

# Análisis y Diseño de un Sistema de Control de una Plataforma Aérea no Tripulada Mediante una Aplicación Móvil

Duchi Rivera Ruth Sofía<sup>1</sup> Marín García Ignacio<sup>2</sup>

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC)

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

{rutsoduc<sup>1</sup>; imaringa<sup>2</sup>}@espol.edu.ec

**Resumen**— Una plataforma de vuelo no tripulada, en nuestro caso un dirigible, es un sistema independiente del suelo sobre el cual se pueden instalar módulos que permitan obtener datos de zonas sobrevoladas. El sistema de control para la plataforma de vuelo no tripulada desarrollado en este proyecto de graduación nos permite controlar la navegación del dirigible utilizando una aplicación móvil desarrollada exclusivamente para este efecto. Esta aplicación nos permite generar las señales de control que viajan por el canal de comunicación hasta llegar a la góndola del dirigible. El sistema posee su propio subsistema de recuperación que actuará si el canal de comunicación falla. El sistema también es capaz de aceptar la instalación de un segundo módulo que permita obtener datos de zonas sobrevoladas, que puede ser un módulo fotográfico o de video, un módulo sensor de datos medioambientales (temperatura, humedad...), o un módulo sensor de ruido y sonido.

**Palabras Clave**— *Blimp Control, Control of unmanned Air platform, Mobile Application.*

**Abstract**— an unmanned flying platform, also known as an Unmanned Air platform (UAV), in our case an airship, is a system on which we can install different modules which we use to obtain data of the overflowed areas. The control system for the UAV developed in this graduation project allows us to control the airship navigation using a mobile application developed exclusively for this purpose. This application allows us to generate control signals that travel through the communication channel to reach the airship gondola. The system has its own recovery subsystem that will act if the communication channel fails. The system is also capable of accepting the installation of a second module which allows to obtain data overflowed areas such as a photographic or, video module, an environmental (temperature, humidity...) module or a noise and sound sensors module.

**Keywords**— *Blimp Control, Control of unmanned Air platform, Mobile Application.*

## I. INTRODUCCIÓN

¿Cómo funciona el sistema? El control de la plataforma de vuelo inicia cuando el usuario interactúa con la interfaz gráfica de la aplicación móvil generando las señales de control que viajan a través del canal de comunicación formado por un dispositivo intermediario llamado radio base y dos enlaces, el primero usa la salida Bluetooth del teléfono y el segundo utiliza módulos XBEE que funcionan bajo el protocolo Zigbee. Una vez recibidos los datos por el dispositivo XBEE instalado en la góndola de la plataforma de vuelo, son entregados al controlador el cual es capaz de interpretarlos y ejecutar la acción requerida por el usuario, a través de la activación de los motores sin escobillas y el servo motor.

## II. APLICACIÓN MOVIL

La funcionalidad de la aplicación móvil es de proporcionar una interfaz gráfica que permita al usuario interactuar con el sistema, generando las señales de control que permiten el direccionamiento de la plataforma de vuelo. Esta fue desarrollada en el IDE App Inventor, el cual permite desarrollar aplicaciones móviles compatibles con el sistema operativo Android OS. El funcionamiento de la aplicación móvil lo podemos observar en la Fig. 1 gráfico a), donde se muestra que el primer paso para utilizar la aplicación es establecer la conexión con la radio base, es decir, conectar el Bluetooth del dispositivo móvil con el módulo Bluetooth instalado en la radio base; para que finalmente el usuario pueda interactuar con la interfaz gráfica de la aplicación al presionar cualquier botón de la misma, generando un evento que permite enviar los datos (subir, foto, bajar, izquierda, adelante, derecha, detener motores, velocidad baja, velocidad media, velocidad alta y el dato de autenticación que es enviado cada segundos) correspondientes a cada uno de los botones mostrados en la pantalla de la interfaz gráfica de la Fig. 1 gráfico b) por la salida Bluetooth del dispositivo móvil.

