

Placa de desarrollo LILYGO TTGO SIM7600G-H R2 ESP32 como dispositivo localizador GPS

Development board LILYGO TTGO SIM7600G-H R2 ESP32 as a location GPS device

Miguel A. Hernández-Cruz^a, Omar Samperio Vázquez^b, Juan-Carlos González Islas^c, Kristian Freyri Maya Gress^d, Rodolfo Vergara-Hernández^e

Abstract:

The Global Positioning System (GPS) is a high-precision satellite-based technology widely employed for the localization of ground and aerial vehicles, as well as for personal tracking. Its adoption has expanded significantly across both military and civilian domains, with civilian applications representing the majority of current usage. A broad range of GPS-enabled devices is available on the market, facilitating diverse implementations. This work presents the development of a real-time GPS localization system using the LILYGO TTGO SIM7600G-H development board. The proposed solution integrates a remote on-off control mechanism via digital I/O pins, along with analog sensor state monitoring. Communication between the user and the device is established through SMS messages sent from a mobile phone, enabling both remote control and real-time geolocation. The device's position is visualized through Google Maps, providing an intuitive interface for tracking and monitoring.

Keywords:

GPS, positioning, location, analogic, digital

Resumen:

El sistema de posicionamiento global (GPS) de alta precisión constituye una herramienta fundamental para la localización de vehículos terrestres y aéreos, así como para el rastreo de personas. Actualmente, su uso se ha extendido significativamente tanto en aplicaciones militares como civiles, siendo estas últimas las que presentan una mayor adopción. En el mercado existe una amplia diversidad de dispositivos que integran esta tecnología, lo que ha facilitado su implementación en múltiples contextos. En el presente trabajo se propone el desarrollo de un sistema de geolocalización en tiempo real basado en tecnología GPS, utilizando la placa de desarrollo LILYGO TTGO SIM7600G-H. La solución incluye una aplicación que permite el control remoto tipo on-off mediante el uso de pines digitales, así como la lectura del estado de sensores analógicos. La comunicación entre el usuario y el dispositivo se realiza a través de mensajes de texto enviados desde un teléfono móvil, lo que además posibilita la visualización de la ubicación del dispositivo mediante la plataforma Google Maps.

Palabras Clave:

GPS, Posicionamiento, Localización, LILYGO, Digital

^b Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | ICB | Área Académica de Computación y Electrónica | México, <https://orcid.org/0009-0008-3417-0100>, Email: omarsamvaz@uach.edu.mx

^{a,c,d,e} Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | ICB | Área Académica de Computación y Electrónica | México, <https://orcid.org/0009-0005-9362-0595>, <https://orcid.org/0000-0002-2190-0660>, <https://orcid.org/0000-0001-8425-0960>, <https://orcid.org/0000-0002-4654-4826>, Email: mhernandezc0302@gmail.com, [\(juan_gonzalez7024, kristian_maya10493, ve138668\)@uach.edu.mx](mailto:(juan_gonzalez7024, kristian_maya10493, ve138668)@uach.edu.mx)

Introducción

Sistema GPS

El sistema GPS está constituido por 3 segmentos fundamentales: **Espacial**: está compuesto por la constelación de satélites que orbitan alrededor de la tierra los cuales transmiten señales de radio que contienen información de la hora, posición, ubicación precisa de cada satélite. La constelación está diseñada para que al menos haya 4 satélites visibles desde cualquier punto de la tierra en cualquier momento.

De control: Está constituido por estaciones terrestres de monitoreo y control de los satélites, rastreando su posición, actualizando datos y ajustando su reloj. Las estaciones principales se encuentran en Hawái, Colorado Springs, Islas de Ascensión, Diego García y Kwajalein.

