

SISTEMA DE LOCALIZACIÓN EN RED MEDIANTE LA TRIANGULACIÓN DE ANTENAS

Edison Mañay
edmanay@espe.edu.ec
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Vilmer Criollo
vilmer.criollo@itq.edu.ec
Instituto Técnico Quito

Mauricio Chilibingua
mdchilibingua@espe.edu.ec
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Recibido: 23/11/21
Aceptado: 16/12/21
Publicado: 01/01/22

RESUMEN

El presente artículo expone la metodología de diseño de un sistema de localización, mediante la triangulación de ondas que emiten las estaciones de antenas base (BTS). El dispositivo electrónico recepta el código de área, celda y la potencia de la señal receptada de las antenas GSM de: CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT EP. A través de un dominio, se envía la información receptada mediante el método GET al servidor web por la red 2.5G-GPRS. Para el proceso matemático, se realizan las consultas en la base de datos del servidor web con los códigos de área y celda, para obtener la ubicación y potencia de las antenas base desplegadas en la localidad por las operadoras. Se calcula el valor de la atenuación en el medio (dB) para obtener la distancia de las antenas base respecto al dispositivo con el modelo matemático de Okumura-Hata; luego, se obtiene el radio de cobertura y, finalmente, se realiza el cálculo de la latitud y longitud con el método de triangulación para conseguir la localización del dispositivo. La ubicación se visualiza en una interfaz gráfica en la web, en donde se encuentra el mapa de Google con un indicador en tiempo real, la precisión lograda con el proyecto desarrollado fue de 34 metros, con un error del 1.7% en zonas urbanas y 32% en áreas rurales.

PALABRAS CLAVE: triangulación de antenas, LBS, GSM, GPRS, servidor web.

LOCALIZATION SYSTEM IN NETWORK USING ANTENNA TRIANGULATION**ABSTRACT**

This article presents the design methodology of a location system using the triangulation of waves emitted by the base station antennas (BTS). The electronic device receives the area code, cell and signal power received from the GSM antennas of: CONECEL S.A., OTECEL S.A. and CNT EP. Through a domain, the received information is sent by GET method to the web server through the 2.5G-GPRS network. For the mathematical process, queries are made in the web server database with the area and cell codes, to obtain the location and power of the base antennas deployed in the locality by the operators. The value of the attenuation in the medium (dB) is calculated to obtain the distance of the base antennas with respect to the device with the Okumura-Hata mathematical model; then, the coverage radius is obtained and, finally, the latitude and longitude are calculated with the triangulation method to obtain the location of the device. The location is displayed on a graphical interface on the web, where the Google map is found with a real-time indicator, the accuracy achieved with the developed project was 34 meters, with an error of 1.7% in urban areas and 32% in rural areas.

KEYWORDS: antenna triangulation, LBS, GSM, GPRS, web server.

1. INTRODUCCIÓN

En el país existe un aumento sustancial del parque automotor. Es por ello que surge la necesidad de conocer su ubicación, ya sea por seguridad en caso de robo, por control y monitoreo de transporte en el caso de empresas o rastreo de objetos de valor (Astudillo León et al., 2012).

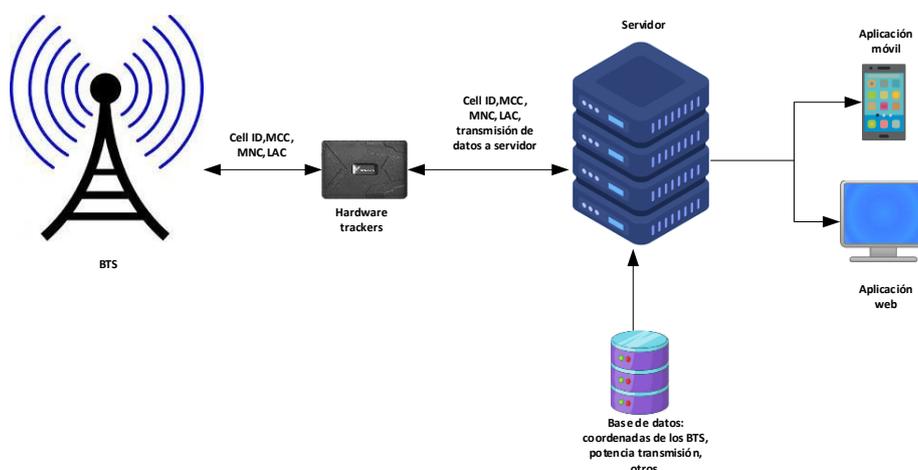
Los sistemas de localización, se clasifican según el lugar de usabilidad para ambientes internos y externos, como el Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés más conocido como GPS. Este se encuentra en la mayor parte de dispositivos, pero tiene falencias cuando se ubica en lugares internos. Por eso se evalúan sistemas de localización para ambientes internos mediante la recepción de señales de radiofrecuencia de las antenas del Sistema Global de comunicaciones Móviles, GSM (Cruz, 2014).

