

# Apuntamiento y Estabilización Automática de un Sistema Electro-Óptico ante Perturbaciones

Chaglla S. \*; Terán D. \*; Morales L. \*; Rosales A. \*; Pozo D. \*; Rosero J. \*

\*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

e-mail: jsanticabj@hotmail.com; daniloteranl@gmail.com; luis.moralesec@epn.edu.ec; andres.rosales@epn.edu.ec;

david.pozo@epn.edu.ec; jorge.rosero@epn.edu.ec;

**Resumen:** En el presente documento se implementa un sistema electro-óptico, el mismo que posee un algoritmo que permite estabilizar una plataforma con dos grados de libertad ante perturbaciones y realizar apuntamiento hacia una dirección especificada mediante latitud y longitud, a través de “Google Earth”. Este sistema, se encuentra constituido por una plataforma con movimientos en el eje vertical (cabeceo) y horizontal (guiñada). Además, dispone de una cámara de espectro visible, una cámara térmica y una cámara de medición láser para adquirir imágenes y tomar medidas de distancias.

**Palabras clave:** Electro-óptico, cabeceo, guiñada, cámaras, estabilización, apuntamiento.

**Abstract:** In this document, we implement an electro-optical system, which one has an algorithm to stabilize a platform with two degrees of freedom against disturbances and perform pointing in one direction, specified by latitude and longitude in “Google Earth”. This system is constituted by a platform that moves in the vertical axis (pitch) and horizontal axis (yaw). It also has a visible spectrum camera, a thermal camera and laser rangefinder to acquire images and take measurements of distances.

**Keywords:** Electro-optical, pitch, yaw, cameras, stabilization, pointing.

## 1. INTRODUCCIÓN

La historia de los sistemas aéreos no tripulados es tan antigua como la aviación, ya que desde los finales del siglo XIX personajes como Nikola Tesla hablaron acerca de los aviones no tripulados, pero la paternidad de la misma es el norteamericano Elmer Sperry, Lawrence Sperry y Peter Cooper quienes establecieron las bases para esta tecnología, fundamentalmente en las aéreas de control y guiado, el primer avión no tripulado realizó su primer vuelo siendo en el año 1918. [1]

El cuidado del talento humano junto con los avances tecnológicos resultantes de la investigación motiva y permite el desarrollo de sistemas de navegación autónomos, dentro de los cuales se encuentran tanto vehículos terrestres no tripulados (UGV, Unmanned Ground Vehicles) como vehículos aéreos no tripulados (UAV, Unmanned Aerial Vehicle), los cuales pueden ingresar en sectores afectados para realizar inspecciones en situaciones de riesgo. Sin embargo, dichos vehículos no tripulados no serían de utilidad, si no contaran entre sus componentes de un sistema de sensores que permita al operador reconocer el estado de la misión y la localización de dicho vehículo para poder salvaguardarlo.

Un conjunto amplio de aplicaciones coinciden en dotar al UAV de una cámara de vídeo y de los medios adecuados para capturar y/o transmitirla imagen a la estación base. Esta capacidad de adquirir la imagen en un espectro visible o infrarrojo, para su procesamiento manual o automático en línea o en una fase posterior, permite abordar acciones como la inspección, la vigilancia o la búsqueda, tareas de interés en múltiples campos. [2]

En el Ecuador, el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE), conjuntamente con la

EPN, se encuentra desarrollando el proyecto UAV, en el cual se pretende crear un Vehículo Aéreo no tripulado con capacidad para realizar misiones tanto para prevención de riesgos como para ayuda a la colectividad. Por esta razón, resulta de gran importancia la creación de un sistema electro-óptico que permita la adquisición y transmisión de imágenes a una estación a tierra.

En el presente documento se explican los conceptos y el modo de funcionamiento de un sistema electro-óptico, el mismo que además de adquirir imágenes, consta de un sistema de estabilización automática y de apuntamiento de objetivos.

De acuerdo con varios autores, se considera a un sensor o sistema electro-óptico (SEO), como una combinación de equipos que trabajan dentro del espectro óptico e incluyen sistemas de imágenes en el espectro visible, ultra violeta, láser, infrarrojo, y fotometría. [3]

Un SEO consta de dos categorías principalmente: la primera los dispositivos de visión e imágenes y la segunda los dispositivos de aplicaciones láser. [4]

## 2. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA ELECTRO-ÓPTICO

El prototipo consta básicamente de una cámara de vídeo en el espectro visible, una cámara de visión térmica, y una cámara de medición láser, las cuales se pretenden utilizar para misiones diurnas, nocturnas y medición de distancias respectivamente.

