DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA LA MEDICIÓN DE ELEVACIONES Y DEPRESIONES EN TERRENOS BALDÍOS HASTA DE OCHENTA METROS DE DIÁMETRO.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TELEMETRY SYSTEM FOR THE ELEVATIONS MEASUREMENT AND DEPRESSIONS IN WASTELAND UP TO EIGHTY METERS DIAMETER

Córdoba Poveda Cristian Camilo[1]. Barbosa Cortes David Alejandro[2]. Castañeda Tibaquirá Dora Lilia[3]

Resumen*:* En el siguiente documento se describe el desarrollo de un sistema de telemetría para la medición de depresiones y elevaciones en un terreno baldío, implementado en un vehículo aéreo no tripulado con el fin de obtener información que permita conocer la altura del suelo (elevación o depresión) con su respectiva posición geográfica. Este sistema se compone de cinco partes fundamentales; la primera es el vehículo aéreo no tripulado (UAV, siglas en inglés Unmanned Aerial Vehicle), para este caso es el modelo Quadcopter SK450 Turnigy, el cual trae el controlador de vuelo kk2.1.5, además este drone trabaja con 4 motores sin escobillas el Brushless Multistar 2213 con 935kv y un empuje máximo de 850g por cada motor. Como segunda parte están los sensores y elementos necesarios en el sistema; el sensor de temperatura (DS-18B20) y el sensor ultrasónico HC-SR04, con este último se conocerán las depresiones y elevaciones del lugar, además está el GPS NEO-6M brindando la posición del drone, por ende, la de la medición. También se tiene la RTC DS-1307 (reloj de tiempo real) y por último la Micro SD Card en la cual se guardan cada uno de los datos de los sensores y dispositivos mencionados. Como tercera parte se tiene el control de datos adquiridos implementado en la tarjeta de desarrollo Freescale FRDM-KL25Z, la cuarta parte consiste en enviar los datos obtenidos mediante los módulos de comunicación Xbee pro 2. Por último, en el entorno de programación gráfica LabVIEW se diseñó dos interfaces de usuario: la primera trabaja con

[1] Estudiante de Tecnología en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Correo electrónico e-mail: cccordobap@correo.udstrital.edu.co

[2] Estudiante de Tecnología en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Correo electrónico e-mail: dabarbosac@correo.udistrital.edu.co

[3] Ing. Electrónica, Especialista en telecomunicaciones móviles, Maestría en docencia, directora semillero de investigación SITA. Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Facultad Tecnológica. E-mail: dlcastanedat@udistrital.edu.co

datos en línea enviados desde el drone, es decir, en el momento del sobrevuelo y la segunda interfaz trabaja con los datos almacenados en la SD CARD por si se desea un análisis después de culminar los trayectos.

Palabras clave: Telemetría, comunicaciones inalámbricas, drone (UVA), elevación, depresión, sensores.

Abstract:

The following document describes the development of a telemetry system for the measurement of depressions and elevations in a vacant lot, implemented in an unmanned aerial vehicle in order to obtain information to know the height of the ground (elevation or depression) With their respective geographical position. This system consists of five fundamental parts; The first is the Unmanned Aerial Vehicle (UAV), for this case is the Quadcopter SK450 Turnigy model, which brings the flight controller kk2.1.5, in addition this drone works with 4 motors without brushes the Brushless Multistar 2213 with 935kv and a maximum thrust of 850g per engine. As second part are the sensors and necessary elements in the system; The temperature sensor (DS-18B20) and the ultrasonic sensor HC-SR04, the latter will know the depressions and elevations of the place, in addition is the NEO-6M GPS providing the position of the drone, therefore the position of the measurement. You also have the RTC DS-1307 (real time clock) and finally the Micro SD Card in which each of the data of the sensors and devices mentioned are saved. As a third part, the acquired data control implemented in the Freescale FRDM-KL25Z development board is the fourth part. It consists of sending the data obtained through the Xbee pro 2 communication modules. Finally, in the graphical programming environment LabVIEW It designed two user interfaces: the first works with online data sent from the drone, at the time of the flyover and the second interface works with the data stored in the SD CARD in case an analysis is desired after completing the routes.

Key Words: Telemetry, wireless communications, drone (UVA), elevation, depression, sensors.

1. INTRODUCCIÓN

En la ejecución de proyectos arquitectónicos sobre terrenos baldíos es necesario poder contar con información que permita conocer las características del suelo ya que por lo general se pueden encontrar elevaciones o depresiones, esta labor de reconocimiento se puede tornar peligrosa en cuanto a la integridad de una persona, además la maquinaria que se llegaría a usar por parte de ellos puede llegar a sufrir daños considerables, por esto se diseña e implementa un sistema de telemetría para la medición de elevaciones y depresiones en terrenos baldíos hasta de ochenta metros de diámetro, ya que a través de este sistema que se acondiciona a un drone (UVA) se obtiene la

elevación y depresión de uno o más puntos respecto a una superficie horizontal de referencia dada del terreno sobrevolado, con su correspondiente posición satelital. La anterior información es transmitida inalámbricamente a un dispositivo en tierra, donde a su vez se almacena en una memoria extraíble en el sistema adaptado en el drone, para finalmente a través de la interfaz de usuario se pueda conocer cada una de las lecturas tomadas por el sensor y su respectiva posición la cual podrá almacenarse en un correo electrónico si es necesario, con el fin de que esta información pueda ser visualizada por el usuario y le pueda ser útil posteriormente.

Toda la información procesada es de carácter primario ya que es legible con respecto a la inspección del terreno, lo cual le permitirá determinar las posibles precauciones que ha de tener en cuenta en las zonas que puedan contener algún peligro, para que se pueda iniciar la construcción; además esta inspección se realizaría de una manera rápida y confiable, teniendo presente que los recorridos al ser aéreos podrán brindar una mejor panorámica del terreno con la información obtenida.

Este proyecto se lleva a cabo en cuatro etapas: la primera etapa radica en el estudio, caracterización de los sensores y dispositivos a trabajar en el UAV, teniendo en cuenta su exactitud y precisión en cuanto a los datos recogidos por cada uno, para así entender el funcionamiento de ellos con la información que brindan para su correspondiente procesamiento; así mismo, la evaluación del UAV más eficiente para lograr el objetivo planteado, teniendo presente las fuerzas a las que está expuesto en relación directa al peso total que debe levantar el drone, al tener el sistema de telemetría implementado sobre este.

La segunda etapa consta de la implementación y diseño del prototipo, en este punto se realizó la prueba de los diferentes sensores, donde se identificó el respectivo funcionamiento de estos, con el fin de desarrollar la programación en la tarjeta de desarrollo Freescale FRDM-KL25Z, ubicada en el drone para lograr el manejo de cada uno de los sensores a utilizar; paralelo a esto se implementó el protocolo de comunicación Zigbee que se basa en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal, este permite una velocidad de trasmisión comprendida entre 20 kB/s y 250 kB/s, se comunica en el rango de las bandas libres ISM destinadas para el uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética, compuesta de hasta 16 canales en el rango de 2,4 GHz, cada uno de ellos con un ancho de banda de 5 MHz, en las que se logra comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías, en este caso entre el sistema implementado en el drone y el módulo receptor de información ubicado en tierra conectado al computador del usuario.

En la tercera etapa se realizaron las correspondientes pruebas de las dos áreas que fueron trabajadas anteriormente, ya que al tener el protocolo de comunicación punto a punto implementado en los módulos XBee Proo se tiene presente lo siguiente: estos dispositivos poseen un alcance máximo de 1,6Km línea vista, donde uno tenía antena cable y el otro chip. A partir de esto, con la transmisión hecha se obtienen buenos resultados con todas las tramas de información que eran enviadas desde el sistema de control (sensores, GPS y RTC), la cual poseía una velocidad de datos de 250 Kb/s y un alcance máximo de aproximadamente 100m, teniendo presente que la información aún era totalmente legible y aceptable para ser tratada en el momento que llegaba al computador.

Al llegar a la cuarta etapa, se tiene cada una de las tramas de datos que llegan directamente por la comunicación punto a punto realizada entre el drone y el módulo receptor en tierra, teniendo presente que esta información es almacenada también en la memoria micro SD ubicada en el drone. Con la información capturada de alguna de las dos formas mencionadas se desarrolla las interfaz de usuario que permite ver la gráfica del terreno, identificando las depresiones o elevaciones que puedan existir en este, se encuentra un indicador de temperatura ambiente de la zona seleccionada por el usuario, además con los datos entregados por el GPS permite obtener un mapa satelital del lugar sobrevolado, junto con la ruta que esté realizando el drone o que haya hecho; en pocas palabras se trabajan dos interfaz de usuario independendientes, la primera es para el momento que se esté sobrevolando el terreno, obteniendo los datos en tiempo real por los módulos de comunicación Xbee y la segunda interfaz es el análisis de los datos almacenados en la micro SD la cual es conectada al computador del usuario, después de que se haya culminado el recorrido el drone y este se encuentre en tierra.