La plataforma Navixy expone la tecnología de Servicios Basados en Localización, LBS. Esta consiste en establecer la ubicación de un objeto sin emplear los servicios de posicionamiento satelital como GPS, GLONASS o Beidou (Navixy, 2021). La empresa Anovo explica que el sistema de geolocalización LBS destaca la posibilidad de localizar el dispositivo, aunque se encuentre en interiores. Para su funcionamiento, utiliza la red de telefonía móvil GSM/GPRS (Anovo, 2019).

Los módulos GSM habilitados, se comunican con las Estaciones de Transmisión Base más próximas. A medida que se alejan y atenúan las señales receptadas, se cambian de antena. Para obtener la ubicación, el dispositivo recepta los datos de los BTS como el código de área (LAC) y el código de celda (CID), que luego se envían a un servidor web, para verificar con el directorio de bases de datos del servidor, para finalmente obtener la localización del objeto mediante cálculos matemáticos (Navixy, 2021). En la Figura 1, se presenta el esquema general de comunicación LBS.

Figura 1

Comunicación de Servicios Basados en Localización, LBS.



Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

Mañay, E., Criollo, V., Chiliquinga, M. (2022). *Sistema de localización en red mediante la triangulación de antenas*. Revista Cotopaxi Tech, 2(1), pp. 42-55.

<http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/55>

Enero - junio (2022)

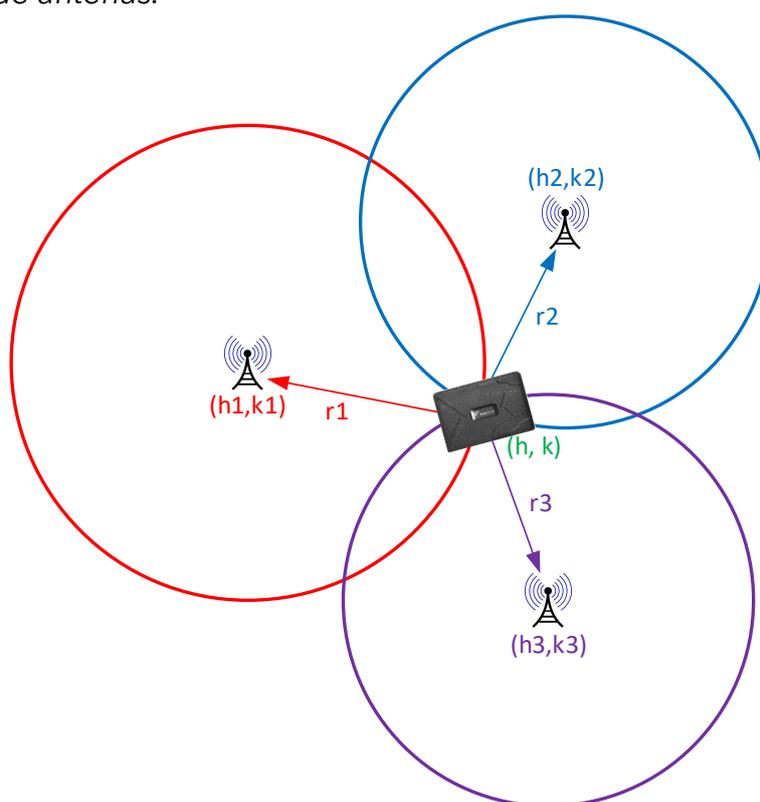
ISSN 2806-5573

La precisión del sistema, depende de la cantidad de estaciones de transmisión GSM. En ciudades y áreas pobladas, la precisión puede ser de hasta 50-1000 metros (Navixy, 2021), mientras que, en zonas suburbanas puede llegar de 2 -10 kilómetros (Fernández et al., 2016). La triangulación emplea modelos matemáticos para obtener la localización, para lo cual, el dispositivo con tecnología GSM, recepta la intensidad de la señal RSSI, el código de área LAC y código de celda CID.

Este método se basa en el uso de varios puntos de acceso (con un mínimo de tres), para realizar la localización del objeto o persona (Lladós, 2010). En la Figura 2, se presenta un esquema de la triangulación de las antenas.

Figura 2

Triangulación de antenas.



Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

Presupuesto de enlace (*link budget*)

Según Aguilar Zavaleta (2020), el presupuesto de enlace son todos los factores de ganancia y pérdida existentes en un enlace de comunicación desde el equipo transmisor, pasando por el medio de propagación hasta el equipo receptor.

El presupuesto de enlace inalámbrico de red, según Mora Jordán (2021), se puede expresar como:

$$PL = P_T - A_{CT} + G_T - A_{CR} + G_R - P_R \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: P_R : potencia del receptor (dbm), P_T : potencia del transmisor (dbm), A_{CT}, A_{CR} : pérdidas por conectores (db), PL : Presupuesto de enlace (db), G_T, G_R : ganancia de antenas en el transmisor y receptor (dbi).

