

---

---

# CAPÍTULO 1

---

## HARDWARE

La elección del Hardware significa una parte muy importante del Proyecto, ya que las decisiones tomadas condicionan el resto del mismo. Una mala elección de alguno de los componentes puede resultar en complicaciones no previstas a la hora de la ejecución, causando contratiempos inesperados y trabajo excesivo. Es necesario, entonces, el estudio detallado de cada uno de los componentes a utilizar, comparando características, rendimientos y utilidades.

Elegir adecuadamente el Hardware necesario agiliza las etapas siguientes de todo el Proyecto. Resulta fundamental la toma de buenas decisiones, las cuales deben estar basadas en un previo estudio de cada etapa del proyecto, sus requerimientos, un estudio comparativo de las posibles soluciones y el conocimiento cabal de los componentes a utilizar.

### 1.1. Plataforma física: Cuadricópteros

A la hora de la planificación del Proyecto se plantean dos opciones que se diferencian básicamente en el punto de partida. Ambas tienen como objetivo principal diseñar e integrar un sistema de control que permita al cuadricóptero mantener un vuelo autónomo, pero una de ellas consta además del diseño y el armado del mismo. Esta última incluye desafíos de ingeniería mecánica, conocimientos de resistencia, flexibilidad y peso de materiales, así como también diversas complicaciones a la hora de fabricar y armar las partes.

Teniendo en cuenta que se trata de un proyecto con tiempo acotado y su objetivo se centra en el control del vehículo, la necesidad de partir de hardware ya construido resulta imperiosa. La plataforma escogida es el cuadricóptero Turbo Ace X720, este mismo cuadricóptero es conocido además como LotusRc 850.

Esta plataforma es controlada por un usuario a través de un control remoto. El sistema receptor ( ) - CPU se encarga de setear la velocidad angular de cada motor en función de la señal recibida.

## Motores

Los motores de la plataforma son *Brushless*, estos son motores eléctricos alimentados con corriente continua. Tienen un sistema de conmutación eléctrico y presentan relaciones lineales entre *Corriente* y *Torque* y entre *Frecuencia* y *velocidad*. Son comúnmente utilizados en vehículos radio-controlados por su gran eficiencia, potencia, durabilidad y su bajo peso en comparación con los tradicionales motores *Brushed*. Sin embargo, los motores de CC *Brushless* son mucho más complicados de controlar, ya que la fase varía con la rotación del motor. Para controlarlos debe utilizarse un dispositivo llamado *Controlador eléctrico de velocidad*, o **ESCs**. Comúnmente los ESCs se clasifican según su corriente máxima, por ejemplo 10 amperes o 10A.

El comando de los motores se basa en el protocolo  $I^2C$  funcionando a una frecuencia de  $400kHz$ .

## Peso

La carga útil que el dispositivo pueda soportar juega un papel fundamental. Vale recordar que, además de toda la instrumentación que incluye el cuadricóptero, se incorporará un microprocesador, una batería independiente para su alimentación, un giróscopo, un acelerómetro, un GPS y alguna interfaz para la comunicación. A su vez es interesante conservar la posibilidad de integrar una cámara fotográfica convencional ya que puede ser de gran utilidad para numerosas aplicaciones. La fuerza que los motores pueden realizar es acotada, por lo que el peso del dispositivo influye directamente en la carga útil del mismo. Para esta plataforma la carga adicional que puede agregarse es de 1300g incluyendo batería.

## Tiempo de vuelo

El tiempo de vuelo puede resultar crítico según la aplicación considerada, en este caso no será posible superar los 20 minutos de vuelo utilizando una batería de LiPo de 5300mAh.

## Instrumentación

La instrumentación que el dispositivo brinda está destinada al manejo mediante el control remoto. La misma incluye un acelerómetro y un giróscopo de 3 ejes, un barómetro y poseen algún sistema de estabilización incluido, de forma de facilitar el control.

Lamentablemente el software presente en la CPU es privativo por lo tanto reutilizarlo parece una tarea muy dificultosa, del mismo modo obtener la lectura de los sensores presentes tampoco parece una tarea sencilla. Por dicho motivo se opta por dotar al sistema de instrumentación adicional.

En la figura 1.1 se puede apreciar una imagen de la plataforma utilizada.



Figura 1.1: Turbo Ace X720

## 1.2. Inteligencia

Además de la plataforma física, deben seleccionarse componentes electrónicos capaces de procesar la información proveniente de los sensores, computar y ejecutar los algoritmos de control y generar las señales necesarias para transmitir las instrucciones a los motores.

La solución implementada se basa en la plataforma de desarrollo *Beagleboard*. Esta plataforma posee un microprocesador TI ARM Cortex A8 de 1GHz y un DSP TMS320C64x+ de 800MHz, la memoria RAM de la misma es de 512 Mb y si bien no tiene memoria no volatil soporta tarjetas SD de hasta 4GB.

