

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN BASADO EN GPS E IOT: UN ESTUDIO DE CASO EN QUITO

DEVELOPMENT OF A GPS AND IOT BASED LOCALIZATION SYSTEM: A CASE STUDY IN QUITO

¹Stalin Marcelo Hidrobo Proaño, Estudiante de doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia

E-mail: stahid@doctor.upv.es

²José Salvador Oliver Gil, Docente Titular en la Universidad Politécnica de Valencia

E-mail: joliver@disca.upv.es ORCID: 0000-0002-2617-0636

³Germán Nimrod Varela Rosario, Investigador y Editor de Textos Académicos

E-mail: nimrodvarelaresario@gmail.com

RECIBIDO: 2024-05-24

ACEPTADO: 2024-06-18

APROBADO: 2024-06-19

RESUMEN

Este documento detalla el desarrollo de un dispositivo para localizar y obtener parámetros de vehículos mediante una app, usando la red Internet de las Cosas (IoT). Su fin es localizar un dispositivo con GPS integrado. Incluye: (1) sistema embebido microcontrolado, (2) servidor en la nube, y (3) servicio web con interfaz gráfica. El sistema embebido recoge datos de ubicación vía sensor GPS y se conecta a internet por GSM, procesa la información y sube datos al servidor en la nube, manteniendo el sistema en reposo para ahorrar energía. El servidor en la nube, comunicándose por GSM, utiliza capacidad computacional alquilada y monitorea el dispositivo, empleando MQTT para transmitir y asociar datos al servicio web. Este último, alojado en el servidor, muestra la información y ubicación del dispositivo en tiempo real en un mapa, accesible desde computadoras o móviles con internet, garantizando monitoreo continuo mientras el dispositivo esté activo.

Palabras clave— GPS, IOT, MQTT, Servicio Web, GSM.

ABSTRACT

This document details the creation of a device for vehicle localization and data acquisition using a mobile app and Internet of Things (IoT) network. The goal is to track a device's precise location via integrated GPS. The system includes three main elements: (1) a microcontrolled embedded system, (2) a cloud server, and (3) a web service with a graphical interface. The microcontrolled system gathers location data through a GPS sensor and GSM network connectivity, processes the data, conserves energy in sleep mode, and uploads information to the cloud server. The cloud server, communicating via GSM, utilizes rented computational resources and specialized programs to monitor the microcontrolled device. It employs MQTT for data relay and integration to the web service. The web service, hosted on the cloud, orderly displays data through a graphical interface, showing the device's real-time location on a map, accessible via internet-connected computers or mobile devices, thus ensuring continuous monitoring provided the device is powered.

Keywords— GPS, IOT, MQTT, Web Service, GSM.

1. INTRODUCCIÓN.

A partir de su desarrollo inicial para aplicaciones y servicios de uso exclusivamente militar en la década de 1970, la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) ha transformado de forma vertiginosa la manera en que la gente navega, conoce y comprende el mundo. Desde ese entonces, el GPS ha llegado a constituir una herramienta de uso fundamental para una variedad de aplicaciones civiles (Hegarty & Kaplan, 2005), al punto que hoy es considerada como invaluable y se estima que si todo el sistema llegara a fallar sus consecuencias serían catastróficas (BBC, 2019).

La precisión con que el GPS permite establecer la ubicación de un objeto a nivel geográfico ha impactado de modo tal que muchas áreas de estudio cambiaron por completo respecto de cómo se las llevaba anteriormente. Esto se puede evidenciar en áreas como los diferentes sistemas de navegación, la cartografía, la gestión de flotas, la planificación de rutas, entre otras (Misra & Enge, 2006). Con el desarrollo de la tecnología e incluso la posibilidad de miniaturización alcanzada hasta hoy, el uso del GPS ha encontrado aplicaciones en áreas menos obvias pero igualmente importantes; este es el caso del rastreo de seres animados como personas y animales con la sola implantación de chips o el uso de elementos como relojes, pendientes, etc., Asimismo, el uso del GPS es utilizado en campos como la geología, donde se utiliza para medir el movimiento tectónico (Bilich, Larson, & Axelrad, 2008), y la meteorología, donde se utiliza para medir la humedad atmosférica (Ware, y otros, 2001).

Para la sociedad en general, el GPS ha llegado a establecerse como una herramienta de uso cotidiano. Los dispositivos GPS son instalados en aplicaciones de mapas en los teléfonos inteligentes y automóviles, tanto para usarlos en servicios de navegación (Axelrad & Comp, 2008) como seguridad por su capacidad de rastreo (Pritpal,

Tanjot, Bunil Kumar, & Bibhuti Bhushan, 2015). Además, el GPS se utiliza en aplicaciones de fitness para rastrear rutas de carrera y ciclismo, y en aplicaciones de redes sociales para compartir ubicaciones.

En relación con el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), el GPS desempeña un rol fundamental. Prácticamente todo dispositivos IoT debe contar con GPS para enviar datos de su ubicación y garantizar su correcto funcionamiento. Los drones, por ejemplo, usan el GPS para navegar y los hogares inteligentes pueden utilizar el GPS para ajustar su comportamiento en función de su ubicación geográfica (Borgia, 2014).