Método de Propagación de radio: Modelo de Okumura-Hata

Es un modelo matemático para calcular la propagación de las ondas de radio en rango de frecuencias bajas. En la ecuación 2, se presenta la expresión para calcular la pérdida de propagación (PL) para un medio urbano (Aguilar Zavaleta, (2020) y López de Tejada, (2018)).

$$PL = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - A(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde: pérdidas de propagación (dB) (PL), frecuencia de operación (MHz) (f), elevación de central [30m - 300m] h_b , elevación del terminal [1m-10m] (h_m), distancia (Km) (d).

$A(h_m)$ es definida por la ecuación Aguilar Zavaleta (2020):

$$A(h_m) = 3.2[\log_{10}(11.75h_m)]^2 - 4.97 \quad f \geq 400 \text{ MHz} \quad \text{Ecuación 3}$$

Técnica de triangulación

Cruz (2014) utiliza las propiedades de los triángulos para determinar la localización de dispositivos. Calcula la posición del objeto midiendo su distancia a puntos de referencia cuyas posiciones son conocidas.

Modelo matemático cálculo de coordenadas del dispositivo móvil

Para obtener la distancia de propagación de la señal, se aplica la ecuación 2 de Okumura-Hata, se convierte la distancia en grados para obtener el radio (Mora Jordán, 2021).

$$r = \frac{d}{111.111} \quad \text{Ecuación 4}$$

Para calcular las coordenadas del dispositivo móvil, mediante las distancias entre el dispositivo de destino y las estaciones de transmisión base de referencia, la posición de los BTS de referencia debe ser conocida (Bouajaja, 2015). En la Figura 2, se puede observar el esquema de localización en dos dimensiones. La posición del dispositivo móvil de destino se puede estimar a partir de la siguiente ecuación (Mora Jordán, 2021):

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = r^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS / MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el presente estudio, se utilizó la metodología de investigación aplicada y descriptiva. Los estudios de carácter aplicativo, en el campo de la investigación y el desarrollo tecnológico de prototipos, se realizan con los microcontroladores Arduino. Estos disponen de puertos de comunicación, pines

Mañay, E., Criollo, V., Chilibingua, M. (2022). *Sistema de localización en red mediante la triangulación de antenas*. Revista Cotopaxi Tech, 2(1), pp. 42-55.

<http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/55>

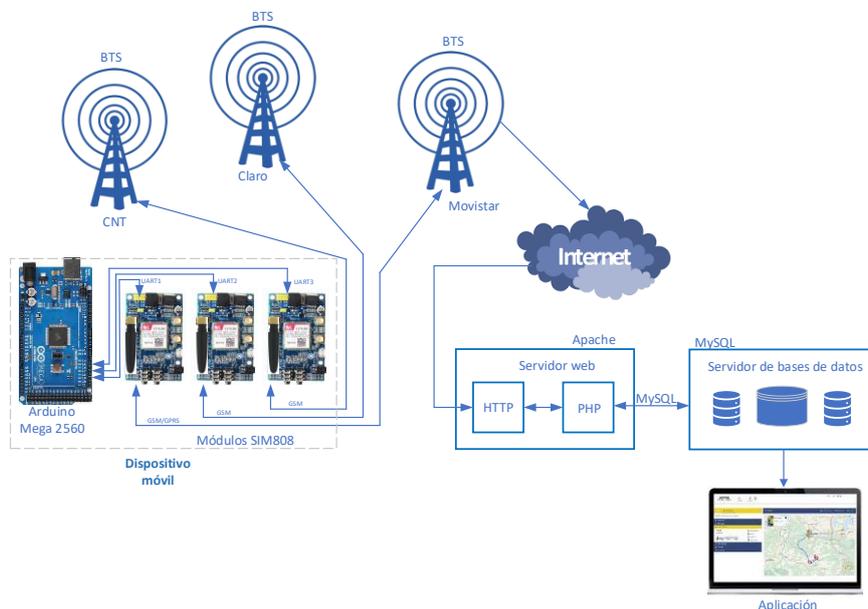
Enero - junio (2022)

ISSN 2806-5573

analógicos y digitales. También existe una amplia gama de módulos y sensores que se adaptan a la placa electrónica. Su costo es mínimo y se puede adquirir en el mercado nacional. Es por ello que se utilizó el microcontrolador Arduino Mega 2560 y módulos GSM/GPRS- SIM808. La arquitectura del sistema de localización LBS desarrollado, se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Arquitectura de comunicación.



Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

Igualmente, los softwares son herramientas esenciales que deben cumplir con las especificaciones y funcionalidades específicas para llevar a cabo el proyecto. Los softwares utilizados se listan a continuación:

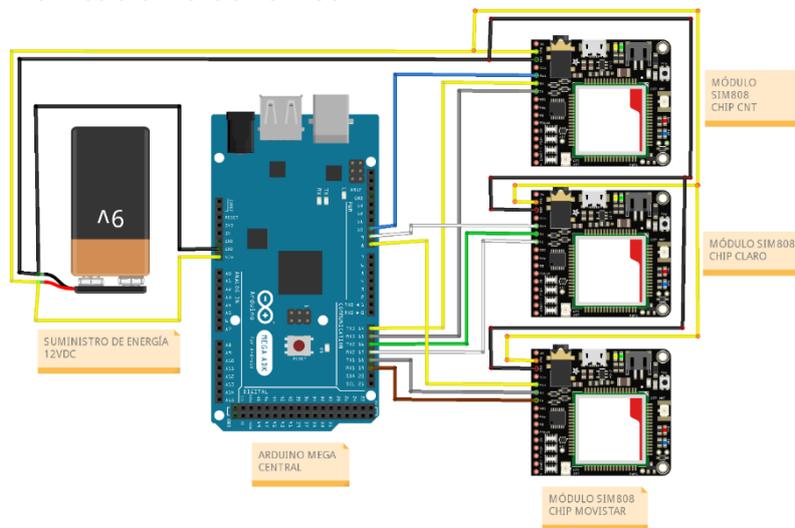
- XAMPP para Windows 10
- Visual Studio Code
- Laravel framework 8.1
- Composer 2.2
- Arduino IDE 2.0.0
- Api Google Maps

Diseño eléctrico/electrónico

La alimentación eléctrica del dispositivo móvil, acepta un rango de voltaje de 5 a 12VDC con una corriente continua de 2A. La comunicación entre los módulos GSM/GPRS-SIM808 con el Arduino, se da mediante los terminales seriales dispuestos en la placa. El dispositivo electrónico es el que interactúa con la plataforma digital (aplicación web) en donde se puede visualizar la localización del dispositivo a localizar. En la Figura 4, se presenta el modelo electrónico.

Figura 4

Modelo de comunicación electrónico.



Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

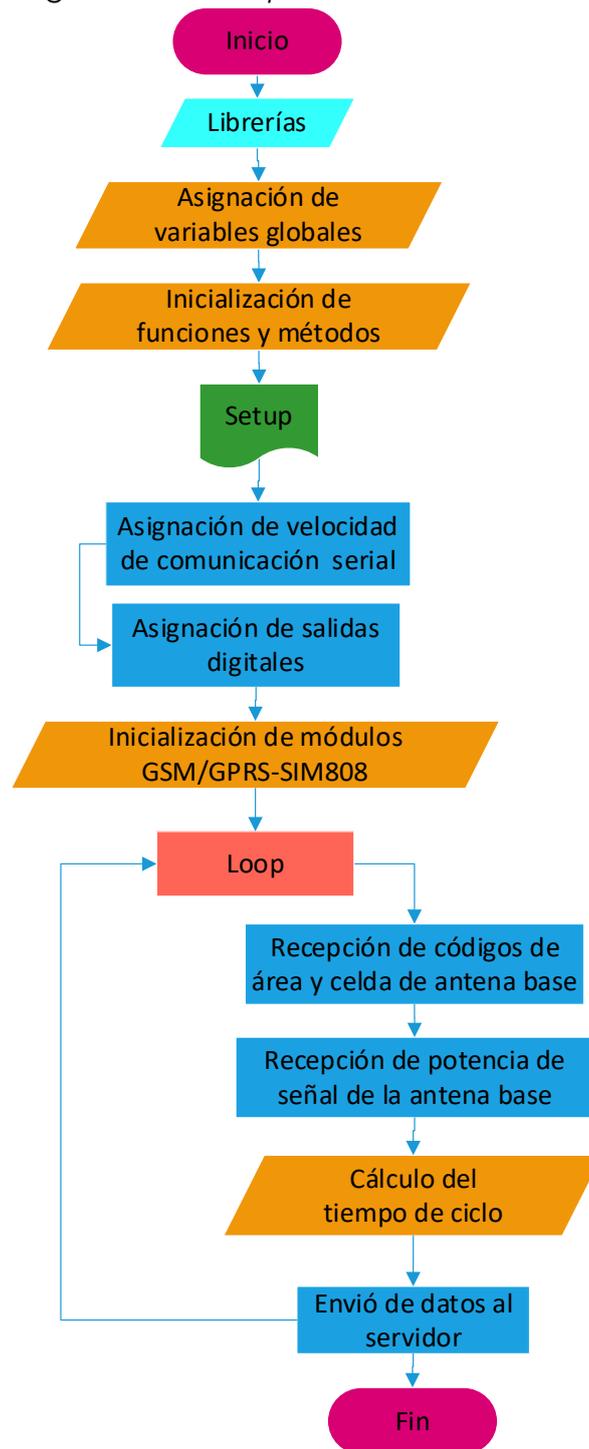
Algoritmo del dispositivo electrónico

Para adquirir los códigos de área, celda y potencia de señal receptada de los BTS, se desarrolló un algoritmo que se compila y se carga en el Arduino, para realizar consultas a cada uno de los módulos GSM/GPRS-SIM808 mediante códigos AT que se encuentra conectados a las antenas de las operadoras OTECEL S.A-Movistar, CONECEL S.A-Claro y CNT EP por medio de la red GSM.

