



Prototipo de sistema de geolocalización para personas vulnerables usando el módulo A9G y Arduino UNO

Moisés Isaac Espinosa-Espinosa

mee@ciencias.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5954-1985>

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional autónoma de México
Ciudad de México – México

Ricardo Alan Retana González

raretanag@ciencias.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5628-1655>

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional autónoma de México
Ciudad de México - México

RESUMEN


Ante un hecho delictivo como privación de la libertad, secuestro, etc., es indispensable que la víctima sea asistida inmediatamente por los cuerpos de seguridad pública para truncar el delito. Por este motivo, es importante conocer su posición geográfica en tiempo real. En este documento se presenta un prototipo de un Sistema de Geolocalización para Personas Vulnerables: Botón de Pánico (SOS) integrado con tecnologías de comunicación comercial y de bajo coste como son el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), y Sistema Global para las comunicaciones móviles (GSM) usando los módulos A9G y Arduino Uno. El sistema tiene un proceso de activación, y desactivación dirigido por el principio de percepción de tiempo y genera mensajes de socorro con un hipervínculo para Google Maps, que ayuda a visualizar la geoposición de la víctima. Los mensajes se transmiten cada 3 minutos utilizando el servicio de mensajes SMS (Short Message Service) de la red Telcel (México) de forma continua hasta su desactivación. El prototipo tiene como objetivo determinar la viabilidad y funcionalidad del sistema propuesto para una futura implementación usando el concepto de sistema embebido con tecnología de sistemas microelectromecánicos (Microelectromecanical Systems, MEMS).

Palabras clave: módulo A9G; Arduino Uno; *Sistema de Posicionamiento Global (GPS); Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM).*

Correspondencia: mee@ciencias.unam.mx

Artículo recibido: 28 enero de 2023. Aceptado para publicación: 28 febrero 2023.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) .

Como citar: Espinosa-Espinosa, M. I., & Retana González, R. A. (2023). Prototipo de sistema de geolocalización para personas vulnerables usando el módulo A9G y Arduino UNO. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 11359-11388. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5467

Geolocation system prototype for vulnerable people using the A9G module and Arduino UNO

ABSTRACT

Whenever a criminal act occurs, such as deprivation of liberty, kidnapping, etc., it is essential that the victim is immediately assisted by the public security forces in order to stop the crime. For this reason, it is important to know his/her geographic position in real-time. This paper presents a prototype of a Geolocation System for Vulnerable People: Panic Button (SOS) integrated with commercial and low-cost communication technologies such as Global Positioning System (GPS), and Global System for Mobile Communications (GSM) using A9G and Arduino Uno modules. The system has an activation and deactivation process guided by the principle of time perception and generates help messages with a hyperlink to Google Maps, which helps to visualize where the victim is located. The messages are transmitted every 3 minutes using the SMS (Short Message Service) of the Mexican Telcel network continuously until deactivation. The prototype aims to determine the feasibility and functionality of the proposed system for future implementation using the embedded system concept with Microelectromechanical Systems (MEMS) technology.

Keywords: A9G module; Arduino Uno; Global System for Mobile (GSM); *Global* Positioning system (GPS).

INTRODUCCIÓN

Hoy en día es cada vez más común encontrar en sistemas electrónicos de uso civil, doméstico, recreativo y social, el Sistema Global de Comunicaciones Móviles, (GSM) y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) debido a su funcionalidad, tamaño reducido y bajo coste (GPS.Gov., 2021; GSM Association 2022; Anderson C., 2001; Grewal, M., Weill, L. Y Andrews, A. 2007). Las aplicaciones con las tecnologías GSM y GPS han tenido un crecimiento acelerado en diferentes áreas como el cuidado y monitoreo del medio ambiente, recreativa, topografía y cartografía, agricultura, seguridad pública, salud, socorro en caso de desastres entre otras (Dwolatzky, Trengove, Struthers, McIntyre, Martinson, 2006; Elbahnasawy, M., Shamseldin, T., Habib, A., 2018; Hofmann-Wellenhof, B. at al. 1997; Maklouf, O. et al 2019; Parveen, Z., y Kawther, A., 2015; Rong-Jyue, Ken-I, Hsin-Chang, Cheng-Chung, y Chin-Chih, 2007; y Zhong, M., Guo, J., Zhou, D., 2018).

En las áreas de salud y seguridad pública; las aplicaciones se enfocan en la geolocalización de personas vulnerables en las urbes de todo el mundo. El grupo de personas vulnerables está formado por individuos que padecen de alguna enfermedad degenerativa o mental, individuos de la tercera edad, infantes, peregrinos, turistas, víctimas de delitos como asaltos, secuestros, homicidios, violaciones físicas y sexuales, feminicidios, y desapariciones forzadas (Aisuwarya, R., Melisa, y Ferdian, R. 2019; Espinosa Espinosa, M. I., y Retana González, R. A., 2022; Fahmi, F. at al 2018; Hammami, A. 2018; Organización Mundial de la Salud, 2022).

En el área de seguridad pública este tipo de sistemas pueden coadyuvar a las autoridades pertinentes y familiares de víctimas de secuestros, homicidios, violaciones físicas y sexuales, etc. Principalmente en un país como México, en dónde el índice delictivo ha crecido de forma exponencial durante la última década, generando un daño social, y económico. Este último representa alrededor del 10% del producto interno bruto (PIB). (Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública, ENVIPE, 2021; Instituto Nacional de Geografía y Estadística, INEGI, 2021). De acuerdo con la ENVIPE del INEGI de 2021 se estima que el porcentaje de los delitos con mayor cifra negra son el secuestro con 98.6%, el robo parcial de vehículo con 94.4%, el robo o asalto en vía o transporte público con 94.4% y el robo a casa habitación con 90.6%. En el tema de feminicidios, de enero a septiembre de 2021, se registraron 762 víctimas que corresponden a un aumento del 2% con respecto al mismo periodo del año 2020. Solo

en el mes de agosto del 2021 se registraron 107 víctimas. Los estados de la república mexicana que tienen un mayor índice delictivo en este tema son Aguascalientes con un incremento del 600%, Campeche con 167% y Tlaxcala con 125%. La ciudad de México registró una disminución del 10% en este rubro. El índice delictivo en secuestro tuvo una tendencia a la baja en el periodo de agosto de 2019 hasta enero de 2021 con una cifra histórica de 50 víctimas promedio por mes, que corresponde a una disminución del 22% a nivel nacional. Esta disminución pudo ser consecuencia del cofinanciamiento social debido a la pandemia producida por el virus SARS-COV-2. Durante el periodo de enero a septiembre de 2021 se registró una cifra de 627 víctimas en este rubro. No obstante, este delito es el que menos se denuncia y tiene una cifra negra del 98.6%. Los estados del país que tienen una tendencia al alza son Nayarit con un índice de 200%, Querétaro con 143% y Campeche con 100%. Durante el periodo de enero a septiembre de 2020, las alcaldías de la CDMX que tuvieron mayor índice de secuestros son Iztapalapa con 10 casos, Tlalpan con 8 casos, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza con 6 casos cada una (Encuesta Nacional de Seguridad Pública Urbana, ENSU, 2021).

