

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO PARA EL AUTOPILOTO PELICANO DESARROLLADO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA CIDFAE UBICADO EN EL SECTOR IZAMBA DE LA CIUDAD DE AMBATO

Moreta Supe David Tarquino
e-mail: davidmorethy@gmail.com
Salazar Paredes Gonzalo Paúl
e-mail: gonzalopaul90@yahoo.com

Abstract— El presente documento trata acerca del diseño e implementación de un Sistema Electrónico de Prevuelo para el Autopiloto pelicano (UAV-0) para alcanzar este objetivo se utilizó radios módems los cuales establecen una comunicación inalámbrica entre la computadora con el UAV-0, y para el procesamiento, adquisición, monitoreo, comprobación del estado de las superficies de control de vuelo del UAV-0 se utilizó Visual Studio C#. Además para el almacenamiento de los datos proporcionados por los sensores del UAV-0 se lo realizó con SQL Server, con el desarrollo de éste sistema de prevuelo se garantiza que el UAV-0 Pelicano se encuentre óptimo para las tareas de vuelo programadas, reduciendo considerablemente los riesgos durante el período de vuelo.

Palabras claves— Instrumentos de Aviónica, Radios Módems, Faces de Prevuelo, SQL Server, Visual Studio C#, UAV.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 4 años, los UAVs han pasado a convertirse en un recurso imprescindible para las Fuerzas Armadas. Su versatilidad, polivalencia y capacidad para operar en ambientes hostiles con discreción, durante tiempos prolongados y con costos reducidos, han generado en la mayoría de los países la necesidad de dotarse de esta capacidad que ya se ha hecho fundamental. [1] El primer proyecto desarrollado por la Fuerza Aérea Ecuatoriana a través del CIDFAE. Es un Prototipo de Aeronave No Tripulada (UAV-0 Pelicano), táctica, autónoma y enlazada a una Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT) con capacidad de cumplir misiones de vigilancia, reconocimiento y enviar información en tiempo real. [2]

Actualmente se realizan pruebas de vuelo en el UAV-0, en el que se realiza un chequeo previo del estado de la aeronave solo de manera manual. Como consecuencia de esto existen riesgos que el UAV-0 no cumpla con éxito con las tareas de vuelo programadas.

Frente a estos antecedentes este proyecto busca desarrollar dentro del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana "CIDFAE" el diseño e implementación de un sistema electrónico de prevuelo para el autopiloto Pelicano (UAV-0), el sistema electrónico

incluirlá la adquisición de datos de los sensores, visualización, monitoreo, base de datos, y chequeo de las superficie de control de vuelo del UAV-0.

Con la implementación del sistema propuesto el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana "CIDFAE", se optimiza las tareas de prevuelo lo que garantiza que la aeronave este en su correcto funcionamiento para poder realizar tareas de vuelo.

SQL Server es un elemento fundamental de la Plataforma de Datos de Microsoft, capaz de gestionar cualquier tipo de datos, en cualquier sitio y en cualquier momento. Le permite almacenar datos de documentos estructurados, semiestructurados o no estructurados como son las imágenes, música y archivos directamente dentro de la base de datos. [3]

Un radio módem o módem de radio transfiere datos de forma inalámbrica a una distancia que puede llegar a decenas de kilómetros, salvando obstáculos como montañas. La comunicación que se establece se suele denominar datos de radio frecuencia. [4]

II. DESARROLLO

A. PROTOTIPO UAV-0 PELICANO

Figura 1, es una aeronave de 4 metros de longitud de ala a ala, la cual posee capacidades de aterrizaje, despegue y vuelo automático, puede alcanzar 3.66 Km de altura y velocidad máxima 65 kilómetros por hora. [7]



Fig. 1. Prototipo UAV-0 Pelicano

B. FICHA TÉCNICA UAV-0 PELICANO

Aeronave no tripulada de corto alcance, en la Tabla I se indican las características principales del UAV-0 PELICANO.