### Dimensiones y peso

Si bien no resulta una característica determinante, es conveniente que las dimensiones y peso de la placa elegida sean lo menores posibles, de forma de no ocupar gran parte de la carga útil del cuadricóptero con electrónica asociada a la inteligencia implementada. El peso de la Beagleboard y una batería asociada diseñada especialmente para esta plataforma es de 76 gramos y sus dimensiones son  $10cm \times 8,5cm \times 2cm$ . La autonomía de la batería es de aproximadamente 2 horas.

### Programación y Sistema Operativo

Es importante tener en cuenta como será realizada la programación de los sistemas considerados (dónde se almacena el programa, hardware necesario para la programación, etc.) En particular, es conveniente poder contar con algún sistema operativo que facilite la tareas de programación, testeo y debugging.

La BeagleBoard ofrece la posibilidad de cargar un kernel de *Linux* desde una tarjeta SD. Esto ofrece una amplia gama de posibilidades. A modo de ejemplo podemos nombrar las facilidades que implica en cuanto a la comunicación. La plataforma dispone de una interfaz ethernet y cuatro puertos USB. Al disponer de un sistema operativo, los *drivers* de dichas interfaces se pueden utilizar obteniendo así la posibilidad de realizar ajustes sobre el sistema a través de la interfaz ethernet o de una interfaz WiFi agregando el módulo USB (Belkin wireless G). Además se dispone de un puerto serie.

## Puertos e I/Os

Las posibilidades que ofrece la Beagleboard en cuanto a puertos de entrada y salida son muy considerables. A modo de ejemplo se tienen cuatro puertos USB, una interfaz ethernet un puerto de expansión de 28 pines de proposito general y un puerto serie. En lo que respecta a la solución implementada es importante destacar que los pines 23 y 24 pueden ser programados para comunicarse a través del protocolo  $I^2C$  fundamental para enviar comandos a los motores. Los pines 23 y 24 corresponden a las líneas de datos y al reloj respectivamente. Por otra parte, los pines 8 y 6 pueden ser configurados para funcionar como pines de transmisión y recepción de un puerto serie. Esto será fundamental para la comunicación con algunos de los sensores.

### 1.3. Instrumentación

Para poder controlar el sistema es importante poder conocer los valores que toman las variables del mismo. Como se verá en el capítulo sobre el desarrollo del modelo físico del cuadricóptero, las variables que es necesario conocer son:

- La orientación del sistema en el sistema de coordenadas utilizado
- La altura del sistema en el sistema de coordenadas utilizado
- La aceleración en las tres coordenadas
- La velocidad angular del sistema según tres ejes de rotación

Por dicho motivo parece imprescindible dotar al sistema de sensores capaces de medir dichas magnitudes.

#### 1.3.1. IMU

##### Acelerómetro

Un acelerómetro es un dispositivo capaz de medir su aceleración propia en el marco de referencia de la caída libre. Esto implica que el dispositivo no mide siempre su cambio de velocidad en el espacio.

Por ejemplo, la medida de un acelerómetro en caída libre será cero a pesar de que su velocidad crezca, de la misma forma se puede observar que un acelerómetro en reposo respecto de la Tierra, no dará una medida nula, sino que por el contrario medirá como aceleración  $g$ .

Existen diversos tipos de acelerómetro, en este caso se eligió trabajar con un acelerómetro contenido en un circuito integrado (tecnología MEMS). Las razones de esta elección son fundamentalmente tamaño y peso (críticos en la aplicación) y económicos. Los mismos son más pequeños, livianos y baratos que otras tecnologías. Dicho acelerómetro procesa las medidas y las convierte a una salida eléctrica; la forma de dicha salida depende si el integrado es analógico o digital.

Los acelerómetros basados en tecnologías MEMS miden cambios internos de la transferencia de calor causada por la aceleración, ofreciendo ventajas significativas sobre

el empleo de una estructura tradicional sólida de masas de prueba. Ya que la masa de prueba en el diseño de los sensores MEMS son moléculas de gas, las estructuras móviles mecánicas son eliminadas dentro del acelerómetro.

Un acelerómetro de tres ejes no es otra cosa que un acelerómetro capaz de medir su aceleración propia en tres ejes de coordenadas.

El acelerómetro cumple dos roles fundamentales. El primero es que, bajo el supuesto que las aceleraciones a las cuales se verá sometido el sistema no son comparables con  $g$  el mismo sirve para determinar con gran precisión los ángulos de Pitch y de Roll. El segundo, es que nos permite obtener una estimación de la velocidad al integrar su medida.

## Giróscopo

Un giróscopo es un instrumento que mide la velocidad angular del sistema en un sistema de referencia solidario a si mismo. Las mismas restricciones sobre tamaño, peso y costos que se aplicaban para el acelerómetro se aplican aquí. Por dicho motivo se vuelve a optar por un instrumento de tecnología MEMS.

