

---

# CAPÍTULO 1

---

## RECURSOS

En el presente anexo se detallan los recursos utilizados durante el proyecto. Se realiza un análisis desde el punto de vista del costo económico y de las horas hombre dedicadas.

### 1.1. Costos

Plataforma Física (*)	819.08 USD
Beagleboard	149.00 USD
Beaglejuice	88.73 USD
Mongoose 9DOF	115.00 USD
GPS	34.99 USD
WiFi	44.87 USD
Otros (**)	100.00 USD
Total	1351.67 USD

(\*) Incluye transmisor, receptor y una batería

(\*\*) Acrílico, cobre, componentes electrónicos, aluminio, etc.

Tabla 1.1: Costos de las partes que componen el sistema

#### 1.1.1. Costos Ocultos

Durante el proyecto se utilizaron diversos dispositivos que no fue necesario adquirir, ya que se encontraban disponibles en el laboratorio:

- **Osciloscopio:** - 500 USD<sup>1</sup> Es fundamental para trabajar con circuitos electrónicos.
- **Soldador con microscopio:** Se utilizó un soldador precisión equipado con un microscopio para trabajar con componentes SMD.

---

<sup>1</sup>Precio promedio. Los precios oscilan entre 100 USD (USB, requiere de una PC) hasta 3500 USD. Las necesidades del proyecto se cubren con un modelo sencillo.

- **Fuente DC 5V:** Utilizada para alimentar la electrónica.
- **Tocadiscos:** Utilizados durante la calibración del giróscopo.
- **Equipo de Aire Acondicionado:** Para las compensaciones por temperatura.
- **Software:** Computadoras con MatLab.

Algunas inversiones que, a priori, no serían necesarias si se quisiera repetir partes del proyectos:

- **Analizador lógico** - 90USD - Si hay que decodificar otro protocolo  $I^2C$ , es fundamental contar con un analizador lógico. Durante el proyecto se invirtió mucho tiempo en intentar implementar uno, y al final se optó por comprar uno hecho.
- **Protecciones en aluminio** - \$1500 - Contando con ESCs confiables, es probable que estas protecciones no sean necesarias, y que sea conveniente sacarlas para aumentar la carga que queda disponible y para disminuir el rozamiento con el aire.

Gastos adicionales:

- **Envíos:**
  - Hubo que enviar una Beagleboard y una Beaglejuice a USA para hacer valer la garantía, el costo de los envíos fueron de 100 USD y 50 USD respectivamente.
  - Envíos desde China tienen un costo de aproximadamente 30 USD.
- **Aduana:** Los gastos de aduana fueron de aproximadamente 200 USD. Algunos debido a que por problemas de tiempo no se hicieron los trámites necesarios para evitar gastos (por tratarse de materiales para la educación).

### 1.1.2. Elección de compras - Análisis de alternativas

Antes de efectuar las compras, se analizaron las diversas opciones disponibles en el mercado. A continuación se resumen las conclusiones de dicho análisis.

#### Instrumentación

La idea original era adquirir una IMU equipada solamente con acelerómetros y giróscopos, y un GPS. Trabajando con esta configuración se descubrió que el GPS es muy poco preciso, y no es posible determinar la orientación (Yaw) ni la altura del sistema con un error razonable (del orden de 5° y 50cm respectivamente). Se optó por incorporar más sensores, lo que llevó a adquirir la Mongoose, que se utilizó en el diseño final. Incorpora un magnetómetro y un barómetro.

En el mercado (al día de hoy) no hay ninguna IMU que compita con la Mongoose. Todas traen sensores con especificaciones muy similares, la Mongoose cuesta menos que la competencia<sup>2</sup> y trae más sensores, trabaja a la misma frecuencia de muestreo, se comunica mediante el mismo tipo de interfaz, etc.

---

<sup>2</sup>Ejemplo: Razor 9DoF de Sparkfun - <https://www.sparkfun.com/products/10736?>

Cabe destacar que de tener que repetir esta etapa, se buscaría una IMU capaz de funcionar como sistema de estabilización, efectuando las acciones de control básicas. En el sistema existente esto no es posible, debido a que la dirección  $I^2C$  del acelerómetro coincide con la de uno de los ESCs, lo que impide que la *Mongoose* maneje los motores. Esto se podría resolver reemplazando los ESCs por otros cuyo código fuente estuviese disponible y permitiera cambiarles la dirección  $I^2C$ .

## Inteligencia

Como inteligencia se buscó una placa de desarrollo, ya que no era de interés construir una a partir de un micro. Se buscó que la comunicación fuese simple, al igual que la programación. Las dos opciones que se manejaron fueron la Beagleboard y la *Gumstix Overo Fire*<sup>3</sup>, ambas corren un sistema operativo Linux. Se optó por la Beagleboard por precio y disponibilidad de puertos de comunicación. La Gumstix costaba casi el doble y requería de una placa adicional para habilitar la comunicación mediante USB.

Hoy en día en el mercado existen opciones de inteligencia que por  $25USD$  brindan la misma capacidad de procesamiento que la Beagleboard<sup>4</sup>.

## Plataforma

Los criterios que usaron para la elección de la plataforma fueron el costo, la capacidad de carga, y el tiempo de vuelo. Se encontraron tres candidatos.

