

# DISEÑO DE UN SISTEMA TELEMANDO Y TELEMÉTRICO EXPERIMENTAL PARA UNA AEROSTACIÓN DE BAJA ALTURA

Fernando Ulloa V. - Sebastián Acosta A.  
Universidad Tecnológica Metropolitana  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Electricidad  
Programa HAPS  
sacosta@haps.utem.cl;fulloa@utem.cl

## RESUMEN

En este paper se muestra el diseño de un sistema experimental telemando y telemétrico para una aerostación no cautiva LAP (Plataforma de baja altitud). La estructura interna y la configuración de los elementos de control es mostrada así como también los primeros resultados testeados, donde el tiempo de retardo es considerado en el procesado de los datos así como también su relevancia en el diseño de un modelo de control adecuado para el posicionamiento y control de aeronaves de similares características.

## ABSTRACT

In this paper the design of a telemetric and telecommand experimental system is shown to a non-captive LAP (Low Altitude Platform) aerostation. The internal structure and controlling elements configuration are shown as well as the first testing results, where time delays are considered in the data processing and also its relevance in the design of a control model suitable for positioning and control of aircrafts with similar features.

## I. INTRODUCCION

El presente trabajo propone el diseño de un sistema telemando y telemétrico experimental para una aerostación no cautiva y no tripulada de baja altura (LAPS). Este trabajo esta enmarcado dentro del proyecto FONDEF de CONICYT D031-1034 Gobierno de Chile. Titulado “Aeroplataforma Globo-Antena de Radiocomunicación Digital en Banda Ancha para redes IP”. Se presenta la configuración de la estación de control terrestre ETM y del sistema Automata a bordo de la estación LAPS. La transmisión es a través de un canal aeronáutico [1][2][3] con una estación terrestre fija. Se presentan los primeros resultados telemétricos obtenidos donde se consideran los tiempos de retardos en el proceso de transmisión de información de control [4]. La relevancia en el diseño de un modelo de control para el posicionamiento y navegación de la nave[5][6][7] radica en la importancia de obtener una posición fija o cuasi-estacionaria para que de esta manera se pueda servir de nodo o repetidor de radiocomunicación digital terrestre.

## II. ESTRUCTURA DE CONTROL

La aeroplataforma LAPS consiste en una aerostación basada en un globo tipo zeppelin de estructura no rígida

inflado con helio, el volumen de helio que levanta una carga útil de aproximadamente 7 kg. es de 26 m<sup>3</sup>. Dentro de la carga útil, contenida en la góndola del blimp, se encuentran dispositivos de energía, 2 motores dc de 600 [W] para la propulsión, un PLC, GPS y una Unidad de Medida Inercial (IMU) de 6DOF.

La naturaleza complementaria de un GPS y un INS como es la IMU permiten definir trayectorias en el espacio. La aeroplataforma LAPS cuenta con una IMU de marca rotomotion complementada con un GPS de marca Hiprom, el primer instrumento tiene una tasa de refresco de 50 Hz mientras que el GPS es de 10 Hz, los datos de navegación GPS-IMU son procesados por el PLC abordo y enviados a la estación terrestre móvil (ETM) (figura 1) donde se

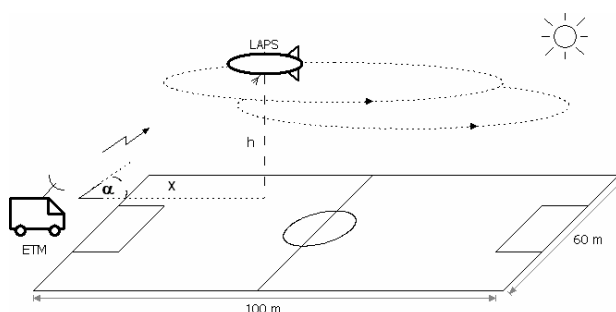


Figura 1: Escenario de operación

almacenan, de esta manera se registra la trayectoria y comportamiento de la aeroplataforma durante el tiempo de experimentación. Por otro lado LAPS cuenta con sensores atmosféricos de temperatura y presión sensores para el sistema de propulsión, estado y posición angular de las turbinas.

