

RESUMEN ANALÍTICO DE INVESTIGACIÓN -RAI-

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA AERONAVES NO TRIPULADAS

MAHECHA NIETO, Laura Lorena

PALABRAS CLAVE

Telecomunicación, tecnología de la información, ingeniería, aeronave.

DESCRIPCIÓN

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones han permitido al ser humano mejorar su calidad de vida.

Los sistemas de posicionamiento global a lo largo del tiempo han podido ser aplicados en diferentes escenarios tales como dispositivos de telefonía móvil, ubicación de flotas de personal, rastreo de vehículos (automóviles, buses, aeronaves)

Este proyecto presenta los aspectos principales que fueron tratados en el desarrollo e implementación de un sistema de posicionamiento para aeronaves no tripuladas, más concretamente para la aeronave NAVIGATOR.

El NAVIGATOR es un UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*, vehículo aéreo no tripulado) desarrollado por el grupo de Ingenieros Aeronáuticos dedicados a la Línea diseño de aeronaves.

Los sistemas UAV poseen dos componentes, los segmentos aéreo y de tierra. El segmento aéreo corresponde a los sistemas de control y potencia de la aeronave. En este segmento se implementó el sistema de posicionamiento que se encargará de determinar la ubicación de la aeronave en tiempo real, el cual está interconectado a un sistema de transmisión que comunica los datos provenientes del GPS usado para conocer la ubicación de la aeronave a la estación base.

El segmento de tierra está conformado por el sistema de recepción, encargado de recibir la información proveniente de la aeronave, así como de un sistema de registro y visualización de ésta información.

La comunicación entre el NAVIGATOR y la estación base se realiza utilizando tecnología iDEN, puesto que es la más indicada desde los puntos de vista técnico, económico y de cobertura.

FUENTES

Se consultó el documento Diseño preliminar del prototipo experimental de un UAV dirigible vigilante semi-autónomo, denominado "SPACEWATCHER" para su aplicación en tareas de observación, reconocimiento y vigilancia civiles dentro del territorio Colombiano. Bogotá D.C.: Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería escrito por Diego Julián Hernández (2016). Asimismo, se consultaron los libros *Differential GPS Explained: An exposé of the surprisingly simple principles behind today's most advanced positioning technology.* y *GPS: A Guide to the Next Utility* de Jeff Hurn (1993 y 1989)

CONTENIDO

Se presentan dieciséis capítulos en los cuales se encuentra el planteamiento del problema, preguntas de investigación planteadas, los objetivos propuestos, justificación, marco referencial, marco conceptual, marco legal, marco teórico, se describe la metodología utilizada, se realiza la descripción del sistema implementado en donde se encuentra el diagrama de bloques del sistema. En el capítulo de presentación y análisis de resultados se muestra desglosado cada uno de los segmentos así como los diagramas de los circuitos de los sensores que fueron diseñados y utilizados. Por último, se presentan las conclusiones.

METODOLOGÍA

El enfoque de la investigación es empírico – analítico, debido a la investigación e implementación de una tecnología. Se realiza todo un proceso de revisión y consulta bibliográfica para poder determinar las consideraciones de diseño de la aeronave, los equipos a utilizar en la implementación, así como sus especificaciones técnicas y legales. Se realizan mediciones con el fin de obtener resultados para la comparación y ajustes que se hicieron del sistema; estas mediciones se ejecutaron implementando el sistema de posicionamiento en la aeronave con el prototipo de prueba, las pruebas se efectuaron con el fin de lograr un funcionamiento óptimo del sistema implementado.

Puesto que el NAVIGATOR no cuenta con un sistema que permita monitorear su posición en tiempo real cuando está fuera del alcance de línea de vista del operador que la está piloteando, es necesario implementar un equipo de posicionamiento GPS dentro de la aeronave el cual debe estar interconectado a un sistema de transmisión celular con la capacidad de enviar la información recopilada por el GPS a una base de datos, la cual a su vez puede ser accesada remotamente desde Internet, con el propósito de determinar, en tiempo real, el posicionamiento de la aeronave.

CONCLUSIONES

Una vez realizada la implementación del sistema de posicionamiento para aeronaves no tripuladas, se logró obtener en la estación base la información generada por la aeronave mientras esta se encuentra en vuelo. Cumpliendo así el objetivo de este proyecto.

Implementar en la aeronave el prototipo final del sistema de posicionamiento permitió efectuar las pruebas pertinentes del sistema y así tener resultados de manera rápida con datos exactos de medición durante el vuelo.

A través del uso de sensores de temperatura y proximidad, se lograron obtener los cambios de temperatura en el motor así como las revoluciones generados por este mismo.

El sensor de temperatura utilizado en este desarrollo fue acondicionado para enviar la información adquirida al Virloc4 mediante un microcontrolador Motorola®, lo cual permitió monitorear la temperatura del motor de forma eficaz.

Para la medición de las revoluciones del motor se utiliza el sensor y el comparador de voltaje. La información suministrada por este circuito junto con el sensor de temperatura se envió por un puerto RS232 del Virloc4 para ser transmitida a la estación base.

Con el diseño de este sistema se lograron obtener de manera exitosa reportes de las actividades dentro de la aeronave durante el recorrido de la misión asignada.

El segmento de tierra funciona utilizando un computador personal como servidor, en el cual se almacena la base de datos con la información enviada desde la aeronave, sin embargo, se recomienda acondicionar un servidor externo, puesto que estos equipos se caracterizan por ser más productivos, ya que presentan una arquitectura robusta y mejores componentes, lo cual aumenta la velocidad de acceso a la información almacenada en el servidor desde una ubicación remota.

Realizar la programación de la interfaz de comunicación entre el sistema de posicionamiento global y el módulo de transmisión de la aeronave permitió realizar el envío de información desde la aeronave en tiempo real.

Realizar la implementación de la interfaz gráfica para la visualización de la posición de la aeronave permitió verificar en tiempo real la posición de esta en tiempo real.

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA AERONAVES NO TRIPULADAS

MAHECHA NIETO LAURA LORENA

AUTOR

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA UNITEC

ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE PROYECTOS

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN II

BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2018

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA AERONAVES NO TRIPULADAS

ROJAS ALVARADO RONALD

DIRECTOR

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA UNITEC

ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE PROYECTOS

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN II

BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2018

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA UNITEC
CENTRO DE INVESTIGACIÓN

El consejo de la Facultad de Ingeniería, en sesión para temas de investigación, hace constar que; previa análisis y discusión de resultado de evaluación de jurados, otorgó al trabajo titulado: **SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA AERONAVES NO TRIPULADAS**

La calificación de APROBADO

Para optar el título de Especialista en Gerencia de Proyectos.

Para constancia se firma a los 2 días del mes de julio de 2018.

Jorge Humberto Torres Zea

Coordinador Educación a Distancia y Virtual

Tabla de Contenido

Introducción	1
Planteamiento del problema	3
Preguntas de investigación	4
Objetivos	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Justificación	6
Marco referencial	7
Antecedentes	7
Nacionales.	7
Internacionales.	11
GPS en la aviación.	16
Marco Conceptual	18
Marco Legal	20
Política de los Estados Unidos sobre la Cooperación Internacional.	20
Aprobación de aeronavegabilidad para la instalación del equipo GPS de uso especial en aeronaves reguladas bajo el capítulo VII de la parte cuarta del r.a.c.	22

Descripción general del procedimiento para aprobación por parte de la UAEAC	24
Contenido del estudio de ingeniería.	25
Requisitos especiales (GPS).	25
Marco Teórico	27
UAV	48
iDEN®. (Integrated Dispatch Enhanced Network).	50
MySQL.	52
Tomcat.	53
Google Maps.	54
Api de Google	56
Metodología	59
Enfoque de la investigación	59
Técnicas de recolección de información	59
Hipótesis	60
VARIABLES	60
Variables independientes	60
Variables dependientes	60
Descripción del sistema	61
Presentación y análisis de resultados	63

Segmento de vuelo	64
Virloc4	64
Sensor de temperatura	66
Contador de pulsos	73
Equipos a bordo de la aeronave.	75
Segmento de tierra	77
Usuario	83
Conclusiones	1
Bibliografía	3

Lista de tablas

Tabla 1. Características generales del NAVIGATOR X-1.	8
Tabla 2. Equipo a bordo del NAVIGATOR X-1.	9
Tabla 3. Sistemas de control del NAVIGATOR X-1.	9
Tabla 4. Características principales del SIVA.	12
Tabla 5. Equipamiento EAGLE.	15
Tabla 6. Características EAGLE.	16
Tabla 7. Elementos de la ecuación del circuito seguidor.	68
Tabla 8. Elementos de la ecuación del circuito restador.	71
Tabla 9. Tabla de relación entre voltaje y temperatura a la salida del sistema.	72
Tabla 10. Usuarios.	80
Tabla 11. Aeronaves.	80
Tabla 12. Reportes.	81

Lista de figuras

Ilustración 1. NAVIGATOR X-1.	7
Ilustración 2. Efigenia EJ-1B Mozart S/VTOL UAV.	10
Ilustración 3. UAV SIVA.	12
Ilustración 4. UAV EAGLE.	15
Ilustración 5. Alcance del satélite A.	29
Ilustración 6. Intersección del alcance de los satélites A y B.	29
Ilustración 7. Intersección del alcance de los satélites A, B y C.	30
Ilustración 8 . Ejemplo de código Pseudo Aleatorio	32
Ilustración 9. Diferencia del Código Pseudo Aleatorio entre satélite y GPS.	32
Ilustración 10. Alcance en tiempo de los satélites A y B.	35
Ilustración 11. Alcance en tiempo sin sincronizar de los satélites A y B.	36
Ilustración 12. Alcance de los Pseudos rangos de los satélites A, B y C.	36
Ilustración 13. Estación de control en tierra para satélites.	38
Ilustración 14. Transmisión de posición del satélite al GPS.	40
Ilustración 15. Interferencia atmosférica en las señales de los satélites.	41
Ilustración 16. Interferencias por reflexión.	42
Ilustración 17. Intersección de señales de radio en satélites cercanos.	43
Ilustración 18. Intersección de señales de radio en satélites distantes.	44
Ilustración 19. UAV.	48
Ilustración 20. Vista de un mapa de Google Maps.	55
Ilustración 21. Virloc4.	61
Ilustración 22. Diagrama del sistema.	61

Ilustración 23. Diagrama de bloques	63
Ilustración 24. Parámetros del Hyper Terminal.	65
Ilustración 25. Curva generada por el sensor.	67
Ilustración 26. Diagrama del circuito seguidor utilizado para el sensor de temperatura.	68
Ilustración 27. Diagrama del circuito de referencia de voltaje utilizado para sensor de temperatura.	69
Ilustración 28. Diagrama del circuito restador utilizado para el sensor de temperatura.	70
Ilustración 29. Diagrama completo de acondicionamiento del sensor de temperatura.	73
Ilustración 30. Curva generada por el motor.	74
Ilustración 31. Contador de revoluciones del motor.	75
Ilustración 32. Tarjeta de los circuitos de los sensores.	76
Ilustración 33. Diagrama del circuito impreso del circuito implementado.	76
Ilustración 34. Cambio de la IP para obtener una nueva API de Google Maps.	77
Ilustración 35. Consola general Tomcat.	78
Ilustración 36. Apache Service Manager.	78
Ilustración 37. Configuración Firewall de Windows.	79
Ilustración 38. Tablas en la base de datos.	79
Ilustración 39. Parámetros de la tabla Usuarios.	80
Ilustración 40. Parámetros tabla Aeronaves.	81
Ilustración 41. Parámetros tabla Reportes.	82
Ilustración 42. Consola general JCreator 4.0.	83
Ilustración 43. Vista de la página de Internet http://www.puav.tk .	84

Introducción

El propósito de este proyecto es presentar los aspectos principales que fueron tratados en el desarrollo e implementación de un sistema de posicionamiento para aeronaves no tripuladas, más concretamente para la aeronave NAVIGATOR.

El NAVIGATOR es un UAV (Unmanned Aerial Vehicles, vehículo aéreo no tripulado) desarrollado por el grupo de Ingenieros Aeronáuticos dedicados a la Línea diseño de aeronaves.

Los sistemas UAV poseen dos componentes, los segmentos aéreo y de tierra. El segmento aéreo corresponde a los sistemas de control y potencia de la aeronave. En este segmento se implementó el sistema de posicionamiento que se encargará de determinar la ubicación de la aeronave en tiempo real, el cual está interconectado a un sistema de transmisión que comunica los datos provenientes del GPS usado para conocer la ubicación de la aeronave a la estación base.

El segmento de tierra está conformado por el sistema de recepción, encargado de recibir la información proveniente de la aeronave, así como de un sistema de registro y visualización de ésta información.

La comunicación entre el NAVIGATOR y la estación base se realiza utilizando tecnología iDEN, puesto que es la más indicada desde los puntos de vista técnico, económico y de cobertura.

Planteamiento del problema

En el ámbito nacional e internacional, los sistemas UAV (Unmanned Aerial Vehicles, vehículo aéreo no tripulado) se usan esencialmente para la seguridad en oleoductos, interconexiones eléctricas, control de cultivos, construcción y fotografía urbana.

Entre los sistemas que se encuentran en el ámbito nacional se cuenta con el NAVIGATOR desarrollado por ingenieros aeronáuticos de la Universidad de San Buenaventura, con el proyecto AURA el cual fue diseñado en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, la cual junto a la EAFIT desarrolló el proyecto Colibrí. También se cuenta con el Efigenia desarrollado en la Universidad del Cauca.

Internacionalmente se cuenta con el SIVA que fue desarrollado por el INTA español. En Francia se cuenta con el sistema EAGLE diseñado por el EADS.