En lo que concierne a este estudio, se realizó un análisis de los errores absoluto y relativo que surgen al medir las coordenadas de longitud y latitud en 20 locaciones distintas de la ciudad de Quito, utilizando un módulo GPS desarrollado e implementado con el objetivo de compararlo y mejorar las prestaciones de otros productos del mercado. Esto se logró al comparar los datos que arroja el dispositivo GPS con los del dispositivo móvil Sony Xperia AX1 Mini.

Además, se desarrolló una aplicación, disponible tanto para dispositivos móviles como para plataforma web, que muestra en tiempo real las coordenadas del módulo GPS integrado, empleando principalmente herramientas de código abierto.

El marco teórico de este estudio abarca los conceptos de: Internet de las Cosas (IoT) (Laghari, Wu, Laghari, Ali, & Khan, 2022, págs. 1395-1410), protocolos de comunicación IoT, redes, sensores inalámbricos (WSN), sistema de control, computación en la nube (cloud), Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y geolocalización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

La implementación del sistema GPS requiere una combinación de hardware y software para garantizar un funcionamiento preciso y confiable.

Los componentes de hardware aseguran la adquisición de datos de ubicación, mientras que el software permite la programación y visualización de estos datos de manera efectiva. La selección de estos materiales se basa en su capacidad para cumplir con los requisitos específicos del proyecto y garantizar un rendimiento óptimo.

A continuación, se describen en detalle las tecnologías utilizadas:

2.1. Hardware

2.1.1. Arduino Uno: Este dispositivo se compone principalmente de un microcontrolador ATmega328P (Banzi & Shiloh, 2015) que facilita la programación y control de componentes sin necesidad de un programador externo, gracias a su puerto USB. Su diseño abierto, respaldado por una extensa comunidad, ofrece una amplia compatibilidad con módulos y sensores (Arduino, 2023).

2.1.2. Módulo de Identificación de Abonado (SIM): Este chip es fundamental para la identificación en la red móvil telefónica. Almacena de manera segura la clave de servicio del beneficiario y varía en capacidad de almacenamiento, siendo comúnmente de 16 a 32 kb (Edwards, 2023).

2.1.3. Módulo GPS NEO 6M: Este módulo compacto se comunica a través del puerto serial UART, lo que facilita su uso con diversos dispositivos como Arduino, Raspberry Pi y computadoras. El módulo NEO 6M mide magnitudes clave como latitud, longitud, velocidad y altitud. Las características técnicas se resumen en la Tabla 2.1 (ublox, 2011).

2.1.4. Módulo SIM GSM/GPRS 808: Esta solución integrada SIM808 fusiona capacidades GSM/GPRS y GPS en un único dispositivo. Facilita comunicaciones por voz, SMS y transmisión de datos, además de ofrecer rastreo de ubicación a través de coordenadas GPS. Dada su construcción

compacta y versatilidad, es perfecto para iniciativas de IoT, seguimiento vehicular y telemetría. Su creciente base de usuarios proporciona una amplia documentación y ejemplos. Para establecer la conexión a Internet mediante una tarjeta SIM, es esencial obtener detalles de la APN (Access Point Network) suministrada por el proveedor telefónico; en este contexto, CNT-Ecuador. Se puede acceder a estos datos en “apnsettings.org” bajo la etiqueta “GPRS APN CNT Ecuador”, que presenta la APN “internet.cnt.net.ec”, y requiere dejar los campos de usuario y contraseña vacíos.

2.2. Software

2.2.1. Arduino IDE y sus Librerías: Arduino IDE es una plataforma de código abierto y gratuita, diseñada principalmente para programar una amplia gama de microcontroladores, incluyendo Arduino Uno. Su interfaz clara y directa optimiza el proceso de escritura, depuración y gestión de código, así como el manejo de bibliotecas y la configuración de dispositivos (Arduino, 2023). Gracias a esta herramienta, tanto aficionados como expertos pueden desarrollar proyectos electrónicos desde su concepción hasta la ejecución, asegurando una interacción perfecta con Arduino Uno y otros módulos asociados (Marqolis, Jepson, & Weldin, 2020, págs. 30-34).

La efectividad de Arduino IDE reside en parte en su capacidad para integrar distintas librerías que mejoran la interacción con los componentes del sistema. Algunas de las más cruciales para nuestro propósito son TinyGSM, TinyGPS, PubSubClient y Async-mqtt-client. Las figuras 1, 2 y 3 ofrecen una visión estructurada del algoritmo empleado en la programación del dispositivo. Este conjunto de instrucciones engloba funciones vitales que posibilitan la transmisión de coordenadas de ubicación al servicio cloud. En el proceso, se inicializan las librerías, se establecen las variables pertinentes, se determinan los puertos seriales y se confirma la operatividad del módulo GSM, entre

otros procedimientos esenciales.

Figura 1.

