
CAPÍTULO 1

COMPARACION DE 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 para evitar dichos problemas 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. Elección de plataforma 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 en el 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 con un hardware ya construido resulta imperiosa. Por ello se realiza un estudio sobre las opciones que el mercado ofrece en esta materia. Desafortunadamente las opciones no son muy numerosas, disponiendo de Cuadricópteros comerciales controlados a control remoto. Todos ellos incluyen un pequeño sistema de control integrado de los cuales no es posible obtener información ya que se trata de software propietario. Las opciones que el mercado ofrece son:

- Gauai 330X

- XAircraft X650
- Turbo Ace X720

Se procede a la comparacin de los equipos mencionados y se analizan algunos aspectos fundamentales y crticos, como puede ser por ejemplo el peso del dispositivo y la carga til que puede soportar.

Motor

Al estudiar las posibilidades nos encontramos con que en todos los casos los motores se controlan con modulacin por ancho de pulsos, de ahora en ms **PWM** por sus siglas en ingls, tcnica en la cual se modifica el ciclo de trabajo de una seal peridica para controlar la cantidad de energa que se entrega a una carga.

En la tabla 1.1 se muestran las caractersticas de los motores de los 3 Cuadricpteros considerados.

	GAUI 330X	XAircraft X650	Turbo Ace X720
Motor	Hlices de 8 pulgadas, 4 motores brushless con 4 ESCs de 10A	Hlices de 12 pulgadas, 4 motores brushless con 4 ESCs de 10A. Las hlices impulsadas por el motor tienen una eficiencia de 9g/W bajo carga nominal.	Hlices de 12 pulgadas, 4 motores brushless con 4 ESCs de 10A. Las hlices impulsadas por el motor tienen una eficiencia de 12g/W bajo carga nominal.

Cuadro 1.1: Comparacin motores

Los motores *Brushless* son motores elctricos alimentados con corriente continua. Tienen un sistema de conmutacin elctrico y presentan relaciones lineales entre *Corriente* y *Torque* y entre *Frecuencia* y *velocidad*. Son comnmente utilizados en vehculos radio-controlados por su gran eficiencia, potencia, durabilidad y su bajo peso en comparacin con los tradicionales motores *Brushed*. Sin embargo, los motores de CC *Brushless* son mucho ms complicados de controlar, ya que la fase vara con la rotacin del motor. Para controlarlos se utilizan unos dispositivos llamados *Controladores elctricos de velocidad*, o **ESCs**. Comnmente los ESCs se clasifican segn su corriente mxima, por ejemplo 10 amperes o 10A.

Como se puede ver en la tabla 1.1, todos los dispositivos utilizan motores similares y la nica diferencia radica en que la eficiencia de los motores del *Turbo Ace X720* es mayor.

Tiempo de vuelo

El tiempo de vuelo puede resultar crtico segn la aplicacin considerada. En la tabla 1.2 se muestran los datos que se obtuvieron para los 3 Cuadricpteros considerados.

	GAUI 330X	XAircraft X650	Turbo Ace X720
Tiempo de vuelo	Con batera de 2200mAh vuela entre 7 y 20 minutos	Vuela 12 minutos con batera de 2200mAh y carga menor a 1,5kg	Con batera de 2200mAh vuela 15 minutos a carga nominal y puede llegar a la media hora de vuelo con una batera de 10,000mAh

Cuadro 1.2: Comparacin Tiempo de vuelo

Como se puede apreciar los tiempos de vuelo son similares en los 3 dispositivos, por lo que no ser un factor determinante a la hora de tomar la decisin.

Un factor determinante en el tiempo de vuelo es la batera a utilizar. Deben considerarse 2 aspectos importantes: la capacidad de la batera y su peso. Si bien una batera con mayor capacidad permitir mayor autonoma de vuelo, es claro que su peso tambin aumentar, lo cual a su vez, causar un mayor consumo. Los 3 Cuadricpteros en consideracin incluyen una batera de 3 celdas de Litio de 2200 mAh.

