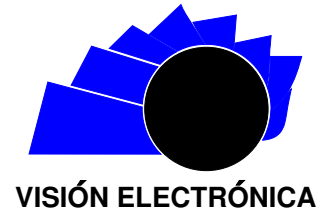




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



VISIÓN DE CASO

Sistema de telemetría para medición de elevaciones y depresiones

Telemetry System for the Elevations Measurement and Depressions

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

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 23/09/2017

Recibido: 11/11/2017

Aceptado: 03/01/2018

Palabras clave:

Comunicaciones inalámbricas

Depresión

Dron (UVA)

Elevación

Sensores

Telemetría

Open access



Keywords:

Wireless communications

Depression

Drone (UVA)

Elevation

Sensors

Telemetry

RESUMEN

Se presenta 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 (UAV, por sus siglas en inglés), con el fin de obtener información que permita conocer la altura del suelo (elevación o depresión) con su respectiva posición geográfica. La información capturada por dicho sistema es almacenada en una memoria SD y, a su vez, es transmitida inalámbricamente para que pueda ser utilizada por el usuario logrando identificar las características de altura del suelo relevantes sin que se genere algún tipo de inconveniente en un futuro.

ABSTRACT

Is presented the development of a telemetry system for the measurement of depressions and elevations in a vacant lot, implemented in an unmanned aerial vehicle (UAV) in order to obtain information that allows to know the height of the Soil Elevation or depression) with their respective geographical position. The information captured by said system is stored in SD Card memory and once it has been transmitted wirelessly, so that it can be used by the user and thus it is possible to identify the characteristics of the height of the ground relevant for what they are not Disadvantages in the future.

¹Tecnólogo en electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Semillero de investigación SITA. Correo electrónico: cccordobap@correo.udistrital.edu.co

²Tecnólogo en electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Semillero de investigación SITA. Correo electrónico: dabarbosac@correo.udistrital.edu.co

³Ing. electrónica; especialista en Telecomunicaciones Móviles; magíster en Docencia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Directora semillero de investigación SITA. Correo electrónico: dlcastanedat@udistrital.edu.co

1. Introducción

En la ejecución de proyectos arquitectónicos sobre terrenos baldíos es necesario contar con información que permita conocer las características del suelo, las cuales pueden ser elevaciones o depresiones; esta labor de reconocimiento puede tornarse peligrosa para la integridad de una persona, además del riesgo por la maquinaria que se debe usar, pueden sufrirse daños considerables e incluso irreparables. A raíz de lo anterior, hacer uso de herramientas tecnológicas como un UVA —el cual posee sensores, Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), radares, entre otros elementos—, los cuales son capaces de enviar datos a satélites para que después en tierra se pueda conocer la información en cuestión de muy pocos segundos [1], hace que se pueda facilitar dicha labor; no obstante, a los UVA 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 Nirmala y Dhanakoti [2] donde, al monitorear desde una base el vuelo del UVA, los cambios en la operación de este pudieron ser obtenidos por los sensores que posee.

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó e implementó un sistema de telemetría para la medición de elevaciones y depresiones en terrenos baldíos, a través de un sistema que se acondicionó en un UVA con el fin de obtener 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, es almacenada en una memoria extraíble microSD en el sistema adaptado del dron; finalmente, a través de la interfaz de usuario se pueden conocer términos de cada una de las lecturas tomadas por el sensor y su respectiva posición, las cuales podrán almacenarse en un correo electrónico —si es necesario— con el fin de que esta pueda ser visualizada por el usuario y sea útil con posterioridad.