Tabla I. Características principales del UAV-0.

| | |
|------------------|---------|
| Envergadura | 4 m |
| Carga útil | 10 lbs |
| Techo | 3.66 km |
| Velocidad máxima | 65 Km/h |
| Despegue | 60 m |
| Aterrizaje | 90m |

En la Fig. 2 se puede observar el diagrama de bloques que conforma el UAV-0 PELICANO.

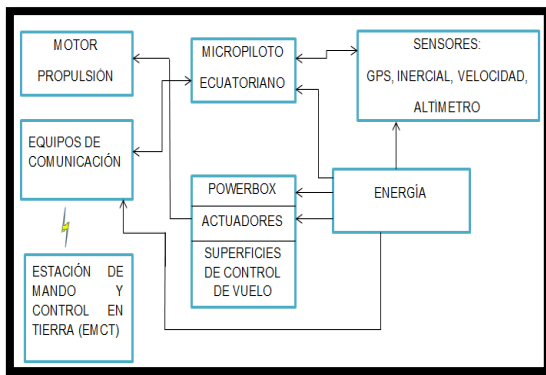


Fig. 2. Diagrama de bloques del UAV-0 Pelicano

C. MICROPILOTO / AUTOPILOTO

Un autopiloto es un sistema mecánico, electrónico, eléctrico o hidráulico, usado para guiar un vehículo (aeronave) sin la ayuda de un ser humano. [5] Los pilotos automáticos avanzados, pueden hacer muchas más cosas, realizando incluso maniobras de alta precisión como aterrizar en condiciones de cero visibilidad. En la Fig. 3 se puede observar el diagrama de bloques del UAV-0 Pelicano.

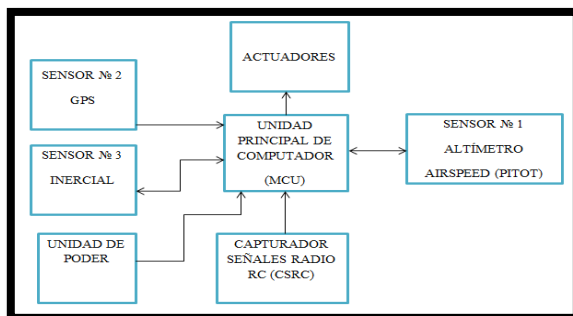


Fig. 3. Diagrama de bloques del Micropiloto

D. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS DE LA AERONAVE

El análisis se hizo en base a los datos proporcionados por el Micropiloto entre las variables a ser visualizadas se tiene:

- Posición Geográfica (latitud, longitud, altura).
- Ejes principales de vuelo (roll, pitch, yaw).
- Velocidad pitot.
- Altitud pitot.
- Porcentaje de aceleración del Motor.
- Manual /Automático.

En la Tabla II se observa el sensor y la variable a ser medidas.

Tabla II. Variables a ser visualizadas

| Sensores | Variables |
|------------------|-------------------------------|
| Sensor GPS | Latitud Longitud Altura |
| Sensor Inercial | Roll Pitch Yaw |
| Sensor Airspeed | Velocidad pitot |
| Sensor Altimetro | Altura pitot |

E. ACTUADORES DEL UAV-0.

Los actuadores utilizados son los servomotores para el control de las superficies de vuelo por tal motivo la variable a ser controlada es la posición del servomotor.

Las superficies de control son las partes móviles de un avión las cuales sirven para ajustar y controlar la trayectoria de vuelo del mismo por medio del sistema de coordenadas.

Las superficies de control de vuelo a ser testeadas en el UAV-0 son aquellas que dan el control de la aeronave al piloto. Estas son:

- Elevador.
- Alerón.
- Timón.

F. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES

La selección de equipos se realizó de acuerdo a las exigencias, características y prestaciones del proyecto proporcionados por el CIDFAE. A continuación se enumeran los equipos utilizados en el desarrollo del proyecto.

- Dos Radios módem.
- Computador.
- Baterías.
- Micro pilotó Nacional.
- Cable USB serial.