Peso

La carga til que el dispositivo pueda soportar juega un papel fundamental. Vale recordar que adems de toda la instrumentacin que incluye el Cuadricptero, se incorporar un Microprocesador, una batera independiente para su alimentacin, un girscopo, un acelermetro, un GPS y alguna interfaz para la comunicacin. A su vez es interesante conservar la posibilidad de integrar una cmara fotogrfa 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 til del mismo.

	GAUI 330X	XAircraft X650	Turbo Ace X720
Peso	700g	Versin de fibra de vidrio: 1100g. Versin de fibra de carbono: 950g.	990g
Carga til	500g	Versin de fibra de vidrio: 700g. Versin de fibra de carbono: 850g.	1300g

Cuadro 1.3: Comparacin peso y carga til

Como se puede ver en la tabla 1.3, no cabe duda que el dispositivo que puede cargar con ms peso es el *Turbo Ace X720*, lo cual constituye una ventaja considerable de este dispositivo frente a los otros.

Instrumentacin

Toda la instrumentacin que los dispositivos brindan est originalmente destinada al manejo mediante el control remoto. Todos ellos incluyen un acelermetro y un girscopo de 3 ejes y traen algn sistema de estabilizacin incluido de modo de facilitar

su control.

Como ya se mencion, se aadir al Cuadricptero la instrumentacin necesaria para su control automtico, por lo cual la instrumentacin incluida en el dispositivo carece de gran importancia. Sin embargo, resulta interesante conservar la posibilidad de controlarlo mediante el control remoto, ya que puede ser til tanto en determinadas aplicaciones, como para evitar eventualidades en las primeras pruebas donde se testean los algoritmos de control desarrollados. El algoritmo de control deber poder alternar entre estos dos modos de vuelo dndole prioridad al control remoto, de modo de conservar la integridad fsica del dispositivo ante fallas en los algoritmos de control.

	GAUI 330X	XAircraft X650	Turbo Ace X720
Instru- men- tacin	Sistema de estabilizacin integrado <i>GU344</i> : incluye girscopo de 3 ejes y acelermetro.	Girscopo de 3 ejes y acelermetro. Puede usar hasta 13 sensores para chequear actitud de vuelo, altitud, direccin, posicin, temperatura, consumo energtico, etc.	Girscopo y acelermetro de 3 ejes integrados. Se vende por separado el mdulo GPS que incluye barmetro como medidor de altitud y el comps electrnico.

Cuadro 1.4: Comparacin instrumentacin

En la tabla 1.4 se muestra un resumen de la instrumentacin incluida en cada Cuadricptero.

Control

El control mediante el mando remoto requiere de cierta prctica y habilidad para ejecutarlo de buena forma, por lo cual todos los algoritmos de control integrados que el dispositivo incluya significarn una interesante ventaja. Por otro lado se debe tener en cuenta que el control remoto se utilizar en reducidos casos, siendo el control automtico el verdadero inters del proyecto. Es importante tener en cuenta que dichos algoritmos encarecen el precio del dispositivo y no sern utilizados con mucha frecuencia.

	GAUI 330X	XAircraft X650	Turbo Ace X720
Control	-	Software de configuracin incluido. Dispositivo de control de 4 velocidades diseado todo en 1. Soporta protocolos <i>Ultra PWM</i> y control de frecuencia hasta $500Hz$. Posee algoritmos de control de vuelo incorporados que hacen q sea mas fcil volarlo	Nivelacin automtica con control de altitud

Cuadro 1.5: Comparacin control

Si bien el *XAircraft X650* es el que tiene ms algoritmos de control implementados que facilitan su mando, se considera que el dispositivo que se adecua ms a nuestras

necesidades es el *Turbo Ace X720*. Tiene un pequeño sistema de estabilización que ayuda a la hora de su control, pero no incluye demasiado software ni hardware que no ser utilizado y encarecen al producto, como el *XAircraft X650*.

