

Informe Final - Proyecto Colibrí 2010

Carlos Mario Vélez, Juan Morant, Juan David Ríos y John Jairo Silva

Resumen—En el presente informe se presenta la síntesis del trabajo del grupo de investigación en sistemas de control digital durante el año 2010, en el proyecto Colibrí, un minihelicóptero robot que tiene como objetivo alcanzar vuelo autónomo. Se hace énfasis especial en la descripción funcional de la caja de aviónica y sus subsistemas, el cumplimiento de los objetivos, dificultades y metas para una siguiente etapa.

Palabras Clave— Colibrí, caja de aviónica

I. INTRODUCCIÓN

Al momento de integrar un sistema de control a bordo de un minihelicóptero se debe construir una caja de aviónica con los componentes electrónicos, mecánicos y el software necesarios para lograr que el sistema de control se pueda transmitir al manejo del helicóptero y para que los estados puedan ser monitoreados por el equipo técnico en tierra. En el siguiente artículo se muestran los elementos y consideraciones básicas.

Se muestra inicialmente los objetivos que se tuvieron en cuenta para la actualización de la caja de aviónica, luego se hace una descripción funcional de los subsistemas más importantes en la caja de aviónica y la actualización que se hizo en cada uno de ellos, más adelante se exponen las dificultades que se presentaron durante el proyecto, después se analiza el cumplimiento de objetivos y finalmente se presentan las conclusiones.

II. OBJETIVOS

II-A. Objetivo general

Diseñar y construir/modificar el sistema de aviónica orientado al vuelo autónomo del mini-helicóptero robot del proyecto Colibrí del grupo de sistemas de control digital de la Universidad EAFIT.

II-B. Objetivos específicos

- Actualizar el hardware de la caja de aviónica, incluyendo el procesador y la tecnología de red.
- Diseñar el aspecto mecánico de la caja.
- Interconectar de una manera segura y ordenada los distintos componentes.
- Realizar pruebas de funcionamiento.
- Corregir errores debidos a malas conexiones o problemas de ruidos.
- Optimizar el diseño.

III. CAJA DE AVIÓNICA

III-A. Sistema de video

Se diseñó un sistema de video para la toma de video en vuelo desde el mini-helicóptero robot del proyecto Colibrí.

Este sistema puede ser dividido en dos subsistemas de acuerdo a su ubicación en funcionamiento:

1. Un sistema a bordo, que es el encargado de la toma de video y la transmisión del mismo.
2. El sistema en tierra, encargado de la recepción y manipulación de dicha información.

A continuación se muestra la tabla de los componentes adquiridos con sus respectivos precios, pesos y descripción (Tabla. 1):

Cuadro I
TABLA DE COMPONENTES DE VIDEO

Componente	Descripción	Consumo	Peso (g)	Cantidad	Link	Precio (USD)
GoPro HD Hero 2	Resolución 1080p, 720p. Batería integrada, USB, SD, a prueba de agua	Batería integrada	67	1	GoPro	259.99
900 MHz U2 Wave 200 Antena SMA	Antena para transmisor y receptor			2	Antena 2.0p	25.9
900 MHz 500mV Transmisor	Transmisor de señal de video	500mA @ 12V	36	1	TV	49.99
900MHz Camera cable	Cable que se conecta en la cámara y al transmisor			1	El cable	19.99
Transmisor cable	Cable para conexión entre el transmisor, alimentación y video-audio	500mA @ 12V		1	Cable TV	17.99
900 MHz Receiver	Receptor de señal			1	Receptor	49.99
Batería Rhino 11.1V-610mAh	Batería para alimentación de componentes a bordo del helicóptero			50.9	Batería	13.99
11.1V 610mAh	Batería para alimentación de receptor en la estación de tierra			87	Batería	13.99
1.1mm Serial Connector 6 pins	Para alimentación del receptor			1	Receptor	4.99
				TOTAL	20	454.82

III-A1. Sistema a bordo: El sistema a bordo está compuesto por la cámara GoPro HD Hero de alta resolución, el cable transmisor de sonido y video hacia el transmisor, el cual es alimentado con una batería Rhino de 11.1V -610 mAh (Fig. 1).