La investigación se llevó a cabo en cinco etapas, la primera se centró en el estudio y caracterización de los sensores y dispositivos a trabajar en el UAV, teniendo en cuenta su exactitud y precisión; seguido a ello, en la segunda etapa se hizo la implementación y diseño del prototipo, donde se realizó la prueba de los sensores y su programación, logrando manejarlos desde la tarjeta de desarrollo Freescale FRDM-KL25Z, paralelo a esto se implementó el protocolo de comunicación Zigbee para la transmisión de la información inalámbricamente. En la tercera etapa se realizaron las correspondientes pruebas aéreas para obtener resultados de las tramas

de información que eran enviadas desde el sistema de control (sensores y tarjeta de desarrollo) al receptor en tierra —un computador—, al igual que la respuesta de los sensores en dichas condiciones.

En la cuarta etapa, al tenerse la información recopilada de cada una de las tramas de datos que llegan directamente por la comunicación inalámbrica realizada o que fue almacenada en la memoria microSD por el sistema de desarrollo, se diseñó una interfaz de usuario realizada en LabVIEW, la cual le permite ver al usuario la gráfica del terreno identificando las depresiones o elevaciones que puedan existir en el lugar sobrevolado, con un indicador de temperatura y su posición proporcionada mediante GPS, permitiéndose obtener un mapa del lugar junto con la ruta que haya realizado el dron. En la última etapa se realizó una evaluación general de la investigación para determinar los factores más relevantes del ámbito del uso de drones, particularmente en el mejoramiento de la inspección de terrenos y optimización de las comunicaciones inalámbricas con el fin de mejorar la calidad de transmisión de información estableciendo nuevas técnicas para las tramas de bits.

2. Desarrollo

2.1. Sensores de medición

Debido a que una de las principales variables a medir en este prototipo es la altura de los terrenos, lo cual está directamente relacionado con la detección de elevaciones y depresiones —como se ha evaluado inicialmente—, es importante reconocer la tecnología que se usa. Para este caso se plantea una comparación de las tecnologías —en este caso sensores— más comunes en el mercado para la medición de distancias, esto sirve para determinar cuál es la indicada a la hora de trabajar (Tabla 1). Teniendo en cuenta lo anterior, se especifica que solo se utiliza para detección de longitudes ya que muchos de ellos pueden medir otras variables físicas como el grosor de un material, medición de nivel, entre otras.

De acuerdo con la Tabla 1, se tiene que los sensores capacitivos, de ultrasonido y el optoelectrónico son eficaces 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 dron 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 dron, se escoge como tecnología a usar un sensor de ultrasonido, en este caso el HC-SR04 [5] de bajo consumo de energía y eficiencia en funcionamiento.

Tabla 1: Tecnologías para la detección de distancia.

Tecnología	Característica	Distancia de detección
Sensor inductivo	Detección de materiales solo con propiedades ferro magnéticas	$\pm 100\mu\text{m}$ a $\pm 25\text{cm}$
SenSensor Capacitosor Capacitivo	Detecta cualquier fenómeno físico que funcione como dieléctrico.	Desde 10^{-10} mm hasta aproximadamente 25 mm
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, sólido, granular o polvo.	0.25 metros a 13 metros

Fuente: elaboración propia a partir de [3] y [4].

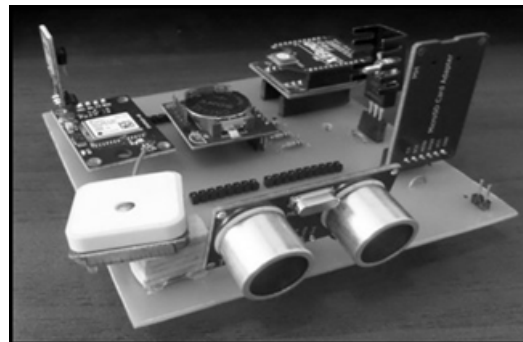
Adicionalmente, se realiza una medición de temperatura como dato complementario a la altura del terreno, ya que las condiciones climatológicas son importantes para determinar el estado del suelo a inspeccionar y permite el desarrollo de una futura obra; en este caso, se elige el sensor digital de temperatura DS18B20 [6] que presenta una precisión de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ programable en su lectura.