La Ground Control Station (CGS o ETM en nuestro caso) es el segmento de los HAPS que proveen comando y control al vehículo y su payload. En situaciones normales la tarea del CGS es enviar way-points a los autopilotos abordo y supervisar la correcta ejecución de ellos [4].

El ángulo de elevación  $\alpha$  (ETM – LAPS) se determina por la distancia horizontal, “x” (0-100m) y la altura de vuelo, “h” (0-20) (figura 1). Cambios en el ángulo de elevación

generan variaciones en los retardos de señal y aumento del multitrayecto [8].

El tiempo que toma cada elemento en arrojar una muestra y a su vez el tiempo que tarda el Tx abordo en enviar la información a tierra se analizan a continuación.

### III. MODELO DE TELECOMANDO LAPS

El control de vuelo de LAPS es realizado desde la aeroplataforma, desde la ETM (Estación Terrestre Móvil, CGS para nuestro caso) se envían comandos que seleccionan el modo de navegación, esto es manual; radiocontrolado desde tierra o automático vuelo elíptico, a su vez la información recopilada por los sensores tanto atmosféricos como de geoposicionamiento inercial y propulsión son bajados a tierra mediante una enlace radioeléctrico.

Se consideran los tiempos de Telemetría ( $T_M$ ) un tiempo de procesado en tierra ( $T_{ETM}$ ) un tiempo de comando ( $T_C$ ) y un tiempo de ciclo que abarca la totalidad del proceso ( $T_{ciclo}$ ) (figura 1)

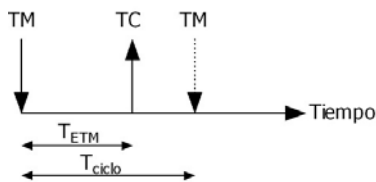


Figura 2: Esquema de tiempos del TTC

El diseño de un modelo de control robusto debe considerar los tiempos de demora tanto de los instrumentos de navegación abordo como también el procesado de las variables en el payload y en ETM.

Para la comunicación entre la aeroplataforma y la estación terrestre móvil se utilizaron dispositivos radiomodem inalámbricos sobre Ethernet, trabajando en la banda de los 2.4 GHz con tecnología FHSS (frequency hopping spread spectrum) a tasas full-duplex de 115 Kbps (LOS) y una modulación MSK (Minimum Shift Keying) con encriptación de datos. En tierra se utilizó una antena Yagi de 7 elementos de polarización vertical, de 8 dbi de ganancia, en aire una antena omnidireccional de 3 dbi, la altura promedio observada para la nave fue de 20 mt. A una distancia variable de la ETM entre los 0 y 100 m.

Para una tasa de 115 kbps, se tiene un tiempo de bit de 8,696  $\mu$ s. Se considero esta velocidad de transmisión suficiente ya que el enlace transporta información de control y monitoreo.

### IV. MODELO DE CONTROL

El modelo de control diseñado para la aeroplataforma experimental LAPS obedece al siguiente diagrama de bloques (figura 3):

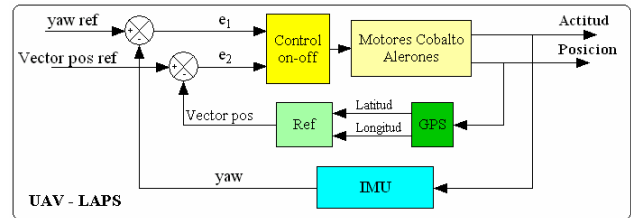


Figura 3: Diagrama de bloques de control LAPS

Básicamente el control que realiza el PLC esta basado en el sentido del GPS y la IMU del primero se obtiene un vector geo-referenciado a la ubicación de la ETM y del segundo instrumento la posición de la nave con respecto al norte (yaw) se propone este diseño experimental para situar la nave dentro de una elipse de dimensiones similares a una campo de fútbol (figura 10), luego la información sensada es evaluada por un controlador on-off el cual a través de una interfaz microcontrolada, enciende y apaga motores, así como también mueve alerones de izquierda a derecha (horizontales) y de arriba abajo (verticales).