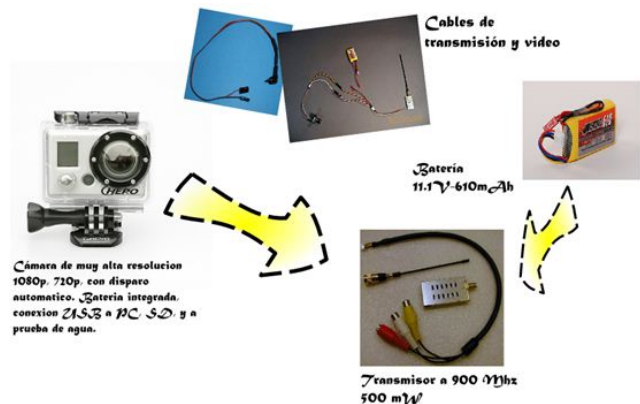


Figura 1. Sistema a bordo

III-A2. Sistema en tierra: El sistema de recepción de video esta compuesto por el receptor, que puede ser alimentado por una batería o mediante un regulador que brinde la potencia necesaria. El receptor recibe la señal inalámbrica a 900Mhz y la transmite a un sistema de visualización de video que posea entrada de video compuesto (Fig. 2).

III-B. Sistema de comunicaciones

Actualmente se cuenta con tres antenas en la caja de aviónica que corresponden a los sistemas de comunicaciones empleados.



Figura 2. Sistema en tierra



Figura 3. Linksys Ethernet Bridge Wireless-B WET11

Por un lado está el sistema de comunicaciones para la transmisión del video que es un sistema totalmente independiente al control, dicho sistema está explicado en profundidad en la subsección del sistema de video. Otro de los sistemas está estrechamente relacionado con la ubicación espacial a través de la antena GPS de la uNAV.

El sistema más crítico es el enlace del sistema de control a tierra, que permite el monitoreo en tiempo real del estado del helicóptero, facilita tomar decisiones al respecto, mediante el control manual o simplemente tener conocimiento detallado de los datos de los sensores disponibles en la interfaz gráfica.

El área de las comunicaciones dentro del campo de la electrónica es una de las partes más flexibles, y por esto se deben escoger los componentes pensando específicamente en la aplicación y en las necesidades que se tengan en el momento específico, de igual manera este campo es de los más explorados en la actualidad por lo que cada vez se encuentran soluciones más especializadas, eficientes y económicas. Para el caso específico de un vehículo aéreo no tripulado se deben tener en cuenta los siguientes items:

- Un enlace confiable (integridad de información y distancia requerida)
- Ahorro energético
- Portabilidad (optimización espacial)
- Tasa de transmisión óptima
- Utilización de una banda de libre uso (para el caso de aplicación de investigación)

La solución empleada en la versión de la caja de aviónica anterior que corresponde a un ethernet bridge (ver Fig. 3) cumple las condiciones anteriores y ya está probada su funcionalidad y desempeño, sin embargo se ha estado haciendo actualización del sistema progresivamente, actualmente se cuenta con los dispositivos de radio y un enlace entre ellos, aunque están en desarrollo las otras capas del sistema de comunicaciones que se relacionan con el transporte de la información (TCP) y la red (IP) para desarrollar compatibilidad con los protocolos usados por la aplicación disponible en Matlab.

La propuesta actual es usar dispositivos de radio de tecnología ZigBee, específicamente ZB ZigBee® PRO RF Modules (ver Fig. 4) fabricados por DIGI que presentan características mucho más ópticas en el aspecto energético, son mucho más pequeños, tienen un radio mucho mayor y aunque tienen una tasa de transmisión menor ésta sigue siendo óptima para la aplicación. Como tienen una interfaz serial es necesario usar un conversor que permita transmitir las tramas ethernet sobre serial que es la etapa en progreso.



Figura 4. ZB ZigBee® PRO RF Modules

III-C. Alimentación

Uno de los subsistemas más críticos en los vehículos que requieran cierta autonomía, como es el caso, corresponde al sistema de alimentación. En él se deben usar baterías en las que entran en juego tres variables: Tamaño-peso, capacidad, costo. Usualmente cuando se trata de optimizar una de ellas se ven críticamente afectadas las demás por lo que se debe realizar la selección más ajustada al requerimiento que se tenga.