Dimensiones

Las dimensiones de los 3 Cuadricopteros considerados se pueden apreciar en la tabla 1.6.

	GAUI 330X	XAircraft X650	Turbo Ace X720
Dimensiones	33 cm entre ejes diagonalmente opuestos	61.5 cm entre ejes diagonalmente opuestos	61.5 cm entre ejes diagonalmente opuestos

Cuadro 1.6: Comparación dimensiones

Como se puede ver el *GAUI* es el más pequeño, mientras que los otros dos tienen el mismo tamaño aproximadamente.

En la figura 1.1 se pueden apreciar fotografías de los 3 equipos considerados.



Figura 1.1: Fotos de las posibles plataformas a utilizar

1.1.1. Definición de la plataforma - Cuadricoptero

- El *Turbo Ace X720* tiene hélices de 12 pulgadas y el grupo hélice motor proporciona una eficiencia de 12 g/W , superando a los otros dos Cuadricopteros considerados.
- La carga útil que puede transportar el *Turbo Ace X720* es la mayor de todos los considerados.
- El *Turbo Ace X720* trae un sistema de nivelación automática y estabilización que resulta útil al momento de controlarlo con el mando remoto. Además no incluye excesivas utilidades para este mando que no serán utilizadas y contribuyen a encarecer el precio.

Por todas las razones expuestas anteriormente y los análisis comparativos realizados se tiene que la opción que mejor se adecua a nuestro proyecto es el **Turbo Ace X720**.

1.2. Inteligencia

Adems de la plataforma fsica, deben seleccionarse componentes electrnicos capaces de procesar la informacin proveniente de los sensores, computar y ejecutar los algoritmos de control y generar las seales necesarias para transmitir las instrucciones a los motores.

Ser necesario, entonces, seleccionar uno (o varios) componentes capaces de desarrollar las tareas mencionadas. Para ello, el sistema elegido deber contar con:

- Un microprocesador con suficiente poder de computo
- Un sistema de entradas y salidas que permita interactuar con la instrumentacin y con el sistema de control de motores
- Un sistema de memoria no volil que permita mantener cargado el programa de control
- Elementos de comunicacin para establecer conexin con un PC
- Un sistema de potencia que brinde energia al sistema con una autonomia suficiente

Dado que el sistema utilizar motores brushless, es necesario contar con un sistema capaz de generar seales PWM, ya sea mediante software, hardware o ambas, para controlar los motores.

Tambin ser necesario que el sistema seleccionado tenga una interfaz UART que permita la comunicacin con los sensores involucrados.

Es evidente que la eleccin de la inteligencia no puede realizarse en forma independiente, sino que estar fuertemente condicionada por la eleccin del resto de la arquitectura del sistema final. Por ello, las decisiones tomadas sern afectadas considerablemente por las caractersticas del resto de los componentes del sistema.

Teniendo en cuenta las restricciones anteriores, se seleccionaron varias arquitecturas posibles en una primera etapa. Se realizo un primer estudio de las diversas posibilidades ofrecidas, manejndose varias opciones.

Varias de ellas fueron descartadas por no cumplir todos los requisitos arriba mencionados. De la opciones que s verificaban dichos requisitos fueron descartadas aquellas que implicaban ms de un componente, optndose por considerar las opciones que fueran capaces de proveer todas las opciones arriba mencionadas integradas en una nica placa.

Una vez realizado un primer anlisis de las vastas posibilidades disponibles en el mercado se pre-seleccionaron las siguientes opciones:

1. Beagleboard XM
2. Gumstix Overo Fire

A continuacin se desarrollaran y compararn las caractersticas fundamentales de ambas opciones, permitiendo as la seleccin de alguno de ellos en virtud de los requisitos del sistema que se desea implementar.

Procesadores: CPU y DSP

Es claro que el procesador es un componente determinante, pues ser el encargado de computar completamente los algoritmos de control. Tambin se encargar de manejar parte de la comunicacin con la instrumentacin y elementos de control. Finalmente, deber ser capaz de manejar informacin proveniente de los canales de comunicacin establecidos con un PC.