De usuario: Está compuesto por los receptores que usan los usuarios para procesar las señales de los satélites.[3]

La operatividad del sistema no implica un compromiso legal del gobierno de Estados Unidos. Por lo tanto, la carta cartográfica del departamento de defensa, NIMA (National Imagery and Mapping Agency) puede modificar su funcionamiento sin previo aviso alterando el mensaje de navegación, degradando la navegación [8][23].

El uso civil de GPS ha sobrepasado el uso militar convirtiéndose en servicio público de gran importancia usado en diferentes aplicaciones como son navegación, agricultura, gestión de flotas, seguridad pública, topografía, cartografía y sincronización de horario [17].

En el ámbito civil el sistema GPS es usado para la localización de vehículos particulares y de carga, permitiendo dar seguimiento, evitar robos y mejorar la eficiencia de las flotas[18][19], además gestiona los diferentes dispositivos que hacen funcionar el vehículo como, cantidad de gasolina, temperatura de motor, presión de aceite, voltaje de la batería, encendido de auto, entre otros, en temas de seguridad urbana es usado el posicionamiento preciso del dispositivo para ubicar siniestros y dar mejor servicio al entorno urbano[20][21], en el ámbito de localización de personas, permite su ubicación rápida en caso de accidente apoyando a los servicios de emergencia, en actividades al aire libre como el ciclismo o caza permite dar seguimiento a sus rutas, en aeronáutica es muy usado en la navegación aérea [9].

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de localización usando la placa de desarrollo LLILY GO-7600G-H y usando el entorno de desarrollo Arduino como medio de programación, con el propósito de realizar el proceso sencillo y práctico, cabe mencionar que el entorno Arduino es una manera fácil de programar además de aplicar a sistemas más complejos como es el desarrollo del GPS [1].

En el mercado existen otros tipos de dispositivos que buscan una Localización,[12][13][14][15][16] integran el

mismo principio solo que usan como microcontrolador un Arduino, otro caso [10] que investiga la viabilidad de utilizar sistemas de comunicación basados en LoRa para el seguimiento de la ubicación en tiempo real y la señalización bidireccional en ejercicios de simulación militar. La tecnología LoRa (Long Range) ofrece una solución de comunicación de baja potencia y largo alcance hasta 15 Km, sin embargo, tiene una limitante las distancias mayores a 15 km, a diferencia de la propuesta presentada en este proyecto que la distancia no es el límite. Tenemos otro caso que describe [11], Este rastreador para vehículos eléctricos consta de varios componentes, como ESP 32, SIM7000G, GPS Neo 8 y antena. En realidad, este sistema será monitoreado a través de aplicaciones inteligentes de rastreo GPS móvil utilizando la conectividad a Internet desde el módulo GSM [24]. Sin embargo, el trabajo presentado en este trabajo tiene funciones distintas a la de solo localización

El creciente uso de sistemas de posicionamiento en aplicaciones civiles exige soluciones de localización en tiempo real que sean precisas, confiables y energéticamente eficientes. Sin embargo, muchos dispositivos comerciales presentan limitaciones en cobertura, consumo energético y adaptabilidad a distintos entornos. Ante esta necesidad, se propone el desarrollo de un sistema de localización basado en la placa LILYGO SIM7600G-H, que integra conectividad 4G, GPS y capacidades de bajo consumo. El reto consiste en validar su desempeño mediante pruebas en campo, evaluando la precisión de ubicación, la estabilidad de la señal y el consumo energético en escenarios reales.

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de un sistema de localización en tiempo real, para uso en transporte particular y transporte de carga, los cuales en la vida actual requiere de conocer su ubicación precisa.

Preliminares

En esta sección se hace un recuento de las herramientas necesarias para la creación del geo localizador propuesto de este trabajo

Placa de desarrollo LILYGO 7600G-H

La placa de desarrollo LILYGO 7600G-H Fig.1. fabricado por la compañía del mismo nombre, es un dispositivo que mezcla una tarjeta SIM7600G junto con un poderoso microcontrolador ESP32, haciéndola versátil para aplicaciones de IoT, automatización industrial y domótica.