El sistema de comunicación de datos utiliza un sistema de antenas omnidireccionales que se encuentran instaladas en la estación terrena como en el UAV-0. En la Fig.4 se tiene la estructura del sistema de comunicación de datos para el UAV-0.

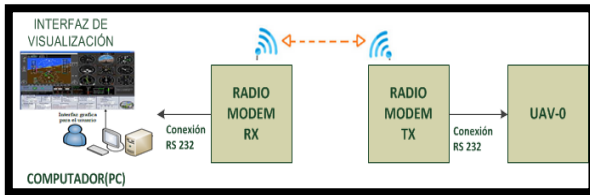


Fig.4.Sistema de comunicación de datos entre el UAV-0 y el computador.

G. SELECCIÓN DEL SOFTWARE

Visual Studio C# es un lenguaje de programación de alto nivel, se enfoca bien para aplicaciones de instrumentación virtual, es muy bueno para la conexión con bases de datos, flexibilidad de operación con manejo de puertos seriales. [6]. Este lenguaje de programación fue seleccionado gracias a todas las prestaciones, compatibilidad, personalización en el diseño de aplicaciones a gusto del programador, menor consumo de memoria que otros lenguajes de programación como por ejemplo labview, matlab.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El desarrollo de la interfaz muestra las prestaciones para las tareas de pre vuelo y monitoreo de las variables. Como se indica en la Fig. 5



Fig. 5. Interfaz del sistema electrónico de pre vuelo del UAV-0.

A. MONITOREO DE LAS VARIABLES DE LOS SENSORES.

Configurar el puerto serial en la interfaz con los siguientes parámetros:

- Baudios: 38400
- Paridad: Ninguna
- Número de bits: 8
- Bits parada: 1

B. TEST DEL SISTEMA

En la figura 6 se observa el estado de los sensores que dispone la aeronave UAV-0, los sensores en buen estado poseen un indicador verde y los que se encuentran en mal estado tienen el color rojo.

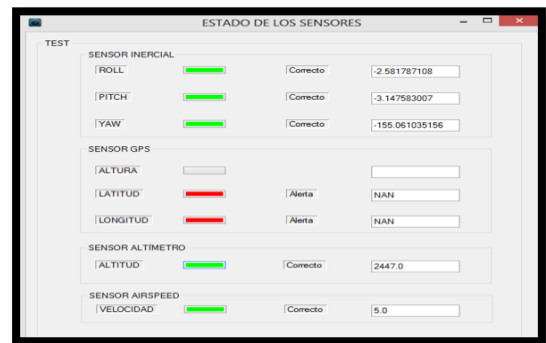


Fig. 6. Interfaz del estado de los sensores del UAV-0

C. Verificación de las superficies de control de vuelo.

La verificación se realiza de dos formas como se observa en la figura 7:

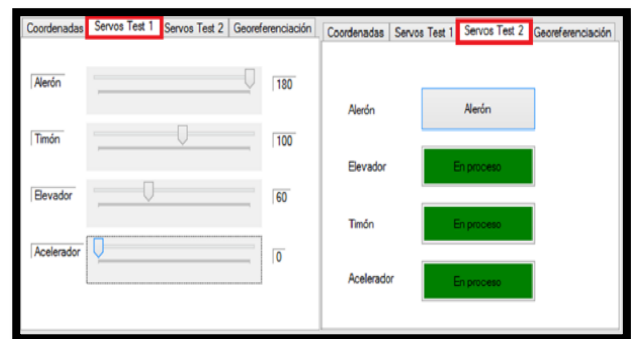


Fig. 7. Verificación de las superficies de control de vuelo

Para el Test 1 se tiene un TrackBar el mismo varía de -90 a 90 siendo el 0 la posición por defecto de los servomotores posteriormente estos valores son acondicionados en el rango de 0 a 180 que representa el ángulo de movimiento de cada servomotor que dispone el UAV-0.

