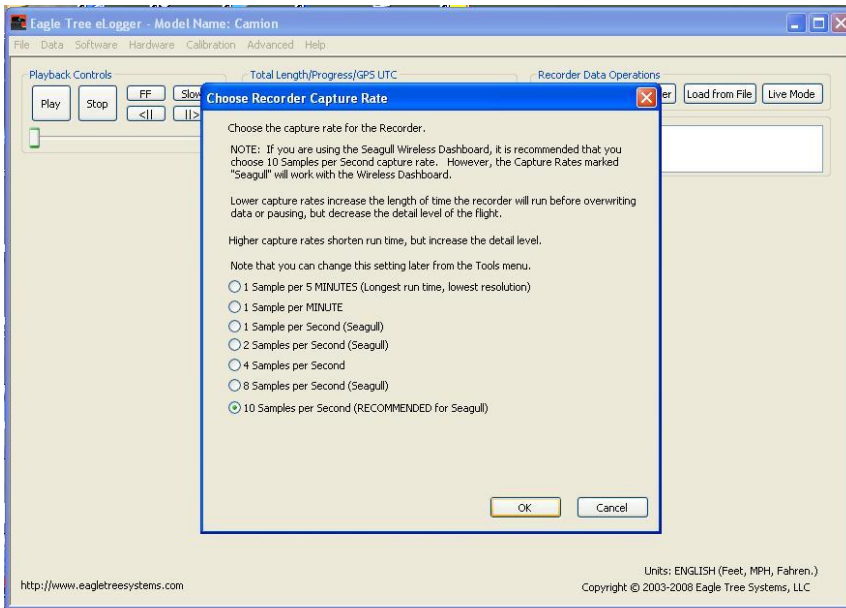


Figura 4.19 - Captura del proceso de configuración (paso 5°)

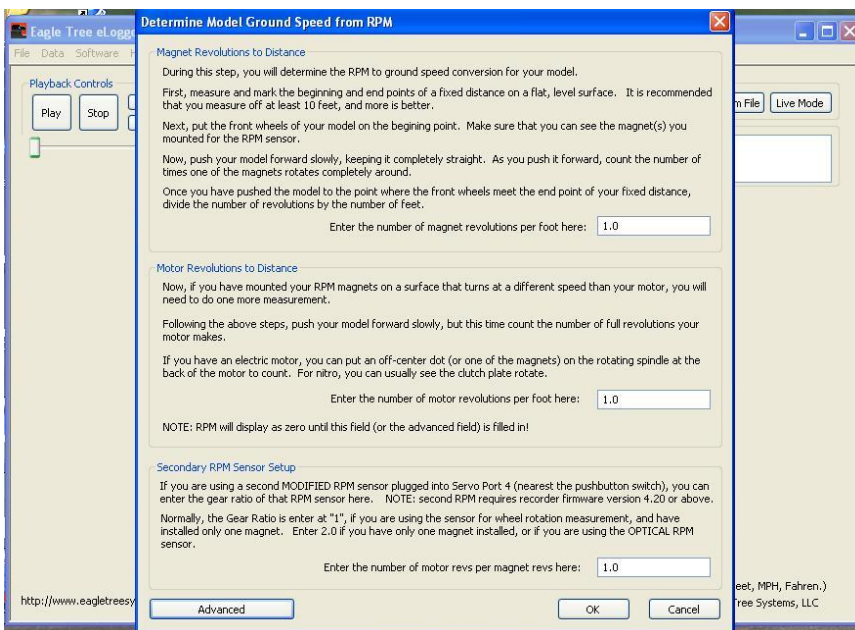


Figura 4.20 - Captura del proceso de configuración (paso 6°)

La configuración de los parámetros almacenados tiene lugar de acuerdo con la Figura 4.21, pudiendo variar en función de los sensores que hay conectados y su ubicación.

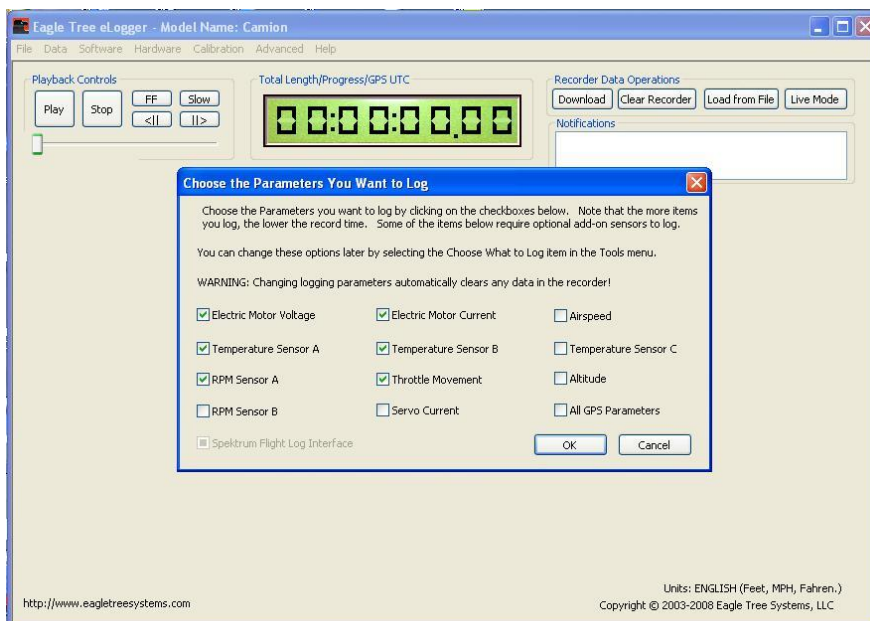


Figura 4.21 - Captura del proceso de configuración (paso 7º)

Finalmente se seleccionan los parámetros que va a mostrar en la pantalla el programa, la cual se configura como muestra la Figura 4.22.

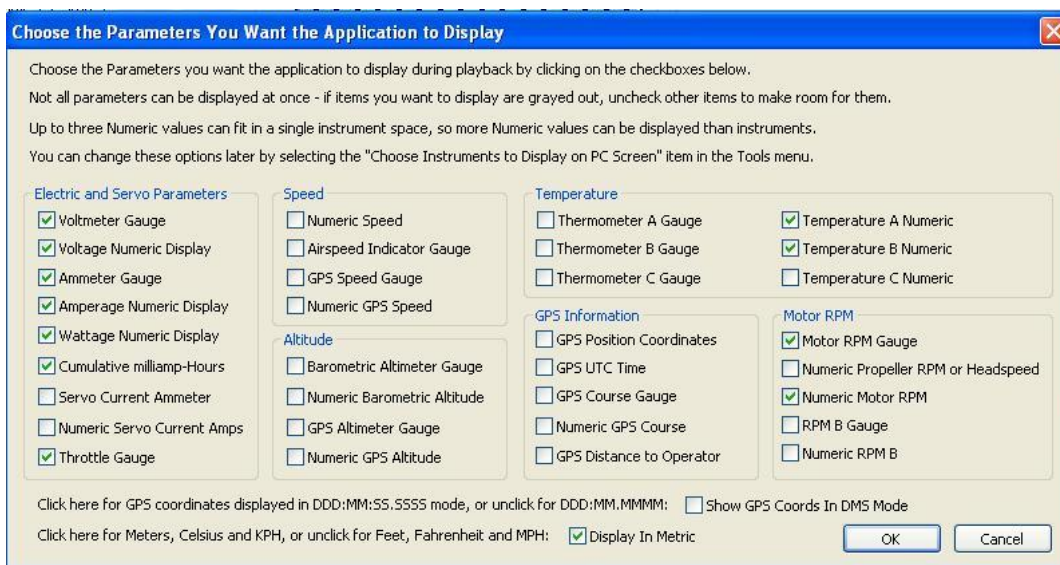


Figura 4.22 - Captura del proceso de configuración (paso 8º)

A continuación se muestran los display que se ha configurado, a falta del sensor de RPM. Para ello en la pestaña “Calibration”, en la parte superior del programa, se selecciona la opción “Calibrate Motor RPM”, y se configura tal y como muestra la Figura 4.23.

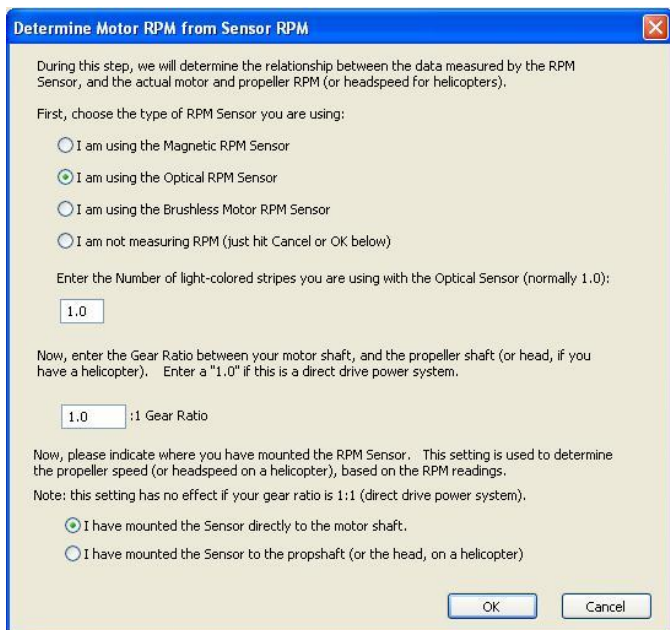


Figura 4.23 - Captura del proceso de configuración (paso 9º)

7.3 Utilización de eLogger

En este apartado se describe el funcionamiento de la telemetría (*eLogger V3*) y del software (*Data recorder*), en tres fases, ilustradas en el “Plano 6” y la Figura 4.24.