Además, se integra un sensor de medida inercial (IMU) y un receptor de sistema de posicionamiento global (GPS). La IMU permite conocer el comportamiento del sistema mediante los ángulos de navegación en los tres ejes: cabeceo

(pitch), guiñada (yaw) y alabeo (roll), utilizados para implementar la estabilización del mismo, es decir, recuperar su posición de equilibrio luego de haber sido afectado por una perturbación externa. Por su parte, el receptor GPS permite determinar la ubicación geográfica del sistema mediante sus coordenadas de latitud y longitud, característica aprovechada para realizar apuntamiento de objetivos. El apuntamiento consiste en dirigir la zona de visualización de las cámaras hacia un determinado objetivo del cual se conocen también sus coordenadas geográficas, ya que es seleccionado en un mapa geográfico. De esta manera, conocida la ubicación geográfica tanto del sistema como del objetivo, el computador realiza el cálculo del ángulo de giro necesario para visualizar al objetivo, el mismo que se debe encontrar en un radio máximo de 1 kilómetro de distancia del sistema. Para éste proyecto se usa un sistema de coordenadas Geodésicas el cual describe la posición de un punto sobre la superficie terrestre en términos de latitud, longitud y altura (LLA).[5]

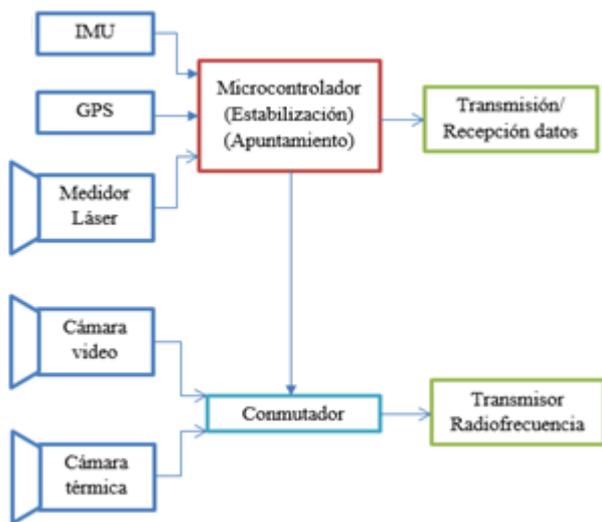


Figura 1. Diagrama de bloques de la plataforma



Figura 2. Diagrama de bloques Estación en Tierra

Este tipo de sistemas agregan funcionalidad, e incrementan el campo de aplicación a cualquier tipo de vehículo no tripulado, ya que al ser capaces de adquirir imágenes y enviarlas a un operador localizado a distancia, pueden ser

utilizados para realizar tareas de vigilancia, monitoreo, seguimiento, entre otras, sin que sea necesario que un operador se encuentre en el vehículo, eliminando el riesgo para el mismo.

Un sistema electro-óptico debe mantener la misma actitud, para ello consta de movimientos con dos grados de libertad, uno en el eje de azimut o yaw, el cual permite realizar movimientos en el eje horizontal; y en el de elevación o pitch, que permite realizar los movimientos en el eje vertical del sistema.

### 3. EQUIPOS UTILIZADOS

Los principales equipos que se utilizan para el sistema electro – óptico se encuentran los descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Equipos Utilizados

CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
1	Computador	Contiene la interfaz de usuario, envía comandos de ejecución, realiza cálculo de ángulo de giro.
1	Plataforma Robótica para cámaras Endurance Robotics PT3	Contiene a los equipos y sensores utilizados.
1	Cámara de video Sony HDR-PJ10	Permite adquirir imágenes en el espectro visible.
1	Cámara de medición láser LTI TruPulse 360	Permite realizar medición de distancia hacia el objetivo visualizado.
1	Microcontrolador MBED	Realiza funciones de estabilización, comando de la plataforma, transmisión de datos al computador.
1	Sensor de medida inercial ArduIMU v3	Proporciona las medidas de los ángulos de navegación
1	GPS LS20031	Proporciona medidas de latitud, longitud y altura de la plataforma.
3	Servomotores Hitec HS-645MG	Permiten realizar el movimiento de la plataforma.
2	Módulos de comunicación Xbee pro S1	Realizan la transmisión de datos entre el computador y el microcontrolador.
1	Sistema de transmisión y recepción de radiofrecuencia	Transmiten las imágenes adquiridas por las cámaras térmica y de video.
2	Baterías LiPo 5000mAh	Alimentación eléctrica del sistema.

