



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

AUTORES: MORETA SUPE DAVID TARQUINO

SALAZAR PAREDES GONZALO PAÚL

**TEMA: 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**

DIRECTOR: ING. NARANJO CÉSAR

CODIRECTOR: ING. MENA LUIS

LATACUNGA, FEBRERO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN****CERTIFICADO**

Ing. César Naranjo (DIRECTOR)

Ing. Luis Mena (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “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”, realizado por los Señores David Tarquino Moreta Supe y Gonzalo Paúl Salazar Paredes, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico y aplicable, se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los Señores David Tarquino Moreta Supe y Gonzalo Paúl Salazar Paredes, que lo entregue al Ing. Franklin Silva, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Febrero del 2015

Ing. César Naranjo
DIRECTOR

Ing. Luis Mena
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

DAVID TARQUINO MORETA SUPE

GONZALO PAÚL SALAZAR PAREDES

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “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”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Febrero del 2015

David Tarquino Moreta Supe

C.C.: 1804619318

Gonzalo Paúl Salazar Paredes

C.C.: 0503210585

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente proyecto con mucho amor a Dios por permitir la existencia y por las bendiciones recibidas.

A mis padres, Sergio David y María Matilde quienes con sus consejos, amor y sabiduría han sabido guiarme a lo largo de la vida.

A mis hermanos, Patricia Geovanna y Alex Edison por su apoyo, confianza y amor incondicional en el transcurso de la vida.

David Moreta Supe

Dedico este trabajo primeramente a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

A mis padres, Gonzalo Salazar e Isabel Paredes, pilares fundamentales en mi vida quienes con su ejemplo de perseverancia, amor y comprensión han sido mi guía a lo largo de toda mi vida.

A mis hermanos Darwin y Jorge, quienes con su afecto, comprensión, consejos me han dado fortaleza para seguir adelante durante mi preparación académica.

A toda mi familia que nunca dejaron de creer en mí.

Gonzalo Salazar Paredes

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento a Dios por permitir superar obstáculos y mejorar cada día como persona.

A mis padres, por brindarme los recursos y estar siempre apoyándome y aconsejándome en todo momento.

A los ingenieros César Naranjo y Luis Mena que con su guía, paciencia y apoyo incondicional permitieron culminar el presente proyecto.

Al centro de Investigación y desarrollo de la fuerza aérea ecuatoriana por abrirnos las puertas para la realización de nuestro proyecto.

David Moreta Supe

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres, hermanos por apoyarme incondicionalmente en todo momento y a toda mi familia por estar presente en mi vida.

A los ingenieros César Naranjo y Luis Mena que con su guía, tiempo, apoyo incondicional permitieron que terminemos con éxito el proyecto, a todos los docentes que fueron parte de mi vida estudiantil.

Al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana por apoyar con la realización del proyecto y por ofrecer todas las facilidades para culminarlo.

Gonzalo Salazar Paredes

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO 1.....	1
1 MARCO TEÓRICO	1
1.1 LA AERONÁUTICA	1
1.1.1INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAS)	1
1.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PLATAFORMAS UAS.....	2
1.2.2 FUNCIONAMIENTO DE UN UAS	4
1.2.3 APLICACIONES DE LOS UAS	5
1.3 VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN LATINOAMÉRICA	5
1.4 PROYECTO AVIÓN NO TRIPULADO EN ECUADOR	7
1.4.1 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN ECUADOR.....	8
1.4.2 SUPERFICIES DE CONTROL DE VUELO DE UN UAV	10
1.4.3 SISTEMAS DE SENSORES	11

1.4.4	CLASIFICACIÓN DE LOS UAV	12
1.4.5	APLICACIONES DE LOS UAVs	14
1.4.6	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS UAVs	15
1.5	PROTOTIPO UAV-0 PELICANO	17
1.5.1	FICHA TÉCNICA UAV-0 PELICANO	18
1.6	SISTEMA DE PREVUELO	22
1.6.1	FASES DE PREVUELO	22
1.7	SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO	24
1.8	SISTEMAS DE COMUNICACIONES DEL UAV-0 PELICANO	24
1.8.1	DEFINICIÓN	24
1.9	RADIO MODEM	25
1.10	ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SISTEMA	27
1.11	DESARROLLO DEL SOFTWARE	28
1.11.1	VISUAL STUDIO C#	28
1.11.2	CARACTERÍSTICAS DE VISUAL STUDIO C#	29
1.11.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	30
1.12	BASES DE DATOS	30
1.12.1	DEFINICIÓN DE BASES DE DATOS	31
1.12.2	MICROSOFT SQL SERVER 2008	31
1.12.3	CARACTERÍSTICAS DE MICROSOFT SQL SERVER	31
1.12.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	32
1.13	INTERFAZ DE USUARIO	33
1.13.1	INTERFAZ DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO	33
1.14	INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL	34
1.15	MICROPILOTO / AUTOPILOTO	35
1.15.1	FUNCIONES MICROPILOTO	36
1.16	VARIABLES DEL MICROPILOTO	36
1.16.1	ÁNGULOS DE NAVEGACIÓN DEL UAV-0	36

1.16.2	COORDENADAS GPS DEL UAV-0	37
1.16.3	VELOCIDAD Y ALTITUD DEL UAV-0.....	38
1.16.4	TIPOS DE MANDOS.....	40
1.16.5	PORCENTAJE MOTOR	40
1.17	ACTUADORES DEL UAV-0.....	40
CAPÍTULO 2.....		41
2	DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO.....	41
2.1	ESPECIFICACIONES SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO..	41
2.2	SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	42
2.3	DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES	43
2.4	VERIFICACIÓN DE DATOS DEL UAV-0 PELICANO.....	44
2.4.1	X-CTU PARA LA RECEPCIÓN DE DATOS UAV-0.....	45
2.5	ADQUISICIÓN DE DATOS CON VISUAL STUDIO C#	47
2.5.1	MANEJO DEL PUERTO SERIE	47
2.5.2	DISEÑO DE LA INTERFAZ DE COMUNICACIÓN SERIAL	49
2.5.3	CONFIGURACIÓN DE LOS RADIOS MÓDEMS.....	51
2.5.3.1	INTERFAZ DEL RADIO MÓDEM	51
2.5.3.2	CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO	53
2.5.3.3	CONFIGURACIÓN DEL RADIO PARA COMUNICACIÓN SERIAL 54	
2.5.4	RECEPCIÓN DE DATOS	56
2.5.5	FILTRADO DE DATOS.....	57
2.5.5.1	FILTRADO DE DATOS RECIBIDOS POR EL PUERTO SERIAL .	59
2.6	ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS	60
2.7	MANEJO DE LOS INSTRUMENTOS VIRTUALES.....	62
2.7.1	FUNCIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS VIRTUALES.....	62
2.8	CONFIGURACIÓN DE LA POSICIÓN DEL UAV-0 EN EL MAPA.....	63
2.8.1	CALIBRACIÓN MAPA	63

2.8.2 INTERFAZ DE USUARIO PARA UBICAR LA POSICION DEL UAV-0	66
2.8.3 GEORREFERENCIACIÓN MAPAS.....	67
2.9 TEST SERVOMOTORES	69
2.9.1 ACONDICIONAMIENTO PARA EL TEST SERVOMOTORES.....	69
2.9.2 TRAMA DE DATOS PARA LA TRANSMISIÓN.....	71
2.9.3 CHECKSUM O SUMA DE CHEQUEO	72
2.9.4 INTERFAZ PARA REALIZAR EL TEST1 SERVOMOTORES.....	73
2.9.5 INTERFAZ PARA EL TEST2 DE LOS SERVOMOTORES.....	75
2.9.6 INTERFAZ DE TEST AUTOMÁTICO DE SERVOMOTORES.....	78
2.10 CREACIÓN DE TABLAS EN SQL SERVER Y TIPOS DE DATOS .	80
2.10.1 PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE BASE DE DATOS	82
2.10.2 CREACION DE TABLAS.....	84
2.11 CONEXIÓN VISUAL STUDIO C# Y SQL SERVER 2008.....	86
2.11.1 CONEXIÓN CON AUTENTICACIÓN DE SQL SERVER.....	86
2.12 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS EN VISUAL STUDIO C#	86
2.12.1 CONSULTA DE DATOS DEL UAV-0.....	88
CAPÍTULO 3.....	89
PRUEBAS Y RESULTADOS	89
3.1 HARDWARE	89
3.1.1 INSTALACIÓN DEL RADIO MODEM EN EL UAV-0.....	90
3.1.2 COMUNICACIÓN ENTRE LOS RADIOS MÓDEMS (TX/RX)	91
3.2 SOFTWARE.....	93
3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL PUERTO SERIAL	95
3.3 INTERFAZ DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO.....	96
3.3.1 UBICAR LA POSICIÓN DEL UAV-0 EN EL MAPA	97
3.3.2 UBICAR POSICIÓN DEL UAV-0 EN UN MAPA DIFERENTE.....	98
3.3.3 SERVOMOTORES TEST 1	100
3.3.4 SERVOMOTORES TEST 2.....	102

3.3.6 BASE DE DATOS	104
3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	106
3.4.1 ALCANCES	106
3.4.2 LIMITACIONES	107
3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO	107
CAPÍTULO 4.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
4.1 CONCLUSIONES	109
4.2 RECOMENDACIONES.....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Clasificación de UAVs	13
Tabla 1.2: Características principales del UAV-0.....	18
Tabla 1.3: Facetas de pre vuelo en una Aeronave en General.....	23
Tabla 1.4: Características de la plataforma .NET.....	29
Tabla 2.1: Variables a ser visualizadas.....	43
Tabla 2.2: Opciones principales de configuración del software X-CTU	45
Tabla 2.3: Métodos utilizados para la transmisión y recepción de datos	48
Tabla 2.4: Estructura de la trama de datos	58
Tabla 2.5: Encabezado de la trama del MICROPILOTO	58
Tabla 2.6: Fin de trama de datos especificados por el MICROPILOTO.....	59
Tabla 2.7: Especificación de la trama de datos	69
Tabla 2.8: Parámetros de configuración de la base de datos	79
Tabla 2.9: Especificaciones del menú base de datos	84
Tabla 3.1: Análisis económico del proyecto	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribución de los elementos en un UAS.....	3
Figura 1.2: Elementos que componen un UAS.....	5
Figura 1.3: Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV).....	9
Figura 1.4: Superficies de control de vuelo.....	11
Figura 1.5: Arquitectura General de la clasificación de los UAVs.....	13
Figura 1.6: Diagrama de bloques del UAV-0 PELICANO.....	17
Figura 1.7: Estructura del ala del UAV-0 Pelicano.....	19
Figura 1.8: Tren de Aterrizaje del UAV-0 Pelicano.....	20
Figura 1.9: Motor UAV.....	21
Figura 1.10. Diagrama del sistema de energía del UAV-0 Pelicano.....	21
Figura 1.11: Faces de Prevuelo en una Aeronave en General.....	22
Figura 1.12: Estructura general del sistema de comunicación del UAV-0.....	25
Figura 1.13: Radio de Radioenlace.....	25
Figura 1.14: Visual Studio 2010.....	27
Figura 1.15: Ventana de interfaz realiza en Visual Studio C#.....	32
Figura 1.16: Diagrama de bloques del MICROPILOTO (UAV-0 PELICANO).....	34
Figura 1.17: Sensor Inercial.....	35
Figura 1.18: Sensor Airspeed.....	37
Figura 1.19: Sensor Altímetro.....	38
Figura 1.20: Servomotor.....	38
Figura 2.1: Pantalla principal del software de configuración X-CTU.....	43
Figura 2.2: Configuración de parámetros para comunicación serial.....	44
Figura 2.3: Inicialización del micropilo.....	45
Figura 2.4: Flujo de datos micropiloto.....	45
Figura 2.5: Interfaz gráfica para la configuración del puerto serial.....	48
Figura 2.6: Diagrama de flujo para la configuración del puerto serial.....	49
Figura 2.7: Vista frontal del radio modem.....	50
Figura 2.8: Parte posterior del radio modem.....	51
Figura 2.9: Configuración DIP Switch.....	51

Figura 2.10: Configuración DIP Switch RS-232	53
Figura 2.11: Test de reconocimiento del radio modem	53
Figura 2.12: Velocidad para la comunicación entre radio módems.....	54
Figura 2.13: Range Test para verificar la comunicación entre radio módems	55
Figura 2.14: Interfaz para la recepción de datos seriales	55
Figura 2.15: Trama de datos.....	58
Figura 2.16: Filtrado de datos	58
Figura 2.17: Acondicionamiento del porcentaje de aceleración del motor	58
Figura 2.18: Diagrama de bloques para la rotación de imágenes.....	60
Figura 2.19: Mapa topográfico digital de la provincia de Tungurahua.....	61
Figura 2.20: Interfaz de usuario para indicar la posición del UAV-0	64
Figura 2.21: Diagrama de Flujo para dibujar la posición UAV-0	65
Figura 2.22: Configuración de los parámetros de un mapa topográfico digital	66
Figura 2.23: Funcionamiento general del test manual	67
Figura 2.24: Gráfica de acondicionamiento para los servomotores	67
Figura 2.25: Trama de datos para la transmisión de datos	69
Figura 2.26: Representación del cálculo checksum.....	70
Figura 2.27: Diseño de la interfaz para realizar el test manual	71
Figura 2.28: Trama de datos para realizar el test manual.....	72
Figura 2.29: Trama de datos del test manual	72
Figura 2.30: Proceso del Test acelerador	73
Figura 2.31: Procedimiento Test Alerón.....	74
Figura 2.32: Funcionamiento del Test timón.....	75
Figura 2.33: Proceso del test elevador	75
Figura 2.34: Ventana del test automático de los servos	76
Figura 2.35: Diagrama de flujo para realizar el test automático	77
Figura 2.36: Creación de una base de datos en SQL server	78
Figura 2.37: Venta para la configuración de la base de datos	79
Figura 2.38: Ventana para el crecimiento de nuestra base de datos	80
Figura 2.39: Base de datos UAV-0	81

Figura 2.40: Creación de una nueva tabla	82
Figura 2.41: Tabla creada para los datos del UAV-0	82
Figura 2.42: Ventana de la Base de datos del UAV-0.....	84
Figura 3.1: Sistema de Comunicación del UAV-0.....	86
Figura 3.2: Instalación del radio modem	87
Figura 3.3: Conexión del radio modem al computador	88
Figura 3.4: Ventana Range Test.....	89
Figura 3.5: Ventana del estado de transmisión entre los radios	89
Figura 3.6: Ejecución del proyecto sistema de prevuelo.....	90
Figura 3.7: Interfaz del programa a ejecutar	91
Figura 3.8: Interfaz del sistema electrónico de prevuelo.....	92
Figura 3.9: Configuración del puerto serial	93
Figura 3.10: Recepción de datos del UAV-0.....	93
Figura 3.11: Ubicación de la aeronave dentro del mapa.....	94
Figura 3.12: Puntos de coordenadas del nuevo mapa digital	95
Figura 3.13: Ubicación de la aeronave dentro del mapa.....	95
Figura 3.14: Test 1 Servos.....	96
Figura 3.15: Comprobación de los servomotores de los alerones	96
Figura 3.16: Comprobación del servomotor del timón	97
Figura 3.17: Comprobación del servomotor del elevador	97
Figura 3.18: Comprobación del servomotor del acelerador	98
Figura 3.19: Iniciando Servos Test 2	98
Figura 3.20: Finalizando Servos Test 2	99
Figura 3.21: Estado de los sensores del UAV-0	100
Figura 3.22: Ventana para realizar la consulta de datos.....	101
Figura 3.23: Consulta de datos almacenados en SQL server.....	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

$y = mx + b$ Ecuación (1.1).....	59
$y = -0.0382262 * x + 165.37184$ Ecuación (1.2).....	59
$longpixelesrad = \# pixelhorizontal * longP1rad - longP2rad$ Ecuación (1.3) ...	62
$x = longpixelesrad * longP1rad - \Delta longUAV$ Ecuación (1.4).....	62
$latpixelesrad = \# pixelvertical * latP2rad - latP1(rad)$ Ecuación (1.5)	62
$y = latpixelesrad * \Delta latUAV - latP1rad$ Ecuación (1.6).....	62
$y = mx + b$ Ecuación (1.7).....	68
$Checksum = 1byte \ xor \ 2byte \ xor \ 3byte \ xor \ 4byte \ xor \ 5byte \ xor \ 6byte \ xor \ 7byte \ xor \ 8byte$ Ecuación (1.8)	70

RESUMEN

El proyecto trata acerca del diseño e implementación de un sistema electrónico de prevuelo para el autopiloto pelicano para alcanzar este objetivo se utilizó radios módems los cuales establecen una comunicación inalámbrica entre la computadora con el UAV-0, para el procesamiento, adquisición, monitoreo, comprobación del estado de las superficies de control de vuelo del UAV se utilizó Visual Studio C#.

Para el almacenamiento de los datos de los sensores del UAV-0 se lo realizó con SQL Server, con el desarrollo de éste sistema de prevuelo se garantizará que el UAV-0 Pelicano se encuentre optimo para las tareas de vuelo programadas, reduciendo considerablemente los riesgos durante el período de vuelo.

Un extra que tiene el sistema de prevuelo es que dispone de un instalador, con esto se consigue que el usuario pueda usarlo fácilmente desde cualquier computador.

Al contar con un instalador se garantiza que el usuario no tenga acceso al código del programa, con esto se consigue evitar que el usuario pudiera hacer cambios en el código de programación provocando que el programa pierda sus características o deje de funcionar.

PALABRAS CLAVE: INSTRUMENTOS DE AVIÓNICA / RADIOS MÓDEM / FACES DE PREVUELO / SQL SERVER / VISUAL STUDIO C# / UAV .

ABSTRACT

The project deals with the design and implementation of an electronic system for the pelican preflight autopilot to achieve this goal radios modems which establish wireless communication between the computer with the UAV-0, processing, acquisition, monitoring, testing was used the status of the flight control surfaces of the UAV was used Visual Studio C #.

For storage of sensor data UAV was performed it with SQL Server, with the development of this system preflight will ensure that the UAV-0 Pelicano is found optimal for tasks scheduled flight, greatly reducing risks during the flight period.

An extra that has the preflight system is that it has an installer with this achieved that the user can easily use it from any computer.

Having an installer ensures that the user does not have access to the program code, this is achieved by preventing the user may make changes to the program code causing the program to lose its characteristics or inoperable.

KEYWORDS: AVIONICS INSTRUMENTS / RADIO MODEM / FACES OF PRE-FLIGHT / SQL SERVER / VISUAL STUDIO C # / UAV.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 LA AERONÁUTICA

1.1.1 INTRODUCCIÓN

La aeronáutica es aquella disciplina que se ocupa del estudio, el diseño y la manufactura de los aparatos mecánicos capaces de volar, y por otra parte, también, se ocupa del conjunto de técnicas que facilitan el control de una aeronave.

En Ecuador, La Fuerza Aérea Ecuatoriana bajo su proyección visionaria de liderar el desarrollo tecnológico en el campo de la aviación y con el auspicio del Ministerio de Defensa Nacional decidió diseñar y construir un Sistema de Vigilancia y Reconocimiento con aeronaves autónomas no tripuladas (UAV) de aplicaciones tácticas, con capacidad de comunicación por medio de un enlace de la estación de mando y control en tierra (EMCT), para cumplir misiones de vigilancia, reconocimiento y transmisión de datos en tiempo real.

La unidad científica élite encargada de desarrollar este proyecto tecnológico es el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea (CIDFAE), el mismo que operando desde el Aeropuerto Chachoán de la ciudad de Ambato, cuenta con personal altamente capacitado en liderar procesos técnicos especializados en aerodinámica, propulsión, estructuras, materiales compuestos, adquisición de datos, telemática, control guiado, y navegación, entre otros[1].

1.2 SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAS)

Un Sistema Aéreo no Tripulado (UAS) puede definirse como aquel compuesto por uno o más vehículos aéreos no tripulados (UAV) y todos aquellos elementos necesarios para su operación, como estación(es) de control, sistema de comunicaciones, sistema de lanzamiento y recuperación, etc.[2]

En los últimos 4 años, los Sistemas Aéreos No Tripulados 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 [3].

Los UAS constituyen el nuevo paso en el avance aeronáutico que permitirá reducir el costo de la gestión de seguridad e impulsar las aplicaciones de nuevas tecnologías que se encuentran dispersas en otros sectores. Por ello, es necesario ampliar el área aeronáutica no solo para actividades militares sino también para actividades civiles, para brindar un entorno más amplio del tráfico aéreo en general y explotar todos los beneficios que dan las nuevas tecnologías.

1.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PLATAFORMAS UAS

Los elementos de un sistema UAS genérico se muestran en la Figura 1.1.

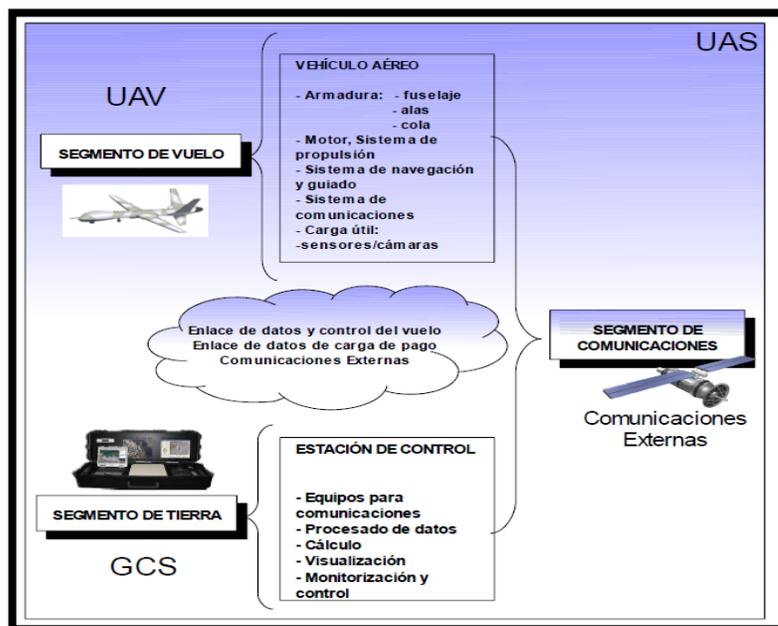


Figura 1.1: Distribución de los elementos en un UAS. [4]

Se puede observar que los elementos se encuentran distribuidos en tres segmentos diferentes:

Segmento de vuelo: Compuesto por el UAV y sus elementos abordo.

- Estructura: Existen varios tipos: helicópteros, aviones, etc. de diferentes capacidades de vuelo.
- Planta de potencia: Sistema de propulsión. Existen motores eléctricos, de combustión, etc. de diferentes capacidades.
- Sistema de navegación: Piloto automático utilizado para comandar y controlar la aeronave.
- Sistema de comunicaciones: Antenas de radiofrecuencia y/o GPS para establecer el enlace con la estación de control.
- Carga útil: Como cámaras de infrarrojos, sensores, etc.

Segmento de tierra: Compuesto por la Estación de Control en Tierra "Ground Control Station" (GCS).

- Antenas: Se utiliza para establecer el enlace de comunicaciones con la aeronave.
- Ordenador: Se utiliza para la visualización y monitorización del vuelo a través del software instalado.
- Controles de vuelo: El propio ordenador otros mandos de vuelo de control remoto, joysticks, etc.
- Monitoreo de carga útil: Equipos para controlar la carga de pago a bordo de la aeronave.

Segmento de Comunicaciones: Puede ser externo a la plataforma en el caso de utilizar servicios de comunicaciones externos o interno en el caso de utilizar tecnología “Wifi”, “zigbee”, etc.

Cada uno de estos segmentos, de diferente naturaleza, juega un papel muy importante en la arquitectura de un UAS. Por ejemplo, en el caso de no contar con servicios de comunicaciones externos, el segmento de comunicaciones quedaría definido a través de los elementos que componen los dos segmentos restantes.

1.2.2 FUNCIONAMIENTO DE UN UAS

De forma genérica podemos decir que un sistema aéreo autónomo está compuesto por una estación tierra (GS), un sistema de comunicaciones y un elemento aéreo, como se muestra en la Figura 1.2.[5].

El funcionamiento del sistema se basa en que un operador en la estación tierra dirige a través de un enlace de datos (Data link) la operación de la aeronave basándose en la información que ésta le transmite a través de sus sensores.

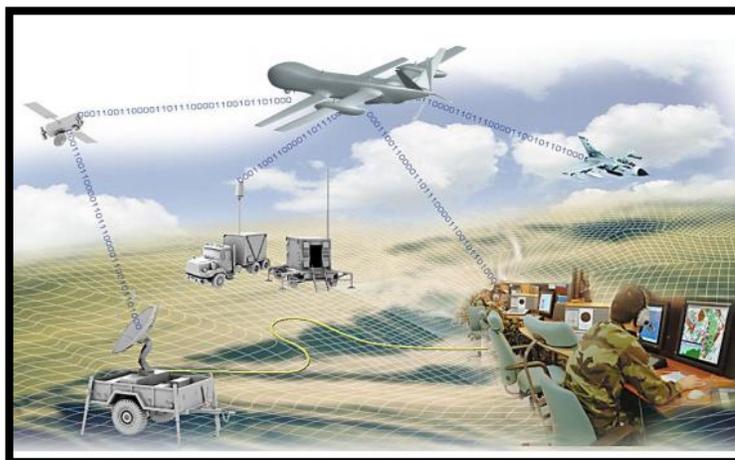


Figura 1.2: Elementos que componen un UAS. [6]

1.2.3 APLICACIONES DE LOS UAS

Los UAS tienen un gran potencial en áreas muy diversas, diseñada para todas sus necesidades y aplicaciones entre las cuales tenemos.

Aplicaciones Militares:

- Tarea de Inteligencia.
- Vigilancia.
- Adquisición de Objetivos y Reconocimiento.

Aplicaciones Civiles

- Fuerzas de seguridad.
- Organismos públicos de gestión de emergencias y del medio ambiente.
- Grandes empresas de los sectores de la energía y las telecomunicaciones.
- Centros de investigación, etc.

1.3 VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN LATINOAMÉRICA

En América Latina, al menos ocho países cuentan con aviones no tripulados.

Brasil ha liderado la adquisición y manufactura de sistemas aéreos no tripulados en América Latina. Cuenta con dos aviones no tripulados Hermes de

origen israelí, y en 2010 gastó 350 millones de dólares en la adquisición de 14 aviones israelíes no tripulados Herón, que serán entregados en el curso de los próximos cuatro años. Además ha suscrito acuerdos de fabricación conjunta con firmas israelíes para producir estos sistemas localmente.

La mayor parte de su uso corresponde a vuelos de inspección a lo largo de las extensas fronteras del país.

En cuanto a Bolivia está adquiriendo UAV israelíes para utilizarlos en la detección de tráfico de drogas. Este país también ha trabajado con Brasil en el uso de aviones no tripulados para detectar plantaciones ilegales de coca.

Venezuela, por su parte, cuenta con dos aviones no tripulados iraníes Mohajer y, con ayuda de Irán, Rusia y China, ha desarrollado la capacidad de manufacturar UAV en su compañía militar-industrial, Cavim. Este país ha anunciado su propósito de usar estos aviones para defensa, vuelos de reconocimiento y monitoreo de ductos, bosques y carreteras.

Argentina, México y Perú han desarrollado sus propios programas de UAV. Además de los esfuerzos para detectar las actividades de organizaciones criminales, el estudio afirma que México también quiere UAV tácticos para usarlos en misiones de seguridad nacional y para su Marina.

Colombia ha empezado un programa para desarrollar aviones no tripulados, invirtiendo más de 14 millones de dólares en 2012 y está invirtiendo hasta 50 millones en UAV israelíes Hermes. Los Estados Unidos proporcionaron a Colombia capacidades para utilizar aviones no tripulados durante una crisis de rehenes que involucraba a ciudadanos estadounidenses en 2006, y desde entonces Colombia ha mantenido negociaciones con los EEUU para adquirirlos.

Chile también ha adquirido UAV de Israel y ha dado los primeros pasos en la fabricación de sus propios aviones no tripulados. Este país se propone contar con

18 UAVs para el equipamiento de su Fuerza Aérea, principalmente con la función de patrullar las fronteras con Perú y Bolivia. Ecuador y Uruguay también han iniciado programas que emplean UAV.