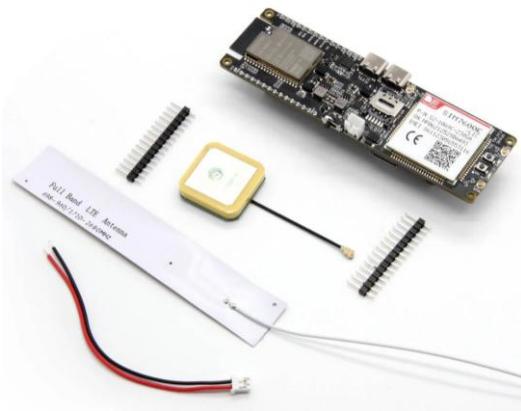


Figura 1. Placa de desarrollo LYLIGO SIM7600G-H y accesorios, antena GSM y Antena GPS.

Las características de la tarjeta ESP32 permite ser programada por diferentes IDE de usuario entre los cuales se encuentran, Micro Python, Arduino y C/C++, siendo el segundo el preferido por los usuarios, por su versatilidad, diferentes librerías fáciles de usar, y código abierto.

El módulo 7600G-H es un módulo de comunicación inalámbrica 4G que ofrece velocidad de transferencia de datos de hasta 150Mbps, además de capacidades de posicionamiento GNSS (sistema global de navegación por satélite) GPS, BeiDou, GLONASS, compatible con banda LTE, permitiendo conexiones confiables y acceso de datos, como se muestra en la Figura 3, las conexiones dependen de la aplicación específica de la aplicación deseada.

Interfaces

USB: contiene una interfaz USB para comunicación con el módulo a través de comandos AT(attention).

UART: interfaz de comunicación serial para conexión con otros dispositivos como Raspberry.

Ranura SIM: para tarjeta SIM y redes móviles.

Ranura TF: para almacenamiento de datos.

Estas características de este dispositivo aunadas a la placa ESP32 un microcontrolador de bajo consumo, con WiFi y Bluetooth integrados con procesador de doble núcleo, amplias capacidades de memoria y una variedad de periféricos para interactuar con el mundo físico [7], como son los pines GPIO Figura 2. permiten conectar una gran variedad de sensores, actuadores y otros dispositivos.

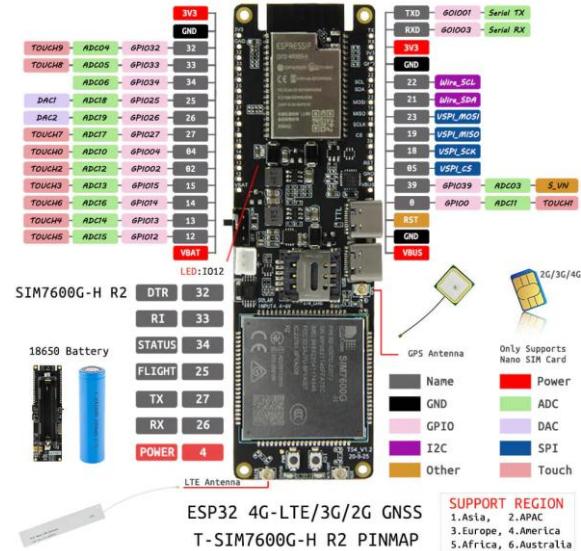


Figura 2 Especificaciones de pines GPIO de LYLIGO SIM7600G-H y conexión de antenas.

La placa LiLYGO 7600G-H contiene un soporte de batería 18650 y circuito de carga solar, además de una conexión a una fuente externa para recargar la batería, este accesorio es importante ya que si no se cuenta con una fuente de alimentación este seguirá funcionando.

Contiene dos antenas, LTE y GPS para el buen funcionamiento de redes móviles y localización en tiempo real.

Siendo este módulo, ideal para el desarrollo de un sistema de Geolocalización o monitoreo remoto, gracias a su comunicación celular.