Los sistemas UAV necesitan contar con un dispositivo que permita conocer la ubicación de la aeronave cuando ésta se encuentra fuera del alcance de vista del operador que la está piloteando, para así poder controlar el correcto desarrollo de las tareas y funciones asignadas. Por ello, se vio la necesidad de desarrollar un sistema capaz de suplir esta necesidad.

Preguntas de investigación

¿Qué tipo de tecnología es necesaria para conocer la ubicación de la aeronave y cuál es la mejor manera de integrarla a los sistemas UAV?:

El proyecto se puede desarrollar mediante la aplicación de sistemas GPS para ubicación de aeronaves, a partir de allí se desarrolló una interfaz para comunicar la información del sistema de posicionamiento con el transmisor que envía estos datos hasta la estación base y un sistema de alimentación de energía.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de posicionamiento para aeronaves no tripuladas.

Objetivos específicos

- Programar la interfaz de comunicación entre el sistema de posicionamiento global y el módulo de transmisión, dentro de la aeronave.
- Acondicionar el sistema de alimentación de energía existente en la aeronave para los sistemas de posicionamiento y de transmisión dentro de la aeronave.
- Diseñar la interfaz de comunicación entre el módulo de recepción y la interfaz de visualización en la estación base.
- Implementar la interfaz gráfica que permite la visualización de la posición de la aeronave en tiempo real de una manera eficaz
- Implementar en la aeronave NAVIGATOR del prototipo final del sistema de posicionamiento que permitió efectuar las pruebas pertinentes.

Justificación

Hoy en día las aeronaves no tripuladas son utilizadas para la realización de diferentes tareas como seguridad en oleoductos, interconexiones eléctricas, control de cultivos, construcción, fotografía urbana y rescate de personas.

Los operadores de estas aeronaves requieren un sistema que permita conocer en tiempo real la ubicación de la aeronave cuando se encuentra realizando tareas fuera del alcance de línea de vista para así poder garantizar la seguridad, integridad de la aeronave y eficacia en el cumplimiento de sus tareas.

Debido a ello se desarrollará e implementará un sistema de rastreo y monitoreo mediante el cual se puede conocer la posición de la aeronave en tiempo real, para lo cual se utilizará tecnología GPS, la cual triangula la posición y determina las coordenadas en las cuales se encuentra la aeronave, así como la altura a la que se halla la misma.

La implementación de esta tecnología permite subsanar los inconvenientes en la ubicación y desarrollo de las tareas de reconocimiento asignadas.

Marco Referencial

Antecedentes

Nacionales.

En Colombia los sistemas UAV se han venido desarrollando desde hace ya varios años, entre los proyectos realizados en el país se cuenta con:

NAVIGATOR X-1. Sistema UAV desarrollado en la Universidad de San Buenaventura, por el Grupo de Investigación para el Desarrollo Aeronáutico. En la Ilustración 1 se muestra una fotografía de la aeronave Navigator X-1.



Ilustración 1. NAVIGATOR X-1.¹

¹ Fuente propia

El proyecto NAVIGATOR X-1 tuvo como objetivo diseñar, construir, y estudiar la aplicabilidad de una aeronave no tripulada de reconocimiento y vigilancia aérea, cuya autonomía, características específicas y técnicas permita una aplicabilidad en el sector privado.

El NAVIGATOR X-1 cumplió con dos fases:

- ◆ FASE 1: A través del proyecto integrador se dio inicio al diseño y construcción de una aeronave no tripulada como plataforma de experimentación.
- ◆ FASE 2: Aplicar los conocimientos adquiridos para optimizar el rendimiento de la aeronave e implementar sistemas de control y estabilización para mejorar el comportamiento de la aeronave en vuelo.

Las características generales, el equipamiento y los sistemas de control del NAVIGATOR X-1 se muestran en las tablas 1, 2 y 3 respectivamente.

Tabla 1. Características generales del NAVIGATOR X-1.

Detalle	Magnitud
Envergadura	2.46 m.
Área alar	0.6 m ² .
Largo	1.67 m.
Peso al despegue	4 kg
Carga útil	2 kg.

Motor	1.6 HP.
Velocidad de perdida	20 km/h.
Velocidad Máxima	70 km/h.
Conjunto de cola	Tail boom.
Autonomía	1 hora de vuelo.

Tabla 2. Equipo a bordo del NAVIGATOR X-1.

Equipo

Cámara de video transmisión inalámbrica en tiempo real.

Cámara fotográfica de alta resolución.

Sistema de estabilización FMA direct Co-Pilot.

Receptor para el control de la cámara.

Sistema servo rotatorio para el control de la cámara.

Batería cámara de video 12V.

Tabla 3. Sistemas de control del NAVIGATOR X-1.

Sistemas

Batería de control del avión.

Receptor de la aeronave.

Servomecanismos.

- Efigenia EJ-1B Mozart S/VTOL UAV. Desarrollada en la Universidad del Cauca por el docente Mario Andrés Córdoba, presentada en el año 2005 en la Universidad de San Buenaventura.

Es la primera aeronave no tripulada hecha en Colombia pensada para rescate. Es autónoma ya que utiliza un sensor para saber la ubicación en la que se encuentra en lugar de un control remoto. En la Ilustración 2 se encuentra una fotografía de la aeronave Efigenia EJ-1B Mozart S/VTO. UAV.



Ilustración 2. Efigenia EJ-1B Mozart S/VTOL UAV.²

² Córdoba, Mario Andrés, (2001). THE EFIGENIA EJ-1B MOZART An S/VTOL Autonomous UAV Unmanned Aircraft Autocontrolled with an Intelligent Adaptive Digital Reconfigurable Guidance, Navigation and Flight Control System

Desde el año 1991 se han realizado siete prototipos, los cuales han sido mejorados de acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas.

Esta aeronave funciona a través de un sistema computarizado que le permite tener una base de inteligencia artificial que es programada antes de iniciar el vuelo. Puede volar a 50 kilómetros por hora con una autonomía de vuelo de 60 minutos y sólo necesita un litro de gasolina.

La aeronave utiliza dos cámaras de video y puede recibir señales del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para ubicarse.

Internacionales.

- SIVA. Proyecto desarrollado por el INTA (*Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial* de España). En la Ilustración 3 se puede observar la fotografía de la aeronave UAV SIVA.

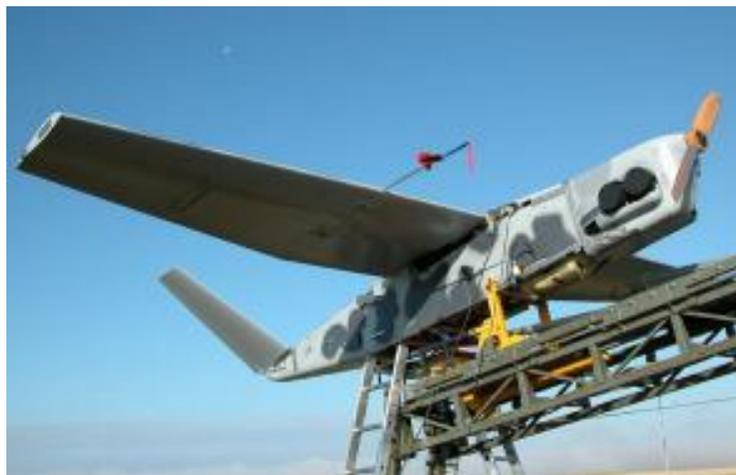


Ilustración 3. UAV SIVA.³

El SIVA es un sistema formado por aviones no tripulados, capaces de realizar misiones de vigilancia y observación de forma automática. Los aviones están equipados con una cámara CCD y unos sensores FLIR, integrados en una misma unidad.

El vehículo aéreo lleva a cabo la misión planificada, pasando con gran precisión por los puntos incluidos en el plan, independientemente del viento y otras condiciones meteorológicas existentes.

Desde la estación de control en tierra puede comandarse el movimiento de apuntamiento de la cámara, un zoom progresivo y diversos ajustes en ambos sensores. También existe la posibilidad de realizar seguimiento automático de los blancos designados. Ambas imágenes son recibidas simultáneamente en dicha estación. Las características principales del sistema se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Características principales del SIVA.

³Frovel, Pintado, (2010) Structural Loads Monitoring of an Unmanned Air Vehicle Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/271210446_Structural_Loads_Monitoring_of_an_Unmanned_Air_Vehicle?_sg=I4_VzJrjQp2qHo7HbUZqWJyrX2RTzPOwwa9KcUNlcc7a1KxE4Jt2gZ5AVzYHXdVIYyKSZiXkhg

Detalle	Magnitud
Autonomía	7 horas
Techo	13.000 pies
Velocidad observación/Crucero	115 km/h
Velocidad máxima	190 km/h
Peso máximo de lanzamiento	300 kg
Carga útil (7 horas)	25 kg
Velocidad ascensional	240 m/min
Alcance (limitado por radio-enlace)	150 km.

Resultados: Durante el desarrollo se han fabricado siete prototipos. En ellos se han ido introduciendo los subsistemas progresivamente, de forma que en el prototipo 4 ya estaban implementadas todas las funciones.

Con el SIVA Demo 1B se han realizado 81 vuelos, verificándose todos los requisitos especificados para el sistema. Existen registros de todos los vuelos, excepto de los 8 primeros, que no tenían instrumentación.

- ◆ Vuelos realizados.
 - 12 vuelos controlados por un piloto externo.
 - 46 vuelos automáticos con despegues y aterrizajes realizados por un piloto externo. De estos vuelos, 45 llevaban el sensor electroóptico (CCD-FLIR).

- 23 vuelos automáticos con lanzamientos automáticos y recuperaciones mediante paracaídas y airbag. De estos vuelos, 18 llevaban el sensor electro-óptico (CCD y FLIR).⁴

- EAGLE. Sistema UAV de altura media. EADS ha puesto en marcha el desarrollo del sistema EAGLE de altura media y larga duración para satisfacer los requisitos de las fuerzas armadas francesas y de diferentes clientes extranjeros.

El programa EAGLE está compuesto por una serie de avanzadas tecnologías UAV, entre ellas, EO/IR, SAR, ELINT, COMINT, cargas útiles de asignación de láser, SATCOM, y centros de mando de misión.



⁴ Frovel, Pintado, (2010) Structural Loads Monitoring of an Unmanned Air Vehicle

Ilustración 4. UAV EAGLE.⁵

El sistema se ha dimensionado para llevar a cabo misiones de reconocimiento estratégico a alturas comprendidas entre 25.000 (Eagle 1) y 45.000 pies (Eagle 2) y con una duración de hasta 24 horas.

La información técnica del equipamiento y características del EAGLE se encuentran en las tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 5. Equipamiento EAGLE.

Equipo
Drones diversos capaces de despegar y aterrizar en pista.
Sistema protegido de enlace de datos por satélite para la transmisión de datos.
Segmento de tierra completo, con centro de mando de misión y un cierto número de estaciones de tierra

⁵ Recuperado de <http://desarrolloydefensa.blogspot.com/2016/07/uav-general-atomics-mq-1c-grey-eagle.html>

para mando de drones, control de la carga útil, así como evaluación y tratamiento de datos.

Tabla 6. Características EAGLE.

Detalle	Magnitud
Tipo de Motor	Piston Rotax 914
Peso máximo en despegue	1150 kg
Capacidad de carga útil máxima	250 kg
Altitud máxima	25 000 ft
Velocidad máxima	120 ktas
Tiempo total de misión	30 h
Alcance máximo	3,300 km

GPS en la aviación.

La navegación basada en satélites es ampliamente utilizada por los aviadores alrededor del mundo con el fin de superar muchas de las deficiencias en infraestructura existentes en el tráfico aéreo.

Por su exactitud, continuidad y uso en cualquier estación del año la navegación basada en satélites ofrece un servicio de navegación que satisfaga muchos de los requerimientos de los usuarios en el mundo.

La navegación satelital permite conocer la posición de la aeronave en cualquier lugar en el espacio o en la superficie de la tierra.

Más específicamente, la explotación agresiva de la tecnología de navegación satelital provee beneficios substanciales a los proveedores de estos servicios así como a los usuarios. La implementación de esta tecnología en un país o región proporciona los siguientes beneficios para la aviación: Seguridad de vuelo a través de la región, servicio inconsútil de la navegación basado en un servicio estandarizado de la navegación y aviónica común, estructuras más eficientes, optimizadas, flexibles, y estructuras preferidas de usuario, Crecimiento en la capacidad del sistema y ahorros significativos de tiempos de vuelo y de combustible.

Adicionalmente, la implementación de esta tecnología agrega un margen de seguridad a las operaciones dentro del área provista de la cobertura proporcionando el posicionamiento en cuatro dimensiones a diferencia de las dos dimensiones de los sistemas tradicionales.

Marco Conceptual

Para la implementación del sistema de rastreo para la aeronave NAVIGATOR, fue necesario equipar esta con un sistema de recepción satelital **GPS**, el cual a su vez debe estar interconectado a un módulo de transmisión **iDEN**.

Fue necesario adaptar un módulo de abastecimiento de energía que provea la autonomía de funcionamiento a los sistemas de posicionamiento y comunicación dentro de la aeronave, así como un aislamiento que proteja los equipos de la humedad.

Los módulos de la carga paga son el sistema de posicionamiento y de transmisión. Como la aeronave debe cumplir con estándares de tamaño y peso, fue necesario adaptar este sistema para que cumpliera los requerimientos técnicos en estos aspectos.

La tarjeta de comunicación iDEN envía la información adquirida por el GPS, luego de ser acondicionadas para su transmisión a una dirección **IP** preestablecida, esta información es descargada a una **Base de datos** en un equipo de cómputo con acceso a Internet que funciona como Servidor principal, desde donde se gestionan los programas necesarios para el funcionamiento de la **Aplicación Web** que permite la visualización de la posición de la aeronave.