#### 4. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

La primera función del sistema consiste en adquirir imágenes por medio de una cámara de video Sony HDR PJ10, la cual es capaz de grabar video con una resolución de 1920x1080 píxeles (Full HD) además de capturar imágenes a 3 Megapíxeles de resolución y enviarlas a la estación del operador para que este pueda tomar decisiones respecto a la misión en curso. Esta cámara adquiere imágenes en el espectro visible, el mismo que corresponde a la región que el ojo humano es capaz de percibir, y que se encuentra comprendida en una longitud de onda de entre 370 nm y 750 nm aproximadamente. [3]

En la estación en tierra, donde se encuentra el computador y demás equipos de comunicación, el operador del sistema puede observar las imágenes enviadas por las cámaras en la interfaz de usuario desarrollada en Labview.

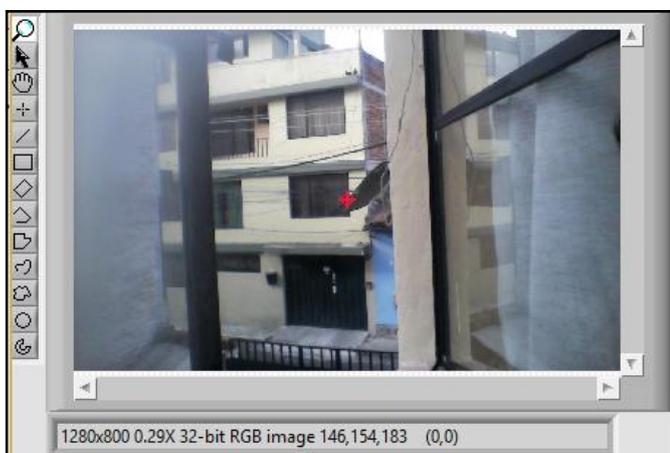


Figura 3. Panel de visualización de imágenes en el espectro visible

##### 4.1 Control de zoom

En varias ocasiones, los objetivos que se desean visualizar se encuentran tan alejados que no es posible distinguir detalles relevantes acerca de los mismos, razón por la cual, se implementa un control para el zoom motorizado que posee la cámara de video.

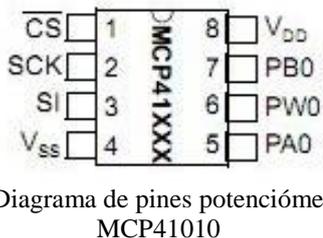


Figura 4. Diagrama de pines potenciómetro digital MCP41010

De fábrica, el control del zoom se realiza por medio de un potenciómetro analógico, el mismo permite ampliar las imágenes hasta 42 veces su tamaño original, sin embargo, en vista de que se requiere que el control sea totalmente digital, este se reemplaza por un potenciómetro digital MCP41010.

El circuito integrado MCP41010 fabricado por Microchip es un potenciómetro digital de 10kΩ entre sus terminales fijos. La variación de la resistencia del terminal variable se

controla mediante la interfaz SPI (Serial Peripheral Interface) dicha comunicación se realiza mediante el microcontrolador y los comandos son enviados desde el computador. De esta forma, es posible variar la resistencia conectada a la cámara, permitiendo acercarse o alejar imágenes.

##### 4.2 Transmisión de video

La transmisión de imágenes se realiza desde el sistema electro-óptico hacia el computador mediante módulos de transmisión y recepción de radio frecuencia de 3W de potencia, y que operan a una frecuencia de 2.4GHz, para una distancia máxima de transmisión de imágenes de hasta 1000m.

Estas imágenes se visualizan en la interfaz del computador mediante un capturador de video USB. Este es un dispositivo externo que permite ingresar señales de audio y video al computador para poder manipularlo. Se conecta mediante un puerto USB, y posee conectores RCA y S-video para dispositivos externos como televisores, cámaras digitales, etc.



Figura 5. Transmisor y receptor de radiofrecuencia.

#### 5. MEDICIÓN DE DISTANCIA

Otro aspecto de importancia para el sistema es el dispositivo láser para medición de distancia. Se utiliza una cámara TruPulse360 de LTI (Laser Technology Inc.), en la cual se enfoca el objetivo en la pantalla de visualización y la medición de la distancia se hace mediante la emisión de impulsos de energía infrarrojos que son invisibles e inofensivos para la vista. La unidad TruPulse determina la distancia midiendo el tiempo que tarda cada impulso en viajar de ida y vuelta entre el telémetro y el objetivo, los datos obtenidos por el sensor láser son enviados mediante comunicación serial hacia el microcontrolador a una velocidad de 9600 baudios.