TRAMA DE DATOS

Para el envío de datos se utiliza una trama de datos Figura 8 que transportan información hacia el Micropiloto y que permiten en la recepción extraer esta información.

| Inicio | Función | Datos | Fin de trama | Checksum |
|--------|---------|-------|--------------|----------|
|--------|---------|-------|--------------|----------|

Fig. 8. Trama de datos para el Test 1

A continuación en la Tabla III se describe la estructura de la trama de datos

Tabla III Especificación de la trama de datos

| Estructura | Descripción |
|------------|-------------|
| Inicio | \$ |
| Función | TM |
| Datos | 8 Bytes |
| Checksum | 2 Bytes |

- Inicio: Indica el inicio de la trama con la cual empieza a transmitir para eso se utiliza el carácter \$ que es un byte.
- Función: Petición para realizar el test manual, se envía la petición TM que dice al micro que empiece con el movimiento de los servos.
- Datos: Incluye los datos a enviarse en la trama estos datos se envían en hexadecimal para una mejor optimización de la memoria del micropiloto, se envían un total de 8 Bytes en secuencia.
- Checksum: Tiene como propósito principal detectar cambios accidentales en la secuencia de datos que se enviarán. Se utiliza un total de 2 bytes para tal función.

El funcionamiento del Test 2 se lo realiza de la siguiente forma:

Cada botón responde a dos eventos, el primer evento el botón envía una petición al Micropiloto para que realice el test del servo motor y el Micropiloto responde con un comando entonces el botón se activa presentando un color que indica que se está ejecutando.

En el segundo evento se envía una petición de finalizar el test el Micropiloto recibe la petición y envía un comando que hace que el botón se active con el color rojo indicando que se terminó la verificación del servo.

D. GEORREFERENCIACIÓN DEL UAV-0

Para visualizar la ubicación del UAV-0 Pelicano se utiliza un mapa topográfico digital Figura 9 para el lugar donde se vaya a realizar las pruebas de prevuelo.

También es necesario conocer los puntos P1 y P2 puntos de coordenadas geográficas estas son latitud y longitud respectivamente.

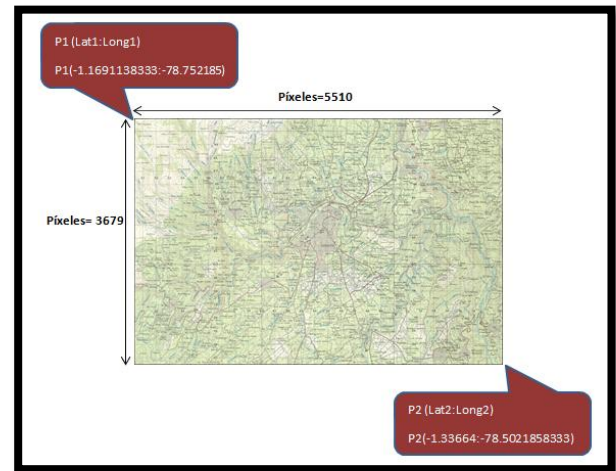


Fig.9. Mapa topográfico digital de la provincia de Tungurahua.

Una vez que se conozcan los límites del mapa topográfico como también la cantidad total píxeles que contiene la imagen se procede a realizar una ecuación que relacione píxeles con las coordenadas gps para esto se empleó las siguientes ecuaciones.

$$long \left(\frac{píxeles}{rad} \right) = \frac{\# píxel horizontal}{longP1(rad) - longP2(rad)} \quad (1)$$

$$x = long \left(\frac{píxeles}{rad} \right) * [longP1(rad) - \Delta long_{UAV}] \quad (2)$$

$$lat \left(\frac{píxeles}{rad} \right) = \frac{\# píxel vertical}{latP2(rad) - latP1(rad)} \quad (3)$$

$$y = lat \left(\frac{píxeles}{rad} \right) * [\Delta lat_{UAV} - latP1(rad)] \quad (4)$$

Dónde:

$latP2(rad)$ = latitud punto 1 en radianes

$latP1(rad)$ = latitud punto 2 en radianes

$longP1(rad)$ = longitud punto 1 en radianes

$longP2(rad)$ = longitud punto 2 en radianes

Δlat_{UAV} = variación latitud gps

$\Delta long_{UAV}$ = variación longitud gps

La Ecuación (1) y Ecuación (3) obtienen los valores constantes de escalamiento del ancho y largo del Mapa Topográfica digital que depende del tamaño de los píxeles respecto a la posición geográfica que tengan sus extremos.