Así, se pasó a la implementación y prueba del prototipo en el drone, teniendo presente que fiabilidad existe entre los datos recibidos de las diferentes medidas e información suministrada por el sistema, considerando la comunicación y distancia máxima de alcance; en esta etapa también se tomaron en cuenta algunos factores importantes como lo es: la ubicación de los sensores, el lugar donde se esté volando, las variables climatológicas como lo son corrientes de aire o aun lluvias repentinas y por último, no menos importante, el manejo que se le realizo al drone desde tierra para que este diera un sobrevuelo adecuado para no afectar la toma y captura de información, ya que al hacer un vuelo no adecuado los datos serian totalmente erróneos.

Este artículo inicia con una descripción sobre el estado del arte acerca de prototipos en los que hay una referencia. Posteriormente se realiza una especificación sobre los equipos, sensores y dispositivos que fueron necesarios en el desarrollo del proyecto, luego la implementación del prototipo, después el papel que juega el protocolo de comunicación y la recepción de datos, para así

finalmente ver el análisis de resultados de todo el proceso de captura de información que fue transmitida o guardada, todo esto gracias a la visualización de las gráficas de elevaciones del terreno y conociendo el recorrido hecho con su respectivo posicionamiento.

2. ESTADO DEL ARTE

Los vehículos aéreos no tripulados en los últimos años han tomado un papel importante como una alternativa viable, confiable y accesible, convirtiéndose en una herramienta para el apoyo de labores en diferentes procesos, estos tienen distintos instrumentos como el GPS, sensores, cámaras de alta resolución y controles de radares. Muchos de estos UAV son capaces de enviar datos a satélites, para que después en tierra se pueda conocer la información, en cuestión de muy pocos segundos[1]; la labor de estas aeronaves, que predispone de nuevas tecnologías, no podían estar alejadas de Colombia, dado que el relieve nacional está compuesto en su mayoría de zonas montañosas y no se pose un acceso seguro, por lo cual instituciones del estado han incorporado estas aeronaves para cumplir misiones de reconocimiento, vigilancia, fotografía y de comunicaciones, permitiendo alcanzar resultados favorables [2]; se hace referencia a esto, porque la incorporación de UVA en distintas áreas y en especial a su uso militar el cual ha tenido gran auge a nivel mundial, ha dado paso a otras áreas como la inspección de infraestructuras, exploración de lugares de difícil acceso como cuevas y precipicios, medios de comunicación, entretenimiento, movilidad, tráfico, topografía entre otros; enlazándose con la implementación de distintos sistemas de telemetría, permitiendo tener un control en cada una de las áreas donde son usados actualmente.

Como ya se mencionó, una de las áreas de concurrencia en la que se hace uso de estos es la topografía, ya que desde el aire facilita ciertas labores de esta rama, sabiendo que busca procedimientos para obtener de manera detallada la representación gráfica de la superficie terrestre, tal como se ilustra en la Figura 1, la cual es el resultado de la toma de una fotografía realizada por una aeronave NO tripulada sobre un área previamente seleccionada.

Figura 1. Toma fotográfica desde un UAV Fuente Vehículos aéreos no tripulados [2]

El registro fotográfico aéreo suele ser costoso y las imágenes que se obtienen no suelen ser muy buenas, por esta razón, a los drones se les han implementado cámaras de alta resolución de las cuales se obtienen registros fotográficos de ciertos lugares, como lo hizo F. Chiabrandoa et al [3], que gracias a dos sistemas accionados por control remoto (un mini-helicóptero y un mini avión de ala fija), realizaron pruebas en dos sitios arqueológicos diferentes en Italia, obteniendo modelos de superficie digital mediante vuelos fotogramétricos acercándose a la realidad de las zonas inspeccionadas de acuerdo con las especificaciones de cada vuelo proporcionadas por los sistemas remotos . Teniendo en cuenta los costos de dichos procedimientos, y que existe la posibilidad de obtener capturas de imágenes desde cámaras fotográficas, se abre la brecha a la fotogrametría donde se puede determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones en que se encuentran ciertos lugares como lo es su terreno, teniendo presente que estas son estudiadas o evaluadas por el personal con algún tipo de conocimiento del tema. J.A. Gonçalves y R. Henriques[4] implementaron un sistema de supervisión en las costas para monitorear las dunas de arena y playas en Portugal, en donde un avión muy ligero (SwingletCam) equipado con una cámara, adquirió imágenes con resoluciones de tierra superior a 5 cm.

Además de esto, se ve como se ha ido implementando distintos tipos de sensores a estos vehículos, por ejemplo, se les han ido adaptando sistemas embebidos diseñados con el fin de realizar una o algunas tareas en un sistema de computación en tiempo real, como fue el caso de P. NirmalaDeve y del Dr.V.Dhanakoti [5] quienes adaptaron un sensor ultrasónico, un sensor infrarrojo y módulo GPS, para luego transmitir la información por módulo XBee y tener una interfaz usando Visual basic, mostrándose como un informe de investigación y diseño, en donde los resultados sobre los sistemas aéreos no tripulados eléctricos pudieran competir con vuelos prolongados. El almacenamiento de datos de cada una de las mediciones que se pueden realizar desde algún dispositivo en vuelo es importante para tener registro de esta información, en cuanto a la altimetría, es así como J. Apaéstegui Et al [6] , determinaron los niveles de agua en los ríos amazónicos del Perú gracias a las mediciones altimétricas realizadas por medio de radar de satélites; algo que destacar, fueron que estos datos los tabularon y graficaron para ver las diferentes series altimétricas que tomaron.

Con el uso de UAV y sus distintas aplicaciones se identifican sistemas los cuales son evaluados, para posteriormente generar mejoras o innovaciones sobre estos, teniendo en cuenta que no solo se basa en ir desarrollando nuevos sistemas de medición con distintas variables (presión, altura, temperatura, entre otros), sino también el tratamiento de la información capturada por estos. A. Rango et al [7] en base con experiencias previas y con el fin de llegar a proyectos exitosos, junto con otros investigadores se centraron en la refinación y la adaptación de métodos tecnológicos existentes para hacerlos más accesibles. Ellos buscaban añadir la teledetección, conocida como la localización a distancia de datos producidos en la superficie de la tierra desde vehículos aéreos no tripulados, esta metodología fue implantada para vigilar la salud de los pastizales en el estado de nuevo México en

los Estados Unidos. Este procedimiento lo realizaron con registro de imágenes para definir patrones que les permitiera cumplir el objetivo de monitorear los pastizales y así definir el estado en que se encontraron.

Como se ha visto a nivel internacional, existe un gran número de proyectos en los que los UAV se ven involucrados, ahora es bueno dar un vistazo en el ámbito nacional y mirar que se ha venido desarrollando con estos vehículos. En la universidad Javeriana en Bogotá, J. Colorado et al [8] implementaron un sistema aéreo para el mapeo del terreno y geo-detección de objetos explosivos como minas terrestres, en los que integraron algoritmos de visión por ordenador de bajo costo a un UAV, el sistema permite: mapeo del terreno sobre la base de una representación visual y la detección visual de los objetos de las minas terrestres en tiempo real. También se han venido mostrando algunos avances en cuanto al desarrollo de comunicaciones y algoritmos de control en los UAV'S; en la Universidad Tecnológica de Pereira, O. Hernández et al [9] desarrollaron una plataforma de experimentación con una aplicación trabajada en labVIEW para poder comunicar el helicóptero con la unidad fija, en la que se ensayaron estrategias de control con un vehículo aéreo no tripulado, la comunicación está basada en el protocolo 3DM-GX2TM Data Communication Protocol.

Apoyando un poco en lo anteriormente mencionado, la necesidad de trabajar en sistemas de comunicaciones con estos vehículos ha dado diferentes alternativas de investigación, en la universidad de Medellín, J.Vergara y A. Agudelo [10] realizaron un sistema de comunicaciones para la aviónica de un mini helicóptero robot basada en la arquitectura distribuida CAN (ControllerArea Network). El sistema de comunicaciones involucra los aspectos de hardware y software, buscan integrar un conjunto de dispositivos en una sola red como sensores, actuadores y otros dispositivos más del avión, de tal forma que pueda establecerse comunicación de los mismos con el computador de vuelo.

También se identifica que los UAV facilitan muchas tareas por las distintas herramientas que brindan, un ejemplo de esto es controlar los inventarios que se trabajan en los CEDI (Centros de distribución), almacenes, bodegas de materia prima, bodegas de producto terminado de las empresas y demás; uno de los métodos para realizar un control de inventarios es el RFID (Radio FrequencyI Dentification) compuesto por etiquetas inteligentes, lectores, antenas, routers, servidores y software, estos lectores de largo alcance y un drone, pueden recorrer en su totalidad el espacio de una bodega o almacén, recolectando y guardando la información primordial para los encargados de los inventarios. Utilizando todos estos recursos, en el laboratorio de logística de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira P. Agudelo et al [11] simularon esta práctica, conociendo los beneficios y las ventajas que trae la integración de estas dos herramientas. Se puede observar en la Figura 2 una de las animaciones que hizo P. Agudelo et al [11] para simular el uso del UAV dentro de una bodega para la recolección de la información de inventarios.