IDE Arduino y librerías

El IDE de Arduino es compatible con la arquitectura del microcontrolador ESP32 y sus diferentes librerías, lo cual lo hace ideal para la programación de la placa LILYGO SIM7600H-G, las librerías necesarias para la configuración de la placa son las siguientes:

Adafruit_Fona: esta librería proporciona el Código necesario para que la ESP32 interactúe con el módulo SIM7600, integrando funcionalidades de voz, texto, (SMS) y datos, facilita la comunicación con FONA a través de comandos AT(attention).

HardwareSerial: Esta biblioteca permite que el ESP32 se comunique a través de puerto serial Rx y Tx con otros dispositivos, en este caso la SIM7600H-G, para la transferencia de datos.

TinyGsmClient: Esta librería permite realizar las configuraciones necesarias para que el módulo SIM7600,

24–30 de octubre de 2025

configurar con el servidor MQTT y permitir la comunicación máquina a máquina, configuración de chip GSM y envío de SMS [6].

Desarrollo de Sistema de localización GPS

Se usa la placa de desarrollo LILYGO 7600G-H para implementar el segmento de usuario y realizar la localización en tiempo real de un automóvil, integrando el algoritmo desarrollado en lenguaje de programación Arduino y usando un chip GSM en dicha placa para la recepción y envío de mensajes y recibir la localización del dispositivo.

Adicionalmente se usan los pines 13,14 y 15 digitales y pin 39 analógico como indica la figura 5 para control por SMS, esto con el objeto de simular el estado de puertas o sensor de temperatura dentro del vehículo. Figura.3

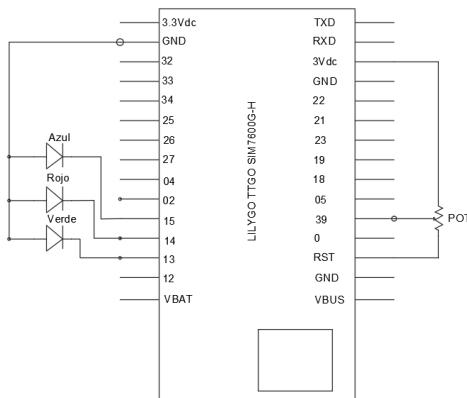


Figura 3. Circuito electrónico que controla los leds y la lectura del potenciómetro a través de la tarjeta de desarrollo.

Algoritmo de localización GPS

El algoritmo de control de localización GPS para la placa LILYGO 7600 se desarrolló en IDE de Arduino [25], ésta contiene ciertas características. Contiene un código para la configuración del GPS y obtener los datos de altitud, latitud y tiempo. Figura 4.

```
//Código de configuración GPS
void gpslocation() {
    float lat = 0;
    float lon = 0;
    float alt = 0;
    float usat = 0;
    int vstat = 0;
    int usat = 0;
    float accuracy = 0;
    int year = 0;
    int month = 0;
    int day = 0;
    int hour = 0;
    int min = 0;
    int sec = 0;
    for (int t = 1 - 15; t < 1; t--) {
        SerialMon.println("Requesting current GPS/GNSS/GLOMASS location");
        if (modem.getGPS(&lat, &lon, &speed, &alt, &usat, &accuracy,
                        &year, &month, &day, &hour, &min, &sec)) {
            SerialMon.println("Latitude: " + String(lat, 8) + "Longitude: " + String(lon, 8));
            SerialMon.println("Altitude: " + String(alt));
            SerialMon.println("Visible Satellites: " + String(usat));
            SerialMon.println("Accuracy: " + String(accuracy));
            SerialMon.println("Year: " + String(year) + "Month: " + String(month) + "Day: " + String(day));
            SerialMon.println("Hour: " + String(hour) + "Minute: " + String(min) + "Second: " + String(sec));
            break;
        } else {
            SerialMon.println("Couldn't get GPS/GNSS/GLOMASS location, retrying in 15s.");
            delay(15000);
        }
    }
    SerialMon.println("Retrieving GPS/GNSS/GLOMASS location again as a string");
    String gps_raw = modem.getGPSraw();
    SerialMon.println("GPS/GNS Based Location String: " + gps_raw);
    mylati = dtostrf(lat, 3, 6, bufF);
    mylong = dtostrf(lon, 3, 6, bufF);
    textForSMS = textForSMS + "http://www.google.com/maps/place/" + mylati + "," + mylong;
    delay(5000);
    modem.sendSMS(SMS_TARGET, textForSMS);
    //fona.sendSMS(callerIDbuffer, textForSMS );
    Serial.println("SMS send");
    textForSMS = "";
}
```