Los valores Long 1, Lat 1 son tomados de la esquina superior izquierda del Mapa el valor en píxeles es (0,0) el mínimo valor y los valores de Long 2, Lat 2 ubicados en la esquina inferior derecha su valor en píxeles es el máximo

que tiene el Mapa topográfico. Los valores extremos del mapa topográfico se pueden observar en la Fig.9

Donde las ecuaciones (2) y (4) especifican la posición que se encuentra la aeronave en el mapa digital de acuerdo a las variables que envíe el GPS estas son latitud y longitud.

E. POSICIONAMIENTO DE LA AERONAVE

La interfaz de usuario desarrollada para graficar la posición del UAV-0 se observa en la Figura 10.

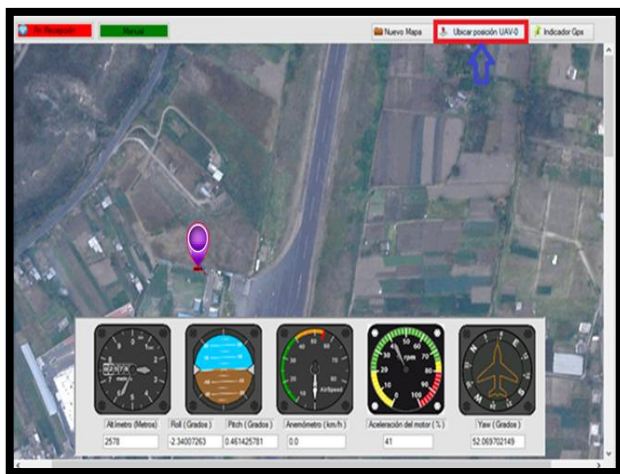


Fig.10. Interfaz de usuario para indicar la posición del UAV-0

En la interfaz se observa el botón ubicar posición UAV-0 donde se observa la flecha, permite observar la posición del UAV-0 mediante un indicador GPS dentro del mapa topográfico.

El porcentaje de error de la posición de la aeronave en el mapa, en las pruebas de pre vuelo corresponde al 2% con relación a otro sistema patrón como el Micropilot Canadiense.

F. BASE DE DATOS

Los datos de la aeronave se guardan cada segundo en el gestor de base de datos SQL Server, estos datos son guardados automáticamente cada vez que existe flujo de datos en el sistema de pre vuelo desarrollado.

Para realizar la consulta de datos a la base de datos se debe seleccionar la fecha en la cual se requiere conocer los datos como se indica Figura 11, a continuación una vez seleccionada se debe dar un click en el icono de forma de lupa con lo cual se desplegarán los datos. Adicionalmente estos datos se pueden exportar y visualizar en Excel.

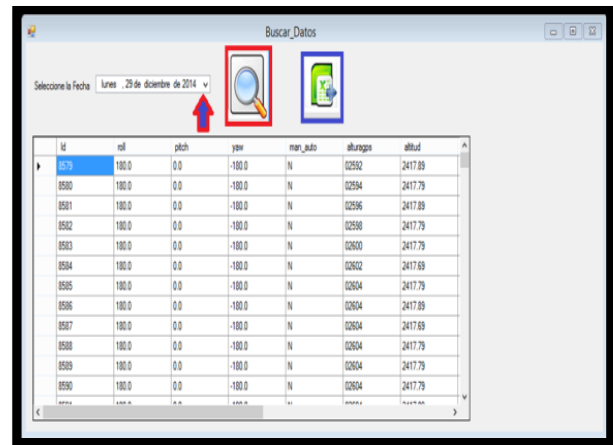


Fig.11. Interfaz de consulta en la Base de datos SQL Server.