Figura 2. Drone y tecnología RFID en un CEDI [11]

Por último, es bueno resaltar que en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas los UAV han sido integrados para fines de investigación y, en el marco de uso de tecnologías insipientes, C. Perdomo, Ing. W. López y Ing. D. Pardo [12] , del grupo de investigación LASER diseñaron e implementaron un UAV. Este UAV cuenta con una estructura de fibra de Carbono, 6 Rotores, 6 Controladores ESC, una unidad central de procesamiento, un sistema de estabilización de cámara de 3 ejes y una cámara fotográfica de alta resolución. Además, el grupo de investigación tiene como objetivo trabajar en el primer drone de la universidad, enfocado para la inspección de líneas eléctricas y torres de transmisión de manera autónoma, con el fin de que el usuario solamente especifique al drone el tipo de torre que este va a inspeccionar.

3. PROTOTIPO

3.1. Sensores de medición

Una de las principales variables a medir en este prototipo es la altura de los terrenos lo cual esta indirectamente relacionado con la detección de elevaciones y depresiones como se ha evaluado inicialmente. Por esta razón es importante reconocer la tecnología que se usó, para este caso se plantea una comparación con las distintas tecnologías más comunes en el mercado para la medición de distancia, lo cual sirve para determinar cuál de ellas usar, resultado de esto tenemos la Tabla 1, teniendo en cuenta que solo se utilizaría para detección de distancia, ya que muchos de ellos pueden medir otras variables físicas como el grosor de un material, medición de nivel entre otros.

Tecnología	***característica***	***Distancia de detección***
Sensor inductivo	Detección de materiales solo con propiedades ferro magnéticas	±100um a ±25cm
Sensor Capacitivo	Detecta cualquier fenómeno físico que funcione como dieléctrico.	Desde 10^{-10}mm hasta aproximadamente 25mm

Sensor optoelectrónico	Detección de material el cual no sea transparente para que sirva de reflector de luz.	Alcance máximo de 2 metros.
Sensor ultrasonido	Material que puede ser líquido, solido, granular o polvo.	0.25 metros a 13 metros

Tabla 1. Tecnologías para la detección de distancia [13], [14]

Como resultado de la Tabla 1 tenemos que el sensor capacitivo, ultrasonido y optoelectrónico es eficaz para la medición de un terreno debido al tipo de material, sin embargo, para la característica de distancia teniendo en cuenta que la altura de vuelo del drone también es importante la cual oscila entre 1 a 2.5 metros y que la medición del terreno (elevación o depresión) genera una distancia adicional a la altura del drone se escoge como tecnología a usar un sensor de ultrasonido.

Adicionalmente se realiza una medición de temperatura como dato complementario a la altura del terreno, ya que las condiciones climatológicas son importantes para determinar el estado actual del suelo a inspeccionar y permita el desarrollo de una futura obra en el caso de no detectar alteraciones ambientales que afecten los materiales a utilizar, como el caso de tener dilatación de metal, corrosión, entre otros efectos, además las baterías tipo Lipo que se usan para alimentar el drone son sensibles al estar expuestas a ciertas temperaturas, ya que condiciones de vuelo podrían disminuir al estar directamente relacionado con rendimiento de la batería a ciertas temperaturas (calor-frio). Existen varios métodos de medición los cuales consisten en establecer una equivalencia entre los cambios que presenta un material a la variación de la temperatura, sin embargo, se aprovecha de los dispositivos digitales que realizan dicha medición y solo se tiene que verificar en una etapa inicial su correcta precisión para después hacer una implementación general con el resto del prototipo.

La ubicación geográfica de cada dato que se tome es importante para verificar los puntos de mayor precaución para el usuario, por eso para determinar dicha posición se necesita de un dispositivo el cual se sincronice con los satélites que cubran su área de trabajo y por medio de esta triangulación pueda darse la ubicación donde se encuentre localizado.

Después de seleccionar el tipo de tecnología sensorica a usar, se determina que circuitos integrados o módulos son convenientes trabajar, teniendo como resultado los siguientes.

3.1.1. Sensor ultrasonido de distancia

Tomando en cuenta los requisitos necesarios para el prototipo y la disponibilidad en el mercado, como mejor opción se escoge un sensor ultrasonido, en este caso se hace uso del sensor de ultrasónico HC-SR04 [15] por su bajo consumo y funcionamiento como se describe en la Tabla 2, al igual que su diseño permite fácil integración con el prototipo, teniendo en cuenta que bajo esta misma

tecnología existen más alternativas en el mercado pero que se especializan en el control de otras variables como la transparencia o el brillo del material. Cabe resaltar que la resistencia a otros factores ambientales puede ser despreciables en este caso ya que su uso no es prolongado a dichas exposiciones.

Voltaje de trabajo	DC 5 V
Corriente de trabajo	15mA
Frecuencia de trabajo	40Hz
Rango máximo	4m
Rango minio	2cm
Angulo de medida	15 grados
Señal de entrada de disparo	10uS, pulso TTL
Señal de salida de eco	Proporcional a la señal TTL de entrada
Dimensión	45*20*15mm

Tabla 2. Características técnicas del sensor ultrasonido HC-SR4 [15]

3.1.2. Sensor de temperatura

En la medición de temperatura se selecciona un sensor digital el cual consiste en realizar la correcta lectura del dato de salida, que por lo general presenta alguna codificación que se podrá interpretar siguiendo su respectiva hoja de datos y es independiente de su alimentación, factor que muchas veces limita el trabajo con otros sensores para la medición de alguna magnitud física; por ello frente a las opciones presentes que se poseen de sensores de temperatura, se elige el sensor digital de temperatura DS18B20 [16] mostrado en la Figura 3, el cual presenta un rango de temperaturas comprendido entre -55°C a +125°C, con una precisión de ± 0.5°C útil en un rango de -10°C a +85°C siendo conveniente para el sistema, teniendo en cuenta que una precisión de 0.5°C de su lectura da confiabilidad en su uso al igual que el consumo de energía que posee, siendo de 4mA máximo con una alimentación comprendida entre 3V a 5V, recordando que las condiciones climatológicas es una variable al tener en cuenta en la inspección del terreno porque factores como la humedad repercute en la calidad del suelo.

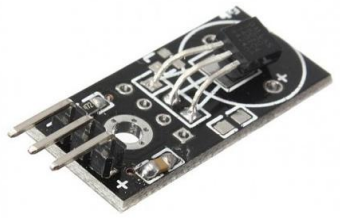

Figura 3 Sensor de temperatura DS18B20 [16]

3.1.3. Ubicación geográfica

Como método más empleado en este tipo de ubicación es el de GPS (sistema de posición global), el cual hoy en día existen varias alternativas integrables en un chip, entre esas la familia de GPS's NEO, y siendo más específicos el GPS Neo-6m [17] el cual se ilustra en la Figura 4 y fue seleccionado, ya que dentro de sus ventajas posee una salida digital (led) de indicación de cuando esta enlazado a algún satélite y posee una buena señal para recibir la posición. Dentro de sus características está el protocolo NMEA 0183 el cual es la transmisión de información satelital a varios instrumentos y que en este caso el módulo GPS la recepciona para ser procesada, al igual que su bajo consumo eléctrico de 10mA y 3.6V. Por su alta integrabilidad tiene un tiempo de respuesta inicial de 38 segundos en los cuales sus datos son descartables hasta que después se sincroniza con los satélites.

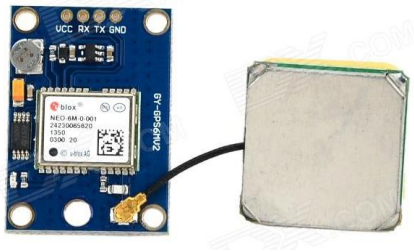

Figura 4. GPS NEO-6M [17]

3.2. Control de datos adquiridos

Para la correspondiente lectura de los sensores se realiza una rutina que permita convertir las diferentes señales de estos en datos que posteriormente se puedan trabajar, para esto se emplea un microcontrolador, que de igual forma hace la escritura de los mismos en una memoria micro SD y guardarlos con su correspondiente hora y fecha tomadas de un circuito integrado RTC (reloj de tiempo real). Para poder completar este proceso se hace uso de varios periféricos destinados a cada una de estas funciones lo cual se describe a continuación.

3.2.1. Reloj de tiempo real (RTC)

Por su gran uso en distintas aplicaciones se decide emplear el RTC DS1307 [18] como reloj del sistema de control, el cual da información de calendario-hora en segundos, minutos, horas, día, mes y año el cual se ilustra en la Figura 5. Dicho reloj opera en formato de 24 horas o 12 horas y su interfaz de comunicación es bajo el protocolo I2C el cual permite configurar o leer la fecha y hora. Su voltaje de operación con respecto a tierra tiene un rango entre -0,5V a 7,0 V lo que lo hace integrable con otras tecnologías, ya que se tiende a trabajar a un voltaje comprendido entre 3,3V a 5V en desarrollo con microcontroladores. Para continuar con su operación presenta un voltaje suplementario mediante una batería de 3,3V de tal forma que no se presente algún reinició o desconfiguración del reloj.