El gobierno federal de México utilizó el servicio de atención de llamadas de emergencia 911 para apoyar a personas vulnerables con la aplicación “APP 9-1-1 Emergencias” en 2019. Esta aplicación utiliza la telefonía móvil del usuario, es gratuita y está disponible para los sistemas operativos iOS y Android. Para utilizar la aplicación, ésta se debe de instalar en un teléfono personal, llenar un registro en la plataforma del sistema de emergencias para ser dado de alta. Adicionalmente, es necesario que el GPS y los datos móviles del teléfono estén activados permanentemente. La APP tiene tres funciones; notificación de emergencias, llamada de emergencia y botón de pánico. Está última sirve para reportar una emergencia silenciosa. Cuando la APP es activada, envía una alerta al centro de operadores de atención de emergencia y protección ciudadana del C5 en cuestión de segundos. El operador que recibe la alerta puede ponerse en contacto con la víctima por medio de tres opciones, una llamada bidireccional, llamada silenciosa y chat. Además, el operador obtiene automáticamente la ubicación de la víctima debido a que la aplicación está geo-referenciada (APP 9-1-1 Emergencias, 2019).

El principal problema de esta aplicación es que utiliza el teléfono móvil de la víctima. Desgraciadamente el teléfono es el primer objeto que se pierde ya sea de forma accidental o involuntaria durante un evento delictivo (secuestro, violación, etc.). Además,

el usuario tiene que operar la aplicación para que ésta envíe la alarma, lo cual es complicado bajo circunstancias apremiantes.

Debido a la falta de un sistema que auxilie a las víctimas de delito para su geolocalización dentro del territorio nacional de forma segura, en tiempo real y sin necesidad de utilizar el teléfono móvil de la víctima, se propone en este documento un prototipo de sistema de Geolocalización para Personas Vulnerables: Botón de Pánico (SGPVBP) basado en el sistema propuesto por los autores Espinosa Espinosa, M.I. y Retana González, R.A, (2022). El SGPVBP está integrado con tecnologías GSM, GPS, y Arduino. En el primer prototipo presentado por los autores, el receptor GPS tuvo inconvenientes en el proceso de comunicación con la constelación satelital, que propició interrupciones en la adquisición de las coordenadas geográficas durante la prueba de campo. Por tal motivo, en este documento se presenta una variación del prototipo en donde se cambió los módulos GPS y GSM por un solo módulo que tiene integrado ambas tecnologías y mejores prestaciones técnicas con el objetivo de corregir los problemas de comunicación GPS que tuvo el primer prototipo.

El presente documento se divide en tres secciones: la primera describe la arquitectura de comunicación, y el diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo propuesto usando tecnología comercial y de bajo coste como es Arduino y el módulo A9G (GPS-GSM). La segunda parte describe las pruebas de funcionalidad y caracterizaciones eléctricas y de potencia transmitida por el módulo A9G. En la sección final, se presenta la prueba de campo del prototipo, sus resultados y una comparación técnica entre el primer prototipo presentado por los autores y el prototipo presentado en este documento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema de geolocalización para personas Vulnerables: botón de pánico (SGPVBP)

La idea original es que el sistema sea un dispositivo embebido e integrado en una pulsera para dotarlo de miniaturización, portabilidad, y camuflaje. Sin embargo, en este documento sólo se presenta el desarrollo de un prototipo de geolocalización que utiliza las tecnologías GSM y GPS usando módulos electrónicos comerciales y baratos. El uso de estos módulos permite adquirir conocimiento de estas tecnologías a bajo coste y de forma eficiente. Adicionalmente, ayuda a la identificación y solución de inconvenientes que se generan cuando se hace uso de estas tecnologías en el desarrollo de aplicaciones reales como es el sistema propuesto en este documento.

El uso del módulo A9G y la adecuación técnica en la integración del SGPVBP es la principal diferencia con respecto al prototipo presentado en (Espinosa Espinosa, M. I., y Retana González, R. A., 2022).

Arquitectura de comunicación del sistema de geolocalización para personas Vulnerables: botón de pánico (SGPVBP)

El SGPVBP utiliza una arquitectura de comunicación satelital (GPS) y comunicación global móvil (GSM) en combinación con la plataforma de desarrollo Arduino Uno. (Arduino.cl, 2022). Cuando el SGPVBP es activado por la posible víctima (portador), adquiere la geoposición del portador utilizando el sistema GPS y la envía a la tarjeta Arduino. La tarjeta por medio de un sketch computacional gestiona la información recibida y la envía al transmisor GSM para su futura transmisión. El transmisor envía dicha información usando el sistema de mensajes cortos (SMS) de la red GSM y agrega un hipervínculo para la aplicación Google Maps (Google Maps, 2022). A su vez, el sistema utiliza como receptor de los mensajes la telefonía celular inteligente comercial que es capaz de operar la aplicación Google Maps y visualizar la geoposición de la persona de interés en tiempo real dentro del territorio nacional. El sistema propuesto tiene la capacidad de utilizar tres usuarios de confianza, que pueden ser familiares y/o autoridades competentes que recibirán los mensajes de auxilio. El núcleo del SGPVBP es la unidad A9G, la cual es un sistema en módulo (System On Module, SoM) que tiene en un sólo dispositivo un transmisor GSM/GPRS modelo RDA6625E, un receptor GPS/GNSS modelo GK9501, y un chip CPU modelo RDA8955L, RISC 32 bit. El A9G tiene una ranura lectora o lector SIM para una tarjeta micro SIM (Subscriber Identify Module). Estas características hacen al A9G adecuado para aplicaciones móviles de rastreo y monitoreo de personas, automóviles, ganado o mascotas. Este módulo es fabricado por la compañía Ai-Thinker Technology Co. (Ai Thinker, 2017; A9G-GPS, 2021; A9G-GSM, 2021). En la figura 1 se presenta la arquitectura del SGPVBP.

Principio de Funcionamiento del SGPVBP

El funcionamiento del SGPVBP está basado en un proceso de activación/desactivación basado en el principio de percepción de tiempo. El sistema se acciona manteniendo presionado el botón de activación durante aproximadamente 5 segundos. Una vez activado, el receptor GPS-A9G se comunica con una constelación de satélites artificiales

para obtener la ubicación geográfica del portador. Posteriormente, el receptor transfiere esta información a Arduino Uno.

En el microcontrolador de Arduino se tiene almacenado un sketch computacional que administra el proceso de comunicación recepción-transmisión entre Arduino y el módulo A9G utilizando el protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Este proceso está dividido en dos partes; la primera es entre Arduino-receptor GPS-A9G utilizando el estándar NMEA (National Marine Electronics Association), y la segunda es entre Arduino-transmisor GSM-A9G utilizando los comandos AT (Attention, Hayes command set).



Figura 1. Arquitectura del sistema de geolocalización para personas vulnerables: botón de pánico SGPVBP.

En la primera parte; el algoritmo del sketch extrae los datos de latitud y longitud de las coordenadas geográficas del portador de la información enviada por el receptor GPS y asigna el formato adecuado a las coordenadas para ser interpretadas por la aplicación *Google Maps*. El formato es:

<https://maps.google.com/maps?q=LATITUD+LONGITUD>.

donde https (HyperText Transfer Protocol Secure) es el protocolo de comunicación que permite enviar la latitud y longitud mediante la World Wide Web (www.) de forma segura al servidor de Google Maps.

En la segunda parte; los datos son transferidos al transmisor GSM-A9G, y éste emite un mensaje corto de texto (SMS) a tres contactos de confianza cada tres minutos por medio de la red móvil GSM. Los contactos se definen con antelación y pueden ser familiares de la posible víctima y/o autoridades de seguridad pública. Estos mensajes están formados por una leyenda de auxilio y un hipervínculo para la aplicación Google Maps, que permite

visualizar la geolocalización del portador en tiempo real. El A9G utiliza una tarjeta SIM de la compañía Telcel-México de tercera generación (3G) para operar con la red GSM-Telcel. Sin embargo, puede utilizar una tarjeta SIM de cualquier compañía que funcione en el territorio nacional.