Figura 6. Cámara láser para medición de distancia TruPulse360

Este instrumento posee alta sensibilidad y puede funcionar tanto con objetos reflectantes como no reflectantes. La distancia máxima de medición varía dependiendo de la calidad del objetivo y de las condiciones ambientales, de tal manera que para un objeto no reflectante, la distancia máxima de medición es de 1000m; mientras que, para un objeto reflectante, la distancia máxima de medición es de 2000m. Esta distancia puede variar en un bajo rango debido a factores como color y textura del objetivo, ángulo de disparo y condiciones de iluminación; por ejemplo, disparar perpendicularmente a un objetivo brinda un mejor alcance, de igual forma el alcance del medidor aumenta en un día nublado. [6]

## 6. ESTABILIZACIÓN

La estabilidad es la respuesta de un sistema o cuerpo al moverse de su posición de equilibrio. El equilibrio es el estado de un cuerpo o sistema cuando la resultante de sus fuerzas que actúan sobre él es nula. [7]

La estabilidad estática es la capacidad del cuerpo o sistema de recobrar su posición de equilibrio luego de haber sido afectado por alguna perturbación externa; el presente proyecto debe mantenerse en la posición inicial, es decir conservando su orientación angular con respecto al centro de gravedad del sistema.

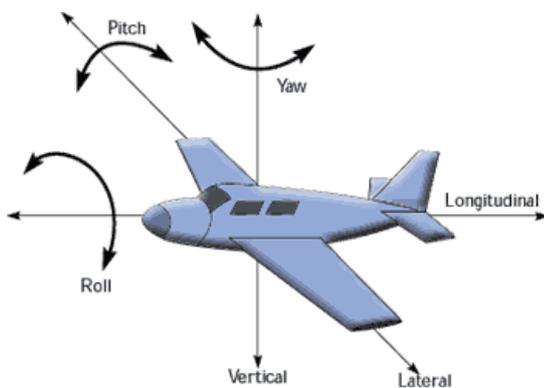


Figura 7. Ángulos de navegación

### 6.1 Ángulos de navegación

Los ángulos de navegación, conocidos también como ángulos de Euler, son un conjunto de coordenadas angulares usadas para describir la orientación de un objeto en tres dimensiones, es decir, determinar la actitud de un sistema en un momento dado.

Son tres ángulos, que permiten definir la orientación de un sistema de ejes ortogonales móvil respecto a otro sistema de ejes conocido como sistema de referencia. Éstos tres ángulos son guiñada (yaw), cabeceo (pitch) y alabeo (roll); y son equivalentes a tres rotaciones principales, llamadas igual que el eje sobre el cual se producen (roll, pitch y yaw), que permiten conocer la orientación del sistema.

- *Alabeo (Roll  $\Phi$ ):* Es la inclinación o rotación del sistema respecto al eje “x” o eje longitudinal.
- *Cabeceo (Pitch  $\theta$ ):* Es la rotación del sistema respecto al eje “y” o eje lateral o transversal.
- *Guiñada (Yaw  $\Psi$ ):* Es la rotación del sistema o cuerpo respecto al eje “z” o eje vertical.

### 6.2 Unidad de Medida Inercial

La unidad de medida inercial (IMU) sirve para determinar la posición instantánea (ángulos de cabeceo, alabeo y guiñada) y la velocidad a la que se desplaza un cuerpo. La medida de estos parámetros se hace mediante acelerómetros que son elementos que miden la aceleración lineal en términos de la gravedad de la tierra y giroscopios que determinan la velocidad angular. Mediante estos datos se puede obtener la posición del sistema.

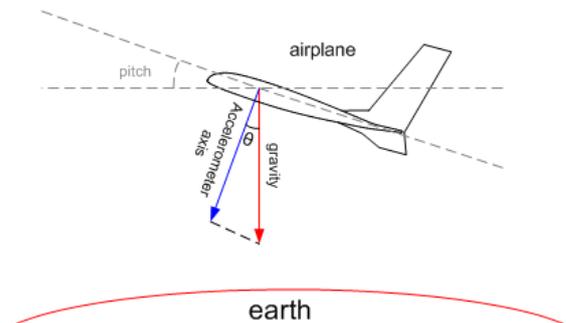


Figura 8. Actitud del sistema

### 6.3 Actitud

La actitud o AHRS (Attitude Heading Reference System) es aquella que permite determinar la posición, la velocidad y la orientación de un cuerpo en función del tiempo con respecto a un sistema de referencia que es el eje “tierra” o eje horizontal. [9]

#### 6.3.1 Sistema de navegación inercial

Son los datos que ingresan a un microcontrolador provenientes de los sensores de medida inercial para calcular constantemente la posición en la que se encuentra sin necesidad de poseer una referencia externa.