En la Figura 5, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo desarrollado que controla al dispositivo electrónico.

Figura 5

Diagrama de flujo del algoritmo del dispositivo electrónico.



Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

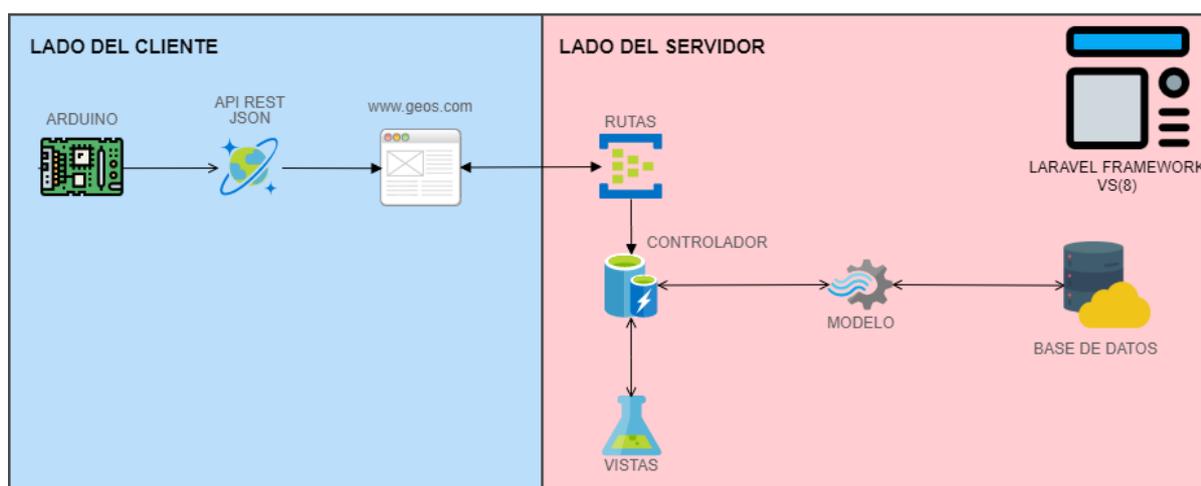
Para enviar la información hacia la plataforma web <http://geos.personotechnology.com>, desde el dispositivo móvil, se habilita el GPRS del módulo SIM808-Movistar.

Desarrollo de la aplicación web

La estructura de la plataforma web, se basa en la arquitectura cliente/servidor. El cliente es el dispositivo móvil constituido por el Arduino Mega 2560 y los módulos GSM/GPRS-SIM808; el servidor consta con la lógica de programación de la plataforma web: se gestiona las vistas, rutas (URL), base de datos en donde se encuentra la información requerida para realizar el cálculo de triangulación, modelo, tablas de datos y el controlado que procesa las funcionalidades del sistema. En la Figura 6, se presenta la arquitectura implementada en la plataforma web.

Figura 6

Diseño de la arquitectura web.



Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

Modelo del algoritmo interno

Se realiza la recepción de los datos que llegan del dispositivo móvil como: código de área, celda y potencia de la señal recibida de cada una de las operadoras: OTECEL S.A-Movistar, CONECEL S.A-Claro y CNT EP. Con los códigos de área y celda, se compara con la base de datos para identificar a la antena de transmisión base y obtener la ubicación. Luego, se realiza cálculos de presupuesto de enlace *link budget* por medio de la ecuación 1, con el objetivo de obtener la tasa de propagación en dB. Seguido, con la ecuación 2 de Okumura-Hata, se obtiene la distancia de propagación de la señal y se obtiene el radio de cobertura con la ecuación 4. Finalmente, se procede a calcular la ubicación del dispositivo móvil con la ecuación 5, que es un modelo general. A continuación, se presenta la convergencia de las 3 antenas para la triangulación.