Figura 4. Código de configuración GPS, para obtener datos de tiempo.

Algoritmo de envío y recepción de mensajes de texto.

Este algoritmo resulta particularmente relevante, ya que habilita la comunicación bidireccional entre el sistema y el usuario mediante mensajes SMS. A través de esta lógica, el sistema es capaz de recibir comandos para consultar el estado de los pines GPIO o solicitar la ubicación geográfica del dispositivo, según corresponda. Posteriormente, se envía una respuesta que confirma la recepción del comando e informa el estado actual del sistema como se muestra en la Figura 5.

```
String modemInfo = modem.getNodeInfo();
delay(500);
SerialMon.println("Información del módem: " + modemInfo);
// Establecer SIM900G GPIO4 HIGHc, encender GPS
// CMDAt+SGPIO=0,4,1
// Solo la versión 20200415 tiene una función para controlar la energía del GPS
modem.sendAT("AT+SGPIO=0,4,1");
if (modem.waitForResponse(10000) != 1) {
    SerialMon.println(" SGPIO=0,4,1 false ");
}

modem.enableGPS();
delay(15000);

if (!fona.begin(fonaSerial)) {
    Serial.println(F("Podría no encontrar FONA"));
    while (1)
        ;
}
Serial.println(F("FONA es OK"));

fonaSerial->print("AT+CMII=2,1\r\n");
//configuración de el FONA para enviar a +CMII notificación cuando un SMS es
recibido
Serial.println("FONA listo");
}
```

Figura 5. Código para recepción y envío de mensajes de texto.

El siguiente paso es declarar los pines como entrada y salida colocarlos en el Loop, que es la parte del programa que se repetirá constantemente para que realicen la función correspondiente. En la Figura. 6 se puede apreciar parte del código que se repite para envío de localización y activación de pines.

24 –30 de octubre de 2025

```

}
if (smsString == "led2 off") {
    digitalWrite(led2, LOW);
    textForSMS = "led2 off";
    modem.sendSMS(SMS_TARGET, textForSMS);
    textForSMS = "";
}

if (smsString == "led3 on") {
    digitalWrite(led3, HIGH);
    textForSMS = "led3 on";
    modem.sendSMS(SMS_TARGET, textForSMS);
    textForSMS = "";
}

if (smsString == "led3 off") {
    digitalWrite(led3, LOW);
    textForSMS = "led3 off";
    modem.sendSMS(SMS_TARGET, textForSMS);
    textForSMS = "";
}

if (smsString == "req") {
    textForSMS = potvalue;
    Serial.println(textForSMS);
    modem.sendSMS(SMS_TARGET, textForSMS);
    textForSMS = "";
}

//recepcion y envio de mensaje de localizacion
if (smsString == "localizacion") {
    geolocation();
    // modem.sendSMS(SMS_TARGET, textForSMS);
    // //fona.sendSMS(callerDbuffer, textForSMS );
    // Serial.println("SMS send");
    // textForSMS="";
}

if (fona.deleteSMS(slot)) {
    Serial.println("OK!");
} else {
    Serial.print("Couldn't delete SMS in slot ");
    Serial.println(slot);
    fona.print(F("AT+CMGD=?;\r\n"));
}
}
}

```

Figura 6. Código para recepción y envío de mensajes de texto.

