



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE
CATALUNYA

Diseño de un dron con pila de hidrógeno para transporte de paquetería - Presupuesto

Trabajo de final de máster

Curso 2020-21

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Director: **Salueña Berna, Xavier**

Autor: **Flores Navarro, César**

Fecha de entrega: **26 de Abril de 2021**

Índice

| | Página |
|--|--------|
| Índice de tablas | I |
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Presupuesto de materiales | 2 |
| 3. Presupuesto de componentes electrónicos y pila de combustible | 3 |
| 4. Presupuesto de recursos humanos | 4 |
| 5. Presupuesto de recursos energéticos y electrónicos | 6 |
| 6. Presupuesto final | 7 |

Índice de tablas

| | |
|--|---|
| 2.1. Presupuesto de materiales estructurales y elementos sustentadores | 2 |
| 3.1. Presupuesto de componentes electrónicos y pila de combustible | 3 |
| 4.1. Presupuesto de recursos humanos empleados | 5 |
| 5.1. Presupuesto de recursos energéticos y electrónicos | 6 |
| 6.1. Presupuesto final del proyecto | 7 |

1. Introducció

El presente documento tiene por misión detallar el **coste total** del proyecto llevado a cabo. Como complemento de la memoria del proyecto, en las siguientes páginas se englobará el **presupuesto** asociado a todo el proceso de diseño del dron, incluyendo el coste que supondría construirlo estructuralmente tomando las premisas y suposiciones llevadas a cabo en el desarrollo del prototipo. El presupuesto total se dividirá en diferentes secciones, enumeradas a continuación:

1. Coste económico de los **materiales estructurales** empleados en la fabricación del chasis, el tren de aterrizaje y los elementos direccionales como el timón de cola. Su precio vendrá determinado por las dimensiones volumétricas del diseño tridimensional, a partir de las cuales se calculará la masa empleando la densidad de cada material, llegando a obtener el coste por unidad másica establecido. También se incluyen aquí las **hélices** que se encargan de generar el empuje y la sustentación necesarias para el vuelo del dron, pudiendo extraer su precio de mercado de los catálogos de los fabricantes correspondientes.
2. Precio de todos los **componentes electrónicos** necesarios para que el dron realice sus funciones básicas de vuelo autónomo. Al estar más allá de los objetivos de este proyecto, dichos componentes serán una simple aproximación para obtener su contribución másica al conjunto del dron, pudiendo ser modificados más adelante. Sin embargo, el precio orientativo asociado será coherente y del orden de magnitud adecuado. En esta parte se incluye también la **pila de combustible** de hidrógeno escogida como fuente de alimentación, así como el tanque de hidrógeno comprimido y el motor seleccionados.
3. El coste asociado al **trabajo humano**, es decir, las horas de proyecto remuneradas para un ingeniero al cargo del diseño. Todas las tareas supondrán un precio por hora a pagar, sumado por el total de horas empleadas en cada parte del trabajo.
4. En menor medida, se considerarán los **gastos energéticos** y electrónicos empleados por los recursos necesarios para llevar a cabo tareas del proyecto, como por ejemplo las horas de corriente de alimentación del ordenador durante toda la fase de diseño. Las licencias de programario serán consideradas como gratuitas.

2. Presupuesto de materiales

Primeramente se listan el conjunto de materiales elegidos en la memoria para cada parte de la aeronave. Seguidamente, las hélices seleccionadas de los catálogos comerciales de fabricantes de acuerdo con los cálculos aerodinámicos llevados a cabo para el autogiro y las ruedas del tren de aterrizaje. En la siguiente tabla se muestran los costes asociados tanto a los materiales estructurales como a dichos elementos sustentadores del dron:

| Material | Precio unitario (€/kg) | Masa (kg) | Precio total (€) |
|------------------------------|------------------------|-----------|------------------|
| Fibra de carbono (HS) | 30 | 26.33 | 789.9 |
| ABS | 20 | 1.177 | 23.54 |
| Aluminio 7075 | 3.5 | 1.224 | 4.28 |
| Elemento | Precio unitario (€) | Cantidad | |
| <i>Hélice Dynam DYP-1022</i> | 15 | 1 | 15 |
| <i>Pala rotor GyroTech</i> | 900 | 2 | 1800 |
| <i>Ruedas</i> | 1.14 | 3 | 3.42 |
| TOTAL | | | 2636.14 |

Tabla 2.1: Presupuesto de materiales estructurales y elementos sustentadores

**Nota:* No se tiene en cuenta el gasto económico que supondrá el conjunto motor encargado de transformar la energía de la pila de combustible en energía mecánica para la hélice propulsora, dado que no forma parte del alcance del diseño.

3. Presupuesto de componentes electrónicos y pila de combustible

A continuación se listan los componentes electrónicos escogidos para el funcionamiento del dron, así como la celda de la pila de combustible, el cilindro de hidrógeno comprimido usado como combustible y el motor seleccionado. No se tienen en cuenta en el presupuesto de este bloque el coste asociado a las recargas energéticas de hidrógeno después de cada misión, pues forma parte de pasos posteriores de este trabajo.

| Componente | Precio ud. (€/kg) | Unidades | Precio total (€) |
|-------------------------------------|-------------------|----------|------------------|
| Embention Veronte Autopilot | 1300 | 1 | 1300 |
| Raspberry Pi 4 B | 60 | 1 | 60 |
| Cámara Hasselblad L1d-20c | 250 | 1 | 250 |
| Sensor térmico FLIR Lepton | 150 | 1 | 150 |
| Transmisor Mayatech MT900 | 157 | 1 | 157 |
| Luces Matek RGB W2812 | 12 | 2 | 24 |
| Matek BEC PDB 12V | 15 | 1 | 15 |
| <i>Pila PEM IE-Soar 800W</i> | 4750 | 1 | 4750 |
| <i>Cilindro de hidrógeno HES 9L</i> | 150 | 1 | 150 |
| <i>Motor NeuMotors 1708</i> | 287.15 | 1 | 287.15 |
| TOTAL | | | 7143.15 |