Diagrama de Flujo programa microcontrolador

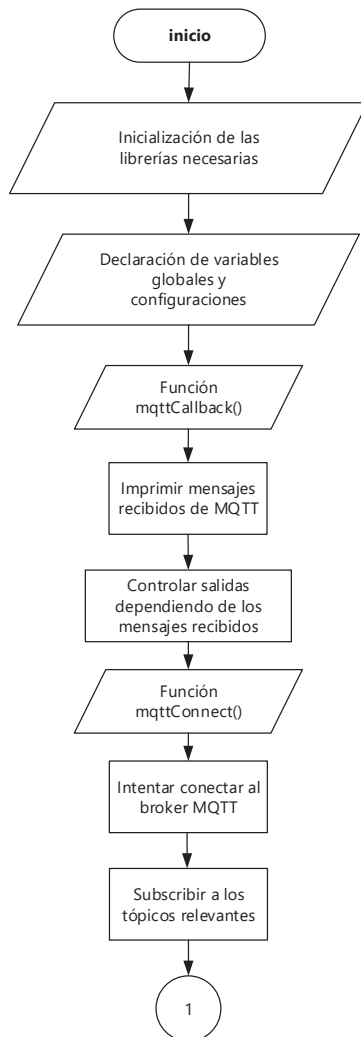


Figura 2.

Diagrama de programa del microcontrolador

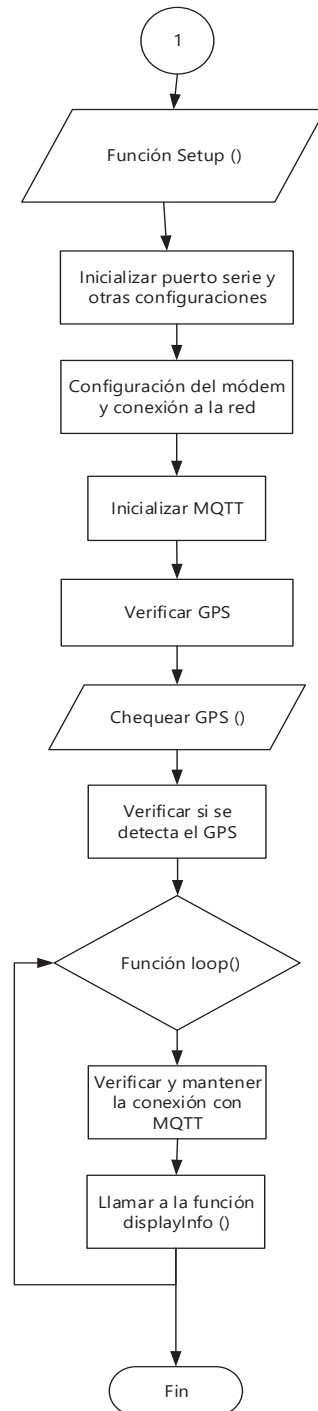
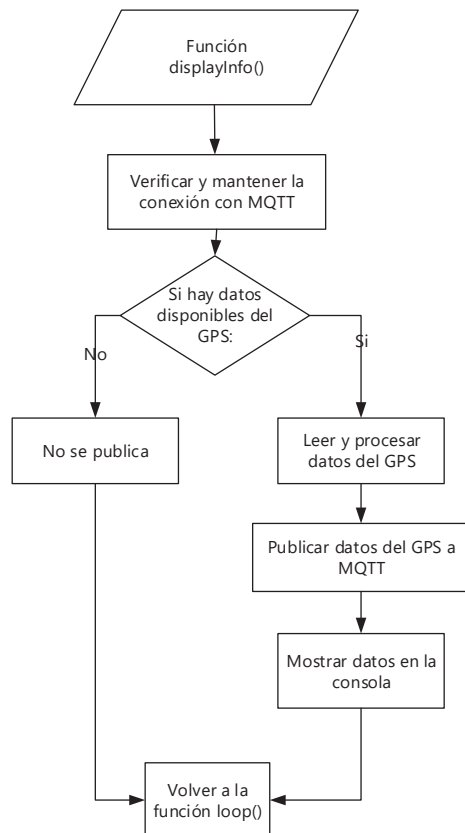


Figura 3.

Diagrama de Flujo programa del microcontrolador



2.2.2. Publicación/Subscripción a través de MQTT en la Nube:

El microcontrolador Arduino Uno, complementado con el módulo SIM808, establece comunicación con el servidor en la nube utilizando el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) **(Shilpa, Vidya, & Santosh, 2023, págs. 60-66)**. Este sistema de mensajería, diseñado para ser ligero, actúa como un puente de publicación y suscripción, permitiendo una comunicación fluida entre diferentes dispositivos. El broker MQTT Mosquitto, ejecutado en una máquina virtual proporcionada por Digital Ocean, desempeña un papel fundamental en este proceso **(Mosquitto, 2023)**. A través de una conexión a Internet facilitada por la operadora CNT, Arduino Uno se conecta y participa activamente en la publicación y suscripción de datos con el servidor en la nube. El broker Mosquitto seleccionado, Eclipse Mosquitto, es reconocido por ser una solución abierta que

soporta diversas variantes del protocolo MQTT **(Wong, 2021)**. Su inclusión en este proyecto se debe a su eficiencia, versatilidad y capacidad para integrarse en distintos dispositivos, desde sistemas computacionales tradicionales hasta microcontroladores específicos como Arduino. En el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), MQTT es considerado como un elemento clave para una interacción dinámica y constante entre dispositivos, y Mosquitto cumple este rol a la perfección, asegurando una conectividad robusta y fiable dentro del universo IoT. Además, para garantizar una comunicación efectiva, se suscribe el microcontrolador Arduino al tema MQTT en el servicio de nube para recibir información. Las credenciales de la red GSM y los detalles del broker MQTT se configuran en el IDE de Arduino, verificando posteriormente la comunicación mediante el envío de mensajes desde la consola de Digital Ocean hacia Arduino Uno.