Pruebas experimentales

Para solicitar la ubicación geográfica del dispositivo GPS desde cualquier parte del mundo, se emplea un sistema de comunicación remota basado en mensajería SMS. El usuario debe enviar un mensaje de texto desde un dispositivo móvil externo, utilizando la palabra clave “localización” (sin espacios ni acentos). Asimismo, para la activación o desactivación de los pines digitales GPIO, se utilizan comandos específicos como “led1 on” o “led1 off”, según la acción requerida.

Una vez recibido el mensaje, el sistema procesa la instrucción y responde de forma inmediata con un mensaje que incluye tanto el estado actual del pin GPIO como la ubicación geográfica obtenida mediante el módulo GPS. Esta información se visualiza en la Figura 8, donde se ejemplifica la interacción entre el usuario y el dispositivo en tiempo real.

```

unsigned long timeout;
char charArray[20];
unsigned char data_buffer[4] = { 0 };
String mylong = ""; // Para almacenar valor de longitud
String mylati = ""; // Para almacenar el valor de latitud
String textForSMS;
char buff[10];
#define SMS_TARGET "+52xxxxxxxx" //# telefónico para enviar localización

//Pines para controlar vía SMS
int led1 = 13;
int led2 = 14;
int led3 = 15;
int pot = 39;

```

Figura 7. Parte de código Arduino para enviar mensaje de texto.

Como se puede observar en la Figura 8 el envío del mensaje de texto nos devuelve la localización y estado del pin en este caso llamado “led1 on”, además, el sistema al devolver las coordenadas para que se abran en la aplicación Google Maps, lo que permite la visualización como se muestra en la Figura 9.

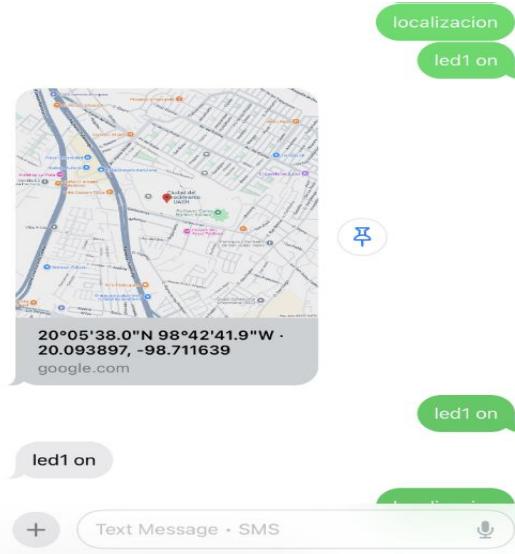


Figura 8. Pantalla de celular mostrando mensajes de texto y localización solicitada.

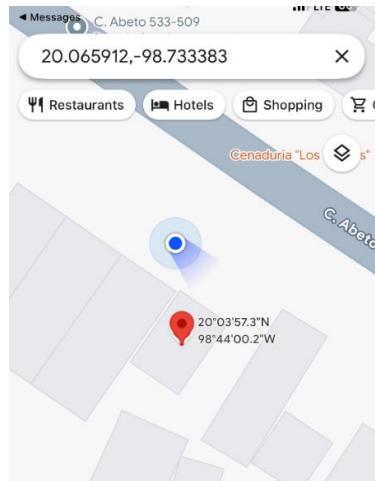


Figura 9. Imagen de localización del dispositivo pin rojo y dispositivo que solicita localización pin azul.