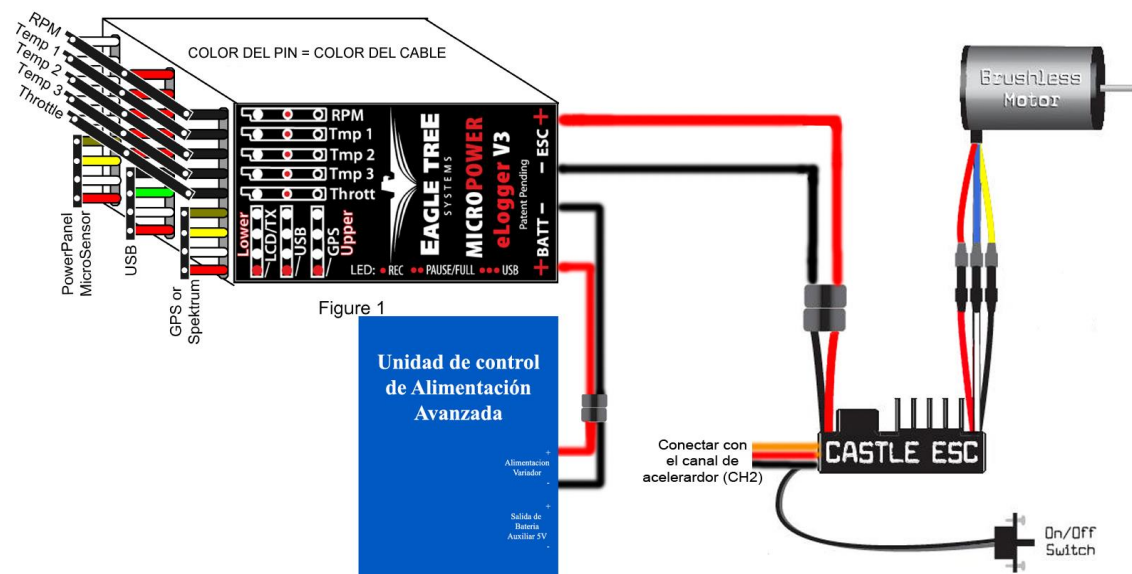


Figura 4.24 – Conexiones Eléctricas de la telemetría

7.3.1 Captura de Datos

Una vez se ha configurado el “*eLogger V3*”, tal y como explica el punto 4.2.2, se conecta de acuerdo al “Plano 6” y la Figura 4.24. En este caso se conectará el Sensor de

Temperatura A y B (temperatura del ESC y del motor, respectivamente), el sensor de RPM, y la señal del receptor de *Throttle*.

En el momento en el que se alimente la telemetría (con un mínimo de 5V) registrará y guardará todo lo que detecte (y que se ha configurado previamente). Cada vez que se desconecte el “*eLogger*” de la alimentación, y no se borre los datos del *Buffer*, dividirá las lecturas en “Sesiones”, y habrá tantas “Sesiones” como veces se desconecte y conecte el “*eLogger*”.

7.3.2 Lectura de Datos

Para leer o borrar los datos del “*eLogger*”, es necesario conectarlo al PC mediante el cable USB, tal y como muestra el “Plano 6” y la Figura 4.24. Una vez conectado al PC, se ejecuta el programa “*Data Recorder*”, apareciendo una pantalla como la de la Figura 4.25. Se presiona la opción “*Download*”, remarcado en rojo, y se acepta la ventana emergente, si la hubiera. Acto seguido aparecerá una barra de progreso y después se mostrarán los datos almacenados, pudiendo visualizarlos, como muestra la Figura 4.26.

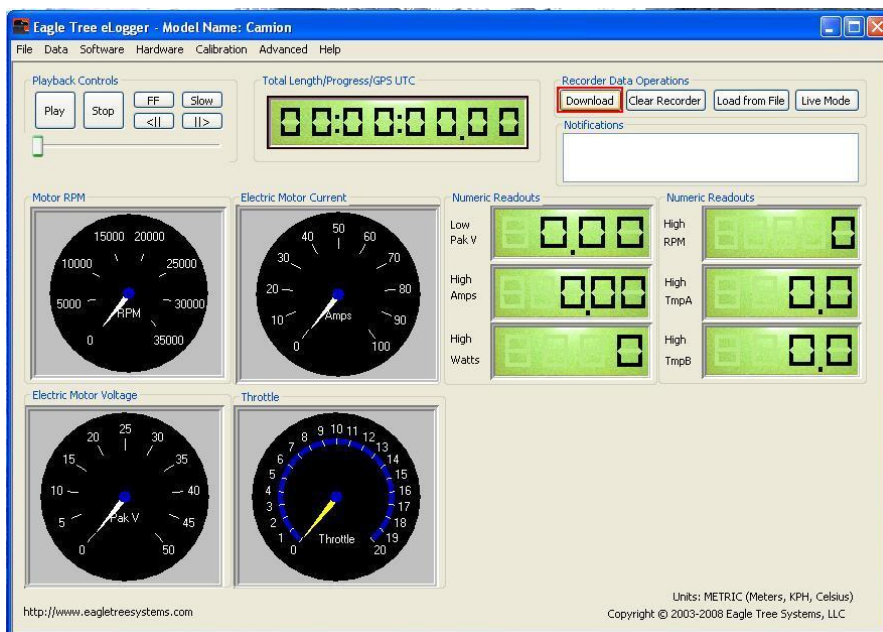


Figura 4.25 – Pantalla principal del programa donde se puede observar un resumen de los datos capturados.

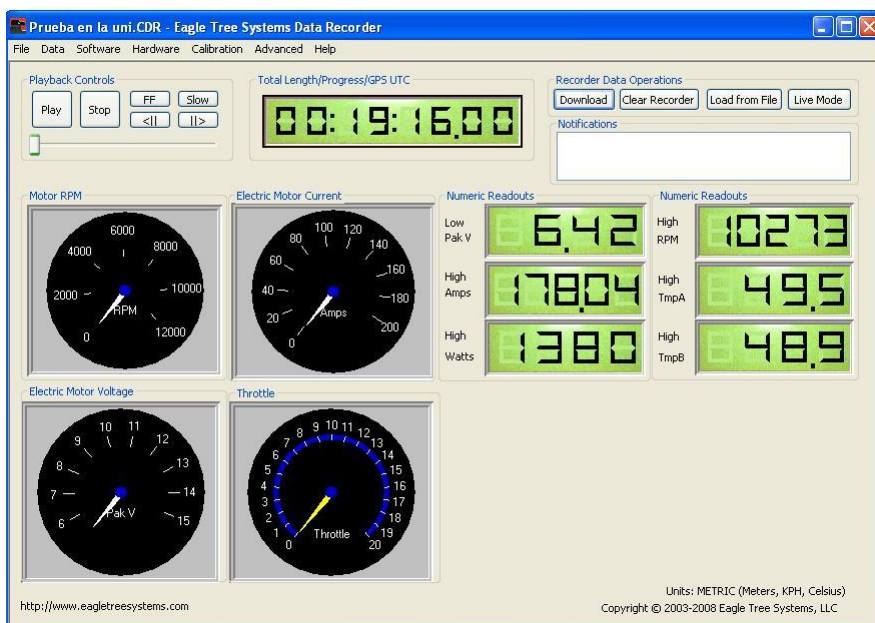


Figura 4.26 - Pantalla principal del programa donde se observa un resumen de los datos capturados.

La información obtenida de la telemetría se puede almacenar para su posterior estudio en el menú “File/ Save Recorder File...” como muestra la Figura 4.27. Para recuperar el archivo, se vuelve al mismo menú, y se activa “Open Recorder File”.

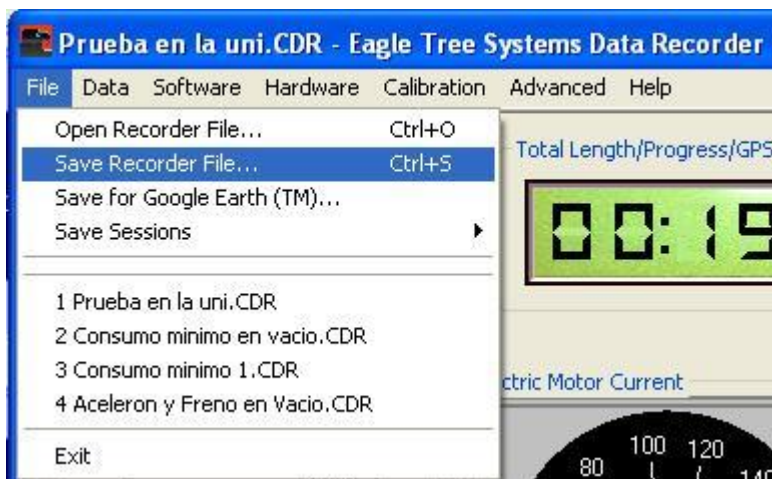


Figura 4.27 – Pantalla que muestra cómo salvar los datos capturados.

Para borrar el Buffer del “eLogger V3”, tan solo se debe presionar sobre el botón “Clear Recorder”, contiguo a la opción “Download” que se muestra en la Figura 4.25.

Finalmente el “*eLogger V3*” dispone de una última función denominada “*Live Mode*”, como muestra la Figura 4.25. Dicha función permite hacer una visualización en tiempo real de las lecturas de los sensores del “*eLogger*”. La información visualizada mediante el modo “*Live Mode*” no puede ser grabada, ni es almacenada en el “*eLogger*”, lo que provoca la pérdida de información durante el ensayo.

7.3.3 Visualización gráfica de los datos

Una vez descargada la información del *eLogger*, o se abra un fichero que se haya guardado previamente, se puede generar graficas enfrentando diferentes datos en los ejes. El software también calculara los valores máximos, mínimos, y medios de las secciones que se visualizan en ese momento, por lo que si se amplía una sección de la gráfica, o se elige una sesión concreta, calculara dichos valores.

Las gráficas se generan a partir del menú “*Data*”, “*2D Chart*”, como muestra la Figura 4.28.

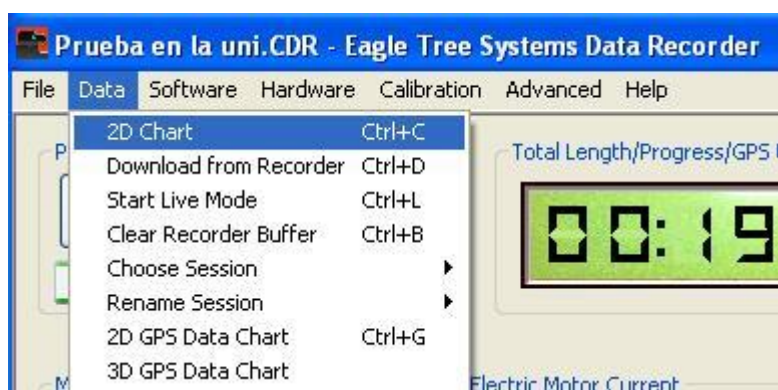


Figura 4.28 – Pantalla que muestra cómo sacar el grafico con todos los datos capturados.