Finalmente la mayoría de la tecnología UAV, en rápida evolución en América Latina, está orientada a fines de defensa, acciones de detección y monitoreo de actividades criminales, además de fines relacionados con la agricultura y el medio ambiente.[7]

1.4 PROYECTO AVIÓN NO TRIPULADO EN ECUADOR

El 10 de julio de 2008, se inició el Proyecto Plataforma de Gran Altitud (PGA) pionero en el desarrollo aeroespacial del Ecuador.

Partiendo de las capacidades y experiencias adquiridas en el desarrollo del proyecto PGA, el CIDFAE continúa desarrollando el proyecto detección, observación, comunicación, reconocimiento, establecido como un proyecto emblemático dentro del sector seguridad.

Este proyecto, auspiciado por el Ministerio de Defensa, establece el diseño y construcción de un Sistema de Vigilancia y Reconocimiento con tres componentes principales.

El primer componente de dicho proyecto es desarrollado por la Fuerza Aérea Ecuatoriana a través del CIDFAE. Este componente es un Prototipo de Aeronave No Tripulada (UAV), táctica, autónoma y enlazada a una Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT) con capacidad de cumplir misiones de vigilancia y reconocimiento y enviar información en tiempo real.

Durante la parte inicial del proyecto UAV se desarrollan los diseños de los múltiples sistemas de la aeronave como son piloto automático, instrumentación

virtual, comunicaciones, entre otros. Estos sistemas son simulados antes de realizar el desarrollo físico de los componentes. Posteriormente son probados en el laboratorio y funcionalmente para establecer correcciones y actualizaciones necesarias.

Finalizada esta fase, todos los sistemas son instalados tanto en la Aeronave como en la Estación de Mando y Control para las pruebas de integración.

El desarrollo de la aeronave incluye los modelos aerodinámicos y de estructuras para que el UAV cumpla los requerimientos del proyecto. Al momento se ha diseñado y validado la denominada UAV-0, aeronave de prueba y demostración. El UAV-1, bautizado como Fénix, es una aeronave que posee capacidades de aterrizaje, despegue y vuelo automático, así como transmisión en tiempo real del video de un sistema electroóptico. El prototipo final UAV-2, denominado Gavilán, cuenta con capacidades de aterrizaje, despegue y vuelo automático, transmisión de video en tiempo real desde un sistema electroóptico, largo alcance en rangos de operación y gran autonomía de vuelo.

De esta manera, el CIDFAE se proyecta en el segundo milenio como una institución de élite en el campo de la investigación y desarrollo aeroespacial, cumpliendo con su misión de apoyar el desarrollo, las operaciones y contribuir a la misión de la Fuerza Aérea.

El desarrollo de aviones no tripulados en Ecuador, traerá grandes beneficios a la población en virtud que se dispondrá de aeronaves de bajo costo que pueden operar en cualquier lugar del territorio nacional, realizando vigilancia aérea, con posibilidad de transmitir video en tiempo real, dentro del rango del enlace de datos[8].

1.4.1 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN ECUADOR

Un vehículo aéreo no tripulado (UAV), por las siglas en inglés de Unmanned Aerial Vehicle, conocido también como Drones, es una aeronave que vuela sin tripulación.

Es un vehículo controlado autónomamente o desde tierra utilizando planes de vuelo programados.

Los UAVs continúan siendo el sector de mayor crecimiento en la Industria Aero Espacial mundial. Se estima que en los próximos 8 años (2022) los vehículos aéreos no tripulados conformarán un sector de más de 63.000 millones de euros. Estados Unidos sigue siendo la fuerza impulsora del sector, gastará hasta el 2021 en torno a 13.700 millones de dólares en la compra de UAS, y además invertirá unos 11.600 millones de dólares en distintos programas de investigación. En la Figura 1.3 se puede observar un Vehículo Aéreo no Tripulado [9].



Figura 1.3: Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV). [10]

1.4.2 SUPERFICIES DE CONTROL DE VUELO DE UN UAV

En el libro Vehículos Aéreos no tripulados escrito por Miguel Ángel Silva 1991 se menciona que un sistema de UAVs puede estar integrado por los siguientes componentes:

Las superficies de control son partes o prolongaciones de las alas, cola o estabilizador vertical del avión que permiten controlar los momentos en torno a cada eje, y por lo tanto, guiar al avión y estabilizarlo en caso de ser necesario.

En vuelo, cualquier aeronave gira alrededor de su centro de gravedad un punto que es la posición media de la masa de la aeronave. En este centro de gravedad sale un sistema de tres coordenadas tridimensional con cada eje de este sistema de coordenadas perpendicular a los otros dos ejes. 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.

La rotación de un avión depende de las superficies de control de vuelo la que se puede apreciar en la Figura 1.4.

Las superficies más utilizadas son las siguientes:

- Alerones: Ubicados sobre el eje X el cual se realiza el control de Roll, esto hace que el avión cambie su trayectoria de vuelo girando sobre su eje X hacia la derecha o izquierda dependiendo de la posición de los alerones.
- Elevador: Esta superficie de control está ubicada en la parte posterior del estabilizador horizontal, en el eje Y en donde se realiza el control de pitch, el cual ayuda a la estabilización horizontal del avión.
- Timón: Se encuentra en el eje Z en donde se realiza el control de Yaw. El timón es la superficie de control ubicada en la parte trasera del estabilizador vertical, la cual ayuda a la estabilización vertical del avión [11].

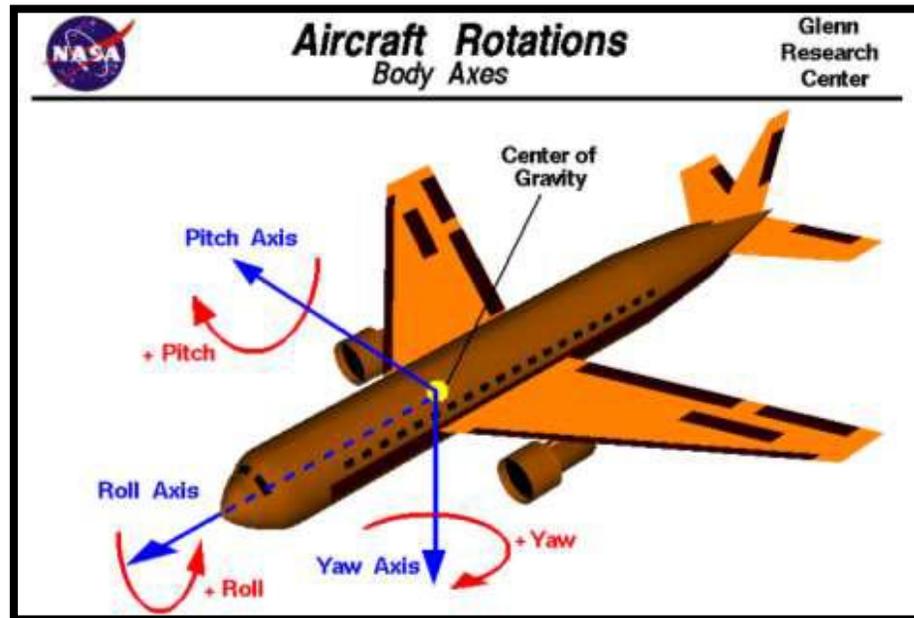


Figura 1.4: Superficies de control de vuelo. [12]

1.4.3 SISTEMAS DE SENSORES

Sistemas de sensores más utilizados en la actualidad, en la mayoría de los aviones y en los UAVs de grandes aplicaciones son:

- Tubo de Pitot: Es un instrumento que permite medir la rapidez que lleva el avión con respecto al aire que lo circunda.
- Altímetro: Es un instrumento que estima la altitud del avión.
- Giroscopio direccional: Similar al horizonte artificial, este giroscopio apunta en una dirección independiente de los movimientos del avión, lo cual permite fijar su rumbo, este es un sistema de navegación inercial.
- Sistemas de navegación radial: Son mecanismos electrónicos desarrollados para facilitar las tareas de navegación.
- Sistemas de navegación satelital: Son aquellos sistemas de navegación por ondas de radio que tienen sus estaciones orbitando en el espacio. Existen varios de estos sistemas, aunque el más conocido es el GPS o

sistema de posicionamiento global desarrollado por los Estados Unidos. El más típico de los sistemas de control en los aviones es el piloto automático, que utiliza giroscopios para medir el rumbo del avión, y servomecanismos para mantenerlo en caso de existir desviaciones.

1.4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS UAV

Según el tipo de control del UAV, éstos se clasifican en:

- **Autónomo:** Modo de control de un UAV donde se espera que el vehículo realice su misión dentro del ámbito programado, con sólo un monitoreo desde tierra. El modo de control incluye la operación automática completa, funciones autónomas (despegue, aterrizaje, evitación de colisiones, etc.) y operación inteligente.
- **Semi-autónomo:** Modo de control de un UAV donde el piloto realiza cambios y conduce la misión a través de una interfaz de administración del vuelo. Sin esta información el UAV realizará operaciones automáticas pre-programadas. Puede o no incluir algunas funciones completamente autónomas (despegue, aterrizaje, evitación de colisiones, etc.).
- **Remoto:** La totalidad del control del vehículo se realiza remotamente.

Según la altitud y autonomía del UAV, éstos se dividen en:

- Baja altitud, autonomía alta.
- Altitud media (MALE)
- Alta altitud (HALE)

Según el tamaño y peso del UAV, éstos se dividen en:

- **Micro UAV.** Tampoco existe una definición estándar, pero el peso de los UAVs denominados bajo el adjetivo micro suelen tener un peso inferior a 1Kg.

- Mini UAV. Sin existir una definición estándar, los UAVs del mercado denominados mini UAV tienen un peso entre 1-20Kg.

Según el uso y el diseño del UAV, éstos se clasifican en:

- Blanco: simula un avión o un misil enemigo.
- Reconocimiento: abastece inteligencia en el campo de batalla.
- Combate: proporciona capacidad de ataque en misiones de riesgo elevado.
- Investigación y desarrollo: desarrolla tecnología.
- Civil y comercial: aeronaves destinadas a realizar aplicaciones civiles y ser comercializados.

A continuación en la Figura 1.5 se muestra la arquitectura general de la clasificación de los UAVs.

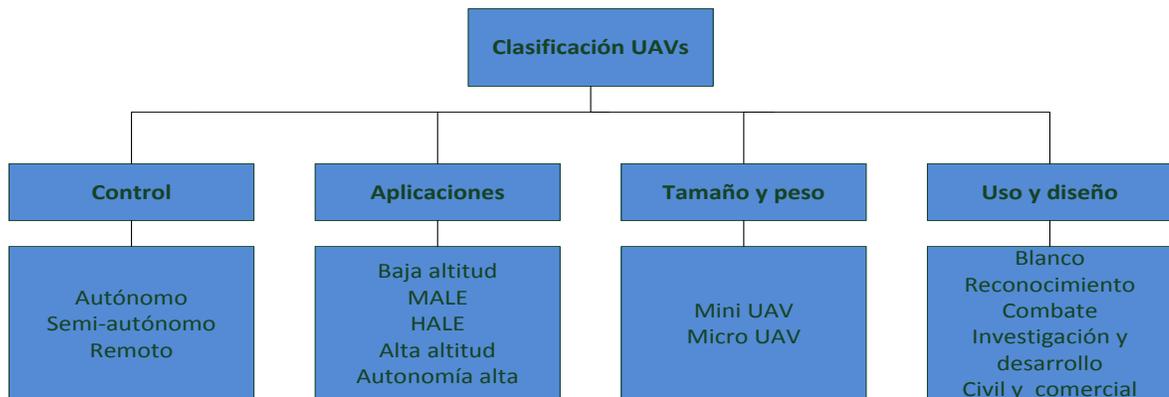


Figura 1.5: Arquitectura General de la clasificación de los UAVs

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

A continuación se indica un resumen de la clasificación de los UAVs en la siguiente Tabla 1.1

Tabla 1.1: Clasificación de UAVs

Categoría	Acrónimo	Alcance (km)	Altitud de vuelo (m)	Autonomía (horas)	Carga máxima en despegue (kg)	Tipo de aeronave
Micro	μ(Micro)	< 10	250	1	< 5	H,A,otros
Mini	Mini	< 10	150 a 300	< 2	< 30	H,A, P, Otros
Alcance cercano	CR	10 a 30	3.000	2 a 4	150	H,A,P,Otros
Alcance corto	SR	30 a 70	3.000	3 a 6	200	A,Otros
Alcance medio	MR	70 a 200	5.000	6 a 10	1.250	A, Otros
Altitud baja Penetración profunda	LADP	> 250	50 a 9.000	0,5 a 1	350	A
Autonomía media	MRE	> 500	8.000	10 a 18	1.250	A,H
Autonomía alta Altitud baja	LALE	> 500	3.000	> 24	< 30	A
Autonomía alta Altitud media	MALE	> 500	14.000	24 a 48	1.500	A,H
Autonomía alta Altitud alta	HALE	> 2000	20.000	24 a 48	12.000	A
Combate	UCAV	aprox. 1500	10.000	aprox. 2	10.000	H,A
Ofensivo	LETH	300	4.000	3 a 4	250	A
Señuelo	DEC	0 a 500	5.000	< 4	250	A,H
Estratosférico	STRATO	> 2000	Entre 20.000 y 30.000	> 48	ND (no disponible)	A
Exo-estratosférico	EXO	ND	> 30.000	ND	ND	A

Fuente:[13]

1.4.5 APLICACIONES DE LOS UAVs

Los UAVs tienen un gran potencial en áreas muy diversas, como se indican a continuación[14].

Aplicaciones militares: Las misiones típicas asignadas a las plataformas no tripuladas dentro del campo militar, son:

- Inteligencia de imágenes y señales.
- Vigilancia y reconocimiento.
- Adquisición de objetivos.
- Soporte de artillería, relé de comunicaciones y guerra electrónica.
- Misiones ofensivas.
- Supresión de defensa aérea enemiga.
- Apoyo aéreo cercano.

- Bombarderos de precisión e iluminación de blancos en misiones de alto riesgo.

Aplicaciones civiles: Entre las principales aplicaciones civiles de los UAVs encontramos:

- Control de tráfico e inspección de carreteras, vías y líneas de transporte en general.
- Misiones de control de narcotráfico, misiones de búsqueda policial, fronteras y terrorismo.
- Topografía: Fotografía aérea con realización de mapas y deslinde de fincas (uso catastral).
- Control de cosechas, agricultura y paisaje (estudio de suelos).
- Investigación del entorno ecológico y meteorológico: cambio climático, catástrofes naturales y seguimiento.
- Localización de accidentes en lugares de difícil acceso.
- Gestión de crisis originadas por desastres naturales, como inundaciones o terremotos.
- Seguimiento de movimientos migratorios, recuento de animales, plagas y detección de bancos de pesca.
- Rápida detección de incendios y el seguimiento de su evolución.
- Inspección de líneas eléctricas de alto voltaje.
- Comunicaciones de telefonía móvil e Internet.

1.4.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS UAVs

A continuación se indican las ventajas y desventajas que tienen los UAVs [15].

Ventajas

Los beneficios de este tipo de aeronaves pueden resumirse según los siguientes aspectos:

- No arriesgan vidas humanas en cualquiera de sus aplicaciones.
- No están limitados por las capacidades humanas en cuanto a aceleraciones ni tiempos de misión.
- No están sujetos a ninguna necesidad ergonómica, el espacio de la cabina de mando puede ser utilizada para albergar todo tipo de sistemas de comunicación, control u operación.
- Fácil y rápido despliegue en misión.
- Operación en tiempo real a nivel táctico, operacional y estratégico.
- Reducen el tiempo de entrenamiento.
- Adaptabilidad a diversos cometidos gracias a sus cargas útiles modulares.
- Gran maniobrabilidad y poder de acceso a sitios inaccesibles para vehículos tripulados.
- Menor impacto ambiental tanto de contaminación (menores emisiones de ruido).
- Menor coste de mantenimiento y elevada relación costo/eficiencia.
- Elevada movilidad, discreción.

Desventajas

A pesar del elevado número de ventajas que presenta la utilización de sistemas UAVs tanto en el rango militar como en el civil, también se ha de mencionar sus principales límites, problemas y carencias que tienen hoy en día y que habrá que ir solventando.

- Dependencia de las estaciones de Tierra (dependiendo de su grado de autonomía).
- Vulnerabilidad y limitada capacidad de autodefensa.
- Limitaciones de peso y volumen de los equipos a bordo.
- Problema de interceptación de comunicaciones (solucionada mediante criptografía y cifrado de las comunicaciones).
- Dificultad de integración en el espacio aéreo.

1.5 PROTOTIPO UAV-0 PELICANO

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 kilómetros de altura y velocidad máxima 65 kilómetros por hora.

En la Figura 1.6 se puede observar el diagrama de bloques que conforma el UAV-0 PELICANO.

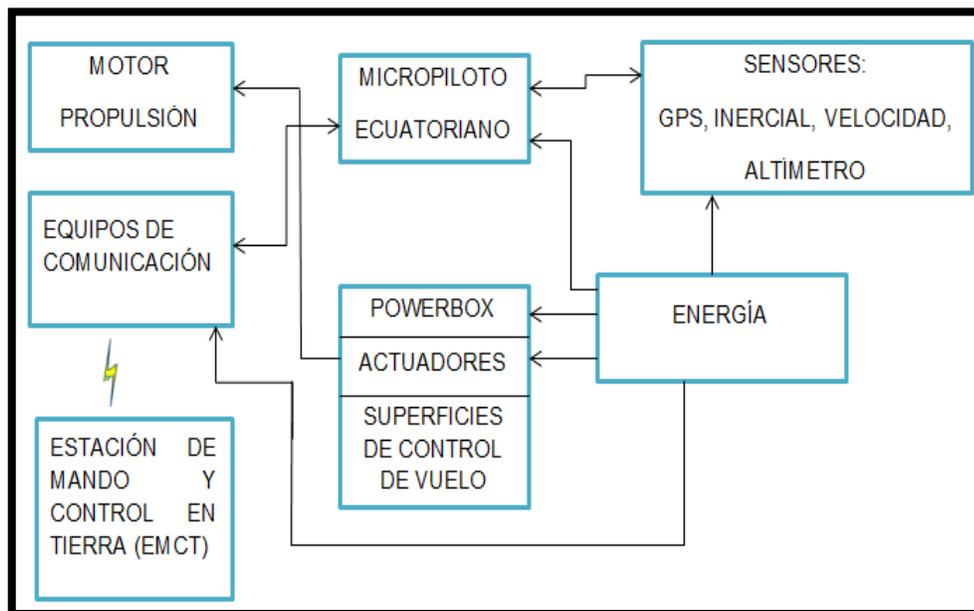


Figura 1.6: Diagrama de bloques del UAV-0 PELICANO
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

1.5.1 FICHA TÉCNICA UAV-0 PELICANO

Aeronave no tripulada de corto alcance, en la Tabla 1.2 se indican las características principales del UAV-0 PELICANO.

De acuerdo a la ficha técnica comparando con la tabla Tabla1.1 Clasificación de UAVs se puede establecer que el UAV-0 es de corto alcance.

Tabla1.2: 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	90 m

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

1. Sistemas y Equipos de Abordo:

Sistema de Vuelo Manual/Automático

- Piloto Automático.
- Receptor GPS
- Plataforma Inercial.
- Sensor de Velocidad.
- Sensor de Altitud.
- Sistema de Energía.
- Motor de Propulsión.
- Datalink.
- Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT).

Telemetría de Datos en Línea:

- Posición geográfica.
- Ejes principales de vuelo (Roll, Pitch, Yaw).
- Velocidad Pitot.
- Altitud Diferencial.
- Altitud GPS.
- Porcentaje Motor.
- Manual /Automático.

El ala contienen de una viga principal y una secundaria y varias costillas, la viga principal es la que soportará mayores esfuerzos, mientras que la viga secundaria es de menor importancia esta ayuda a mantener la forma del ala de los aviones, las costillas también tienen como misión conformar el ala en el perfil adoptado por el diseño. La construcción de flaps y alerones están construidos con alma de balsa debido a que en estas partes irán ubicados los servos que darán movimiento a los planos móviles. En la Figura 1.7 se indica el ala del UAV-0 Pelicano.



Figura 1.7: Estructura del ala del UAV-0 Pelicano
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2. Tren de Aterrizaje:

El tren principal fabricado con material de acero está ubicado en el fuselaje de la aeronave, es de tipo tren de nariz con una rueda delantera, como se indica en la Figura 1.8.



Figura 1.8: Tren de Aterrizaje del UAV-0 Pelicano

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3. Rack de aviónica:

Concentra todo el equipamiento electrónico de la aeronave, a excepción de la carga útil:

- Piloto Automático
- Central de energía
- Transmisor Radio Frecuencia

4. Sistema de Combustible:

- Tanque de combustible aeronáutico
- Doble sistema de filtrado de combustible

5. Planta Motriz:

- Motor UAV (ver Figura 1.9)

- Hélices (madera – aluminio - acero)
- Asentado y probado en banco
- Refrigerado por aire



Figura 1.9: Motor UAV. [16]

6. Sistema de energía:

El sistema de energía Figura 1.10 del prototipo UAV-0 Pelicano está conformado por el banco de baterías el cual proporciona el potencial eléctrico a todas las cargas de las diferentes áreas que se encuentran operando en el UAV-0.

- Banco de Baterías de 12 Vdc: Suministra energía a los equipos de comunicaciones, Micro Piloto.
- Banco de Baterías de 6 Vdc: Suministra energía a los equipos de Guiado Navegación y Control (GNC), PowerBox y Actuadores.

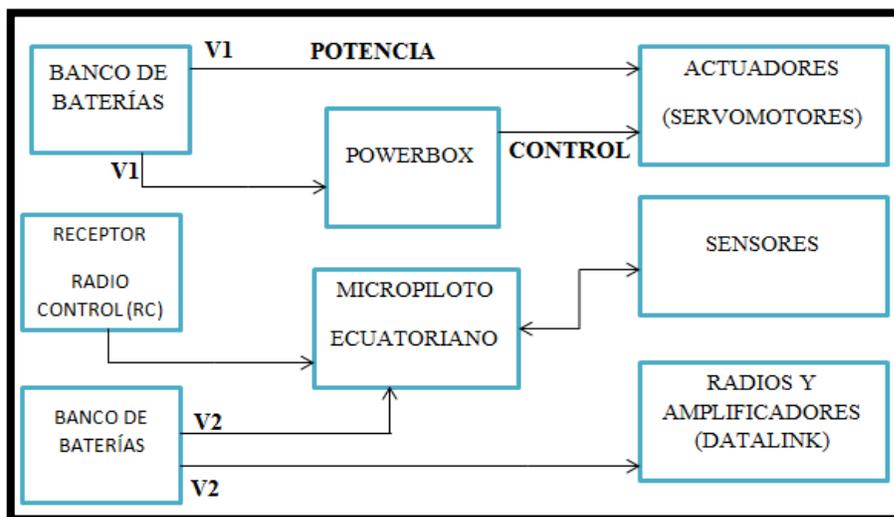


Figura 1.10. Diagrama del sistema de energía del UAV-0 Pelicano

Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

1.6 SISTEMA DE PREVUELO

Un sistema de prevuelo es un chequeo de las variables, planos de vuelo, motor, estado de fuselaje de una aeronave no tripulada.

El objetivo de esta operación es determinar las condiciones de operación de la aeronave y este se encuentre en un estado adecuado para realizar un vuelo seguro.

1.6.1 FASES DE PREVUELO

Antes de empezar el primer vuelo, se debe cumplir una serie de procedimientos para determinar que la aeronave que va a despegar, se encuentra en condiciones de vuelo con la máxima seguridad [17].

En general casi en todas las aeronaves se realizan las mismas tareas de chequeo de prevuelo, dependiendo del modelo y de su aplicación los chequeos cambian, en la Figura 1.11 se indica las fases que se deben seguir y en la Tabla 1.3 se detalla cada una de las fases.

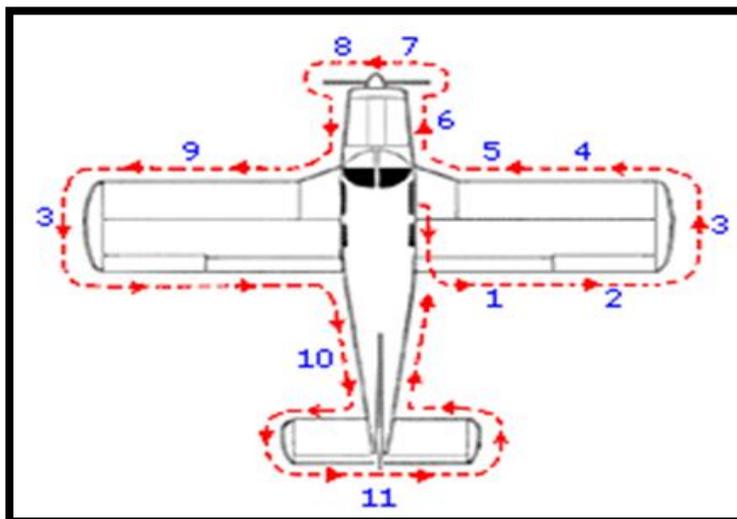


Figura 1.11: Fases de Prevuelo en una Aeronave en General. [18]

Tabla 1.3: Facas de Prevuelo en una Aeronave en General

Facas	Descripción	Facas	Descripción
1	Flaps. Las bisagras y varillas que los mueven no deben tener holgura.	7	Hélice. La hélice no debe tener melladuras, grietas o fisuras. Manejarla con cuidado, como si estuviera "viva".
2	Alerones. Deben moverse sin ningún impedimento. Chequear bisagras sin holgura.	8	Rueda de morro y otros. Chequear que la rueda de morro tiene la cubierta en buen estado y una presión de inflado adecuada.
3	Extremo del ala. Inspeccionar su estado, comprobando además las luces de navegación y anticolisión.	9	Ala izquierda. La misma inspección que en el ala derecha. Si el tubo pitot está en este, comprobar que no está obstruido, no soplarlo.
4	Rueda del tren. Debe tener la cubierta en buen estado y una presión de inflado correcta. No debe presentar huellas de fuga del líquido de frenos.	10	Fuselaje. Inspeccionar la condición general del fuselaje, que todas las antenas estén bien fijadas y los paneles o puertas de acceso de equipaje bien cerradas.
			Continúa 

5	Combustible. Abrir el tapón del depósito de combustible y verificar de forma visual la cantidad.	11	Cola. Los estabilizadores y superficies de control deben estar en buenas condiciones, libres de daños.
6	Motor. Abrir la cubierta del motor y comprobar. Sacar la varilla del nivel de aceite, y comprobar que marca una cantidad entre los números o marcas que representan máximo y mínimo. Si hay que rellenar, utilizar el aceite específico.		

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

1.7 SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO

Con el objetivo de optimizar las tareas de prevuelo del UAV-0 Pelicano, para garantizar que las condiciones del mismo sean las correctas, surge la necesidad de utilizar un sistema electrónico de prevuelo que contribuya a las tareas de prevuelo y que sean realizadas con mayor eficiencia y seguridad.

Para lograr este objetivo es necesario implementar interfaz hombre-máquina que permita al usuario interactuar con el UAV-0 para realizar el test de las variables, superficies de control de vuelo de la aeronave.

1.8 SISTEMAS DE COMUNICACIONES DEL UAV-0 PELICANO

1.8.1 DEFINICIÓN

Componentes o subsistemas que permiten la transferencia e intercambio de información.

A continuación se describe como se realizó el sistema de comunicación de datos para el presente proyecto.

Para el sistema de comunicación de datos para el vehículo aéreo no tripulado UAV-0 PELICANO del Centro de Investigación de la FAE, se utilizaron, Computador, Cable Serial-Directo y cable USB-Serial. Además fueron utilizados dos radios módems para el enlace de comunicación de datos, los mismos que son nombrados a continuación: Radios de radioenlace tanto (Receptor) y (Transmisor). En la Figura 1.12 se tiene la estructura del sistema de comunicación de datos para el UAV-0.