#### 6.3.2 GPS

Es un sistema de posicionamiento global (Global Positioning System) conocido también como un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una

persona o un vehículo mediante sus coordenadas geográficas (latitud y longitud). De forma general, un GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbitas circulares ubicadas a 12 horas sobre el planeta tierra con una inclinación de 55° respecto al ecuador, a 20.200 km; dichos satélites se desplazan a una velocidad de 4km/h, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra.[10]

Para desarrollar el sistema electro – óptico, se utiliza un sensor GPS comercial LS20031, el cuál es un módulo receptor de antena inteligente, constituido por una antena integrada y circuitos del receptor GPS.

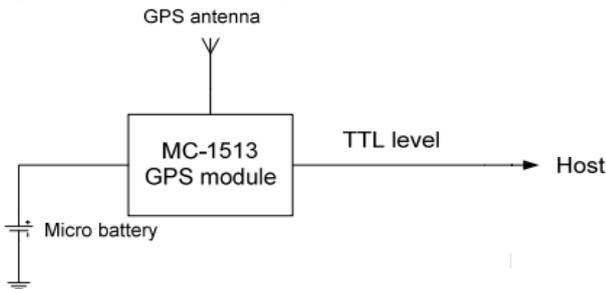


Figura 9. Diagrama de bloques sensor GPS LS20031

Esta unidad es capaz de entregar información acerca de las coordenadas de ubicación a una frecuencia de 5 veces por segundo (5Hz). Esta antena GPS puede hacer seguimiento de hasta 66 satélites a la vez mientras provee una rápida impresión de la primera localización, actualización de la navegación en un segundo, y bajo consumo de energía.

Este sensor se conecta con la unidad de medida inercial mediante comunicación serial, en un rango de velocidad de 57600 bits por segundo y es capaz de entregar salida de datos en 6 diferentes formatos de acuerdo a la NMEA (National Marine Electronics Association). Se utiliza el formato GLL que corresponde a posición geográfica (Latitud/Longitud) cuya trama de datos es: [11]

\$GPGLL,2503.6319,N,12136.0099,E,053740.000,A,A\*52

En la misma, se indica en primera instancia un encabezado de inicio de trama, la ubicación geográfica del sistema siendo el primer número correspondiente a latitud y expresado en ddmm.mmmm (d: grados, m: minutos), seguido de un indicador Norte o Sur; el siguiente número corresponde a longitud, expresado en dddmm.mmmm (d: grados, m: minutos), seguido por un indicador Este u Oeste, a continuación se encuentra el indicador de tiempo UTC (Tiempo Universal Coordinado) y finalmente, indicadores de fin de trama de datos.

Dicha trama es receptada, mediante comunicación serial, por la IMU, la cual la procesa y forma una sola trama en la cual se envían datos de Roll, Pitch, Yaw, Latitud, Longitud, y Altura hacia el microcontrolador y son aquellos que se utilizan para implementar los algoritmos de apuntamiento y estabilización.

## 7. ACTUADORES

Los actuadores son los elementos que permiten el movimiento del sistema. En el caso de los sistemas electro-ópticos es necesario tener dos grados de libertad. Para este fin, en el sistema planteado se utilizan servomecanismos.

Los servomecanismos (servomotores) son sistemas formados por partes mecánicas y partes electrónicas, estos mecanismos realizan un control de posición rotando el eje un ángulo de giro deseado.

Un servomecanismo realiza el control de posición en lazo cerrado, consta de un motor, un potenciómetro y un circuito de control con caja reductora.



Figura 10. Componentes de un servomotor. [12]

El potenciómetro se usa para el posicionamiento y con los trenes de pulsos el circuito de control revisa si el ángulo es correcto, en el caso de ser correcto el motor se encuentra apagado, mientras que en el otro caso el motor se direcciona a la nueva posición hasta llegar al ángulo adecuado. La caja reductora aumenta el torque del servomecanismo y reduce la velocidad del mismo

En el sistema electro-óptico desarrollado se utilizan servomotores que operan a una velocidad de 0.2 s/60°, que poseen un par de arranque de 9.6 kg.cm, y que pueden girar hasta 210° tanto en pitch como en yaw.

## 8. APUNTAMIENTO DE OBJETIVOS

El sistema tiene la capacidad de realizar el apuntamiento de objetivos, es decir, localizar en las cámaras un objetivo que el operador seleccione por medio del computador desde un mapa geográfico.

Para ello, el sistema debe conocer en primer lugar su posición en la superficie terrestre por medio de sus coordenadas geográficas, ésta posición es enviada por el sensor GPS incorporado en el módulo. Luego, se debe seleccionar un objetivo en un mapa geográfico, a partir de esto, se calculan las coordenadas de dicho punto y se calcula el ángulo existente entre el norte y el objetivo; dato que es enviado al microcontrolador para que calcule, respecto a la actitud del sistema, la dirección y el ángulo a girar.