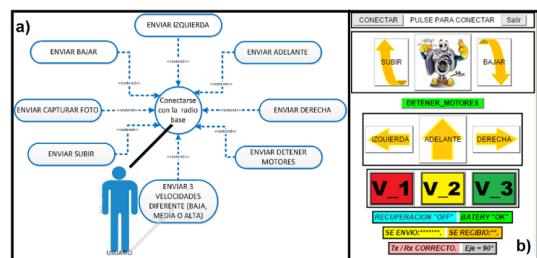


Fig. 1. a) Funcionamiento de la aplicación móvil. b) Interfaz gráfica de la aplicación móvil

### III. CANAL DE COMUNICACION

El canal de comunicación está formado de dos enlaces punto a punto. El enlace que usa el protocolo Bluetooth para enviar los datos generados por la aplicación desde el dispositivo móvil hasta la antena Bluetooth HC06 colocada en la radio base y el enlace sobre el protocolo ZigBee, desde el Xbee instalado en la radio base hasta otro Xbee instalado en la góndola del dirigible. La radio base permite tener un solo canal de comunicación a través de la interacción de los dos enlaces ya mencionados, y está formado por un controlador con dos puertos de comunicación serial UART que permiten la conmutación de datos y entendimiento entre los módulos HC06 y XBEE, tal como se observa en la Fig. 2. [1] [2]

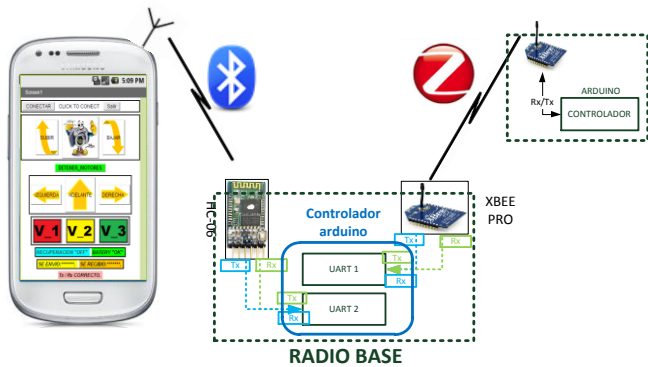


Fig. 2. : Diagrama de Bloques del canal de comunicación

La radio base conmuta los datos basándose en el diagrama lógico mostrado en la parte inferior de la Fig. 2. Si existe un dato en el buffer UART1(Rx) conectado al Xbee Pro se lo almacena para posteriormente escribirlo en el UART2(Tx) conectado al HC06, caso contrario se pregunta por datos recibidos UART2(Rx) conectado al módulo HC06, si existen se almacena para posteriormente escribirlos en el UART1(Tx) del mismo controlador; es decir, cada que recibe un dato por uno de los puertos seriales, este se reenvía por el otro puerto serial hacia el módulo de comunicación opuesto. [1]

### IV. GÓNDOLA

La góndola o cabina principal es un contenedor que permite organizar los elementos utilizados en el control de la plataforma de vuelo y reservar espacio dentro de la misma para elementos adicionales; con la finalidad de incluir nuevas funcionalidades al sistema dependiendo de las necesidades del usuario final. Esta fue implementada en madera de balsa revestida de pintura impermeabilizante para incrementar la resistencia mecánica del material y hacerlo resistente a la humedad.

Los elementos a instalar dentro de la góndola son: El controlador del sistema de navegación, el módulo de RF llamado XBEE, dos motores colocados sobre una base en los extremos de un eje metálico de aluminio, un servo motor acoplado al por medio de engranajes para rotarlo, dos controladores de velocidad electrónicos para los motores derecho e izquierdo y una batería de 11.1 voltios para alimentar

el sistema; adicional a estos componentes se tendrá el módulo especializado con su respectivo controlador; la distribución de todos estos elementos la podemos observar Fig. 3 imagen a). El peso total de sistema es de 965 g.

La góndola tuvo un espesor de 6 mm, 10 cm de ancho por 27 cm de largo con 7 cm de altura, los rulimanes que sostienen al eje y evitan la fricción en el giro fueron colocados a una distancia de 7.5 cm de la pared y a una altura de 3.5 cm, estos tienen un ancho de 6.5 mm y un diámetro de 1.8 cm.