Se llevaron a cabo pruebas experimentales en diversas localidades del Estado de Hidalgo, incluyendo los municipios de Pachuca, Mineral de la Reforma y la comunidad rural de Ojo de Agua San José Tepené. Para evaluar la fiabilidad de la señal y la precisión del sistema de posicionamiento en entornos con baja densidad

24 –30 de octubre de 2025

poblacional y cobertura telefónica limitada. Asimismo, se realizó una comparación entre la ubicación reportada por el dispositivo GPS y la proporcionada por un teléfono celular, con el fin de validar la consistencia y exactitud del sistema propuesto en condiciones reales de operación, en la Figura.10 se muestran los diferentes experimentos realizados.



Figura 10. Capturas de pantalla de Google Maps mostrando ubicación, pin rojo dispositivo LILYGO-7600, pin azul celular.

Con base en las ubicaciones representadas en la Figura 10, se observa en color rojo el punto reportado por el dispositivo desarrollado en este estudio. Este punto presenta una proximidad significativa respecto a la posición enviada por el usuario, lo que evidencia una alta precisión en la estimación de coordenadas geográficas. En comparación con el punto azul, correspondiente a la ubicación determinada por un teléfono celular convencional, se aprecia que el sistema propuesto exhibe un margen de error considerablemente menor. La coordenada obtenida por el dispositivo coincide con la posición real en la mayoría de los casos evaluados.

De las diez pruebas realizadas, nueve mostraron una coincidencia casi exacta con la ubicación real, mientras que una presentó una desviación aproximada de un metro. En contraste, el sistema de localización de un teléfono móvil convencional presentó un margen de error promedio de tres metros. Con base en estos resultados, se estima que el sistema desarrollado alcanza una precisión aceptable, lo que lo posiciona como una alternativa confiable para aplicaciones de rastreo y geolocalización en tiempo real.

Conclusión

Los sistemas de localización disponibles en el mercado presentan una amplia diversidad en cuanto a tecnología, costo y funcionalidad. El dispositivo desarrollado en este estudio representa una alternativa accesible y versátil, al

emplear una tarjeta SIM que únicamente requiere saldo activo para mantener la comunicación con el dispositivo receptor. Esta característica permite su implementación en múltiples aplicaciones, siendo la localización en tiempo real la más destacada. Además, la integración del módulo ESP32 con control sobre los pines GPIO amplía significativamente su potencial, convirtiéndolo en una herramienta poderosa para desarrolladores en electrónica y sistemas de control.

Entre sus principales limitaciones se encuentran la pérdida de señal en espacios confinados, lo que puede afectar la comunicación satelital; las restricciones físicas para su resguardo; y la autonomía limitada de la batería, aspectos que lo diferencian de los sistemas GPS de gama alta. No obstante, su desempeño general lo posiciona como una solución eficaz para aplicaciones civiles, como el monitoreo de vehículos particulares, así como en entornos académicos, donde puede ser utilizado como recurso didáctico para el aprendizaje de sistemas embebidos y tecnologías de localización.