Al adquirir una batería de alta capacidad algunas veces tienen voltajes por encima del estándar de los demás componentes importantes por lo que se debe escoger un buen regulador que permita realizar la adaptación. En el mercado se consiguen básicamente dos tipos: Reguladores lineales y reguladores switcheados, si bien con los primeros se pueden obtener niveles más estables, son poco eficientes y disipan mucho calor por su naturaleza de funcionamiento, en especial cuando los requerimientos de corriente son altos el cual es el caso por la cantidad de componentes alimentados. El segundo grupo presenta niveles de eficiencia superiores al 90 %, disipan poco calor y tienen un nivel superior de inteligencia, por lo que se pueden configurar para escoger un voltaje deseado en la salida y pese a ser un poco más costosos la diferencia se ve compensada por representar un ahorro en la energía consumida en la regulación.

En algunos casos es necesario utilizar varios reguladores en las diferentes etapas críticas como son las generadoras de ruido como motores o comunicaciones y en las sensibles a leves cambios en el nivel de alimentación como son los sensores y procesadores con conversión analógicas digitales.

Se adquirieron entonces dos reguladores (Fig. 5 y Fig. 6) y se distribuyeron los componentes entre ellos utilizando los criterios anteriores y teniendo en cuenta el requerimiento de potencia.



Figura 5. CC BEC pro: 12S Max Input

Dentro del helicóptero viajan cuatro baterías: la batería de la cámara (interna), la del sistema de radio del video, la de los servos (sobre el helicóptero) y la batería principal de la caja de aviónica (Fig. 7).

Se realizaron pruebas con la batería principal y los reguladores asociados para determinar si el estado actual de la batería podría cumplir las exigencias básicas con un amplio margen de seguridad, se calculó el consumo de los compo-



Figura 6. CC BEC : 6S Max Input



Figura 7. Thunder Power RC Pro Lite LiPo Battery

entes con un margen del 10 % de sobredimensión, se aplicó una carga equivalente fija según el consumo, y se tomaron los resultados de la Fig. 8 teniendo en cuenta que el helicóptero de gasolina tiene autonomía de alrededor de treinta minutos y que el voltaje nominal de la batería es de 11.1 V la prueba fue completamente satisfactoria y permite validar el buen estado de la batería disponible.

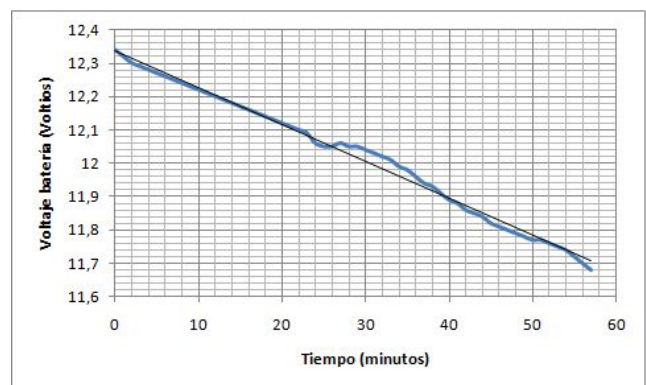


Figura 8. Prueba de descarga de la batería principal

Además se realizaron pruebas del posible ruido que pudi-

eran generar los reguladores por su naturaleza de switcheo, se tuvo contacto con el personal técnico de la empresa Castle Creations, los cuales expresaron que la frecuencia de switcheo se ha sintonizado alrededor de 200 KHz y que tanto el ruido radiado como el conducido se ha reducido al máximo, a modo de comprobación, en el laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados (Fig. 9):

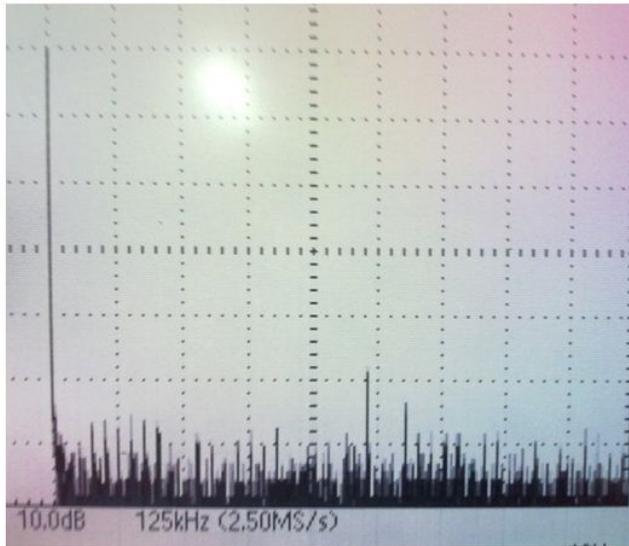


Figura 9. Análisis espectral del regulador CC BEC PRO

Se puede ver que la diferencia entre la componente de directa y los armónicos más críticos es de más de 40dB lo que conduce a alta confiabilidad en el uso del dispositivo.