En ese momento mostrara una ventana como la Figura 4.29, que permite elegir y visualizar los diferentes parámetros. Una configuración ejemplo se muestra en la Figura 4.29:

1. En el “Eje X” se ha elegido el parámetro “Time (Seconds)”
2. En el “Eje Y Left” se ha elegido el parámetro “Pack_Volts” (voltaje)
3. En el “Eje Y Right” se ha elegido el parámetro “Amps” (Amperios)

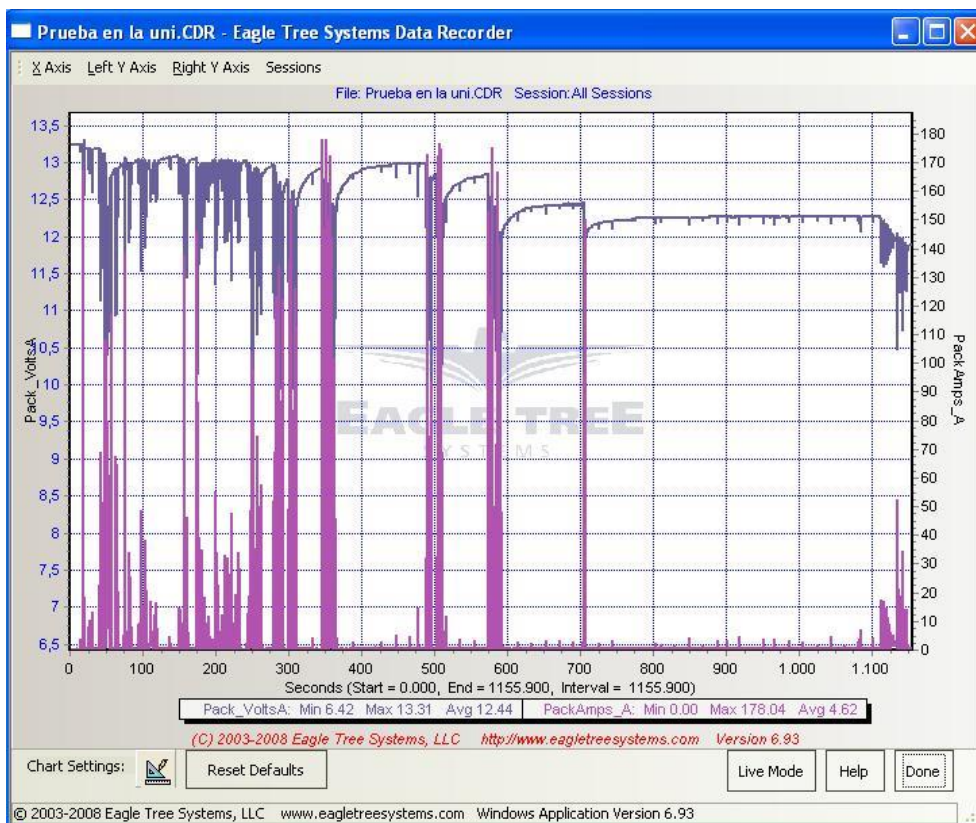


Figura 4.29 – Pantalla donde se muestra el grafico con todos los datos adquiridos.

Finalmente si se quiere ampliar una zona concreta de la gráfica, se debe recuadrar la zona que se quiere ampliar con el ratón, el cual se debe mover de izquierda a derecha, y de arriba abajo. La vista general de la gráfica se recupera recuadrando cualquier zona de la gráfica, pero sin mover el ratón de derechas a izquierdas.

CAPITULO 8. DIMENSIONADO DE NUESTRA PROPIA PILA DE COMBUSTIBLE DMFC

8.- Dimensionado de la Pila de Combustible DMFC

Debido a que actualmente las pilas de combustible en general y las DMFC comerciales en particular presentan precios inalcanzables para este tipo de proyectos, al ser una tecnología en fase de estudio y desarrollo, se ha decidido dimensionar nuestras dos pilas de combustible, con el fin de cumplir las especificaciones necesarias (tabla 5.1) para hacer volar la UAV.

Tabla 5.1 Especificaciones pila de combustible a diseñar

Especificaciones pila de combustible a diseñar	
Potencia	170 W
Tensión Mínima en máximo rendimiento	11 V
Tensión Máxima	26V
Intensidad Máxima en máximo rendimiento	15.5A

Para ello se ha tomado como base de estudio los datasheet de las diferentes pilas de combustible DMFC que hay en el mercado. Con los que se ha deducido los datos de la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Datos calculados a partir de los Datasheet de las pilas DMFC comerciales

Datos calculados a partir de los Datasheet de las pilas DMFC comerciales	
Intensidad por cada cm ² de celda	0.155A
A máxima intensidad la Tensión cae un	57.7%
Tensión media de celda en Vacío (sin carga)	0.85 V
Grosor medio de las celdas	0.5 cm

Una vez obtenidos los datos mostrados en la Tabla 5.2, se ha dimensionado la pila de combustible que necesita el drone.

8.1 Superficie de la celda

Debido a que cada centímetro cuadrado de celda produce 0.155A, para obtener 15,5A necesitaremos:

$$15.5 * 0.155 = 100.$$

Para una intensidad de 15,5A necesitaremos una superficie de celda de 100cm², por lo que idealmente la celda tendrá un tamaño de 10cm x 10cm.

8.2 Numero de celdas

Necesitamos una tensión mínima en máximo rendimiento de 11V, como las pilas DMFC caen un 57.7% en máximo rendimiento, podemos calcular la tensión máxima que tendrá la pila a diseñar y por lo tanto el número de celdas necesarias.

11V serían el 42,3% de la tensión total, ya que el 57,7% se han perdido, por lo que:

$$(100/42.3) * 11 = 26V$$

Ya que cada celda en vacío (sin carga) produce 0,87V, para obtener 26V necesitaremos:

$$26/0.85 = 31 \text{ celdas}$$

8.3 Diseño final de la pila DMFC

Una vez calculados los datos anteriores, el diseño final de nuestra futura pila de combustible DMFC quedaría como se muestra en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Especificaciones finales de nuestra pila de combustible DMFC

Especificaciones finales de nuestra pila de combustible DMFC	
Superficie de cada celda	10x10cm
Numero de celdas en Serie	31
Grosor medio de las celdas	0.5 cm
Tensión teórica en Vacío	26.35 V
Intensidad Máxima en máximo rendimiento	15.5 A
Tensión Mínima en máximo rendimiento	11V
Potencia en punto de máximo rendimiento	170.5W

CAPITULO 9. CONCLUSIONES FINALES

9.- Conclusiones.

En el presente proyecto se ha estudiado la ampliación de la autonomía de vuelo de una UAV mediante pilas de combustible **DMFC**.

Desde el punto de vista del diseño de los elementos físicos, las dimensiones y especificaciones de la UAV se ha conseguido un prototipo capaz de cargar un gran peso debido, en gran parte, al usar perfiles de ala de tipo planeador, que dan una gran sustentación a velocidades bajas. Esta condición es la que ha permitido instalar un motor de una potencia relativamente pequeña en proporción a las dimensiones de la UAV, lo que posibilita que parte de la energía necesaria para su vuelo proceda de la pilas de combustible de metanol instalada en él.

El diseño de la unidad de control de alimentación ha sido uno de los mayores retos de este proyecto, por la cantidad de parámetros que hay que tener en cuenta, tanto en prestaciones, como a nivel de seguridad para evitar el sobre-esfuerzos a las pilas de combustibles, y al mismo tiempo integrarlo todo junto a la electrónica “típica” de un avión de estas características.

Finalmente se ha conseguido la completa integración de la unidad de control de alimentación, sin que se produzcan cortes de tensión en el resto del avión cuando se cambie de una fuente de alimentación a la otra, y siempre manteniendo los niveles de seguridad y prestaciones marcadas en los objetivos de este proyecto.

La elección del variador de velocidad del motor ha sido crítica, ya que su gran suavidad en la entrega de potencia y la capacidad de poder ajustar la curva de potencia del motor, así como las medidas de seguridad para no exigir demasiado a los sistemas de alimentación, evitando que pudieran dañarse por un consumo excesivo tanto de forma puntual como de forma continuada.

En el momento de la elección del sistema eLogger, o de telemetría, se han valorado que sistema era el más adecuado para el presente proyecto. Asimismo se llegó a la conclusión de que el sistema de telemetría encarecía el proyecto, y que no era necesario tener un sistema que fuese capaz de enviar los datos que estuviera recopilando de forma inalámbrica, por lo que se optó por un sistema eLogger que es capaz de memorizar todos los datos de las pruebas a realizar y al tiempo se puedan estudiar o bien de forma

instantánea mediante un cable al PC/LCD o una vez concluida la prueba analizándolos en el PC.

Como aplicaciones futuras se ha propuesto el dimensionamiento y las especificaciones de la futura pila de combustible DMFC que será necesaria en futuros estudios. Ya que los precios de las pilas de combustible comerciales son inalcanzables para este tipo de proyectos.

Finalmente podemos asegurar que se han cumplido los objetivos marcados para este proyecto ya que hemos diseñado una UAV en la cual se puede estudiar el comportamiento de cada una de las partes del dron, como su motor, el rendimiento de las pilas de combustible, temperatura de trabajo de cada elemento, como se comporta el motor alimentado con la batería de LiPo en comparación a cuando es alimentado por las pilas de combustible DMFC, etc.

CAPITULO 10. REFERENCIAS

10.1.- Publicaciones periódicas y libros.

1. Blomen, L. Fuel Cell Systems, ED. Plenum Press, New York, (1993),
G.Hoogers, Fuel Cell Technology Handbook, CRC Press, Nueva York,
(2003)
2. U.S. Department of energy, handbook of fuel cells, Fifth Edition, EG-G
Services, (2000)
3. DeLuca, N.W.; Elabd, Y.A.J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys. 44 (2006)
2201
4. Pivovar, B.S.; Wang, Y.; Cussler, E.L.J. Membr. Sci. 154 (1999) 155
5. Maquinas eléctricas y sistemas de potencia. Wildi, Theodore (2006)
6. Maquinas y Accionamientos electricos. Stefania Ciumbalea,
Gloria/Guasch pesquer, Luis (2007)
7. Apuntes de electricidad aplicada a los Buques (EBOOK). Martin Perez,
Francisco Javier (2010).
8. Brushless permanente-magnet motor desing. Duane C. Hanselman (1994)
9. Permanent magnet motor technology. Jacek F. Gieras, Mitchell Wing
(2002)
10. Liniar synchronous motors. Jacek F. Gieras, Zbigniew J. Piech (2000)
11. Permanet Magnet Synchrhonous and Brushless DC Motors. Krishnan
Ramu (2009)
12. Axial flux permanent magnet brushless machines. Jacek F. Gieras, Rong-
Jie Wang, Maarten J. Kamper (2004)
13. Electronic control of switched reluctance machines. Miller, T.J.E. (2001)
14. Electric Motor Control 9th Edition. Stephen L.Herman (2009)
15. Adaptative control of sinusoidal Brushless DC motors actuators.
Liangtao Zhu. (2008)

10.2.- Paginas Web.