La figura 4 esquematiza las variables de entrada y salida del sistema de control, las cuales son gestionadas y procesadas por el autómata o PLC bajo un software previamente programado.

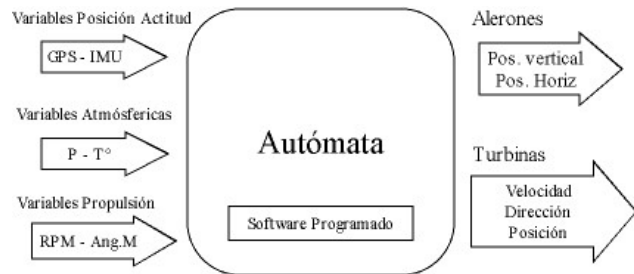


Figura 4: Esquema de diseño control LAPS

La siguiente figura (5) muestra el diagrama de conexión de los distintos dispositivos utilizados en el experimento:

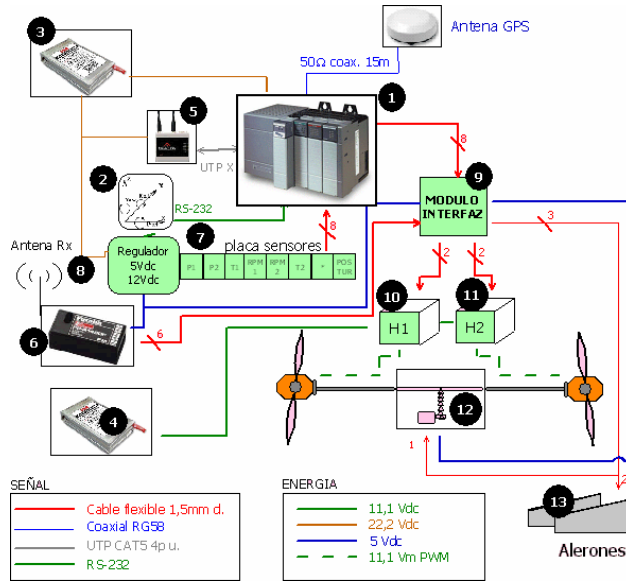


Figura 5: Dispositivos y conexiones abordo

- 1) PLC abordo
- 2) Unidad de Medida Inercial 6DOF (IMU)
- 3) Banco 1, Baterías LiPo 1300mAh 11.1V
- 4) Banco 2, Baterías LiPo 1300mAh 11.1V
- 5) Radiomodem Radiolinx -115bps 2.4Ghz
- 6) Rx Futaba (radiocontrol manual)
- 7) Placa de sensores P, T, Vec y Tacómetros
- 8) Etapa reguladora de voltaje.
- 9) Modulo Interfaz
- 10) Puente H1 (driver potencia motor 1)
- 11) Puente H2 (driver potencia motor 2)
- 12) Eje rotor – vectorización
- 13) Alerones

## V. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE RADIOCANAL AERONÁUTICO

El modelo de partida es el correspondiente a un WSSUS que contempla dispersiones y atenuaciones variables con el tiempo. Dicho modelo queda caracterizado por la función de dispersión asociada a estos canales [1] que se formula así:  $P_s(\tau, f_D)$  donde  $\tau$  indica el “delay excess” y  $f_D$  “doppler frequency”. Por otra parte, la función  $P_s$  es proporcional a la “pdf” (función densidad de probabilidad) bidimensional asociada  $p(\tau, f_D)$  y  $\tau = \Delta d/c$ , son parámetros físicos de distancia y velocidad de la luz, respectivamente.