Tabla 3.1: Presupuesto de componentes electrónicos y pila de combustible

* *Nota:* Tras contactar con el departamento de ventas de *Embention*, se conoce que el precio del conjunto de equipamientos de tierra que complementan al piloto automático montado a bordo aumenta a **8400€**. Sin embargo, al poderse adquirir el módulo de vuelo independientemente, se indica aquí el precio únicamente de la parte aérea montada a bordo del prototipo del dron.

4. Presupuesto de recursos humanos

No menos importante en el presupuesto resulta la remuneración correspondiente al trabajo de ingeniero necesario para llevar a cabo la totalidad del presente proyecto de diseño. El coste asociado a los recursos humanos incluirá el conjunto de tareas realizadas, remuneradas a precio base de un ingeniero aeronáutico, multiplicadas por el número de horas dedicadas a completar cada tarea:

Nota:* Derivado del análisis de riesgo llevado a cabo en el proyecto, se incluye en este apartado una cantidad extra de dinero denominada como *presupuesto de contingencia***, destinado a combatir los posibles inconvenientes que puedan darse durante el desarrollo del mismo. De esta forma, se considera un presupuesto extra a modo de margen de seguridad de **500€** para garantizar la continuidad del diseño en caso de problemas inesperados (como tener que renovar el ordenador) o sobrecostes en términos de horas de trabajo o materiales.

| Tarea | Duración (h) | Precio (€/h) | Total (€) |
|----------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Definición proyecto | 5 | 20 | 100 |
| Desarrollo documentos | 150 | 20 | 3000 |
| Gestión proyecto | 15 | 20 | 300 |
| Planificación temporal | 5 | 20 | 100 |
| Análisis riesgos | 3 | 20 | 60 |
| Búsqueda bibliográfica | 10 | 20 | 200 |
| Estado del arte | 15 | 20 | 300 |
| Comparativa drones | 5 | 20 | 100 |
| Búsqueda proyectos | 10 | 20 | 200 |
| Elección estructura | 5 | 20 | 100 |
| Planteamiento diseño | 18 | 20 | 360 |
| Elección materiales | 3 | 20 | 60 |
| Diseño 3D SolidWorks | 40 | 20 | 800 |
| Análisis dinámico | 25 | 20 | 500 |
| Dimensionado y estabilidad | 20 | 20 | 400 |
| Elección combustible | 10 | 20 | 200 |
| Comp. electrónicos | 10 | 20 | 200 |
| Colocación carga | 10 | 20 | 200 |
| Elaboración planos | 8 | 20 | 160 |
| Imp. medioambientales | 12 | 20 | 240 |
| Estudio viabilidad | 16 | 20 | 320 |
| Conclusiones técnicas | 10 | 20 | 200 |
| TOTAL | | | 8100 |

Tabla 4.1: Presupuesto de recursos humanos empleados

5. Presupuesto de recursos energéticos y electrónicos

Por último se tiene en cuenta el consumo energético causado por el hecho de llevar a cabo todo el proyecto de diseño a ordenador, a lo largo de la gran mayoría de las horas que requiere. Esto incluye todas las tareas presentadas en el diagrama de *Gantt* del proyecto que necesiten de este recurso, como pueden ser la redacción de la memoria y documentos asociados, la fase de diseño tridimensional o el desarrollo de código auxiliar a Matlab. No se tendrá en cuenta el método de 'ensamblaje' o montaje del dron, como podría ser el gasto generado por la impresión 3D de la fibra de carbono del chasis, si es que fuera ése el método escogido, dado que forma parte de futuros pasos del proyecto. Tampoco se contabilizarán las licencias de software requeridas, pues son gratuitas para un ingeniero en condición de estudiante de máster de una universidad pública.

| Recurso | Consumo (W) | Precio (€/kW · h) | Horas | Total (€) |
|--------------|-------------|-------------------|-------|--------------|
| Ordenador | 150 | 0.125 | 334 | 6.27 |
| Iluminación | 18 | 0.125 | 350 | 6.56 |
| TOTAL | | | | 12.83 |

Tabla 5.1: Presupuesto de recursos energéticos y electrónicos

* *Nota:* La iluminación del lugar de realización del trabajo consta de tres bombillas LED de bajo consumo (6W por bombilla). El coste del kilovatio hora aplicado se ha realizado como una media del precio asociado a las distintas franjas horarias en las que se ha trabajado diariamente para la tarifa **One Luz** de la empresa **Endesa**.

6. Presupuesto final

Por último, se obtiene el **presupuesto definitivo** del proyecto mediante la suma simple de las contribuciones de los cuatro bloques anteriores. Por lo tanto, el coste final de llevar a cabo el diseño de un dron autogiro con pila de combustible de hidrógeno para transporte de paquetería en rutas de medio y largo alcance es el mostrado a continuación:

| Concepto | Coste asociado (€) |
|----------------------|--------------------|
| Materiales | 2636.14 |
| Componentes | 7143.15 |
| Recursos humanos | 8100 |
| Recursos energéticos | 12.83 |
| Contingencia | 500 |
| TOTAL | 18392.12 |

Tabla 6.1: Presupuesto final del proyecto