- | | |
|----------------------------------------|------------|
| 1) $(x - h_1)^2 + (y - k_1)^2 = r_1^2$ | Ecuación 6 |
| 2) $(x - h_2)^2 + (y - k_2)^2 = r_2^2$ | Ecuación 7 |
| 3) $(x - h_3)^2 + (y - k_3)^2 = r_3^2$ | Ecuación 8 |

Se resta la ecuación 8 multiplicada por 2, a la ecuación 6 y 7, para obtener la ecuación 9 (Mora Jordán, 2021).

$$\begin{aligned} x^2 - 2xh_1 + y^2 - 2yk_1 + (h_1^2 + k_1^2 - r_1^2) &= 0 \\ x^2 - 2xh_2 + y^2 - 2yk_2 + (h_2^2 + k_2^2 - r_2^2) &= 0 \\ -2x^2 + 4xh_3 - 2y^2 + 4yk_3 - 2(h_3^2 + k_3^2 - r_3^2) &= 0 \end{aligned}$$

$$(-2h_1 - 2h_2 + 4h_3)x + (-2k_1 - 2k_2 + 4k_3)y + (h_1^2 + k_1^2 - r_1^2 + h_2^2 + k_2^2 - r_2^2 - 2h_3^2 - 2k_3^2 + 2r_3^2) = 0$$

Ecuación 9

Se despeja las variables x e y, de la ecuación 9 y se sustituye en la ecuación 6 y 7, generando las ecuaciones 10 y 12. Para obtener la latitud se aplica la ecuación 11 y para la longitud se aplica la ecuación 13.

$$\left(\frac{(2k_1 + 2k_2 - 4k_3)}{(-2h_1 - 2h_2 + 4h_3)}y - \left(\frac{(h_1^2 + k_1^2 - r_1^2 + h_2^2 + k_2^2 - r_2^2 - 2h_3^2 - 2k_3^2 + 2r_3^2)}{(-2h_1 - 2h_2 + 4h_3)} + h_1 \right) \right)^2 + (y - k_1)^2 - r_1^2 = 0$$

Ecuación 10

$$\begin{aligned} ec_1 &= \frac{(2k_1 + 2k_2 - 4k_3)}{(-2h_1 - 2h_2 + 4h_3)} \\ ec_2 &= \left(\frac{(h_1^2 + k_1^2 - r_1^2 + h_2^2 + k_2^2 - r_2^2 - 2h_3^2 - 2k_3^2 + 2r_3^2)}{(-2h_1 - 2h_2 + 4h_3)} + h_1 \right) \\ (ec_1y - ec_2)^2 + (y - k_1)^2 - r_1^2 &= 0 \\ ec_1^2y^2 - 2ec_1ec_2y + ec_2^2 + y^2 - 2k_1y + k_1^2 - r_1^2 &= 0 \\ (ec_1^2 + 1)y^2 - (2ec_1ec_2 + 2k_1)y + (ec_2^2 + k_1^2 - r_1^2) &= 0 \\ f_{a1} &= (ec_1^2 + 1) \\ f_{b1} &= -(2ec_1ec_2 + 2k_1) \\ f_{c1} &= (ec_2^2 + k_1^2 - r_1^2) \\ lat &= \frac{-f_{b1} \pm \sqrt{(f_{b1}^2 - 4f_{a1}f_{c1})}}{2f_{a1}} \end{aligned}$$

Ecuación 11

$$(x - h_2)^2 + \left(\frac{(2h_1 + 2h_2 - 4h_3)}{(-2k_1 - 2k_2 + 4k_3)}x - \left(\frac{(h_1^2 + k_1^2 - r_1^2 + h_2^2 + k_2^2 - r_2^2 - 2h_3^2 - 2k_3^2 + 2r_3^2)}{(-2k_1 - 2k_2 + 4k_3)} + k_2 \right) \right)^2 - r_2^2 = 0$$

Ecuación 12

$$\begin{aligned} ec_{12} &= \frac{(2h_1 + 2h_2 - 4h_3)}{(-2k_1 - 2k_2 + 4k_3)} \\ ec_{22} &= \left(\frac{(h_1^2 + k_1^2 - r_1^2 + h_2^2 + k_2^2 - r_2^2 - 2h_3^2 - 2k_3^2 + 2r_3^2)}{(-2k_1 - 2k_2 + 4k_3)} + k_2 \right) \\ (x - h_2)^2 + (ec_{12}x - ec_{22})^2 - r_2^2 &= 0 \\ x^2 - 2h_2x + h_2^2 + ec_{12}^2x^2 - 2ec_{12}ec_{22}x + ec_{22}^2 - r_2^2 &= 0 \\ (ec_{12}^2 + 1)x^2 - (2ec_{12}ec_{22} + 2h_2)x + (ec_{22}^2 + h_2^2 - r_2^2) &= 0 \\ f_{a2} &= (ec_{12}^2 + 1) \\ f_{b2} &= -(2ec_{12}ec_{22} + 2h_2) \\ f_{c2} &= (ec_{22}^2 + h_2^2 - r_2^2) \\ lon &= \frac{-f_{b2} \pm \sqrt{(f_{b2}^2 - 4f_{a2}f_{c2})}}{2f_{a2}} \end{aligned}$$