La frecuencia Doppler estará dentro del rango de  $-f_{D\text{MAX}} \leq f_D \leq +f_{D\text{MAX}}$  donde el valor máximo de la frecuencia Doppler,  $f_{D\text{MAX}}$ , es proporcional a la frecuencia portadora  $f_0$ , y la velocidad de la aeronave,  $v$ :  $f_{D\text{MAX}} = v \cdot f_0/c$  [3]

### Escenario de plataforma en vuelo

A una frecuencia de 2.4 Ghz y con velocidades de desplazamiento de la aeronave entre 0,7 y 2,7 m/s, se admite un “fading lento”. En la peor situación se podría admitir que los ecos llegan con idéntica distribución desde todas las direcciones.

Un análisis geométrico nos revela que  $\tau = \frac{\sqrt{h^2 + x^2}}{c}$  donde  $x$

es la distancia en el plano terrestre a la nave y  $h$  la altura, para una altura de 20 m. Se obtendrá un retardo de  $\tau = 0,34 \mu\text{s}$ . (figura 1) con una frecuencia Doppler de 5.6 a 21.6 Hz. En intervalos de transmisión de símbolos menores que  $T_s \leq 0,34 \mu\text{s}$  se puede considerar un modelo de canal de 2 rayos.

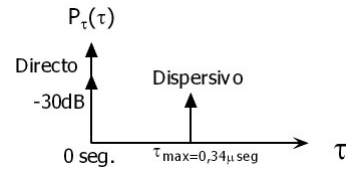


Figura 6: Retardo de 0,34 μs

Para ambientes urbanos se considerara un retardo máximo de  $\tau \approx \frac{2\sqrt{h^2 + x^2}}{c}$ , para nuestro caso  $0,68 \mu\text{s}$ . (fig. 7)

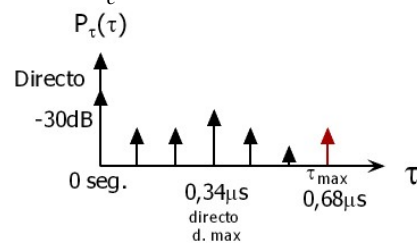


Figura 7: Retardos para ambiente urbano

## VI. MUESTREO DE VARIABLES

El ciclo de muestreo para los sensores atmosféricos abordo, obedecen al siguiente esquema (figura 8) el ciclo abarca 7 pasos de tiempo variable.

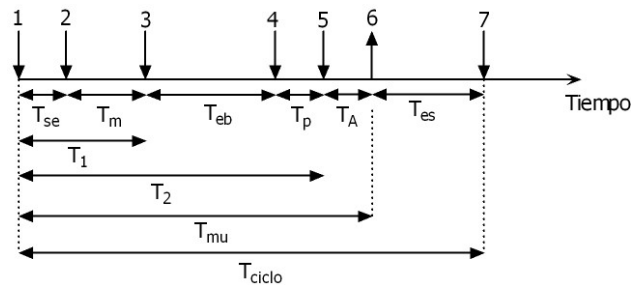


Figura 8: Esquema de tiempos para la captura de 1 dato desde un sensor

- $T_{se}$  : Tiempo sensor, tiempo empleado por el sensor en convertir una magnitud física en un valor de voltaje o corriente
- $T_m$  : Tiempo muestra tiempo empleado por el dispositivo en digitalizar la muestra
- $T_{eb}$  : Tiempo envío dato aire-tierra, sujeto a la caracterización del radiocanal
- $T_p$  : Tiempo proceso ETM

- $T_{es}$  : Tiempo envío dato tierra-aire, sujeto a la caracterización del radiocanal.
- $T_A$  : Tiempo almacenamiento muestra
- $T_1$  : Tiempo que tarda el dato en estar disponible en LAPS
- $T_2$  : Tiempo que tarda el dato en estar disponible en ETM
- $T_{mu}$  : Tiempo muestreo (fijo)
- $T_{ciclo}$  : Tiempo total del proceso

El tiempo de muestreo es definido por software y corresponde a 60 segundos para la temperatura y 5 segundos para la presión Atmosférica:

### Muestreo de la trayectoria de LAPS sobre un área definida

Con respecto a la información de geoposicionamiento de LAPS es el esquema de tiempo de muestra por dato obedece a la siguiente figura (9):

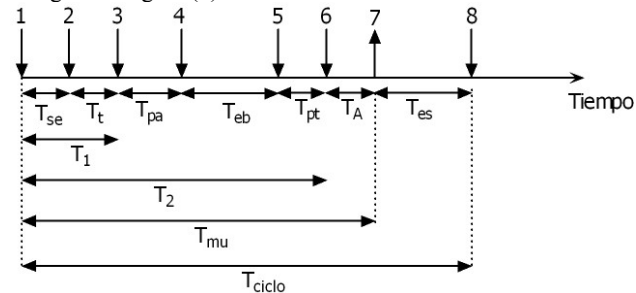


Figura 9: Esquema de tiempos para la captura de 1 dato desde un sensor de navegación

- $T_{se}$  : Tiempo sensor, tiempo empleado por el sensor en convertir una magnitud física en un valor de voltaje o corriente.
- $T_t$  : Tiempo Tracking, tiempo que tarda el GPS en triangular con los satélites necesarios. (3 mínimo)
- $T_{pa}$  : Tiempo que tarda el GPS en arrojar una posición geográfica luego de haber triangulado con los satélites.
- $T_{eb}$  : Tiempo envío dato aire-tierra, sujeto a la caracterización del radiocanal
- $T_{pt}$  : Tiempo proceso tierra ETM
- $T_A$  : Tiempo almacenamiento muestra
- $T_{es}$  : Tiempo envío dato tierra-aire, sujeto a la caracterización del radiocanal.
- $T_1$  : Tiempo que tarda el dato en estar disponible en LAPS
- $T_2$  : Tiempo que tarda el dato en estar disponible en ETM
- $T_{mu}$  : Tiempo muestreo (fijo de 1 segundo)
- $T_{ciclo}$  : Tiempo total del proceso

## VII. RESULTADOS

El primer vuelo experimental de la aeroplataforma se realizó el día 19 de mayo de 2006 a las 9:00 hrs. en el complejo deportivo de la Universidad de Chile Campus J.G. Millas, ubicado a 590m sobre el nivel del mar en las coordenadas 33°28'09"S ; 70°35'41"W. La temperatura promedio fue de 11 °C registrándose cielos nublados y vientos del orden de los 0,2 Km/h SE.

La temperatura registrada durante el tiempo de operación se muestra en la figura 10, este sensor análogo de temperatura al igual que el de presión fue muestreado a una tasa de 50ms (tiempo de scan del modulo analog-input del PLC independiente de  $T_{mu}$ ) luego enviado a tierra y desplegado en pantalla en tiempo real