III-D. Sistema de sensado

Se usó el mismo sistema de sensado empleado en las versiones anteriores de la caja de aviónica. Este esta compuesto por uNAV, la cual es un sistema de navegación inercial que tiene varios sensores integrados, entre estos tres acelerómetros, tres giróscopos, un altímetro. También el sistema tiene un GPS para determinar la posición del helicóptero.

III-E. Sistema de procesamiento

Para la actualización del sistema de procesamiento(Pc-104) que se tenía, había que tener en cuenta varios aspectos. El sistema anterior, era un sistema ya desactualizado, un procesador de 300 MHz, 32 MB de Ram, con un peso de más de 250 gramos, además era necesario utilizar un ventilador para enfriar el procesador. El sistema de almacenamiento y de instalación de los sistemas operativos era por medio de CF-Cards¹, que son tarjetas grandes y con mayor consumo de energía.

Se quería comprar un nuevo Pc-104 por lo que inicialmente hizo fue una lista extensa con PC-104 de varios fabricantes con características que fueran mejores comparadas con el Pc-104 que se tenía. La lista inicial eran unos cien tipos diferentes

¹Compact Flash Cards

de los cuales se tienen que escoger solo uno. Para los filtros que se utilizaron estaba:

- Velocidad de procesamiento
- Memoria RAM
- Consumo de energía
- Peso
- Compatibilidad con QNX
- Periféricos que tenía y utilizaba
- Otros

Al final de haber evaluado las características de los PC-104 se encontró que el PC-104 que más se ajustaba a las necesidades era el PC-104 Ocelot de la empresa Versallogic, el cual es un sistema que cuenta con:

- Procesador Intel Atom Z520 a 1.33GHz
- 1GB de memoria Ram(Expandible a 2GB)
- Consumo de 7.5W a 5V en condiciones extremas
- Temperatura de operación entre -40° y +85°C
- Peso 112 gramos
- Compatible con Windows, Windows Embedded, Linux, VxWorks, y QNX
- 3 puertos USB, 4 puertos seriales, 1 puerto ethernet

El Ocelot (Fig. 11) en comparación con el anterior PC, es mas liviano, con lo que al hacer vuelos va tener el helicóptero mas maniobrabilidad, el rango de temperatura de operación es grande, por lo que no se hace necesario el uso de un ventilador, el cual hace que sea mas pesado el sistema y consume mas energía y combustible a la hora de volar. Como las aplicaciones empleadas no son pesadas en procesamiento, el consumo de energía es menor, unos 5-6 Watts haciendo que haya menos consumo de energía, ayudando a que el vuelo sea mas largo. Al contar con puertos USB, la instalación de sistemas operativos se hace mas rápido ya que es más accesible en el mercado las USB que CF-Card y de mayor capacidad pues la caja de avionica anterior solo contaba con 512 MB de capacidad. El Ocelot además de consumir menos energía, también tiene la característica de poder conectar periféricos USB(teclados, mouses) sin la necesidad de instalar drivers adicionales, con lo que la interacción con este es mucho mas intuitiva.

Finalmente al poder instalar QNX en este procesador se puede seguir trabajando con el software realizados para el PC-104 anterior que tenía instalado también QNX, lo único a tener en cuenta es que el QNX compatible con el Ocelot es mucho mas reciente que el que se tenía en el sistema anterior por lo que había que había que actualizar la instalación para la compatibilidad.

III-F. Sistema Operativo

El Sistema operativo que se tenía antes era QNX 6.2.1, que tenía instalado los controladores para el PC-104 PT400 con el compilador C, desafortunadamente este sistema operativo no es compatible con el PC-104 Ocelot por ser un sistema operativo muy viejo(2002) pues este no cuenta con drivers para USB ni para dispositivos ethernet nativamente.