La Base de datos identifica la información recibida y verifica su validez, dentro de los rangos establecidos para la misión en la que se encuentra operando el NAVIGATOR.

Para la visualización de la ubicación de la aeronave, se necesita que la Estación base cuente con un equipo con conexión a Internet, desde el cual se visualiza la posición de la aeronave en un mapa digital.

Marco Legal

Para la implementación del sistema objeto de este proyecto se tuvieron en cuenta el cumplimiento de las siguientes disposiciones legales.

Política de los Estados Unidos sobre la Cooperación Internacional⁶.

La Política de Los Estados Unidos para los servicios de posicionamiento, navegación y cronometría basados en el espacio subraya la importancia de que todos los sistemas de navegación por satélite y sus ampliaciones sean compatibles con el GPS.

El acuerdo de 2004 entre los Estados Unidos y la Unión Europea (UE) sobre el GPS y Galileo reconoció los beneficios de contar con sistemas interoperables. Las partes convinieron en que tanto Galileo como los futuros satélites del SPG tendrían señales para civiles comunes e irrestrictas, además de la cooperación en curso sobre el sistema de ampliación EGNOS basado en el GPS.

Los EE.UU. tienen un largo historial de cooperación con Japón en materia del SPG. Además de la colaboración en el desarrollo del Sistema de aumentación basado en satélite

⁶ GPS AMPLIACIONES. Disponible en: <http://www.gps.gov/systems/augmentations/spanish.html>.

multifuncional de transporte MSAS, ambos países colaboran en el desarrollo de una “mini”-constelación regional de satélites de navegación, llamada QZSS (Sistema de Satélite Quasi Zenith) compatible con el GPS.

Asimismo, los EE.UU. y la India están colaborando estrechamente en el desarrollo del sistema GAGAN, ampliación del GPS y basado en el espacio, y con la Federación Rusa sobre la compatibilidad e interoperabilidad entre el GPS y GLONASS, el sistema de navegación vía satélite de Rusia.

El Departamento de Defensa de los EE.UU. también coopera con muchas naciones para garantizar que el GPS proporcione acceso al servicio militar de posicionamiento, navegación y cronometría (PNT), basado en el espacio, y el equipo GPS interoperable a sus aliados en la coalición en todo el mundo.

Los servicios de PNT basados en el espacio deben servir a sus usuarios mundiales con interfaces y normas transparentes. La política de los EE.UU. consiste proporcionar, desde el espacio, servicios de PNT de manera interrumpida y gratuita por todo el mundo para usos civiles, comerciales y científicos, y facilitar el acceso libre de cargo alguno a la información necesaria para desarrollar y fabricar el equipo requerido para utilizar esos servicios.

Aprobación de aeronavegabilidad para la instalación del equipo GPS de uso especial en aeronaves reguladas bajo el capítulo VII de la parte cuarta del r.a.c.⁷

- Propósito. Establecer un método aceptable para obtener la aprobación de Aeronavegabilidad para alteraciones de aviónica que involucre instalación, actualización, legalización o cambio del Sistema de Posicionamiento Global, GPS, para uso especial y no de navegación, bajo reglas VFR.
- Aplicabilidad. Esta Circular Reglamentaria (CR) tiene aplicabilidad a Propietarios, Explotadores y Talleres que requieren efectuar una alteración de aviónica que involucre instalación, actualización, legalización o cambio del Sistema de Posicionamiento Global, GPS, para uso especial y no de navegación, bajo reglas VFR, sin contar con datos técnicos aprobados, basado en un estudio de ingeniería que deberá ser evaluado y aprobado por la UAEAC en Aeronaves que operen en territorio Colombiano, con un peso máximo de despegue certificado de 5670 Kg. (12500 Lb.) o menos y regidas por el capítulo VII “Normas y requisitos especiales de aeronavegabilidad para aeronaves de servicios aéreos comerciales en trabajos especiales” de la Parte Cuarta del Reglamento Aeronáutico Colombiano (RAC).

⁷ Recuperado de

- Los requisitos de Aeronavegabilidad mínimos son aquellos mediante los cuales se emite el Certificado Tipo de la Aeronave. Toda instalación de equipos adicionales o modificaciones de los existentes, es un cambio al diseño tipo de la aeronave y requiere ser aprobado como una alteración por la UAEAC. Debe considerarse que la adición o remoción de equipos que implica cambios de peso podrá afectar la integridad estructural, el peso, balance, características de vuelo o el desempeño del avión.

El uso progresivo de nuevas tecnologías tales como los Sistemas de Posicionamiento Global como una herramienta en el desarrollo de trabajos para la agricultura, aerofotogrametría, aerofotografía, geología y similares, han obligado a que las entidades aeronáuticas permitan y faciliten su aplicación en aeronaves que desarrollan dichas tareas, previo cumplimiento de unos requisitos técnicos básicos. Se han denominado estos equipos por el tipo de trabajos ya mencionados como de uso especial sin olvidar que los mismos no se utilizarán como medio de ayuda a la navegación de la aeronave, dándoles así el calificativo de no-navegación.

Descripción general del procedimiento para aprobación por parte de la UAEAC⁸

- Aceptación de datos técnicos. La uaeac evaluará el estudio de ingeniería para la alteración propuesta, según los requisitos aplicables y ser sustentado con base en: el manual actualizado del fabricante del equipo a instalar y los métodos, técnicas y prácticas estándar aceptadas para reparación y alteración dependiendo del país de diseño de la aeronave (generalmente referenciada en el manual del fabricante del equipo como una circular emitida por una autoridad aeronáutica).

- Autorización. Instalación e inspección final: Una vez la U.A.E.A.C. determine que los datos técnicos satisfacen los requerimientos técnicos de esta circular y que el operador cumple los requisitos establecidos en el numeral 6.1 de la misma, se otorgará la autorización por escrito para efectuar los trabajos de la alteración. Terminada la instalación la UAEAC efectuará la inspección de alteración, firmará la forma R.A.C. 337 y enviará la documentación relevante a material aeronáutico para su archivo.

⁸ PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DEL MANUAL GENERAL DE MANTENIMIENTO PARA EMPRESAS COMERCIALES DE TRANSPORTE AÉREO REGULAR Y NO REGULAR (RAC. PARTE 4ª CAP. V y VI) Recuperado de <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica/Circulares%20Informativas/CI-5103-082-010.pdf>

- Legalizaciones. En el caso de legalización de instalaciones realizadas con anterioridad a la fecha de emisión de esta circular, el operador deberá solicitar su legalización para lo cual debe someter a aprobación de la U.A.E.A.C. los documentos requeridos en esta circular y presentar la aeronave para inspección de la alteración.

Contenido del estudio de ingeniería.

Este estudio debería estar firmado por el Representante legal del Taller/Empresa con mantenimiento propio y por el personal que lo desarrolle (representantes técnico y/o de ingeniería). En el caso que lo desarrolle un Ingeniero con título en una ingeniería relacionada, debe poseer una licencia de personal aeronáutico vigente, preferiblemente licencia IEA y tener un nivel de conocimiento demostrable en el área de aviónica. En el caso que lo desarrolle un técnico especialista en aviónica debe poseer licencia vigente (Preferiblemente AIT), demostrar una experiencia mínima de 10 años en el área de aviónica y capacitación recibida en los equipos a instalar. El estudio de Ingeniería deberá evaluar cada uno de los numerales descritos a continuación definir su forma de cumplimiento, siempre y cuando los mismos sean aplicables a la aeronave en cuestión y al equipo a instalar.

Requisitos especiales (GPS).

Para los GPS: La configuración de Instalación del Equipo es STAND ALONE y se aprobará como Uso especial No para navegación limitado a VFR solamente. Por esto se requiere una placa que referencie: *“El GPS es aprobado para uso especial, no como medio de navegación suplementario y su uso está limitado a vuelos VFR solamente. Esta aprobación aplica a aeronaves que operen en territorio Colombiano y regidas por el capítulo VII de la Parte Cuarta del Reglamento Aeronáutico Colombiano (R.A.C.), ”*, por consiguiente el operador debe agregar el plano de la misma, la placa debe ser instalada en un lugar cercano al receptor de GPS y que el piloto lo pueda leer fácilmente.

Marco Teórico

GPS

Global Positioning System o Sistema de Posicionamiento Global. Es un sistema que permite determinar en todo el mundo la posición de una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo terrestre a 20.200 km con trayectorias sincronizadas para cubrir la superficie de la tierra.

El sistema GPS está compuesto por tres segmentos: Segmento espacial, de Control y de Usuario⁹.

◆ Segmento Espacial: Consiste en una constelación nominal formada por 21 satélites operativos que transmiten señales unidireccionales que proporcionan la posición y la hora de cada satélite del GPS.

⁹ GPS. Disponible en: <http://www.gps.gov/spanish.html>.

- ◆ **Segmento de Control:** Formado por estaciones de seguimiento y control distribuidas por todo el mundo a fin de mantener los satélites en la órbita apropiada mediante maniobras de mando y ajustar los relojes satelitales. Esas estaciones también realizan el seguimiento de los satélites del GPS, cargan información de navegación actualizada y garantizan el funcionamiento adecuado de la constelación de satélites.

- ◆ **Segmento de Usuario:** Consiste en el equipo receptor del GPS que recibe las señales de los satélites del GPS y las procesa para calcular la posición tridimensional y la hora precisa.

Existen cinco principios básicos de funcionamiento del sistema GPS los cuales se explican a continuación.

- ◆ **Triangulación de posición desde los satélites.** El sistema GPS usa los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones en la tierra. Esto se logra mediante una medición exacta de la distancia del equipo hacia al menos tres satélites, lo que permite triangular la posición en cualquier punto de la tierra.

En primer lugar hay que considerar cómo la medición de dichas distancias permiten la ubicación en cualquier punto de la tierra.

Si se supone una medición de una distancia x_1 desde un punto P a un primer satélite A, se sabe que la distancia x_1 se limita a una posición en la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es igual a x_1 como se muestra en la ilustración 5.

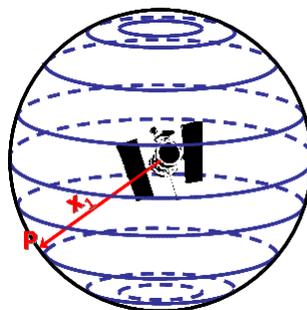


Ilustración 5. Alcance del satélite A.

Si, además se toma una distancia x_2 desde el punto P a un segundo satélite B, se encuentra que la posición de P está limitada no sólo por la primera esfera, correspondiente al satélite A, sino que adicionalmente sobre una segunda que se encuentra a una distancia x_2 del satélite B.

Como se muestra en la ilustración 6 el punto P está localizado en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.

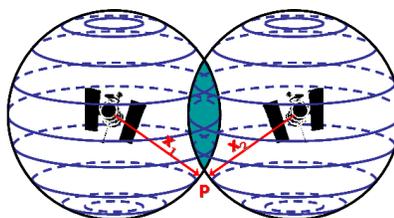


Ilustración 6. Intersección del alcance de los satélites A y B.

Si se toma nuevamente la distancia desde dicho punto P a un tercer satélite C se tiene que está a una distancia x_3 del mismo, lo cual limita la posición aún más, a los dos puntos en los cuales la esfera de x_2 corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas se puede ver en la ilustración 7.

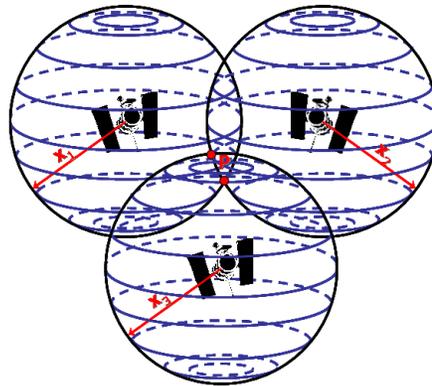


Ilustración 7. Intersección del alcance de los satélites A, B y C.

Lo que quiere decir que al medir la distancia a tres satélites se limita el posicionamiento únicamente a dos puntos posibles.

Para establecer cuál de ellos es la posición verdadera, se podría efectuar una medición adicional a un cuarto satélite. Pero normalmente uno de los dos puntos posibles resulta ser improbable por su ubicación, debido a su lejanía de la superficie terrestre y puede ser descartado sin necesidad de mediciones posteriores.

♦ **Medición de las distancias a los satélites.** La posición en la Tierra se calcula a partir de la medición de la distancia hasta por lo menos tres satélites.

La distancia desde la Tierra se hace midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar hasta el receptor de GPS.

Los satélites GPS transmiten señales de radio, en el orden de 1900MHz, estas señales viajan a la velocidad de la luz, alrededor de 300.000 km por segundo (299'792458 m/s), tomándole seis centésimas de segundo viajar desde los satélites a los receptores en tierra.

El problema de la medición de este tiempo es complicado, puesto que los tiempos son extremadamente cortos, por lo que es necesario conocer con total exactitud el momento preciso en el cual la señal es transmitida por el satélite.

El receptor GPS y el satélite emiten un "Código Pseudo Aleatorio" (Pseudo Random Code).

Este Código Pseudo Aleatorio es una parte fundamental del GPS. Físicamente sólo se trata de una secuencia o código digital muy complicado, una señal que contiene una sucesión de pulsos on y off, como se ve en la ilustración 8.



Ilustración 8 . Ejemplo de código Pseudo Aleatorio

Para medir la magnitud del retraso de la señal proveniente del satélite, se deben sincronizar los relojes, tanto del satélite como del receptor GPS.

El tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de la señal proveniente del satélite y se muestra en la ilustración 9.