Desde el punto de vista teórico, procesando la información obtenida a partir del acelerómetro y del giróscopo se puede conocer en todo momento la posición del sistema y su orientación a partir de las condiciones iniciales.

En la práctica, sin embargo, esto no sucede así. Todas las medidas realizadas tienen un cierto error. Para obtener la orientación y la posición a cada instante se deben integrar las medidas obtenidas, por lo tanto, se integra también el error cometido. Esto produce una acumulación de errores que afecta de forma considerable el resultado final luego de cierta cantidad de muestras.

Parece razonable, entonces, poder cotejar los datos que se obtienen mediante este método con datos obtenidos mediante otras fuentes. Es a partir de esta problemática que surge la necesidad de contar con un GPS. Se puede, cada cierto intervalo de tiempo, observar en cuanto difieren los resultados obtenidos integrando las medidas de los sensores con los datos que aporta el GPS, logrando de esta forma corregir los errores debido al *integration drift*.

## Sensor de presión

Si bien un dispositivo GPS provee una estimación de la altura a la que se encuentra, la misma resulta ser poco exacta y confiable, por depender fuertemente de la cantidad de satélites vistos por el GPS así como por el efecto del rebote de las ondas en estructuras cercanas (resulta particularmente crítico el efecto de los rebotes en el piso, los cuales dan poca precisión a la medida de altura al estar muy cerca del suelo). Por este motivo es necesario contar con un sensor de presión absoluta que nos permita determinar la altura del cuadricóptero en forma independiente al resto de los sensores. La medida de presión debe ser absoluta pues es este tipo de medidas las que pueden ser traducidas a altura en forma rápida y confiable.

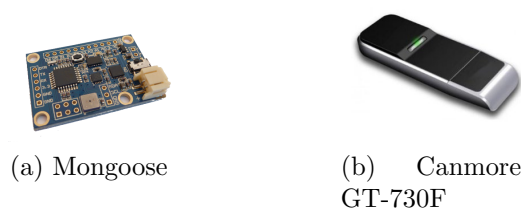


Figura 1.2: Instrumentación

## Magnetómetro

Si bien el sistema contará con giróscopos que permitirán, a través de integración, estimar la orientación del cuadricóptero, dicha estimación está sujeta a los errores asociados a este tipo de sensores (errores de drift e integración, entre otros), siendo además dicha medida una medida diferencial, teniendo como única referencia la orientación inicial del cuadricóptero. Eso por ello que resulta conveniente contar con un magnetómetro que permita tener una medida absoluta y confiable del ángulo de Yaw, la cual puede ser entonces complementada y corregida mediante la información obtenida mediante la integración de la información generada por el giróscopo.

## Sensor de temperatura

Si bien el control del sistema no depende directamente de la temperatura, los instrumentos a utilizarse están contruidos con cierta tecnología que presenta dependencia con (y por ende tendrá errores asociados a) la temperatura. El contar con un sensor de temperatura permitirá sensor la misma y realizar correcciones en tiempo real que permitan minimizar dicho errores.

La Mongoose 9DoF IMU posee todos los sensores que se han nombrado hasta aquí excepto el GPS. La misma posee además un microprocesador con facilidades para ser programado, pudiendo así realizar un preprocesamiento de los datos antes de realizar la estimación del estado. Entre las modificaciones realizadas las más importantes son un aumento y una estabilización de la frecuencia de muestreo y la conversión de los datos de salida de formato ASCII a binario. Esto último permite una mayor velocidad de transmisión de los mismos a través del puerto serie de la Mongoose. En la figura 1.2a se puede observar dicha placa de instrumentación. Las características de dicha placa pueden consultarse en ??.

### 1.3.2. GPS

La elección del GPS se basó casi totalmente en lograr la simplicidad del sistema. Existían muchas opciones, placas de diversos tamaños, con diversos tamaños de antenas, pero todas con similares especificaciones.

Las placas candidatas a estar a cargo de la inteligencia contaban con interfaces USB, por lo que se optó por comprar un dongle GPS, cuyas especificaciones son similares a las del resto de las opciones, y se puede comunicar via USB. Existen drivers para dicho GPS en linux, por lo que la comunicación con el mismo no debería ser un problema.

Se optó por utilizar un GPS *Canmore GT-730F*.

## **1.4. Consideraciones adicionales sobre el hardware utilizado**

Si bien entendemos que en lo que respecta a la instrumentación la elección es la adecuada para la primer versión de la plataforma en el futuro puede ser de interés añadir al sistema la posibilidad de obtener la posición mediante el procesamiento de imágenes, para lograr una mayor exactitud. Para esto, la capacidad de procesamiento, las bibliotecas existentes de *computer vision* y los módulos de cámaras VGA diseñados para trabajar con la Beagleboard permiten aprovechar al máximo la capacidad de esta plataforma la cual supera ampliamente los requerimientos de este proyecto.