1. Fuel Cell home page <http://fuelcell.com/>
2. Horizon Fuel Cell Technologies <http://www.horizonfuelcell.com/>
3. Baltic Fuel Cell <http://www.balticfuelcells.de/>
4. Coches Radiocontrol Foros <http://www.cochesrc.com/foros/>
5. Eagle Tree System “Data Logging and Telemetry Equipment for Remote Controlled Vehicles” <http://eagletreesystems.com/>
6. Castle Creation INC. <http://www.castlecreations.com/>
7. Hitec RC <http://www.hitecrcd.com/>
8. Productos Radiocontrol <http://www.hobbyking.com>
9. <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
10. <http://motor.terra.es/>
11. <http://www.microsiervos.com/>
12. <http://www.hybridcars.com/>
13. <http://www.hydrogencarsnow.com/>
14. www.arduino.cc
15. <http://www.boeing.com/>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE

PLANOS PRESENTADOS POR:
Sergio Gómez Esteban

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

DIRECTOR:

Dra. Amparo Ribes Greus

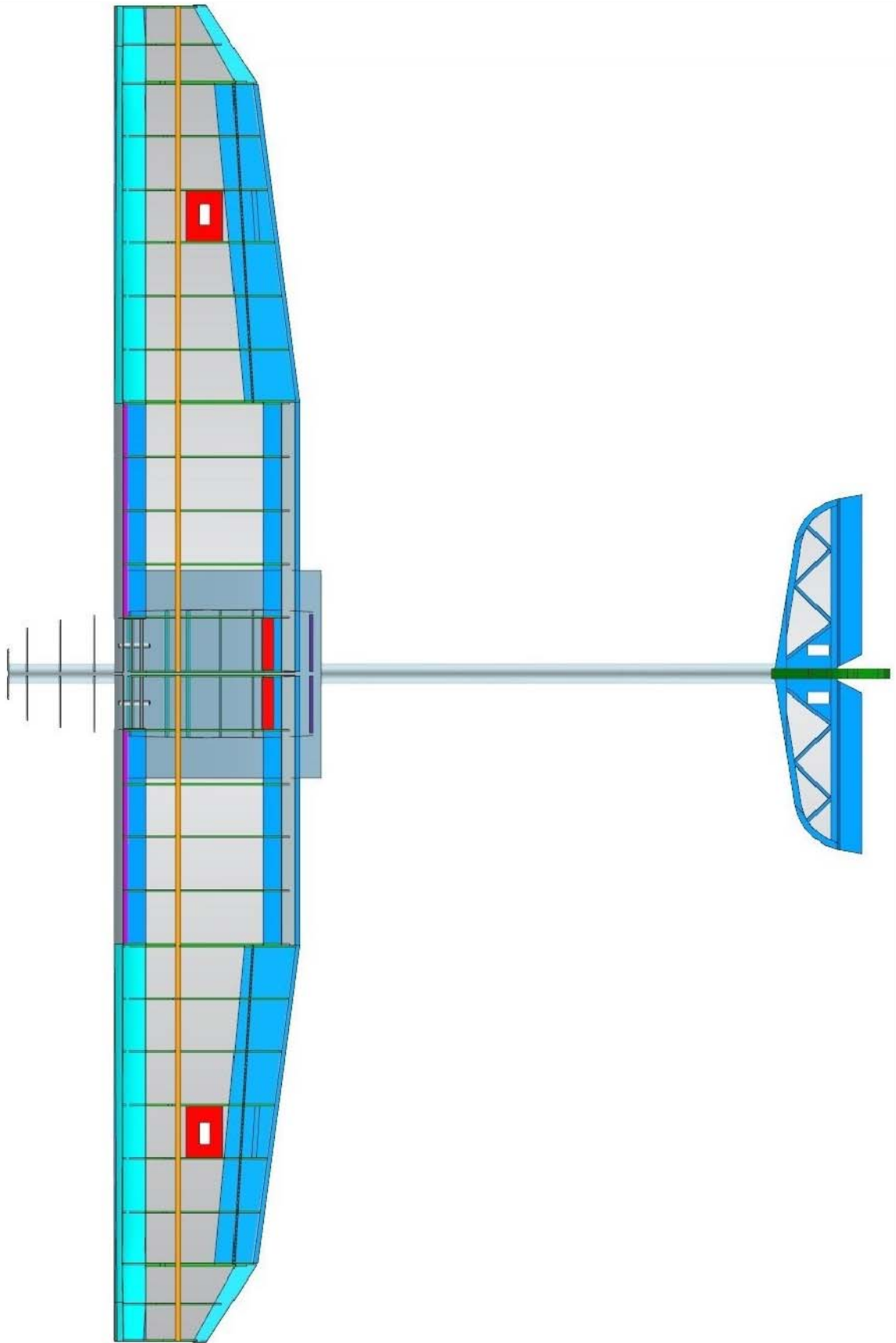
CODIRECTOR:


Roberto Teruel Juanes

Septiembre de 2016

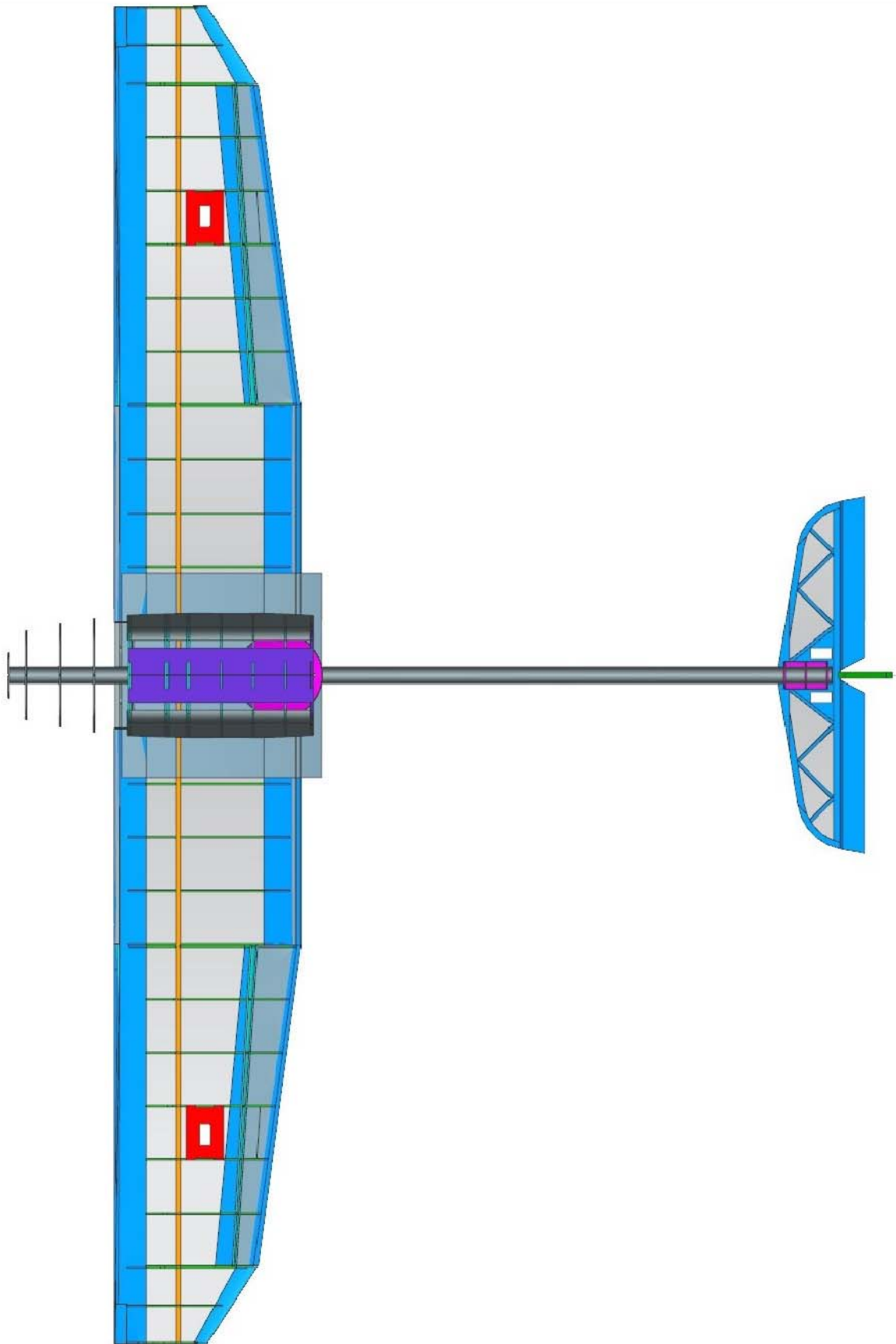
AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE	1
1.- PLANO 1: Vista superior de la UAV	4
2.- PLANO 2: Vista inferior de la UAV	6
3.- PLANO 3: Vista de perfil de la UAV.	8
4.- PLANO 4: Alzado Frontal de la UAV.	10
5.- PLANO 5: Alzado Posterior de la UAV	12
6.- PLANO 6: Conexiones de la Telemetría con los Sensores, USB, Batería y ESC. ...	14
7.- PLANO 7: Conexiones de la Electrónica de Control.....	16
8.- PLANO 8: Conexión del Castle LINK al Variador (ESC)	18
9.- PLANO 9: Componentes del sistema de funcionamiento de la pila de combustible DMFC-Stack 50W.....	20
10.- PLANO 10: Esquema eléctrico de la ACU simple	22
11.- PLANO 11: Esquema eléctrico de la ACU avanzada.....	24
12.- PLANO 12: Distribución de la electrónica de radiocontrol en la UAV.....	26
13.- PLANO 13: Distribución del sistema de alimentación de la UAV.....	28


1.- PLANO 1: Vista superior de la UAV



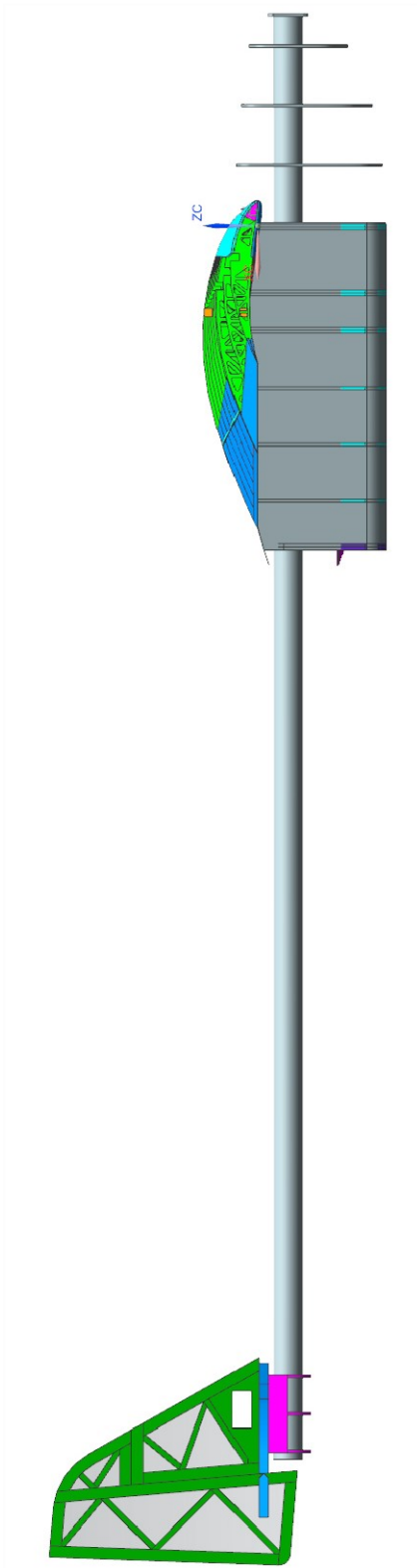
 <p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</p>	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/11	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Vista Superior de la UAV	Material	Plano 1	


2.- PLANO 2: Vista inferior de la UAV



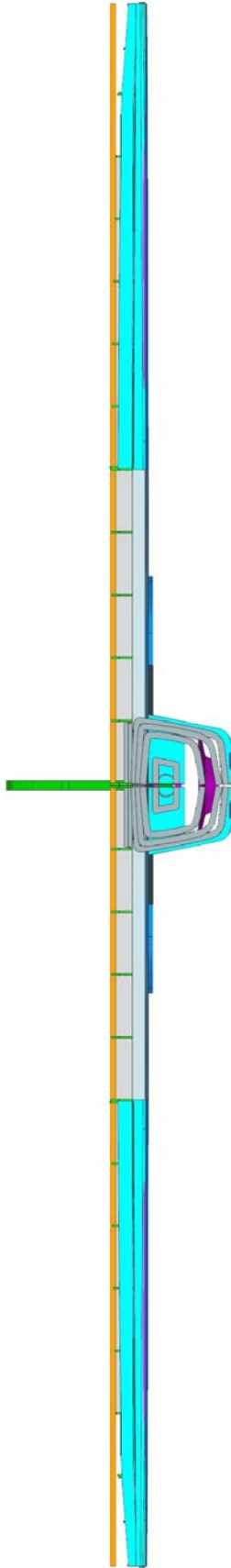
	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/11	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Vista Inferior de la UAV	Material	Plano 2	


3.- PLANO 3: Vista de perfil de la UAV.