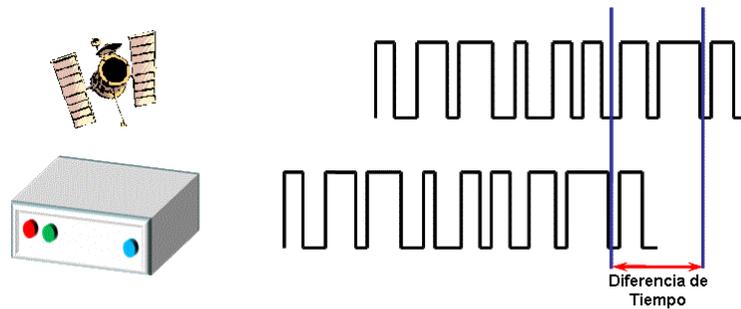


Ilustración 9. Diferencia del Código Pseudo Aleatorio entre satélite y GPS.

La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado al azar. De allí su denominación de "Pseudo-Aleatorio".

La complejidad del código ayuda a que el receptor de GPS no se sintonice accidentalmente con alguna otra señal. Siendo el modelo tan complejo es altamente improbable que una señal cualquiera pueda tener exactamente la misma secuencia.

Dado que cada uno de los satélites tiene su propio y único Código Pseudo Aleatorio, esta complejidad también garantiza que el receptor no se confunda accidentalmente de satélite. De esa manera, también es posible que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente. Esto también complica a cualquiera que intente interferir el sistema desde el exterior al mismo. El Código Pseudo Aleatorio le da la posibilidad al Departamento de Defensa de Estados Unidos de controlar el acceso al sistema GPS.

Pero hay otra razón para la complejidad del Código Pseudo Aleatorio, una razón que es crucial para conseguir un sistema GPS económico.

El código permite el uso de la teoría de la información para amplificar las señales de GPS. Por esa razón las débiles señales emitidas por los satélites pueden ser captadas por los receptores de GPS sin el uso de grandes antenas.

♦ **Sincronización de tiempo.** Si la medición del tiempo de viaje de una señal de radio es clave para el GPS, los relojes que emplean deben ser muy exactos, dado que si miden con un desvío de un milésimo de segundo, a la velocidad de la luz, ello se traduce en un error de 300 km.

Por el lado de los satélites, la precisión del reloj es casi perfecta porque llevan a bordo relojes atómicos, sin embargo, los receptores GPS portátiles no tienen relojes tan precisos.

Así que para obtener un reloj más preciso es necesario efectuar una medición satelital adicional. Esto es fundamental para el funcionamiento del sistema GPS.

Si los relojes de los receptores GPS fueran tan exactos como los de los satélites todos los rangos (distancias) a los satélites se intersectarían en un único punto (que indicaría la posición del receptor GPS). Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, efectuada como control cruzado, no interceptará con los tres primeros.

De esa manera la computadora del GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal.

Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto.

Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera conseguirá emular a un reloj atómico.

Una vez que el receptor de GPS aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, se obtiene un posicionamiento preciso.

Una consecuencia de este principio es que cualquier GPS debe ser capaz de sintonizar al menos cuatro satélites de manera simultánea. En la práctica, casi todos los GPS acceden a más de 6, y hasta a 12 satélites simultáneamente.

Para realizar esta corrección se trabaja en dos dimensiones.

Se puede suponer que el receptor GPS se encuentra en un punto P a una distancia t_1 del satélite A y t_2 del satélite B, donde t_1 y t_2 están dado en intervalos de tiempo. Ver ilustración 10.

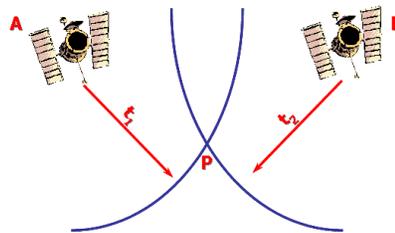


Ilustración 10. Alcance en tiempo de los satélites A y B.

Sin embargo, la posición de P sólo sería la correcta si el reloj del receptor GPS se encontrará perfectamente sincronizado con los que se encuentran en los satélites.

Ahora, si el reloj del receptor GPS no se encuentra sincronizado con los relojes de los satélites, como se muestra en la ilustración 11 parecería que la ubicación de P,

que es la correcta, se encontrará en un lugar diferente Q, donde Q estaría a una distancia t_3 del satélite A y t_4 del satélite B.

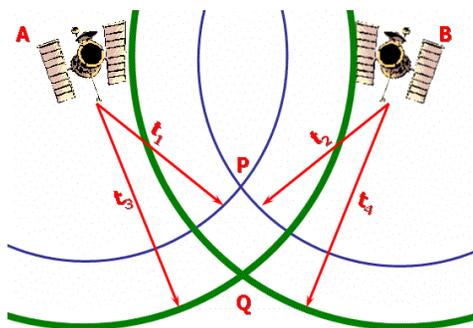


Ilustración 11. Alcance en tiempo sin sincronizar de los satélites A y B.

Por otra parte, si no se tiene conocimiento de la falta de sincronización del reloj del receptor GPS, este error pasaría inadvertido. Para que esto no suceda se necesita la medición de un tercer satélite C, como se puede ver en la ilustración 12.

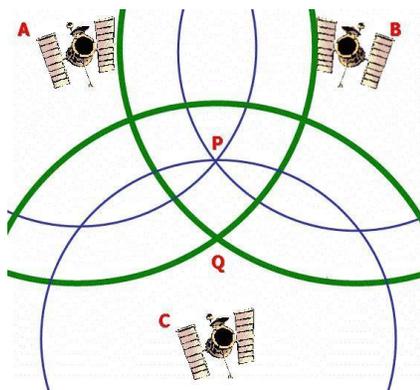


Ilustración 12. Alcance de los Pseudos rangos de los satélites A, B y C.

En este caso las líneas verdes muestran el Pseudos-rango generado por la falta de sincronización de los relojes.

Las señales de los satélites A y B aún se intersecan en el punto Q, sin embargo, la señal generada por C no coincide con el punto Q.

Los receptores GPS están programados para analizar las señales que reciben, de manera que cuando computan un punto que no puede ser intersecado por varios satélites, asumen que su reloj interno se encuentra mal sincronizado; para sincronizar su reloj interno, el receptor GPS empieza a adicionar y restar tiempo –la misma cantidad a cada señal de radio que recibe- hasta que ubica el punto en el cual las señales se intersecan, en este caso P.

Ahora bien, con el Código Pseudo Aleatorio como un pulso confiable para asegurar la medición correcta del tiempo de la señal y la medición adicional como elemento de sincronización con la hora universal, se consigue lo necesario para medir la distancia a un satélite en el espacio.

Pero, para que la triangulación funcione se necesita conocer no sólo la distancia sino que también conocer dónde están los satélites con toda exactitud.

◆ **Conocer dónde están los satélites en el espacio.** Los satélites GPS se encuentran a una altura de aproximadamente 20.000 km, lo que es en realidad un

beneficio, porque algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que orbitará de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de GPS.

En tierra, todos los receptores de GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento.

Las órbitas básicas son muy exactas pero con el fin de mantenerlas así, como se muestra en la ilustración 13 los satélites de GPS son monitoreados de manera constante por el Departamento de Defensa.

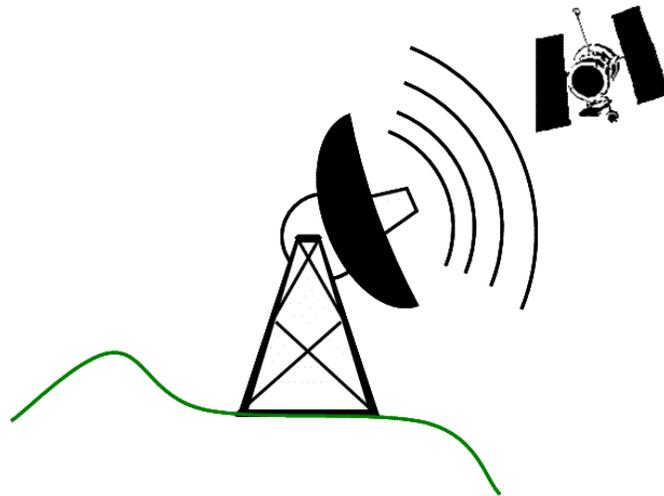


Ilustración 13. Estación de control en tierra para satélites.

Ellos utilizan radares precisos para controlar constantemente la altura exacta, posición y velocidad de cada satélite.

Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, es decir evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites.

Estos errores son generalmente muy sutiles pero relevantes si se desea una gran exactitud.

Una vez que el Departamento de Defensa ha medido la posición exacta de un satélite, vuelve a enviar dicha información al satélite. De esta manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los GPS. Ver ilustración 14.

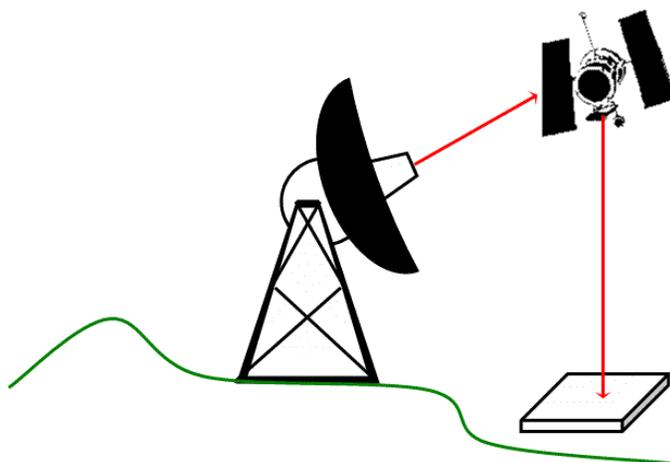


Ilustración 14. Transmisión de posición del satélite al GPS.

Esto significa que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de medir el tiempo de retardo que demora este. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite

Corrección de Errores. Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles.

Transmisión a través de la atmósfera. La velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío.

Una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes como se ve en la ilustración 15.

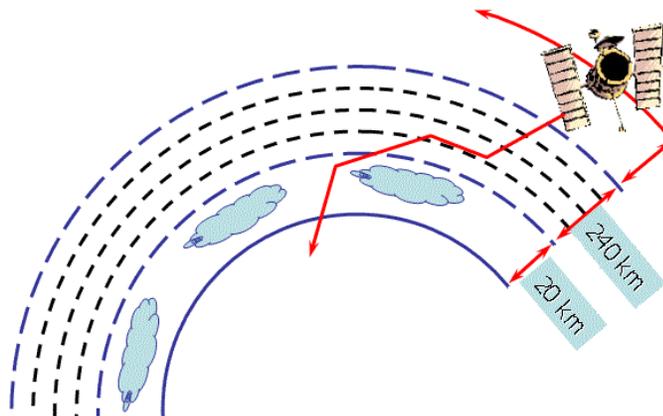


Ilustración 15. Interferencia atmosférica en las señales de los satélites.

Hay un par de maneras de minimizar este tipo de error. Por un lado, predecir cuál sería el error tipo de un día promedio. A esto se lo llama modelación y puede ayudar pero, por supuesto, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan exactamente al promedio previsto.

Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmósfera es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores GPS muy avanzados.

Transmisión sobre la tierra. Como se ve en la ilustración 16 los problemas para la señal de GPS no terminan cuando llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por el receptor GPS.

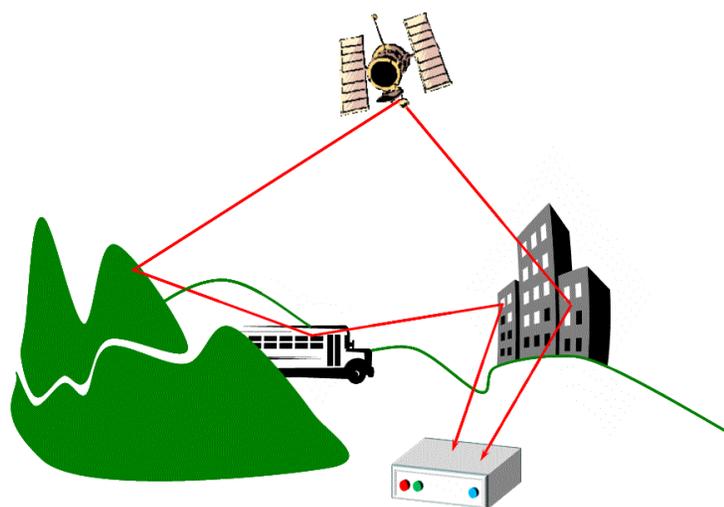


Ilustración 16. Interferencias por reflexión.

Este error es similar al de las señales fantasma existentes en la recepción de televisión. Los buenos receptores GPS utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar este problema.

Problemas en el satélite. Aun siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema.

Los relojes atómicos que utilizan son muy, pero muy, precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir minúsculas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales.

Y, aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

Algunos ángulos son mejores que otros. La geometría básica por si misma puede magnificar estos errores mediante un principio denominado "Dilación Geométrica de la Precisión", o DGDP.

En la realidad suele haber más satélites disponibles que los que el receptor GPS necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto.

Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo como se muestra en la ilustración 17, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarán a ángulos con muy escasa diferencia entre sí. Esto incrementa el área gris o margen de error acerca de una posición.