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
CPU	ARM Cortex A8 1Ghz, 256KB L2 cache, 1200 MIPS	ARM Cortex A8 720Mhz, 256KB L2 cache, 1200 MIPS
DSP	TMS320C64x+, 800Mhz	TMS320C64x+, 520Mhz

Cuadro 1.7: Procesadores

Resulta evidente que ambas opciones presentan el mismo procesador, con la salvedad que ambos procesadores de la Beagleboard presentan una mayor frecuencia de reloj.

Memoria

La memoria disponible en el sistema (tanto esttica como voltil) resulta de vital importancia, pues ser all que se guardar la informacin del programa de control, configuraciones, etc. Adicionalmente, es necesario contar con suficiente memoria voltil a la hora de procesar datos y ejecutar los algoritmos de control.

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
Voltil(RAM)	512Mb	256Mb
Esttica	Sin memoria interna. Soporta microSD de hasta 4Gb	256Mb de memoria interna

Cuadro 1.8: Memoria

La superioridad de la Beagleboard en cuanto a memoria resulta evidente a partir del anlisis anterior.

Dimensiones y peso

Si bien no resulta una caracterstica 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 til del cuadricoptero con electrnica asociada a la inteligencia implementada.

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
Dimensiones	85.09x87.63mm	17x58mm
Peso	36g	5.6g

Cuadro 1.9: Memoria

En cuanto a dimensiones y peso, la placa Gumstix Overo Fire parece ser ms adecuada.

Programacin y Sistema Operativo

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

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
Sistema Operativo	Booteable desde microSD	Booteable desde microSD
Programacin	A travs de SO. Puerto JTAG de 14 pines	A travs de SO

Cuadro 1.10: Memoria

Es claro que la placa Beagleboard parece ser mejor en cuanto a sus prestaciones de programacin.

Alimentacin y Energa

La forma en que la placa elegida es alimentada, as como el grado de autonoma que pueda lograrse con la misma deben ser tenidos en cuenta.

Lograr un nivel de autonoma lo suficientemente grande permitir que el sistema se mantenga en vuelo durante un tiempo mayor. Idealmente, la autonoma de la alimentacin de la inteligencia no debera ser el factor determinante del tiempo de vuelo del dispositivo.

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
Alimentacin	BeagleJuice. Sistema de alimentacin diseado especficamente para la Beagleboard. (Dimensiones idnticas a la misma. Conector estndar para BeagleBoard).	Alimentado desde una Daughter board: Zippy Flightmax 2200mAh 3S1P
Voltaje. Intensidad de Corriente. Capacidad	5V. 1.5A. 4500mAh	11.1V.44A (= 2200mA x 1P x 20C).2200mAh 20C.
Autonoma	6.5 horas	No especificado
Dimensiones	85.09x87.63x10mm	102x37x24mm
Peso	40g	180g

Cuadro 1.11: Alimentacin

Resulta evidente que la Beagleboard resulta superior en cuanto a alimentacin disponible, dado que el pack de bateras BeagleJuice fue diseado especficamente para brindar alimentacin a la misma.

Puertos e I/Os

Los puertos disponibles para entradas, salidas y/o comunicacin sern tambin un factor determinante a la hora de definir la arquitectura del sistema, pues es imperativo que el sistema de control pueda comunicarse con los sensores, el sistema de control de motores, etc.

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> ■ 14 pin JTAG ■ UART ■ 28 pin exp ■ LCD ■ DVI-D ■ S-VIDEO ■ Stereo in/out ■ USB-OTG ■ RS232 ■ EHCI ■ 4 USBs ■ 10/100Mbps Ethernet 	<ul style="list-style-type: none"> ■ wifi ■ bluetooth ■ 2x70 pin expansion board port ■ 27 pin camara port

Cuadro 1.12: Puertos

Cada opcin presenta ventajas y desventajas con respecto a los puertos disponibles. Si bien la Beagleboard parece tener una mayor variedad de puertos, la Gumstix Overo Fire cuenta con puertos WiFi y Bluetooth integrados, lo cual resulta ser una ventaja considerable en trminos de comunicacin.