Ventanas de tiempo de activación y desactivación del SGPVBP

Para el proceso de activación y desactivación del SGPVBP se establecieron tres ventanas de tiempo, las cuales fueron definidas con base a los resultados obtenidos del estudio de percepción de tiempo presentado en (Espinosa Espinosa, et al., 2022). El estudio utilizó 70 personas (muestras), las cuales se dividieron en dos secciones con 35 personas cada una. **Tabla 1.** Resultados del estudio de percepción de tiempo

Tiempo de respuesta táctil [S]	Promedio de percepción de tiempo [S]	Desviación estándar	Ventana de tiempo definida [S]	Función
5	4.019	1.094	2.925-5.113	Activar
10	8.413	2.309	6.104-10.722	Desactivar

una. Las personas de la primera sección mantuvieron presionado el botón durante lo que ellos consideraban 5 segundos, y se obtuvo un tiempo promedio de presionado de 4.019 S con una desviación estándar de $\sigma=1.094$. Las personas de la segunda sección ejecutaron la misma tarea, pero para un tiempo de 10 segundos, y se obtuvo un valor promedio de 8.413 S con una desviación de $\sigma=2.309$. Del estudio, se observa que, a mayor tiempo de presionado, mayor es la dispersión de los datos. Por lo tanto, si se toman en cuenta dos desviaciones estándar para cubrir a la mayoría de los datos, los dos intervalos de tiempo se traslaparían ocasionando ejecuciones incorrectas del sistema. En consecuencia, se toma una desviación estándar (σ) de cada prueba para definir las ventanas. Es decir, la primera ventana (activación \approx 5S) se define entre 2.925 - 5.113S (4.019 ± 1.094 S), la segunda ventana (desactivación \approx 10S) se define entre 6.104 - 10.722S (8.413 ± 2.309 S), y la tercera ventana es cualquier tiempo que no se encuentre entre los dos periodos anteriores. En la tabla 1 se presentan los resultados del estudio de percepción de tiempo, la definición de cada ventana y su función.

Diagrama de flujo del SGPVBP

El diagrama de flujo que describe los procesos de activación, desactivación, obtención de las coordenadas de geolocalización y generación de los mensajes de auxilio del SGPVBP es presentado en la figura 2 (Espinosa Espinosa, et al., 2022). Si el tiempo de presionado del botón del SGPVBP está dentro de la primera ventana, entonces se actualiza el estado del sistema a “1 lógico” y se verifica el estado previo. Si el estado anterior es “0 lógico” se concluye que el dispositivo fue encendido por primera vez y se obtienen los datos de geolocalización con ayuda del receptor GPS.

Posteriormente el SGPVBP genera y envía el primer SMS de ayuda. Por el contrario, si el estado lógico previo es “1”, significa que el sistema ya había transmitido un mensaje. En este caso, solamente se mide el tiempo que transcurrió a partir del envío de este. Cuando el tiempo medido es igual a 3 minutos se envía un nuevo mensaje con las coordenadas geográficas actualizadas. Por otra parte, si el tiempo de presionado del botón está dentro de la segunda ventana, se asigna un estado lógico de “0” al sistema. Si éste estaba en estado activo, transmitiendo mensajes, entonces pasa a un estado inactivo y deja de transmitirlos. Con esto se desactiva al sistema en los casos de una activación accidental y/o que el portador ya no requiera ayuda. En caso contrario, si el estado anterior era un “0 lógico”, inactivo, simplemente se verifica si el botón ha sido presionado o no. Finalmente, si el tiempo de presionado del botón está fuera de las ventanas anteriores, sólo se comprueba si el botón ha sido activado nuevamente y no se genera ningún mensaje. Con esto el sistema está en un estado de “alerta” para su pronta activación.

Desarrollo del sketch computacional del SGPVBP.

El sketch computacional del SGPVBP está basado en el diagrama de flujo de la figura 2, se desarrolló en el IDE de Arduino y está formado por tres bloques de programación. El primero corresponde a la importación y declaración de las bibliotecas necesarias para operar el módulo A9G, el segundo atañe al ciclo de monitoreo del estado del botón y a las condiciones necesarias para ejecutar las distintas acciones, y el tercero compete a la función que envía los mensajes de texto con las coordenadas geográficas.

Con respecto al primer bloque; las bibliotecas utilizadas son: *NMEAGPS.h*, *GPSPORT.h* y *SoftwareSerial.h*. *NMEAGPS.h* se usó para analizar y asignar a la información obtenida por el receptor GPS el formato correspondiente al estándar NMEA para su transmisión a

Arduino. Adicionalmente, ayudó a crear una instancia “gps” que permitió llamar a los métodos embebidos dentro de dicha biblioteca.

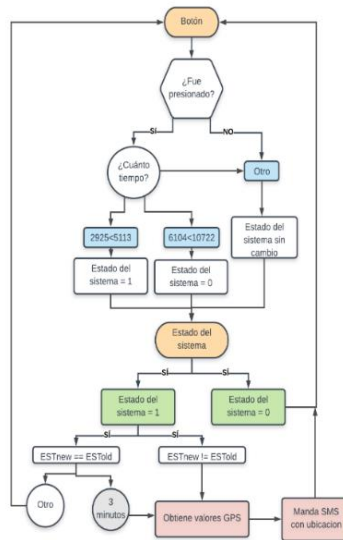


Figura 2. Diagrama de flujo del funcionamiento del SGPVBP

SoftwareSerial.h se usó para la comunicación serie entre Arduino y el transmisor GSM-A9G. Para tal efecto, se definieron los puertos 8 como transmisor TX y 9 como receptor RX de Arduino. La declaración de las bibliotecas y definición de los puertos se observan en la figura 3a. En GPSSport.h se definieron los puertos para la comunicación serie entre Arduino y el receptor GPS-A9G. Los puertos de Arduino utilizados son el 11 como receptor (RX) y el 12 como transmisor (TX). La definición de los puertos en la biblioteca GPSSport.h son señalados con flechas rojas en la figura 3b.

```

#include <NMEAGPS.h> // Necesaria para realizar los cálculos GPS
#include <GPSSport.h> // Necesaria para definir los puertos del GPS
#include <SoftwareSerial.h> // Necesaria para hacer comunicación con el módulo GPS

#if defined( NMEAGPS_PARSE_BMC )
  #error "You must uncomment NMEAGPS_PARSE_BMC in NMEAGPS_cfg.h"
#endif
#if defined( GPS_FIX_TIME )
  #error "You must uncomment GPS_FIX_TIME in GPSPfx_cfg.h"
#endif
#if defined( GPS_FIX_LOCATION )
  #error "You must uncomment GPS_FIX_LOCATION in GPSPfx_cfg.h"
#endif
#if defined( GPS_FIX_SPEED )
  #error "You must uncomment GPS_FIX_SPEED in GPSPfx_cfg.h"
#endif
#if defined( GPS_FIX_SATELLITES )
  #error "You must uncomment GPS_FIX_SATELLITES in GPSPfx_cfg.h"
#endif
#error "NMEAGPS_INTERRUPT_PROCESSING"
#error "You must #NOT define NMEAGPS_INTERRUPT_PROCESSING in NMEAGPS_cfg.h"
#endif

//-----
static NMEAGPS gps; // This parses the GPS characters
// The serial connection to the GPS device
SoftwareSerial s1a(8, 9); // TX, RX
    
```

(a)

```

GPSport.h: Bloc de notes
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

#endif
#endif

#ifdef SS_TYPE

// Default Arduino RX pin number that is connected to the GPS TX pin
#ifdef RX_PIN
  #define RX_PIN 12
#endif

// Default Arduino TX pin number that is connected to the GPS RX pin
#ifdef TX_PIN
  #define TX_PIN 11
#endif

SS_TYPE gpsPort( RX_PIN, TX_PIN );
    
```

(b)

Figura 3. Bibliotecas utilizadas para la comunicación GPS del sistema, (a) bibliotecas para obtener datos de geolocalización, y (b) configuración de puertos para la comunicación serie entre Arduino y el receptor GPS.