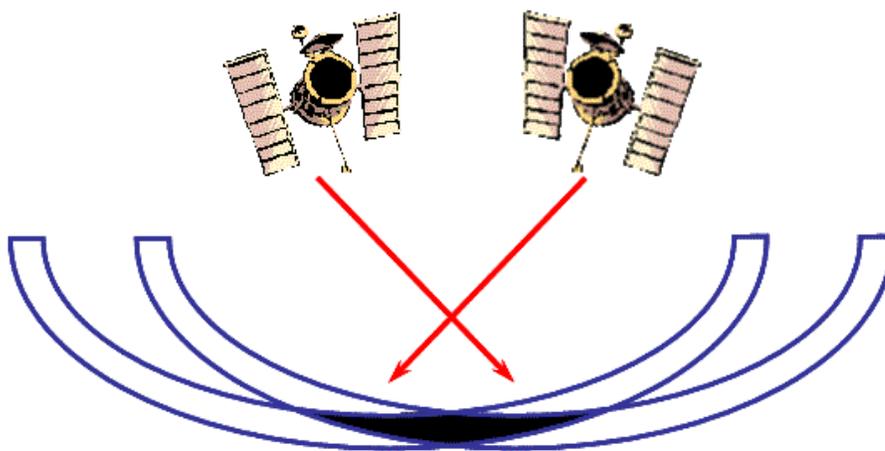


Ilustración 17. Intersección de señales de radio en satélites cercanos.

Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados como en la ilustración 18, las circunferencias intersectan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error.

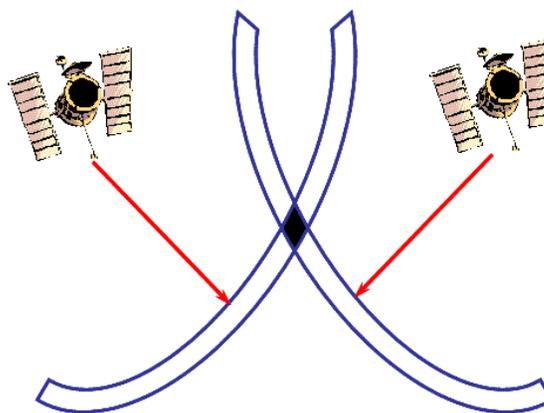


Ilustración 18. Intersección de señales de radio en satélites distantes.

Los buenos receptores son capaces de determinar cuales son los satélites que dan el menor error por Dilución Geométrica de la Precisión.

Errores Intencionales. Aunque resulte difícil de creer, el mismo Gobierno que pudo gastar 12.000 Millones de dólares para desarrollar el sistema de navegación más exacto del mundo, está degradando intencionalmente su exactitud. Dicha política se denomina "Disponibilidad Selectiva" y pretende asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pueda utilizar el GPS para fabricar armas certeras.

Básicamente, el Departamento de Defensa introduce cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que a su vez se traduce en errores en los cálculos de posición. El

Departamento de Defensa también puede enviar datos orbitales ligeramente erróneos a los satélites que estos reenvían a los receptores GPS como parte de la señal que emiten.

Estos errores en su conjunto son la mayor fuente unitaria de error del sistema GPS. Los receptores de uso militar utilizan una clave encriptada para eliminar la Disponibilidad Selectiva y son, por ello, mucho más exactos.

Ampliaciones al GPS¹⁰. Una ampliación es todo sistema que perfeccione el GPS proporcionándole precisión, integridad, fiabilidad u otra mejora para el posicionamiento, la navegación y la cronometría, que no sea parte integrante del propio sistema. Entre las ampliaciones se incluyen, aunque no de forma exhaustiva:

El Sistema Nacional del GPS Diferencial (NDGPS, por sus siglas en inglés) es una ampliación del GPS basada en estaciones terrestres que mejoran su precisión e integridad para los usuarios en mar y tierra. Su operación y mantenimiento son responsabilidad de la Administración Federal Ferroviaria, el Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos y la Administración Federal de Carreteras. Como parte de su actual modernización, se incluye el sistema NADGPS de alta precisión (HA-NDGPS, por sus siglas en inglés), en vías de desarrollo, para elevar su desempeño y proporcionar exactitud del orden de 10 a 15 centímetros en toda la superficie de cobertura. El

¹⁰ GPS. Disponible en: <http://www.gps.gov/systems/augmentations/spanish.html>. [Consultado en: 5 de marzo de 2007 a las 10:45am]

NDGPS está diseñado siguiendo las normas internacionales y ya más de 50 países han implantado sistemas parecidos.

El Sistema de Aumento de Zona Amplia (WAAS, por sus siglas en inglés) es una ampliación del GPS por medio de satélites, operado y mantenido por la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés), que proporciona información para la navegación aérea en todas las fases del vuelo. El sistema hoy en día se emplea en otras muchas aplicaciones no relacionadas con la aviación, puesto que sus señales, similares a las del GPS, pueden ser procesadas por receptores sencillos y sin necesidad de equipamiento adicional. Mediante el empleo de las normas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la FAA continúa trabajando con otras naciones para desarrollar sistemas interoperables para prestar servicios ininterrumpidos a todos los usuarios de una región. Entre otros sistemas vía satélite ampliados conformes a las normas de la OACI se incluyen el EGNOS (Sistema europeo de navegación geostacionaria), el GAGAN de la India (Sistema de navegación aumentada con GPS y GEO), y el MSAS de Japón (Sistema de aumentación basado en satélite multifuncional de transporte). Todas esas aplicaciones internacionales se basan en el GPS. La FAA seguirá mejorando el servicio del WAAS a fin de aprovechar la futura señal de seguridad para la vida humana del GPS y de lograr un mejor desempeño, y continuará con sus esfuerzos de promover la adopción de esas nuevas funciones en todo el mundo.

Las estaciones CORS (Sistema de Referencia de Operación Continua) son una red de estaciones de seguimiento de la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, encargadas de archivar y distribuir datos del GPS que, mediante procesamiento ulterior, permiten la obtención de mediciones atmosféricas y de posicionamiento altamente precisas. Se está modernizando la red CORS para que, en el futuro, sirva de apoyo a usuarios en tiempo real.

El Sistema SPG Diferencial Mundial (GDGPS, por sus siglas en inglés) es un sistema de aumentación del GPS de alta precisión, desarrollado por Jet Propulsion Laboratory (JPL), para apoyar las necesidades relacionadas con la determinación, en tiempo real, de posicionamiento, cronometría y órbita para las misiones científicas y espaciales de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos. Entre los planes futuros se incluyen la utilización del Sistema Satélite de Rastreo y Retransmisión de Información (TDRSS) para diseminar, vía satélite y en tiempo real, los mensajes de corrección diferencial a fin de permitir determinar la posición de los satélites con mayor precisión. Este sistema se conoce como TASS (Servicio de Aumentación para Satélites TDRSS).

El Sistema Internacional de GNSS (IGS, por sus siglas en inglés) es una red de más de 350 estaciones de seguimiento del GPS pertenecientes a 200 organizaciones en 80 países. Su misión es suministrar datos y productos de la más alta calidad como parámetros para los Sistemas Satelitales de Navegación Global o GNSS en apoyo a las

investigaciones de las geociencias, las aplicaciones multidisciplinarias y la educación, y también servir a otras aplicaciones de beneficio social. Unas 100 estaciones IGS transmiten sus datos de rastreo antes de transcurrida una hora de su recolección.

UAV

Un vehículo aéreo no tripulado (por sus siglas del inglés UAV Unmanned Aerial Vehicle), conocido en español por sus siglas como VAT, denominación otorgada por el ejército de Estados Unidos a las últimas generaciones de aeronaves capaces de volar sin piloto a bordo. En la ilustración 19 se muestra una aeronave no tripulada desarrollada por Dara Aviation.



Ilustración 19. UAV.

Aeronaves no tripuladas, comandadas y controladas desde tierra por estaciones de control para el cumplimiento de misiones de reconocimiento específicas.

Tomado literalmente, el término podría describir un amplio rango de dispositivos capaces de operar en el espacio aéreo que va desde un cometa hasta algo más que un avión radio controlado, pasando por los misiles. Estas aeronaves poseen sistemas que combinan información procedente de sistemas de posicionamiento como GPS, navegación mediante GIS, servomecanismos, etc. La CPU que lleva a bordo se encarga de pilotear sin que sea necesario disponer de un humano a bordo.

El ambiente donde opera el sistema UAV corresponde al espacio aéreo en el que la aeronave va a desempeñar las labores de reconocimiento.

El segmento de vuelo consta de la aeronave, motor, sistema de navegación y guiado (generalmente un GPS y a veces un sistema inercial, además de un ordenador), sistema de radiocomunicaciones y la carga paga; El subsistema del vehículo aéreo es el vehículo como tal, con todos los componentes aerodinámicos que permitan su correcto desempeño.

El segmento de tierra esta formado por el Subsistema Estación de Control y el Subsistema Lanzador. El Subsistema Estación de Control se basa en cabinas transportables que alojan en su interior los equipos para comunicaciones, proceso de datos, cálculo, visualización, monitoreo y control, etc. La estación control es la estación base desde donde se controla el vuelo de la aeronave y por último la carga paga que son todos los elementos de control dentro de la aeronave.

Dentro de las ventajas de los sistemas UAV se encuentran: su transportabilidad, los resultados se obtienen en un tiempo muy corto desde la planificación de la misión, la obtención de información privilegiada en tiempo real, su facilidad de manejo y transporte, los bajos costos de mantenimiento y operación, el bajo costo por unidad del sistema que permite se puedan emplear varios UAV en una determinada zona. Todo ello les hace ser unos sistemas muy rentables y en corto tiempo.

Los campos de aplicación de los sistemas UAV son: Reconocimiento urbano, aerofotografía, tareas de seguridad, reconocimiento geográfico, grabación de eventos, detección de incendios, control de tráfico en carreteras, vigilancia de oleoductos, vigilancia de interconexión eléctrica, control y vigilancia de fronteras, medición de parámetros meteorológicos, estimación de densidades de población y reconocimiento de blancos militares.

iDEN®. (Integrated Dispatch Enhanced Network).

Es una tecnología inalámbrica de Motorola que combina las capacidades de la telefonía celular, radio de dos vías, paginador alfanumérico y módem de fax y datos en una sola red.

El sistema iDEN® usa modulación digital M16-QAM y VSELP (Vector Sum Excited Linear Predictor – Vector lineal de suma excitada) técnicas de codificación de

conversación acopladas con TDMA un método de canal de acceso para realzar la capacidad del canal y los servicios del sistema.

iDEN[®] opera en las bandas 800MHz, 900MHz y 1.5GHz. Está basada en la arquitectura de TDMA (Time Division Multiple Acces) y GSM (Global System for Movile Communications).

En el sistema iDEN[®] un par de frecuencias sencillas es compartida por seis usuarios a través del uso de seis time slots de 15 milisegundos. Cada usuario transmite y recibe durante uno de los intervalos de time slots, de manera que cada transmisión es una señal RF con un ciclo útil de 1/6 ó 1/3.

El radio está en capacidad de recibir y transmitir durante cualquiera de los tres o seis time slots. A cada usuario de radio le es asignado un canal único el cual es determinado tanto por el número de portadora como por la definición del time slot. El número de la portadora especifica el par de frecuencias de transmisión.

iDEN[®] está diseñada y licenciada para operar en frecuencias individuales que pueden no estar contiguas; opera en canales de 25KHz pero solamente ocupa 20KHz con el fin de proveer protección a interferencia en bandas de guardia.

yuda a cualquiera de los tres o seis usuarios interconectados (usuarios de telefonía) por canal y a cualquiera de seis o doce usuarios de despacho (PTT – Push To Talk) por canal.

MySQL¹¹.

Es un sistema de gestión de base de datos, multihilo y multiusuario con más de seis millones de instalaciones.

MySQL AB desarrolla MySQL como software libre en un esquema de licenciamiento dual. Por un lado lo ofrece bajo la GNU GPL, pero, empresas que quieran incorporarlo en productos privativos pueden comprar a la empresa una licencia que les permita ese uso.

Está desarrollado en su mayor parte en ANSI C. Al contrario de proyectos como el Apache donde el software es desarrollado por una comunidad pública, y el copyright del código está en poder del autor individual, MySQL está poseído y patrocinado por una empresa privada, que posee el copyright de la mayor parte del código. Esto es lo que posibilita el esquema de licenciamiento anteriormente mencionado. Además de la venta de

¹¹ WIKIPEDIA MySQL. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Mysql>. [Consultado en: 13 de mayo de 2007 a las 2:00pm]

licencias privativas, la compañía ofrece soporte y servicios. Para sus operaciones contratan trabajadores alrededor del mundo que colaboran vía Internet. MySQL AB fue fundado por David Axmark, Allan Larsson y Michael Widenius.

MySQL funciona sobre múltiples plataformas, incluyendo Linux, Mac, Novell Netware, Solaris y Windows en versiones posteriores a las de 95.

Tomcat¹².

Conocido como Yakarta Tomcat ó Apache Tomcat, trabaja como un contenedor de servlets. Fue desarrollado bajo el proyecto Yakarta en la Apache Software Foundation.

Implementa las especificaciones de los servlets y de JavaServer Pages (JSP) de Sun Microsystems.

Tomcat es un servidor Web con soporte de servlets y JSPs. Incluye el compilador Jasper, que compila JSPs convirtiéndolas en servlets. El motor de servlets de Tomcat a menudo se presenta en combinación con el servidor Web Apache. Puede funcionar como

¹² WIKIPEDIA TOMCAT. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Tomcat>. [Consultado en: 13 de mayo de 2007 a las 2:10pm]

servidor Web por sí mismo. En sus inicios existió la percepción de que el uso de Tomcat de forma autónoma era sólo recomendable para entornos de desarrollo y entornos con requisitos mínimos de velocidad y gestión de transacciones.

Dado que Tomcat fue escrito en Java, funciona en cualquier sistema operativo que disponga de la máquina virtual Java.

Tomcat es mantenido y desarrollado por miembros de la Apache Software Foundation y voluntarios independientes. Los usuarios disponen de libre acceso a su código fuente y a su forma binaria en los términos establecidos en la Apache Software Licence. Las primeras distribuciones de Tomcat fueron las versiones 3.0.x. Las versiones más recientes son las 6.x, que implementan las especificaciones de Servlet 2.4 y de JSP 2.0. A partir de la versión 4.0, Jakarta Tomcat utiliza el contenedor de servlets Catalina.