Comunicacin

Es deseable que el sistema posea alg tipo de comunicacin inalmbrica integrada.

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
WiFi	No	S
Bluetooth	No	S

Cuadro 1.13: Comunicacin

La Gumstix Overo Fire resulta claramente superior en este aspecto.

Precio

El precio resulta ser, evidentemente, un factor importante a tener en cuenta.

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
Precio	149USD	220USD

Cuadro 1.14: Precio

Dada la diferencia de precios, sera deseable utilizar la Beagleboard, siempre y cuando esto vaya en detrimento del desempeo final del sistema.

Otras caractersticas

Se presentan, a continuacin, algunas caractersticas propias relevantes de cada uno de los sistemas propuestos.

	Beagleboard XM	Gumstix Overo Fire
Otras caractersticas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Existencia de Camera Boards integrables directamente en un puerto dedicado ■ Existencia de la biblioteca OpenCV de visin computacional, optimizada para ser utilizada por Beagleboard. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Existencia de gran variedad de daughter boards con diversas funcionalidades.

Cuadro 1.15: Otras caratersitcas

Si se tiene en cuenta el objetivo secundario planteado (desarrollar un algoritmo de tracking visual), la Beagleboard parece ser ms adecuada.

1.2.1. Definición de la inteligencia

En virtud del análisis anterior puede asegurarse que:

- La placa Beagleboard parece ser superior en los siguientes aspectos:
 - Procesadores
 - Memoria
 - Programación y Sistema Operativo
 - Alimentación
 - Puertos e I/Os
 - Precio
- La placa Gumstix Overo Fire parece ser superior en los siguientes aspectos:
 - Dimensiones y Peso
 - Comunicación
- Cada placa presenta sus características propias, lo cual provee ventajas y desventajas para ambas arquitecturas posibles. Si se tiene en cuenta el objetivo secundario del proyecto, es decir, la implementación de un sistema capaz de realizar tracking visual mediante una cámara, un sistema basado en la placa Beagleboard pareciera ser más adecuado.

Teniendo en cuenta las observaciones anteriores, se opta por construir el sistema en base a una arquitectura basada en la placa Beagleboard.

1.3. Comunicación

La inteligencia debe comunicarse con dos bloques del sistema: el de los sensores y el de los motores sobre los cuales se actúa. Además es necesario comunicar a la inteligencia con una PC con el objetivo de programar tanto los algoritmos de control como los rumbos del sistema.

1.3.1. Comunicación con PC

La placa elegida posee diversos puertos USB, por dicho motivo se pueden utilizar dichos puertos para obtener una comunicación directa con la PC. Dicha comunicación sirve para programar el sistema en una primera etapa, sin embargo no parece la forma más adecuada de comunicarse con el quadcopter mientras el mismo se encuentra en el aire para reprogramar una ruta, o para modificar algún detalle de un algoritmo. Por dicho motivo se opta por alguna comunicación de tipo inalámbrica. Las opciones que consideradas fueron: WiFi, Bluetooth y GSM. Al poseer en la inteligencia un kernel de linux, la comunicación vía WiFi es muy sencilla de implementar. Por dicho motivo se opta por este tipo de comunicación. Al disponer de diversos puertos USB en la inteligencia se opta por un módulo WiFi USB.

1.3.2. Comunicacin con instrumentacin

En lo que respecta a la comunicacin con la instrumentacin se disponen de diversas opciones. Se tiene la posibilidad de comunicarse a travs de un protocolo serie, I2C o incluso puertos USB. Por dicho motivo este aspecto no ser analizado cabalmente en esta seccin sino que se realizar al momento de analizar las opciones de comunicacin.