El segundo hace una revisión del estado actual del botón, el cual es asignado a la variable “PushActual.” Si el sistema fue activado, entonces, se mide el tiempo de presionado del botón con la función “tiempo()”. Si el tiempo está dentro de la primera ventana, se revisa si el sistema ya había sido activado, de no ser así se cambia el estado de éste y se asigna un nivel lógico alto a la variable “LEDestado=1” provocando que el dispositivo se

encienda. Por el contrario, si el tiempo está dentro de la segunda ventana, el sistema revisa si estaba activado, de ser así, cambia su estado a inactivo, y le asigna un nivel lógico bajo a la variable “LEDestado = 0”. Esto provoca que el dispositivo deje de mandar mensajes. Al final se llama a la función “GPSloop()” que lee la información del GPS y da el formato adecuado a dicha información para generar los mensajes SMS cuando el sistema este activo. Esta parte es presentada en la figura 4a.

El código correspondiente al tercer bloque se presenta en la figura 4b. Este código transmite y contabiliza el tiempo entre cada mensaje SMS.

```
void loop()
{
  PushActual = digitalRead(Push); //
  tiempo(); //Función que mide el ti
  if (2025 < DT && DT < 5113){ //SI
    if (LEDestado == 0){ //SI el led
      digitalWrite(LED,HIGH); //Ahora
      LEDestado = 1; //No cambia el
      R = 0;
    }
  }
  else if (6104 < DT && DT < 10722){
    if (LEDestado == 1){ //SI el led
      digitalWrite(LED,LOW); //Ahora
      LEDestado = 0; //Cambia el est
    }
  }
  PushViejo = PushActual; //Actuali
  GPSloop();
}
```

(a)

```
unsigned long TA = millis(); //Tiempo actual
unsigned long TT = TA - TV; //Resta del tiempo a
if (TT >= R && LEDestado == 1){
  sin.print("AT+CMGF=1\r"); //El envío del S
  delay(100);
  sin.println("AT+CMGS=\""551\""); //Número de te
  delay(100);
  sin.print("https://maps.google.com/maps?q=");
  print( sin, fix.Latitudel() ); //Obtenos los d
  sin.print("\r");
  print( sin, fix.Longitudel() ); //Obtenos los d
  delay(100);
  sin.println((char)26); //El código ASCII del cr
  delay(100);
  sin.println();
  delay(1000);
  DEBUG_PORT.println("Mensaje enviado");
  TV = TA;
  R = 100000;
}
```

(b)

Figura 4. Código del sistema; (a) Ciclo de verificación del estado del sistema y de revisión de condiciones y (b)Ciclo escritura y envío de mensajes de texto.

El tiempo se mide con la función “*millis()*”. Una vez activado el sistema, el código comienza a escribir y a mandar los mensajes. Cuando el mensaje y las coordenas tienen el formato adecuado se envían al receptor GSM-A9G utilizando los comandos AT. Éstos establecen las acciones que se deben de ejecutar, por ejemplo, el comando “AT+CMGF=1” define el modo texto del mensaje. El comando “AT+CMGS=número_teléfono” define el teléfono del usuario de confianza, quién recibirá el mensaje con la latitude “*fix.latitudL()*” y la longitud “*fix.latitudL()*” actualizadas y embebidas en el hipervínculo de Google Maps. Como el receptor GPS está activado permanentemente, mientras el sistema está habilitado, las coordenas de geolocalización se actualizan continuamente. En la tabla 2 se presentan los comandos AT utilizados para el proceso de comunicación entre Arduino y el transmisor GSM-A9G.

Diagrama eléctrico del SGPVBP.

El diagrama eléctrico del SGPVBP es presentado en la figura 5. El sistema utiliza un interruptor eléctrico de un polo un tiro (Single Pole Single Throw, SPST) normalmente abierto en configuración pull-down con un resistor de 330ohms. Para la etapa de prueba se utilizó un led indicador en serie con un resistor de 330ohms como señalamiento visual.

Éste se conectó al puerto digital 2 y el botón de accionamiento se conectó al puerto 3 de Arduino. El led es utilizado como señalamiento visual durante el proceso de prueba. En la versión final será eliminado para cumplir con el objetivo de camuflaje.

Tabla 2. Comandos AT para la comunicación entre el transmisor GSM-A9G y Arduino UNO

Acción	Comando
Prueba	AT<CR>
Presencia de SIM	AT+cpin?<CR>
Registro en la RED	AT+CREG?<CR>
Calidad de la señal	AT+CSQ<CR>
Llamada	atdNÚMEROAMARCAR;<CR>
Colgar	ath<CR>
Modo mensaje de texto	AT+CMGF=1<CR>
Número a mandar SMS	AT+CMGS="Número" <CR>
Mensaje	cualquier mensaje
Envío de mensaje	<SUB>

Para la comunicación serie entre Arduino y el transmisor GSM-A9G; se conectó el puerto digital 8 de Arduino al puerto IO1 del A9G para el modo transmisión (GSM_TX), y el puerto 9 de Arduino al puerto IO0 del módulo para el modo recepción (GSM_RX). De igual forma, para la comunicación entre el Arduino y el receptor GPS-A9G; se conectó el puerto IO4 del módulo al puerto 11 de Arduino para el modo transmisión (GPS_TX), y el puerto IO5 al puerto 12 de Arduino para el modo recepción (GPS_RX). Las antenas GPS y GSM se conectaron en los puertos GPS_RF y GSM_RF del A9G, respectivamente. La antena GSM es una antena omnidireccional de circuito impreso GSM CDMA 3G, 4G con una ganancia de 5dBi y una frecuencia de trabajo de 1900MHz. La antena GPS es una antena activa de parche de cerámica con una ganancia de 28dBi, conector SMA y una frecuencia central de trabajo de 1575.42MHz. El módulo fue alimentado con 5 volts.

Módulo A9G: GSM/GPRS/GPS

Las características eléctricas y de comunicación del módulo A9G son presentadas en la tabla 3. El módulo opera con un voltaje de alimentación de 5V, y un voltaje en los puertos de entrada/salida de 3.3V. El consumo de corriente máximo está entre 1.03 y 1.14 A. El módulo tiene un transmisor GSM/GPRS modelo RDA6625E que puede utilizar varios

por la norma ISO7816 (ISO/IEC 7816-1:2011). Esta SIM tiene varios planes tarifarios, y para este proyecto el plan “paga lo que usas” fue el idóneo, con un costo por mensaje SMS de 0.98mxn. Asimismo, tiene la característica de saldo “congelado”, i.e., que el saldo residual que no es consumido en 30 días naturales a partir de la recarga, éste se “congela” y se acumula para la siguiente recarga (Telcel: plan, 2022).

La red 3G de Telcel

La red 3G-Telcel está dividida en áreas locales, y cada una tiene un número LAI único. Cuando el SGPVBP cambia su ubicación de un área local a otra, almacena su nuevo LAI en la tarjeta SIM y la envía a la red del operador para informar su nueva ubicación. Si el SGPVBP deja de operar debido a una causa fortuita, la tarjeta almacena la información LAI relacionada a la última área local conectada. Cuando el SGPVBP es reinicializado, recupera la información almacenada en la tarjeta y busca el área local correspondiente al número LAI almacenado. Adicionalmente, el SGPVBP hace uso de los servicios del SMSC para transmitir información relacionada a la geoposición del portador del prototipo. Cuando el SGPVBP envía un mensaje SMS a través de la red móvil Telcel, éste llega primero a un SMSC y posteriormente se reenvía al destinatario de confianza. El SMSC se encarga de regular todos los procesos de comunicación relacionados a los mensajes de texto.