Como método de ubicación satelital se encuentra el GPS, del cual hoy en día existen varias alternativas integrables en un chip. Se escoge el GPS Neo-6m [7], por su indicación y buena receptibilidad de señal para emitir posición. También se decide emplear un reloj en tiempo real (RTC, por sus siglas en inglés) como reloj del sistema, con el fin de constatar los diferentes datos tomados por medio de su fecha y hora, ya que al solo tener datos de posición pueden repetirse, por lo que se podrían presentar incoherencias en el almacenamiento.

Para el procesamiento de los sensores y la escritura de la información en la memoria microSD, se escoge el microcontrolador de bajo costo Freescale KL25Z, el cual cuenta con distintas interfaces I/O para establecer la comunicación con los sensores, como se observa en la Figura 1.

Entre el control de datos adquiridos y la 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, para que con esta tecnología se realice una comunicación punto a punto implementada en los módulos XBee Proo —donde tienen

respectivamente una antena cable y el otro una antena chip—, ambos módulos trabajando en el mismo canal para mejorar la línea de transmisión de datos.

Figura 1: Integración del sistema de control.

Fuente: elaboración propia.

2.2. Programación general

Con el fin de realizar la lectura y registro de todos los sensores que realizan las mediciones del terreno, la integración de todos los periféricos se realiza en la tarjeta de desarrollo KL25Z con el compilador de Mbed [8]; se genera así una rutina en la tarjeta que consta de tres partes generales: la primera es un refresco de la lectura de todos los sensores cada 0.5 segundos, 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 microSD si el usuario lo desea, finalmente, se tiene un evento externo mediante comunicación serial donde el sistema de control arroja la lectura de las variables

trabajadas (la altura, la temperatura y la posición) por el módulo inalámbrico XBee.

2.3. Interfaz de usuario

Después de realizar con éxito cada una de las anteriores etapas, donde se hizo la correspondiente captura de datos y se guardó la información en la memoria microSD por parte del sistema de control en el UAV, es necesario realizar un correcto proceso de análisis de la información; para esto, es importante diseñar una interfaz de usuario amigable que brinde información válida y permita conocer las características del lugar donde se realizó el sobrevuelo por parte del dron, todo esto se desarrolló en el entorno de programación gráfica LabView [9].

2.3.1. Ventana principal

En ella se hace la bienvenida al usuario con el fin de que pueda seleccionar cuál de los dos frentes de trabajo quiere utilizar, y para que pueda realizar la interpretación de la información según sea el caso seleccionado, tal como se ilustra en la Figura 2.

Figura 2: Interfaz de usuario-ventana principal.



Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Datos en línea

La sección de datos en línea de la interfaz es de uso exclusivo para el momento en que se tenga comunicación inalámbrica con el sistema de telemetría, ya que si no hay una conexión con el sistema no se tendrá algún dato en ella, no recibirá ninguna información. En la Figura 3 se describe el proceso que realiza el entorno en esta sección, donde al recibir cada dato se identifica a qué variable corresponde para así generar la graficación de la altura, posición o la temperatura, según sea el caso.

Figura 3: Diagrama de bloques-gráfica en línea.

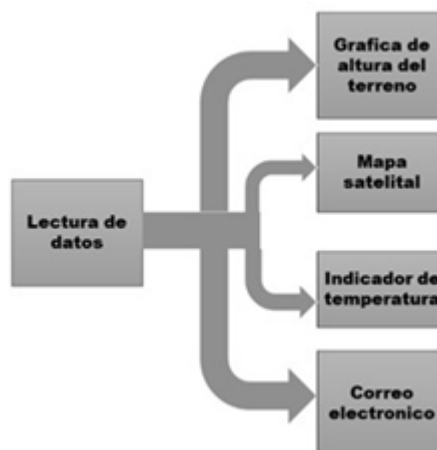


Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Análisis de datos

A diferencia de la anterior sección de la interfaz, esta tiene como objetivo usar los datos que fueron guardados en la memoria microSD en forma de archivo de texto, lo anterior con el fin de que el usuario pueda hacer un análisis posterior de la información capturada luego de que el vuelo haya culminado. En la Figura se ilustra el diagrama de bloques que compone dicho proceso, donde se realiza la lectura de la información almacenada en la memoria microSD, con el fin de que, en una etapa posterior, con estos datos se generen las gráficas relacionadas al estado del terreno, culminando así el análisis realizado por la interfaz.