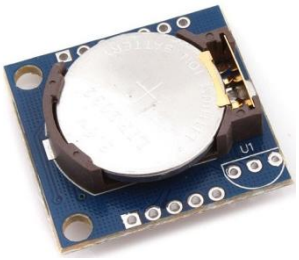

Figura 5. RTC DS1307 [18]

3.2.2. Adaptador de memoria micro SD

Como opción para guardar la información en un dispositivo de almacenamiento masivo, se dispone de un adaptador de memoria micro SD a una interfaz de comunicación SPI (Interfaz Periférica Serial) como el mostrado en la Figura 6, lo que permite el envío y recepción de información entre la memoria y otro dispositivo bajo esta interfaz. Su alimentación está comprendida entre 3,3V a 6,0V lo cual es fácilmente integrable para su funcionamiento en conjunto con otros dispositivos [19].

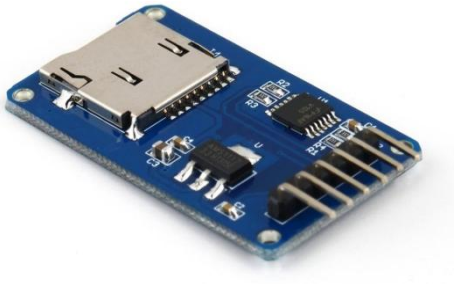

Figura 6 Adaptador de memoria micro SD a SPI [19]

3.2.3. Microcontrolador

Se escoge el microcontrolador de bajo costo Freescale KL25Z, con un ARM Cortex-M0 + núcleo de 32 bits, y un funcionamiento a 48MHz. Incluye 128KB FLASH, 16 KB de RAM, cuenta con distintas interfaces incluyendo USB Host, dispositivo USB, SPI, I2C, ADC, DAC, PWM, sensor de toque y otras interfaces de entrada/salida [20], como se muestra en la Figura 7.

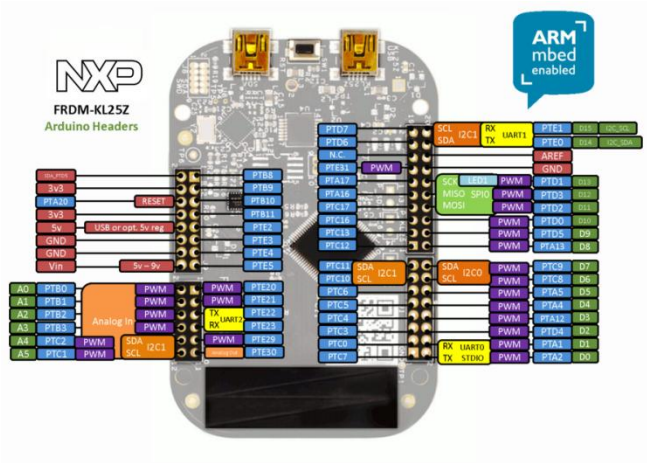

Figura 7 Tarjeta de desarrollo KL-25Z [20]

Entonces, este es el encargado de la lectura de los sensores, y generar la escritura en la micro SD bajo el compilador de Mbed [21] lo que permite trabajar en lenguaje C, siguiendo las siguientes características para cada uno de los periféricos externos:

- **Lectura del sensor ultrasonido**

Siguiendo el funcionamiento de los distintos sensores ultrasonidos como lo plantea [22] y el respectivo funcionamiento en este caso del sensor HC-SR04 [15], se configuran dos pines, uno de salida para el trigger y uno de entrada al microcontrolador conectado al echo para poder conectarse al sensor como se ilustra en la Figura 8, se procede a mantener en “1” el trigger por 10uS y después de esto iniciar una interrupción externa que medirá tiempo de cuando el pin echo se ponga en “1” , luego de leer este tiempo se divide en 58.2 , cifra que se hace constante en relación a la velocidad de la luz y el ajuste del sensor para obtener su distancia.

Figura 8 Sensor HC-SR04 y sus respectivos pines de conexión [15]

- **Obtención de posicionamiento del GPS**

En una etapa inicial se hace la verificación de los datos del GPS NEO-6M mediante comunicación serial a una consola de monitoreo serial al computador para determinar el tipo de dato a leer como se ilustra en la Figura 9, dando como resultado que para la obtención de la posición (latitud y longitud) y

siguiendo el protocolo NEMA 0183 es de interés la línea de GPRMC cuyos parámetros de interés en esta línea son [23]:

Ejemplo: $GNRMC,082514.000,A,3150.7827,N,11711.9265,E,0.00,320.59,111214,,,D*76<CR><LF>

$: cada mensaje NEMA empieza con '$'
RMC: identificación de mensaje
Tiempo UTC: hora en formato 'hhmmss.sss'
Validez de dato: 'v' = invalido; 'A' = valido
Latitud: latitud en formato 'ddmm.mmmm' (grados y minutos)
N/S: 'N'= Norte; 's'= sur
Longitud: longitud en formato 'dddmm.mmmm' (grados y minutos)
E/W: 'E' = este; 'w'= oeste
*Resto de línea: Velocidad, variación magnética, E/W, posición, *, comprobación, acarreo de línea.*

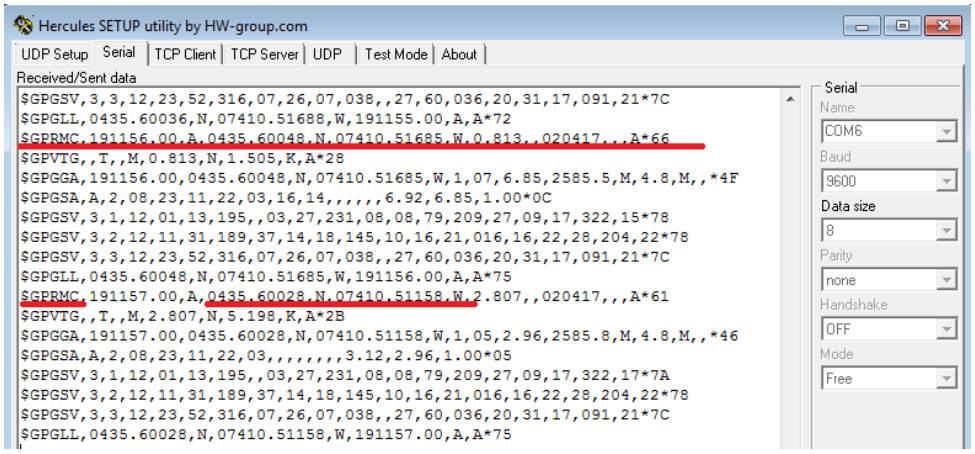

Figura 9. Monitoreo serial del GPS NEO-6M median la consola Hércules.

Por esto se usa una interfaz serial del microcontrolador kl-25Z, y mediante una comparación inicial del carácter recibido sea GPRMC se empieza a descomponer los caracteres de entrada, para ir leyendo la separación por comas de este protocolo y mediante las especificaciones antes mencionadas ir seleccionando los datos de latitud, longitud, norte/sur, este/oeste para construir la respuesta de ubicación determinada.

- **Lectura del sensor de temperatura**

Basándose en la hoja de datos del sensor DS18B20 [16]**,** él provee una trama de datos entre 9 y 12 bits, pero la trama total es de 16bits, con dos bits de signo (S) para indicar si la temperatura es positiva o negativa, para la resolución de 11 bits, el bit 0 no está definido. Para resolución de 10 bits, bits 1 y 0 no están definidos, y para 9 bits, los bits de resolución 2, 1 y 0 no están definidos como se ilustra en la Figura 10.

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

S = SIGN

Figura 10 Formato de registro de temperatura[16]

El registro de bits está comprendido entre 60 a 120uS entre cada bit de reconocimiento, por lo que para implementarse debe hacerse dicho proceso de registro teniendo en cuenta que se manejara 12bits de conversión y posteriormente su conversión de binario a decimal para la lectura correcta del sensor, en este caso solo se manejara un pin de comunicación el cual sera mediante una interrupción de entrada.

- **Obtención de fecha y hora actual**

Recordando que el RTC seleccionado (DS1307) trabaja bajo el protocolo de comunicación I2C, se deben hacer los respectivos registros que se siguen en este modo de trabajo, donde el microcontrolador será el maestro de la comunicación, es decir, quien le solicitará información al reloj en cualquier momento. En la hoja técnica de este reloj [18] nos muestra los distintos registros que debemos enviarle para que el directamente nos proporcione los parámetros deseados, cabe recordar que los registros de la RTC se encuentran en la dirección de ubicaciones 00h a 07h de la Tabla 3 . los registros de hora y calendario están en formato BCD por lo que se ve influenciado hacer respectiva conversión de BCD a decimal para obtener cada parámetro, al igual que reconocer algunos bits importantes en el uso de esta RTC: El bit 7 a “1” inicial el reloj, el bit 6 permite seleccionar o no el formato de 24 horas, y el reescribir sobre cada registro es reiniciar cada variable. Al leer consecutivamente los registros del 00h al 06h se tiene los segundos, minutos hora, día, mes y año actual.