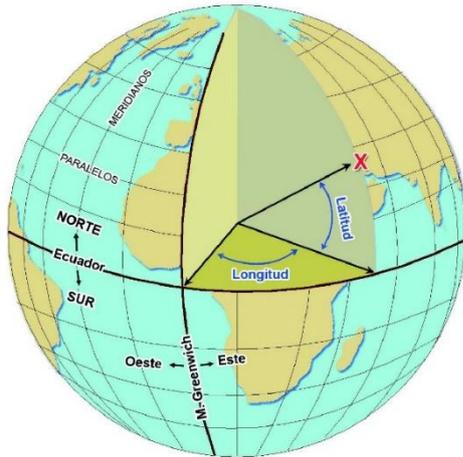


Figura 11. Coordenadas geográficas

La localización de un punto sobre la superficie terrestre se expresa en términos de:

**Latitud:** Es la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto sobre la superficie terrestre, a través del meridiano. Se mide en grados, puede ser norte o sur y entre un rango de 0° a 90°.

**Longitud:** Es la distancia angular entre el meridiano 0° (Meridiano de Greenwich) y un punto sobre la superficie terrestre con ayuda de los meridianos. Se mide en grados, pueden ser este u oeste y entre un rango de 0° a 180°.

Para obtener la ubicación geográfica del objetivo, se utiliza la interfaz de programación de aplicaciones (API) de Google Earth, el cual permite obtener coordenadas de latitud, longitud y altura de un determinado punto en la superficie terrestre directamente hacia LabView, a partir de su posición en pantalla.

En la Figura 12, se muestra la posición del sistema electro-óptico (representado por una aeronave) y el objetivo seleccionado, para lo cual se utiliza programación de archivos KML (KeyholeMarkupLanguage) que es un lenguaje utilizado por Google Earth para representar datos geográficos en tres dimensiones.



Figura 12. Ubicación de un objetivo seleccionado mediante un mapa geográfico

Dentro del API de Google Earth se encuentra una interfaz denominada **IApplicationGE**, que consta de una serie de funciones que permiten manejar el programa. Se utiliza la función **GetPointOnTerrainFromScreenCoords**, la misma que toma un punto de referencia del mapa y lo usa como

centro para poder calcular las demás coordenadas de acuerdo con la posición punto en la pantalla. [13]

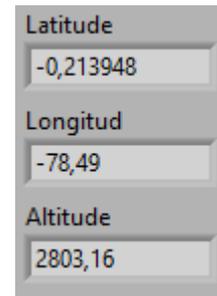


Figura 13. Posición del objetivo seleccionado expresada en coordenadas geográficas

Mediante el software implementado se obtiene la posición del objetivo (Coliseo Rumiñahui – Quito, Ecuador) en las coordenadas indicadas en la Figura 13.

Las coordenadas obtenidas se han comprobado utilizando “Google Maps”. Posteriormente, se calcula el ángulo del objetivo respecto a la posición del sistema utilizando lassiguientesecuaciones empleadas ensistemas de aviación: [14]

$$ANG = a \tan 2(S, C) \tag{1}$$

$$S = \sin(LON2-LON1) * \cos(LAT2) \tag{2}$$

$$C = \cos(LAT1) * \sin(LAT2) - \sin(LAT1) * \cos(LAT2) * \cos(LON2-LON1) \tag{3}$$

Tanto los datos que opera como el resultado se encuentran en radianes por lo que se debe transformar a grados antes de ser ingresados a la ecuación.

## 9. FUNCIONES DEL MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es el elemento principal de control del sistema electro-óptico, ya que ordena todas las acciones que deben realizar los servomecanismos y demás elementos a controlarse, se utiliza un microcontrolador MBED LPC1768.

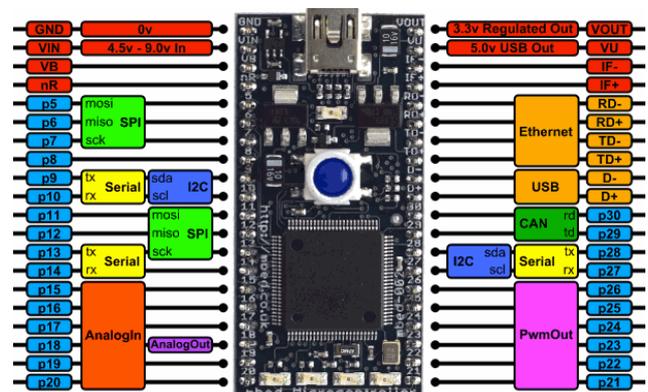


Figura 14. MbedLPC 1768.