2.2.3. Servidor en la Nube con DigitalOcean y Linux:

Se ha configurado un servidor en la nube que opera bajo el sistema operativo Linux, específicamente Ubuntu 20.04 LTS, utilizando DigitalOcean. DigitalOcean, conocido por su interfaz intuitiva, es una herramienta diseñada para simplificar a los desarrolladores el proceso de despliegue y administración de soluciones en la nube **(DigitalOcean, 2023)**. En el contexto de este proyecto, dicho servidor juega un papel esencial, actuando como puente y coordinador del flujo de datos que emanan y convergen en el sistema GPS, garantizando así una transmisión ágil y precisa. Adicionalmente, para soportar servicios y aplicaciones tales como Mosquitto, Flask, Open Street Maps, JS y HTML, se levanta una máquina virtual (Droplet) que se ajusta a un plan económico, cumpliendo así con las necesidades y especificaciones del proyecto. La gestión y administración del servidor se lleva a cabo mediante el uso de la línea de comandos, asegurando un control completo y detallado de la

infraestructura.

2.2.4. Implementación del Servidor Web con

Flask: Flask emerge como un microframework de preferencia en el desarrollo web, enraizado profundamente en el lenguaje Python. Es renombrado por proporcionar herramientas intuitivas que simplifican y agilizan la creación de aplicaciones web. Pese a su aparente simplicidad, la potencia y versatilidad de Flask lo posicionan como una herramienta formidable, especialmente apta para proyectos de envergadura moderada, tal como el sistema GPS que estamos abordando. Además de su flexibilidad inherente y su diseño liviano, que son esenciales para prototipos y proyectos que buscan un despliegue rápido, Flask se encarga de gestionar eficazmente los mensajes emitidos por el servicio MQTT, supervisando a su vez los websockets tanto de entrada como de salida. Esta gestión centralizada facilita el control y procesamiento de la información procedente de Mosquitto, así como la integración con aplicativos adicionales como Open Street Maps, Java Script y HTML. Para garantizar su funcionamiento constante, Flask se ejecuta de manera persistente a través de una terminal de consola, asegurando así una comunicación ininterrumpida y eficiente con las diversas interfaces y servicios conectados.

2.2.5. Cartografía colaborativa con OpenStreetMap (OSM):

OSM se ha consolidado como una respuesta revolucionaria a la creciente necesidad de mapas libres y de fácil edición, posicionándose como un baluarte en el ámbito de la cartografía colectiva (Grinberger, Minghini, Juhász, Yeboah, & Mooney, 2022). Nutrido por una vasta comunidad global de voluntarios comprometidos, OSM se presenta como una alternativa refrescante a las opciones comerciales tradicionales, otorgando un espíritu verdaderamente abierto y colaborativo al mundo de la cartografía. Esta esencia comunitaria no solo promete actualizaciones frecuentes y detalladas que capturan la dinámica constante del paisaje

urbano y territorial, sino que también enfatiza el poder colectivo en la creación de mapas.

Pero OSM no se limita a ser solo un mapa; representa una plataforma potente, adaptable a una multitud de aplicaciones específicas. Con una vasta base de datos que abarca desde intrincadas vías hasta puntos de interés detallados, se erige como la elección óptima para sistemas como GPS que demandan exactitud y fidelidad en la geolocalización. En un mundo donde el acceso y la personalización de mapas se vuelven imperativos, OSM sobresale con un ethos comunitario y libre, encapsulando no solo un recurso invaluable, sino también una visión de cartografía para y por el pueblo. Es, en esencia, una herramienta que invita a construir y participar en un mosaico global, tejido por una comunidad diversa, para el beneficio y enriquecimiento de todos. Por lo tanto, en este proyecto, en lugar de suscribirnos y generar claves API como se haría con servicios pagados como HERE, simplemente nos integramos de forma libre y directa con OSM, aprovechando su riqueza y flexibilidad para visualizar las coordenadas suministradas por el dispositivo GPS.