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours				Hours	1–12 +AM/PM 00–23
		24	PM/ AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY			Day	01–07
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	0	0	0	10 Month	Month				Month	01–12
06h	10 Year				Year				Year	00–99
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—

Tabla 3 Registro de Tiempo de la RTC DS1307[18]

- **Escritura en la micro SD**

Se utiliza un adaptador genérico de memoria micro SD a un microcontrolador bajo el protocolo de comunicación SPI, comprendido por los pines de reloj (sck), MOSI & MISO (bits esclavo-maestro) y SS (selector de esclavo), con el fin de poder escribir un archivo de texto desde el microcontrolador a la memoria SD. Para su utilización se hace uso de la librería “SDFileSystem” proporcionada por el compilador de Mbed [21] para emplear el adaptador bajo este protocolo, y de dicha librería se utilizan algunas sentencias de código para el manejo de archivos para poder escribir el texto deseado de la siguiente manera:

- *Creación del objeto fp1 para la memoria: FILE * fp1;*
- *Apertura del archivo: fp1 = fopen (/sd/archivo.txt,"w");*
- *Escritura en el archivo: fprintf (fp1, “hola mundo”);*
- *Cierre del archivo: fclose (fp1);*

- **Programación general**

Como una integración de todos los periféricos mediante la tarjeta de desarrollo kl25Z en el compilador de Mbed [21], se genera una rutina que consta de tres partes generales, la primera es un refresco de la lectura de todos los sensores cada 0,5 Segundos, es decir, se realiza cada uno de los registros anteriormente descrito para obtener la lectura de las variables como la altura, la temperatura, la posición, la hora y la fecha.

En la segunda parte se aprovecha el tiempo de refresco de los sensores para que a su vez se escriba el archivo de texto en la memoria SD, cabe resaltar que esta escritura es controlada, es decir, a petición del usuario se decide el momento en que inicie y finalice dicho archivo mediante un botón externo o un evento serial, descrito en la siguiente parte.

Finalmente se tiene un evento externo mediante comunicación serial en donde la tarjeta de desarrollo recibe un comando de tal forma que a respuesta de este arroje la lectura de las variables trabajadas (la altura, la temperatura y la posición), al igual que un comando para el inicio o finalización del archivo, este proceso se describe en la siguiente etapa de transmisión de información.

3.3. Transmisión de información

Para la transmisión de la información entre el control de datos adquiridos y una estación en tierra se implementa el protocolo de comunicación Zigbee que se basa en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal, el cual permite una velocidad de trasmisión comprendida entre 20 KB/s y 250 KB/s, se comunica en el rango de 2,4 GHz de bandas libres para el uso no comercial de radiofrecuencia, con un ancho de banda de 5 MHz, en las que se logra comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías [24].

En esta etapa se realiza una comunicación punto a punto implementada en los módulos XBee Proo el cual uno de ellos tiene antena cable y el otro antena chip mostrados en la Figura 11, para su enlace se tiene en cuenta configurarse en un mismo canal de comunicación y que cada uno tenga preestablecido su dirección de origen que será la del otro modulo a comunicarse como se ilustra en la Figura 12, donde a través de comandos AT se puede verificar dichas características, como con el comando AT+DL representa la dirección del otro modulo que buscara, y el comando AT+ID representa que ambos módulos están trabajando en el mismo canal.

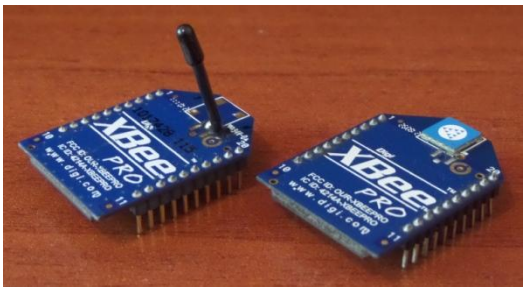

Figura 11 Módulos XBee trabajados

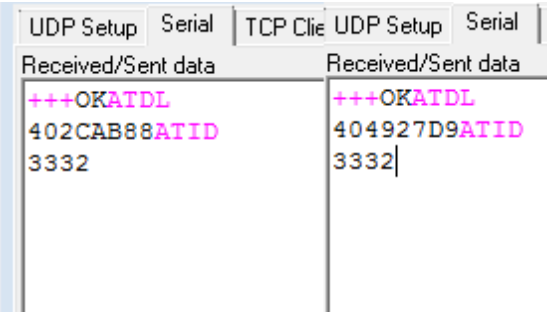

Figura 12. Comprobación de los parámetros de comunicación de los XBee

Estos módulos se utilizan en modo de comunicación serial donde se envía un bit tras otro, por ello se aprovecha para conectarse por uno de los puertos especializados en esta comunicación a la tarjeta de desarrollo kl25Z, e igualmente se utiliza un puerto serial en un computador para complementar esta comunicación. Al tener conectados inalámbricamente la tarjeta de desarrollo con un computador se procede a solicitar los datos a la tarjeta de las variables físicas manejas como se ilustra en la Figura 13, donde una ‘a’ representa el comando para solicitar la altura, ‘b’ para solicitar la latitud, ‘c’ para solicitar la longitud, ‘d’ la temperatura y ‘e’ para el inicio o finalización del archivo de texto. Cabe resaltar como se menciona antes, esta comunicación entra como un evento externo a la tarjeta de desarrollo, de tal forma que se optimice el sistema cuando solo se quiera escribir el archivo de texto, y si recibe un comando (evento externo), establezca la comunicación.

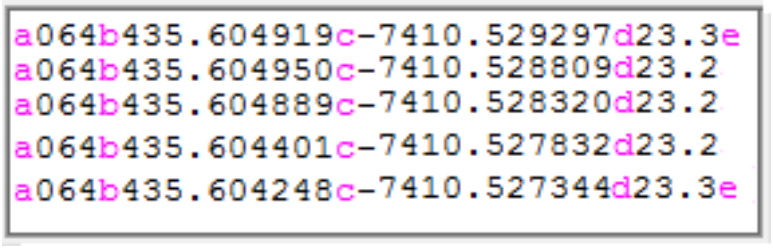

Figura 13 proceso de comunicación entre el sistema de control y un monitor serial

3.4. Interfaz de usuario.

Después de realizar con éxito cada una de las anteriores etapas en las que ya se hizo la correspondiente captura de datos por parte de todos los dispositivos (sensor temperatura, sensor de distancia y GPS), con el respectivo control por parte de la tarjeta FRDM-KL25Z para el tratamiento de ellos, teniendo el archivo de texto guardado en la memoria micro SD con la información capturada y el envío de los datos por los módulos XBee, es necesario realizar un correcto proceso de la información mediante una interfaz de usuario que brinde información valida que permita conocer las características del lugar donde se realizó el sobrevuelo por parte del drone, todo esto se desarrolló en el entorno de programación gráfica labVIEW. Esta interfaz está constituida en tres partes:

3.4.1. Ventana principal

En esta se hace la bienvenida al usuario con el fin de que pueda seleccionar cuál de los dos frentes de trabajo quiere visualizar, para así ver la información que brinda la interfaz según el caso que sea seleccionado, tal como se ve en la Figura 14 .

Figura 14 Ventana principal de la interfaz gráfica

3.4.2. Gráfica en línea.

Esta sección de la interfaz es de uso exclusivo para el momento en que se tenga comunicación con el sistema de telemetría, ya que, si no hay una conexión con el sistema no se tendrá algún dato en la interfaz, porque no recibirá ninguna información. En la Figura 15 se describe el proceso que realiza el entorno en esta sección.

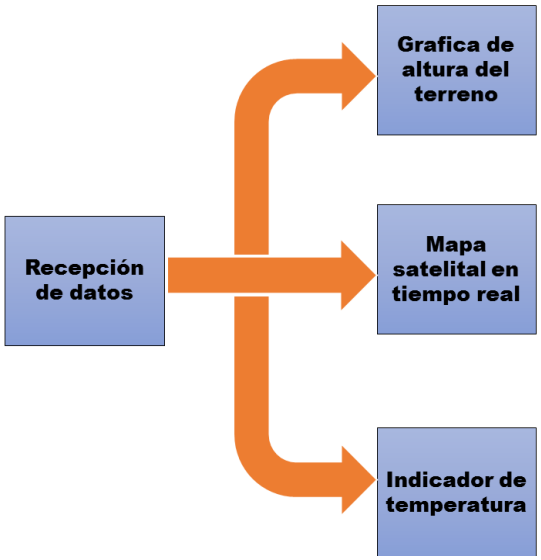

Figura 15 Diagrama de bloques-gráfica en línea

3.4.2.1. Recepción de datos

Siguiendo los comandos que fueron explicados en la Figura 13 donde se solicitan los datos que fueron tomados desde el drone, en esta interfaz se ejecutan dichos comandos para la recepción de la información por el protocolo serial implementado, con las características adecuadas como se ve en la Figura 16, además en este punto es necesario hacer el respectivo tratamiento del paquete de datos que van llegando, para así identificar a qué tipo de variable corresponde cada uno con el carácter enviado, confirmando que sea el apropiado.