Referencias

- [1] Eduardo Huerta, Aldo Mangiaterra Gustavo Noguera, Sacristán JA.(2005) GPS Posicionamiento Satelital. UNR editora.
- [2] Engr. Shahzada Fahad (2024.) Electroclinic. Recuperado de: Real Time GPS Tracker using sim7600 4G LTE, ESP32, and Adafruit Map. <https://www.electroclinic.com/?s=Sin+7600>.
- [3] Pozo-Ruiz, A., Ribeiro, A., García-Alegre, M. C., García, L., Guinea, D., & Sandoval, F. (s.f.). *Sistema de posicionamiento global (GPS): Descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro*. Instituto de Automática Industrial, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado de <https://www.peoplematters.com/Archivos/Descargas/GPS.pdf>
- [4] LILYGO R, T-SIM7600E/G/SA-H. Recuperado de https://lilygo.cc/products/t-sim7600?_pos=1&_sid=339d8d368&_ss=r.
- [5] SIMCom a SUSEA AIOT Company. SIM7500_SIM7600_SIM7800 Series MQTT(s) Aplicattion Note. No 289.Linhong Road.
- [6] Arduinodocs libraries. Recuperado de <https://docs.srduino.cc/libraries/>.
- [7] ESP32 series ,Datasheet. ESPRESSIF. Version 4.9 :19 - 21
- [8] National Imagery and Mapping Agency. (2003). *Misión y responsabilidades en la seguridad nacional de EE.UU.* Organización Panamericana de la Salud. <https://ais.paho.org/sigepi/sp/collaboration/igis/nima-01.pdf>
- [9] Novaseguridad. (2023). *Uso de GPS en sistemas de vigilancia para seguridad urbana y doméstica.* <https://www.novaseguridad.com.co/uso-de-gps-en-sistemas-de-vigilancia/>
- [10] Hamilton, B., Aldhaiban, O. A., Randles, M., & Fitzpatrick, I. (2024). Un sistema de comunicación basado en LoRa para el seguimiento de la ubicación en tiempo real y la señalización de emergencia en ejercicios de simulación militar. *17^a Conferencia Internacional sobre el Desarrollo de la Ingeniería de Sistemas Electrónicos (DeSE)*, Khorfakkan, Emiratos Árabes Unidos, 255–260.
- [11] Rifani Fahrul,Teddy Wahyu P(2025 Smart GPS Tracker for EV. Universitas Islam Indonesia. Diakses dari <http://dspace.uui.ac.id/123456789/55134>
- [12] García, J., & Rodríguez, M. (2021). Sistema de localización GPS con transmisión de datos vía GSM usando Arduino. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 18(2), 145–152.

- [13] Ramos, F., & Torres, L. (2020). Diseño de un sistema de monitoreo vehicular basado en Arduino y comunicación 4G. *Revista Politécnica*, 36(1), 23–30.
- [14] Almeida, J., & Silva, R. (2022). Low-cost GPS tracking system using ESP32 and SIM7600G-H module. *IEEE Latin America Transactions*, 20(5), 812–819.
- [15] Martínez, A., & López, D. (2023). Aplicación de sistemas embebidos para localización satelital en zonas rurales. *Ingeniería e Investigación*, 43(3), 58–66.
- [16] Chen, Y., & Wang, H. (2021). Design and implementation of a GPS-based vehicle tracking system using Arduino and SIM7600. *Sensors*, 21(12), 4056.
- [17] Almeida, J., & Silva, R. (2022). Low-cost GPS tracking system using ESP32 and SIM7600G-H module. *IEEE Latin America Transactions*, 20(5), 812–819. <https://doi.org/10.1109/TLA.2022.1234567>
- [18] Chen, Y., & Wang, H. (2021). Design and implementation of a GPS-based vehicle tracking system using Arduino and SIM7600. *Sensors*, 21(12), 4056. <https://doi.org/10.3390/s21124056>
- [19] García, J., & Rodríguez, M. (2021). Sistema de localización GPS con transmisión de datos vía GSM usando Arduino. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 18(2), 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2021.03.005>
- [20] Hampson, M. (2021). Building an alternative to GPS. *IEEE Spectrum*, 58(7), 34–39. <https://spectrum.ieee.org/an-alternative-to-gps>
- [21] Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2006). *Understanding GPS: Principles and applications* (2nd ed.). Artech House.
- [22] Martínez, A., & López, D. (2023). Aplicación de sistemas embebidos para localización satelital en zonas rurales. *Ingeniería e Investigación*, 43(3), 58–66. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v43n3.102345>
- [23] Rizos, C. (2007). The role of GPS in precise positioning and navigation. *Journal of Spatial Science*, 52(2), 29–42. <https://doi.org/10.1080/14498596.2007.9635122>
- [24] Ramos, F., & Torres, L. (2020). Diseño de un sistema de monitoreo vehicular basado en Arduino y comunicación 4G. *Revista Politécnica*, 36(1), 23–30. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=123456789>
- [25] Xu, G., & Xu, Y. (2016). *GPS: Theory, algorithms and applications* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-50367-6>