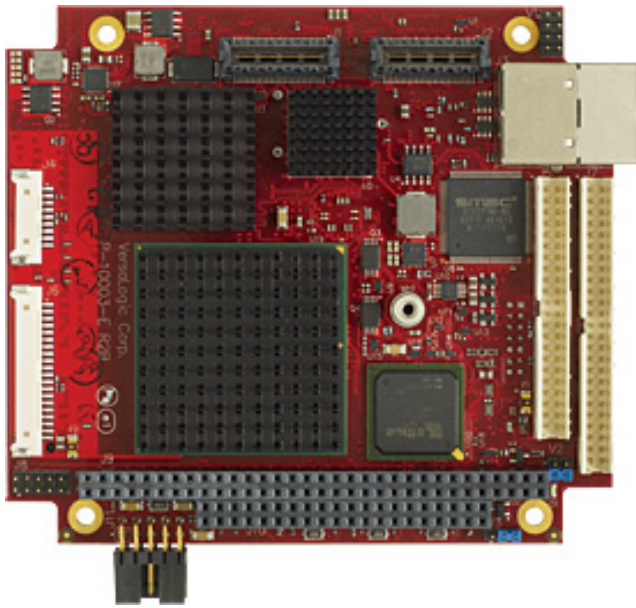


Figura 10. PC-104 Ocelot de Versallogic

La versión mas reciente de QNX(6.5.0) cuenta con los drivers necesarios para el manejo de USB con los paquetes io-usb y devb-umass. Para manejo del dispositivo ethernet están disponibles los paquetes de driver io-pkt-v4 y io-pkt-v6.

Teniendo esto en cuenta y con la realización de unos scripts de instalación donde están pasos de la creación de la imagen del QNX, ya que QNX no se instala directamente en una memoria USB, sino a través de la creación de una imagen del sistema, con los paquetes y drives para el sistema a instalar (http://www.qnx.com/developers/docs/qnx_4.25_docs/qnx4/user_guide/install.html), con estos scripts la creación de la imagen toma un momento y la instala directamente en una memoria USB y luego se instala el compilador C, debido a que QNX al ser creado de una imagen, es un sistema base y los programas adicionales como el compilador de C deben ser instalados manualmente. Estos scripts reducen la creación e instalación del sistema de unas cuantas horas a unos pocos minutos.

IV. PLATAFORMA HARDWARE IN THE LOOP (HIL)

Se desarrolló una plataforma de Hardware In the Loop(HIL) con el fin de poder hacer simulaciones muy reales del vuelo del helicóptero. Se desarrolló un sistema que cuenta con el manejo de la caja de aviónica conectada a una serie de sistemas creados para este proyecto. Primero es conectado a un banco de servos que es un sistema que con una serie de servos movidos por la caja de aviónica que mueven unos potenciómetros los cuales envían una señal de voltaje que es capturada por una tarjeta de adquisición de datos, esta a su vez es manejada por una librería del modelo del helicóptero desarrollada en Matlab/Simulink exclusiva para este proyecto, luego de que las señales son procesadas se le envía a la caja de aviónica señales de control para hacer mover nuevamente

los servomotores y así cerrar el circuito. A continuación se muestran las imágenes del sistema y el esquema de este.

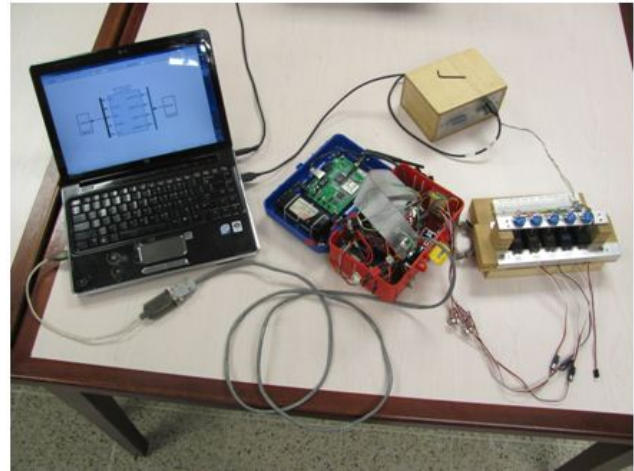


Figura 11. Plataforma HIL

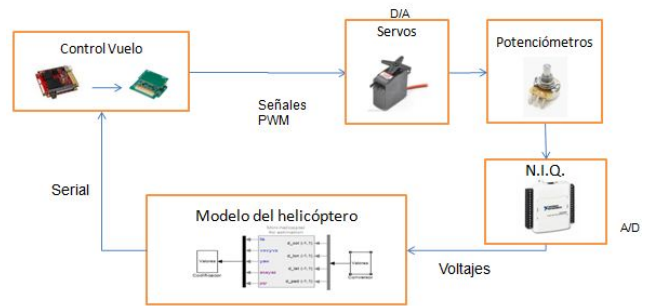


Figura 12. Esquema de la plataforma HIL

V. DIFICULTADES

V-A. Helicóptero

Se presentaron problemas en el aspecto mecánico al momento de poner en funcionamiento el motor del helicóptero. Luego de mucho tiempo sin funcionar se cristalizó la vejiga, un componente importante en la ignición del motor. Sin el helicóptero en funcionamiento no se pudieron hacer pruebas de la caja de aviónica en vuelo.