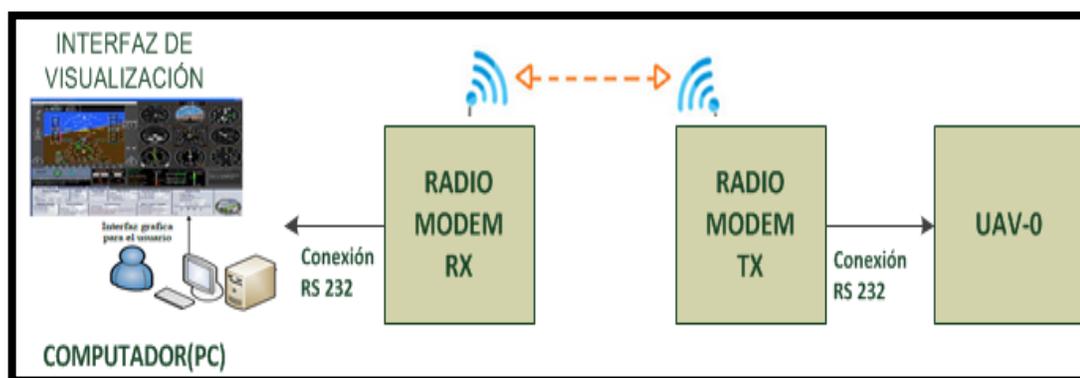


Figura 1.12: Estructura general del sistema de comunicación de datos para el UAV-0

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

1.9 RADIO MODEM

Estos radios han sido diseñados para proporcionar a los usuarios una forma fácil de disponer de un enlace serie inalámbrico. El radio módem que trabaja a 900 MHz proporciona un alcance de hasta 32 Km a la vista con antena de alta ganancia. El módem trabajando a 2,4 GHz proporciona un alcance de hasta 16 Km según el tipo de antena. En la Figura 1.13 se muestra un radio de radioenlace [19].



Figura 1.13: Radio de Radioenlace

1. Características Principales

- La mejor sensibilidad en la industria, bajo costo y largo alcance.
- Bajo consumo, puede ser alimentado por batería.
- Fácil instalación.
- Transmisión de datos confiable y con encriptación.
- Selección de antenas para incrementar el alcance.
- Topología Multipunto.
- Interface de comunicación Serial RS-232.
- Voltaje máximo de alimentación 24V.

2. Principales Aplicaciones

Los radios modem son muy adecuados para ser usados en los siguientes campos.

- Sistemas SCADA (Industriales, Riego Tecnificado, Electricidad, Agua, Petróleo).
- Telemetría.
- Sistemas de Seguridad (Industriales, residencial).

- Enlace de Computadoras.
- Puntos de venta.
- Monitoreo y Adquisición de Datos de Vehículos.

Se consideraron los radios modem porque cumple con los requerimientos necesarios para el proyecto como son:

- Interfaz de comunicación serial RS-232.
- Voltaje de alimentación disponible.
- Peso mínimo que no afecta al UAV-0.
- Condiciones ambientales de trabajo.

1.10 ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SISTEMA

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.

La adquisición se realiza mediante comunicación serial, la misma que adquiere los datos, del estado de los sensores del UAV-0 PELICANO, para posteriormente ser procesada y visualizada en la interfaz.

1.11 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizará el lenguaje de programación de alto nivel, Visual Studio C#. A continuación se dará una breve descripción de este lenguaje de programación [20].

1.11.1 VISUAL STUDIO C#

Visual Studio C# (Figura 1.14) nace de Microsoft con la idea de crear un lenguaje mejorado en todos los aspectos.



Figura 1.14: Visual Studio 2010

Concebido como lenguaje nativo de su famosa plataforma .Net para aplicaciones web y de escritorio, se ha dicho que Visual Studio C# contiene principalmente tanto aspectos de C++ como de Java y Visual Basic, pero de una forma más versátil y mejorada agregándole cada vez más elementos que faciliten el uso.

Visual Studio .NET es un entorno de programación repleto de herramientas que contiene toda la funcionalidad necesaria para la creación de proyectos de C# grandes y pequeños. Es posible crear, incluso, proyectos que combinan de forma homogénea módulos de lenguajes diferentes. [1]

Es un lenguaje orientado a objetos verdadero, toda entidad del dominio del problema se expresa a través del concepto de objetos. (Esto es, que un dominio del problema es el problema que intenta resolver, en términos de sus complejidades específicas, terminologías, retos, etc.) Los objetos son la idea

central detrás de la programación orientada a objetos. El enfoque orientado a objeto es más intuitivo y más cercano a como muchos de nosotros pensaríamos en la manera de afrontar un problema. [2]

1.11.2 CARACTERÍSTICAS DE VISUAL STUDIO C#

A continuación en la Tabla 1.4 se recoge de manera resumida las principales características de C#, alguna de las características aquí señaladas no son exactamente propias del lenguaje sino de la plataforma .NET en general, y si aquí se comentan es porque tienen una repercusión directa en el lenguaje:

Tabla 1.4: Características de la plataforma.NET

Concepto	Valoración	Comentarios
Productividad	Muy bien	
Sencillez	Bien	Excepto C++/CLI
Conexión a base de datos	Muy bien	
Portabilidad en diferentes sistemas operativos	Regular	Window, Linux
Rendimiento	Bien	Mal en la carga de aplicación
Protección del código	Mal	Riesgo de ingeniería inversa
Precio	Regular	La versión básica(express)gratuita
Popularidad	Alta	
Software Libre	No	Ciertas versiones

Fuente:[21]

1.11.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas y desventajas que ofrece Visual Studio C# frente a otros lenguajes de programación son:

VENTAJAS

- Se puede definir una o más clases dentro de un mismo espacio de nombres.
- Tipos de datos con un rango más amplio.
- Las clases tienen un atributo de acceso del tipo público, protegido, interno, interno protegido y privado.
- Permite la declaración de propiedades dentro de cualquier clase.
- Control de versiones: C# permite que versiones nuevas y anteriores de software puedan ejecutarse en forma simultánea.

DESVENTAJAS

- Se requiere alrededor de 4 gigas de espacio libre para la instalación.
- Se requiere tener conocimientos de programación.

Analizando todas las prestaciones y características de este lenguaje de programación se optó por utilizar este software por las siguientes razones:

- Es más genérico y es el lenguaje más extendido.
- Se enfoca más al desarrollo de aplicaciones de usuario.
- Es muy bueno en la conexión con bases de datos.
- Considerando el hardware necesita menos recursos de memoria que otros lenguajes de programación.
- Flexibilidad de operación con manejo de puertos seriales.

1.12 BASES DE DATOS

1.12.1 DEFINICIÓN DE BASES DE DATOS

Una base de datos es un “almacén” que nos permite guardar grandes cantidades de información de forma organizada para luego poder encontrar y utilizar fácilmente [22].

Se escogió SQL SERVER 2008 porque se disponía de este instalador y trabaja sin ningún problema con Visual Studio C#, y cumple con los requerimientos para este proyecto como son el almacenar gran cantidad de información, consultar de forma sencilla para recuperar información de interés.

1.12.2 MICROSOFT SQL SERVER 2008

SQL Server 2008 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. SQL Server 2008 le ayuda a obtener más rendimiento de los datos, poniendo a su disposición una amplia gama de servicios integrados como son consultas, búsquedas, sincronizaciones, informes y análisis. Sus datos pueden almacenarse y recuperarse desde sus servidores más potentes del centro de datos hasta los escritorios y dispositivos móviles, permitiéndole tener un mayor control sobre la información sin importar dónde se almacena físicamente. [23]

Las bases de datos pueden clasificarse de varias maneras, A continuación se clasifica según la variabilidad de los datos almacenados:

- **Base de datos estáticas.** Estas son bases de datos de solo lectura, utilizadas primordialmente para almacenar datos históricos que posteriormente se

pueden utilizar para estudiar el comportamiento de un conjunto de datos a través del tiempo, realizar proyecciones y tomar decisiones.

- **Base de datos dinámicas.** Estas son base de datos donde la información almacenada se modifica con el tiempo, permitiendo operaciones como actualización y adición de datos, además de las operaciones fundamentales de consulta. [3]

1.12.3 CARACTERÍSTICAS DE MICROSOFT SQL SERVER

- Soporte de transacciones.
- Escalabilidad, estabilidad y seguridad.
- Soporta procedimientos almacenados.
- Incluye también un potente entorno gráfico de administración, que permite el uso de comandos DDL (crear, eliminar tablas).
- Permite trabajar en modo cliente-servidor, donde la información y datos se alojan en el servidor y las terminales o clientes de la red sólo acceden a la información.

1.12.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas de Microsoft SQL Server:

- Soporte de transacciones.
- Escalabilidad, estabilidad y seguridad.
- Soporta procedimientos almacenados.
- Permite trabajar en modo cliente-servidor, donde la información y datos se alojan en el servidor y las terminales o clientes de la red sólo acceden a la información.
- Además permite administrar información de otros servidores de datos.

Entre las varias ventajas se menciona a continuación una desventaja:

- La principal desventaja de Microsoft SQL SERVER es la enorme cantidad de memoria RAM que utiliza para la instalación y utilización del software.

1.13 INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo. Normalmente suelen ser fáciles de entender y fáciles de accionar.

1.13.1 INTERFAZ DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO

La interfaz se realiza con la ayuda de la instrumentación virtual por medio del software Visual Studio C#, el mismo que se encarga de mostrar el estado de cada una de las variables físicas de la aeronave no tripulada Pelicano. Un ejemplo típico de interfaz es el que se muestra en la Figura 1.15.

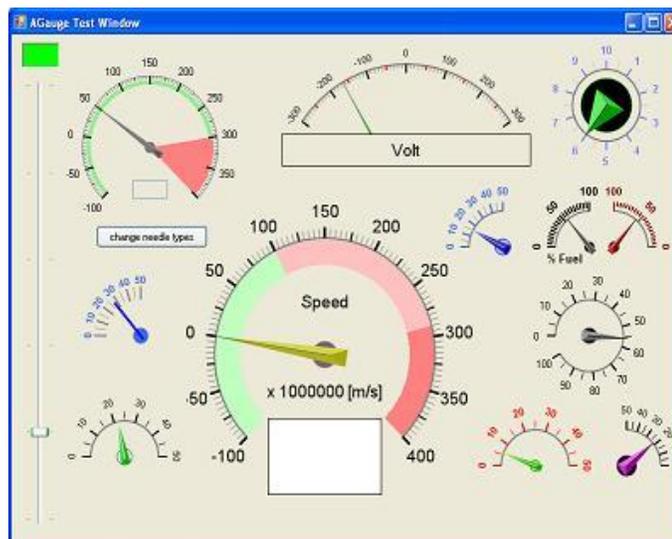


Figura 1.15: Ventana de interfaz realiza en Visual Studio C#. [24]

1.14 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso del computador personal como “instrumento” de medición de señales tales como temperatura, presión, caudal, entre otras. Es decir, el PC comienza a ser utilizado para realizar mediciones de fenómenos físicos representados en señales de corriente (como 4-20mA) y/o voltaje (0-5Vdc) normalmente con una gran precisión y número de muestras por segundo.

Sin embargo, el concepto de "instrumentación virtual" va más allá de la simple medición de corriente o voltaje. También involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionada con la medición de una o varias señales específicas. Con éstas, mediante software que permitan la implementación de algoritmos de control, es factible integrar y controlar complicados procesos. Es decir, el instrumento virtual no se conforma con la adquisición de la señal, sino que también involucra la interfaz hombre-máquina, las funciones de análisis y procesamiento de señales.

Un instrumento virtual puede realizar las tres funciones básicas de un instrumento convencional: adquisición, análisis y presentación de datos. Sin embargo, el instrumento virtual permite personalizar el instrumento y agregarle mucha más funcionalidad sin incurrir en costos adicionales.

Un instrumento virtual consta de las siguientes partes:

- Sensor.
- Sistema de acondicionamiento de señal.
- Convertidor análogo/digital.
- Interfaz.

- Procesador.

1.15 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[25].

Un autopiloto se conoce más bien como sistema de control automático de vuelo. Esto es parte de los componentes principales del avión: sistemas electrónicos, equipamiento y dispositivos usados para controlar sistemas claves dentro del avión y el vuelo que realizan.

Aparte de los sistemas de control de vuelo, estos componentes incluyen equipos electrónicos para las comunicaciones, evitar colisiones y el mal tiempo. Los pilotos automáticos avanzados, pueden hacer muchas más cosas, realizando incluso maniobras de alta precisión como aterrizar en condiciones de cero visibilidad. En la Figura 1.16 se puede observar el diagrama de bloques del AUTOPILOTO UAV-0 PELICANO.

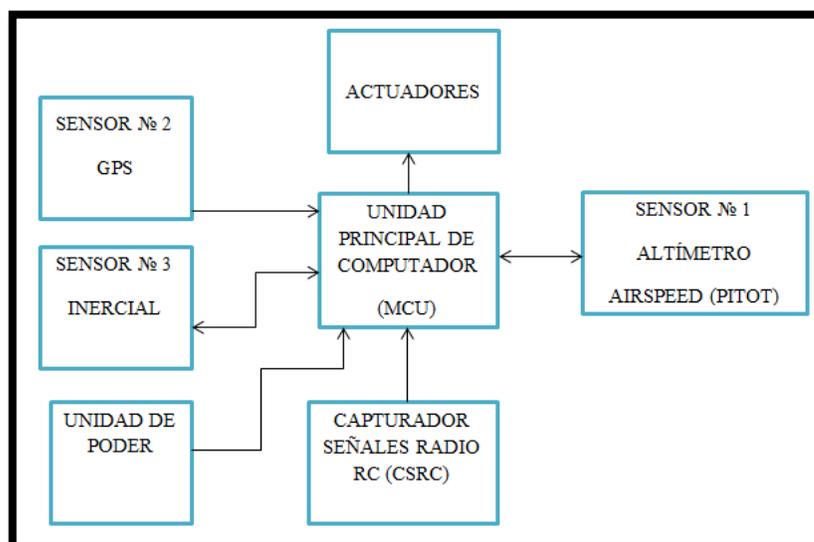


Figura 1.16: Diagrama de bloques del MICROPILOTO (UAV-0 PELICANO)
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

1.15.1 FUNCIONES MICROPILOTO

- Return to home o vuelta a casa; es decir el autopiloto deberá ser capaz de volver al punto del que despegó en caso de pérdida de radiocontrol, batería baja, por petición del piloto.
- Waypoints o ruta de puntos; tras la planificación de una ruta de vuelo el piloto automático la interpretará y ejecutará.
- Registro de datos completo del vuelo para posteriormente analizarlo o exportarlo a Google Earth.
- Ejecutar misiones simuladas con simuladores de vuelo para PC.
- Ejecutar secuencias de comando durante las misiones.
- Repetir misiones registradas con anterioridad para posteriormente analizar todos los datos con una interfaz gráfica.
- Soportar telemetría bidireccional, para el envío de instrucciones y la recepción de datos en la estación base.
- En vuelo manual asistir al piloto estabilizando el UAV y enviando datos a la estación base.
- Despegue y aterrizaje autónomo.

1.16 VARIABLES DEL MICROPILOTO

1.16.1 ÁNGULOS DE NAVEGACIÓN DEL UAV-0

Los ángulos de navegación son utilizados para movimientos y posicionamiento de objetos en el espacio. Sirven para saber la posición de un sistema móvil en un momento dado respecto del espacio con sistema de coordenadas fijo [26].

El UAV-0 consta un sensor inercial (Unidad de medición inercial) Figura 1.17 que está compuesto por acelerómetros, giróscopos y magnetómetros. Los acelerómetros miden la aceleración lineal con que se mueve el sensor, los

giróscopos la velocidad angular y los magnetómetros dan información acerca del norte magnético.

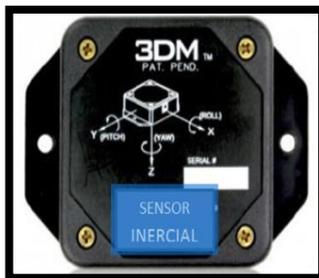


Figura 1.17: Sensor Inercial. [27]

A continuación se detalla cada ángulo de navegación proporcionados por el sensor inercial:

- Pitch (Cabeceo): Inclinación del morro o nariz del avión, o rotación respecto al eje ala-ala
- Roll (Alabeo): Rotación intrínseca alrededor del eje longitudinal del avión
- Yaw (Guiñada): Movimiento del avión respecto del eje imaginario vertical que pasa por el centro de gravedad de la aeronave

1.16.2 COORDENADAS GPS DEL UAV-0

La aeronave UAV-0 dispone de un sensor GPS que me indica las siguientes variables descritas a continuación[28].

- Latitud: Es la distancia angular que existe desde cualquier punto de la Tierra con respecto al Ecuador. Todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud.
- Longitud: Es la distancia angular que existe desde cualquier punto de la Tierra con respecto a Greenwich. Todos los puntos ubicados sobre el mismo meridiano tienen la misma longitud.
- Altitud: La altitud es la distancia vertical a un origen determinado, considerado como nivel cero, para el que se suele tomar el nivel medio del mar.

1.16.3 VELOCIDAD Y ALTITUD DEL UAV-0

La aeronave UAV-0 dispone de un sensor de velocidad digital (airspeed).

- **SENSOR AIRSPEED**

El sensor airspeed necesita conocer la presión dinámica que es la diferencia de la presión total o pitot y la estática por lo tanto necesita de las dos tomas. El tubo pitot es una varilla con un orificio enfrentado libremente a la corriente de aire.

Las tomas estáticas son unos orificios situados en las zonas del avión donde el aire está en remanso. Pueden situarse en los laterales del tubo pitot o preferentemente en los costados del fuselaje izquierdo y derecho unido por una canalización que compense errores de maniobras[29].

En la Figura 1.18 se puede observar el diagrama de conexión del sensor Airspeed.

Para la velocidad del viento, hay diferentes unidades de medida:

- Kilómetros por hora (km/h): $1 \text{ km/h} = 0,27778 \text{ m/s}$
- Metros por segundo (m/s): $1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$
- Nudos (kn): $1 \text{ kn} = 1.852 \text{ km/h}$

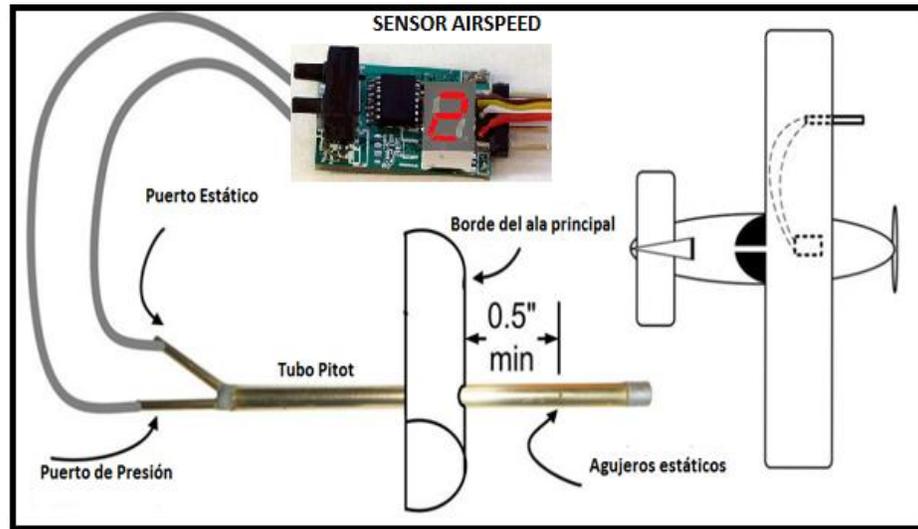


Figura 1.18: Sensor Airspeed. [30]

La aeronave UAV-0 dispone de un sensor de altura que se describe a continuación.

- **SENSOR ALTÍMETRO**

Este sensor de altura solo necesita de la presión estática para, en función de ella, establecer una indicación de la altura. Por lo tanto:

Altímetro indica la altura de la aeronave con relación a una referencia seleccionada para este caso la referencia es tomada a nivel del mar. En la Figura 1.19 se puede observar el sensor Altímetro.

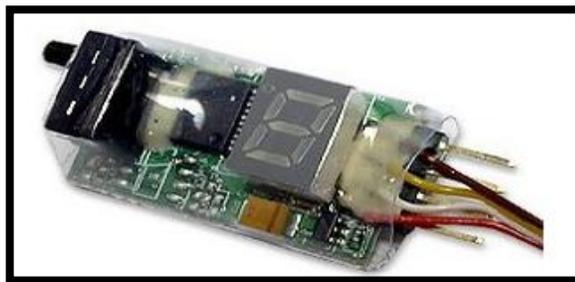


Figura 1.19: Sensor Altímetro. [31]

1.16.4 TIPOS DE MANDOS

- Modo Manual: En este modo el micropiloto conoce si el control Futaba o radio control se encuentra listo para ser manipulado por el piloto.
- Modo Automático: Con este modo el micropiloto es quien tiene el control de la navegación.

Estos dos modos pueden ser manipulados por el piloto a través del switch del control Futaba.

1.16.5 PORCENTAJE MOTOR

Me indica el porcentaje con el que trabaja el motor es decir la capacidad con la que se encuentra bombeando combustible al motor, el paso de combustible se lo realiza mediante el control de del ángulo de giro: del servo Figura 1.20

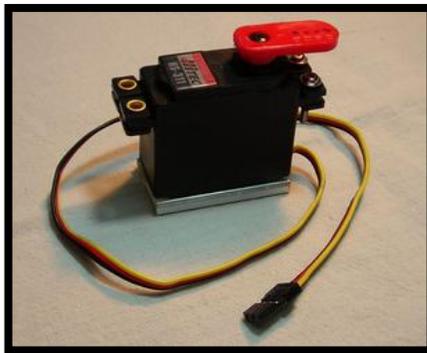


Figura 1.20: Servomotor.[32]

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

- Elevador.
- Alerón.
- Timón.

CAPÍTULO 2

2 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO

2.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO

En el desarrollo del sistema electrónico de prevuelo para el UAV-0 se requiere el uso del software Visual Studio C#, SQL Server, además se utilizará radios módems para comunicar la computadora con la aeronave.

Se utilizará los radios porque facilita la comunicación inalámbrica de datos entre el UAV-0 y el computador ya que para el prevuelo se requiere el carreteo de la aeronave.

El micropiloto es el encargado de recoger, procesar y almacenar todas las variables de los sensores que dispone el UAV-0, además tiene capacidad de controlar los servomotores.

Los datos enviados por el micropiloto son transportados inalámbricamente mediante los radios, los datos serán procesados y visualizados mediante la utilización de Visual Studio C# con el que también se verificará el estado de los servomotores, para guardar los datos de los sensores se utilizará SQL Server para su análisis posterior.

La verificación del estado de los sensores y actuadores determinará si el UAV-0 está en condiciones seguras de despegue para cumplir con su plan de vuelo.

2.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS

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 para el desarrollo del proyecto.

- Radios modem.
- Computador.
- Baterías.
- Cable USB-Serial.
- Cable Serial Directo.

2.3 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES

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 2.1 se observa el sensor y la variable a ser medidas.

Tabla 2.1: Variables a ser visualizadas

Sensores	VARIABLES
Sensor GPS	Latitud Longitud Altura
Sensor Inercial	Roll Pitch Yaw
Sensor Airspeed	Velocidad pitot
Sensor Altímetro	Altura pitot

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

A continuación se menciona los servos a ser testeados:

- Servo del alerón.
- Servo del timón.
- Servo del elevador.
- Servo de aceleración del motor.

2.4 VERIFICACIÓN DE DATOS DEL UAV-0 PELICANO

Para la verificación se utilizó el X-CTU que es una aplicación basada en Windows la cual provee una interfaz gráfica para la configuración serial e interacción con los radios modem. Se muestra entonces la siguiente pantalla de inicio Figura 2.1.

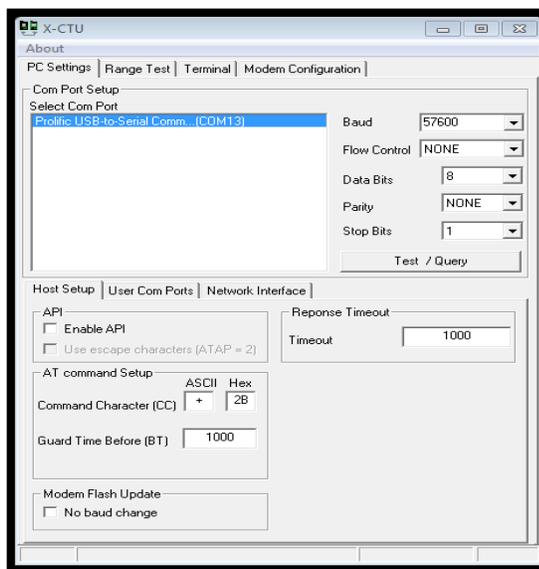


Figura 2.1: Pantalla principal del software de configuración X-CTU

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

En la pantalla principal se presentan las siguientes opciones como se observa en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Opciones principales de configuración del software X-CTU

Pestaña	Función
PC Settings	Permite seleccionar el puerto y la configuración del mismo
Range Test	Permite desarrollar un test de rango entre dos dispositivos.
Terminal	Permite acceso al puerto COM del computador con un programa de emulación terminal.
Modem Configuration	Permite programar los parámetros de los radios mediante una interfaz gráfica de usuario.

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.4.1 CONFIGURACIÓN X-CTU PARA LA RECEPCIÓN DE DATOS UAV-0

Para establecer la conexión entre el computador y el micropiloto se debe realizar lo siguiente:

- Conectar la computadora con el micropiloto mediante un cable USB-Serial.
- Configurar los parámetros del X-CTU como son: Baudios= 38400, Bits datos: 8, Parity: None, Bits stop: 1, Figura 2.2 Estos parámetros son los que también se encuentran configurados en el micropiloto.

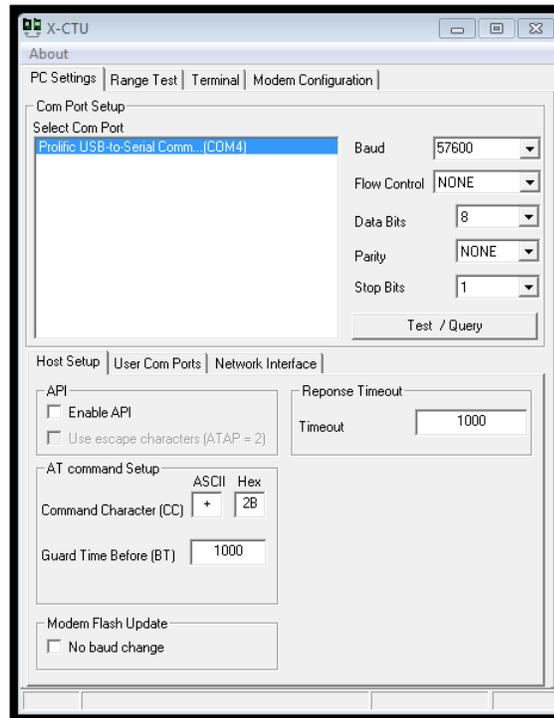


Figura 2.2: Configuración de parámetros para comunicación serial

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Luego de configurar el X-CTU se ubica en la pestaña terminal y se enciende el micropiloto ubicado en la aeronave, luego se espera un cierto tiempo y se despliega los datos que se observan en la Figura 2.3.

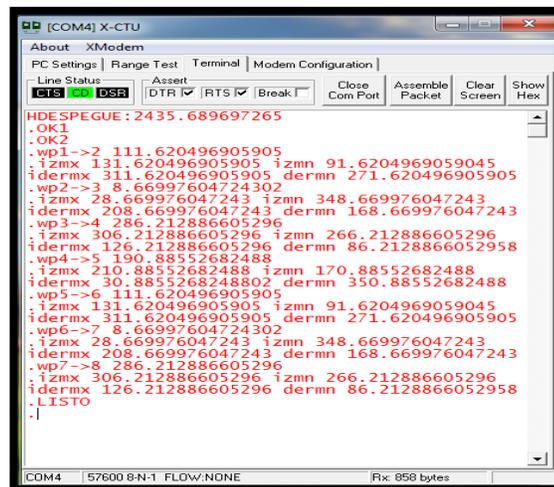


Figura 2.3: Inicialización del Micropiloto

Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

RESPUESTA DEL MICROPILOTO

El micropiloto responde a dos comandos configurados por programación esto son D1 y D0, Figura 2.4.