Figura 4: Diagrama de bloques-análisis de datos.



Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

Para iniciar el proceso, previo al sistema se implementó en *protoboard* con el objetivo de verificar la programación hecha en la tarjeta de desarrollo Freescale FRDM-KL25Z [10]; por ello, se identificaron fallas con la lectura y captura de cada una de las variables (sensor de distancia, GPS, sensor de temperatura), y se corrigió la escritura de los datos en la memoria microSD. Con este proceso se comprobó que 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.

De acuerdo con las características de la estructura y diseño del dron, se buscó que el circuito impreso fuera lo más adecuado para implementarse al vehículo aéreo con el fin de que no afectara las características de vuelo, entre ellas su estabilidad y el peso máximo, para así poder sobrevolar con el sistema de telemetría implementado, llevándose a cabo la realización de pruebas-resultados con la interfaz desarrollada. Cabe mencionar que al iniciar las pruebas se adaptó el circuito sobre el dron (Figura 5), pero los vuelos hechos no eran los mejores porque se veía alterada la aerodinámica del UAV y no se presentaba una estabilidad de vuelo; a raíz de ello, se optó por cambiar el lugar del sistema de telemetría debajo del controlador del UAV (Figura 6), lo cual mejoró la estabilidad de vuelo.

Figura 5: Sistema de telemetría implementado en el UAV, encima del controlador.



Fuente: elaboración propia.

Gracias a la programación gráfica y las herramientas implementadas que proporciona el software LabVIEW [9], como manejo de procesos paralelos y los menús

de configuración emergentes sobre cada elemento, se logró desarrollar la interfaz de usuario del sistema con res 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.

Figura 6: Sistema de telemetría implementado en el UAV, debajo del controlador.

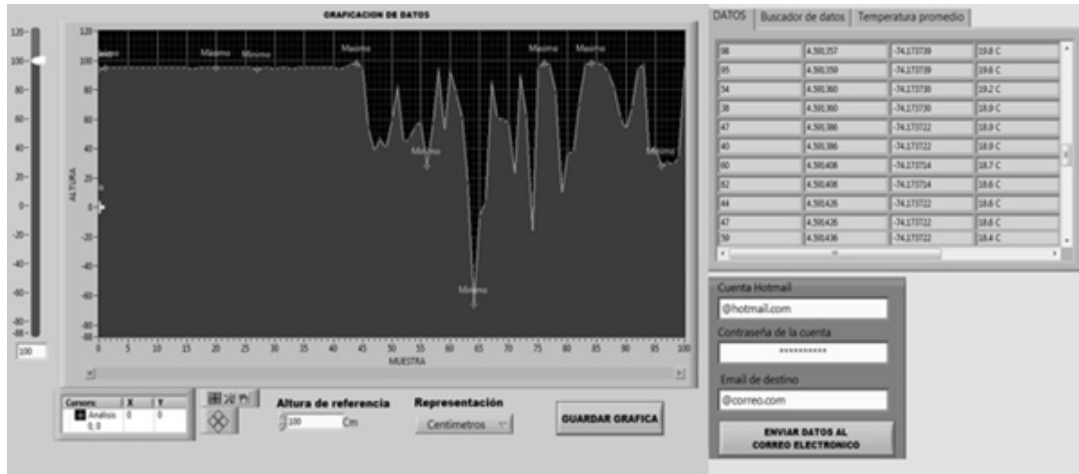


Fuente: elaboración propia.