V-B. Planificación

En general, muchos de los problemas que se tuvieron a lo largo del desarrollo del proyecto se debían a la falta de planificación de muchas tareas. El proyecto Colibrí es un proyecto de robótica, donde entran en juego aspectos relacionados con la ingeniería mecánica, electrónica, de sistemas, de control y los conocimientos propios de la ciencia. Se requiere entonces en principio un equipo multidisciplinario con conocimiento y visión en cada de una de estas áreas. En el aspecto mecánico por ejemplo, se pasó por alto el requerimiento de hacer mantenimiento constante al helicóptero, con lo cual a la hora de

usarse, luego de cierto tiempo de inactividad del helicóptero, ya se había cristalizado un componente y no se pudo arrancar el motor.

V-C. Documentación

Se encontró gran dificultad porque la escasa documentación encontrada y la falta de indexación retrasaban el proceso de ensamble y exigían más tiempo por parte de los nuevos miembros del grupo a la hora de actuar.

V-D. Disponibilidad de componentes

Debido al limitado stock de componentes electrónicos para aplicaciones específicas, a la demora en la importación y las limitaciones en presupuesto se vio entorpecido el desarrollo del nuevo prototipo de la caja de aviónica. En algunos casos se tuvieron que usar soluciones no tan robustas como las deseadas, en otros, no fue posible dar solución a la deficiencia de componentes.

V-E. Actualización

En el momento de hacer la actualización había que tener en cuenta que había un sistema de software y un sistema eléctrico, para ambos casos en general la dificultad mas grande fue la de la falta de documentación, pues el no tener referentes de como se habían hecho las cosas anteriormente, tuvo que dedicar mucho tiempo a explorar el como se habían hecho las anteriores instalaciones de QNX por el lado del software y el como se habían hecho las instalaciones de los sistemas eléctricos y como se habían éstos configurado.

V-F. Presupuesto

Al no contar con muchos recursos, los componentes que a veces se querían comprar no se podía debido al elevado precio, lo que hacia necesario comprar componentes de de menor calidad. Otro punto importante es el de no contar con presupuesto para contratar personal capacitado o para hacer capacitaciones del personal del grupo.

VI. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Se obtuvo una caja de aviónica funcional que realiza apropiadamente sus funciones en tierra a nivel de hardware. Sin embargo no se pudo analizar la respuesta del sistema diseñado ante las vibraciones y otros factores a tener en cuenta cuando el helicóptero está en vuelo, debido a que el motor no arrancó al momento de hacer pruebas en vuelo.

En general la caja de aviónica fue actualizada tecnológicamente. Posee nuevos componentes vitales que son mucho más eficientes que sus predecesores, como el nuevo Pc-104 que aumento en todos los aspectos las características de desempeño, consumo de energía, y peso del anterior Pc-104, o el sistema ZigBee, que si bien no se alcanzó a implementar queda para trabajo futuro. En general, se realizó un diseño funcional de la caja de aviónica, pero la estructura de esta no se pudo optimizar pues el criterio definitivo para hacerlo requería de pruebas en vuelo, las cuales nunca fueron posibles en el curso del proyecto.

VII. CONCLUSIONES

La caja de aviónica es un componente fundamental en los vehículos aéreos no tripulados. Esta debe ser lo suficientemente robusta para que en vuelo cualquier variación en las condiciones externas o internas no modifique el desempeño de todo el sistema. En el proyecto esto no se pudo verificar debido a la carencia de pruebas en vuelo, sin embargo, debería ser tenido en cuenta ante la continuidad del proyecto.

Se estableció una manera ordenada y segura de ubicar espacialmente los componentes en la caja de aviónica. Se deja como validación definitiva las pruebas en vuelo.

La actualización de componentes fue un éxito, sobre todo en lo que respecta al nuevo sistema de procesamiento (PC-104 Ocelot) y al sistema de alimentación.