Las características del microcontrolador se presentan en la siguiente Tabla 2:[15]

Tabla 2. Características del microcontrolador LPC 1768

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA
Velocidad	96 Mhz
Memoria Ram	32 KB
Memoria Flash	512KB
Alimentacion	5V USB – 4.5-9V
Comunicacion	SPI –I2C –UART
Pines	40 Entrada/Salida
PWM	6 pines
ADC	6 pines

Se utiliza comunicación serial para enlazar al computador y al microcontrolador a una velocidad de 115200 baudios, la cual es fundamental ya que envía y recibe datos y comandos que permiten el funcionamiento del sistema. La comunicación inalámbrica se realiza mediante módulos “Xbee pro s1” que tienen un alcance máximo de 1km a campo abierto. En pruebas realizadas en el Campus de la Escuela Politécnica Nacional con respecto al alcance de transmisión de datos de los módulos se tuvo medidas máximas de hasta 500 metros.

Una de las funciones de esta comunicación es controlar el ancho de pulso de las señales PWM útiles para el movimiento de los servomotores, tanto en control manual, donde se ingresa un comando mediante teclado o joystick; como para su movimiento cuando se desea realizar estabilización o apuntamiento.

Debido a la existencia de un solo canal de transmisión de video, el microcontrolador debe realizar la multiplexación entre las imágenes de la cámara de espectro visible o la cámara térmica, para poderlas observar en la interfaz.

Otra de sus funciones es recibir los datos de guiñada y cabeceo obtenidos mediante la unidad de medida inercial, para poder conocer la orientación del sistema y de esta manera poder realizar un algoritmo de control para poder mantener una actitud deseada.

Además permite obtener los datos del sensor GPS de la ubicación geográfica de la plataforma, con dichos datos se realiza el direccionamiento de la plataforma hacia la zona de apuntamiento seleccionada por el usuario desde el computador.

El microcontrolador recibe las tramas de datos enviadas en forma de caracteres, tanto por el sensor de medida láser como por el sensor de medida inercial, y los procesa de tal manera que los convierte en datos útiles para realizar cálculos matemáticos y utilizarlos en los algoritmos de estabilización y apuntamiento. El algoritmo de estabilización consiste en hacer corrección de la posición del sistema aumentando o disminuyendo ángulos en pitch o en yaw, la resolución de giro está ligada al máximo de los servomotores que es de 210 grados. Mientras que el de apuntamiento se realiza en su mayor parte en el computador, sin embargo, el microcontrolador se encarga de mover al sistema en el ángulo indicado por el computador.

## 10. CONCLUSIONES

Un sistema electro – óptico se encuentra conformado por elementos que trabajan dentro del espectro óptico de radiación electromagnética, y entre los cuales se encuentran imágenes en el espectro visible, infrarrojos, láser, etc., que permitan adquirir información que sea útil para ser procesada.

La medición de distancia utilizando tecnología láser permite obtener grandes alcances de medición incluso cuando se apunte hacia objetos no reflectantes. Para el medidor Láser TruPulse utilizado, el mayor alcance de medición utilizando objetos no reflectantes se encuentra cercano a 1000 metros, mientras que para un objeto reflectante, dicho alcance prácticamente se duplica, cercano a los 2000 metros. Para mejorar el alcance, se debe disparar perpendicularmente hacia el objetivo antes que dispararlo en ángulo cerrado, además de realizar mediciones en días nublados.

La distancia de transmisión de datos utilizando equipos de radiofrecuencia depende de la potencia de transmisión de dichos equipos junto con sus antenas. Por ejemplo, para los módulos X-bee, la potencia de transmisión es cercana a los 50mW por lo que su distancia máxima aproximada de transmisión es de 1 kilómetro; mientras que en los equipos para transmisión de video su potencia es de 3W por lo que también su distancia máxima de transmisión es de 1000 metros, esto debido a que transmiten audio y video, no solamente datos. Sin embargo, estos alcances máximos se ven afectados por la banda de frecuencia en la cual trabajan, ya que al utilizar la banda de frecuencia de 2.4 GHz se ven expuestas a grandes cantidades de interferencia, debido a que al ser una banda libre, varios equipos trabajan en la misma frecuencia, provocando interferencia y por tanto problemas en la comunicación.