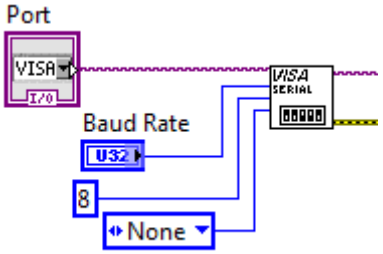

Figura 16 Parámetros de la comunicación serial implementada

Gráfica de altura del terreno

Al tener los datos de la distancia tomada por el sensor de ultrasonido, hay que tener en cuenta la respectiva conversión de formato porque originalmente son de tipo carácter, se hace necesario pasarlos a tipo flotante para ser utilizados en el indicador, el cual permite ir graficarlos como se ve en la Figura 17; gracias a esto el usuario puede visualizar la gráfica de la altura del terreno en ese momento.

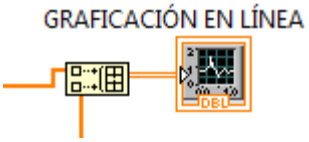

Figura 17 Indicador graph

3.4.2.2. Mapa satelital en tiempo real

Es necesario conocer el lugar y el recorrido que realiza el sistema de telemetría gracias al drone, por tal motivo esta sección le da la facilidad al usuario de conocer de manera visual la ruta por medio de un mapa satelital que se genera con las coordenadas de latitud y longitud enviadas por el sistema, esto permite además de ver el área que se está sobrevolando, el recorrido que esté haciendo en el momento, siempre y cuando se estén recibiendo los datos que permiten dicho proceso.

Haciendo uso de la herramienta gratuita de "Google Static Maps API" [25], la cual permite insertar una imagen de Google Maps y ser visualizada por el usuario, con ella se implementa el gráfico que muestra la trayectoria del drone, acompañada de unos marcadores que indican varios puntos en donde se tienen altura máxima y mínima del terreno que se está inspeccionando, además de su ubicación geoespacial (longitud y latitud). Para esto fue importante el uso de la herramienta web browser (ver Figura 18), la cual nos permite visualizar entornos de páginas web dependiendo de la URL que sea ingresada.

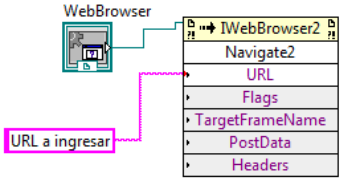

Figura 18 Herramienta web browser

3.4.2.3. Indicador de temperatura

Con la información recibida de temperatura captada por el sensor, esta es visualizada en un indicador que permite conocer al usuario en tiempo real dicho dato y será visto como se ve en la Figura 19.

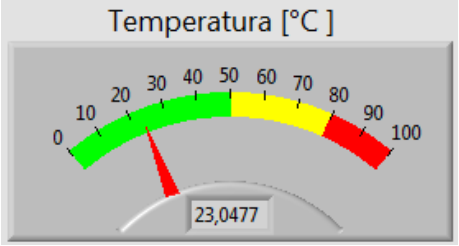

Figura 19 Indicador de temperatura capturada

3.4.3. Análisis de datos

A diferencia con la anterior sección de la interfaz, esta tiene como objetivo usar los datos que fueron guardados en la SD card en forma de archivo de texto, para que el usuario pueda hacer un análisis de la información capturada en el vuelo ya después que este haya terminado. En la Figura 20 está el diagrama de bloques que compone dicho proceso.

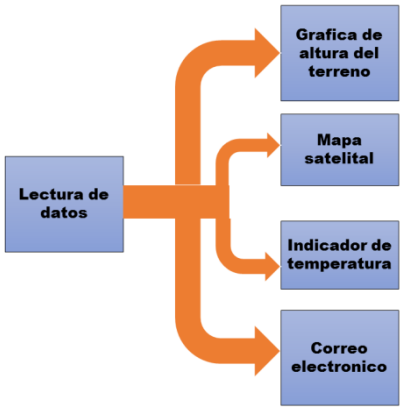

Figura 20 Diagrama de bloques-análisis de datos

3.4.3.1. Lectura de datos

Para realizar esta tarea se hace una búsqueda del archivo de texto que este almacenado en la memoria micro SD desde el entorno (ver Figura 21), con el fin de reconocer los diferentes datos. Hay que tener presente que los datos están seccionados por columna y así realizar el respectivo agrupamiento en vectores.

Figura 21 Archivo de texto a ingresar.

3.4.3.2. Grafica de altura del terreno

Con los datos del sensor de distancia que fueron almacenados, se hace el mismo procedimiento que la interfaz de gráfica en línea en donde el usuario puede visualizar la gráfica de la altura del terreno del recorrido hecho en su totalidad, cabe resaltar que hay unos indicadores de texto que señalan cinco puntos máximos que representan elevaciones y cinco puntos mínimos que hacen referencia a las depresiones, es decir, son puntos a tener presentes donde hubo variaciones considerables del lugar.

3.4.3.3. Mapa satelital

El mapa satelital que se genera gracias a las coordenadas de latitud y longitud, junto con el recorrido total hecho por el drone, acompañado por los marcadores que indican en el mapa puntos máximos y mininos, permitiendo al usuario conocer la coordenada donde se encuentran estos puntos en específico.

3.4.3.4. Indicador de temperatura

Con todos los datos de temperatura capturados, se agrupan en un vector y se obtiene el promedio de temperatura con ellos para mirar el comportamiento de esta variable.

3.4.3.5. Correo electrónico

Permite al usuario tener un respaldo con la información del análisis hecha, ya que desde la interfaz es posible enviar un correo electrónico con la siguiente información: grafica de altura, mapa de recorrido hecho y archivo texto guardado en la memoria micro SD.

3.5. UAV

3.5.1. Descripción general

El drone trabajado para el desarrollo del sistema fue el Quadcopter SK450 Turnigy, este consta de 4 motores sin escobillas Brushless Multistar 2213 con 935kv y un empuje máximo de 850 g, tiene un peso total de 680 g sin batería, para su funcionamiento usa una batería de LiPo de 3 celdas a 11.1 volts, permitiendo de 10 a 15 minutos de vuelo continuo, características claves que permiten que nuestro sistema sea levantado por el drone (ver Figura 22), además el controlador que este trae brinda la alternativa de ser programado en las características de su vuelo.

Figura 22 Vehículo aéreo seleccionado

3.5.2. Controlador de vuelo y control

Como se había mencionado este drone tiene el controlador de vuelo KK2.1.5, esta herramienta permitió programar el UAV en unos puntos claves para el funcionamiento del sistema, como lo es la

estabilidad de vuelo continuo, además otras opciones en el menú de programación son: modos de vuelo, calibración de sensores, acelerómetro, giroscopio, retardo en cada uno de los motores, facilidad de emparejamiento con distintos tipos de radio control y configuración de canales usados, entre otros.

4. Resultados

La programación hecha en la plataforma libre de mbed permitió una programación serial por las características de la tarjeta, pero fue necesario hacer uso de eventos de interrupción para poder hacer las lecturas de cada uno de los sensores y el almacenamiento en la micro SD de las variables de manera “paralela”. Cabe decir que era necesario usar este mecanismo ya que en el momento de transmitir los datos no existiera fallas, porque en las pruebas hechas al inicio se evidenciaba en la comunicación que los valores enviados no eran correctos por los tiempos de espera que emplea el microcontrolador en realizar otras tareas asignadas serialmente; por esto se hizo esas modificaciones al programa para su correcto funcionamiento.

Al poner en marcha el prototipo, los tiempos de respuesta de los sensores no son iguales, estos al alimentarse por primera vez, se demoran en establecer su punto de operación, siendo el caso del sensor de temperatura, el cual por su protocolo de comunicación consta de un pin de envío y recepción de datos, y necesita primero que la tarjeta de desarrollo reconozca el tipo de sensor allí conectado, ya que dicha conexión soporta otros sensores de temperatura de la misma familia (DS18B20, DS18B20s), y al ser diferentes varia la lectura que se realice, pues entre ellos se diferencia la cantidad de bits a codificar para obtener el dato de temperatura lo cual puede generar errores por desconocimiento propio.

Igualmente como en el caso anterior, sucede lo mismo con el GPS, pero este evento era de esperarse, pues en su respectiva hoja de datos nos indica que tendrá un tiempo inicial de espera aproximadamente de 25 segundos mientras el dispositivo realiza una conexión satisfactoria para recibir la señales, sin embargo este tiempo no es el mismo, ya que dependiendo del lugar donde se encuentre ubicado tardara un tiempo más de los esperado para realizar dicha conexión, sin embargo, cuando se realiza el enlace satisfactorio para recibir los datos de ubicación, él se mantiene estable y solo depende de que este alimentado como ocurre con otros dispositivos electrónicos.