- D1 Empieza transmisión
- D0 Detener transmisión

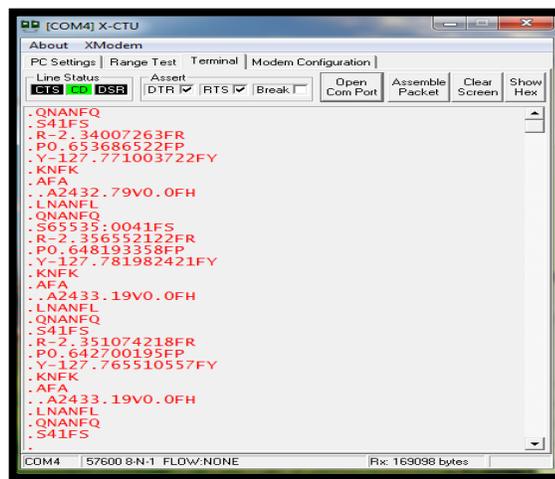


Figura 2.4: Flujo de datos micropiloto

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.5 ADQUISICIÓN DE DATOS CON VISUAL STUDIO C#

2.5.1 MANEJO DEL PUERTO SERIE

Para esta etapa se desarrolló una interface en Visual Studio C# para la adquisición de datos que vienen desde el micropiloto. A continuación se describe los parámetros utilizados para el manejo del puerto serie:

a. CONFIGURACIÓN DEL PUERTO SERIAL

Para leer o escribir datos por el puerto serie lo primero que se debe realizar es configurar los parámetros que se describen a continuación:

- BaudRate: Es la velocidad en 38400 bps.
- DataBits: 8 Bits.
- Parity: None o ninguna.
- StopBits: 1 Bits.

Estos parámetros se encuentran configurados de acuerdo a los del micropiloto.

b. TRANSMISIÓN DE DATOS Y RECEPCIÓN DE DATOS

Para el envío y recepción de datos por el puerto serie se utilizaron los siguientes métodos descritos en la Tabla 2.3 correspondientes a la clase Serialport.

Tabla 2.3: Métodos utilizados para la transmisión y recepción de datos por el puerto serial

TRANSMISIÓN DE DATOS	
SERIALPORT.WRITE ()	Escribe la cadena especificada en el puerto serie.
SERIALPORT.WRITELINE ()	Escribe la cadena especificada y el valor de nueva línea en el búfer de salida.
RECEPCIÓN DE DATOS	

SERIALPORT.READLINE ()	Lee el puerto serial hasta el valor de una nueva línea en el búfer de entrada.
-------------------------	--

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.5.2 DISEÑO DE LA INTERFAZ DE COMUNICACIÓN SERIAL

Para el diseño de la interfaz de usuario es necesario manejar formularios que son las ventanas para el desarrollo de la aplicación.

En el diseño de la interfaz se utilizan varios controles de usuario que están ubicados adecuadamente en el formulario, el diseño de la interfaz serial se observa en la Figura 2.5.

Para la configuración del puerto serial se debe realizar lo siguiente:

- Buscar Puertos disponibles en la PC
- Cargar los parámetros de velocidad, paridad, número de bits y bits de parada.
- Configuración Parámetros.
- Abrir Puerto



Figura 2.5: Interfaz gráfica para la configuración del puerto serial
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

En la interfaz se visualiza controles ComboBox que permiten presentar una lista desplegable con los valores programados para cada parámetro de configuración del puerto serial. Posteriormente se utiliza tres botones para configurar, abrir y cerrar respectivamente el puerto.

El Botón Configurar tiene como función cargar los valores seleccionados por el usuario para esto debe seleccionar los las opciones de cada ComboBox finalmente los botones Abrir y Cerrar habilitan y deshabilitan el puerto serial. En la Figura 2.6 se muestra el diagrama de flujo para la apertura del puerto serial.

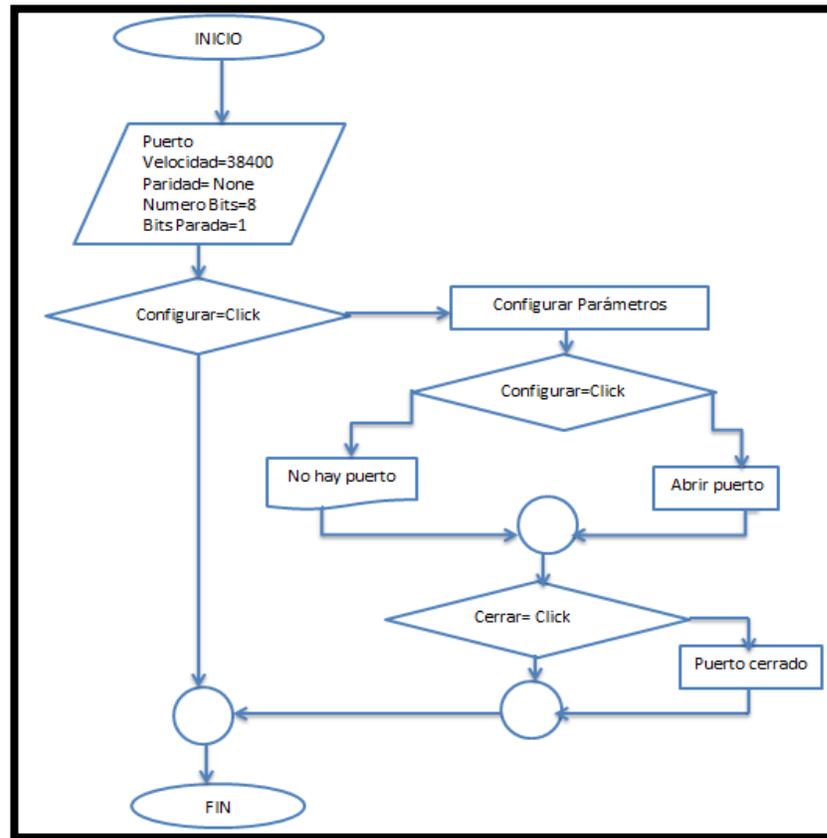


Figura 2.6: Diagrama de flujo para la configuración del puerto serial
Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

2.5.3 CONFIGURACIÓN DE LOS RADIOS MÓDEMS

Se empleó radios modem para la transmisión y recepción de los datos entre el UAV-0 y la computadora. Este radio fue seleccionado debido al rango de alcance de comunicación de datos.

2.5.3.1 INTERFAZ DEL RADIO MÓDEM

El radio modem posee tres leds indicadores que visualizan la información del estado del radio modem Figura 2.7:



Figura 2.7: Vista frontal del radio módem
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

a. INTERRUPTOR DE ENCENDIDO

Mover el interruptor de encendido en la posición de encendido (arriba) para alimentar a los componentes del módulo.

b. LEDS DE ENCENDIDO

- Amarillo = Salida de datos seriales
- Verde = Entrada de datos seriales
- Rojo = Indicador (luz roja indica que el dispositivo esta encendido)

c. PUERTO SERIAL (CONECTORES DB-9)

El radio modem maneja un (DB-9) hembra (RS-232) el conector de (DCE). Este conector también puede usarse para (RS-485) y conexiones de (RS-422).

d. CONECTOR DE ALIMENTACIÓN

Posee un conector de alimentación (7-18 VDC). La alimentación también puede proporcionarse a través del pin 9 del puerto serial DB-9.

2.5.3.2 CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO

Para configurar el protocolo RS-232 es necesario ubicarse en la parte posterior del módulo Figura 2.8.

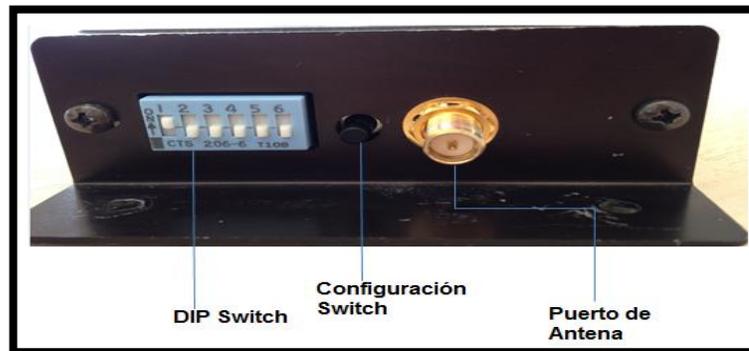


Figura 2.8: Parte posterior del radio modem
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

a. DIP SWITCH

El DIP Switch configura automáticamente el radio modem para operar en diferentes modos. Cada vez que el modem esta encendido. Observar la configuración en la Figura 2.9.

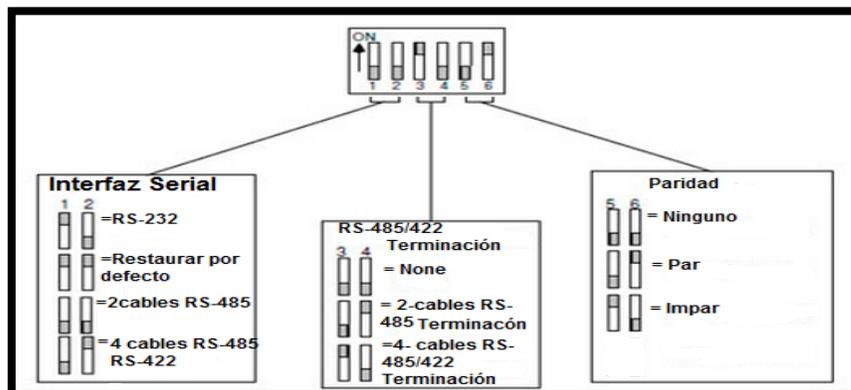


Figura 2.9: Configuración DIP Switch
Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

EL DIP Switch queda configurado con el protocolo RS-232 observar la Figura 2.10.

- Interfaz serial RS-232.
- Paridad: Ninguna.



Figura 2.10: Configuración DIP Switch RS-232
Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

b. CONFIGURACIÓN SWITCH

El interruptor de configuración, mantenga el interruptor de configuración hacia abajo mientras se enciende el módem usando el interruptor de encendido.

c. PUERTO DE LA ANTENA

El conector tiene roscas en el exterior de un barril y un conductor central macho.

2.5.3.3 CONFIGURACIÓN DEL RADIO PARA COMUNICACIÓN SERIAL

El procedimiento para la configuración del radio modem se describe a continuación:

- Conectar el cable USB-SERIAL al terminal serial del radio modem
- Abrir el X-CTU.
- Realizar un Test/Query como se observa en la Figura 2.11.

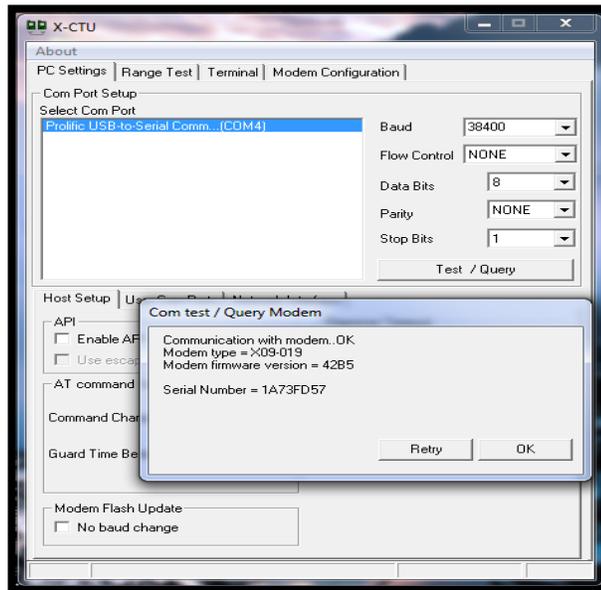


Figura 2.11: Test de reconocimiento del radio modem
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

- Especificar la velocidad que se trabajará en la pestaña modem configuration como se puede observar en la Figura 2.12.

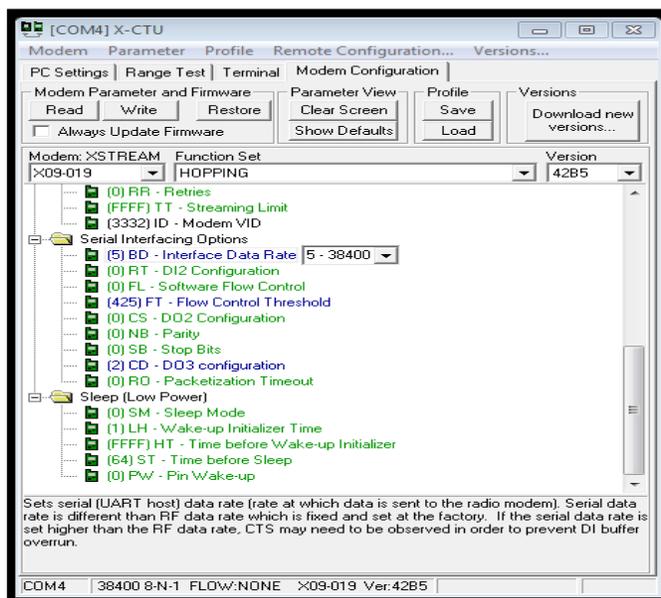


Figura 2.12: Configuración de la velocidad para la comunicación
entre radio módems

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

- Realizar el mismo procedimiento para el otro radio modem.
- Configurado los dos radio módems proceder a realizar un range test para la verificar si existe comunicación entre los mismos observar la Figura 2.13.
- Considerar al radio modem que será el transmisor y el receptor.

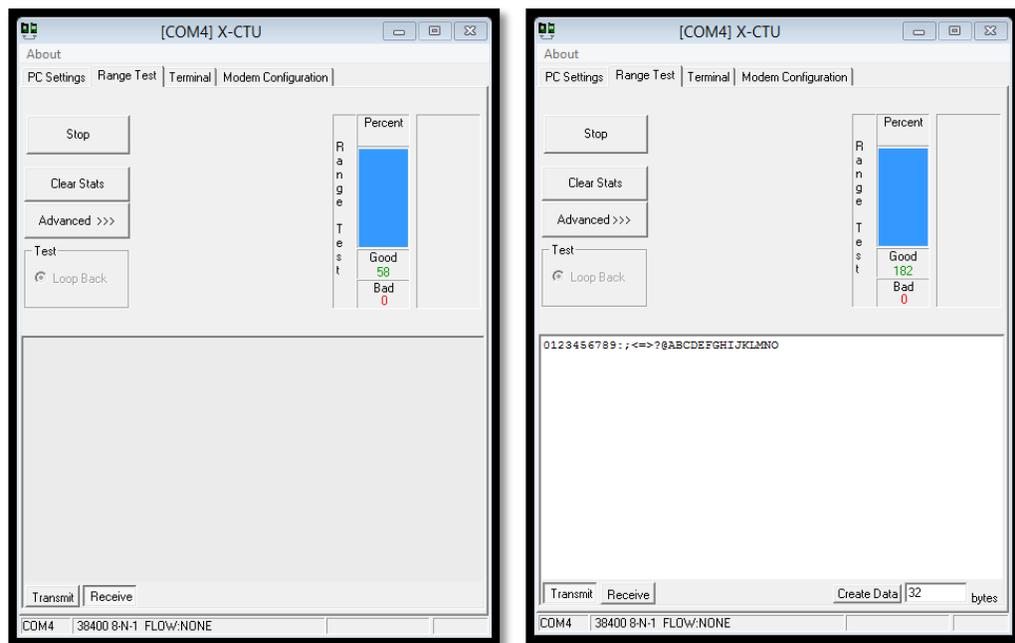


Figura 2.13: Range Test para verificar la comunicación entre radio módems

Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

2.5.4 RECEPCIÓN DE DATOS

El proceso de recepción de datos se requiere un evento Datareceived y se necesita descargar los datos del buffer. En la figura 2.14 en la pestaña terminal se tiene una entrada para datos (RichTextBox) el cual va a operar como una consola de usuario para mostrar los datos recibidos.



Figura 2.14: Interfaz para la recepción de datos seriales
Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

El procedimiento de recepción consta de los siguientes pasos:

- SerialPort.DataReceived: Este evento permite leer todos los datos disponibles recibidos en el puerto COM, este se ejecuta cada vez que existe datos disponibles en el puerto serial.
- Serialport.Readline: Que permite leer el puerto serial hasta la entrada de un nuevo dato del micropiloto en el búfer de entrada.

2.5.5 FILTRADO DE DATOS

Los datos de los sensores que envía el micropiloto son secuencialmente es decir un dato es enviado e inmediatamente envía el siguiente. Los datos recibidos por el puerto serial son como se describe a continuación:

a. ESTRUCTURA DE LA TRAMA DE DATOS

La información enviada por el micropiloto está formada por un inicio y fin de trama como se observa en la Figura 2.15.



Figura 2.15: Trama de datos
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

La cantidad total de bytes de la trama de datos se describe a continuación en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Estructura de la trama de datos

TRAMA DE DATOS	BYTES
ENCABEZADO	1
DATOS	106
FIN DE TRAMA	2

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

b. ESPECIFICACIÓN DE LA TRAMA DE DATOS:

Encabezado: Indica el inicio de la trama de comunicaciones se utiliza 1 bytes con los siguientes caracteres descritos a continuación en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Encabezado de la trama del MICROPILOTO

Encabezado	Descripción
R	Roll
P	Pitch
Y	Yaw
K	Manual/Automático
G	Altura GPS
A	Altura y velocidad pitot
L	Latitud
Q	Longitud
S	Porcentaje motor

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Datos: Son caracteres asignados para la transmisión de datos.

Fin de trama: Se utiliza 2 bytes para indicar que ha finalizado la transmisión de datos, obsérvese Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Fin de trama de datos especificados por el MICROPILOTO

Fin de trama	Descripción
FR	Finalizar Roll
FP	Finalizar Pitch
FY	Finalizar Yaw
FK	Finalizar Manual/Automático
FG	Finalizar altura GPS
FA	Finalizar altura y velocidad pitot
FL	Finalizar latitud
FQ	Finalizar longitud
FS	Finalizar porcentaje motor

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.5.5.1 FILTRADO DE DATOS RECIBIDOS POR EL PUERTO SERIAL

En el programa principal se procede a filtrar cada uno de los datos por tal motivo es necesario obtener la primera posición y la penúltima posición de la trama para

esto se utiliza el método `indexOf` que indica la primera posición del carácter de la trama y para extraer el dato byte se utiliza el método `substring`. Observe la Figura 2.16.

ENCABEZADO	DATO	FIN DE TRAMA
posición1	Dato = <code>substring(posición1 + 1, posición2 – posición1 – 1)</code>	posición 2

Figura 2.16: Filtrado de datos
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.6 ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos que son filtrados necesitan acondicionamiento para ser representados mediante un instrumento virtual. A continuación se observa en la Figura 2.17 el acondicionamiento del porcentaje de aceleración del motor.

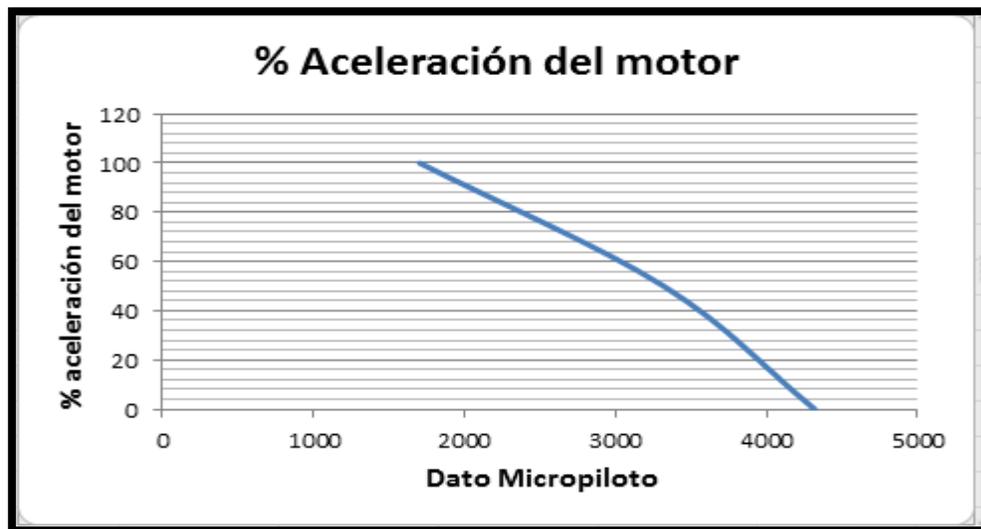


Figura 2.17: Acondicionamiento del porcentaje de aceleración del motor

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

X (micropiloto)	Y (% aceleración del motor)
4320	0
3320	50
1704	100

$$y = mx + b \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

Donde:

y = % aceleración del motor

m = Pendiente

x = dato del micropiloto

b = constante

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{100 - 0}{1704 - 4320} = -0.0382262$$

$$b = y_1 - mx_1$$

$$b = 0 - (-0.0382262) * (4320)$$

$$b = 165.137184$$

$$y = -0.0382262 * x + 165.137184 \quad \text{Ecuación (1.2)}$$

Para la obtención de la Ecuación (1.2) es necesario utilizar la ecuación Ecuación(1.1) para esto es necesario analizar la Figura 2.17 donde los valores de X corresponden a los datos del micropiloto y los valores de Y son los valores

acondicionados del porcentaje de aceleración del motor. La Ecuación (1.2) es ingresada al programa en Visual Studio C# para que el resultado de la misma sea visualizada en un indicador con un rango del 0 a 100% de la interfaz desarrollada, la ecuación obtenida especifica el ángulo de apertura del servomotor que regula el paso de combustible hacia los cilindros del motor.

2.7 MANEJO DE LOS INSTRUMENTOS VIRTUALES

Para el manejo de los instrumentos virtuales se utilizaron instrumentos de aviónica que es un archivo desarrollado en Visual Studio C#, los instrumentos de aviónica están contruidos con mapas de bits que son rotados, trasladados o escalados antes ser visualizados.

Los métodos básicos para rotar, trasladar y escalar las imágenes están definidos en la clase principal. Cada control utiliza entonces sus parámetros característicos con el fin de manipular las imágenes.

2.7.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS VIRTUALES

La rotación de las imagines está dividida en tres partes principales, observar Figura 2.18

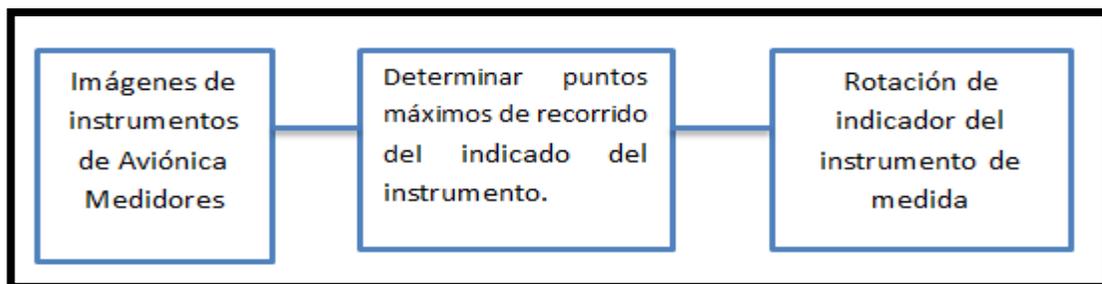


Figura 2.18: Diagrama de bloques para la rotación de imágenes

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

En el primer bloque se especifica las imágenes que se necesitan para la creación del instrumento virtual, una vez obtenidas la imagen es necesario posicionar en un punto específico el indicador correspondiente a cada instrumento para finalmente empezar la rotación del indicador en relación a los valores de cada sensor.

2.8 CONFIGURACIÓN DE LA POSICIÓN DEL UAV-0 EN EL MAPA

2.8.1 CALIBRACIÓN MAPA

Para visualizar la ubicación del UAV-0 Pelicano se utiliza un mapa topográfico digital Figura 2.19 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.

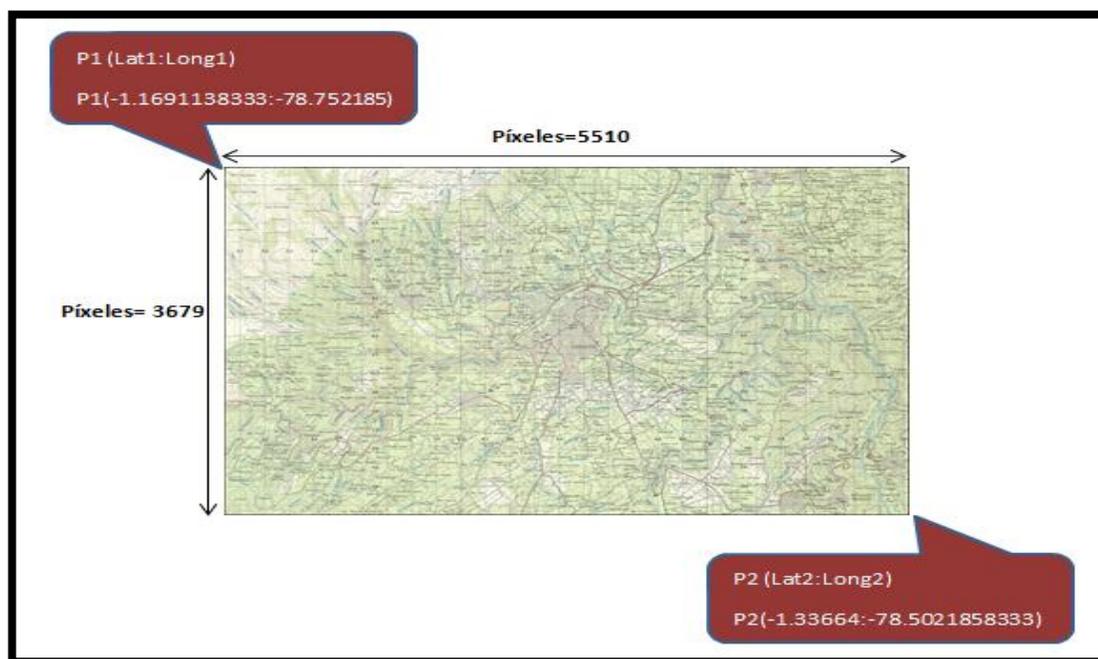


Figura 2.19: Mapa topográfico digital de la provincia de Tungurahua

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

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

$$\text{long} \left(\frac{\text{pixeles}}{\text{rad}} \right) = \frac{\# \text{ pixel horizontal}}{\text{longP1(rad)} - \text{longP2(rad)}} \quad \text{Ecuación (1.3)}$$

$$x = \text{long} \left(\frac{\text{pixeles}}{\text{rad}} \right) * [\text{longP1(rad)} - \Delta \text{long}_{UAV}] \quad \text{Ecuación (1.4)}$$

$$\text{lat} \left(\frac{\text{pixeles}}{\text{rad}} \right) = \frac{\# \text{ pixel vertical}}{\text{latP2(rad)} - \text{latP1(rad)}} \quad \text{Ecuación (1.5)}$$

$$y = \text{lat} \left(\frac{\text{pixeles}}{\text{rad}} \right) * [\Delta \text{lat}_{UAV} - \text{latP1(rad)}] \quad \text{Ecuación (1.6)}$$

Dónde:

$\text{long} \left(\frac{\text{pixeles}}{\text{rad}} \right)$ = Valor constante de escalamiento del ancho y largo del Mapa Topográfico.

$\text{lat} \left(\frac{\text{pixeles}}{\text{rad}} \right)$ = Valor constante de escalamiento del ancho y largo del Mapa Topográfico.

x=Representa el valor de la posición en x del UAV-0 dentro del mapa

y=Representa el valor de la posición en y del UAV-0 dentro del mapa

Las ecuaciones Ecuación (1.3) y Ecuación (1.5) obtienen los valores constantes de escalamiento del ancho y largo del Mapa Topográfico digital que depende del tamaño de los pixeles 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 pixeles es (0,0) el mínimo valor y los valores de Long 2, Lat 2

ubicados en la esquina inferior derecha su valor en pixeles es el máximo que tiene el Mapa topográfico. Los valores extremos del mapa topográfico se pueden observar en la Figura 2.19.

Donde los valores de X y especifican la posición que se encuentra la aeronave en el mapa digital de acuerdo a las variables que envié el GPS estas son latitud y longitud ($\Delta\text{lat_UAV}$, $\Delta\text{long_UAV}$).