1.3.3. Comunicacin con motores

Los motores como se explic anteriormente funcionan mediante PWM. Por lo tanto, la comunicacin entre la inteligencia y los motores ser cableada. La seal de entrada de los ESC's se conectar directamente a los pines de salida de la inteligencia donde se programen los PWM.

1.4. Instrumentacin

Para poder controlar el sistema es importante poder conocer los valores que toman las variables del mismo. Como se ver en el captulo sobre el desarrollo del modelo fsico del quadcopter, las variables que es necesario conocer son: La aceleracin en las tres coordenadas y la velocidad angular del sistema. Por dicho motivo parece imprescindible dotar al sistema de sensores capaces de medir dichas magnitudes.

1.4.1. Acelermetro

Previo a definir el acelermetro, su principio bsico de funcionamiento y su inters en la aplicacin presentada se debe realizar una discusin fsica sobre la cada libre como sistema de referencia. En la fsica clsica, la fuerza gravitatoria que se ejerce sobre una masa es proporcional a la intensidad del campo gravitatorio en la posicin en la cual se encuentra. La teora general de la relatividad es una teora mtrica de la gravitacin. Los fenmenos que en la mecnica clsica se le atribuyen a la accin de la fuerza de gravedad, corresponden a movimientos inerciales en una geometra curvada del espacio-tiempo en la teora de la relatividad general.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la fsica clsica, un sistema de referencia en cada libre es un sistema acelerado por la fuerza de la gravedad, y como tal, es no inercial. Por el contrario, desde el punto de vista de la fsica relativista, el sistema est acelerado en el espacio, pero no en el espacio-tiempo, por lo tanto el sistema de referencia es inercial.

Saldada esta discusin se define un acelermetro como un dispositivo capaz de medir su aceleracin propia en el marco de referencia de la cada libre relativista. Esto implica que el dispositivo no mide siempre su cambio de velocidad en el espacio. Por ejemplo, la medida de un acelermetro en cada libre ser cero a pesar de que su velocidad crezca, de la misma forma se puede observar que un acelermetro en reposo respecto de la Tierra, no dar una medida nula, sino que por el contrario medir como aceleracin g . Existen diversos tipos de acelermetro, en este caso se eligi trabajar con un acelermetro contenido en un circuito integrado (tecnologa MEMS). Las razones de esta eleccin son fundamentalmente, tamao y peso (cruciales en la aplicacin) y econmicos. Los mismos son ms pequeos, livianos y baratos que otras tecnologas. Dicho acelermetro, procesa las medidas y las convierte a una salida elctrica, la forma de dicha salida depende si el integrado es analgico, o digital. Los acelermetros basados en tecnologas MEMS miden cambios internos, de la transferencia de calor causada por la aceleracin, ofreciendo ventajas significativas sobre el empleo de una estructura tradicional slida de masas de prueba. Ya que la masa de prueba en el diseo de los sensores MEMS son molculas de gas, las estructuras mviles mecnicas son eliminadas dentro del acelermetro.

Un acelermetro de tres ejes, no es otra cosa que un acelermetro capaz de medir su aceleracin propia en tres ejes de coordenadas.

Resulta fundamental dotar al uQuad de un acelermetro, el mismo ser utilizado para obtener la aceleracin lineal en cada instante. Integrando esta informacin se puede obtener la velocidad con la que se desplaza el sistema y por ende se puede obtener la posicin del mismo conociendo la posicin de partida. Este instrumento, no provee toda la informacin necesaria, para realizar el control del sistema. El sistema,

presenta 6 grados de libertad; las tres coordenadas de su centro de masa, y los tres ngulos que determinan su orientacin. En particular, el acelermetro no detecta giros. Por lo tanto es incapaz de aportarnos toda la informacin necesaria. Es imprescindible entonces dotar al uQuad de un girscopo.