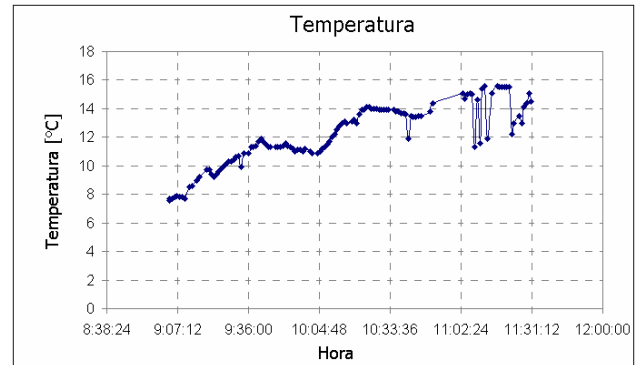


Figura 10: Temperatura registrada durante la mañana de pruebas

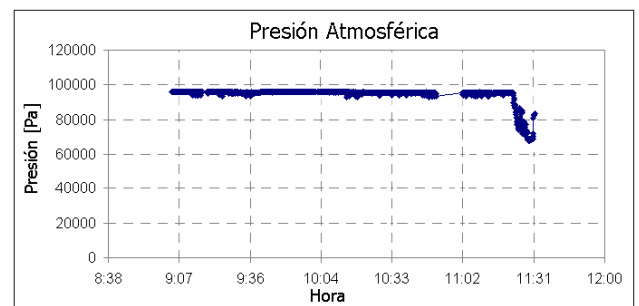


Figura 11: Presión registrada durante la mañana de pruebas

Las figura 12 representa el desplazamiento registrado por la aeroplataforma para un control automático desde abordó, en tanto la figura 13 obedece a un desplazamiento radiocontrolado manualmente por un usuario en tierra.

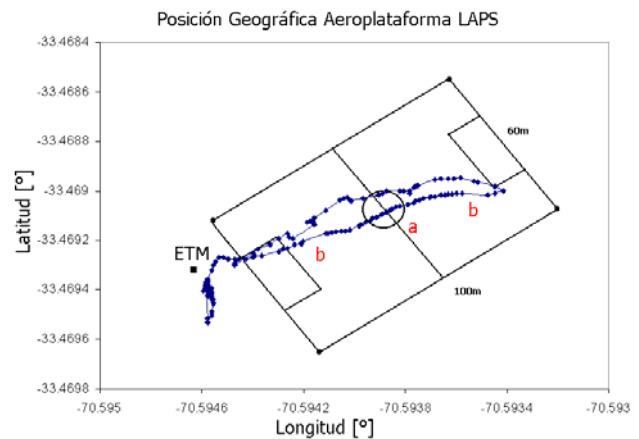


Figura 12: Primer desplazamiento de LAPS sobre el campo de fútbol.

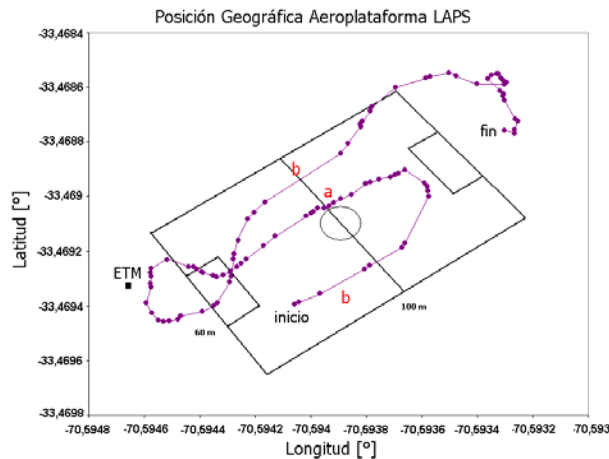


Figura 13: Segundo desplazamiento de LAPS sobre el campo de fútbol.

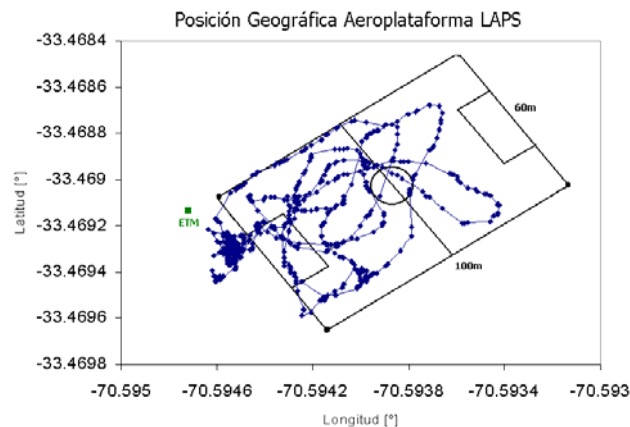


Figura 14: Desplazamiento durante mañana de pruebas

Cabe señalar que para el segmento “b” (figura 12 y 13) se tiene que  $T_{mu} < T_1$ , por lo que la muestra no esta disponible en el paso 7 (figura 9) como consecuencia se almacena el dato anterior no produciéndose refresco de la información ya variada, por otro lado en el segmento “a” de las mismas figuras se tiene que  $T_{mu} > T_1$ , por lo que la información se refresca coherentemente de acuerdo a su variación.  $T_{mu}$  esta definido en 1s para este muestreo.