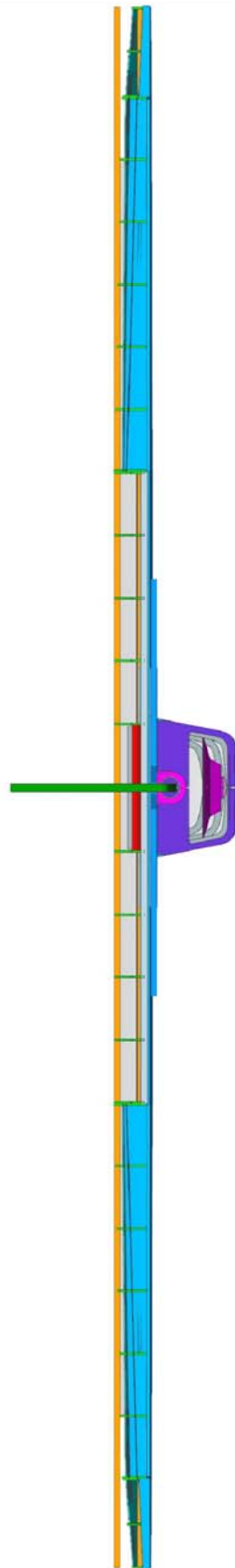
	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/8	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Vista de Perfil de la UAV	Material	Plano 3	


4.- PLANO 4: Alzado Frontal de la UAV.



	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/11	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Alzado Frontal de la UAV	Material	Plano 4	

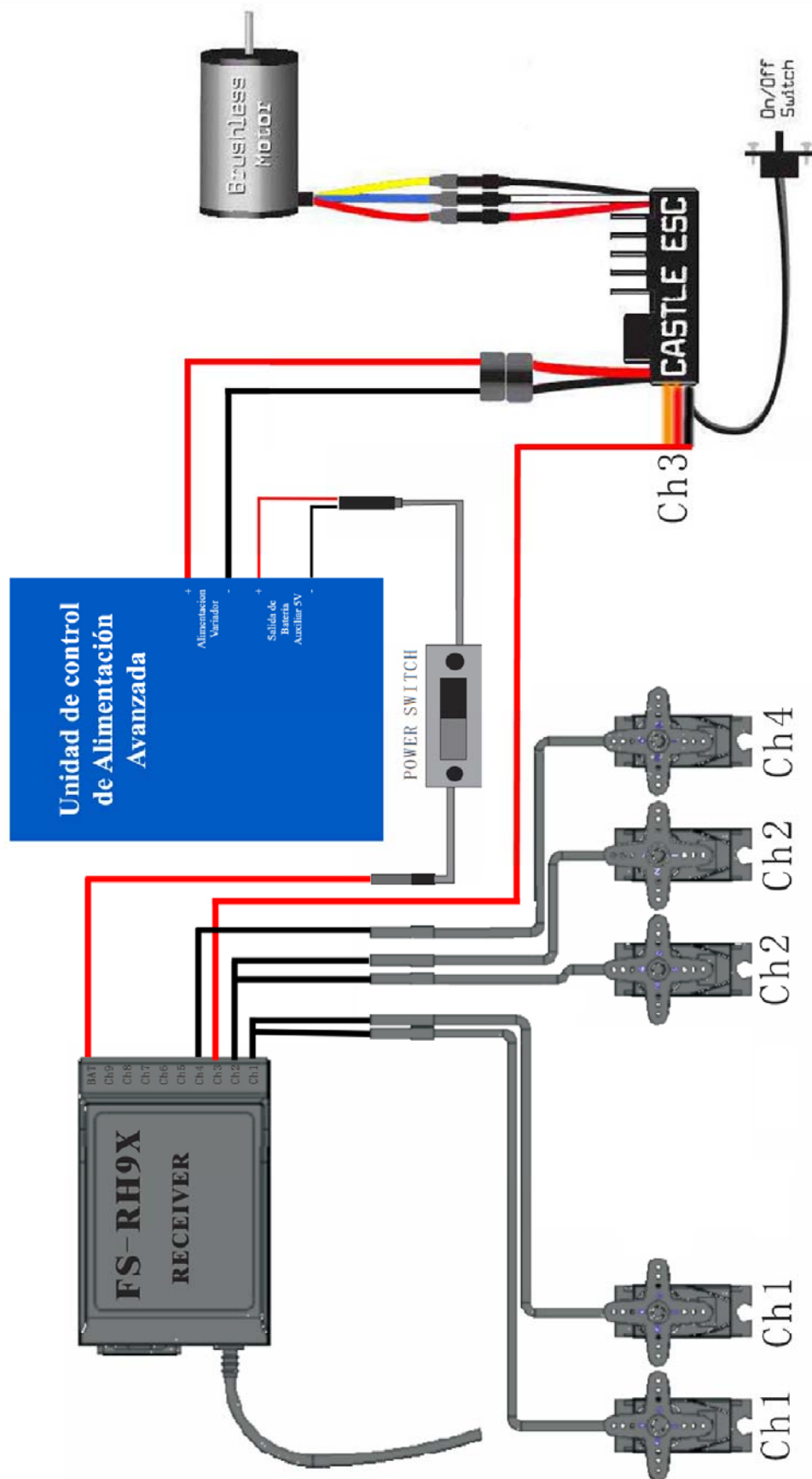
5.- PLANO 5: Alzado Posterior de la UAV




	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/11	Formato A4
	Autor	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripcion Alzado Posterior de la UAV	Material	Plano 5	

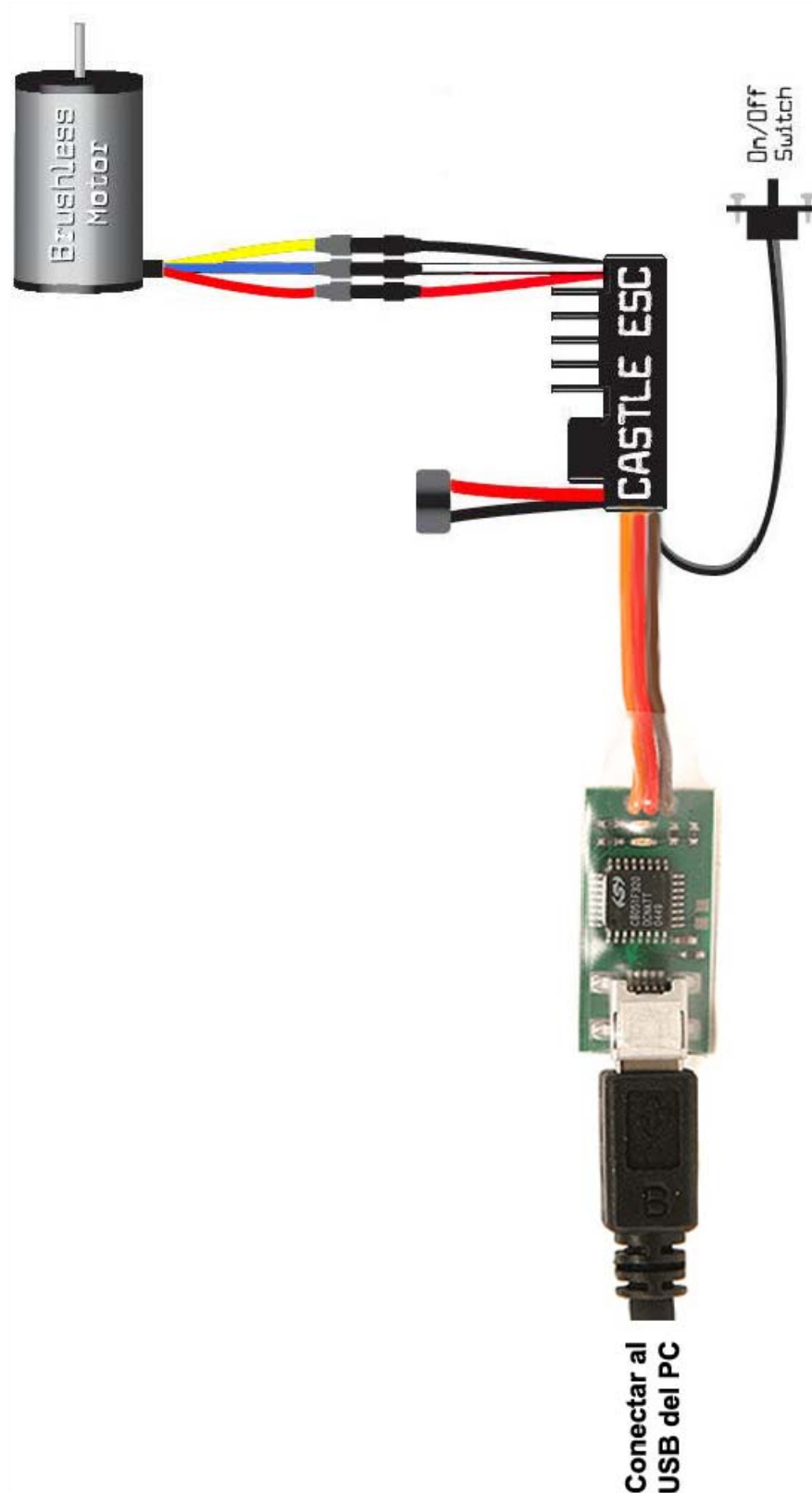
6.- PLANO 6: Conexiones de la Telemetría con los Sensores, USB, Batería y ESC.


7.- PLANO 7: Conexiones de la Electrónica de Control.