Ecuación 13

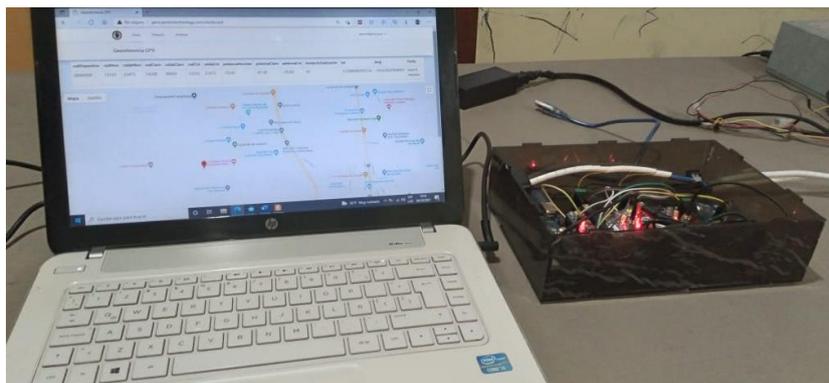
Para visualizar las coordenadas de latitud y longitud calculadas, se despliega una API de Google Maps en la plataforma web. También, se visualiza un indicador en tiempo real de la ubicación, que muestra los datos receptados del dispositivo móvil, historial de las rutas realizadas y la información en la base de datos de las antenas de transmisión GSM desplegadas en el país.

3. RESULTADOS

En las pruebas, el dispositivo se ubicó en un lugar específico. En la Figura 7, se visualiza la ubicación del dispositivo y los datos receptados. En la Figura 8, se muestra el historial de las rutas realizadas.

Figura 7

Ubicación del dispositivo móvil.



Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

Figura 8

Registros históricos de las rutas realizadas.

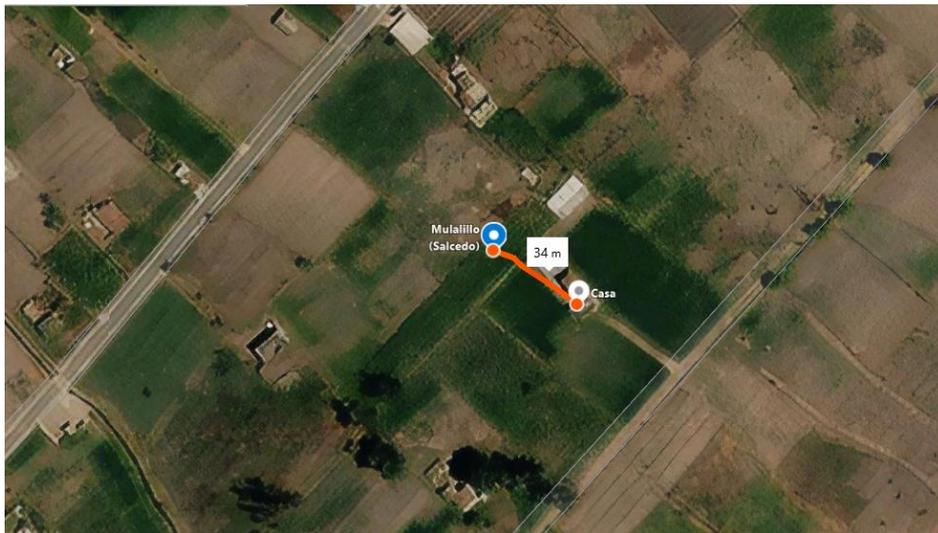
codDispositivo	codMovi	celdaMovi	codClaro	celdaClaro	codCnt	celdaCnt	potenciaMovistar	potenciaClaro	potenciaCnt	tiempoActualizacion	lat	long	Fecha
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-85.00	-83.00	-83.00	43	-1.049809720156	-78.633540521324	hace 23 segundos
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-87.00	-83.00	-85.00	51	-1.049790195446	-78.633530464704	hace 1 minuto
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-85.00	-83.00	-85.00	43	-1.0497803631473	-78.633510980498	hace 1 minuto
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-85.00	-83.00	-85.00	50	-1.0497803631473	-78.633510980498	hace 2 minutos
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-85.00	-83.00	-85.00	44	-1.0497803631473	-78.633510980498	hace 3 minutos
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-85.00	-83.00	-85.00	50	-1.0497803631473	-78.633510980498	hace 4 minutos
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-87.00	-83.00	-85.00	43	-1.049790195446	-78.633530464704	hace 5 minutos
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-87.00	-83.00	-85.00	51	-1.049790195446	-78.633530464704	hace 5 minutos
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-83.00	-83.00	-85.00	43	-1.0497728892879	-78.633496209943	hace 6 minutos
18000000	11010	22488	14168	48132	11010	22488	-81.00	-83.00	-85.00	51	-1.0497672119935	-78.633485012737	hace 7 minutos

Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

La tecnología de servicios basados en localización LBS, permite determinar la ubicación del dispositivo, aunque se encuentre en partes internas de edificaciones. Para el funcionamiento utiliza una red GSM, el dispositivo recepta los datos de una estación base como: ID de celda, código de área LAC, potencia de la señal receptada; estos datos se envían por la red GPRS para su verificación con el directorio de bases de datos del servidor, para obtener la localización del objeto mediante triangulación de antenas a través de cálculos matemáticos. El dispositivo móvil implementado recopila información en intervalos de 45 segundos. El error de precisión fue de 34 metros, respecto a la ubicación referente de Google Maps. El error porcentual obtenido en área poblada es del 1.7% y en zona suburbana es del 32%. En la Figura 9, se puede observar la precisión del ejercicio.