Al iniciar el proceso con el sistema, se implementó en protoboard (ver Figura 23) con el objetivo de verificar la programación hecha en la Freescale FRDM-KL25Z identificando alguna falla con la lectura y captura de cada uno de los elementos (sensor de distancia, GPS, sensor de temperatura), junto con el correcto guardado de estos datos en la memoria SD, con esto se comprobó si los datos que eran enviados a través de los módulos XBee al monitor serial, correspondían con el archivo de texto que era almacenado en el sistema.

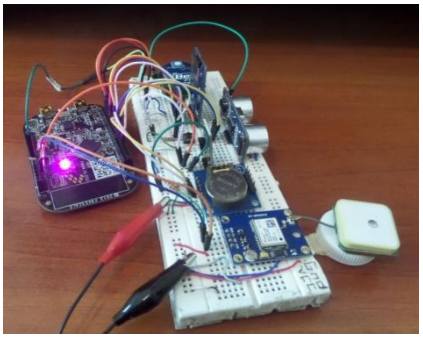

Figura 23 Montaje de prueba realizado en protoboard

Teniendo un correcto funcionamiento del proceso anterior, se diseñó la respectiva PCB (ver Figura 24 y Figura 25) tomando en cuenta un diseño adecuado para la tarjeta de desarrollo y ubicación de cada uno de los elementos para el funcionamiento de esta, obteniendo los resultados esperados en relación a los objetivos planteados.

Figura 24 Circuito impreso

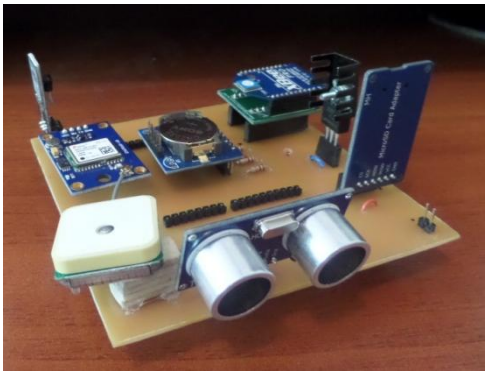

Figura 25 Circuito impreso con todos los elementos del sistema

Con las características de la estructura y diseño del drone, se buscó que el circuito impreso fuera lo más adecuado para implementarse al vehículo aéreo, con el fin de que este no afectara las características de vuelo, como lo es su estabilidad y el peso máximo para no exceder los límites que tiene el drone, para así poder sobrevolar con el sistema de telemetría implementado sin ningún problema, llevando a la realización de pruebas-resultados con la interfaz desarrollada, cabe mencionar que al iniciar las pruebas se adaptó el circuito sobre el drone (ver Figura 26), pero los vuelos hechos no eran los mejores, se optó por cambiar el lugar del sistema de telemetría debajo del controlador de UAV (ver Figura 27), mejorando la aerodinámica y el vuelo del mismo.

Figura 26 Sistema de telemetría implementado en el UAV

Figura 27 Sistema de telemetría implementado en el UAV- debajo del controlador

Las pruebas realizadas en un parque polideportivo ubicado en el barrio la estancia de Bogotá (ver Figura 28) arrojaron una estabilidad del sistema de telemetría bastante bueno, es decir, se tuvo una excelente transmisión de los diferentes datos capturados y enviados por el módulo XBee; el GPS se enlazo rápidamente con el satélite al estar en campo abierto, ya que en la prueba inicial de los sensores este se encontraba en un espacio cerrado que dificulto su enlazamiento.

Figura 28 Lugar de las pruebas-Barrio la estancia Bogotá

La interfaz de usuario tuvo varias pruebas, en la Figura 29 se evidencia uno de los vuelos hechos, esta corresponde a la gráfica en línea de cada uno de los datos que eran enviados desde el sistema de telemetría del terreno.

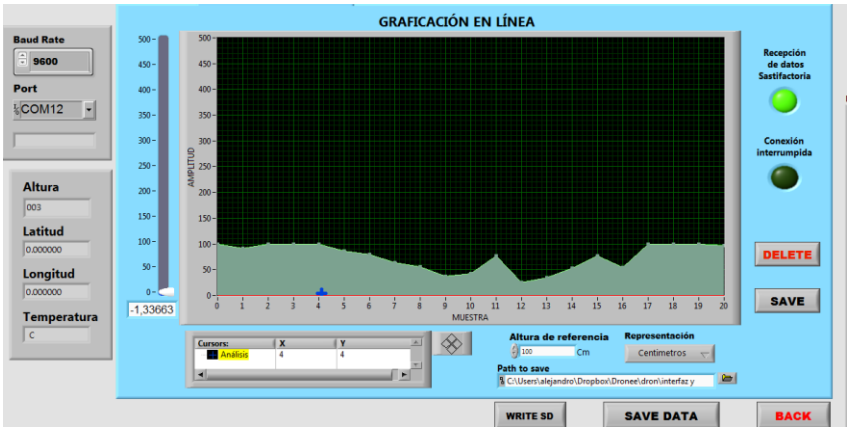

Figura 29 Gráfica de altura de terreno en línea

Con en el recorrido realizado se ve el mapa satelital de la trayectoria hecha por el drone acompañada de dos marcadores que indican el punto inicial representado por el color verde y punto final con el color rojo, que para este caso son en el parque ubicado en el barrio la estancia, lo cual permite al usuario tener una referencia geográfica del lugar que se sobrevoló (ver Figura 30), cabe decir que para este recorrido, estuvimos en un punto fijo y se realizó un recorrido de ida y vuelta como se parecía en la figura mencionada..

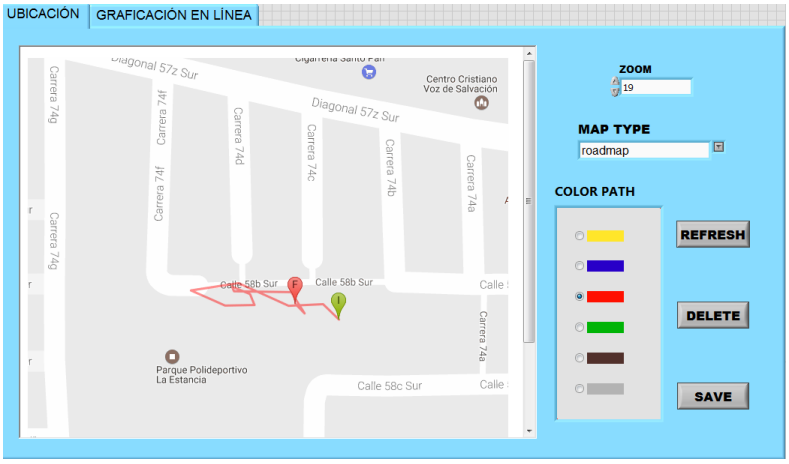

Figura 30 Mapa satelital de recorrido- Indicador de temperatura.

A diferencia de lo hecho en la gráfica de línea, se tiene el análisis de datos de uno de los recorridos hechos en los que se toma el archivo de texto almacenado en el sistema, para así graficar la altura del terreno identificando cinco puntos máximos que hacen referencia a las elevaciones y cinco mínimos que representan depresiones, esto permite distinguir zonas de cuidado que el usuario debe tener presente (ver Figura 31), cabe recordar que el punto mínimo más bajo evidenciado en esta figura representa un descenso repentino por parte del drone en cuanto a su manejo y no fue por parte del sensor que haya hecho una lectura errónea, y al no permanecer en su línea o altura de referencia se obtiene un dato por debajo del promedio de lecturas.

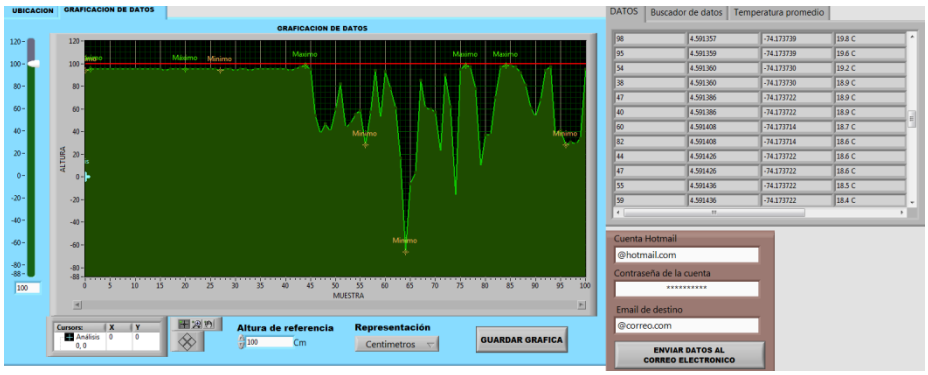

Figura 31 Análisis de datos- altura del terreno.