La red 3G-Telcel tiene varias características importantes como la capacidad de transmitir información a una velocidad de al menos 200Kbits por segundo, brindar servicios de transmisión de voz (llamada telefónica), datos (videollamada), y datos no-voz como descarga de programas, intercambio de correos electrónicos (email), y mensajería instantánea.

Tabla 3. Características eléctricas y de comunicación del módulo A9G

Descripción	Especificación
Voltaje de alimentación USB	5 V
Voltaje de alimentación externo	3.5 – 4.2 V, valor típico 4V
Voltaje en los puertos I/O de comunicación	2.8 V
Corriente	1.03 – 1.14 A
Conectores para antenas	IPEX-1
Velocidad de transmisión (UART)	2400-1843200 bps

Dimensiones	41 x 22 x 5 mm
GSM	
Chip GSM/GPRS	RDA6625E
Voltaje en tarjeta SIM	1.8V/3V
Interfaz de comunicación	I2C, USB, UART, SDMMC, GPIO, ADC
Velocidad de transmisión preestablecida	115200 bps
Frecuencias de comunicación	850/900/1800/1900 MHz
GPRS Clase 10	Max 85.6 kbps (subida) / 85.6 kps (bajada)
GPS	
Chip GPS/GNSS	GK9501
Sistemas satelitales de conexión	GPS/BDS/GLONASS/GALILEO/QZSS/SB AS
Velocidad de transmisión preestablecida	9600 bps

Esta red ofrece acceso móvil a banda ancha para smartphones y computadoras portátiles, así como también mayor grado de seguridad en comparación con su predecesora la 2G. Pero la característica más importante de esta red es el área de cobertura. Ésta tiene una cobertura garantizada del 86% y una cobertura poblacional diferenciada del 90.5% a nivel nacional. Las entidades con mayor cobertura garantizada destacan Nuevo León con 98.3%, Ciudad de México con 98%, Tamaulipas con 96.7%, Colima con 96.5% y Estado de México con 95%. La red 3G-Telcel tiene una cobertura de servicio del 99.8% en localidades y del 100% en municipios con las redes 3G y 4G dentro de la Ciudad de México (CDMX) de acuerdo con el Instituto Federal de Telecomunicaciones (Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2020). Esta cobertura garantiza una alta certidumbre en la transmisión de mensajes SMS generados por SGPVBP en la CDMX.

Pruebas de funcionalidad del SGPVBP.

El SGPVBP fue sometido a la primera prueba de funcionalidad, que consistió en establecer comunicación serie entre el receptor GPS-A9G y Arduino. Para tal objeto se usó la conexión eléctrica presentada en la figura 6a. Adicionalmente, se utilizó el software Docklight (Docklight software, 2021), que es una herramienta de análisis, prueba y simulación para protocolos de comunicación serie (RS232, RS485/422, etc.). La velocidad

Tabla 4. Códigos NMEA utilizados por el receptor GPS-A9G

Código NMEA 0183	Función o dato devuelto
GPGGA	Datos de posición ajustados
GPGSA	DOP y satélites activos
GPGSV	Satélites a los que se está conectado
GPRMC	Datos GPS/Transito mínimos específicos
GPVTG	Curso y Velocidad con respecto a la Tierra

Caracterización de consumo energético del sistema

La segunda prueba correspondió a caracterizar el consumo eléctrico del sistema de la figura 5. Esta prueba se dividió en dos partes; en la primera se midió el consumo del transmisor GSM/GPRS-Arduino, en los modos de operación de llamada, mensaje SMS y stand by. En la segunda se midió el consumo del receptor GPS-Arduino en los modos de operación de encendido, buscar ubicación y tracking. El consumo de corriente y voltaje del sistema se presenta en la tabla 5. El sistema consume una corriente máxima de 120mA y un voltaje máximo de 6.48V en modo tracking para el caso del GPS-Arduino, y un valor máximo de corriente de 135mA con un voltaje máximo de 6.40V en modollamada en el caso GSM-Arduino. En el modo de encendido del GPS, se consume un voltaje y una corriente de 3.39V y de 108mA, respectivamente.

Tabla 5. Consumo eléctrico del SGPVBP: GSM-Arduino y de GPS-Arduino

Estado	Corriente [mA]	Voltaje [V]
GSM		
Encendido del módulo	108	6.40
Llamada	135	6.38
Mensaje SMS	100	6.40
Stand By	80	6.40
GPS		
Encendido del GPS	108	3.39
Buscando ubicación	116	6.40
Modo tracking	120	6.48

Caracterización de potencia transmitida del módulo GSM

La tercera prueba correspondió a caracterizar los niveles de potencia transmitida y la frecuencia de operación del transmisor GSM del A9G en modo envío de mensajes SMS. Para esta prueba se utilizó la cámara semianecoica, el receptor de pruebas de interferencias electromagnéticas marca Rohde&Schwarz, modelo ESIB-26 y la antena de corneta marca ETS-Lindgren, modelo 3117 del taller cámara semianecoica de la Facultad de ciencias, UNAM. La configuración de prueba utilizada correspondió a la técnica de transmisión de Friis, en donde la antena GSM del SGPVBP es el transmisor y la antena de corneta es el receptor. Los dispositivos se colocaron a una altura de 90cm sobre el plano de tierra (piso) de la cámara. De esta forma ambos dispositivos estuvieron en línea de visión directa. Se colocó material absorbente sobre el piso para eliminar las ondas reflejadas; placas de ferrita de 60x60cm y espuma de poliuretano con una configuración piramidal, de baja densidad, y alta calidad. La espuma está contaminada con partículas de carbón conductoras y sales retardantes de fuego. La configuración de prueba se presenta en la figura 7. Para el cálculo de la potencia máxima radiada por el módulo se utilizó la ecuación 1.

$$P_R = \frac{P_{Tx} G_{Rx} G_{Tx} \lambda^2}{4\pi r^2} \quad \text{ec.1}$$

en donde P_{Tx} es la potencia transmitida del módulo, G_{Rx} es la ganancia de la antena receptora con un valor de 5dBi, G_{Tx} es la ganancia de la antena transmisora del módulo A9G con un valor de 5dBi, la distancia entre las dos antenas (r) fue de 3 metros, y la frecuencia de operación de 1900MHz. El transmisor GSM-A9G es clase 1, por lo tanto, puede alcanzar una potencia de transmisión máxima de 1 W (30dBm) y opera en la banda de 1900MHz. En la tabla 6 se presentan las potencias calculada y medida del transmisor GSM-A9G en modo envío de mensajes SMS.

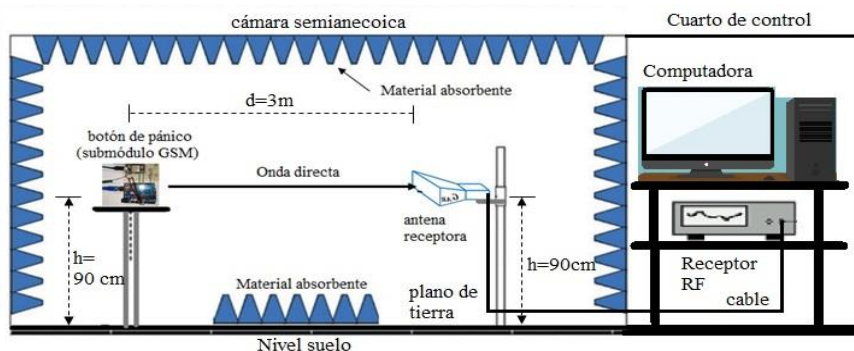


Figura 7. Configuración utilizada para medir la potencia radiada del transmisor GSM-A9G.