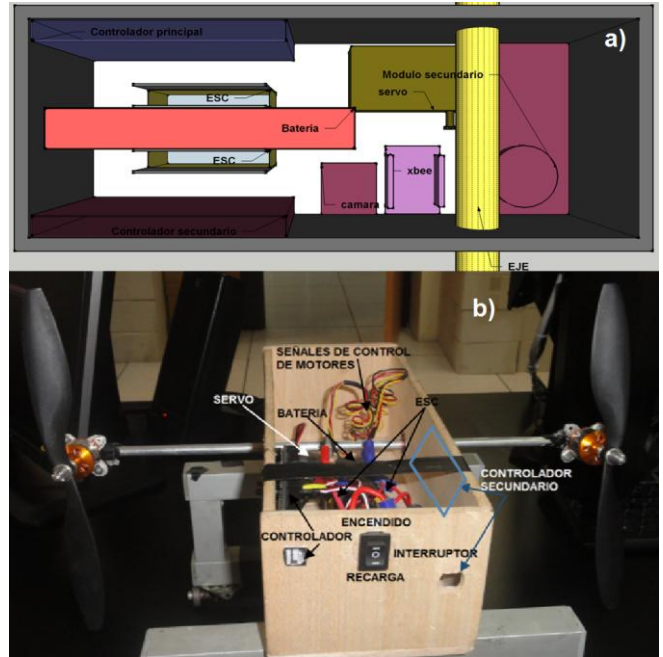


Fig. 3. a) Diseño de la Góndola b) Góndola implementada.

### V. SUB-SISTEMA DE CONTROL

Los Subsistemas de Control son la parte más importante en el control de direccionamiento de la plataforma de vuelo, puesto que la confiabilidad en el manejo del dirigible depende del correcto funcionamiento, activación y desactivación de los mismos. Estos son de direccionamiento: se encarga de realizar los movimientos arriba, abajo, derecha, izquierda y adelante. De velocidad: que tiene tres velocidades mínima, normal y máxima. De recuperación: que se encarga del movimiento del dirigible hacia abajo y hacia la derecha en caso de que el canal de comunicación falle.

El subsistema de control de direccionamiento se basa en 2 motores de tipo Brushless (motores sin escobillas) que son acoplados al eje que atraviesa la góndola de manera transversal, el cual a su vez se acopla a través de un juego de engranajes al servo motor que se encarga de controlar el azimut con el que se aplica la fuerza generada por los motores, esto se observa en la Fig. 4. Para controlar la activación y desactivación de los motores se utilizó dos ESC (Controlador de Velocidad Electrónico), las ESC también permiten controlar la velocidad de giro del motor. El armado de la escobilla es una parte clave en el control de los motores Brushless, para ello se requiere enviar a la ESC una señal PWM, en las que los tiempo

de alto incrementen cada segundo, desde 1.00 ms hasta el mínimo tiempo de alto para el cual la escobilla no es capaz de detectar una back-FEM lo suficientemente alta como para generar un torque; todo esto se resume en un lazo for que escriba en la ESC una señal PWM con tiempo de alto entre 1.00 ms y 1.50 ms con retardos de 1.00 ms entre cada cambio. [3]

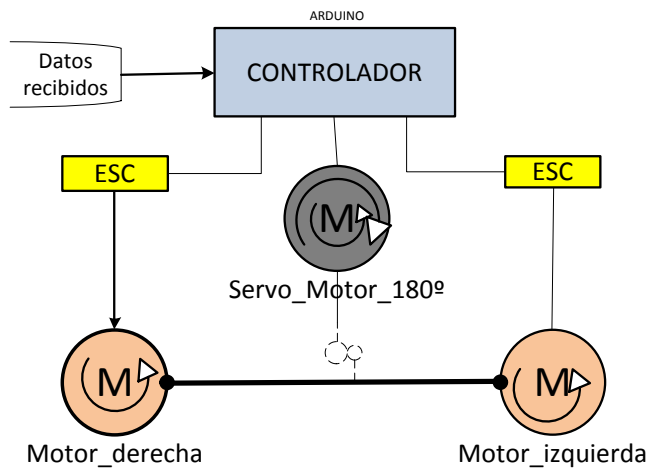


Fig. 4. : Diagrama de bloques del subsistema de control de direccionamiento.

Las ESC permiten variar la velocidad de giro del motor al recibir una señal cuadrada con frecuencia 2 Hz y cuyos tiempos de alto se encuentren entre 1.50 ms y 2.00 ms; en este caso las velocidades baja, media y alta se generan escribiendo señales PWM con tiempos de alto de 1.50 ms, 1.75 ms y 2.00 ms respectivamente, por ende en el motor derecho e izquierdo 45°, 70° o 90° con la finalidad de que el microcontrolador escriba los PWM con tiempo de alto de 1.50 ms, 1.75 ms y 2.00 ms respectivamente. [3]

El control de recuperación tiene como objetivo principal evitar la pérdida de la plataforma de vuelo, puesto que el helio que contiene el dirigible lo hace sumamente liviano y puede ser fácilmente desplazado por el viento cuando no existe ninguna fuerza que lo dirija. Este subsistema consiste en ajustar la dirección del eje al que se encuentran acoplados los motores a 135° para generar una fuerza de empuje descompuesta hacia abajo y hacia adelante; luego se escribe velocidad mínima en el motor derecho y velocidad normal en motor izquierdo de tal manera que se genere una fuerza hacia abajo y otra hacia la derecha.