$\Delta\text{lat_UAV}$ = Variación de la latitud GPS del UAV-0

$\Delta\text{long_UAV}$ = Variación de la longitud GPS del UAV-0

Luego se aplica la Ecuación (1.4) con las coordenadas GPS para la longitud:

$$P1 = (-0.020418805; -1.374484921)$$

$$P2 = (-0.023328768; -1.370121612)$$

Los puntos P1 y P2 de latitud y longitud se encuentran en radianes y al aplicar la Ecuación (1.4) y Ecuación (1.5) tenemos las siguientes relaciones:

$$\text{long}\left(\frac{\text{pixeles}}{\text{rad}}\right) = \frac{5510}{-1.374484921 + 1.370121612} = -1262803.069871971$$

$$x = -1262803.069871971 * [-1.374484921 - \Delta\text{long_UAV}]$$

Luego se aplica la Ecuación (1.6) con las coordenadas GPS para la latitud:

$$\text{lat}\left(\frac{\text{pixeles}}{\text{rad}}\right) = \frac{3679}{-0.023328768 + 0.020418805} = -1264277.243387630$$

$$y = -1264277.243387630 * [\Delta\text{lat_UAV} + 0.020418805]$$

Una vez obtenidas las Ecuación (1.4) y Ecuación (1.6) se procede a realizar la programación en Visual Studio C#. Entre los métodos utilizados tenemos:

- Bitmap: Inicializa una imagen en este caso el mapa topográfico a partir de su localización.
- TranslateImage: Traslada una imagen especifica de acuerdo a dos puntos especificados.
- PictureBox.Image: Muestra la imagen con la posición del UAV-0 en un PictureBox.

2.8.2 INTERFAZ DE USUARIO PARA UBICAR LA POSICION DEL UAV-0

La interfaz de usuario desarrollada para graficar la posición del UAV-0 se observa en la Figura 2.20.



Figura 2.20: Interfaz de usuario para indicar la posición del UAV-0
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

El botón ubicar posición UAV-0 permite conocer la posición del UAV-0 dentro del mapa topográfico.

El botón Nuevo Mapa permite abrir los mapas almacenados en el computador esto es necesario únicamente cuando la ubicación del UAV-0 se encuentra fuera de los límites del mapa topográfico de la provincia del Tungurahua.

En la Figura 2.21 se observa el diagrama de Flujo para ubicar la posición del UAV-0 en el mapa topográfico.

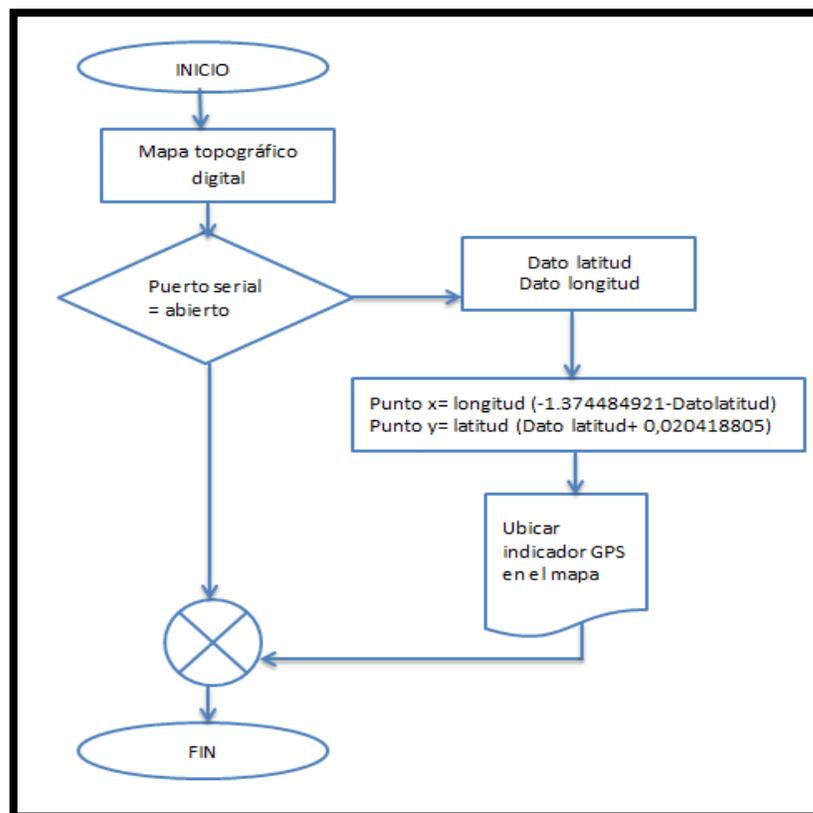


Figura 2.21: Diagrama de Flujo para dibujar la posición UAV-0
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.8.3 GEORREFERENCIACIÓN MAPAS

Para determinar la posición GPS del UAV-0 para cualquier zona geográfica es necesario georreferenciar el nuevo mapa en el cual se va a desplazar la aeronave para posteriormente ubicar su ubicación UAV.

A continuación en la Figura 2.22 se observa la ventana que permite configurar los parámetros del nuevo mapa.

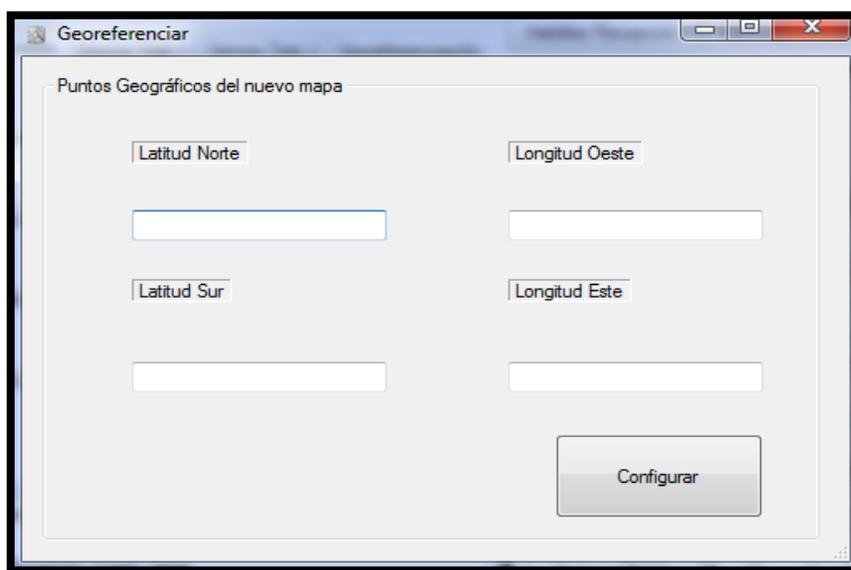
The image shows a software window titled "Georeferenciar". Inside the window, there is a section labeled "Puntos Geográficos del nuevo mapa". This section contains four input fields arranged in a 2x2 grid. The top-left field is labeled "Latitud Norte", the top-right is "Longitud Oeste", the bottom-left is "Latitud Sur", and the bottom-right is "Longitud Este". Each field is currently empty. Below these fields, centered at the bottom of the window, is a button labeled "Configurar".

Figura 2.22: Configuración de los parámetros de un mapa topográfico digital

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Para este proceso se realiza lo siguiente:

- Cargar el nuevo mapa.
- Una vez realizado esto es necesario saber las coordenadas geográficas del mapa seleccionado para esto se requiere conocer dos puntos del mapa que deben ser obligatoriamente el primer punto de la esquina superior sea derecha o izquierda y el segundo punto de la esquina inferior izquierda o derecha pero con la consideración que el segundo punto debe ser opuesta al primer punto.

- Identificado los puntos P1 Y P2 ver Figura 2.19, ingresar los nuevos puntos de coordenadas en el orden correcto (P1=Latitud Norte, Longitud Oeste; P2=Latitud Sur, Longitud Este) en los Texbox de la interfaz.
- Finalmente pulsar el botón configurar.

2.9 TEST SERVOMOTORES

Es el encargado que el servomotor se encuentre en condiciones normales de operación ver Figura 2.23:

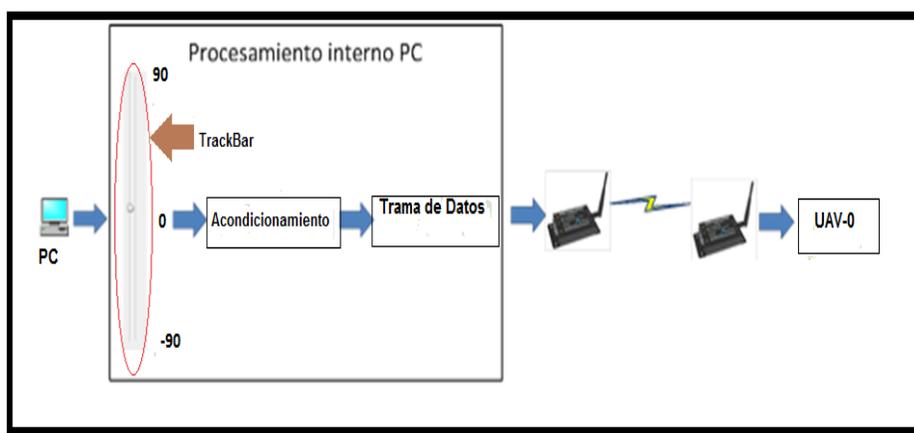


Figura 2.23: Funcionamiento general del test manual

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

A continuación se describe el funcionamiento general de la Figura 2.23. 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. Observar Figura 2.24.

2.9.1 ACONDICIONAMIENTO PARA EL TEST SERVOMOTORES

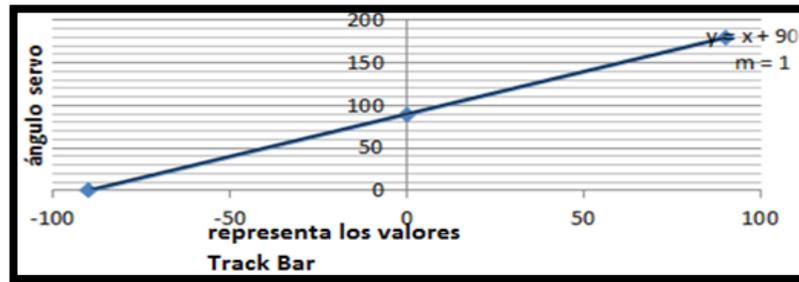


Figura 2.24: Gráfica de acondicionamiento para los servomotores
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

$$y = mx + b \text{ Ecuación (1.7)}$$

Donde:

y= representa el ángulo de movimiento del servo de 0 a 180°.

m= pendiente

x= representa los valores TrackBar

b= constante

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{180 - 0}{90 + 90} = 1$$

$$b = y_1 - mx_1$$

$$b = 0 + 90 = 90$$

$$y = x + 90$$

El TrackBar o Sliders tiene una variación de -90 a 90, para representar el ángulo de movimiento de los servomotores se requiere la Ecuación 1.7, por tal motivo se analiza la Figura 2.24 donde el eje X representa los valores TrackBar y el valor Y representa el ángulo de movimiento del servomotor de 0 a 180°.

2.9.2 CONFIGURACIÓN DE LA TRAMA DE DATOS PARA LA TRASMISIÓN

Para el envío de datos se utiliza una trama de datos que es una serie sucesiva de bits, organizados en forma cíclica ver Figura 2.25, que transportan información hacia al micropiloto y que permiten en la recepción extraer esta información.



Figura 2.25: Trama de datos para la transmisión de datos
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

A continuación en la Tabla 2.7 se describe la estructura de la trama de datos

Tabla 2.7: Especificación de la trama de datos

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

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

- 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, para este caso se envía la petición TM que dice al micropiloto 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 micro piloto, 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.

2.9.3 CHECKSUM O SUMA DE CHEQUEO

El propósito principal por el cual se realiza el checksum es el detectar cambios accidentales en una secuencia de datos para proteger la integridad de estos, verificando que no haya discrepancias entre los valores obtenidos al hacer una comprobación inicial y otra final tras la transmisión. En la Figura 2.26 se observa el cálculo del checksum.

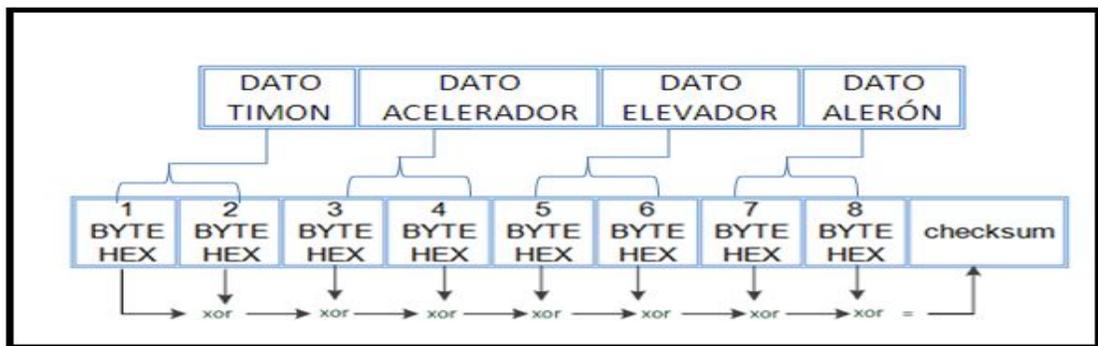


Figura 2.26: Representación del cálculo checksum
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Para el cálculo checksum se realiza sumas sucesivas xor entre todos los datos byte de la trama como se indica en la Ecuación (1.8), el resultado final es el valor checksum que contendrá la trama de datos para ser enviada hacia el micropiloto.

$Checksum = 1byte \text{ xor } 2byte \text{ xor } 3byte \text{ xor } 4byte \text{ xor } 5byte \text{ xor } 6byte \text{ xor } 7byte \text{ xor } 8byte$

$Checksum = \text{Ecuación (1.8)}$

2.9.4 INTERFAZ PARA REALIZAR EL TEST1 SERVOMOTORES

La interfaz para realizar el Servos Test1 se observa en la Figura 2.27

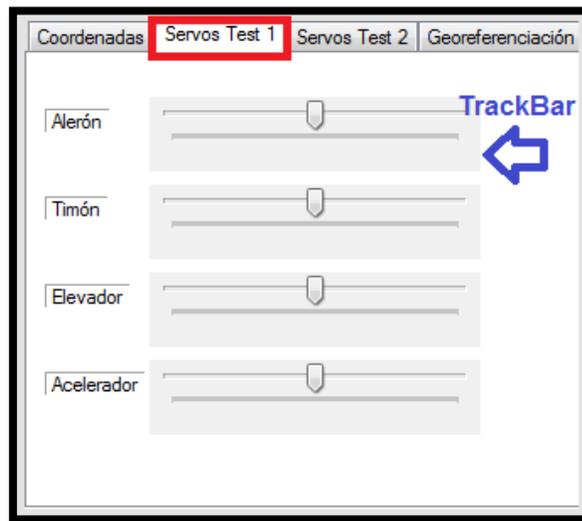


Figura 2.27: Diseño de la interfaz para realizar el test manual

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Los datos acondicionados de los TrackBar de cada servo varían de 0 a 180 grados intervalo con los cuales trabaja el servomotor, los servos en condición inicial están en 90 grados.

El proceso de acondicionamiento se realizó para evitar trabajar con números negativos esto involucraría 1 byte por el signo negativo, al tener variaciones positivas de 0 a 180 se evita ocupar un byte más lo que involucra un ahorro en el espacio de memoria.

Utilizando comandos de Visual Studio C# se realiza una conversión del dato acondicionado a valores hexadecimales para reducir el tamaño del dato por lo tanto la trama de datos se reducirá también.

Se utiliza la función writeline que permite escribir datos por el puerto serial para lo cual se escribe en el siguiente orden, que tiene la estructura de la trama de datos Figura 2.28.

Inicio	Función	Dato1 timón	Dato2 Acelerador	Dato3 Elevador	Dato4 Alerón	Checksum
\$	TM	5 ^a	5 ^a	5 ^a	5 ^a	00

Figura 2.28: Trama de datos para realizar el test manual

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Donde se observa que los datos del timón, acelerador, elevador y alerón se encuentran en 5A que es la posición central de los cuatros servos de la aeronave.

Finalmente se envía varias tramas de datos del test manual, al software X-CTU para, verificar la variación dependiendo la posición del TrackBar, en la Figura 2.29 se tiene los resultados.

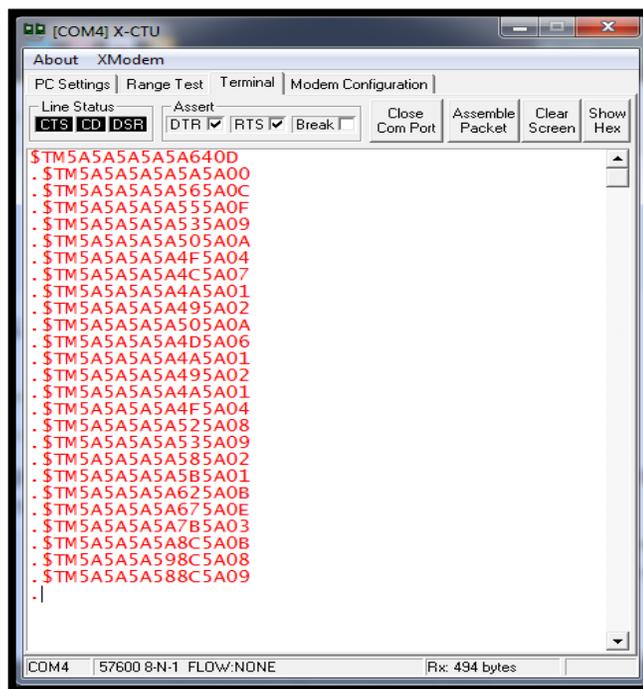


Figura 2.29: Trama de datos del test manual
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.9.5 INTERFAZ PARA EL TEST2 DE LOS SERVOMOTORES

Es la comprobación del movimiento de los servos del UAV dentro de su ángulo de movimiento comprendido entre 0-180 grados para su efecto se realiza con botones.

A continuación se detalla el test de cada servomotor.

a. TEST ACELERADOR:

Para el movimiento del servomotor acelerador se envía el comando ETAC mediante el comando writeline mientras el micropiloto recibe el comando y devuelve otro comando RTAC al llegar el dato RTAC el computador envía un nuevo comando FTAC, cuando recibe el micro pilotó envía inmediatamente el comando FTAC una vez que recibe este comando el computador sabe que

termino el test. En la Figura 2.30 se observa el procedimiento que se realizó en el test acelerador.

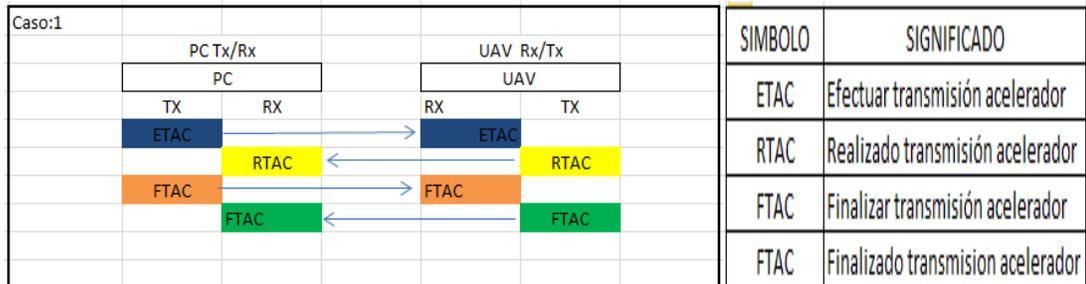


Figura 2.30: Proceso del Test acelerador
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

b. TEST ALERÓN:

En el movimiento del servomotor alerón el micro transmite el comando ETAL el micro recibe el comando y envía RTAL, una vez que recibe la PC responde con FTAL y el micro pilotó responde con un FTAL que indica que termino el test. La Figura 2.31 se observa el funcionamiento de test alerón.

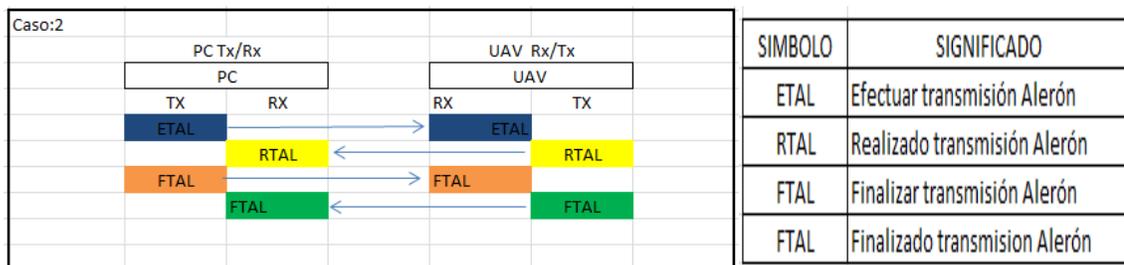


Figura 2.31: Procedimiento Test Alerón
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

c. TEST TIMÓN:

Se efectúa un comando ETTI que es enviado por el puerto serial al micro pilotó que responde con un RTTI, al recibir el pc escribe por el puerto serial el comando

FTTI el micro pilotó responde un FTTI que indica que terminó el test timón. La Figura 2.32 describe el proceso que se realizó en el Test Timón.

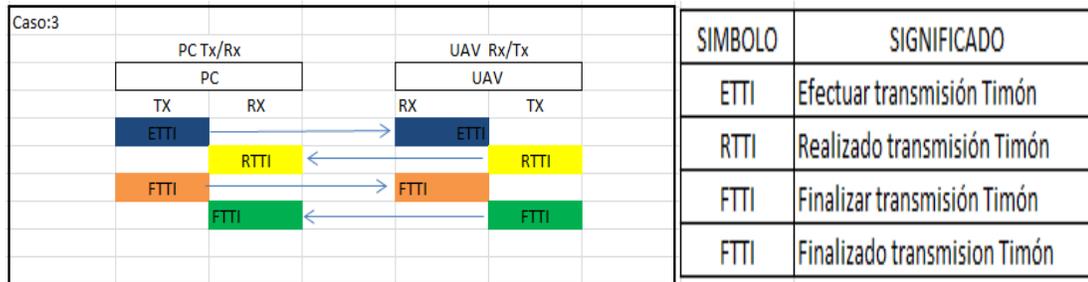


Figura 2.32: Funcionamiento del Test timón
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

d. TEST ELEVADOR:

En el test de este servomotor se envía la petición ETEL al micro y este responde con un RTEL, recibe el comando y el pc responde con un FTEL que al recibir la petición el micro pilotó responderá con un FTEL que indicara al Pc que se terminó de realizar el test elevador. En la Figura 2.33 se observa el funcionamiento del test elevador.

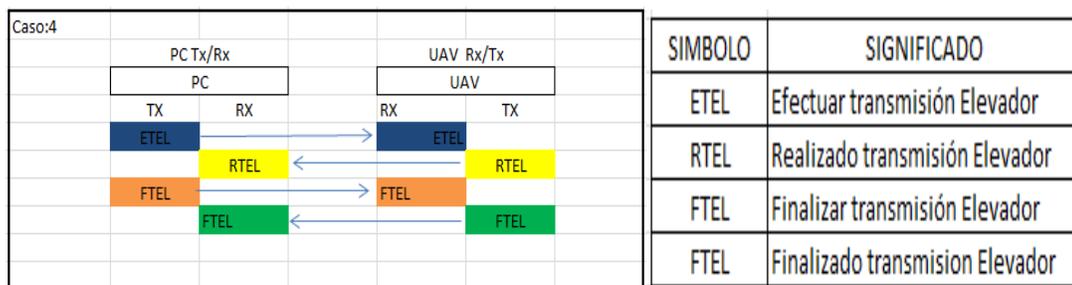


Figura 2.33: Proceso del test elevador
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.9.6 INTERFAZ DE TEST AUTOMÁTICO DE SERVOMOTORES

Se diseñó la interfaz en Visual Studio C# con la implementación de cuatro botones para los servos: acelerador, alerón, timón, elevador. Obsérvese la Figura 2.34.

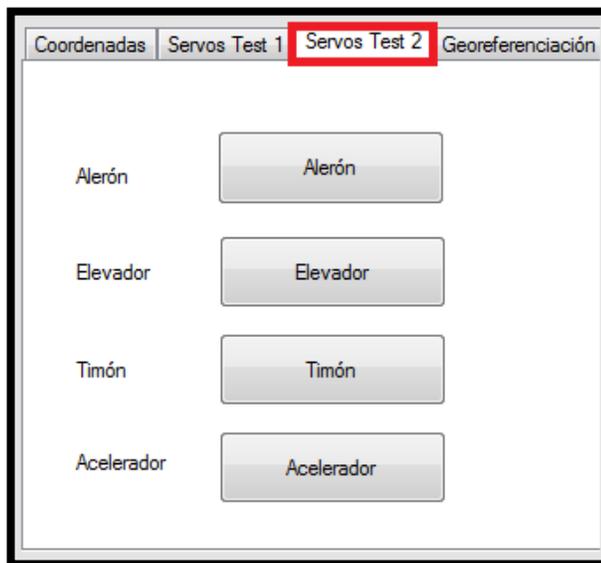


Figura 2.34: Ventana del test automático de los servos
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

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

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 un color rojo indicando que se terminó la verificación del servo, finalmente el botón regresa a la condición inicial. Este procedimiento es similar en los tres botones siguientes. En la Figura 2.35 se muestra el diagrama esquemático del test automático.

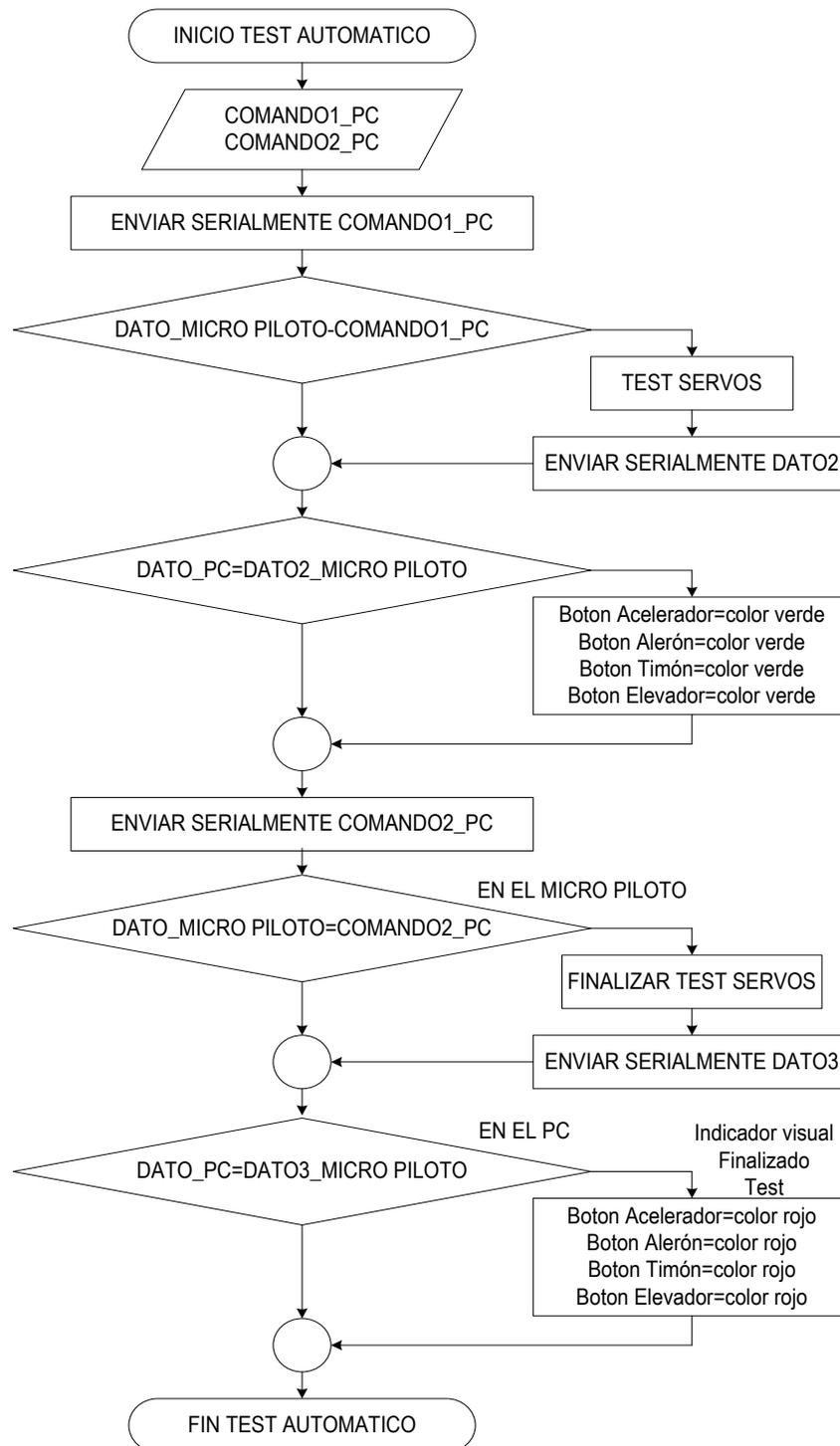


Figura 2.35: Diagrama de flujo para realizar el test automático

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.10 CREACIÓN DE TABLAS EN SQL SERVER Y TIPOS DE DATOS

Para el proceso de guardar los datos en SQL Server se debe realizar los siguientes procedimientos a continuación:

- Primero abrir SQL Server Management Studio.
- Luego se debe conectar, con Windows Authentication.
- Para crear la base de datos se ubica en Databases y new Database.