Los resultados de la tabla muestran una alta concordancia con lo esperado, ya que la potencia calculada fue de -57.13dBm y la medida fue de -58.13dBm, es decir hay una diferencia de 1dBm, la cual está dentro del ± 2 dBm de tolerancia permitida en condiciones normales de operación. La frecuencia medida fue de 1870MHz, esto significa que el módulo opera en la banda de enlace ascendente de 1850 a 1910 MHz del sistema GSM. Para el receptor GPS del módulo A9G no se pudo hacer una caracterización semejante debido a que el receptor no pudo comunicarse con los satélites desde dentro de la cámara. En la tabla 6 se presentan las potencias calculada y medida del transmisor GSM.

Tabla 6. Potencias calculada y medida del transmisor GSM en modo de operación de envío de mensajes SMS

Modo de operación	Frecuencia (MHz)	Calculados			Medidos	
		Potencia transmitida (dBm)	Potencia Recibida (dBm)	Potencia transmitida (dBm)	Frecuencia (MHz)	Potencia Recibida (dBm)
Mensaje	1850-1910	30	-57.13	29	1870	-58.13

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de comparar el rendimiento funcional entre el SGPVBP y el prototipo presentado en Espinosa Espinosa, M. I. et al, (2022), ambos fueron sometidos a la misma prueba de campo. Los parámetros eléctricos de alimentación de cada prototipo dependieron de sus características particulares para su adecuado funcionamiento.

La prueba de campo consistió en monitorear el comportamiento de los prototipos en un ambiente real, en dónde existieran perturbaciones electromagnéticas y obstáculos que pueden degradar las señales de los sistemas GPS y GSM como sistemas de radio, televisión, internet, cableado eléctrico, antenas, edificios, casas, puentes, etc., que forman parte del entorno circundante de la trayectoria definida. En consecuencia, la trayectoria fue definida desde el estacionamiento de estudiantes de la Facultad de Ciencias de la UNAM, CDMX hasta un punto situado en Ciudad Satélite, Estado de México. Esta trayectoria se trazó sobre la avenida insurgentes que tiene varias fuentes de perturbaciones y obstáculos. Para la prueba se utilizó sólo un usuario de confianza, y su número telefónico fue agregado al sistema. El portador del prototipo realizó el trayecto

de prueba en un automóvil sedan, el cual viajó a una velocidad promedio de 80Km/h. El SGPVBP utilizado en la prueba se presenta en la figura 8a.

Cuando el prototipo fue activado generó el primer mensaje de auxilio y lo transmitió al usuario de confianza. El usuario utilizó su teléfono inteligente, el enlace recibido y la aplicación Google Maps para visualizar el mensaje de “auxilio” y la posición geografía del portador en tiempo real. En la figura 8b se presenta el tipo de mensajes SMS que generó el sistema. El mensaje puede incluir además datos de interés como la hora y día en que se recibe la ubicación. En la figura 8c se presenta la trayectoria generada con la aplicación Google Maps y el SGPVBP. La aplicación Google Maps unió cada una de las posiciones geográficas (marcadores tipo globo de color verde) del portador generadas por el sistema durante la prueba, trazando una trayectoria continua (línea roja) que describe el recorrido del portador en un mapa del valle de México de la misma aplicación. La generación y envío de los mensajes SMS fue cada 3 minutos. Se concluye que el SGPVBP funcionó adecuadamente obteniendo la ubicación geográfica del portador durante la prueba de campo en tiempo y forma.

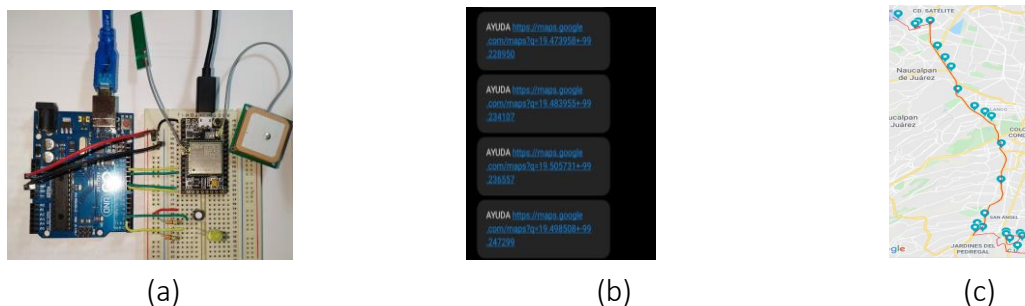


Figura 8. Sistema de Geolocalización de personas vulnerables (SGPVBP), (a)Foto del SGPVBP, (b)Mensajes SMS con el hipervínculo para la aplicación Google Maps y (c) trayectoria generada en el teléfono de la persona de confianza.

Comparación del rendimiento técnico de dos prototipos de geolocalización: botón de pánico.

En la tabla 7 se presenta una comparación técnica de dos prototipos de geolocalización: botón de pánico. El primer prototipo fue integrado con los módulos Neo-6M-uBlox (GPS), IoT-GA6-B (GSM) y Arduino UNO (Espinosa Espinosa, et al., 2022), y el segundo prototipo con los módulos A9G (GPS/GSM) y Arduino UNO (SGPVBP). La comparación se centra en tres temas; consumo energético, dimensiones físicas y rendimiento en las comunicaciones GPS y GSM de los prototipos.

Para la comparación del consumo energético de los prototipos se utilizaron los valores máximos de corriente reportados por los fabricantes. En la comunicación GPS; el consumo de corriente es de 67mA y 42mA en modo búsqueda, y de 11mA y 20mA en modo de tracking para los módulos Neo-6M-uBlox, y GK9501-A9G, respectivamente. El GK9501-A9G tiene un ahorro energético del 40.2% con respecto al Neo en modo búsqueda, sin embargo, el GK9501-A9G consume 45% más con respecto al módulo Neo-&M-uBlox en modo tracking.

En comunicación GSM; el consumo de corriente máximo en modo envío de mensajes SMS activo es de 1A para el IoT-GA6 y de 1.14A para el RDA6625E-A9G. Mientras que, en modo trabajo, el módulo IoT consume una corriente máxima de 2A, y el RDA6625E-A9G consume 1.14A, es decir que el RDA6625E-A9G tiene un ahorro de corriente del 47% con respecto al IoT. De esta comparación se concluye que el módulo A9G tiene un ahorro energético del 47% sólo en el aspecto de la comunicación GSM con respecto al IoT-GA6. De esta comparación se concluye que el módulo A9G tiene un ahorro energético del 47% sólo en el aspecto de la comunicación GSM con respecto al IoT-GA6.

Con respecto a las dimensiones físicas de los módulos; el módulo A9G tiene una ventaja importante en comparación con los módulos Neo-6M-uBlox, e IoT-GA6-B, es decir el módulo A9G en un área de 19.2x18.8mm tiene las dos tecnologías GPS y GSM, sin embargo, sólo el módulo Neo-GM-uBlox-GPS tiene un área de 25x35mm y el módulo IoT-GA6-B-GSM tiene un área de 33x26mm. Esto implica que el A9G utiliza sólo el 32% del área de los otros módulos. Esta característica es importante para el proceso de miniaturización del sistema.

En el tema de las comunicaciones GPS y GSM, el análisis se enfocó en los receptores GPS debió a que el Neo-6M-uBlox-GPS tuvo problemas de comunicación satelital y como resultado algunas coordenadas no se obtuvieron durante la prueba de campo. Los transmisores GSM tuvieron un rendimiento adecuado. Por tal motivo, la comparación se basó en tres parámetros técnicos de los receptores GPS, el primero es la tasa de actualización (Update Rate), que indica el periodo en el que el receptor recalcula la posición y la reporta.