2.2.6. Aplicación de usuario basada en HTML y

JavaScript: Esta solución digital ha sido concebida utilizando los lenguajes HTML y JavaScript. JavaScript, con su naturaleza orientada a objetos, se ha consolidado como una piedra angular en la construcción de interactividad en sitios web. Por otro lado, HTML sirve como la columna vertebral en la creación de páginas, siendo el lenguaje de marcado preferido para definir la estructura y contenido visual. Cuando se combinan, estos dos lenguajes no solo complementan sus capacidades, sino que, juntos, crean una plataforma potente, permitiendo el desarrollo de aplicaciones web que destacan por su eficiencia, dinamismo y capacidad de respuesta ante las interacciones del usuario. Esta combinación es vital para ofrecer experiencias digitales enriquecedoras y modernas. La construcción de la interfaz de usuario se lleva a

cabo mediante una combinación sinérgica entre un backend robusto en JavaScript y un frontend estilizado en HTML. En el corazón de esta estructura, el backend actúa como el puente de comunicación, manejando con destreza los mensajes de solicitud y respuesta entre el servidor web Flask y el servicio de mapas OpenStreetMap (OSM). Por su parte, el frontend despliega estos datos con claridad y cohesión, creando una experiencia visual envolvente que facilita la comunicación e interacción con los usuarios.

Además de esta funcionalidad, se ha instaurado un sistema de acceso que permite a los usuarios externos integrarse con facilidad, ya sea a través de dispositivos móviles o computadoras con conexión a Internet. Como piedra angular de este sistema, y con el objetivo de resguardar la integridad y confidencialidad de la información, se ha implementado un protocolo de validación mediante contraseña. Este paso adicional garantiza que solo aquellos con las credenciales adecuadas puedan ingresar y utilizar la aplicación, proporcionando una capa adicional de seguridad y confianza a todo el ecosistema de la plataforma. En la figura 4 se observa el aplicativo web desarrollado que muestra las coordenadas.

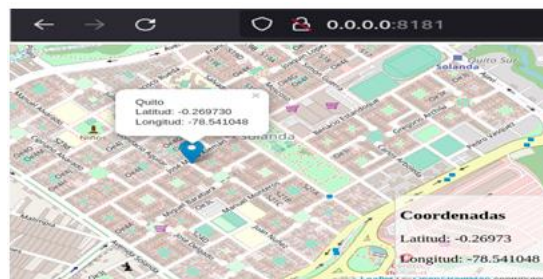
2.3. Representación Esquemática Integral del Sistema: El diseño gráfico integral del sistema ilustra meticulosamente cómo los datos se desplazan desde el microcontrolador embebido hasta el dispositivo móvil del usuario final. Esta travesía comienza con la transmisión de información de geolocalización por medio de la red GSM, que posteriormente se almacena en la nube. Luego, esta información es accesible y se recupera a través de una aplicación web diseñada específicamente para dispositivos móviles.

Este procedimiento minuciosamente elaborado brinda una perspectiva gradual sobre cómo llevar a cabo la implementación del sistema GPS con

eficacia y precisión.

Figura 4.

Aplicativo web desarrollado.



Nota. Los datos son tomados de Datos GPS. Actualización: 20h: 45m: 13s. Latitud: -0.2697771788. Longitud: -78.6410842896.

Desde las etapas iniciales de configuración hasta el proceso final en el que los usuarios interactúan y visualizan la información geográfica en un mapa detallado, cada fase ha sido planificada con el objetivo de asegurar una operatividad coherente, precisa y eficiente del sistema en su conjunto.

3. RESULTADOS

Se llevó a cabo un proceso exhaustivo de recolección de datos de geolocalización en 20 ubicaciones distintas. En primer lugar, se obtuvieron las coordenadas utilizando un módulo GPS. Posteriormente, se realizaron mediciones con un dispositivo móvil Sony Xperia AX1 y Google Maps. Para establecer un punto de referencia y determinar la precisión de las mediciones anteriores, se utilizó el apuntador rojo de Google Maps en el teléfono para marcar la posición real de las coordenadas; los datos se pueden apreciar en la Tabla 1.

Figura 5.

Esquema integral del sistema.



Tabla 1.

Medidas de Latitud y Longitud tomadas con el módulo GPS y el teléfono.