Igualmente, como en la gráfica en línea, tenemos el recorrido o trayectoria hecha en el sobrevuelo, donde hay una relación directa de cinco puntos máximos y cinco puntos mínimos que se ilustran en la Figura 31, estos puntos se representan por marcadores del lugar exacto de las llamadas zonas de cuidado; los marcadores de color amarillo son los puntos mínimos que representan “depresiones” y los marcadores de color azul hacen referencia a las “elevaciones”. También en la parte inferior derecha está la ventana de envió de información de correo electrónico donde permite al usuario compartir información de la gráfica de altura, el mapa satelital y el archivo de texto almacenado, tal como se ve en la Figura 32.

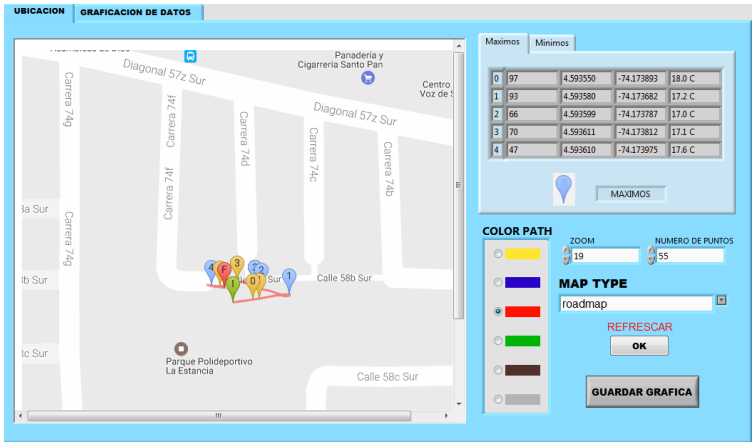

Figura 32 Análisis de datos- Mapa satelital.

En relación con la altura máxima al que fue elevado el drone se vio que entre el rango de 1 a 2 metros fue una buena altura para ser tomada como línea o altura de referencia, ya que el peso que este tiene no permitía elevarse más, evitando así forzar los motores y un consumo mayor en la batería, también con las corrientes de aire que se presentaron en algunos sobrevuelos dificultaba su estabilidad y a mayor altura se evidenciaba más este fenómeno. Con respecto al sensor de ultrasonido se vio la necesidad de implementar un sistema de balanceo mecánico para este (ver Figura 33), el cual permitió la estabilización del sensor para compensar los movimientos que le genera el UAV y no se perdieran los datos en su lectura; este fue ubicado en la parte inferior del circuito impreso con el sistema debajo del controlador, como ya se había mencionado antes.

Figura 33-Sistema de balanceo mecánico para sensor ultrasonido.

5. Conclusiones

- Al utilizar los módulos de comunicación XBee, se amplió la distancia de operación prevista con respecto a la distancia del control del drone, ya que se pensó inicialmente que entre alguno de estos factores se vería limitado el prototipo, por lo que se pudo establecer una distancia útil en la cual los rangos de los módulos XBee serían los mismos que para la operación del control del drone, en donde no se alteraría el funcionamiento de todo el sistema. Es importante aclarar que al hacerse mayor la distancia entre el drone y el control se presenta tiempos de retardo para la transmisión de la información, para lo cual se da un intervalo de espera de un dato tras otro, con el fin de no saturar la línea de comunicación y no se perdiera información en dicho proceso.
- Es importante resaltar la precisión del GPS, el cual presenta indicaciones en un rango de 50 centímetros de diámetro sobre un mismo punto, siendo esto un parámetro aceptable, ya que, al momento de localizar cada coordenada obtenida del GPS sobre una misma ubicación, estos valores son muy similares y cercanos entre sí, lo cual da confiabilidad en este dispositivo. Se debe tener en cuenta que, si hubiese el caso de tener un punto erróneo de ubicación, causa problemas en la recolección de datos porque este tipo de información es incorregible; así mismo, el presentar un margen de error alto causa una desviación que puede significar tomar un sitio como peligroso cuando no lo es.
- La autonomía de vuelo, no permite inspeccionar terrenos muy amplios ya que está entre 10 y 15 minutos, en comparación al tiempo de carga total de la batería que es cerca de 2 a 3 horas el cual es bastante largo en relación a la descarga, de acuerdo a lo anterior, es importante contar con baterías extras que aumenten el tiempo de vuelo ya que esto es proporcional al terreno recorrido que se puede inspeccionar.
- Gracias a la programación gráfica y las herramientas implementadas que proporciona el software labVIEW como manejo de procesos paralelos y los menús de configuración emergentes sobre cada elemento a trabajar, se logró desarrollar la interfaz de usuario del

sistema con tres objetivos: comunicación, procesamiento de datos e información gráfica; brindando un entorno agradable y completo para la correcta interpretación de las variables tomadas por el sistema de telemetría.

- La altura de vuelo del drone está limitada por la distancia útil de medición del sensor ultrasonido, siendo esta de máximo 4 metros para lograr unos datos correctos, ya que al sobrepasar este límite se entra en un rango de no detección lo que implica falla en el prototipo, sin embargo, por las condiciones externas al sistema de telemetría (batería del drone, corrientes de aire u otros factores) no se alcanza la distancia máxima de detección del sensor para este entorno, teniendo así una altura de referencia en una rango de 1 a 2 metros para el desarrollo de inspección de terrenos bajo estas condiciones, la cual fueron las trabajadas.

Referencias Bibliográficas

[1] Elika, “Drones y su uso en la agricultura”, pp. 1–4, 2013.

[2] M. R. Brito Jurado, “Los Drones, un nuevo socio en el espacio aéreo de Colombia”, p. 31, 2014.

[3] F. Chiabrando, F. Nex, D. Piatti, y F. Rinaudo, “UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaelogical areas: Two tests in the Piedmont region (Italy)”, *J. Archaeol. Sci.*, vol. 38, núm. 3, pp. 697–710, 2011.

[4] J. A. Gonçalves y R. Henriques, “UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas”, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 104, pp. 101–111, 2015.

[5] P. N. Deve, “Secure Transmission in UAV Intelligence”, núm. Ncisect, pp. 43–48, 2015.

[6] A. Perú *et al.*, “Aplicación de la altimetría radar por satélite para la determinación de niveles de agua en los ríos”, núm. March 2016, 2009.

[7] I. Colomina y P. Molina, “Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review”, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 92, pp. 79–97, 2014.

[8] J. Colorado, I. Mondragon, J. Rodriguez, y C. Castiblanco, “Geo-mapping and Visual Stitching to Support Landmine Detection Using a Low- cost UAV”, *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 12, pp. 1–12, 2015.

[9] A. H. Hern, B. P. Bejarano, y J. A. Garc, “Implementación de comunicación y algoritmos de control para UAV ’ S”, núm. 49, pp. 253–259, 2011.

[10] J. M. Vergara y Y. A. Toro, “Diseño E Implementación Del Sistema De Comunicaciones Basado En Can Para La Aviónica En Un Vehículo Aéreo Autónomo No Tripulado”, *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 6, núm. 11, pp. 209–221, 2007.

[11] P. Elizabeth, A. Flórez, A. Eduardo, M. Moreno, y M. E. Bernal, “USO DE DRONES Y LA TECNOLOGÍA RFID EN EL INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD”, vol. 1, pp. 1–8.

[12] U. Distrital y F. José, *Universidad Distrital Francisco José De Caldas Revista Tecnura*, vol. 4. .

[13] miguel angel Perez, J. Alvarez, J. Campo, J. Ferrero, y G. Grillo, *Instrumentacion Electronica*, Thomsom. Madrid , España, 2014.

[14] R. Pallas, *Sensores Y Acondicionadores De Señal*, 4a ed., vol. XXXIII, núm. 2. Barcelona, España., 2005.

[15] Indoware, “Datasheet Ultrasonic HC - SR04”, *Datasheet*, pp. 1–4, 2013.

[16] Maxim Integrated, “Datasheet DS18B20”, vol. 92, p. 20, 2015.

[17] U-blox, “NEO-6 GPS Modules Data Sheet”, p. 25, 2011.

[18] Maxim Integrated, “DS 1307 Real-Time Clock”, pp. 1–14, 2015.

[19] A. Industries, “Micro SD Card Breakout Board Tutorial”, pp. 1–21, 2014.

[20] ARM Mbed, “FRDM-KL25Z | mbed”, 2016. [En línea]. Disponible en: https://developer.mbed.org/platforms/KL25Z/. [Consultado: 14-feb-2017].

[21] ARM Mbed, “mbed.org”. [En línea]. Disponible en: https://mbed.org/.

[22] D. P. De Diego, “Sensores de distancia por ultrasonidos”, p. 13, 2006.

[23] Quectel, “Quectel_L26_GNSS_Protocol_Specification_V1.3”, pp. 1–45, 2014.

[24] (Olimex Chile) Ingeniería MCI Ltda, “¿Qué es XBee? ~ XBee.cl”, 2011. [En línea]. Disponible en: http://xbee.cl/que-es-xbee/. [Consultado: 30-ene-2017].

[25] Google, “Google Static Maps API”. [En línea]. Disponible en: https://developers.google.com/maps/documentation/static-maps/intro?hl=es-419.