Google Maps.

Es un servicio gratuito de Google, un servidor de aplicaciones de mapas Web que ofrece tecnología cartográfica avanzada y fácil de usar, así como información sobre empresas locales (ubicación, información de contacto e indicaciones sobre cómo llegar)¹³.

¹³ Google Maps. Disponible en:

<http://maps.google.es/support/bin/answer.py?answer=7060&topic=10778>.

Ofrece imágenes de mapas desplazables, fotos satelitales del mundo entero e incluso la ruta entre diferentes ubicaciones y la posibilidad de que cualquier propietario de una página Web integre muchas de sus características a su sitio Web. En la ilustración 20 se muestra la vista de la torre eiffel en Francia obtenida con Google Maps.



Ilustración 20. Vista de un mapa de Google Maps.

Dentro de las funciones de Google Maps se encuentran:

- Resultados de búsquedas locales integrados. Mediante este tipo de búsquedas es posible encontrar empresas y diferente tipo de información desde una misma página web.
- Mapas que pueden ser arrastrados. Esta función permite arrastrar con el ratón el mapa para ver zonas cercanas a la de la ubicación original.

- Imágenes satelitales. Se pueden observar imágenes obtenidas por satélite o imágenes satelitales con datos del mapa superpuestos
- Rutas detalladas. Con esta función se puede introducir una dirección y Google Maps la señala y traza la ruta.
- Combinaciones de teclas. Esta función permite obtener una vista panorámica en cualquier sentido (derecha, izquierda, arriba o abajo) a si mismo se puede aumentar o disminuir el zoom de vista del mapa.
- Función de doble clic para el zoom. Al hacer doble clic con el botón izquierdo del ratón se puede acercar el zoom y con el botón derecho se puede alejar el mismo.
- Zoom a través de la rueda de desplazamiento. Usando la rueda de desplazamiento del ratón se puede acercar y alejar los mapas.

Api de Google

API son las siglas en inglés de *Application Programming Interface*. En otras palabras, son los métodos que el desarrollador de cualquier aplicación ofrece a otros desarrolladores para que puedan interactuar con su aplicación.

Las APIs de Google Son los métodos que Google ofrece a los desarrolladores para que puedan hacer peticiones a Google desde sus propias aplicaciones; este tipo de APIs se puede desarrollar mediante el uso de varios lenguajes, como Java, Perl o Visual Studio .NET, entre otros. El tipo de aplicaciones que se pueden desarrollar con las APIs de Google pueden ser en entorno Web como dentro de un programa clásico.

Para el funcionamiento de las APIs de Google las aplicaciones que escriben los desarrolladores se conectan remotamente con el servicio Web API de Google. Esta comunicación se realiza mediante un protocolo llamado SOAP (Simple Object Access Protocol). Está basado en XML, y se usa para el intercambio de información entre aplicaciones. Si se desea desarrollar aplicaciones es necesario:

- Una plataforma de desarrollo que soporte Servicios Web. Puede que se necesite instalar algo más (aparte del entorno de tu lenguaje). Conocer de Java Web Services, Perl Soap: Lite, SOAP en Microsoft .NET Framework y Visual Studio.NET.

Descargar el 'kit' para desarrolladores que proporciona Google. Incluye algunos ejemplos en varios lenguajes de cómo hacer peticiones a Google, y el fichero WSDL que se va a necesitar. Este fichero describe en lenguaje XML los Servicios Web de Google.

- Crear completamente gratis una clave para las Google APIs. Google solamente deja hacer 1000 peticiones por día a este servicio. Por ello, es necesario que tenga una clave que deberá insertar en el código de las aplicaciones.

Metodología

Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es empírico – analítico, debido a la investigación e implementación de una tecnología.

Técnicas de recolección de información

- **Revisión bibliográfica:** Se realiza todo un proceso de revisión y consulta bibliográfica para poder determinar las consideraciones de diseño de la aeronave, los equipos a utilizar en la implementación, así como sus especificaciones técnicas y legales.
- **Mediciones:** Se realizan mediciones con el fin de obtener resultados para la comparación y ajustes que se hicieron del sistema; estas mediciones se ejecutaron implementando el sistema de posicionamiento en la aeronave con el prototipo de prueba.
- **Pruebas:** Las pruebas se efectuaron con el fin de lograr un funcionamiento óptimo del sistema implementado.

Hipótesis

Puesto que el NAVIGATOR no cuenta con un sistema que permita monitorear su posición en tiempo real cuando está fuera del alcance de línea de vista del operador que la está piloteando, es necesario implementar un equipo de posicionamiento GPS dentro de la aeronave el cual debe estar interconectado a un sistema de transmisión celular con la capacidad de enviar la información recopilada por el GPS a una base de datos, la cual a su vez puede ser accesada remotamente desde Internet, con el propósito de determinar, en tiempo real, el posicionamiento de la aeronave.

Variables

Variables independientes

- La información enviada por la aeronave de su ubicación (latitud, longitud y altitud).

Variables dependientes

- El registro de la ruta y la visualización de la posición de la aeronave en tiempo real.

Descripción del sistema

El UAV NAVIGATOR está acondicionado con un equipo Virloc4, el cual funciona como receptor de GPS y módem iDEN este se muestra en la ilustración 21, este equipo recibe las señales provenientes de la red de satélites GPS Navstar. En la ilustración 22 se encuentra el diagrama detallado del sistema implementado.



Ilustración 21. Virloc4.

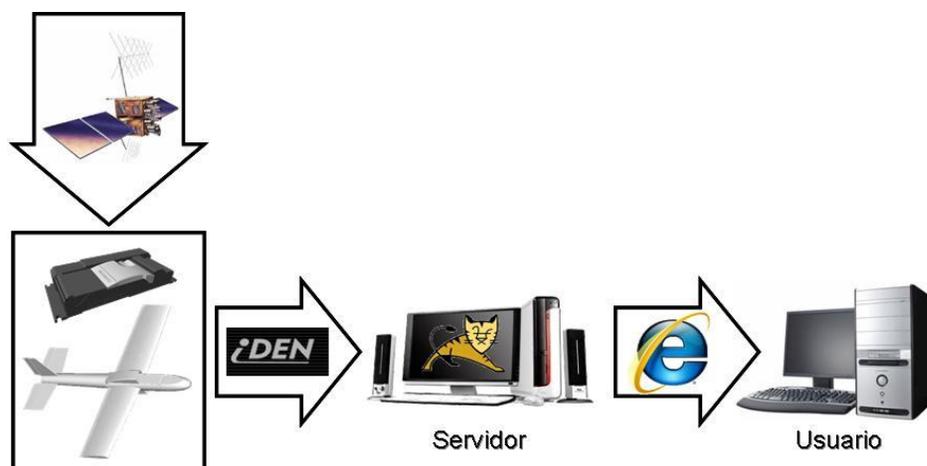


Ilustración 22. Diagrama del sistema.

El Virloc4 está programado para enviar el reporte de la posición recibida por los satélites GPS cada 10 segundos, igualmente, esta programación permite enviar distintas variables, tales como altura, velocidad, distancia recorrida, al igual que otros detalles de la aeronave como la temperatura y revoluciones del motor y el nivel de voltaje de la batería que alimenta los equipos de posicionamiento.

La información es enviada a través de la red de datos iDEN[®] de la compañía Motorola[®], ofrecida por Avantel S.A., a una dirección IP definida con anterioridad en la programación del Virloc4.

La IP a la que envía la información pertenece a un equipo de cómputo que está acondicionado con el servicio Tomcat, el cual permite que dicho equipo funcione como un servidor remoto.

Igualmente, el computador incluye una instalación del software MySQL, que funciona como Base de datos para almacenar y gestionar la información recibida desde la aeronave.

Esta información puede ser consultada remotamente desde un computador ubicado en la estación base desde donde se controla la aeronave, lo cual permite monitorear la ubicación del NAVIGATOR en tiempo real.

Presentación y Análisis de Resultados

La implementación del sistema de posicionamiento para aeronaves no tripuladas requirió el desarrollo de dos sistemas básicos, el Segmento de vuelo y el Segmento de tierra, a continuación se muestra el diagrama de bloques del sistema. Tanto los segmentos de vuelo como el de tierra se ven reflejados en la información que el usuario final puede observar desde Internet.

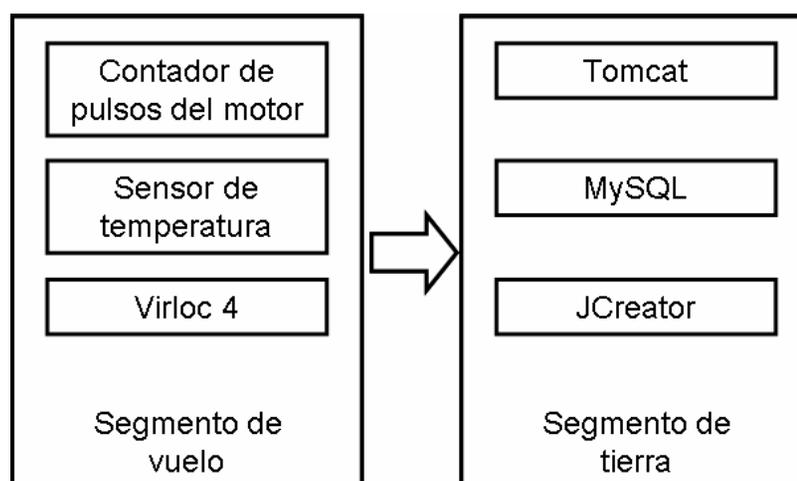


Ilustración 23. Diagrama de bloques

Cada segmento está compuesto por diferentes sistemas.

Segmento de vuelo

En el segmento de vuelo se manejaron tres sistemas esenciales: Virloc4, sensor de temperatura y contador de pulsos del motor; los cuales se exponen a continuación.

Virloc4

El primero es el Virloc4, el cual es el encargado de generar la posición a través del sistema GPS y transmitirla junto a otros datos al segmento de tierra.

Dada la programación del Virloc4, este transmite dos tipos de tramas:

U3, en estas tramas se transmite la hora y fecha del reporte, latitud, longitud, altura, velocidad promedio, velocidad máxima, voltaje de la batería de alimentación de los equipos, y las revoluciones por minuto del motor.

SXT, este tipo de tramas transmiten la información obtenida desde el puerto RS232 del Virloc4, que en este caso sería la temperatura del motor.

Los mensajes U3 se envían con una frecuencia de 15 segundos, puesto que hacerlo a una mayor frecuencia podría generar que la información tardará en llegar o se repesará, generando reportes atrasados.

Por su parte los mensajes de tipo BX se envían cada 3 minutos, sin embargo la programación básica del Virloc4 impidió que se enviará junto a la temperatura información adicional, por lo cual se recurrió a incluir la información proveniente de las tramas SXT en el último registro guardado en la tabla correspondiente a los Reportes.

El Virloc4 se programa usando el Hyper Terminal de Windows a través del puerto serial RS232, el cual debe estar configurado como se muestra en la ilustración 24.

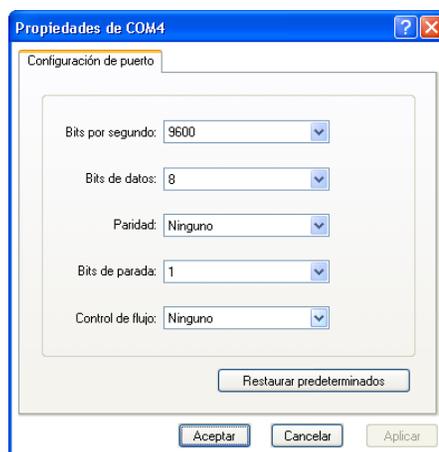


Ilustración 24. Parámetros del Hyper Terminal.

La programación incluye, entre otros:

- Definir la IP a la cual se le envían los datos. Se definen 4 direcciones IP, la principal es la del servidor donde se almacena la Base de datos y se establecen las otras 3 como direcciones IP de respaldo.
- Definir los puertos usados para recibir la información en el servidor. La información se envía a través de protocolo UDP desde el Virloc4, y es recibida a través del puerto UDP 5001 en el equipo de cómputo que funciona como servidor.
- Delimitar los tiempos usados para el envío de la información. Se establecen los tiempos usados por el Virloc4 para desarrollar diferentes tareas, ya sea la transmisión de información, reinicio del MODEM, etc.
- Definir qué tipo de mensaje es enviado. El Virloc4 puede enviar diferentes tipos de mensajes, para la aplicación presentada, se programa el envío de tramas U3.

Sensor de temperatura

El sensor de temperatura implementado genera un cambio de $1\text{mA}/^{\circ}\text{C}$, este cambio es suficiente para ser transducido por un microcontrolador a voltaje y luego ser enviado mediante el puerto RS232 al Virloc4 para su transmisión posterior.

En la ilustración se puede ver la curva generada por el sensor de temperatura, en la cual se muestra la relación entre temperatura y voltaje de salida del sistema.

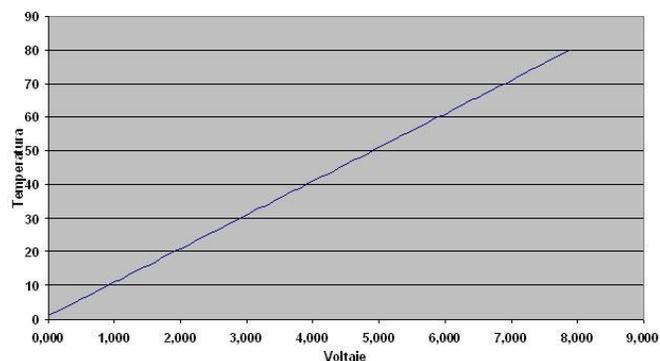


Ilustración 25. Curva generada por el sensor.