## VIII. CONCLUSIONES

Es preciso caracterizar el modelo de radiocanal Aeronáutico en el diseño de un enlace ETM – LAPS.

El diseño de un modelo control de navegación para una aeroplataforma UAV debe considerar el tiempo del dato y en base a este tiempo determinar los márgenes de operación de los sistemas de asociados como la propulsión.

Para una aeronave es preciso considerar  $T_{mu} \ll v$  donde  $T_{mu}$  es el tiempo de muestra en segundos y  $v$  es la velocidad de desplazamiento de la nave en metros por segundo.

Es necesario para aeronaves autónomas considerar sistemas o bloques de emergencia para eventuales perdidas de

comunicación con CGS o fallas en los instrumentos de navegación.

## IX. REFERENCIAS

[1] P.A. Bello, “Aeronautical Channel Characterization”, IEEE, Tr. Comm., vol, COM-21, no. 5, pp 548-563. May 1973.

[2] P. Hoehner, E. Haas, “Aeronautical Channel Modeling at VHF-Band”, Institute for Communications Technology, Germany Aerospace Center, IEEE, Veh. Techn. Conf., vol. 4, 1999, pp. 1961-1966

[3] S.M. Elnoubi “A Simplified Stochastic Model For The Aeronautical Mobile Radio Channel”, IEEE, Veh. Techn. Conf., vol 4, 1992, pp. 960-963

[4] Eduardo Bertrán Albertí, José A. Delgado Penin: “Effect of packet format and SBAS measurement rate on the emergency control of an UAV” The traditional International Software and System Engineering Conference DASIA 2002, (Data Systems In Aerospace), organised by EUROSPACE, Dublin, Ireland.

[5] Yasunori Kawai1, Satoshi Kitagawa1, Shintaro Izoel and Masayuki Fujita1 “An Unmanned Planar Blimp on Visual Feedback Control : Experimental Results”, Proc. of the 42nd SICE Annual Conference (SICE2003), pp. 680-685, 2003.

[6] Emmanuel Hygounenc, Il-Kyun Jung, Philippe Soueres, Simon Lacroix : “The Autonomous Blimp Project of LAAS-CNRS: Achievements in Flight Control and Terrain Mapping”, The International Journal of Robotics Research, Vol. 23, No. 4-5, 473-511 2004, Francia

[7] Frederik W. Heger, “An Electric Propulsion System for an Autonomous Blimp”, PennScience Journal for Undergraduate Research, Volume 1, Issue 1, Fall 2002, USA.

[8] Fernando Ulloa Vásquez, J.A. Delgado Penin, “Performance simulation in High Altitude Platforms (HAPS)”, The traditional International Software and System Engineering Conference” DASIA 2002, (Data Systems In Aerospace), organised by EUROSPACE, Dublin, Ireland.

**Fernando C. Ulloa-Vásquez** Recibe el diploma de Ingeniero Electrónico en la Universidad Tecnológica Metropolitana en 1992, el grado de PhD. Ing. Telecomunicación en la Universidad Politécnica de Cataluña año 2003. Profesor Asociado en Departamento de Electricidad, UTEM. Investiga en el tema del canal aeronáutico y aplicaciones para sistemas de radiocomunicación digital terrestre en banda ancha basados en plataformas Estratosféricas HAPS.

**Sebastián Acosta A.:** Ingeniero Electrónico, Universidad Tecnológica Metropolitana, Integrante del Centro de Radiocomunicación Digital UTEM, Ingeniero de Control Proyecto FONDEF de CONICYT D031-1034 Gobierno de Chile. Titulado “Aeroplataforma Globo-Antena de Radiocomunicación Digital en Banda Ancha para redes IP”. Areas de desarrollo: Control Automático, Electrónica de Potencia y microcontroladores.