Figura 9

Resultados del ejercicio.



Fuente: Elaborado por los autores, 2021.

4. DISCUSIÓN

La precisión del sistema, depende de la cantidad de estaciones de transmisión GSM desplegadas en el país. En ciudades y áreas pobladas, la precisión puede ser de hasta 50-1000 metros, mientras que, en zonas suburbanas puede llegar de 2 -10 kilómetros (Fernández et al., 2016). En la presente investigación se logró una precisión de 34 metros. También, la tecnología de servicios basados en localización LBS permitió determinar la ubicación del dispositivo móvil sin emplear los servicios de posicionamiento satelital estándar, de manera que los costos de implementación de sistemas de rastreo y/o posicionamiento son mínimos. Para crear la aplicación web, es necesario obtener una base de datos de las antenas desplegadas en el país y poseer conocimiento en programación de lenguajes como: PHP (servidor), JavaScript(cliente); en la parte eléctrica, se debe contar con conocimientos de electrónica básica y programación de microcontroladores, como también de matemáticas para los cálculos de triangulación. En definitiva, para crear

aplicaciones o prototipos se puede trabajar conjuntamente con la academia, ya que se requiere de conocimientos fundamentales de programación y electrónica.

5. CONCLUSIONES / CONSIDERACIONES FINALES

Con el sistema de localización LBS en una red GSM mediante la triangulación de antenas implementado se logró una precisión de 34 metros, con respecto a la ubicación real de Google Maps.

El error de precisión de localización en una zona urbana fue de 1.7%, mientras que el error en una zona rural fue del 32%, comparados con la ubicación real generada por Google Maps. El sistema de localización LBS, fue implementada con tecnologías disponibles en el medio, logrando la visualización de la localización mediante la obtención de latitud y longitud en tiempo real.

Una de las vicisitudes, que se encontró en el proyecto, fue la obtención de la base de datos de las antenas base BTS desplegadas en el país, pues, a nivel nacional, no se dispone de ningún registro público de estas.

6. REFERENCIAS

Aguilar Zavaleta, S. (2020). *Diseño de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) empleando Lorawan para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú*. (repositorio.utp.edu.pe): [Tesis de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2946>

Anovo. (2019). *La geolocalización en un smartwatch para niños*. Obtenido de Anovo: <https://www.anovo.es/la-geolocalizacion-en-un-smartwatch-para-ninos/>

Astudillo León, J. P., & Delgado Tello, E. G. (2012). *Sistema de localización monitoreo y control vehicular basado en los protocolos GPS/GSM/GPRS*. Cuenca. [Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana]. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1927>

Bouajaja Jaddi, R. (2015). *Sistema de Posicionamiento en interiores Localización de objetos mediante RFID*. Barcelona: [Tesis de Ingeniería, Universidad Pompeu Fabra]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10230/25279>

Cruz, O. (2014). *Navegación y Localización virtual 3D en dispositivos móviles [en línea]*. Huajuapán de León: [Tesis de Ingeniería, Universidad Tecnológica de la Mixteca].

Fernández, J. A. G., Navarro, M. F., & Navas, A. J. (2016). *Técnicas avanzadas de geolocalización en redes UMTS*. [Doctoral dissertation, Universidad de Málaga]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10630/14133>

Mañay, E., Criollo, V., Chilibingua, M. (2022). *Sistema de localización en red mediante la triangulación de antenas*. Revista Cotopaxi Tech, 2(1), pp. 42-55.
<http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/55>
Enero - junio (2022)
ISSN 2806-5573

- Lladós Segura, J. (2010). *Sistema de auto localización a partir de una red WIFI*. [Tesis de Ingeniería, Universidad de Lleida]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10459.1/45748>
- López de Tejada Irizo, P. J. (2018). *Estudio de cobertura de una red de sensores inalámbricos usando distintos tipos de antenas*. (idus.us.es). Sevilla: [Tesis de Ingeniería, Universidad de Sevilla. Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones]. (www.etsi.us.es)
- Mora Jordán, F. G. (2021). *Sistema de tracking en competencias atléticas mediante posicionamiento global asistido*. (repositorio.uta.edu.ec). Ambato: [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones]. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32314>
- Navixy. (2021). *Localización LBS: Posicionamiento por GSM y WiFi*. Obtenido de Navixy: <https://www.navixy.com/es/docs/academy/location-services/lbs-cell-id-y-wps/>