De forma general, en la interfaz de usuario se tiene el análisis de datos (Figura 7) de los recorridos realizados, donde se toma el archivo de texto almacenado en el sistema para graficar la altura del terreno, identificando cinco puntos máximos que hacen referencia a las elevaciones y cinco mínimos que representan depresiones, con una opción de envío de información por correo electrónico, permitiendo al usuario compartir información de la gráfica de altura, el mapa satelital y el archivo de texto almacenado; igualmente se tienen los datos en línea (Figura 8), donde está la gráfica de la altura actual con un punto de referencia inicial, para así tener un acercamiento visual al estado del terreno del que se va analizando con el fin de que se aproxime a una inspección en tiempo real del área recorrida progresivamente.

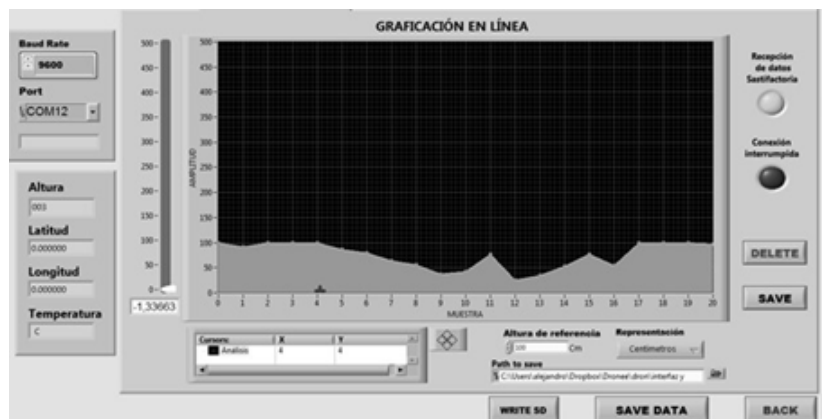
Cabe resaltar que estas dos ventanas cuentan con el recorrido realizado, se ve el mapa satelital de la trayectoria hecha por el dron, acompañada de dos marcadores los cuales indican el punto de partida representado por el color verde y punto final con el color rojo como se ilustra en la Figura 9, esto permite al usuario tener una referencia geográfica del lugar que se sobrevoló con un mapa.

Figura 7: Interfaz análisis de datos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8: Interfaz datos en línea.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9: Ubicación de recorrido.



Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

La programación hecha en la plataforma libre de Mbed permitió una programación de sucesos seriales por las características de la tarjeta, sin embargo, fue necesario hacer uso de eventos de interrupción para poder hacer las lecturas de cada uno de los sensores y el almacenamiento en la microSD de las variables de manera paralela; esto fue necesario para garantizar que no existieran fallas en la transmisión de datos, pues cuando se establece la comunicación inalámbricamente se evidencia que los valores enviados no son correctos con respecto al tiempo de transmisión y sincronización del emisor-receptor. En este caso, los tiempos de espera son empleados por microcontrolador para realizar otras tareas —entre estas la transmisión de la información—, por lo que las tramas enviadas y recibidas deben ser correctas gracias al tiempo de ejecución de la interrupción, el cual establece el tiempo de la comunicación.

Al realizar la configuración de transmisión de datos inalámbricos punto a punto de los módulos XBee, teniendo en cuenta los tiempos de ejecución anteriormente mencionados, y los cuales enlazan el microcontrolador con la interfaz de usuario para el correcto funcionamiento del sistema, se pudo establecer una distancia útil en la cual los rangos de los módulos XBee serían los mismos para la operación del control del dron, ya que al hacerse mayor la distancia entre este y el control, se presentaron tiempos de retardo distintos que alteraron la transmisión de información al igual que el óptimo funcionamiento del sistema en el momento de realizar dicho enlace, por lo que al establecer un intervalo de espera apropiado no se perdió información en dicho proceso y se obtuvo un correcto funcionamiento del sistema implementado. Esta característica se hace importante en futuras modificaciones que pueda tener este dispositivo, ya existen otras tecnológicas para la comunicación inalámbrica que pueden ser más rápidas al establecer la línea de transmisión de información.