	GAUI 330X	XAircraft X650	Turbo Ace X720
<b>Peso</b>	700g	Versión de fibra de vidrio: 1100g. Versión de fibra de carbono: 950g.	990g
<b>Carga útil</b>	500g	Versión de fibra de vidrio: 700g. Versión de fibra de carbono: 850g.	1300g
<b>Tiempo de vuelo</b>	Con batería de 2200mAh vuela entre 7 y 20 minutos	Vuela 12 minutos con batería de 2200mAh y carga menor a 1,5kg	Con batería de 2200mAh vuela 15 minutos a carga nominal y puede llegar a la media hora de vuelo con una batería de 10,000mAh

Tabla 1.2: Comparación peso-carga útil y tiempo de vuelo sin carga.

Se optó por el Turbo Ace X720, fundamentalmente por la capacidad de carga.

Hoy en día es posible adquirir “esqueletos” de cuadricóptero a precios inferiores a los  $20USD$ <sup>5</sup>. Si se elimina la posibilidad del vuelo a control remoto, se pueden adquirir ESCs, motores y hélices por  $300USD$ .

Si se desea hacer trabajo de más alto nivel, por ejemplo navegación, localización, etc, y no es de interés trabajar en el sistema de control se puede optar por el Parrot

<sup>3</sup>[https://www.gumstix.com/store/product\\_info.php?products\\_id=227](https://www.gumstix.com/store/product_info.php?products_id=227)

<sup>4</sup>Ver <http://www.raspberrypi.org>.

<sup>5</sup>Ver [www.himodel.com](http://www.himodel.com).

ARDrone<sup>6</sup>, es una plataforma robusta que se programa utilizando una API abierta, y cuesta alrededor de 300USD.

### 1.2. Horas hombre

Previo al comienzo del proyecto se realizó una división de tareas y una estimación de la duración de cada una de ellas. Dicha estimación fue reformulada al cabo de algunos meses de comenzado el proyecto y se agregaron y reformularon tareas. En la tabla ?? se detallan las actividades planificadas, el tiempo estimado y el tiempo que insumieron efectivamente.

Se explicara fundamentalmente las razones por las cuales algunas de las tareas insumieron un tiempo muy diferente al estimado inicialmente. En la actividad elección de hardware se incluye además la compra de los elementos, en este caso se dilató un poco fundamentalmente debido a la necesidad de coordinar con la contaduría de la Facultad de Ingeniería un horario para realizar las compras.

La caracterización de los motores fue estimada en mala forma. En primer lugar se debe alcarar que por mal manejo de los componentes se quemó un ESC, paralizando por un tiempo dicha actividad. Una vez que se obtuvo un remplazo, el análisis del protocolo para comandar los motores insumió una gran cantidad de tiempo. La razón principal fue la necesidad de un “sniffer” para realizar el análisis del protocolo  $I^2C$ . Al no disponerse de uno se buscaron soluciones alternativas durante varias semanas. Luego de un largo esfuerzo se optó por adquirir uno.

La calibración de la instrumentación tomo más tiempo de lo deseado. La principal dificultad fue la calibración del giróscopo, se idearon formas de calibrar el giróscopo que parecían adecuadas, pero su realización tomó demasiado tiempo. Además no se obtuvieron resultados acordes.

En lo que respecta al generador de rutas, la razón por la cual el tiempo dedicado es muy inferior al estimado es que inicialmente se había pensado en un generador eficiente en algún sentido. El generador implementado es muy básico y no es óptimo en ningún sentido.

El mayor error en cuanto a la planificación fue el tiempo dedicado al testeo. Se encontraron diversas dificultades durante esta etapa. En primera instancia existía un problema con los tiempos de acción del sistema, este problema se detectó luego de analizar muchas posibilidades. Una vez corregido el sistema comenzó a funcionar en forma más adecuada en las pruebas de un sólo grado de libertad. A la hora de las pruebas de vuelo el “glitch” de los ESCs causó la rotura de la plataforma en más de una ocasión. En los 120 días se incluye el tiempo que tomaron las reparaciones y los ajustes de las matrices de realimentación y de Kalman, ya que existen diferencias entre las plataformas de las que se disponía y dichos parámetros no funcionaban de igual forma en los dos sistemas.

---

<sup>6</sup><https://projects.ardrone.org/>

Actividad	Tiempo estimado	Tiempo insumido
Definición del hardware a adquirir	27 días	40 días
Caracterización de los motores	9 días	30 días
Modulo de comando de los motores	9 días	
Programación del microprocesador para comunicarse con la instrumentación	20 días	
Calibración de la instrumentación	17 días	30 días
Comunicación WiFi	20 días	
Armado del dispositivo	9 días	
Modelo físico	16 días	20 días
Estudio de vuelo (linealización)	11 días	7 días
Generador de rutas	30 días	3 días
Diseño del simulador	30 días	30 días
Diseño de los algoritmos de control	36 días	40 días
Simulación, testeo y debugging de algoritmos	7 días	15 días
Programación del microprocesador	32 días	
Pruebas sobre el sistema real	15 días	120 días

Tabla 1.3: Actividades planificadas