El segundo es la sensibilidad de navegación (Navigation sensitivity), que indica el nivel mínimo de potencia que puede tener una señal para que el GPS pueda detectarla, y también se utiliza para realizar un TTFF (Time To First Fix), que corresponde a la

cuantificación del tiempo necesario para que un dispositivo de navegación GPS adquiera señales de satélite y datos de navegación, así como también calcule una posición. El tercero corresponde a la tasa de transmisión (Baud Rate), que indica que tan rápido el receptor puede transmitir datos recibidos a la tarjeta Arduino.

Respecto al primer parámetro; el Neo-6M-uBlox tiene una tasa de 1Hz con un valor máximo de 5Hz, mientras que el GK9501-A9G tiene una tasa de 1Hz con un valor máximo de 10Hz. Esto implica que el GK9501-A9G presenta el doble de la tasa de actualización y por lo tanto una reducción de tiempo en el proceso de recalculado y reporte de la posición.

En cuanto al segundo parámetro, y probablemente el más importante en la comunicación GPS; se tiene que en modo "cold start"; el GK9501-A9G tiene una sensibilidad de adquisición de -148dBm y el Neo-6M-uBlox tiene un valor de -162dBm. En este modo el Neo-6M-uBlox tiene mejor sensibilidad en comparación con el GK9501-A9G.

El GK9501-A9G tiene una sensibilidad de tracking de -166dBm en comparación con los -162dBm del módulo Neo. Este nivel del GK9501-A9G garantiza una mayor capacidad de recibir y mantener un enlace con la constelación de satélites. De igual forma el GK9501-A9G tiene una sensibilidad de recaptura de -164dBm en comparación con los -148dBm del Neo. En conclusión, el GK9501-A9G presenta mejores niveles de sensibilidad de navegación en comparación con el Neo. Esto se traduce, que, a menor sensibilidad, mayor capacidad de captura de señal o de mantener un enlace satelital.

El GK9501-A9G tiene hasta 66 canales en comparación a los 50 canales del Neo, esto implica que el GK9501 tiene mayor capacidad de enlace con los satélites. Además, tiene un mejor tiempo de arranque; en modo "Cold Start" es de 27.5S, y en los modos "Hot Start" y "recapture" es <1S en comparación con los 27S en los modos "Cold Start", y "Hot Start", y de 1S en modo "recapture" que tiene el Neo.

Referente al tercer parámetro; se determina que los módulos Neo y A9G tienen los siguientes intervalos de velocidades de transmisión de datos en modo serie de 9600 a 230 400bps y de 4800 a 1 843 200bps, respectivamente. Sin embargo, la elección de una velocidad de transmisión de los módulos está limitada a la velocidad de la tarjeta Arduino. Esta tarjeta puede operar a varias velocidades (1200, 2400, 9600, etc.), pero el fabricante recomienda una velocidad de 9600 para un rendimiento adecuado. Por lo tanto, los prototipos utilizaron la velocidad de 9600 bps.

De la comparación se concluye que el GK9501-A9G tiene varias ventajas con respecto al Neo-6M-uBlox con respecto a la comunicación GPS. Es decir, mejor tasa de actualización, mayor sensibilidad de tracking, mayor capacidad de enlace con los satélites y menor tiempo de arranque y de recaptura.

Estas ventajas se vieron reflejadas en la comparación de resultados de la prueba de campo. Las trayectorias generadas con los prototipos son presentadas en la figura 9. La figura 9a es la trayectoria obtenida con el sistema formado con el Neo-6M-uBlox. Ésta tuvo menos marcadores (globos verdes) debió a los problemas de comunicación que el módulo presentó durante la prueba. Mientras tanto, la trayectoria obtenida con el sistema integrado con el módulo A9G tuvo más marcadores, ver figura 9b. Esta diferencia de marcadores fue el resultado directo del rendimiento sobresaliente del receptor GK9501-A9G en comparación con el NEO. Con respecto a los otros parámetros técnicos como estándar de programación, velocidad de transmisión, etc., los dos módulos tienen valores similares y, por lo tanto, un comportamiento análogo en condiciones normales de operación.

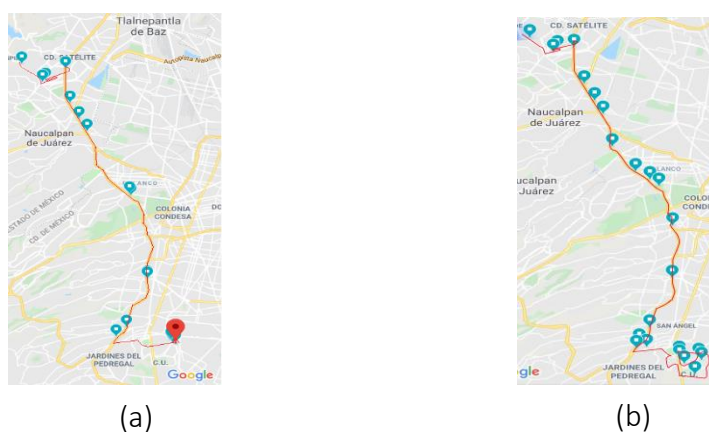


Figura 9. Comparación de las trayectorias del sistema de geocalización, (a) sistema propuesto por Espinosa Espinosa et al, (2022), y (b) sistema propuesto en este trabajo.

CONCLUSIONES

El uso del módulo A9G mejoró el rendimiento operacional del SGPVBP dotándolo de una alta confiabilidad para la tarea encomendada. El SGPVBP tuvo un rendimiento funcional adecuado en las pruebas de laboratorio y de campo debido a que el receptor GK9501-A9G tiene mejor tasa de actualización, mayor sensibilidad de tracking, mayor capacidad de enlace con los satélites, etc. con respecto al sistema presentado por Espinosa

Espinosa, M., I. et al (2022). Esto benefició el proceso de geolocalización del sistema durante la prueba de campo.

El control del sistema respondió adecuadamente a las necesidades del portador debido a la correcta asignación de los tiempos de activación y desactivación. De igual forma, el sistema transmitió los mensajes SMS cada 3 minutos. El sistema puede ser objeto de mejoras, ya sea por software y por hardware. Por software se puede usar una programación orientada a objetos que haría el código más versátil, y ocuparía menos memoria. Por hardware se puede utilizar módulos de comunicación GPS-GSM con un rendimiento funcional igual o superior al A9G, así como también eliminar la tarjeta Arduino, y que el sketch de control se almacene directamente en el módulo A9G. Estas mejoras producirán un sistema miniaturizado y con un consumo energético menor al que se presentó en este trabajo.

Tabla 7. Comparación técnica de los prototipos de botón de pánico

Función		Módulos Neo-6M-uBlox (GPS), IoT-GA6-B (GSM) y Arduino (Espinosa Espinosa, M. I. et al.)	Módulo A9G y Arduino (Este trabajo)
		Módulos GPS	
		Neo-6M-uBlox	A9G (GK9501-GPS)
Consumo de corriente en modo de búsqueda del GPS [mA]		67	40
Consumo de corriente en modo de tracking del GPS [mA]		11	20
Sensibilidad del GPS [dBm]	Cold start	-162	-148
	Hot start	---	-162
	Recapture	-148	-164
	Tracking	-162	-166
Familia de chips (tecnología)		2,3, y 4G	2,3, y 4G
Ganancia de antena GPS		50 (Máxima)	28±0.7
Frecuencias de transmisión del módulo GPS [MHz]		1575.42	1575.42
Tasa de actualización (Hz)		1	1
Tiempo de arranque del GPS [s]		5 max.	10 max.
	Cold start	27	27.5
	Hot start	27	<1
	Recapture	1	<1
Precisión del GPS [m]	Posicionamiento	2.5	2.5
	Horizontal		