El proceso descrito se puede observar el Figura 2.36.

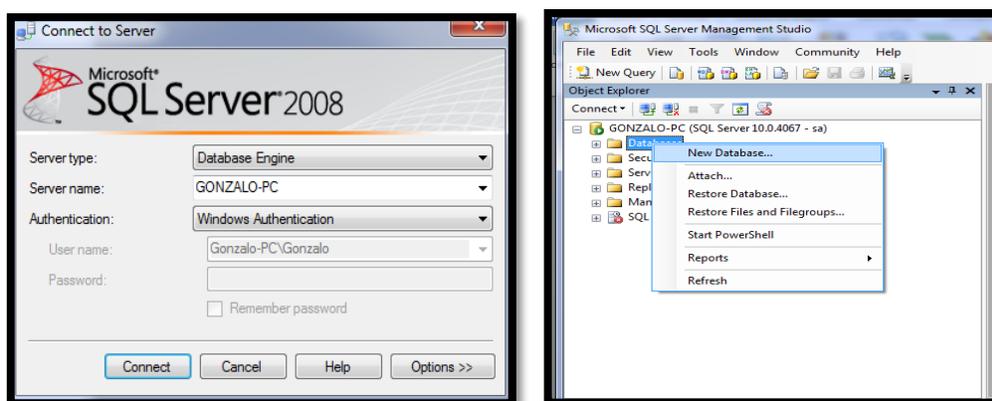


Figura 2.36: Creación de una base de datos en SQL server

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Luego aparece una ventana Figura 2.37 donde se ingresa el nombre a la base de datos en este caso UAV_DATOS_PELICANO, la pestaña Owner permite que un usuario tenga acceso a la base de datos pero sino solo se deja predeterminado.

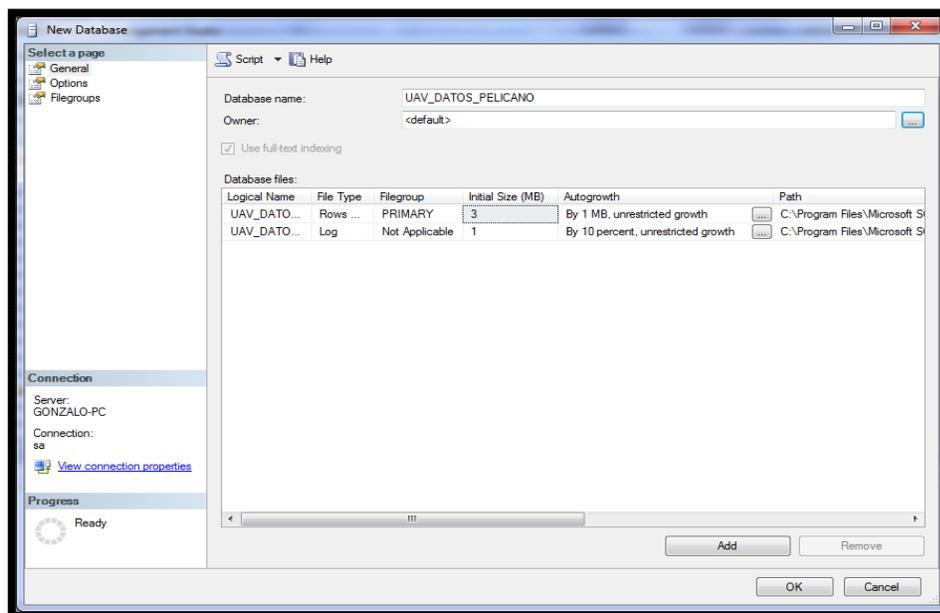


Figura 2.37: Venta para la configuración de la base de datos
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

A continuación en la Tabla 2.8 se observa los parámetros establecidos para la base de datos.

Tabla 2.8: Parámetros de configuración de la base de datos

Pestañas	Descripción
File Type	Indica el tipo de archivo si es Rows Data o un archivo Log, los valores se dejan por defecto.
Filegroup	Indica si el archivo es primario, secundario o un log para este caso queda con los valores por defecto.

InitialSize Continúa	Tamaño inicial que tendrá la base de datos. Continúa 
Autogrowth	Crecimiento automático es el tamaño hasta donde se puede agrandar la base de datos y en la medida que esta irá creciendo, por defecto es indefinida y crecerá mientras tenga espacio en disco para el caso es de crecimiento automático.
Path	Ruta donde se va a guardar el archivo.

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.10.1 PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE BASE DE DATOS

Para la configuración del espacio de la base de datos se ingresa a Autogrowth o crecimiento automático a continuación aparece una ventana donde se puede añadir el tamaño de la base de datos. Obsérvese Figura 2.38.

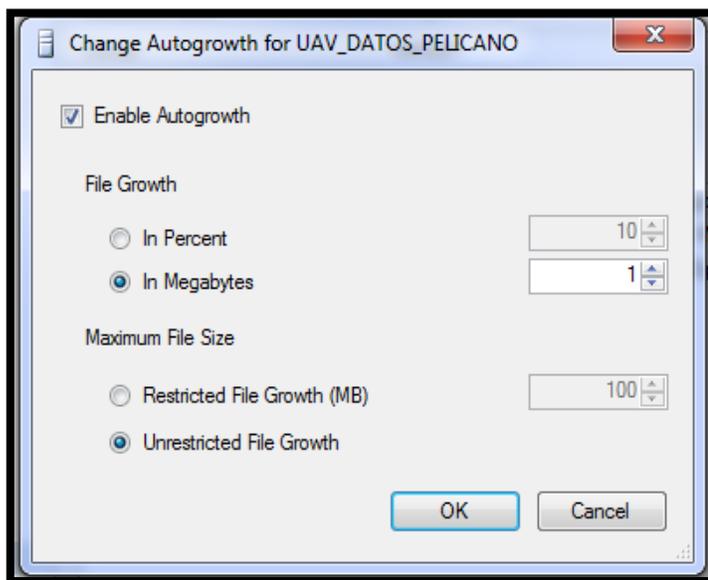


Figura 2.38: Ventana para el crecimiento de nuestra base de datos

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Se requiere que aumente en porcentaje o en megabytes lo más recomendado es en megabytes, esto quiere decir que cuando se acaben los 3 megas se aumentará automáticamente un mega y se escoge no limitar el crecimiento de los archivos es decir hasta que no haya espacio en el disco duro. Una vez definido estos parámetros se acepta y se creara la base de datos Figura 2.39.

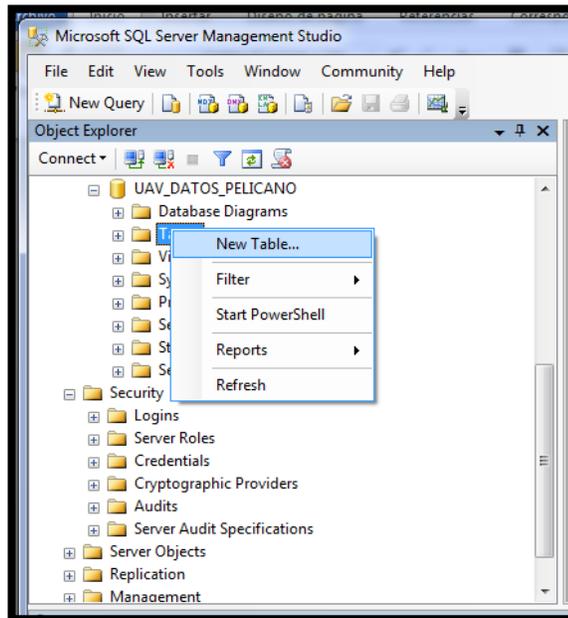


Figura 2.40: Creación de una nueva tabla
 Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Aparecerá un cuadro de escritura donde se crea la tabla llenándolo con los atributos requeridos y especificando el tipo de dato que corresponde.

 A screenshot of the SQL Server Enterprise Designer showing the table structure for 'GONZALO-PC.UAV... dbo.UAV_DATOS'. The table has the following columns:

Column Name	Data Type	Allow Nulls
Id	bigint	<input type="checkbox"/>
ROLL	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
PITCH	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
YAW	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
MANUAL_AUTO	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
ALTURA_GPS	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
ALTITUD	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
VELOCIDAD	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
LATITUD	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
LONGITUD	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
PORCENTAJE_MOTOR	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
FECHA	varchar(50)	<input type="checkbox"/>
HORA	varchar(50)	<input type="checkbox"/>

 The 'HORA' column is currently selected and highlighted in blue.

Figura 2.41: Tabla creada para los datos del UAV-0
 Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

En la Figura 2.41 se observa tres columnas en el Column Name se escribe los nombres de los datos de la aeronave que se almacenaran, en el Data Type se coloca el tipo de dato para cada variable y finalmente en Allow Nulls seleccionar si se desea aceptar valores nulos para cada variable.

2.11 CONEXIÓN VISUAL STUDIO C# Y SQL SERVER 2008

Lo primero es crear una clase BDComún para la conexión de red entre la aplicación y el servidor de bases de datos. Para ello usar la clase SqlConnection del namespace SqlClient. Este espacio de nombres es el encargado de gestionar los datos en SQL Server hacia el Framework .NET. La cadena de conexión puede ser de dos formas distintas, según se indique la autenticación de Windows o la de SQL Server.

2.11.1 CADENA DE CONEXIÓN CON AUTENTICACIÓN DE SQL SERVER

Para conectar la base de datos UAV_DATOS_ PELICANO es necesario especificar los siguientes parámetros descritos a continuación:

- Data Source: Se refiere al origen de datos, nombre del servidor o dirección donde se encuentra la base de datos.
- InitialCatalog: Es el nombre de la base de datos a la que se desea acceder.

Luego de establecer la cadena de conexión proceder a abrir la conexión hacia el servidor con el método Open ().

2.12 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS EN VISUAL STUDIO C#

En el menú de la interfaz principal se tiene la opción Base de Datos donde se encuentra la ventana Consulta de Datos, donde se detalla la fecha en la cual se desea consultar los datos , también tiene la capacidad de exportar los datos a Excel como se observar Figura 2.42.

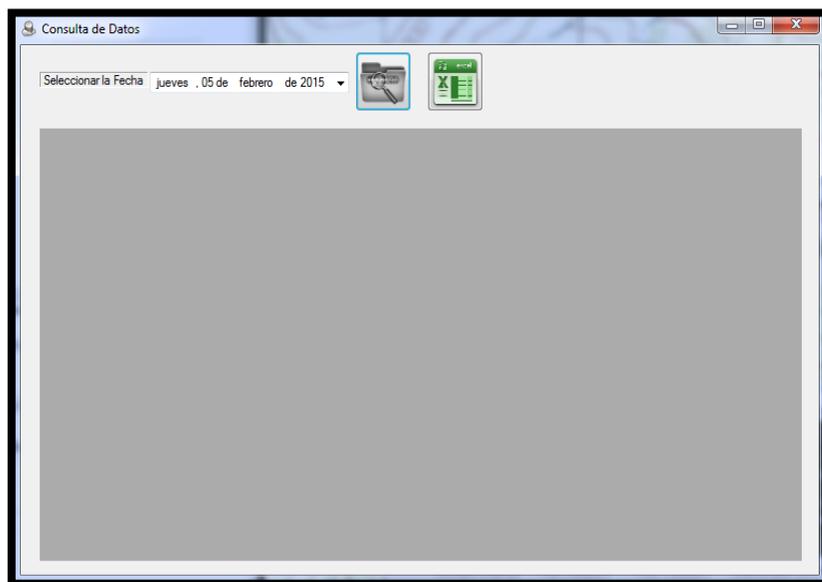


Figura 2.42: Ventana consulta de datos del UAV-0
Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

A continuación se detalla las funciones que dispone la ventana de Consulta de Datos como se observar la Tabla 2.9.

Tabla 2.9: Especificaciones del menú base de datos

MENU	FUNCIÓN
Seleccionar Fecha	Permite elegir la fecha en la cual se desea consultar los datos almacenados.
Carpeta	En el icono de forma de carpeta se debe dar un clic para desplegar los datos de la fecha anteriormente seleccionada.
Excel	En este icono permite exportar los datos consultados a Excel para su mejor análisis.

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

2.12.1 CONSULTA DE DATOS DEL UAV-0

Para realizar la búsqueda de los datos en la ventana Consulta de datos de la Figura 2.42 que se almacenaron durante una prueba de prevuelo del UAV-0 es necesario realizar lo siguiente:

- Click en el icono de forma de carpeta y se despliega todos los datos.
- Si se desean exportar los datos a Excel click en el icono de Excel.

CAPÍTULO 3

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para realizar el análisis del funcionamiento del sistema electrónico de prevuelo es necesario instalar, conectar, energizar todos los componentes en la aeronave para posteriormente verificar el correcto funcionamiento del sistema de comunicaciones y la interfaz de visualización de las variables que contiene el sistema de prevuelo, con lo mencionado anteriormente se garantizará que éste proyecto se encuentre en óptimas condiciones.

3.1 HARDWARE

Las pruebas de hardware se realizaron para verificar que los dispositivos empleados se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento para lograr la comunicación entre el UAV-0 y la interfaz de visualización en la computadora, se utilizó radio módems los cuales transfieren datos de forma inalámbrica.

A través del puerto serial que dispone el radio modem receptor se procedió a conectar con la computadora en donde se tiene la interfaz de visualización de los datos del UAV-0 con la ayuda de un cable USB-Serial, de la misma forma se procedió a establecer una conexión serial entre el radio modem transmisor y el UAV-0 a través de sus puertos seriales con la ayuda de un cable serial directo como se indica en la Figura 3.1.

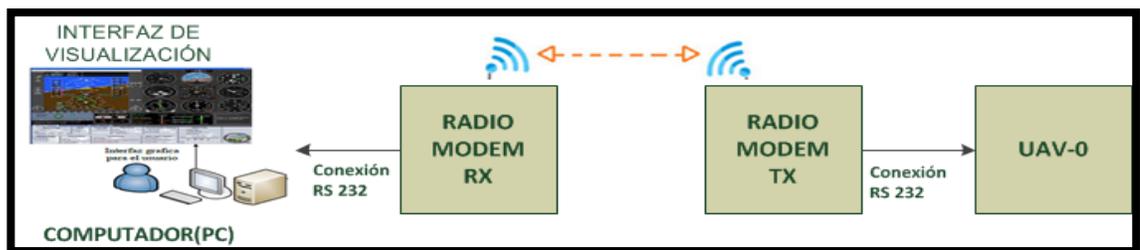


Figura 3.1: Sistema de Comunicación del UAV-0
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.1.1 INSTALACIÓN DEL RADIO MODEM EN EL UAV-0

- a. Para la instalación del radio modem transmisor en el UAV-0 se debe tomar en consideración la posición en la cual la antena del radio tenga el mayor alcance de transmisión, también la facilidad de acceso al mismo para tareas de conexión de la batería de alimentación 12 VDC, mantenimiento, para lograr la comunicación del radio modem con el UAV-0 se lo hace con la ayuda de un cable serial directo como se observa en la Figura 3.2.



Figura 3.2: Instalación del radio modem en el UAV-0
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

- b. Para realizar la conexión del radio modem receptor con la computadora se requiere realizar lo siguiente.
- Para lograr la comunicación de la computadora con el radio modem receptor se lo consigue con la ayuda de un cable USB- Serial.
 - Verificar que la dirección de la antena tenga una buena señal de recepción.
 - Alimentar al radio modem con una batería de 12 VDC.

En la Figura 3.3 se observa la conexión del radio modem al computador.

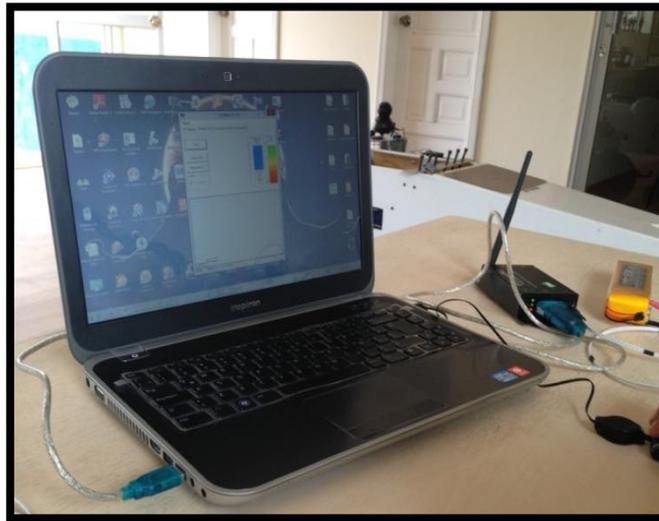


Figura 3.3: Conexión del radio modem al computador para realizar la comunicación

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.1.2 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS RADIOS MÓDEMS (TX/RX)

Para esta etapa se utiliza el software X-CTU, la primera prueba de transmisión se realizó con las antenas coaxial a una distancia máxima de 4 metros a esta distancia no existió problemas en la transmisión y no se obtuvo ningún problema en la recepción de datos en el X-CTU.

Realizada la configuración de los radios en esta etapa se procede a comprobar funcionamiento para lo cual se ingresa a la pestaña Range Test del X-CTU luego se debe presionar el botón Start para empezar la prueba de comunicación entre los radios como se muestra en la Figura 3.4.

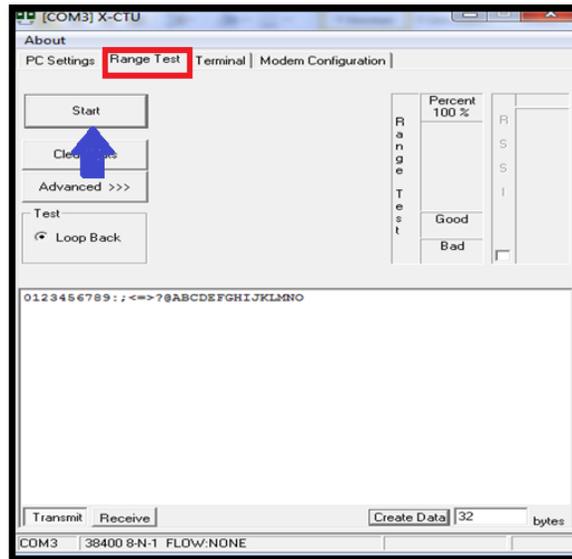


Figura 3.4: Ventana Range Test
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

En la Figura 3.5 se observa la información del estado de las comunicaciones de los radios modem, esto indica cuántos mensajes llegan bien y cuantos mal, y el porcentaje de la transmisión que se está llevando correctamente.

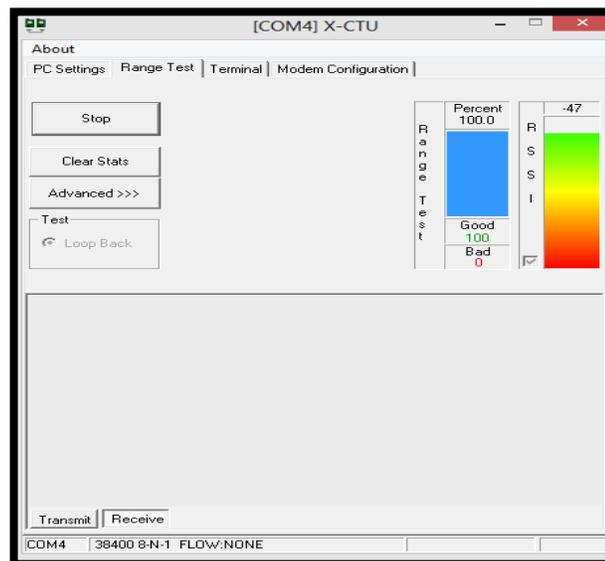


Figura 3.5: Ventana del estado de transmisión entre los radios
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.2 SOFTWARE

El desarrollo de las pruebas del software se realizaron para la adquisición y visualización de los datos en la interfaz realizada en Visual Studio C# para verificar que funcione correctamente.

La comunicación entre el UAV-0 y la computadora se efectúa inalámbricamente por medio de los radios modem.

Para ejecutar el programa del sistema de pre vuelo es necesario abrir Visual Studio, ir al menú archivo, seleccionar la opción abrir en la carpeta archivo, buscar la carpeta sistema electrónico de pre vuelo abrir la carpeta y escoger el segundo archivo del mismo nombre de la carpeta y dar doble click como se indica a continuación en la Figura 3.6.

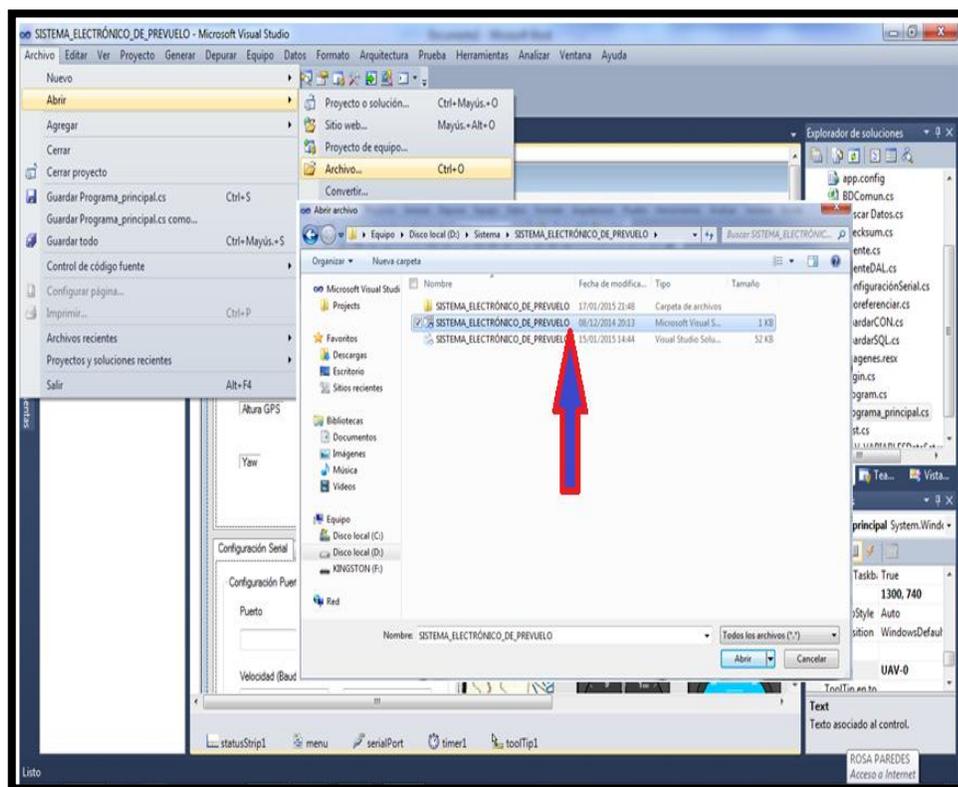


Figura 3.6: Ejecución del proyecto sistema de pre vuelo

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Para ejecutar el programa se debe dar un click como se indica en la flecha o presionar la tecla F5 del teclado de la computadora como se indica en la Figura 3.7.

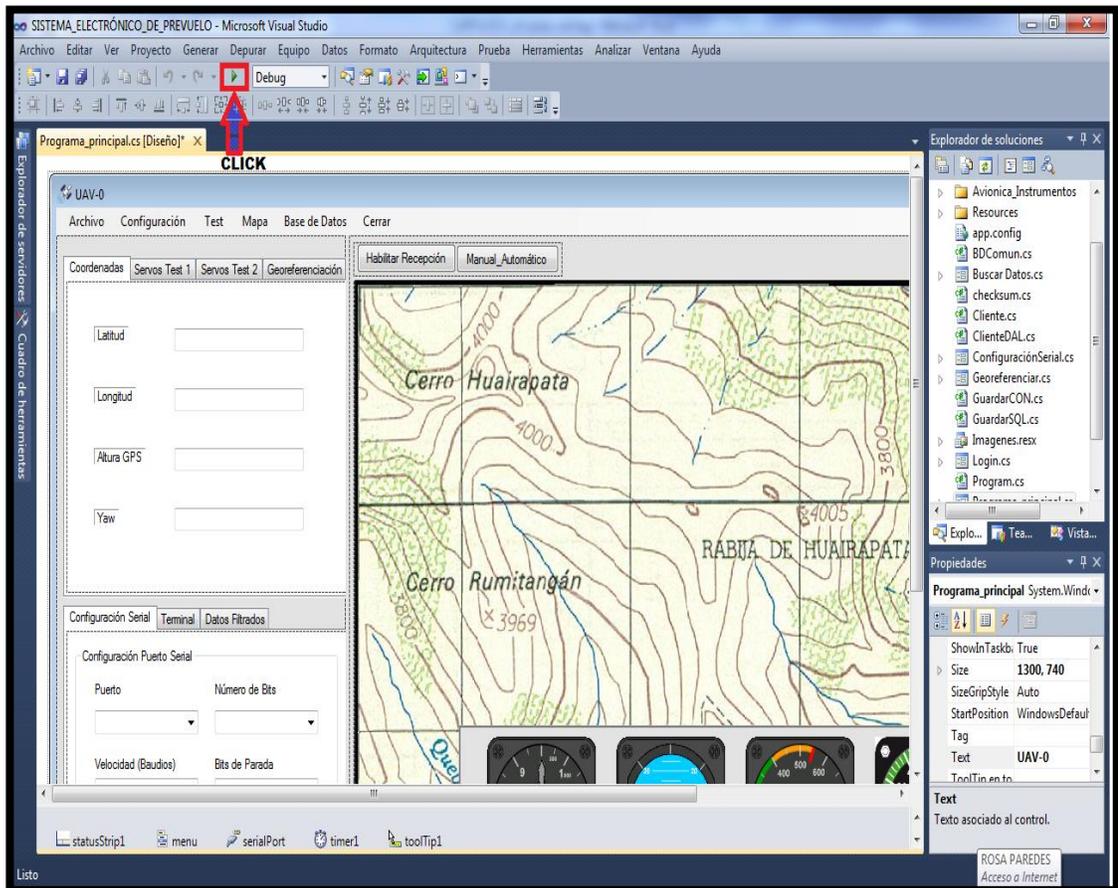


Figura 3.7 Interfaz del programa a ejecutar

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

A continuación en la Figura 3.8 se observa el proyecto abierto.