Para medir la temperatura del motor se utilizó el transductor de temperatura AD590 de Analog Devices.

La salida del AD590 fluctúa entre 298mV y 353mV, siendo 298mV la salida cuando se encuentra a 25°C y 338mV el nivel de voltaje en la salida cuando el motor se encuentra sobre los 80°C.

Se utilizó el integrado LM324 para funcionar como un amplificador operacional en configuración seguidor como se muestra en la ilustración 26, puesto que la salida del sensor de temperatura AD590 está configurada en corriente, lo que hace que el nivel de voltaje en la salida del sensor sea bajo. Esto se hace con el fin de mejorar el acople de impedancias en la entrada de esta etapa del sistema.

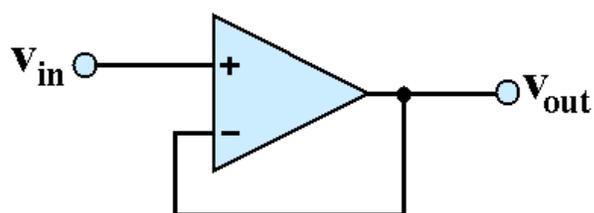


Ilustración 26. Diagrama del circuito seguidor utilizado para el sensor de temperatura.

Tabla 7. Elementos de la ecuación del circuito seguidor.

Variable	Descripción
273	Corresponde a los $273\mu\text{Amp}$ que genera el sensor a 0°C .
T°	Corresponde a la temperatura a la que se encuentra el motor.
10kΩ	Corresponde a la resistencia que acopla el seguidor con el amplificador configurado en restador.

La salida del seguidor el voltaje es igual a:

$$V_{out} = (273 + T^{\circ})\mu A \times 10K\Omega$$

Se implementó un integrado LM336 como se muestra en la ilustración 27, para generar una referencia de voltaje de 2.73V y así lograr implementar un circuito restador que genere una salida que fluctúe entre 0,0V y 8,0V según la temperatura del sensor.

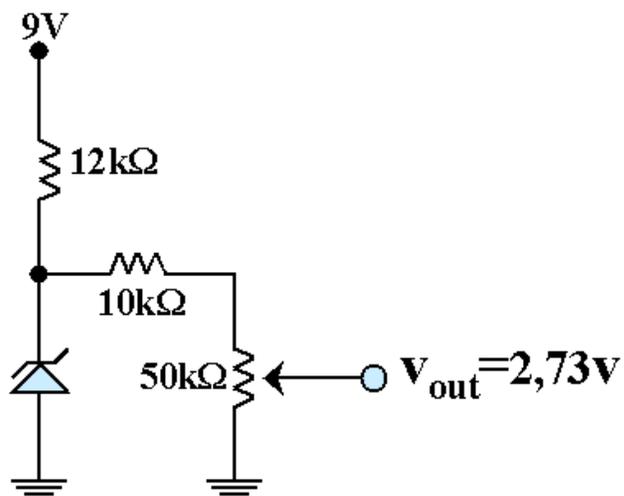
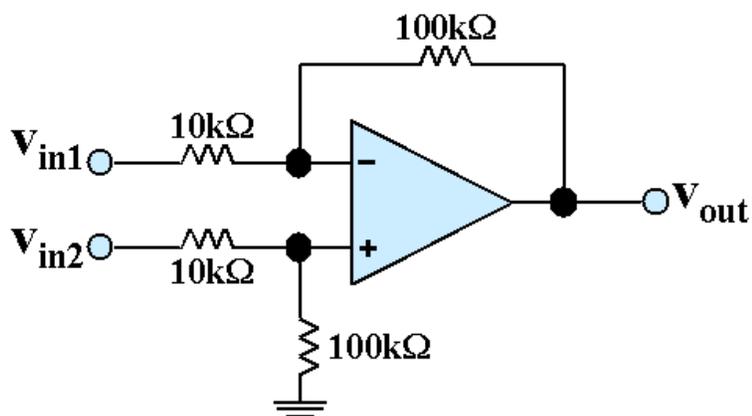


Ilustración 27. Diagrama del circuito de referencia de voltaje utilizado para sensor de temperatura.

El circuito restador se implementó usando un integrado LM324, el cual se muestra en la ilustración 28.

Ilustración 28. Diagrama del circuito restador utilizado para el sensor de temperatura.



Los cálculos realizados para el diseño del circuito restador se muestra a continuación.

$$V_{out} = V_2 \left(\frac{(R_3 + R_1)R_4}{(R_4 + R_2)R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right)$$

En la tabla 8 se muestran la descripción de cada una de las variables de la ecuación del circuito restador.

Tabla 8. Elementos de la ecuación del circuito restador.

Variable	Descripción
V_{in2}	Corresponde al voltaje proveniente del Seguidor.
V_{in1}	Corresponde al voltaje proveniente de la etapa compuesta por el LM336.
R_1	Corresponde a la resistencia de acople entre la etapa del LM336 y la entrada inversora del Restador.
R_2	Corresponde a la resistencia de acople entre el Seguidor y la entrada no inversora del Restador.
R_3	Corresponde a la resistencia de acople entre la entrada inversora del Restador y su salida.
R_4	Corresponde a la resistencia que acopla la entrada no inversora del Restador con la tierra del circuito.

El voltaje de salida de la etapa del Restador, correspondiente a las diferentes temperaturas se expone en la tabla 9.

Tabla 9. Tabla de relación entre voltaje y temperatura a la salida del sistema.

TEMPERATURA	VOLTAJE DE SALIDA
0°C	0,0V
5°C	0,5V
10°C	1,0V
15°C	1,5V
20°C	2,0V
25°C	2,5V
30°C	3,0V
35°C	3,5V
40°C	4,0V
45°C	4,5V
50°C	5,0V
55°C	5,5V
60°C	6,0V
65°C	6,5V
70°C	7,0V
75°C	7,5V
80°C	8,0V
85°C	8,5V

Como se puede observar en la tabla, el sistema genera una fluctuación de 0,1V por cada grado centígrado sentido.

El diagrama completo del circuito de acondicionamiento de la señal se muestra en la ilustración 29.

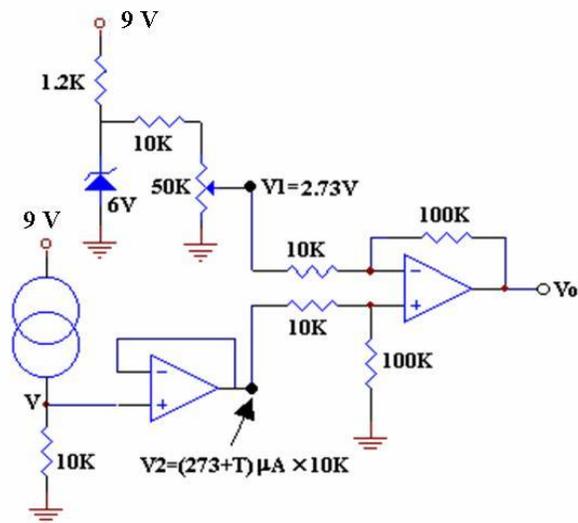


Ilustración 29. Diagrama completo de acondicionamiento del sensor de temperatura.

Contador de pulsos

El contador de pulsos se diseñó utilizando un sensor de proximidad. Sin embargo, como las entradas del Virloc4 se activan con tierras, fue necesario acoplar una compuerta negadora a la salida.

En la ilustración se ve la curva generada por el motor, luego de medir las revoluciones del mismo durante 15 minutos.

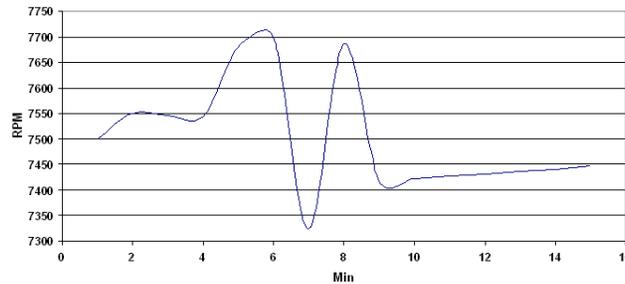


Ilustración 30. Curva generada por el motor.

Se implementó el sensor reflectivo de proximidad CNY70, a la salida del sensor se acondicionó el amplificador operacional LM358 en configuración de comparador.

Se utilizó un sensor reflectivo ya que el único lugar en la aeronave donde se pueden medir las revoluciones del motor es en las hélices de la misma, puesto que las características del motor impedían hacerlo en un lugar diferente.

El circuito implementado tiene como objetivo realizar un comparador de umbral básico, el cual compara el voltaje generado por el sensor con un voltaje de referencia para obtener en la salida una señal digital que luego debe ser enviada a una de las entradas del Virloc4. El plano del sistema puede verse en la ilustración 31.

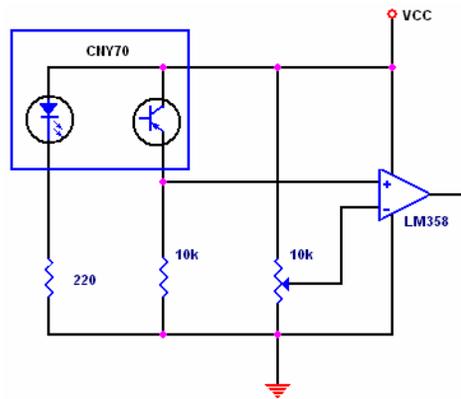


Ilustración 31. Contador de revoluciones del motor.

La sensibilidad del circuito es ajustable mediante la resistencia variable de 10k. La salida del LM358 varía de 0V para nivel lógico 0 a 3,3V para nivel lógico 1.

Equipos a bordo de la aeronave.

Dentro de la aeronave se implementaron los equipos: Virloc 4 y sensores de temperatura y de revoluciones del motor. La tarjeta de los sensores se muestra en la ilustración 32, en esta se pueden observar tanto las conexiones de alimentación de la misma como las conexiones de los sensores y las salidas al Virloc4.

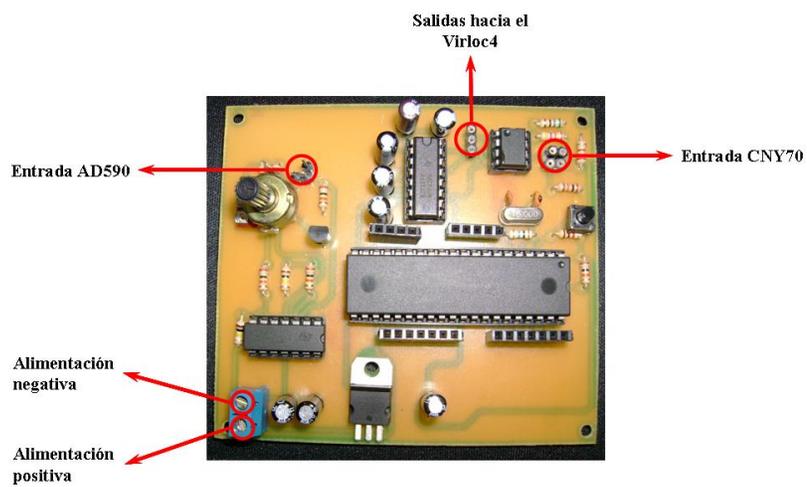


Ilustración 32. Tarjeta de los circuitos de los sensores.

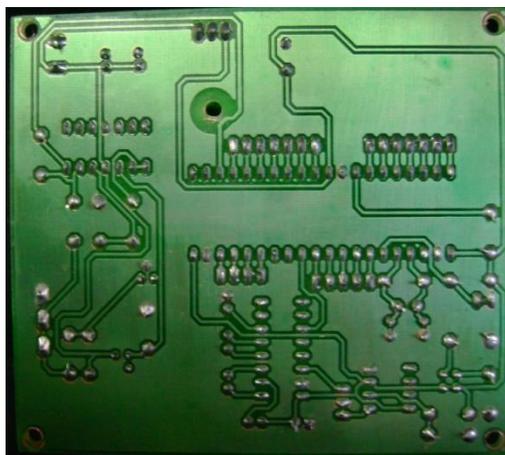


Ilustración 33. Diagrama del circuito impreso del circuito implementado.

Segmento de tierra

El segmento de tierra está formado por tres sistemas: Tomcat, MySQL y JCreator; el resultado de implementar estos sistemas puede ser visto en Internet, accedendo remotamente a una url.

Se debe tener en cuenta, que al utilizar la API de Google Maps, se requiere dar una dirección IP para su funcionamiento, así que es necesario actualizar la IP actual del equipo con la suministrada a Google Maps, como se muestra en la ilustración 34.



I have read and agree with the terms and conditions ([printable version](#))

My web site URL:

Ilustración 34. Cambio de la IP para obtener una nueva API de Google Maps.

Se establece el puerto 8080 en la API de Google Maps, puesto que éste es el puerto usado por Tomcat para permitir acceso remoto.

- Apache – Tomcat. El apache es un programa que permite que un computador funcione como servidor, habilitando el acceso remoto al mismo. La consola general del Tomcat se muestra en las ilustraciones 35 y 36.

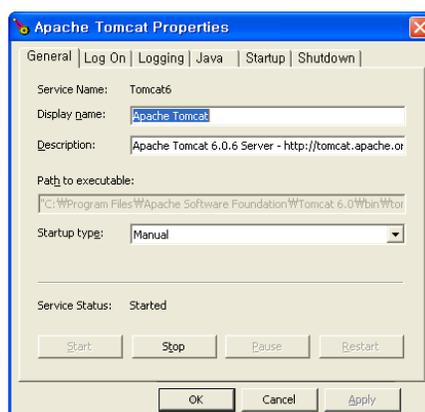


Ilustración 35. Consola general Tomcat.