1.4.2. Girscopo

Un girscopo es un instrumento que mide la velocidad angular del sistema en un marco de referencia inercial como el definido en la seccin anterior. Las mismas restricciones sobre tamao, peso y costos que se aplicaban para el acelermetro se aplican aqu. Por dicho motivo vuelve a optar por un instrumento de tecnologa MEMS. Los girscopos construidos con esta tecnologa basan su funcionamiento

Desde el punto de vista terico, procesando la informacin obtenida a partir del acelermetro y del girscopo se puede conocer en todo momento la posicin del sistema y su orientacin a partir de las condiciones iniciales. Sin embargo, en la prctica esto no sucede as. Todas las medidas realizadas tienen un cierto error. Para obtener la orientacin y la posicin a cada instante se deben integrar las medidas obtenidas. Por lo tanto, se integra tambin el error. Esto produce una acumulacin de errores que afecta de forma considerable el resultado final luego de cierta cantidad de muestras. Por lo tanto parece razonable, poder cotejar los datos que se obtienen mediante este mtodo con datos obtenidos mediante otras fuentes. Es a partir de esta problemtica 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, de esta forma se pueden corregir los errores debido al *integration drift*.

1.4.3. GPS

La eleccin del GPS se hizo en busca de simplicidad. Haba muchas opciones, placas de diversos tamaos, con diversos tamaos 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 opt 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 este GPS en linux, por lo que la comunicacin no debera ser un problema.

Se eligi un *Canmore GT-730F*.



Figura 1.2: Canmore GT-730F

1.4.4. Definición de instrumentación

En las secciones 1.4.1 y 1.4.2 se detalló el porqué de la elección de la tecnología MEMS para el acelerómetro y el giroscopo. Las razones fundamentales son el costo, tamaño y peso de los instrumentos, siendo los últimos dos críticos en la aplicación. A partir de esta definición surgen dos posibilidades, integrar los instrumentos diseñando un PCB o adquirir uno en el cual se encuentren los dos sensores. Al diseñar un PCB se reduce el costo de la instrumentación. El precio de cada chip ronda los 5 U\$, sumado al precio de algunas resistencias, capacitores y otros materiales necesarios para la construcción del PCB (Placa de cobre, percloruro, estaño, etc) hacen un total muy inferior al costo de comprar una placa ya armada (más de 60 U\$). Sin embargo, el proceso de diseño del PCB extiende los plazos en gran medida, se debe diseñar el circuito, construir y verificar su funcionamiento. El proceso mencionado tendrá probablemente una duración superior a las dos semanas, lo cual implica un retraso en varios aspectos del proyecto ya que diversas tareas previamente definidas dependen fuertemente del funcionamiento de la instrumentación. Por otra parte el peso que representa el costo de adquirir una placa en la que se incluyan ambos sensores (acelerómetro y giroscopo) en el presupuesto total es muy bajo (4 %).

A partir de el análisis realizado se decide por adquirir una placa ya diseñada que contenga los sensores necesarios. Existe una gran diversidad de soluciones de instrumentación en el mercado. Debido a los requerimientos del proyecto se descartaron muchas de ellas. Las opciones consideradas finalmente se resumen en una tabla en el anexo. La característica común a todas ellas es que pueden medir 6 grados de libertad, la misma cantidad de variables del sistema a controlar (tres coordenadas correspondientes a la posición del centro de masa, roll, yaw, pitch)

Los criterios que se fijaron para definir la instrumentación fueron los siguientes:

- Rango de medidas de los sensores
- Capacidad de cómputo
- Facilidad de programación (algunas placas incluyen microprocesadores)
- Comunicación disponible
- Compatibilidad con el resto del sistema
- Costo

En lo que respecta al rango de medida de los acelerómetros se definió que el mismo fuera de 3g. Dicha elección está fundamentada en que se planea un vuelo en el cual no se precisen considerar aceleraciones que sean muy superiores a la de la caída libre. Asimismo, se definió como rango de medida de los giroscopos un valor superior a los 300/s, de forma que el sistema pueda realizar un giro casi completo en cualquiera de los tres ejes en 1 segundo. Lo que se observa es que todos los acelerómetros y giroscopos de las placas de esta selección cumplen con dicho requerimiento.