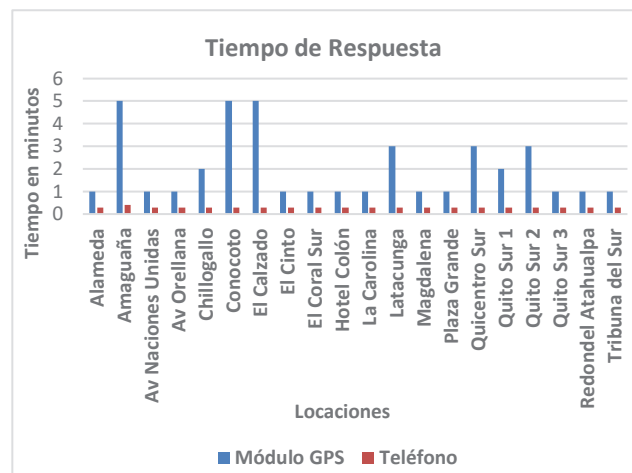
Locación	Valor Real		Valor medido módulo GPS		Valor medido teléfono	
	Lat (DD)	Long (DD)	Lat (DD)	Long (DD)	Lat (DD)	Long (DD)
Alameda	-0.216	-78.504	-0.216	-78.504	-0.220	-78.512
Amaguaña	-0.343	-78.497	-0.343	-78.497	-0.373	-78.497
Av Naciones Unidas	-0.176	-78.486	-0.176	-78.486	-0.200	-78.491
Av Orellana	-0.197	-78.490	-0.197	-78.490	-0.197	-78.490
Chillogallo	-0.279	-78.567	-0.279	-78.567	-0.279	-78.567
Conocoto	-0.308	-78.464	-0.308	-78.464	-0.308	-78.464
El Calzado	-0.255	-78.532	-0.255	-78.532	-0.255	-78.532
El Cinto	-0.248	-78.571	-0.248	-78.569	-0.248	-78.569
El Coral Sur	-0.237	-78.522	-0.237	-78.522	-0.237	-78.522
Hotel Colón	-0.207	-78.497	-0.207	-78.497	-0.207	-78.497
La Carolina	-0.187	-78.487	-0.186	-78.487	-0.187	-78.487
Latacunga	-0.926	-78.626	-0.926	-78.626	-0.925	-78.626
Magdalena	-0.242	-78.527	-0.242	-78.527	-0.242	-78.527
Plaza Grande	-0.220	-78.512	-0.221	-78.512	-0.220	-78.512
Quicentro Sur	-0.285	-78.544	-0.285	-78.544	-0.285	-78.544
Quito Sur 1	-0.261	-78.534	-0.261	-78.534	-0.261	-78.534

Quito Sur 2	-0.266	-78.544	-0.266	-78.544	-0.266	-78.544
Quito Sur 3	-0.261	-78.536	-0.261	-78.536	-0.261	-78.536
Redondel	-0.252	-78.531	-0.252	-78.531	-0.252	-78.531
Atahualpa	-0.247	-78.531	-0.247	-78.531	-0.247	-78.531
Tribuna del Sur	-0.247	-78.531	-0.247	-78.531	-0.247	-78.531

Además de las mediciones geográficas, también se registraron los tiempos de respuesta de cada ubicación utilizando tanto el dispositivo Sony Xperia AX1 como el módulo GPS. Estos tiempos pueden influir en la eficiencia y practicidad de cada herramienta en situaciones de tiempo real o aplicaciones que requieran respuestas rápidas, tal como se aprecia en la Figura 6.

Figura 6.

Tiempo de respuesta de los equipos.



Es importante mencionar que, durante la recopilación de datos, se optó por situarse lo más cerca posible de las esquinas o en el borde de las veredas. Esta estrategia fue adoptada con el objetivo de optimizar y mejorar la precisión de las mediciones.

Una vez recolectados los datos, se procedió al cálculo del error. Para ello, se utilizaron las siguientes fórmulas (1) y (2):

Error Absoluto (EA)

$$EA = |V_r - V_a| \quad (1)$$

Donde:

- V_r = es el valor real o verdadero.
- V_a = es el valor aproximado.

Error Relativo porcentual (ER%)

$$ER\% = \frac{|V_r - V_a|}{|V_r|} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

- V_r = es el valor real o verdadero.
- V_a = es el valor aproximado.

El Error Absoluto y el Error Relativo obtenidos reflejan la diferencia entre las mediciones del módulo GPS y el Sony Xperia AX1 con respecto al valor real proporcionado por Google Maps. Estos errores se presentan en la Tabla 2 bajo las columnas “EA (DD)” y “ER%”, respectivamente, donde “DD” se refiere a grados decimales.

Tabla 2

Error absoluto y relativo de Latitud y Longitud tomadas con el módulo GPS.

Locación	Lat módulo GPS		Long módulo GPS	
	EA (DD)	ER %	EA (DD)	ER %
Alameda	1.650E-04	7.635E-02	2.600E-05	3.312E-05
Amaguaña	5.000E-06	1.459E-03	4.300E-05	5.478E-05
Av Naciones Unidas	1.480E-04	8.396E-02	1.110E-04	1.414E-04
Av Orellana	9.400E-05	4.760E-02	9.000E-05	1.147E-04
Chillogallo	1.100E-05	3.943E-03	7.000E-06	8.910E-06
Conocoto	1.900E-05	6.171E-03	3.000E-06	3.823E-06
El Calzado	4.500E-05	1.763E-02	1.400E-05	1.783E-05
El Cinto	1.000E-05	4.033E-03	2.164E-03	2.754E-03
El Coral Sur	8.000E-06	3.373E-03	6.200E-05	7.896E-05
Hotel Colón	3.600E-05	1.740E-02	1.900E-05	2.420E-05
La Carolina	5.500E-05	2.948E-02	2.800E-05	3.567E-05
Latacunga	2.300E-05	2.485E-03	4.300E-05	5.469E-05
Magdalena	4.700E-05	1.944E-02	9.400E-05	1.197E-04
Plaza Grande	4.900E-05	2.222E-02	1.110E-04	1.414E-04
Quicentro Sur	1.900E-05	6.674E-03	9.000E-05	1.146E-04

Quito Sur 1	9.100E-05	3.481E-02	3.000E-05	3.820E-05
Quito Sur 2	7.400E-05	2.777E-02	6.600E-05	8.403E-05
Quito Sur 3	4.000E-05	1.531E-02	1.420E-04	1.808E-04
Redondel	5.100E-05	2.025E-02	5.200E-05	6.622E-05
Atahualpa	5.100E-05	2.025E-02	5.200E-05	6.622E-05
Tribuna del Sur	1.000E-06	4.042E-04	7.000E-06	8.914E-06

Tabla 3.