	Posicionamiento alto	2.5	3.5
Velocidad de transmisión (UART) [bps]		9600- 230 400 Prestablecida:960 0	4800- 1 843 200 Prestablecida:115 200
Estándar de programación		NMEA	NMEA
Sistema de aumentación basado en satélites (Satellite Baased Augmentation system-SBAS)		WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN	WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN
Número de canales		50	66
Dimensiones del módulo GPS		25x35	19.2x18.8x2.5 ±0.2 A9G completo

Módulos GSM		
	IoT-GA6-B	A9G (RDA6625E)
Formato de mensaje corto (SMS)	Modo texto y PDU	Modo texto y PDU
Consumo de corriente en modo activo del GSM [mA]	Hasta 1000	Hasta 1140
Consumo de corriente en modo de trabajo del GSM [mA]	Hasta 2000	Hasta 1140
Potencia de transmisión del módulo GSM [dBm]	30.5@1800 MHz (1710-1785 MHz) 30.5@1900 MHz (1850 -1910MHz)	30.5@1800 MHz (1710-1785 MHz) 30.5@1900 MHz (1850 -1910MHz)
Clase del módulo GSM	1	1
Frecuencias de operación del módulo GSM [MHz]	850/900/1800 /1900	850/900/1800 /1900
Velocidad de transmisión del módulo GSM [Kbps]	Descarga: 85.6 carga: 42.8	Descarga: 85.6 carga: 42.8

Velocidades de transmisión serial [bps]	1 200 - 3 250 001	1 200- 3 250 001
Estándar de programación	Comandos AT	Comandos AT
Ganancia de la antena GSM [dBi]	3±0.7 @ 1800MHz	5±0.7 @ 1800MHz
Ranura para tarjeta	micro SIM	micro SIM
Servicio de mensajería SMS	Si	Si
Tamaño del módulo GSM [mm x mm x mm]	33x26x7	19.2x18.8x2.5 (±0.2)
Temperatura de operación [°C]	-40 a +85	-20 a +75

LISTA DE REFERENCIAS

- Ai Thinker. (2017). *A9G GPRS/GSM+GPS/BDS Module*. Ai Thinker. Recuperado de https://www.makerfabs.com/desfile/files/a9g_product_specification.pdf
- Aisuwarya, R., Melisa, y Ferdian, R. (2019). Monitoring and Notification System of the Position of a Person with Dementia Based on Internet of Things (IoT) and Google Maps. *Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, Batam, Indonesia. doi:10.1109/ICECOS47637.2019.8984591.
- Anderson C. (2001). *GPRS and 3G Wireless Application: professional developer's guide*. The United State of America: Wiley Computer Publishing.
- Arduino.cl (2022). Arduino UNO. Recuperado de <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- APP 9-1-1, (2019). Recuperado de: <https://www.gob.mx/911/articulos/app-9-1-1-emergencias?idiom=es>.
- A9G-GPS. (2021). Recuperado de https://www.makerfabs.com/desfile/files/a9g_product_specification.pdf
- A9G-GSM. (2021). Recuperado de https://ai-thinker-open.github.io/GPRS_C_SDK_DOC/en/c-sdk/function-api/gps.html
- Docklight software. (2021). Recuperado de <https://docklight.de/downloads/>.
- Dwolatzky, B., Trengove, E., Struthers, H., Mcintyre, J. y Martinson, N. (2006). Linking the

- global positioning system (GPS) to a personal digital assistant (PDA) to support tuberculosis control in South Africa: A pilot study. *International journal of Health Geographics*. 5(34), 1-6. doi:10.1186/1476-072X-5-34.
- Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) 2021), Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/envipe/2021/>.
- Encuesta de seguridad Pública Urbana, ENSU, (2021). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ensu/>.
- Elbahnasawy, M., Shamseldin, T., y Habib, A. (2018). Image-assisted GNSS/INS navigation for UAV-based mobile mapping systems during GNSS outages, in IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), Monterey, CA, USA, 2018, pp. 417–425.
- Espinosa Espinosa, M. I., y Retana González, R. A. (2022). Prototipo de geolocalización para personas vulnerables: botón de pánico, SOS. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 5389-5411. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3818
- Fahmi, F., Siregar, B., Evelvn, S., Gunawan, D. y Andayani, U. (2018). Person Locator Using GPS Module and GSM Shield Applied for Children Protection. *Proceedings of the 6th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, Bandung, Indonesia. doi: 10.1109/ICoICT.2018.8528720.
- Garrido, R. (2021). Estas son las bandas y frecuencias en las que trabajan los operadores de México. Recuperado de <https://www.xataka.com.mx/telecomunicaciones/estas-son-las-bandas-y-frecuencias-en-las-que-trabajan-los-operadores-de-mexico>
- Grewal, M., Weill, L. y Andrews, A. (2007). *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration, Second Edition.*, Willey-Interscience, doi: 10.1002/9780470099728.ch3.
- Google Maps (2022). Recuperado de <https://www.google.com.mx/maps>
- GPS.Gov. (2021). *Official U.S. government Information about the Global Positioning System (GPS) and related topics*. Recuperado de <https://www.gps.gov/systems/gps/space>
- GSM Association (2022). Recuperado de <https://www.gsma.org/>
- Hammami, A. (2018). Person Tracking System based on Arduino Microcontroller and Web Technologies. *Proceedings of the International Conference on Smart Communications and Networking (SmartNets)*, Yasmine Hammamet, Tunisia. Doi:

10.1109/SMARTNETS.2018.8707388.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., y Collins, J. (1997). *Global Positioning System: Theory and Practice*, New-York, EUA: Springer-Verlag/Wien.

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2020). Quién es quién en cobertura Móvil en México, segundo trimestre 2020. Recuperado de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/politica-regulatoria/reportequesq2020t2.pdf>

Instituto Nacional de Geografía y Estadística. (2021). *Consulta interactiva de datos*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=mortgral_dh.

ISO/IEC 7816-1:2011. Identification cards-integrated circuit cards-part 1: cards with contacts-Physical characteristics. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/54089.html>.

Koshy, D. G., y Rao, S. N. (2018). *Evolution of SIM Cards – What's Next? 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. doi:10.1109/icacci.2018.8554774.

Maklouf, O., Abulsayen A., y Ghanem, A.; (2019). Trajectory Tracking, Simulation and Shaping of Módulo A9G GSM/GPRS/GPS. Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/iot-internet-de-las-cosas/701-modulo-a9g-gsm-gprs-gps.html>.

Ok, K., Coskun, V., Cevikbas, C., y Ozdenizci, B., "Design of a key exchange protocol between SIM card and service provider," *2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, 2015, pp. 281-284, doi: 10.1109/TELFOR.2015.7377465.

Organización Mundial de la Salud, (2022). Recuperado de <https://www.who.int/es>.

Parveen, Z., y Kawther, A. (2015). Missing Pilgrims Tracking System Using GPS, GSM and Arduino Microcontroller. *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Computer Systems (RACS)*. Hail, Saudi Arabia. doi:10.2991/racs-15.2016.4.

Rong-Jyue F., Ken-I, S., Hsin-Chang, L., Cheng-Chung, W. y Chin-Chih, L. (2007). Application of Global Positioning System (GPS) in Earth Sciences teaching.

Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Applied Computer Science, Hangzhou, China.

Telcel: plan. (2022). Recuperado de:
<https://www.telcel.com/personas/telefonía/amigo/tarifas-y-opciones-end/amigo-por-segundo>U-blox Company (2013).

Zhong, M., Guo, J., y Zhou, D., (2018). Adaptive In-Flight Alignment of INS/GPS Systems for Aerial Mapping, in *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 54, no. 3, 2018, pp. 1184– 1196.