IV. CONCLUSIONES

- La implementación del sistema electrónico de pre vuelo permite visualizar la información de cada sensor que dispone la aeronave, además permite comprobar el estado de funcionamiento de los servomotores los mismos que controlan las superficies de control de vuelo, lo que permite verificar si la aeronave se encuentra en condiciones seguras de despegue.
- Con los radios módems empleados para el proyecto se realizó una comunicación a una distancia de 100 metros entre el UAV y el equipo de recepción de datos distancia a la cual la comunicación se realizó con éxito, se sabe que estos dispositivos de comunicación tienen un alcance aproximado de 16 km con línea de visión con una antena de alta ganancia.
- Se empleó SQL Server porque permite almacenar información obtenida de los sensores cada segundo además existe muy buena compatibilidad para trabajar con Visual Studio C# adicionalmente se pueden exportar y visualizar estos datos en Excel.
- Para el desarrollo del proyecto se optó por utilizar Visual Studio C# debido a la gran cantidad de información y las bondades que presenta el software y por futuras aplicaciones.
- El desarrollo del presente proyecto permite realizar el chequeo y visualización de las variables de la aeronave antes de realizar el vuelo programado.
- Las tareas de pre vuelo inicialmente se realizaban manualmente, con la implementación de este sistema se tienen datos reales de los sensores, estado de los actuadores de manera más optimizada.
- Realizando el Test2 para los servos se puede efectuar el movimiento secuencial de todos los servos con esto se puede visualizar el estado de funcionamiento de todas las superficies de control de vuelo de la aeronave.
- Se logró ubicar la posición del UAV-0 mediante un indicador GPS para un mapa determinado ingresando las coordenadas geográficas del mapa.

V. REFERENCIAS

[1] Proyecto de Aeronaves no Tripuladas Fuerza Aérea Ecuatoriana. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en: <http://www.aeromundomag.com/el-proyecto-de-aeronaves-no-tripuladas-uav-de-la-fuerza-aerea-ecuatoriana/>

[2] Fuerza Aérea Ecuatoriana. [En línea]. [Fecha de consulta: 20 Octubre 2014]. Disponible en: <http://www.aeromundomag.com/el-proyecto-de-aeronaves-no-tripuladas-uav-de-la-fuerza-aerea-ecuatoriana/>

[3] Microsoft SQL Server 2008 R2 Enterprise Edition DVD Español. [En línea]. [Fecha de consulta: 25 Octubre 2014]. Disponible en: <http://www.intercambiosvirtuales.org/software/microsoft-sql-server-2008-r2-enterprise-edition-dvd-espanol>

[4] Radiomódem [En línea]. [Fecha de consulta: 26 Octubre 2014]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiom%C3%B3dem>

[5] [En línea]. [Fecha de consulta: 26 Octubre 2014]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Piloto_autom%C3%A1tico

[6] Programación Computacional. [Fecha de consulta: 28 Octubre 2014]. Disponible en: <http://informaticabachilleratoitea.blogspot.com/p/visual-c.html>

[7] [Fecha de consulta: 30 Octubre 2014]. Disponible en: http://www.fuerzaaereaecuatoriana.mil.ec/site/index.php?option=com_content&view=article&id=124&Itemid=493



David Moreta. Nació en Ambato provincia de Tungurahua en Ecuador.

Es graduado del Colegio Tecnológico "Rumiñahui" donde obtuvo el título de Bachiller en Informática.

Actualmente se encuentra egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación en la

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE en la ciudad de Latacunga Ecuador. Área de interés desarrollo de software para aplicaciones móviles.



Gonzalo Salazar. Nació en Salcedo provincia de Cotopaxi en Ecuador.

Es graduado del Colegio Nacional Experimental Salcedo, Salcedo – Ecuador donde obtuvo el título de Bachiller Físico Matemático.

Actualmente se encuentra egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica e

Instrumentación en la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE en la ciudad de Latacunga Ecuador. Área de interés de investigación modelamiento matemático