Error absoluto y relativo de Latitud y Longitud tomados con el teléfono Sony Xperia XA1.

Locación	Lat teléfono		Long teléfono	
	EA (DD)	ER %	EA (DD)	ER %
Alameda	4.341E-03	2.009E+00	7.8E-03	9.9E-03
Amaguaña	3.017E-02	8.804E+00	2.0E-05	2.5E-05
Av Naciones Unidas	2.367E-02	1.343E+01	5.0E-03	6.3E-03
Av Orellana	8.700E-05	4.406E-02	1.0E-04	1.3E-04
Chillogallo	5.500E-05	1.971E-02	2.1E-05	2.7E-05
Conocoto	2.400E-05	7.795E-03	1.3E-05	1.7E-05
El Calzado	3.100E-05	1.215E-02	2.6E-05	3.3E-05
El Cinto	5.000E-06	2.016E-03	2.2E-03	2.8E-03
El Coral Sur	2.700E-05	1.138E-02	3.8E-05	4.8E-05
Hotel Colón	9.400E-05	4.542E-02	1.1E-04	1.4E-04
La Carolina	1.400E-05	7.505E-03	4.0E-06	5.1E-06
Latacunga	8.200E-05	8.860E-03	1.0E-04	1.3E-04
Magdalena	1.200E-05	4.965E-03	8.9E-05	1.1E-04
Plaza Grande	2.500E-05	1.134E-02	1.7E-05	2.2E-05
Quicentro Sur	1.500E-05	5.269E-03	3.3E-05	4.2E-05
Quito Sur 1	4.700E-05	1.798E-02	4.2E-05	5.3E-05
Quito Sur 2	7.000E-05	2.627E-02	6.6E-05	8.4E-05
Quito Sur 3	1.400E-05	5.359E-03	7.0E-06	8.9E-06
Redondel	2.000E-06	7.942E-04	1.5E-05	1.9E-05
Atahualpa	2.000E-06	7.942E-04	1.5E-05	1.9E-05
Tribuna del Sur	3.000E-06	1.213E-03	2.5E-05	3.2E-05

4. DISCUSIÓN

4.1. Errores en Latitud

4.1.1. Módulo GPS: El error absoluto medio en las medidas de latitud es extremadamente bajo, aproximadamente 0.000050 grados. Esto es muy cercano a cero, lo que sugiere una alta precisión. Además, el error relativo medio es solo del 0.022%, lo que también indica una alta precisión.

4.1.2. GPS del Teléfono: En comparación, el error absoluto medio para el teléfono es 0.002940

grados en latitud, que es casi 59 veces mayor que el del módulo GPS. El error relativo medio es del 1.224%, que es aproximadamente 55 veces mayor que el del módulo.

4.2. Errores en Longitud

4.2.1. Módulo GPS: El error absoluto medio en las medidas de longitud es 0.000160 grados. El error relativo medio en longitud es extremadamente bajo, solo 0.0002%.

4.2.2. GPS del teléfono: El error absoluto medio en longitud para el teléfono es 0.000780 grados, que es aproximadamente 4.9 veces mayor que el del módulo. El error relativo medio es 0.001%, que es 5 veces mayor que el del módulo.

4.3. Tiempos de Respuesta del Módulo GPS: La media del tiempo de respuesta para el módulo GPS es de aproximadamente 2 minutos. Esto sugiere que, en promedio, el módulo toma este tiempo para ofrecer una medición precisa.

La desviación estándar es de 1.49 minutos, lo que indica que hay cierta variabilidad en los tiempos de respuesta, pero generalmente en un rango aceptable. Los tiempos de respuesta para el módulo GPS varían entre 1 y 5 minutos. Esto demuestra que, aunque el módulo puede ser rápido, también hay casos en los que puede tomar hasta 5 minutos ofrecer una medición.

El 25%-percentil y el 75%-percentil son 1 y 3 minutos, respectivamente. Esto sugiere que el 75% de los tiempos de respuesta se encuentran entre estos dos valores.

Tiempos de Respuesta del Teléfono: El tiempo de respuesta para el teléfono es de solo 0.3 minutos o 18 segundos. Esto es significativamente más rápido en comparación con el módulo GPS. Dado que el dispositivo móvil es capaz de ofrecer una medición en menos de un minuto, es claramente más eficiente en términos de tiempo. Este tiempo de

respuesta rápido hace que el teléfono sea ideal para aplicaciones que requieren mediciones en tiempo real.

CONCLUSIONES

Precisión de las Mediciones: El módulo GPS muestra una alta precisión en las mediciones de latitud y longitud, con errores absolutos y relativos extremadamente bajos en comparación con el dispositivo móvil Sony Xperia AX1. Esto sugiere que el módulo GPS puede proporcionar mediciones de ubicación más precisas que el teléfono.