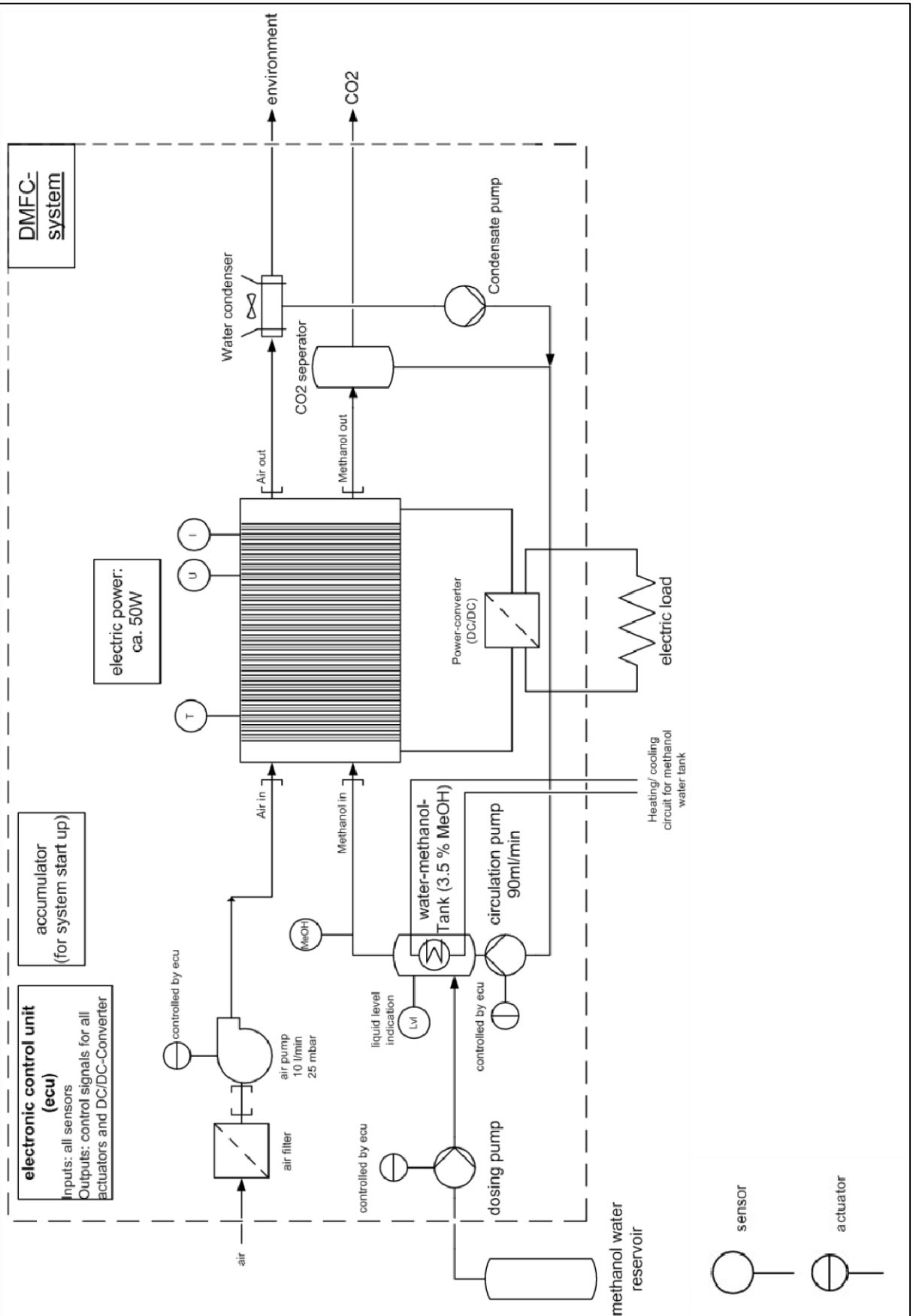
	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/1	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Conexiones de la Electrónica de control	Material	Plano 7	


8.- PLANO 8: Conexión del Castle LINK al Variador (ESC)



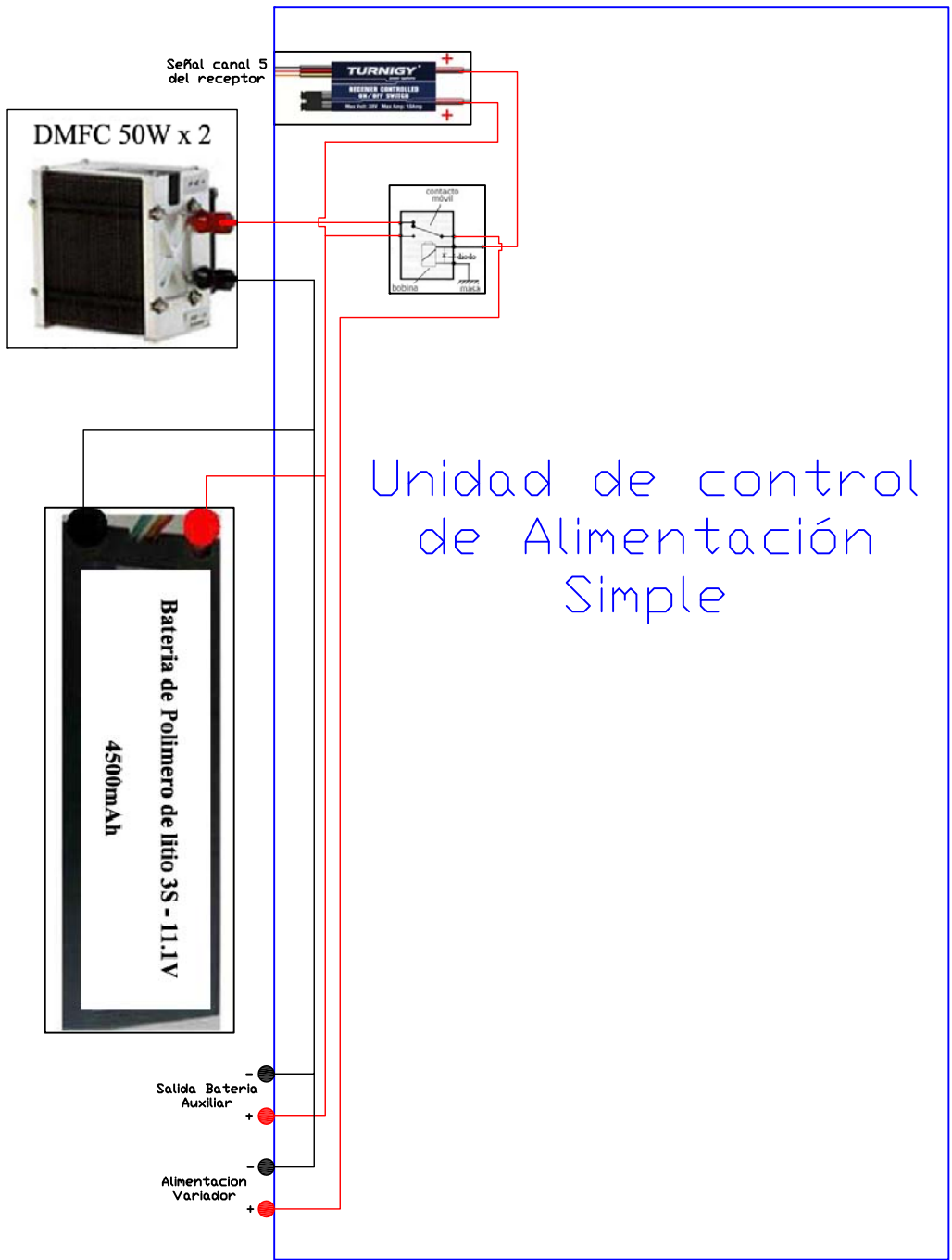
	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/1	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Conexión del Castle Link al Variador (ESC)	Material	Plano 8	


9.- PLANO 9: Componentes del sistema de funcionamiento de la pila de combustible DMFC-Stack 50W.



 <p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</p>	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/1	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Dr. Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Componentes del sistema de funcionamiento de la pila de combustible DMFC-Stack 50W	Material	Plano 9	

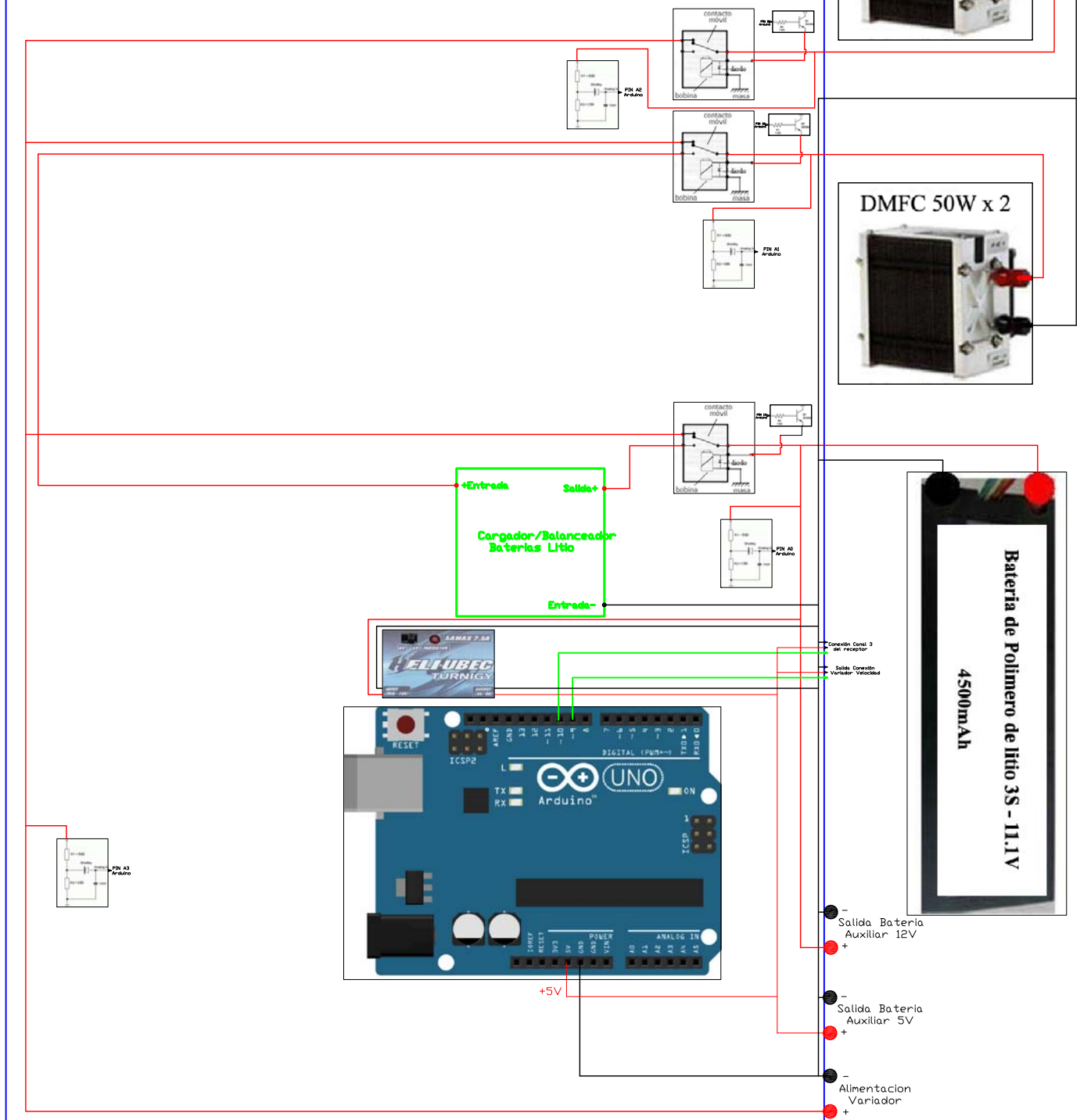
10.- PLANO 10: Esquema eléctrico de la ACU simple