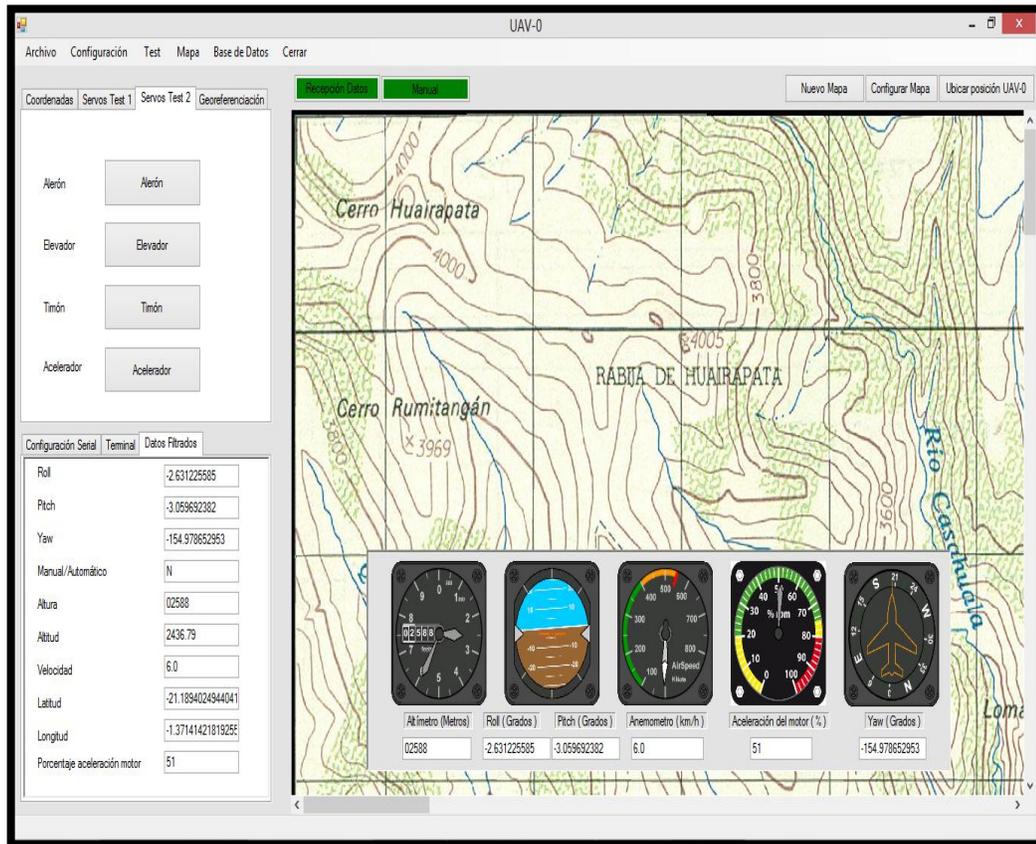


Figura 3.8: Interfaz del sistema electrónico de vuelo

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL PUERTO SERIAL

Para verificar la disponibilidad del puerto serial se debe realizar lo siguiente en la opción 1, como se indica en la Figura 3.9 en la flecha se tiene un menú en el cual aparecerá el puerto que está habilitado en este caso se tiene el COM3, como se puede observar se puede configurar la velocidad, paridad, número de bits, bits de parada, para confirmar estos parámetros se debe dar un click en la opción 2, finalmente se requiere dar un click en la opción 3 para abrir el puerto serial escogido.

La interfaz visualiza el estado de conexión del puerto serial en la cual aparecerá un mensaje que valide o no la conexión como se indica en la Figura 3.9.



Figura 3.9: Configuración del puerto serial

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.3 INTERFAZ DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE PREVUELO

Una vez configurado el puerto serial, la interfaz está disponible para visualizar los datos del UAV-0, para lo cual se debe presionar el botón recepción datos el mismo que controla la recepción de datos provenientes del UAV-0 los cuales serán visualizados y representados en la interfaz como se indica en la Figura 3.10.

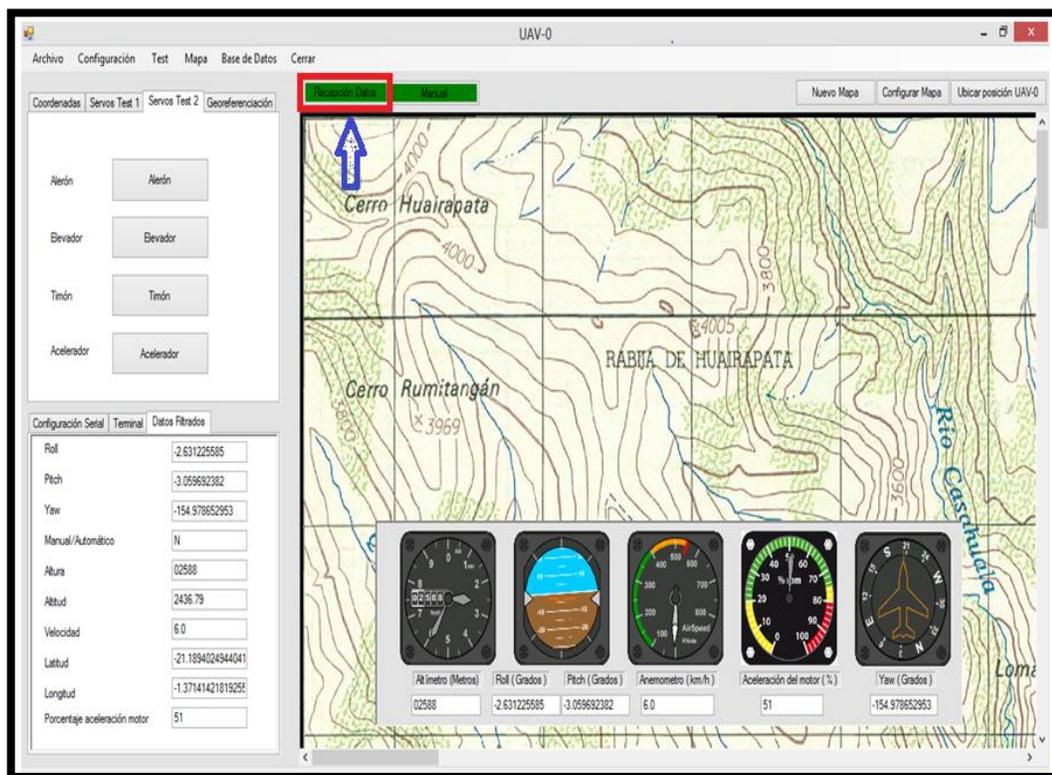


Figura 3.10: Recepción de datos del UAV-0
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.3.1 UBICAR LA POSICIÓN DEL UAV-0 EN EL MAPA

Para ubicar la posición en que se encuentra la aeronave se debe presionar el botón ubicar posición UAV-0 y se posicionará el indicador GPS (aeronave) como se indica en la Figura 3.11.



Figura 3.11: Ubicación de la aeronave dentro del mapa
Elaborado por: Moreta, D. ; Salazar, G.

3.3.2 UBICAR POSICIÓN DEL UAV-0 EN UN MAPA DIFERENTE

Al cargar un mapa diferente necesariamente se debe colocar los nuevos puntos de coordenadas geográficas y presionar el botón configurar como se indica en la Figura 3.12.

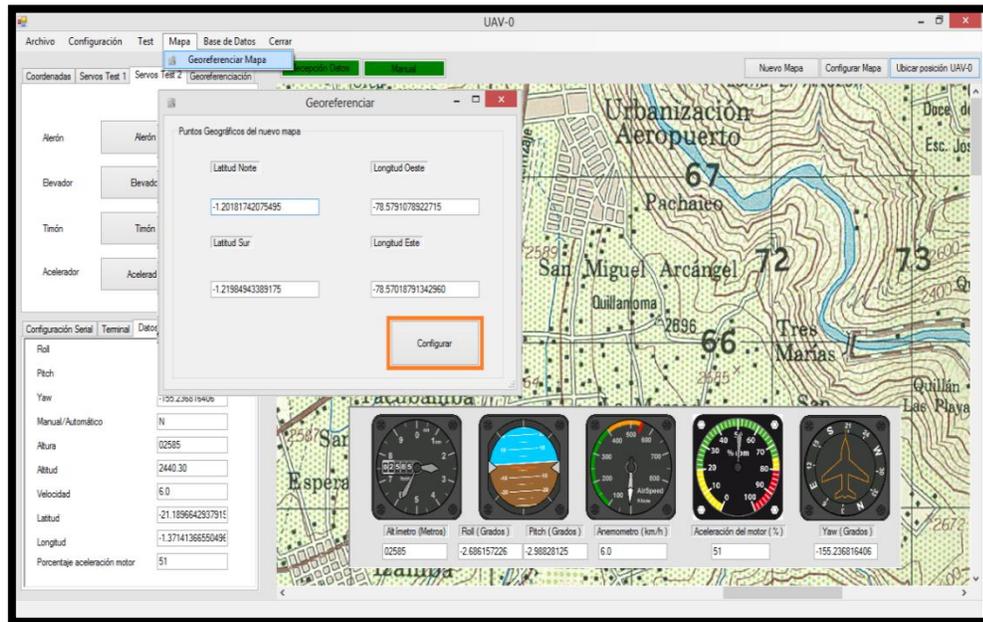


Figura 3.12: Puntos de coordenadas del nuevo mapa digital
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Para ubicar la posición del UAV-0 en el nuevo mapa se debe presionar el botón ubicar la posición UAV-0 como se indica, en la Figura 3.13 se observa la posición del UAV-0 en el mapa.



Figura 3.13: Ubicación de la aeronave dentro del mapa
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.3.3 SERVOMOTORES TEST 1

El sistema de prevuelo tiene la capacidad de controlar el ángulo de movimiento de los servomotores los mismos que controlan las superficies de control de vuelo, de esta manera el usuario verificará visualmente si el movimiento está acorde a la posición asignada desde la interfaz.

El test 1 se realiza mediante el movimiento de los sliders los cuales controlan el ángulo de movimiento de los servos correspondientes al alerón, timón, elevador como se observa en la Figura 3.14.

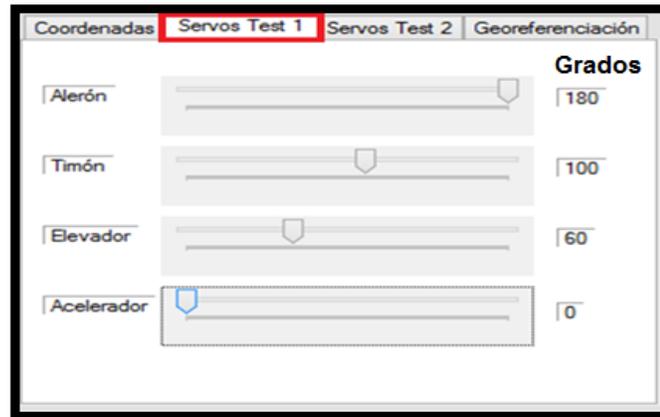


Figura 3.14: Test 1 Servos

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

El movimiento de los servomotores se puede observar a continuación:



Figura 3.15: Comprobación de los servomotores de los alerones

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.



Figura 3.16: Comprobación del servomotor del timón
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

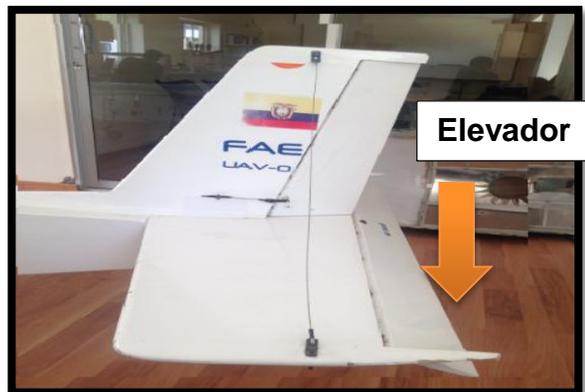


Figura 3.17: Comprobación del servomotor del elevador
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

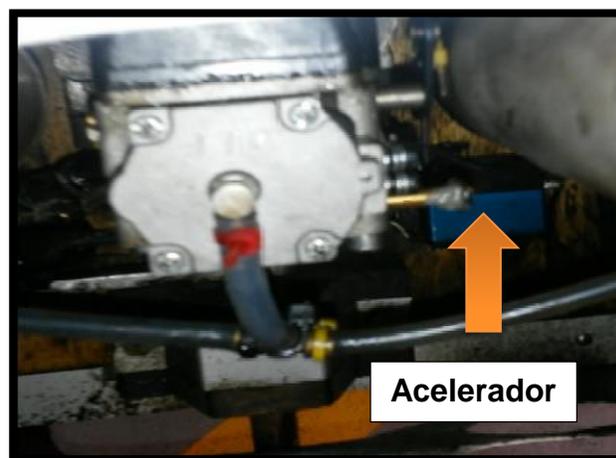


Figura 3.18: Comprobación del servomotor del acelerador
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.3.4 SERVOMOTORES TEST 2

El test 2 se realiza mediante el click de botones correspondientes al alerón, timón, elevador los mismos que empezaran a moverse en el rango de 0 a 180 grados correspondiente a cada servomotor.

En la Figura 3.19 se puede observar que el servo del alerón no está realizando el test mientras que los servos, elevador, timón, acelerador están realizando la comprobación del servo.

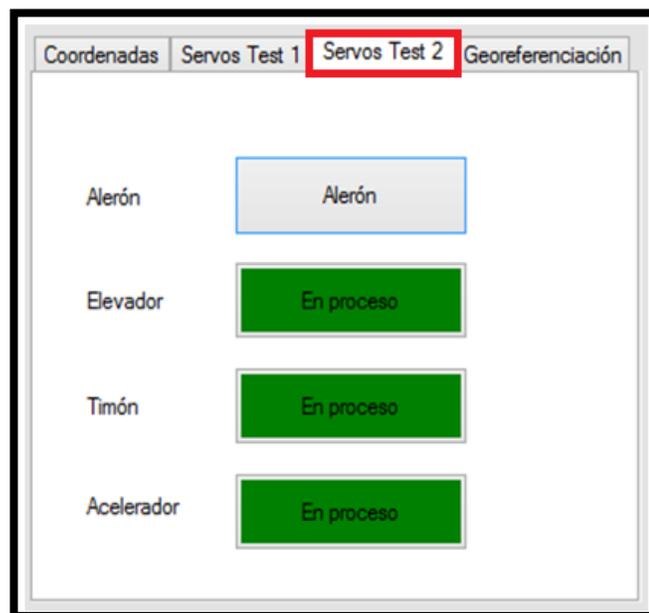


Figura 3.19: Iniciando Servos Test 2
Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

Para finalizar la comprobación de los servos se requiere dar nuevamente un click sobre el mismo botón como se indica en la Figura 3.20 el servomotor correspondiente al alerón ha terminado el proceso de comprobación.

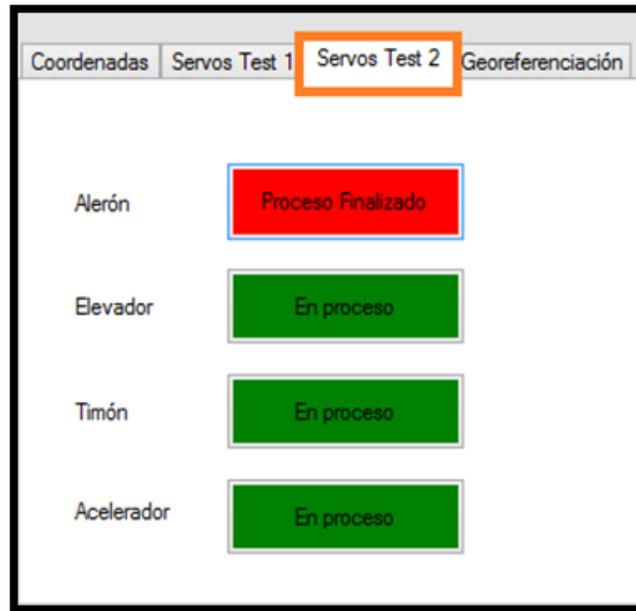


Figura 3.20: Finalizando Servos Test 2

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.3.5 COMPROBACIÓN DEL ESTADO DE LOS SENSORES

El sistema de prevuelo tiene la capacidad de entregar un reporte, el mismo que permite conocer el estado de funcionamiento de los sensores, de esta forma si estas variables son correctas el UAV-0 podrá emprender vuelo.

Como se visualiza en la Figura 3.21 el sensor GPS esta averiado como se puede observar dos indicadores en alerta y un indicador sin color no existe ningún dato mientras que los otros sensores funcionan correctamente.



Figura 3.21: Estado de los sensores del UAV-0

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.3.6 BASE DE DATOS

El sistema electrónico de pre vuelo se encuentra almacenando información de los sensores cada segundo en la base de datos mientras exista comunicación de datos.

a. CONSULTA DE DATOS

En la pestaña Base de Datos seleccionar “Buscar Datos” donde se despliega una ventana tal como se muestra en la Figura 3.22.

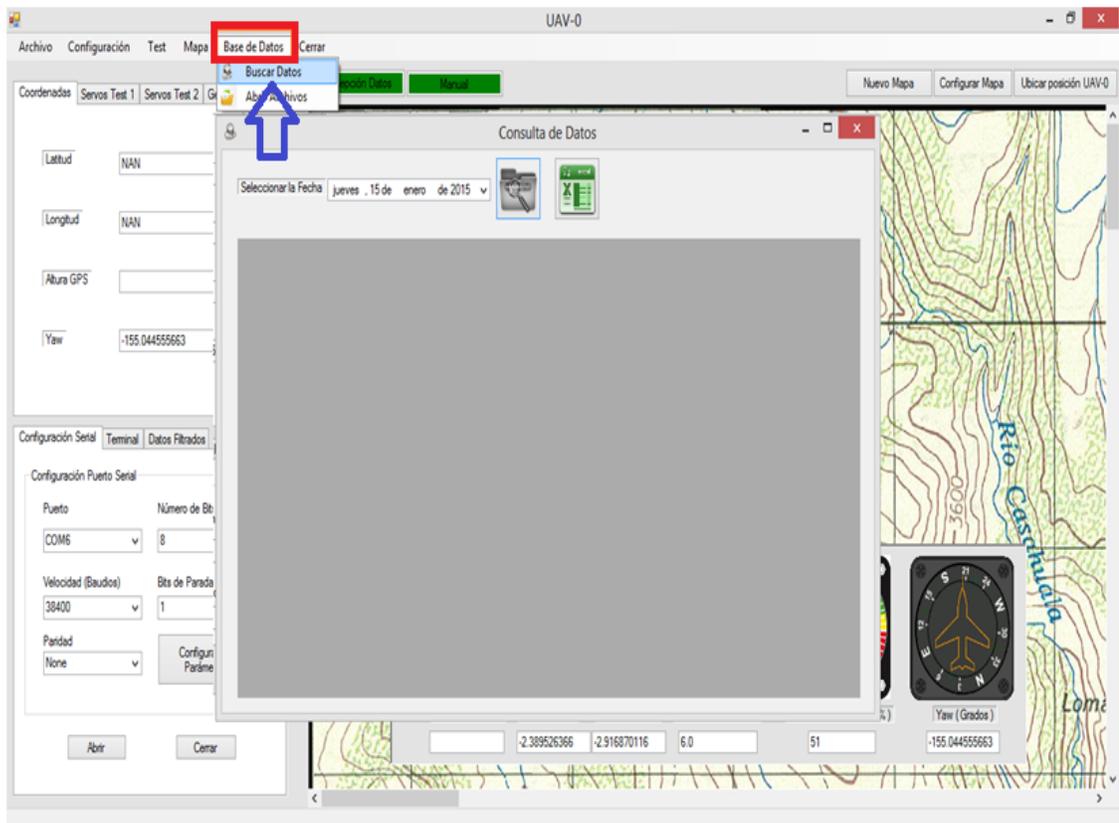
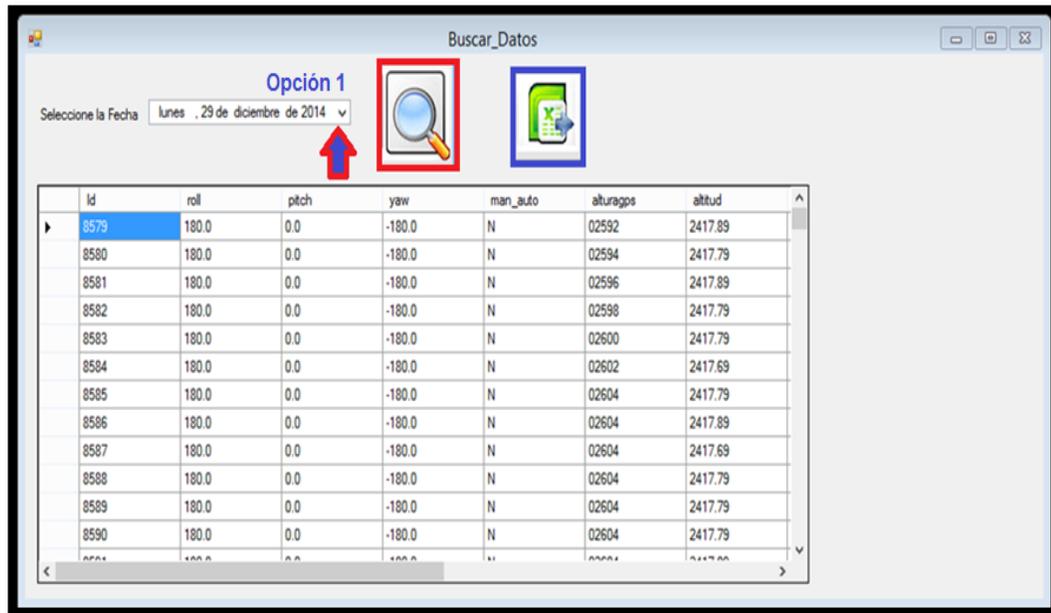


Figura 3.22: Ventana para realizar la consulta de datos

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

En la ventana Buscar datos se debe seleccionar la fecha en la cual se requiere conocer los datos como se indica en la opción 1 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, dando un click en el icono remarcado de color azul como se muestra en la Figura 3.23.



Buscar_Datos

Opción 1

Seleccione la Fecha: lunes, 29 de diciembre de 2014

id	roll	pitch	yaw	man_auto	alturagps	altitud
8579	180.0	0.0	-180.0	N	02592	2417.89
8580	180.0	0.0	-180.0	N	02594	2417.79
8581	180.0	0.0	-180.0	N	02596	2417.89
8582	180.0	0.0	-180.0	N	02598	2417.79
8583	180.0	0.0	-180.0	N	02600	2417.79
8584	180.0	0.0	-180.0	N	02602	2417.69
8585	180.0	0.0	-180.0	N	02604	2417.79
8586	180.0	0.0	-180.0	N	02604	2417.89
8587	180.0	0.0	-180.0	N	02604	2417.69
8588	180.0	0.0	-180.0	N	02604	2417.79
8589	180.0	0.0	-180.0	N	02604	2417.79
8590	180.0	0.0	-180.0	N	02604	2417.79

Figura 3.23: Consulta de datos almacenados en SQL server

Elaborado por: Moreta, D.; Salazar, G.

3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

3.4.1 ALCANCES

El proyecto tiene los siguientes alcances, los cuales se detallan a continuación:

- Permite visualizar los datos de los sensores inercial, GPS, altímetro, airspeed que dispone la aeronave UAV-0.
- La comunicación se realiza inalámbricamente y tiene un alcance de hasta 100 metros para su operación óptimo.
- Permite controlar las superficies de vuelo mediante el movimiento de los servomotores que dispone la aeronave.
- Se puede obtener la posición de la aeronave UAV-0 en el mapa topográfico seleccionado.

- Permite guardar los datos de la aeronave en una base de datos SQL Server y también extraer los datos para su posterior análisis.

3.4.2 LIMITACIONES

- El sistema electrónico de prevuelo solamente realiza el monitoreo de las variables del UAV-0.
- No efectúa el monitoreo en vuelo ya que se debe considerar otros parámetros que no se mencionan en el proyecto.

3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para la implementación del sistema electrónico de prevuelo, se debe determinar el estado de las variables de la aeronave para lo cual es necesario utilizar los siguientes dispositivos que se menciona a continuación en la Tabla 3.1.

El tiempo de recuperación de la inversión es inmediato cada vez que se realizan tareas de vuelo porque este sistema verifica que la aeronave esté funcionando correctamente, previniendo de posibles accidentes.

Tabla 3.1: Análisis económico del proyecto

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
2	Baterías EONX30	169.99	339.98
2	Radios módems	230.00	460.00
1	Cable USB/serial	12.10	12.10
1	Cable Serial RS232 macho a hembra directo	7.00	7.00
1	SQL Server 2008	200.00	200.00
1	Licencia software Visual Studio Ultimated 2010	200.00	200.00
TOTAL			1219.08

Elaborado por: Moreta, D. y Salazar, G.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La implementación del sistema electrónico de prevuelo permite visualizar la información de cada sensor que dispone la aeronave y permite el control de movimiento de las superficies de vuelo para verificar si la aeronave se encuentra en condiciones 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.
- Para determinar el estado de funcionamiento de las superficies de control de vuelo de la aeronave se debe verificar si el servomotor que controla estas superficies se mueve en todo su rango de operación.
- Se empleó SQL SERVER 2008 porque permite almacenar gran cantidad de información además trabajan muy bien conjuntamente con Visual Studio C# adicionalmente estos datos pueden ser exportados y visualizados en Excel.
- En la etapa de pruebas del sistema se presentaron inconvenientes con la memoria RAM de un determinado computador de limitadas prestaciones, para solucionar este problema se requirió añadir al programa un método que permita la liberación de memoria de la aplicación, con esto se aseguró que la aplicación pueda ser ejecutada desde cualquier computador independiente de sus características.

- Para el desarrollo del proyecto se optó por utilizar Visual Studio C# debido a que se contaba con información disponible para aprender a usarlo y la aplicación requería que sea desarrollada en este lenguaje de programación como base para otras futuras aplicaciones.
- El desarrollo del presente proyecto realiza el chequeo y visualización de las variables de la aeronave antes de realizar el vuelo programado.
- El tiempo de comprobación del estado de los servomotores es menor empleando los sliders en relación a los botones.
- Se logró mover todos los servomotores de la aeronave al mismo tiempo empleando los botones de la pestaña Servos Test2 en la interfaz.
- Las tareas de prevuelo 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.

4.2 RECOMENDACIONES

- Observar en la interfaz de visualización el estado de conexión del puerto serial en la cual aparecerá un mensaje que valide o no la conexión.
- Para poder controlar el ángulo de movimiento de los servomotores los mismos que manejan las superficies de control de vuelo de la aeronave es necesario verificar que los niveles de voltaje que presenta la pantalla de la PowerBox sean de 6 voltios.
- Verificar que las baterías que alimentan al Micropiloto, PowerBox tenga un nivel de voltaje de 12 voltios y 6 voltios respectivamente esta verificación se puede realizar con un multímetro.
- Comprobar que los niveles de voltaje de las baterías que alimentan a los radios modem sean de 12 voltios con un multímetro, para asegurar su correcto funcionamiento.
- Antes de desconectar el cable USB Serial del puerto USB del computador se debe cerrar el puerto desde la interfaz.
- Realizar la comprobación de los servomotores sin combinar las dos formas de testeo como son Servos Test1 y Servos Test2 para evitar cambios bruscos en los movimientos de los ángulos del servomotor.
- Verificar mediante los leds de encendido del radio modem la salida, entrada de datos seriales y si el dispositivo está encendido.

4.3 TRABAJOS FUTUROS

A continuación se presentan algunos trabajos futuros que pueden desarrollarse como resultado de esta investigación o que, por exceder el alcance de esta tesis, no han podido ser tratados con la suficiente profundidad. Además, se sugieren algunos desarrollos específicos para apoyar y mejorar la investigación.

Entre los posibles trabajos futuros se destacan a continuación:

- Monitoreó en vuelo de los datos de la aeronave con la implementación de antenas de alta ganancia empleando este proyecto desarrollado.
- Control de la aeronave en vuelo en base al trabajo desarrollado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sharp, J. Jagger, «MICROSOFT VISUAL C#. NET» McGraw-Hill Profesional, 2002.
- [2] T.Archer, «A FONDO C# » McGraw-Hill Profesional, 2001.
- [3] Yuri J.Pando Fernández, «SQL Server 2008 »MACRO, 2009.