Tiempo de respuesta: Aunque el módulo GPS es altamente preciso, su tiempo de respuesta es significativamente más largo que el del teléfono. En promedio, el módulo GPS tarda aproximadamente 2 minutos en proporcionar una medición precisa, mientras que el teléfono puede hacerlo en solo 18 segundos. Esto sugiere que, aunque el módulo GPS es más preciso, el teléfono es más eficiente en términos de tiempo.

Aplicaciones en tiempo real: Dado que el teléfono puede proporcionar mediciones en menos de un minuto, es ideal para aplicaciones que requieren mediciones en tiempo real. Aunque el módulo GPS es más preciso, su tiempo de respuesta más largo puede no ser adecuado para aplicaciones que requieren respuestas rápidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Arduino. (2023). *Language Reference*. Louisville; KY: Arduino. Recuperado el 2023, de <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- Arduino. (2023). *Libraries*. Louisville, KY.: Arduino. Obtenido de <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/>
- Axelrad, P., & Comp, P. (2008). GPS Navigation Algorithms. En P. Misra, & P. Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance* (Second ed., págs. 169-214). Ganga-Jamuna Press.
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2015). *Make: Getting Started with Arduino* (Tercera edición ed.). (B. Jepson,

- Ed.) Gravenstein Highway North, Estados Unidos: Maker Media. Recuperado el 20 de 10 de 2023, de https://www.esc19.net/cms/lib011/TX01933775/Centricity/Domain/110/make_gettingstart_edwitharduino_3rdedition.pdf
- BBC. (16 de Nov de 2019). *Cómo el GPS se volvió invaluable en sólo 3 décadas (y por qué el riesgo de una falla es tan estremecedor)*. Obtenido de BBC News: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50398099>
- Bilich, A., Larson, K. M., & Axelrad, P. (2008). Modeling GPS phase multipath with SNR: Case study from the Salar de Uyuni, Bolivia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B4), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1029/2007JB005194>
- Borgia, E. (Dec de 2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- DigitalOcean. (2023). *A happy cloud for higher education*. New York; NY: DigitalOcean. Recuperado el 2023, de <https://www.digitalocean.com/landing/do-for-higher-education>
- Edwards, L. (2023). *What is stored on a SIM card?* New York, NY: Future US, Inc. Obtenido de <https://www.techradar.com/sim-only/what-is-stored-on-a-sim-card>
- Grinberger, A. Y., Minghini, M., Juhász, L., Yeboah, G., & Mooney, P. (2022). OSM Science—The Academic Study of the OpenStreetMap Project, Data, Contributors, Community, and Applications. *International Journal of Geo-Information*, 11(4), 230-234. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ijgi11040230>
- Hegarty, C., & Kaplan, E. (Edits.). (2005). *Understanding GPS Principles and Applications* (Second ed.). Norwood (MA): Artech. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/document/9106073>
- Laghari, A., Wu, K., Laghari, R., Ali, M., & Khan, A. (2022). RETRACTED ARTICLE: A Review and State of Art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29, :1395–1413. doi:10.1007/s11831-021-09622-6
- Margolis, M., Jepson, B., & Weldin, N. R. (2020). *Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects*. (D. Baker, Ed.) 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, Estados Unidos: O'Reilly. Recuperado el 25 de 10 de 2023, de <https://dokumen.pub/arduino-cookbook-3rd-edition-9781491903520.html>
- Misra, P., & Enge, P. (2006). *Global Positioning System. Signals, Measurements, and Performance*. Lincoln, MA: Ganga-Jamuna.
- Mosquitto. (2023). *Eclipse Mosquitto™ An open source MQTT broker*. Ontario: Eclipse Foundation. Obtenido de <https://www.eclipse.org/legal/copyright.php>
- Pritpal, S., Tanjot, S., Bunil Kumar, B., & Bibhuti Bhushan, B. (2015). Advanced vehicle security system. *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, 1-6. doi:10.1109/ICIIECS.2015.7193276.
- Shilpa, V., Vidya, A., & Santosh, P. (2023). MQTT based Secure Transport Layer Communication for Mutual Authentication in IoT Network. *Global Transitions Proceedings*, 3(1), 60-66. doi:10.1016/j.gltp.2022.04.015
- ublox. (2011). *NEO-6 u-blox 6 GPS Modules*. Zürich, Switzerland: u-blox. Recuperado el Septiembre de 2023, de <https://www.waveshare.com/w/upload/2/2c/NEO-6-DataSheet.pdf>
- Ware, R. H., Fulker, D. W., Stein, S. A., Anderson, D. N., Avery, S. K., Clark, R. D., . . . Sorooshian, S. (2001). Real-time national GPS networks for atmospheric sensing. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 63(12), 1315-1330. doi:[https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(00\)00250-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(00)00250-9)
- Wong, K. (2021). *Buiding a Ha Mqtt Brokerage Solution using Mosquitto*. Kampar, Perak, Malaysia: Universiti Tunku Abdul Rahman. Recuperado el 2023, de http://eprints.utar.edu.my/4293/1/19ACB00582_FYP.pdf