 <p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</p>	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/1	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Dr. Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripcion Esquema electrico de la ACU Simple	Material	Plano 10	

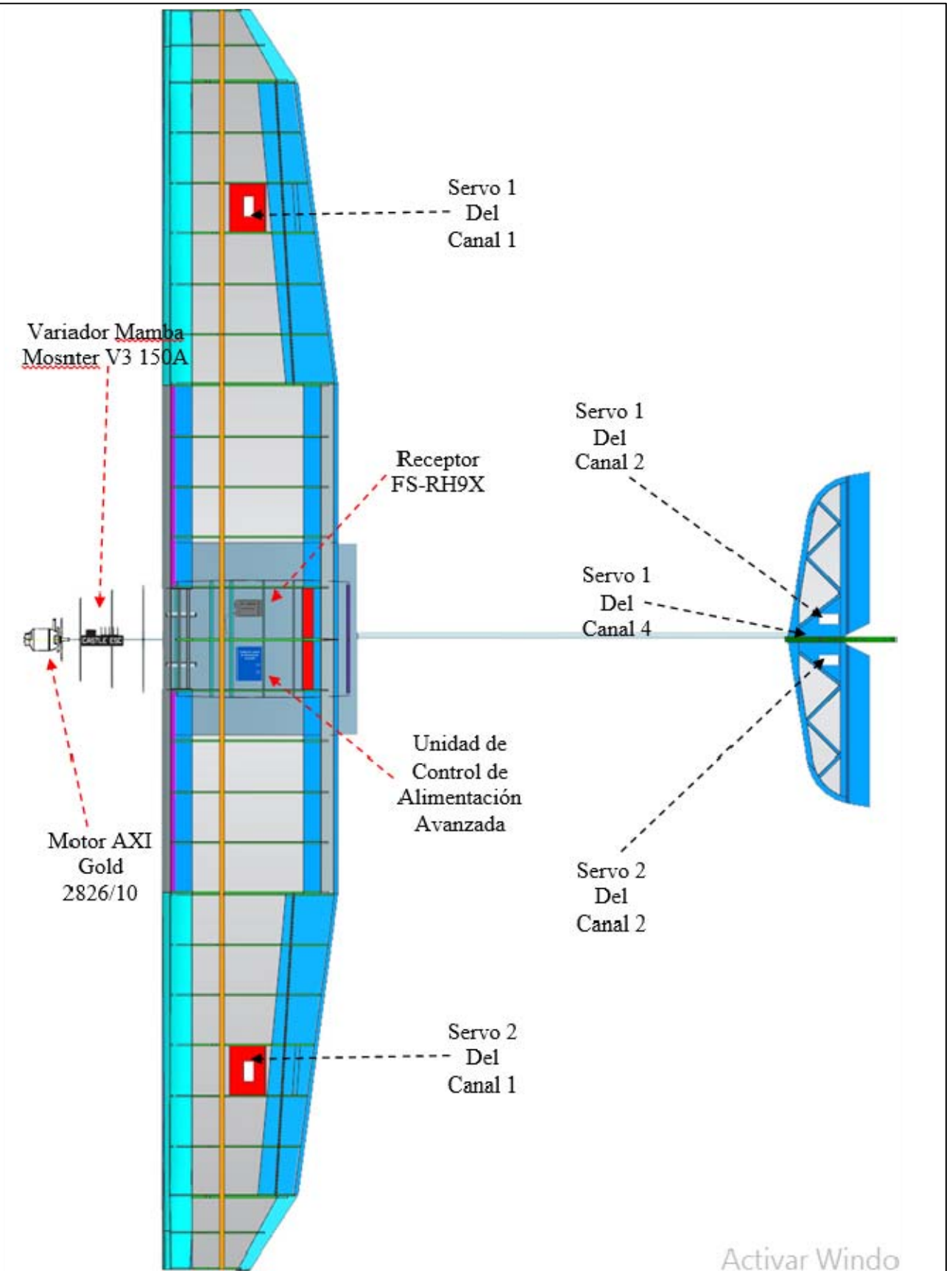
11.- PLANO 11: Esquema eléctrico de la ACU avanzada


Unidad de control de Alimentación Avanzada



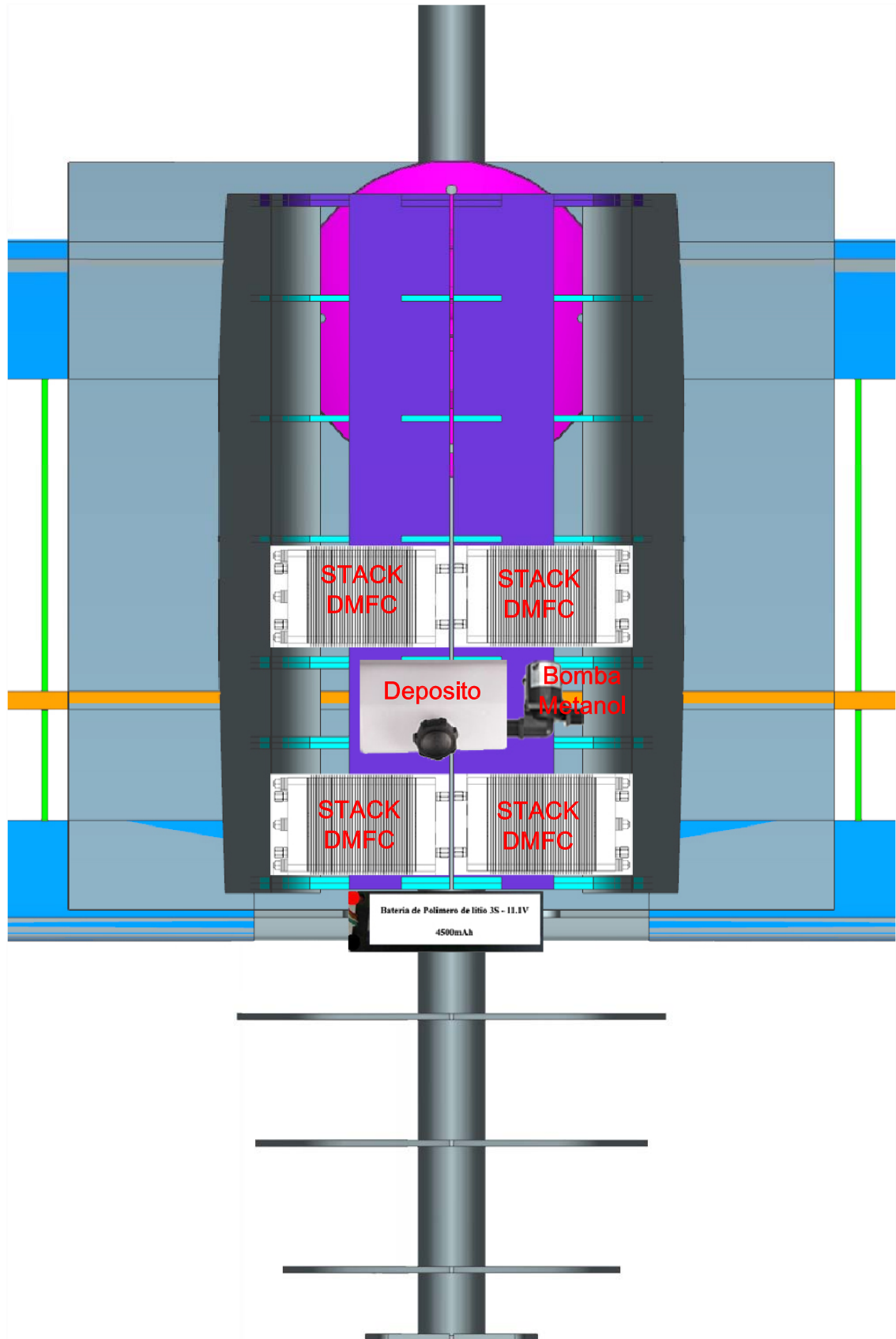
	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/1	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Dr. Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Esquema Electrico de la ACU Avanzada	Material	Plano 11	


12.- PLANO 12: Distribución de la electrónica de radiocontrol en la UAV



 <p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</p>	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/11	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripción Distribución de la electrónica de radiocontrol en la UAV	Material	Plano 12	

13.- PLANO 13: Distribución del sistema de alimentación de la UAV.



	Proyecto AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE		Escala 1/3	Formato A4
	Autor Sergio Gómez Esteban	Revisado Amparo Rives Greus Roberto Teruel Juanes	Fecha 10/06/2016	
Firma:	Descripcion Distribución del sistema de alimentación de la UAV	Material	Plano 13	



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE

PLIEGO DE CONDICIONES PRESENTADO POR:
Sergio Gómez Esteban

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

DIRECTOR:

Dra. Amparo Ribes Greus

CODIRECTOR:

Roberto Teruel Juanes

Septiembre de 2016

AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE	1
1.- OBJETO	3
2.- CONDICIONES RECOMENDADAS DE UTILIZACIÓN	3
2.1- CONDICIONES DE SOFTWARE	3
2.2.- CONDICIONES DE HARDWARE	3
2.3.- LICENCIAS DE SOFTWARE	3
3.- MATERIALES	4
4.- USO	4
4.1 Algunas precauciones sobre seguridad en el uso de la UAV.	4
5.- CONDICIONES GENERALES	5
6.- LIMITACIONES DE RESPONSABILIDAD	5

1.- OBJETO

La presente especificación se refiere a la definición y establecimiento con el usuario final de la aplicación, de las limitaciones y condiciones sobre la distribución, utilización y responsabilidades concernientes al módulo para la ampliación de la autonomía de vuelo de una UAV mediante pilas de combustible.

2.- CONDICIONES RECOMENDADAS DE UTILIZACIÓN

Debido al carácter informático que tiene parte del proyecto, se detallan a continuación algunos consejos de utilización, tanto del hardware como del software que implementan el proyecto.

El incumplimiento de las siguientes líneas puede dar lugar a un incorrecto funcionamiento del proyecto, e incluso a daños materiales o personales.