## VI. PRUEBAS DE LOS SUB-SISTEMAS

Se realizaron diversas pruebas sobre los sistemas, con la finalidad de determinar el correcto funcionamiento de cada uno de ellos. El subsistema de control de direccionamiento permite ejecutar cinco direcciones.

Prueba 1.- Al activar los motores derecho e izquierdo a la misma velocidad durante 5 segundos y fijando el ángulo del servo motor en 90° se pudo observar que en promedio la góndola se desplazó 6.46 m y 8.41 m para las velocidades mínima y media respectivamente.

Prueba 2.- Al activar el motores derecho durante 7 segundos fijando el ángulo del servo motor en 90° se pudo observar que la góndola se desplazó 4.22° y 26.65° en velocidades mínima y máxima respectivamente.

Prueba 3.- Al activar el motores izquierdo durante 7 segundos fijando el ángulo del servo motor en 90° se pudo observar que la góndola se desplazó 9.88° y 24.63° en velocidades normal y máxima respectivamente.

Prueba 4.- Al activar los motores derecho e izquierdo a la misma velocidad durante 5 segundos y fijando el ángulo del servo motor en 45° se pudo observar que en promedio la góndola se desplazó 4.57 m para la velocidad mínima, lo que equivale al 70.7 % del resultado de la prueba hacia adelante; de esto podemos afirmar que se tiene una fuerza hacia arriba.

Prueba 5.- Al activar el subsistema de recuperación se observó que los efectos estipulados en el diseño, es decir, la cara frontal de la góndola se mueve hacia la derecha y hacia abajo para intentar recuperar el canal de comunicación.

Prueba 6.- Se validó el alcance del canal de comunicación por medio de un test de loopback colocando el dispositivo móvil a diferentes distancias y alturas con respecto a la ubicación de la radio base.

## VII. CONCLUSIONES

De las pruebas realizadas a los subsistema de control se determinó que al activar una dirección específica los motores son capaces de mover la góndola en dicha dirección, sin que implique que se moverá el promedio del valor obtenido en la prueba; esto es debido a que las pruebas fueron realizadas en el plano (sobre tierra), bajo condiciones diferentes a las que se tendría ubicando la góndola sobre la plataforma de vuelo.

El alcance del canal de comunicación limita la distancia a la que se puede controlar la plataforma de vuelo sin que se active el sistema de recuperación. En esta prueba se determinó que el rango de control de la plataforma de vuelo es máximo 63 m.

## VIII. RECOMENDACIONES

La góndola debe ser colocada sobre un dirigible cuyas dimensiones sean 2.16 m de largo y el ancho 1.11 m según los cálculos realizados en el Anexo A. Es importante recalcar que para que el sistema tenga estabilidad rotacional, el centro de gravedad del fluido desplazado por el dirigible debe estar exactamente arriba del centro de gravedad de la góndola.

Para evitar que el eje de la góndola sufra torques estructurales, desgastes irregulares, desalineación y en consecuencia un mal funcionamiento del sistema de direccionamiento; se debe considerar al eje acoplado al servo motor como parte crítica en la implementación de la góndola. Por tal motivo y es necesario que el eje y los motores acoplados en los extremos se encuentren centrados con respecto a la mediatriz paralela al eje de la de la góndola.

Es importante recalcar que aunque la aplicación móvil fue catalogada por muchos posibles usuarios como fácil de manejar (80%), es de suma importancia leer el manual sobre funcionamiento del sistema.

## REFERENCIAS

- [1] A. Oyarce, «MCI Electronics,» 7 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.xbee.cl/descargas/>.
- [2] A. R. Castellano, «Bluetooth.Introducción a su Funcionamiento,» 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1896/>.
- [3] J. M. C. Corredor, «DISEÑO DE CONTROL ROBUSTO DE

VELOCIDAD DE MOTORES BRUSHLESS PARA ROBÓTICA AEREA,» 6 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1896/1/jorgemariocottecorredor.2010.pdf>.