Se realizó un análisis para la selección del microcontrolador a usarse en función de la cantidad de elementos a controlar, adquisición de datos y transmisión de datos, ya que el poseer recursos en exceso es innecesario para el sistema. Se utilizó los tres pórtricos seriales que posee uno para la comunicación con el computador, el segundo puerto para la comunicación con la IMU, y el tercero para la cámara laser. Se utilizó la comunicación SPI para el control del zoom mediante el dispositivo MCP41010, el control PWM que ofrece este microcontrolador es bastante fino y de esta manera se puede manejar los servomotores que se encuentran en pitch y yaw, además de salidas digitales necesarias.

Se determinó los tiempos necesarios a los cuales se debe realizar la adquisición de datos de elementos como la unidad de medida inercial, los datos de GPS, los datos de cámara laser para poseer un correcto funcionamiento del sistema en conjunto. Al trabajar ciclos en labview bastante rápidos se producía un error de sobresaturación en el microcontrolador,

al momento de la recepción y transmisión que ejecutaba el microcontrolador, además la recepción que posee el microcontrolador de datos de IMU y laser se determinó que los ciclos de labview se deben realizar en cada 80 ms o tiempos mayores, y que los tiempos mínimos a los cuales se debe adquirir los datos de la IMU no deben ser menores a 200 ms y que los datos de la laser no deben ser menores a 20s ya que la laser por fabricación se apaga transcurrido ese tiempo.

Debido a que se trabaja con un microprocesador de 8bits los rangos de variación del zoom se realiza hasta en 256 pasos, esto se encuentra en una relación directa con el potenciómetro digital que controla el zoom de la cámara. La resistencia que se debe variar para bajar el zoom se encuentra bajo los 3.4Kohms y para aumentar el zoom es a partir de 7.8Kohms.

El software de programación gráfica LabView posee la capacidad de comunicarse e interactuar con programas externos cuya interfaz de programación de aplicaciones (API) se encuentre disponible, como por ejemplo Google Earth, cuyo API permite abrir un mapa geográfico y determinar, entre otras cosas, la posición geográfica de un punto dentro del mismo, en la ventana principal de LabView; capacidad aprovechada para implementar el algoritmo de apuntamiento de objetivos.

sensores inerciales como acelerómetros y giroscopios, Quito, 2010.

- [10] N. Chacón Mejía, «Sistema de posicionamiento Global,» [En línea]. Available: <http://ocw.utpl.edu.ec/ingenieria-civil/topografia-aplicada/unidad-4-sistema-de-posicionamiento-global.pdf>.
- [11] LOCOSYS Technology Inc., «Spark Fun Electronics Inc.,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/8975>. [Último acceso: 20 05 2013].
- [12] UTSFM, «Servomotores,» Diciembre 2003. [En línea]. Available: <http://www2.elo.utfsm.cl/~mineducagv/docs/ListaDetalleModulos/servos.pdf>.
- [13] Google, «Google Earth COM API Documentation,» [En línea]. Available: <http://web.archive.org/web/20100408210316/http://earth.google.com/comapi/annotated.html>.
- [14] R. Bullock, 5 Junio 2007. [En línea]. Available: [http://www.dtcenter.org/met/users/docs/write\\_ups/gc\\_simpl.pdf](http://www.dtcenter.org/met/users/docs/write_ups/gc_simpl.pdf).
- [15] Mbed, «www.mbed.org,» [En línea]. Available: <http://mbed.org/platforms/mbed-LPC1768/>.

## 11. REFERENCIAS

- [1] L. G. F. Bouillon, «Tecnología Aeroespacial,» *perfilesIDS*, vol. 1, nº 1, p. 100, 2009.
- [2] A. Barrientos, «Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y,» Madrid.
- [3] «Electro optics,» [En línea]. Available: [www.tscm.com/eo-ir.pdf](http://www.tscm.com/eo-ir.pdf).
- [4] K. Lane, «<http://www.pghtech.org/>,» [En línea]. Available: <http://www.pghtech.org/Docs/pdf/News-And-Publications/Sub-Clusters/Electro-Optics.pdf>. [Último acceso: 08 09 2013].
- [5] M. I. E. Escalero, Control de sensores en aviones no tripulados y tratamiento de de imagenes utilizando maquinas de soporte de estados, Madrid: Escuela Politecnica Superior, 2010.
- [6] Laser Technology Inc, TruPulse 360/360B Manual de usuario, 2009.
- [7] C. A. Cabrera, «monografias.com,» [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos14/equilibriocuerp/equilibriocuerp.shtml>. [Último acceso: 08 09 2009].
- [8] Wikipedia, [En línea]. Available: [http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulos\\_de\\_navegaci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulos_de_navegaci%C3%B3n). [Último acceso: 07 06 2013].
- [9] D. Pozo, Diseño y construcción de una plataforma didáctica para medir ángulos de inclinación usando