2.1- CONDICIONES DE SOFTWARE

Para instalar los programas “castle Link” y “Data Recoder”, requieren como mínimo la instalación de una versión de “Windows 98SE” o superior.

2.2.- CONDICIONES DE HARDWARE

Procesados AMD o Intel Pentium III o superior.

Memoria Ram de 256 MB o superior.

Disponer de 100MB es espacio libre en el disco duro.

Un puerto USB libre.

Resolución de pantalla 800 x 640 píxeles y calidad de color de 16bits o superior.

2.3.- LICENCIAS DE SOFTWARE

Varios de los programas que se han utilizado para la elaboración de este proyecto, eran versiones de evaluación de los mismos o versiones educacionales, con las cuales, no se permite la comercialización de los productos elaborados, con lo que para una

comercialización del mismo, o para otros propósitos con ánimo de lucro, se deberá adquirir una licencia comercial y actualizada del siguiente software.

Windows 98SE o superior.

Microsoft Office 2003 o superior.

Autocad 2004 o superior.

El autor de este proyecto se exime de toda responsabilidad del uso fraudulento por parte de terceros de este software, aunque tenga relación directa con el proyecto realizado.

3.- MATERIALES

Los materiales utilizados para la fabricación de la UAV, el control electrónico y el sistema en general, cumplirán con todas las especificaciones dadas en el diseño de estos, así como con las demás normativas de carácter general aplicable a cada una de las partes.

4.- USO

El uso del sistema viene determinado en el presente proyecto por el capítulo 6 de la memoria. Un uso distinto, ya sea en el montaje o configuración del sistema puede ocasionar daños a este y a las personas.

De igual forma, la conducción del vehículo, se deberá realizar en zonas habilitadas para tal fin, debidamente acondicionadas y delimitadas. Además de hacer un uso responsable del vehículo, como por ejemplo, evitando la cercanía de personas.

4.1 Algunas precauciones sobre seguridad en el uso de la UAV.

- Se tendrá especial atención de no invertir la polaridad de los diferentes componentes de la UAV, siempre respetando las conexiones mostradas en los planos y haciendo especial hincapié en la alimentación del Variador de velocidad o ESC (Electronic Speed Control) y el eLogger.
- El sistema siempre se alimentara con una tensión continua, y nunca superior a 26V, ni inferior a 5V.

- No se verterán líquidos sobre la UAV, especialmente sobre las partes electrónicas.
- La UAV nunca debe usarse si las condiciones meteorológicas son adversas (como la nieve, lluvia, hielo, niebla, aire excesivo)

5.- CONDICIONES GENERALES

Cualquier modificación no reflejada en estas paginas, debe comunicarse al ingeniero firmante y tan solo el tiene la potestad de aceptar o rechazar dichas modificaciones.

Conjuntamente con el CD donde se recopila toda la aplicación y todos los ficheros informáticos referentes a la completa realización y ejecución del mismo, se hace entrega de toda la documentación de la aplicación.

No esta permitida la reproducción total o parcial de este proyecto, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del ingeniero firmante.

6.- LIMITACIONES DE RESPONSABILIDAD

La instalación y funcionamiento de la aplicación debe realizarse tal y como se especifica en la Memoria, que se adjunta en la documentación Técnica.

El ingeniero firmante, se exime de toda responsabilidad, de cualquier daño causado ya sea al montaje (hardware) e instalación (software) del proyecto como las personas físicas, debido a una incorrecta manipulación o uso ya sea de los componentes del proyecto, tanto en su puesta en marcha o en su posterior utilización.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE

PRESUPUESTO PRESENTADO POR:

Sergio Gómez Esteban

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

DIRECTOR:

Dra. Amparo Ribes Greus

CODIRECTOR:

Roberto Teruel Juanes

Septiembre de 2016

1.- OBJETO.....	3
2.- CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS.....	3
3.- CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS DE UNIDADES DE OBRA	4
4.- VALORACION	6

1.- OBJETO

En este documento se describen los costes totales y parciales debidos, tanto por compra de material necesario, como de mano de obra para el diseño, construcción y puesta en marcha del Modelado del funcionamiento de un motor Brushless en un prototipo radiocontrolado.

A todos los efectos, en la elaboración de este presupuesto se ha tenido en cuenta al estudiante como titulado, por lo que la valoración de sus horas de trabajo se iguala a las de un ingeniero con la titulación finalizada.

2.- CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS.

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)
Materiales.			
M1	Ud.	Ordenador Personal P4 + Monitor 17" TFT	497.1 €
M2	Ud.	Castle Creations 1/8 Mamba Monster ESC V3	170 €
M3	Ud.	MOTOR BRUSHLESS AXI Gold 2826/10 920KV	99 €
M4	Ud.	U.A.V	2138€
M5	Ud.	Eagle Tree Systems eLogger V3 w/Wire Leads 150 AMP	64.6 €
M6	Ud.	Eagle Tree Systems Optical RPM Sensor	10.6 €
M7	Ud.	Eagle Tree Systems Micro Temperature Sensor	7.3 €
M8	Ud.	Emisora Turnigy 9X 9Ch	69 €
M9	Ud.	Castle Creations 6.5mm Bullet Connector 13G/8G 200A (3)	5.14 €
M10	Ud.	Cables 10 AWG, conectores, estaño	10,15 €
M11	Ud.	Hélice APC 13x7 LP 13070	10,99€
M12	Ud.	Batería Turnigy Lipo 4500mA 11.1V 30C	29.99€
M13	Ud.	Microcontrolador Arduino UNO	14.95€

M14	3	Relé de 12V y 60A	9.99€
M15	4	Resistencia 2W de 560 ohmios RS2W0560	0.2€
M16	4	Resistencia 2W de 100 ohmios RS2W0100	0.2€
M17	4	diodo shockley 5V 1N5819	0.25€
M18	4	Condensador cerámico 10 nF 50V 10%tol CCR10NF	0.1€
M19	3	Resistencia 1K ohmios 2 watos	0.2€
M20	3	Transistor 2N3904	0.13€
M21	Ud.	Quanum DC Automatic Charger (10~26VDC input voltage / 12.6VDC 4A output).	20€
M22	Ud.	Turnigy 5V/6V 5A Heli-UBEC for Lipoly (6~16V)	10€
Mano de Obra directa.			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €

3.- CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS DE UNIDADES DE OBRA

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F1	Ud.	Dimensionar la UAV			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	3	180 €

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F2	Ud.	Estudio y elección del equipo electrónico de la U.A.V			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	5	300 €

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F3	Ud.	Estudiar los requisitos energéticos que necesitara el drone para despegar y mantenerse en el aire			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	2	120 €

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F4	Ud.	Diseñar la electrónica necesaria para gestionar la energía en función de los requisitos del motor			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	10	600 €

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F5	Ud.	Programar la centralita que gestionara la electrónica			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	5	300 €

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F6	Ud.	Programación y configuración del variador de velocidad (ESC)			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	1	60 €

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F7	Ud.	Elegir, instalar y configurar el eLogger			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	3	180 €

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F8	Ud.	Dimensionar la pila de combustible			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	3	180 €

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial
F9	Ud.	Elaboración de la documentación técnica			
H1	h.	Master Ing. Ind. Mecatrónica	60 €	50	3000 €

4.- VALORACION

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Coste Parcial (€)
T1	Ud.	AMPLIACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE VUELO DE UNA UAV MEDIANTE PILAS DE COMBUSTIBLE			
Unidades de Obra.					
F1	Ud.	Dimensionar la UAV	180 €	1	180 €
F2	Ud.	Estudio y elección del equipo electrónico de la U.A.V	300 €	1	300 €
F3	Ud.	Estudiar los requisitos energéticos que necesitara el drone para despegar y mantenerse en el aire	120 €	1	120 €
F4	Ud.	Diseñar la electrónica necesaria para gestionar la energía en función de los requisitos del motor	600 €	1	600 €
F5	Ud.	Programar la centralita que gestionara la electrónica	300 €	1	300 €
F6	Ud.	Programación y configuración del variador de velocidad (ESC)	600 €	1	600 €
F7	Ud.	Elegir, instalar y configurar el eLogger	180 €	1	180 €
F8	Ud.	Dimensionar la pila de combustible	1800 €	1	180 €
F9	Ud.	Elaboración de la documentación técnica	3000 €	1	3000 €
Materiales.					

M1	Ud.	Ordenador Personal P4 + Monitor 17" TFT	497.1 €	1	497.1 €
M2	Ud.	Castle Creations 1/8 Mamba Monster ESC V3	170 €	1	170 €
M3	Ud.	MOTOR BRUSHLESS AXI Gold 2826/10 920KV	99 €	1	99 €
M4	Ud.	U.A.V	€	1	2138 €
M5	Ud.	Eagle Tree Systems eLogger V3 w/Wire Leads 150 AMP	64.6 €	1	64.6 €
M6	Ud.	Eagle Tree Systems Optical RPM Sensor	10.6 €	1	10.6 €
M7	Ud.	Eagle Tree Systems Micro Temperature Sensor	7.3 €	4	29.2 €
M8	Ud.	Emisora Turnigy 9X 9Ch	69 €	1	69 €
M9	Ud.	Castle Creations 6.5mm Bullet Connector 13G/8G 200A (3)	5.14 €	1	5.14 €
M10	Ud.	Cables 10 AWG, conectores, estaño	10,15 €	1	10,15 €
M11	Ud.	Hélice APC 13x7 LP 13070	10,99€	1	10,99€
M12	Ud.	Batería Turnigy Lipo 4500mA 11.1V 30C	29.99€	1	29.99€
M13	Ud.	Microcontrolador Arduino UNO	14.95€	1	14.95€
M14	Ud.	Relé de 12V y 60A	9.99€	3	29.97€
M15	Ud.	Resistencia 2W de 560 ohmios RS2W0560	0.2€	4	0.6€
M16	Ud.	Resistencia 2W de 100 ohmios RS2W0100	0.2€	4	0.6€
M17	Ud.	diodo shockley 5V 1N5819	0.25€	4	1€
M18	Ud.	Condensador cerámico 10 nF 50V 10%tol CCR10NF	0.1€	4	0.4€
M19	Ud.	Resistencia 1K ohmios 2 watos	0.2€	3	0.6€
M20	Ud.	Transistor 2N3904	0.13€	3	0.39€
M21	Ud.	Quanum DC Automatic Charger (10~26VDC input voltage / 12.6VDC 4A output).	20€	1	20€
M22	Ud.	Turnigy 5V/6V 5A Heli-UBEC for Lipoly (6~16V)	10€	1	10€
Medios Auxiliares.					

	%	Gastos Indirectos	12 %	8671,68 €	1040,60€
Precio total de la ejecución material					9712,28€

El presupuesto de ejecución material del presente proyecto, asciende a la cantidad de **NUEVE MIL SETECIENTOS DOCE COMA VEINTIOCHO EUROS** (9712,28€). Este precio incluye el diseño, la instalación y puesta en marcha del proyecto, así como la asesoría técnica sobre el funcionamiento del mismo.