Dentro de los factores externos al sistema de telemetría, pero que a su vez hicieron parte de dicho prototipo inicial por su autonomía de vuelo, no permitió inspeccionar terrenos muy amplios al estar entre diez y quince 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 con lo anterior, es importante contar con baterías extras que aumenten el tiempo de vuelo de inspección de un solo lugar sin tener que realizar pruebas interrumpidas, ya que esto, al ser proporcional al terreno que se puede inspeccionar, vuelve tedioso el proceso de inspección, por

lo que los vuelos realizados hacen parte de las pruebas en terrenos no muy extensos; sin embargo, el cambio de este llevaría a resultados diferentes que pueden expresarse en la ampliación de dicho tiempo.

Con respecto a la altura de vuelo del dron, se encuentra limitada por la distancia útil de medición del sensor ultrasonido, siendo esta de máximo cuatro metros para lograr unos datos correctos; al sobrepasar este límite se entra en un rango de no detección, lo que implica falla en el prototipo y se hace necesario establecer esta restricción. Sin embargo, por las condiciones externas del sistema de telemetría (batería, motores del dron, corrientes de aire u otros factores), no se alcanzó la distancia máxima de detección del sensor para este entorno, teniendo así una altura de referencia en un rango de uno a dos metros para el desarrollo de inspección de terrenos bajo las condiciones trabajadas en las pruebas hechas.

Teniendo en cuenta que existen variables ajenas al funcionamiento electrónico del sistema que se deben corregir, con respecto al sensor de ultrasonido se vio la necesidad de implementarse en un sistema de balanceo mecánico, esto con el fin de estabilizar el sensor para compensar los movimientos que le generan el UAV al realizar las mediciones altimétricas y que no se perdieran los datos en su lectura como ocurrió en pruebas anteriores a su implementación. Como parte de esta variable, el sistema de balanceo junto con el sensor fue ubicado en la parte inferior del circuito impreso, al igual que el sistema debajo del controlador, con el fin de tener la línea de vista directa al terreno inspeccionado.

5. Reconocimientos

Al Semillero de Investigación en Telecomunicaciones Aplicadas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Referencias

- [1] Elika, Fundación Vasca para la seguridad agroalimentaria, “Drones y su uso en la agricultura”. [En línea]. Disponible en: <http://www.elika.eus/datos/articulos/Archivo1388/Berezi%2035%20drones%20y%20sus%20usos%20en%20agricultura.pdf>
- [2] P. Nirmala y V. Dhanakoti, “Secure Transmission in UAV Intelligence”, *International Journal of Engineering Development and Research*, vol. 3, n.º. 1, pp. 43–48, 2014.

- [3] M. A. Pérez, J. Álvarez, J. Campo, J. Ferrero, y G. Grillo, "Instrumentación electrónica", Madrid: Thomson, 2003.
- [4] R. Pallas, "Sensores y acondicionadores de señal", Barcelona: Marcombo Boixareu Editores, 2004.
- [5] Indoware, "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04", [En línea]. Disponible en: <http://dropbox.indo-ware.com/files/Ultrasonic%20HC-SR04.pdf>
- [6] Maxim Integrated, "Programmable resolution Digital Thermometer DS18B20". [En línea]. Disponible en: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [7] U-blox, "NEO-6 GPS Modules". [En línea]. Disponible en: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)
- [8] ARM Mbed, "Welcome to Mbed". [En línea]. Disponible en: <https://mbed.org/>
- [9] National Instruments Corporation, "Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW - National Instruments". [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/labview/products/esa/>
- [10] ARM Mbed, "FRDM-KL25Z Mbed". [En línea]. Disponible en: <https://os.mbed.com/platforms/KL25Z/>