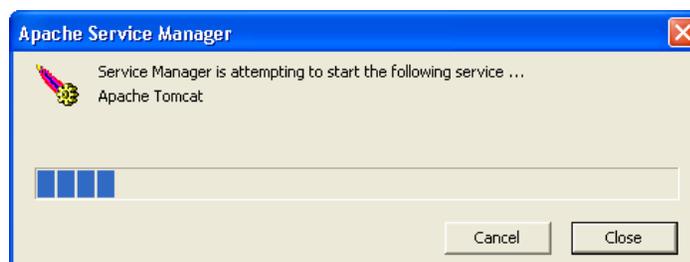


Ilustración 36. Apache Service Manager.

El Tomcat debe activarse, sin embargo, para poder acceder remotamente al servidor, es necesario deshabilitar la protección de Firewall de Windows, como se muestra en la ilustración 37.

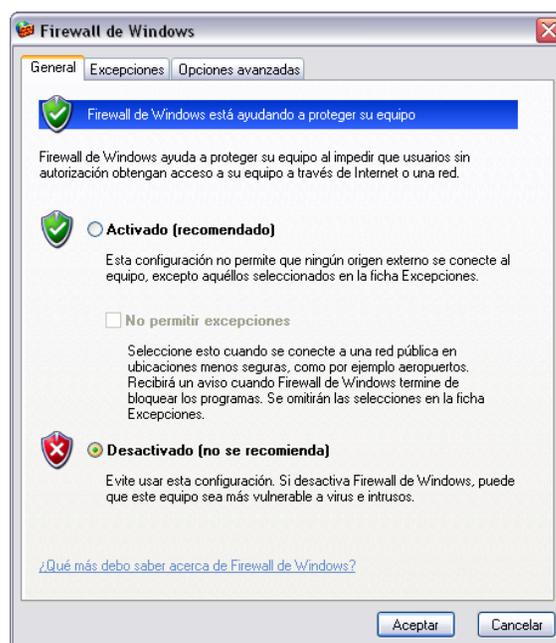


Ilustración 37. Configuración Firewall de Windows.

- MySQL. Se creó la base de datos PUAV, en la cual se encuentran almacenadas 3 tablas, como se muestra en la ilustración 39.

```

+-----+
| Tables_in_puav |
+-----+
| reportes      |
| uavs          |
| usuarios      |
+-----+

```

Ilustración 38. Tablas en la base de datos.

- ◆ Usuarios. En esta tabla están especificados los nombres y contraseñas de los usuarios con acceso a la base de datos.

Tabla 10. Usuarios.

ID	Nombre	Contraseña
1	administrador	admin
2	Usuario1	Us1234
3	Usuario2	Us2345

Los parámetros de la tabla Usuarios se pueden ver en la ilustración 39.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	tinyint(10)	NO	PRI	NULL	auto_increment
NOMBRE	text	YES		NULL	
PASSWORD	text	YES		NULL	

Ilustración 39. Parámetros de la tabla Usuarios.

- ◆ Aeronaves. En esta tabla se encuentran los diferentes UAV que van a ser monitoreados.

Tabla 11. Aeronaves.

ID	UAV
8888	NAVIGATOR

El número 8888 corresponde al ID que el Virloc4 envía en los mensajes U3, de manera que se hace un cruce de tablas, si el ID enviado corresponde al 8888 se sabe que la nave que se está monitoreando es la NAVIGATOR, sin embargo esta aplicación está diseñada para el uso de más de una aeronave en el futuro, puesto que al trabajar con sólo un UAV, resulta inviable.

Los parámetros de la tabla Aeronaves se pueden ver en ilustración 40.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	varchar(15)	YES		NULL	
AERONAVE	varchar(30)	YES		NULL	

Ilustración 40. Parámetros tabla Aeronaves.

- ◆ Reportes. En esta tabla se almacena la información enviada por la Aeronave.

Tabla 12. Reportes.

Reporte	Valor por defecto
ID	Se autoincrementa con cada reporte
UAV	NAVIGATOR
Fecha	2005 – 05 – 10
Hora	11:00:00
Latitud	4.7522 °N
Longitud	-74.0297 °O
Altura	2700 m

Velocidad promedio	0 km/h
Velocidad máxima	0 km/h
Distancia recorrida	0 km
Batería	0 V
RPM	0
Temperatura	0 °C
Tiempo en movimiento	0 min

El valor por defecto se estableció para efectuar las pruebas de los reportes en un equipo remoto. Los parámetros de la tabla Reportes se pueden observar en la ilustración 41.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	int(11)	NO	PRI	NULL	auto_increment
UAU	varchar(20)	YES		Navigator	
FECHA	date	YES		2007-05-15	
HORA	time	YES		11:00:00	
LATITUD	varchar(30)	YES			
LONGITUD	varchar(30)	YES			
ALTURA	varchar(20)	YES			
VELPROM	varchar(10)	YES			
VELMAX	varchar(10)	YES			
DISTREC	varchar(15)	YES			
BATERIA	varchar(10)	YES			
RPM	varchar(15)	YES			
TEMPERATURA	varchar(15)	YES			
TIEMPOMOU	varchar(20)	YES			

Ilustración 41. Parámetros tabla Reportes.

◆ JCreator. Se usó para crear los códigos que permiten leer la información recibida por el Virloc 4 y acceder a la base de datos remotamente. Ver ilustración 42.

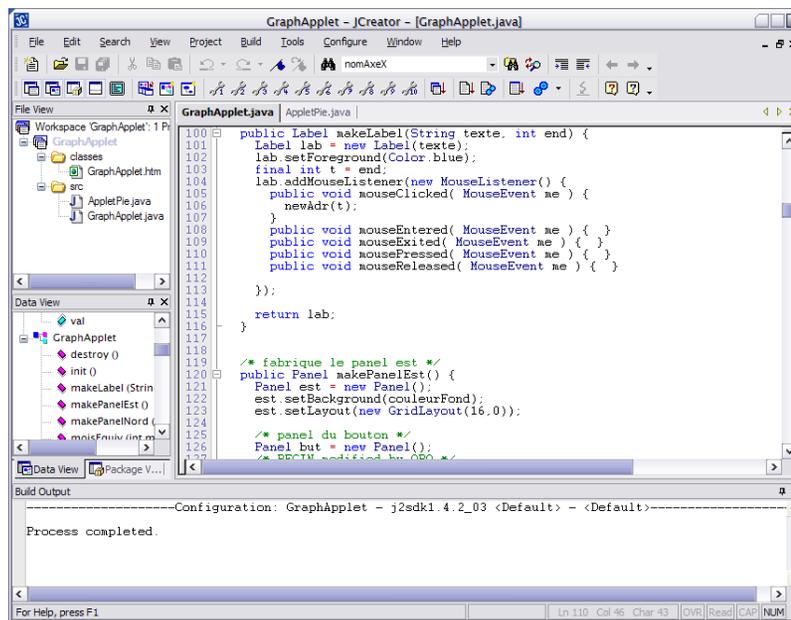


Ilustración 42. Consola general JCreator 4.0.

Usuario

La implementación del sistema de posicionamiento para aeronaves no tripuladas tiene como fin permitir que un usuario acceda desde Internet a la información adquirida desde la aeronave.

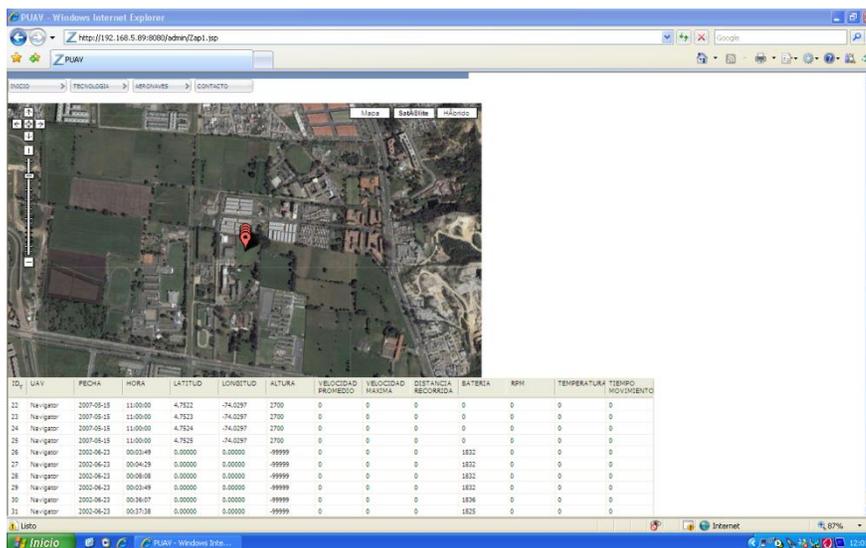


Ilustración 43. Vista de la página de Internet <http://www.puav.tk>.

Una vez concluida la primera etapa de revisión bibliográfica y establecido el método a usar para el desarrollo del proyecto se procedió a programar los códigos necesarios para la operación del sistema, tanto para el Virloc4 como para la base de datos.

En la etapa de pruebas, se almacenó manualmente en la base de datos la información requerida para examinar el correcto funcionamiento de la misma, accediendo remotamente desde Internet.

Una vez se logró que la información quedara bien almacenada para ser consultada remotamente, se procedió a experimentar enviando las tramas desde el Virloc4 sin que estuviera acoplado dentro de la aeronave

Una vez se logró que el Virloc4 enviara las tramas de información de manera correcta, se le acondicionó a la entrada RS232 el sensor de temperatura y el contador de revoluciones del motor, para probar el envío de esta información desde el Virloc4 y su recepción de manera correcta en la base de datos.

Finalmente, se probaron todos los sistemas incorporados dentro de la aeronave en vuelo.

Conclusiones

Una vez realizada la implementación del sistema de posicionamiento para aeronaves no tripuladas, se logró obtener en la estación base la información generada por la aeronave mientras esta se encuentra en vuelo. Cumpliendo así el objetivo de este proyecto.

Implementar en la aeronave el prototipo final del sistema de posicionamiento permitió efectuar las pruebas pertinentes del sistema y así tener resultados de manera rápida con datos exactos de medición durante el vuelo.

A través del uso de sensores de temperatura y proximidad, se lograron obtener los cambios de temperatura en el motor así como las revoluciones generados por este mismo.

El sensor de temperatura AD590 utilizado en este desarrollo fue acondicionado para enviar la información adquirida al Virloc4 mediante un microcontrolador Motorola® 68HC908GP32. Lo cual permitió monitorear la temperatura del motor de forma eficaz.

Para la medición de las revoluciones del motor se utiliza el sensor CNY70 y el comparador de voltaje LM358. La información suministrada por este circuito junto con el sensor de temperatura se envió por un puerto RS232 del Virloc4 para ser transmitida a la estación base.

Con el diseño de este sistema se lograron obtener de manera exitosa reportes de las actividades dentro de la aeronave durante el recorrido de la misión asignada.

El segmento de tierra funciona utilizando un computador personal como servidor, en el cual se almacena la base de datos con la información enviada desde la aeronave, sin embargo, se recomienda acondicionar un servidor externo, puesto que estos equipos se caracterizan por ser más productivos, ya que presentan una arquitectura robusta y mejores componentes, lo cual aumenta la velocidad de acceso a la información almacenada en el servidor desde una ubicación remota.

Este tipo de sistemas además de poder ser utilizado en aeronaves puede implementarse en drones permitiendo tener una solución que sea asequible y a un menor costo. En ambos casos pueden utilizarse para fumigación de cultivos, fotografía, entre otros.

Realizar la programación de la interfaz de comunicación entre el sistema de posicionamiento global y el módulo de transmisión de la aeronave permitió realizar el envío de información desde la aeronave en tiempo real.

Realizar la implementación de la interfaz gráfica para la visualización de la posición de la aeronave permitió verificar en tiempo real la posición de esta en tiempo real.

Bibliografía

- HERNÁNDEZ, D (2016). Diseño preliminar del prototipo experimental de un UAV dirigible vigilante semi-autónomo, denominado " SPACEWATCHER" para su aplicación en tareas de observación, reconocimiento y vigilancia civiles dentro del territorio Colombiano. Bogotá D.C.: Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería
- HOLDER, B. (2001) Unmanned Air Vehicles an Illustrated study of UAVs., China: Schiffer publishing.
- HURN, J.(1993) Differential GPS Explained: An exposé of the surprisingly simple principles behind today's most advanced positioning technology. Sunnyvale, California: Trimble Navigation Ltd
- HURN, J. (1989) GPS: A Guide to the Next Utility. Sunnyvale, California: Trimble Navigation Ltd.,.
- KAPLAN, E. (1996). Understanding GPS: principles and applications. Norwood, Massachusetts, Artech House Inc,

Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics . recuperado de <https://www.gps.gov/systems/gps/>

Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics, aviación. Recuperado de <https://www.gps.gov/applications/aviation/spanish.php>.

Gutovnik, Pedro (1999) Cómo funciona el GPS. Recuperado de <http://www.elgps.com/documentos/comofuncionagps/comofuncionagps.html>

Cordoba Mario Andrés (2017) The EFIGENIA EJ-1 An S/VTOL Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Autocontrolled with an Adaptive Digital Reconfigurable Guidance, Navigation and Flight Control System. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017407580>

Frovel, Pintado, (2010) Structural Loads Monitoring of an Unmanned Air Vehicle
Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/271210446_Structural_Loads_Monitoring_of_an_Unmanned_Air_Vehicle?_sg=I4_VzJrjQp2qHo7HbUZqWJyrX2RTzPOw wa9KcUNlcc7a1KxE4Jt2gZ5AVzYHXdVIYyKSZiXkhg