	Acelermetro		Girscopo	
	Rango	Sensibilidad	Rango	Sensibilidad
CHR-6d	3g	300mV/g	400/s 100/s	2.5mV/(/s) 2.5mV/(/s)
Atomic IMU	1.5g ; 6g	800mV/g 200mV/g	300/s	3.3mV/(/s)
IMU Digital Com- bo Board	2g ; 16g	356LSB/g 321LSB/g	2000/s	14.375 LSB/(/s)
IMU Analgo Com- bo Board Razor	3g	300mV/g	300/s 1200/s	3.3mV/(/s) 0.83mV/(/s)
IMU Fusion Board	2g	256 LSB/g	250/s 2000/s	131 LSB/(/s) 16.4 LSB/(/s)

Cuadro 1.16: Sensores

Resulta conveniente que la instrumentacin posea un microprocesador, la razn es que le ahorra tiempo a la inteligencia del sistema en el procesamiento de las medidas crudas de los sensores. Los sensores presentan sus medidas constantemente en forma analgica o digital dependiendo del sensor en cuestin. En caso de ser una medida analgica se debe en primer lugar digitalizar. Una vez que se tiene la medida digitalizada se debe realizar un procesamiento que consiste bsicamente en ponerle una marca de tiempo a cada medida y asociarle una etiqueta correspondiente al sensor que la realiz. Resulta sumamente interesante que no sea el *core* quien se encarga de esta identificacin, sino que obtenga los datos pre-procesados. Por esta razn se favorecieron las placas que incluyeran un microprocesador.

	Frecuencia reloj	Largo de palabra	RAM	Flash
CHR-6d	72MHz	32 bits	20Kb	64Kb
Atomic IMU	10MHz	8 bits	2Kb	32Kb
IMU Digital Com- bo Board	-	-	-	-
IMU Analgo Com- bo Board Razor	-	-	-	-
IMU Fusion Board	-	-	-	-

Cuadro 1.17: Caractersticas de los microprocesadores

En caso de optar por una placa con microprocesador resulta fundamental que la misma sea sencilla de programar. Las razones son evidentes, si los algoritmos que vienen programados de fbrica no resultan adecuados para la aplicacin se pueden modificar fcilmente. Tambin parece importante que el cdigo de fbrica sea abierto; en primer lugar para comprender su funcionamiento y poder procesar adecuadamente los datos que se obtengan de los sensores. Es interesante adems poder modificar secciones puntuales de cdigo, sin necesidad de reprogramar completamente el microprocesador.

La comunicacin no result un factor crtico ya que todos los candidatos a *core* poseen diversas interfaces (UART, I2C, Conversores AD). Sin embargo, debido a la familiarizacin que se tena con las comunicaciones serie se prefiri dar prioridad a

aquellas placas que se comunicaran Via UART (en caso que se optara por una placa con microprocesador).

En lo que respecta a compatibilidad con el sistema, se buscó que la alimentación de la placa sea la misma que la del microprocesador principal. Por dicha razón lo ideal es que la placa pueda ser alimentada a 5V.

A partir de las consideraciones anteriores, se considera que la solución más adecuada para el objetivo que se plantea en esta sección es la placa Atomic IMU. Dicha placa cumple con los rangos de medida especificados anteriormente, posee un microprocesador de 8 bits con un reloj de 10MHz. Existe ya un código en C disponible para programar el dispositivo. El mismo puede ser modificado en caso de no cumplir con todos los requerimientos necesarios. La placa dispone de un puerto JTAG para la programación del mismo. La forma que tiene la placa de presentar los datos obtenidos de los sensores es a través de un puerto serie capaz de transmitir datos con una tasa de transferencia de 115.200bps. Cabe aclarar que la Atomic IMU es la única de las soluciones consideradas que puede ser alimentada con una fuente de tensión de 5V. Por otra parte el costo de la misma es de los más bajos dentro de las posibilidades consideradas.

En la figura 1.3 se puede observar la instrumentación escogida:



Figura 1.3: Atomic IMU