LINOGRAFÍA

- [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] Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS).[En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
<http://www.infodefensa.com/publicaciones/perfiles-uas/#/3/zoomed>
- [3] Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS). [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
<http://www.madrimasd.org/informacionidi/noticias/noticia.asp?id=50797>
- [4] M. Acosta. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12465/1/memoria.pdf>
- [5] Sistemas Aéreos Autonomos. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70314/fichero/Memoria%252F2++UAS.pdf>
- [6] Sistemas Aéreos Autónomos. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70314/fichero/Memoria%252F2++UAS.pdf>

[7] Aviones no Tripulados de EEUU en América Latina. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
http://www.defensa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10270:aviones-no-tripulados-de-eeuu-en-america-latin&catid=55:latinoamerica&Itemid=163

[8] Centro de Investigación y Desarrollo FAE. [En línea].
http://www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec/site/index.php?option=com_content&view=article&id=124&Itemid=493. [Ultimo Acceso: 25 noviembre 2014]

[9] Unmanned Aerial Systems | [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://www.infouas.com/como-se-preve-la-inversion-mundial-en-uav-en-la-proxima-decada/>

[10] DRONES DEL SUR [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://dronesdelsur.org/industria/ecuador/>

[11] Tesis: "SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE DATOS PARA LOS AVIONES NO

TRIPULADOS UAV DURANTE LAS MISIONES DE VUELO EN EL CENTRO

DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FAE" [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5724/Tesis_t827ec.pdf?sequence=1

[12] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/rotations.html>

[13] Aplicaciones Civiles de los UAVS [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en: <http://www.aviacioncivil.com.ve/tag/uav>

[14] Aviación Civil Con una Visión distinta del Mundo Aeronáutico [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://www.aviacioncivil.com.ve/tag/uav>

[15] Vehículos Aéreos no Tripulados. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://www.investinspain.org/invest/wcm/idc/groups/public/documents/docum ento/mda0/ndqw/~edisp/4440127.pdf>

[16] Surabaya Hobby [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

http://www.surabayahobby.com/produk_2406_dle-170-170cc-gasoline-twin-engine.html

[17] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://www.manualvuelo.com/PRE/PRE46.html>

[18] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://www.manualvuelo.com/PRE/PRE46.html>

[19] TYSSA [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

http://www.tyssatransito.com/pag_456.htm

[20] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12148/1/Libro%20Robotica%20Cooperativa%20Reinner%20Steven%20Daza%20Leiva%202014.pdf>

[21] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://programarsencillo.blogspot.com>

[22] Base de Datos. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://es.slideshare.net/cursosan/bases-de-datos-499196>

[23] Microsof SQL Server. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en: <http://www.intercambiosvirtuales.org/software/microsoft-sql-server-2008-r2-enterprise-edition-dvd-espanol>

[24] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

http://www.ucancode.net/CSharp_Tutorial_GDI+_Gauge_Source_Code.htm

[25] Piloto Automático,» [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014].

Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Piloto_autom%C3%A1tico/

[26] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:

<http://eprints.ucm.es/9477/1/documentacion.pdf/>

[27] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
<http://www.directindustry.es/prod/microstrain/sensores-inerciales-27212-540093.html>

[28] [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Latitud-Altitud-y-Longitud/1205772.html>

[29] Instrumentos de Vuelo,» [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014].
Disponible en: <http://es.slideshare.net/GonzaloSantiago/instrumentacion-de-vuelo>

[30] Eagle Tree Systems Altimeter and Airspeed Standalone Microsensors
Review [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible en:
<http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=947316>Comunque

[31] Eagle Tree ALTIMETRO V4 [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre
2014]. Disponible en:
http://electronicarc.com/catalogo/product_info.php?products_id=458

[32] Servisystem. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. Disponible
en: <http://www.servisystem.com.ar/NEOTEO/Servo/servo.htm>

ANEXOS

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A: Glosario de Términos

ANEXO B: Hojas de Especificaciones Técnicas

ANEXO A
GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

AERONÁUTICA. La aeronáutica es la disciplina que se dedica al estudio, diseño y manufactura de aparatos mecánicos capaces de elevarse en vuelo, así como el conjunto de las técnicas que permiten el control de aeronaves. La aeronáutica también engloba la aerodinámica, que estudia el movimiento y el comportamiento del aire cuando un objeto se desplaza en su interior, como sucede con los aviones. Estas dos ramas son parte de la física.

AUTONOMÍA DE VUELO. En aeronáutica, se llama alcance de una aeronave a la distancia que es capaz de recorrer volando a velocidad de crucero en línea recta.

C

CARRETEO O RODAJE. Cuando se traslada la nave desde la terminal a la pista a través de las calles de rodaje

CRIPTOGRAFÍA. La criptografía es la técnica que protege documentos y datos. Funciona a través de la utilización de cifras o códigos para escribir algo secreto en documentos y datos confidenciales que circulan en redes locales o en internet.

E

ENCRIPCIÓN. La encriptación es el proceso para volver ilegible información considera importante. La información una vez encriptada sólo puede leerse aplicándole una clave.

EMCT. Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT) o SHELTER, tiene la capacidad de cumplir tareas de monitoreo, del VANT.

G

GNC. Es un Sistema Guiado, Navegación y Ccontrol para aeronaves no tripuladas (UAVs) tanto de ala fija como de ala rotatoria abarcando el ciclo de desarrollo completo desde las fases de diseño hasta las de integración y pruebas.

P

PREVUELO. Como su propio nombre (prevuelo) indica, trata de algunas de las tareas previas al despegue del avión. Las operaciones a realizar no son muchas ni complicadas, pero todas ellas son importantes; por ejemplo: comprobar el nivel de aceite y rellenar si es necesario puede evitar una parada de motor en vuelo.

PILOTO AUTOMÁTICO. Un piloto automático es un sistema mecánico, electrónico, eléctrico o hidráulico usado para guiar un vehículo sin la ayuda de un ser humano.

S

SISTEMA ELECTROÓPTICO. Es un sistema de vigilancia que permite la transmisión en tiempo real de video con un rango de operación de varios kilómetros.

T

TELEMETRÍA. La telemetría es una tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema.

TECHO DE VUELO. En aeronáutica, el techo de vuelo es la altitud máxima que una aeronave puede alcanzar en un conjunto de condiciones.

U

UNIDAD DE MEDICIÓN INERCIAL O IMU. Es un dispositivo electrónico que mide e informa acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales de un aparato, usando una combinación de acelerómetros y giróscopos. Las unidades de medición inercial son normalmente usadas para maniobrar aviones, incluyendo vehículos aéreos no tripulados, entre muchos otros usos, y además naves espaciales, incluyendo transbordadores, satélites y aterrizadores.

V

VANT. Un vehículo aéreo no tripulado o dron es una aeronave que vuela sin tripulación.

ANEXO B

Hojas de Especificaciones Técnicas

XStream-PKG-R™ RS-232/485 RF Modem

XStream RS-232/485 RF Modem
 Interfacing Protocol
 RF Modem Operation
 RF Modem Configuration
 Appendices



Product Manual v4.2B5

For XStream RF Modem Part Numbers:

X09-001PK...-R...

X09-009PK...-R...

X09-019PK...-R...

X24-009PK...-R...

X24-019PK...-R...

XH9-001PK...-R...

XH9-009PK...-R...

XH9-019PK...-R...

900 MHz & 2.4 GHz Stand-alone RF Modems by MaxStream, Inc.

1. XStream RS-232/485 RF Modem

The XStream-PKG-R RF Modem provides long range data communications and advanced networking for OEMs and system integrators. Out-of-box, the modem is equipped to sustain long range wireless links between devices. Simply enter serial data into one modem and the data surfaces on the other end of the wireless link.



The modem transfers a standard asynchronous serial data stream between two or more modems. Its built-in RS-232/485/422 interfacing facilitates rapid integration into existing data systems.

1.1. Features

Long Range	Easy-to-Use
<p>9XStream-PKG-R (900 MHz) Range:</p> <ul style="list-style-type: none"> Indoor/Urban: up to 1500' (450 m) Outdoor line-of-sight: up to 7 miles (11 km) w/ 2.1 dBm dipole antenna Outdoor line-of-sight: up to 20 miles (32 km) w/ high gain antenna <p>24XStream-PKG-R (2.4 GHz) Range:</p> <ul style="list-style-type: none"> Indoor/Urban: up to 600' (180 m) Outdoor line-of-sight: up to 3 miles (5 km) w/ 2.1 dBm dipole antenna Outdoor line-of-sight: up to 10 miles (16 km) w/ high gain antenna <p>Receiver Sensitivity: -110 dBm (900 MHz), -105 dBm (2.4 GHz)</p>	<p>Out-of-Box RF Communications - no configuration required</p> <p>External DIP Switch for configuring:</p> <ul style="list-style-type: none"> RS-232/485/422 support (multidrop included) 2-wire (half-duplex) or 4-wire RS-485/422 operation Parity options <p>7-18 VDC power supply</p> <p>Simple AT and Binary commands for programming the modem</p> <p>Software-selectable serial interfacing rates</p> <p>MODBUS, CTS, RTS, DTR, DCD (& more) I/O Support</p> <p>XII™ Interference Blocking</p> <p>Power-saving Sleep Modes (as low as 6 mA)</p>
<p>Advanced Networking & Security</p> <p>True peer-to-peer (no "master" required), point-to-point, point-to-multipoint, multidrop</p> <p>Retries and Acknowledgements</p> <p>7 hopping channels, each with over 65,000 available network addresses</p> <p>FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)</p>	<p>Free & Unlimited World-Class Technical Support</p>

1.1.1. Worldwide Acceptance

FCC Certified (USA) - Refer to Appendix A for FCC Requirements.

Systems that contain XStream RF Modems inherit MaxStream's FCC Certification.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) frequency band

Manufactured under **ISO 9001:2000 registered standards**

9XStream (900 MHz) RF Modems are approved for use in **US, Canada, Australia &**

Israel (and more). 24XStream (2.4 GHz) Modems add **Europe** (EU) and other approvals.

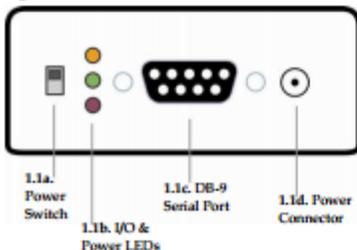


Table 1.1. XStream-PKG-R RS-232/485 RF Modem Specifications

Specification	9XStream-PKG-R (900 MHz)	24XStream-PKG-R (2.4 GHz)
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 1500' (450 m)	Up to 600' (180 m)
Outdoor LOS Range	Up to 7 miles (11 km) w/ dipole antenna Up to 20 miles (32 km) w/ high-gain antenna	Up to 3 miles (5 km) w/ dipole antenna Up to 10 miles (16 km) w/ high-gain antenna
Transmit Power Output	100 mW (20 dBm)	50 mW (17 dBm)
Interface Data Rate	125 – 65,000 bps (software selectable)	125 – 65,000 bps (software selectable)
Throughput Data Rate	9,600 bps	19,200 bps
RF Data Rate	10,000 bps	20,000 bps
Receiver Sensitivity	-110 dBm	-107 dBm
Power Requirements		
Supply Voltage	7-18 VDC	7-18 VDC
Receive Current	70 mA	90 mA
Transmit Current	170 mA	180 mA
Pin Sleep Power-Down	6 mA	6 mA
General		
Frequency	902-928 MHz	2.4000-2.4835 GHz
Spread Spectrum	Frequency Hopping, Wide band FM modulator	Frequency Hopping, Wide band FM modulator
Network Topology	Peer-to-Peer, Point-to-Multipoint, Point-to-Point, Multidrop	Peer-to-Peer, Point-to-multipoint, Point-to-Point, Multidrop
Channel Capacity	7 hop sequences share 25 frequencies	7 hop sequences share 25 frequencies
Data Connection	DB-9	DB-9
Physical Properties		
Enclosure	7.1 oz. (200g), Extruded aluminum, black anodized	7.1 oz. (200g), Extruded aluminum, black anodized
Enclosure Size	2.750" x 5.500" x 1.125" (6.99cm x 13.97" x 2.86cm)	2.750" x 5.500" x 1.125" (6.99cm x 13.97" x 2.86cm)
Operating Temperature	0 to 70° C (commercial), -40 to 85° C (industrial)	0 to 70° C (commercial), -40 to 85° C (industrial)
Antenna		
Type	½ wave dipole whip, 6.75" (17.1 cm), 2.1 dBi Gain	½ wave dipole whip, 5.25" (13.3 cm), 2.1 dBi Gain
Connector	Reverse-polarity SMA	Reverse-polarity SMA
Impedance	50 ohms unbalanced	50 ohms unbalanced
Certifications (Refer to www.maxstream.net for additional certifications)		
FCC Part 15.247	OUR9XSTREAM	OUR-24XSTREAM
Industry Canada (IC)	4214A-9XSTREAM	4214A 12008
Europe	N/A	ETSI, CE

1.3. External Interface

Figure 1.1. Front View



1.1a. Power Switch

Move the Power Switch to the on (up) position to power the Interface Board. DIP Switch [1.2a] settings are only read during a power-up sequence.

1.1b. I/O & Power LEDs

The LED indicators visualize diagnostic status information. The modem's status is represented as follows:

Yellow (top LED) = Serial Data Out (to host)

Green (middle) = Serial Data In (from host)

Red (bottom) = Power/TX Indicator (Red light is on when powered, off briefly during RF transmission)



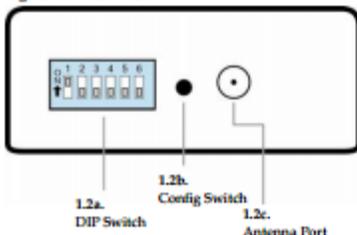
1.1c. Serial Port (DB-9 Connector)

Standard female DB-9 (RS-232) DCE connector - This connector can be also used for RS-485 and RS-422 connections.

1.1d. Power Connector

7-18 VDC Power Connector (Center positive, 5.5/2.1mm) - Power can also be supplied through Pin 9 of the DB-9 Serial Port.

Figure 1.2. Back View



1.2a. DIP Switch

The DIP Switch automatically configures the XStream RF Modem to operate in different modes. Each time the modem is powered-on, intelligence inside the XIB-R interface board (inside the modem) programs the modem according to the positions of the DIP Switch. (See figure below for DIP Switch settings)

NOTE: In cases where AT Commands should not be sent each time the RF Modem is powered-on, the processor must be disabled by populating J7 on the interface board inside the modem [p21].

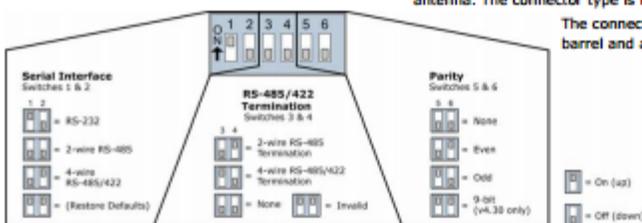
1.2b. Config (Configuration) Switch

The Configuration Switch provides an alternate way to enter "AT Command Mode". To enter "AT Command Mode" at the RF modem's default baud rate, hold the Configuration Switch down while powering on the modem using the Power Switch [1.1a].

1.2c. Antenna Port

Port is a 50Ω RF signal connector for connecting to an external antenna. The connector type is RPSMA (Reverse Polarity SMA) female. The connector has threads on the outside of a barrel and a male center conductor.

Figure 1.3. DIP Switch Settings



Refer to table in the "Automatic DIP Switch Configurations" [p21] section for more information about configurations triggered by the DIP Switch.

2. Interfacing Protocol

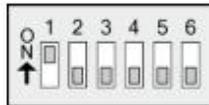
The XStream-PKG-R RF Modem supports the following interfacing protocols:

- RS-232
- RS-485 (2-wire) Half-Duplex
- RS-485 (4-wire) and RS-422

2.1. RS-232 Operation

2.1.1. DIP Switch Settings and Pin Signals

Figure 2.1.
RS-232 DIP Switch Settings



DIP Switch settings are read and applied only while powering-on.

Figure 2.2.
Pins used on the female RS-232 (DB-9) Serial Connector

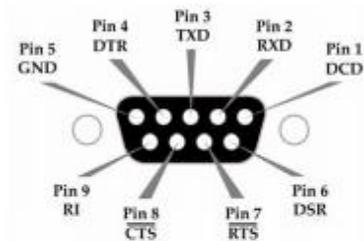


Table 2.1. RS-232 Signals and their implementations on the XStream RF Modem
(Low-asserted signals are distinguished by horizontal line over pin name.)

DB-9 Pin	RS-232 Name	AT Command Reference*	Description	Implementation
1	DCD	DC0	Data-Carrier-Detect	Connected to DSR (pin6)
2	RXD	DO	Received Data	Serial data exiting the RF Modem (to host)
3	TXD	DI	Transmitted Data	Serial data entering into the RF modem (from host)
4	DTR	DI3	Data-Terminal-Ready	Can enable POWER-DOWN on the RF Modem
5	GND	-	Ground Signal	Ground
6	DSR	DC0	Data-Set-Ready	Connected to DCD (pin1)
7	<u>RTS</u> / CMD	DI2	Request-to-Send	Provides <u>RTS</u> flow control or enables "Command Mode" on the RF Modem
8	<u>CTS</u>	DC2	Clear-to-Send	Provides <u>CTS</u> flow control
9	RI	-	Ring Indicator	Optional power input that is connected internally to the positive lead of the front power connector

* Inside the XStream RF Modem is an XStream OEM RF Module. The names in this column refer to the pin signals of the embedded RF module. XStream Commands [p24] used to configure pin behaviors are named according to the pins of the module, not the RS-232 connection pins.

2. Interfacing Protocol

The XStream-PKG-R RF Modem supports the following interfacing protocols:

- RS-232
- RS-485 (2-wire) Half-Duplex
- RS-485 (4-wire) and RS-422

2.1. RS-232 Operation

2.1.1. DIP Switch Settings and Pin Signals

Figure 2.1.
RS-232 DIP Switch Settings



DIP Switch settings are read and applied only while powering-on.

Figure 2.2.
Pins used on the female RS-232 (DB-9) Serial Connector

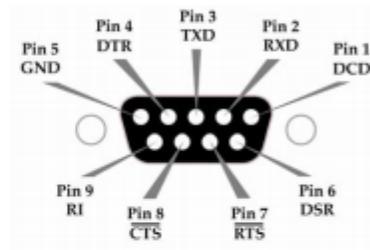


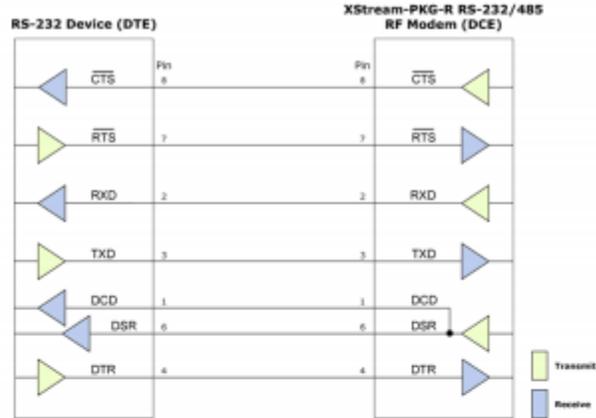
Table 2.1. RS-232 Signals and their implementations on the XStream RF Modem
(Low-asserted signals are distinguished by horizontal line over pin name.)

DB-9 Pin	RS-232 Name	AT Command Reference*	Description	Implementation
1	DCD	DO3	Data-Carrier-Detect	Connected to DSR (pin6)
2	RXD	DO	Received Data	Serial data exiting the RF Modem (to host)
3	TXD	DI	Transmitted Data	Serial data entering into the RF modem (from host)
4	DTR	DI3	Data-Terminal-Ready	Can enable POWER-DOWN on the RF Modem
5	GND	-	Ground Signal	Ground
6	DSR	DO3	Data-Set-Ready	Connected to DCD (pin1)
7	RTS/ CMD	DI2	Request-to-Send	Provides $\overline{\text{RTS}}$ flow control or enables "Command Mode" on the RF Modem
8	$\overline{\text{CTS}}$	DO2	Clear-to-Send	Provides $\overline{\text{CTS}}$ flow control
9	RI	-	Ring Indicator	Optional power input that is connected internally to the positive lead of the front power connector

* Inside the XStream RF Modem is an XStream OEM RF Module. The names in this column refer to the pin signals of the embedded RF module. XStream Commands [p24] used to configure pin behaviors are named according to the pins of the module, not the RS-232 connection pins.

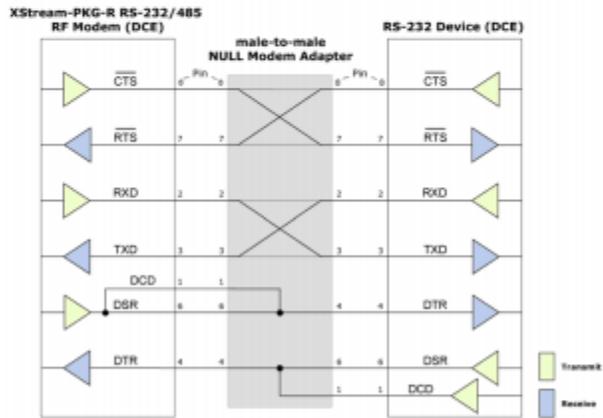
Wiring Diagram: RS-232 DTE Device to a DCE RF Modem

Figure 2.3. RS-232 DTE (male connector) device wired to an XStream RF Modem (female connector)



Wiring Diagram: DCE RF Modem to an RS-232 DCE Device

Figure 2.4. XStream RF Modem (female connector) wired to an RS-232 DTE (male connector) device



Sample Wireless Connection: DTE ↔ DCE ↔ DCE

Figure 2.5. Typical wireless link between DTE and DCE devices



2.2. RS-485 (2-wire) Operation

2.2.1. DIP Switch Settings and Pin Signals

Figure 2.6.
RS-485 (2-wire) Half-Duplex
DIP Switch Settings

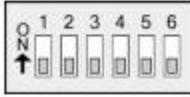


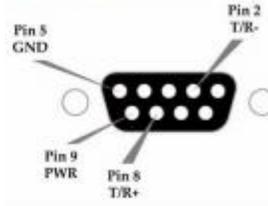
Figure 2.8.
RS-485 (2-wire) with Termination (optional)



Termination is the 120 Ω resistor between T+ and T-.

DIP Switch settings are read and applied only while powering-on.

Figure 2.7.
Pins used on the female RS-232 (DB-9)
Serial Connector



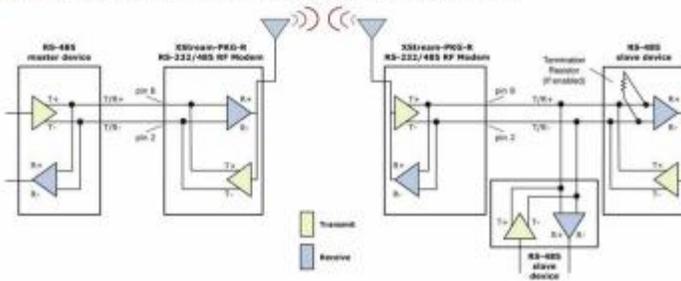
Note: Refer to Figures 2.15 & 2.16 for RJ-45 connector pin designations used in RS-485/422 environments.

Table 2.2. RS-485 (2-wire half-duplex) Signals and their implementations on the XStream RF Modem

DB-9 Pin	RS-485 Name	Description	Implementation
2	T/R- (TRA)	Negative Data Line	Transmit serial data to and from the XStream RF Modem
5	GND	Ground Signal	Ground
8	T/R+ (TRB)	Positive Data Line	Transmit serial data to and from the XStream RF Modem
9	PWR	Power	Optional power input that is connected internally to the front power connector
1, 3, 4, 6, 7			not used

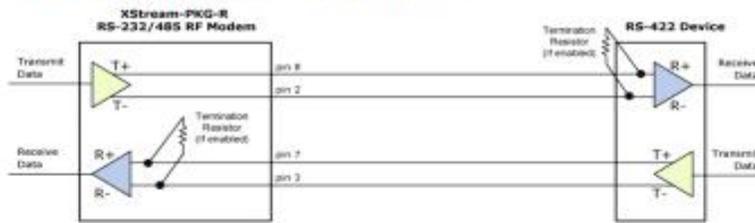
Wiring Diagram: RS-485 (2-wire) Half-Duplex

Figure 2.9. XStream RF Modem in an RS-485 (2-wire) half-duplex environment



Wiring Diagram: RS-422

Figure 2.14. XStream RF Modem in an RS-485 (4-wire) environment



RS-485/422 Connection Guidelines

The RS-485/422 protocol provides a solution for wired communications that can tolerate high noise and push signals over long cable lengths. RS-485/422 signals can communicate as far as 4000 feet (1200 m). RS-232 signals are suitable for cable distances up to 100 feet (30.5 m).

RS-485 offers multi-drop capability in which up to 32 nodes can be connected. The RS-422 protocol is used for point-to-point communications.

Suggestions for integrating the XStream Modem with the RS-485/422 protocol:

1. When using Ethernet twisted pair cabling: Select wires so that T+ and T- are connected to each wire in a twisted pair. Likewise, select wires so that R+ and R- are connected to a twisted pair. (For example, tie the green and white/green wires to T+ and T-.)
2. For straight-through Ethernet cable (not cross-over cable) – The following wiring pattern works well: Pin3 to T+, Pin4 to R+, Pin5 to R-, Pin6 to T-
3. Note that the connecting cable only requires 4 wires (even though there are 8 wires).
4. When using phone cabling (RJ-11) – Pin2 in the cable maps to Pin3 on opposite end of cable and Pin1 maps to Pin4 respectively.

Figure 2.15. Male (yellow) DB-9 to RJ-45 Adapters

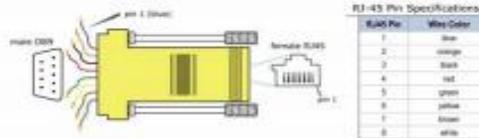
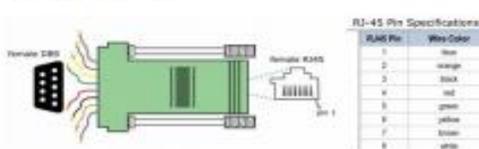


Figure 2.16. Female (green) DB-9 to RJ-45 Adapters



An RS-232 Accessories Kit is available that includes connectors that facilitate RS-232/485/422 and other serial communications. Refer to the Development Guide In Appendix B for information concerning the connectors and tools included in the kit.

2.3. RS-485 (4-wire) & RS-422 Operation

2.3.1. DIP Switch Settings and Pin Signals

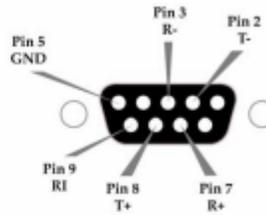
Figure 2.10. RS-485 (4-wire) and RS-422 DIP Switch Settings



Figure 2.12. RS-485 (4-wire) & RS-422 with Termination (optional)



Figure 2.11. Pins used on the female RS-232 (DB-9) Serial Connector



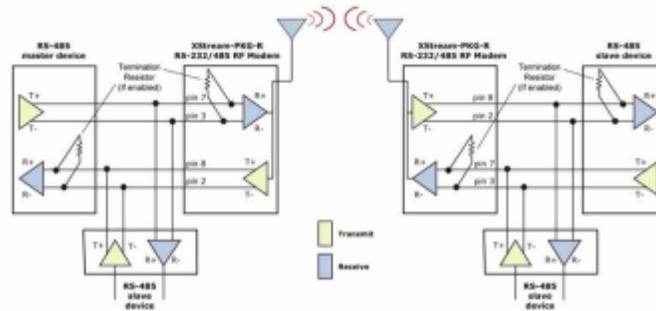
Termination is the 120 Ω resistor between T+ and T-.
 DIP Switch settings are read and applied only while powering-on.

Table 2.3. RS-485/422 (4-wire) Signals and their implementations with the XStream-PKG-R RF Modem

DB-9 Pin	RS-485/422 Name	Description	Implementation
2	T- (TA)	Transmit Negative Data Line	Serial data sent from the XStream RF Modem
3	R- (RA)	Receive Negative Data Line	Serial data received by the XStream RF Modem
5	GND	Signal Ground	Ground
7	R+ (RB)	Receive Positive Data Line	Serial data received by the XStream RF Modem
8	T+ (TB)	Transmit Positive Data Line	Serial data sent from the XStream RF Modem
9	PWR	Power	Optional power input that is connected internally to the front power connector
1, 4, 6			not used

Wiring Diagram: RS-485 (4-wire) Half-Duplex

Figure 2.13. XStream RF Modem in an RS-485 (4-wire) environment



CERTIFICACIÓN

Latacunga, Febrero del 2015.

ELABORADO POR:

David Tarquino Moreta Supe

CI: 1804619318

Gonzalo Paúl Salazar Paredes

CI: 0503210585

APROBADO POR:

Ing. Franklin Silva.

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICADO POR:

Dr. Rodrigo Vaca C.

**SECRETARIO ACADÉMICO
UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO**