

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3818

Prototipo de geolocalización para personas vulnerables: botón de pánico, SOS

Moisés Isaac Espinosa-Espinosa

mee@ciencias.unam.mx

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

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional autónoma 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, México

RESUMEN

Hoy en día, es de vital importancia conocer la ubicación geográfica de una persona vulnerable (víctima) cuando se presenta una emergencia. Esta información resulta de interés para las autoridades competentes y familiares de la víctima. Gracias a los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y Global para las comunicaciones móviles (GSM) esta tarea es cada vez más sencilla, y efectiva. En este trabajo se presenta un prototipo de una pulsera de geolocalización denominado botón de pánico e implementado con tecnología de bajo coste. El prototipo tiene como objetivo principal demostrar la viabilidad y funcionalidad del sistema de geoposición propuesto para una futura implementación utilizando tecnología de sistemas microelectromecánicos (microelectromechanical systems, MEMS). La activación y funcionamiento del prototipo se basa en el principio de percepción de tiempo, y en el envío de mensajes de auxilio a por lo menos tres personas de confianza usando la red GSM, respectivamente. Cada mensaje tiene un enlace que se puede abrir con la aplicación Google Maps y visualizar la posición geográfica de la víctima en tiempo real. Los mensajes se envían cada 3 minutos de forma automática. El prototipo es implementado como un Arduino UNO, un módulo GPS, modelo Neo-6M-uBlox, y un módulo GSM, modelo IoT-GA6-B.

Palabras clave: sistema de posicionamiento global (gps); sistema global para las comunicaciones móviles (GSM); arduino; neo-6m-ublox.

Correspondencia: mee@ciencias.unam.mx

Artículo recibido 19 octubre 2022 Aceptado para publicación: 19 noviembre 2022

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/) 

Cómo citar: Espinosa Espinosa, M. I., & 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

Geolocation prototype for vulnerable people: panic button, SOS

ABSTRACT

Nowadays, it is of vital importance to know the geographic location of a vulnerable person (victim) when an emergency occurs. This information is of interest to the competent authorities and the victim's relatives. Thanks to Global Positioning Systems (GPS) and Global System for Mobile Communications (GSM) this task is becoming easier and more effective. This paper presents a prototype of a geolocation bracelet called panic button implemented with low-cost technology. The main objective of the prototype is to demonstrate the feasibility and functionality of the proposed geopositioning system for future implementation using microelectromechanical systems (MEMS) technology. The activation and operation of the prototype is based on the principle of time perception, and on sending distress messages to at least three trusted persons using the GSM network, respectively. Each message has a link that can be opened with the Google Maps application and display the geographical position of the victim in real time. Messages are sent every 3 minutes automatically. The prototype is implemented as an Arduino UNO, a GPS module, model Neo-6M-uBlox, and a GSM module, model IoT-GA6-B.

Keywords: *global positioning system (GPS), global system for mobile communications (gsm), arduino, neo-6m-ublox.*

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías satelitales y de uso militar como son el sistema global para comunicaciones móviles (Global System for Mobile Communications GSM) y el sistema de posicionamiento Global (Global Positioning System GPS) han tenido un crecimiento en diferentes áreas de aplicación, gracias al surgimiento de una industria de aplicaciones civiles. Esta industria generó una dinámica nueva de adquisición de datos referentes a posiciones geográficas. Esta dinámica ha permitido que la adquisición sea aleatoria en tiempo, lugar, y de bajo coste (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, y Collins, 1997).

Las tecnologías GPS y GSM basadas en el libre acceso a señales unidireccionales y anónimas sin restricciones de saturación, y con una calidad de servicio limitada presentan múltiples aplicaciones en áreas civiles como son la agricultura, aviación, medio ambiente, navegación marítima, recreación, topografía y cartografía, vías férreas, carreteras-autopistas, seguridad pública, salud, y socorro en caso de desastres. (GPS.Gov., 2021; Rong-Jyue, Ken-I, Hsin-Chang, Cheng-Chung, y Chin-Chih, 2007; Dwolatzky, Trengove, Struthers, McIntyre, y Martinson, 2006). En esta última área, la tecnología GPS ha jugado un rol importante en las misiones de socorro en casos de desastres naturales, permitiendo una reducción en el tiempo de búsqueda-rescate, debido a una localización casi exacta de la víctima, y favoreciendo al objetivo final de la misión; que es salvar vidas (GPS.Gov., 2021). Esta tecnología, también ha sido utilizada para localizar personas vulnerables en ciudades grandes y congestionadas de todo el mundo. Dentro del grupo de personas vulnerables, tenemos a todos los individuos que padecen de alguna enfermedad mental o degenerativa, infantes, turistas, peregrinos, víctimas de delitos como asaltos, secuestros, homicidios, violaciones y desapariciones forzadas (GPS.Gov., 2007, Hofmann-Wellenhof, B. et al. 1997; Parveen, Z., y Kawther, A., 2015; Robledo S., 2016).

La unión europea desarrolló el sistema satelital Galileo que es compatible con GPS, cuyas funciones principales fueron navegación, y búsqueda y rescate. Alcatel y SnapTrack Inc. usaron el proyecto Galileo y la red inteligente de Alcatel para ofrecer un sistema de localización automática de usuarios que tuvieran una emergencia. De igual forma, el programa espacial de Inglaterra utilizó este sistema para desarrollar proyectos

con un nivel alto de precisión para proporcionar servicios que mejoraron la calidad de vida y seguridad de la población (Comisión de las comunidades europeas, 1999).

En Estados Unidos de Norte América se promovieron y desarrollaron aplicaciones concernientes con la seguridad nacional. La Federal Communications Commission solicitó en 1996 a todos los “*carriers*” inalámbricos que incorporaran el servicio de rastreo y localización de usuarios que marcaban el número telefónico 911 durante una emergencia. Este servicio se llamó Enhanced 911 (E911) y cumplió todos los objetivos propuestos en diciembre del 2002. Este servicio sigue vigente hasta la fecha (Federal Communication Commission, FCC, 2019).

Algunas aplicaciones que brindan protección civil a personas vulnerables de una comunidad, región o sociedad hacen uso de la tecnología internet de las cosas (IoT), la plataforma Arduino y aplicaciones de geolocalización gratuitas como Google Maps (Li, Gu, y Kamijo, 2017; Hammami, 2018; Parveen, Z. y Kawther, A., 2015; Fahmi, Siregar, Evelvn, Gunawan, y Andayani, 2018; Aisuwarya, Melisa, y Ferdian, 2019). Algunas empresas comercializan productos o servicios de localización geográfica de personas que padecen de algún tipo de enfermedad degenerativa, de vehículos, de equipo de comunicación, etc., como la empresa Garmin (Garmin International, 2021), Navento (Navento Technologies SI, 2021), Celularia (Celularia, 2021), Movistar (Movistar, 2012, Movistar, 2021), entre otras.

En México, las aplicaciones de GPS se han enfocado principalmente a la localización automática de vehículos (AVL). Una aplicación de este tipo se desarrolló para las ambulancias del sector nacional de salud, con el objetivo principal de agilizar la atención a personas accidentadas, reduciendo los tiempos de traslado desde el lugar del accidente hacia el hospital más cercano, estableciendo una ruta libre de tráfico desde el lugar del percance hacia el hospital, (Chávez, J., & Vázquez, J., 2002).

Durante las últimas décadas en México, la ocurrencia de algún tipo de delito ha ido al alza. Solo en el periodo de enero a mayo de 2019 se registraron 814 secuestros (Vela, D., 2019). En 2018 hubo 35,964 homicidios y en 2014 se registraron 2,121 secuestros y 2,191 delitos de privación de la libertad, incluso en ese mismo año ocurrieron 195 feminicidios y 1,638 violaciones (Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2019). Ante esta ola de delincuencia, las víctimas, sus familiares y las autoridades carecen de tecnología que puedan auxiliarlos ante un evento de esta naturaleza. En el mercado

nacional e internacional existen algunos sistemas integrados con tecnologías GPS y GSM para obtener la posición geográfica de una persona. Un ejemplo es el teléfono inteligente. Sin embargo, este dispositivo a pesar de sus grandiosas cualidades de telecomunicación deja de ser útil, cuando una persona es víctima de secuestro, asalto y/o desaparición forzada, ya que es de los primeros objetos que se pierden debido a los movimientos naturales de defensa o es inhabilitado por los infractores.

En la literatura revisada no se encontraron aplicaciones para víctimas de secuestro o desaparición forzada, la mayoría de las aplicaciones están enfocadas a proteger a personas con enfermedades degenerativas, y extravíos de adultos de edad avanzada e infantes. Por lo tanto, la generación de las alarmas y/o notificaciones se establecen como consecuencia directa de que el portador del sistema esté dentro o fuera de una geovalla (perímetro virtual de un área geográfica definida) o por un reporte de extravío. Por consiguiente, la forma de activación y los periodos de funcionamiento de los sistemas atienden a eventos específicos. De igual forma, la miniaturización, y camuflaje no son prioridad.

En este trabajo se propone un prototipo de un sistema de geolocalización para posibles víctimas de secuestro que se activa al presionar un botón de pánico. Este prototipo es implementado con Arduino Uno y tecnología GPS y GSM comercial y de bajo coste. El objetivo principal de este prototipo es demostrar la viabilidad y funcionalidad del sistema propuesto para un futuro diseño y desarrollo de este utilizando el concepto de sistemas embebidos y tecnología MEMS. Por tal motivo no se consideró importante el tamaño físico de los módulos utilizados, ni su integración en una pulsera, por ende, las características de portabilidad y camuflaje no son de interés en esta etapa. El sistema propuesto puede ser una herramienta auxiliar para víctimas de secuestro o desaparición forzada, por tal motivo su funcionamiento es de carácter específico. Este funcionamiento, permite que el sistema genere una alarma, y envíe un mensaje de auxilio (SOS) con la posición geográfica de la víctima a por lo menos tres personas asignadas o de confianza a los pocos minutos de que esté en peligro.

Este documento está dividido en tres partes: la primera describe de forma general el sistema propuesto y su arquitectura de comunicación. Así como el diagrama de flujo que describir el funcionamiento del prototipo utilizando Arduino y los módulos GPS y GSM; la segunda parte corresponde a un conjunto de pruebas de funcionalidad y

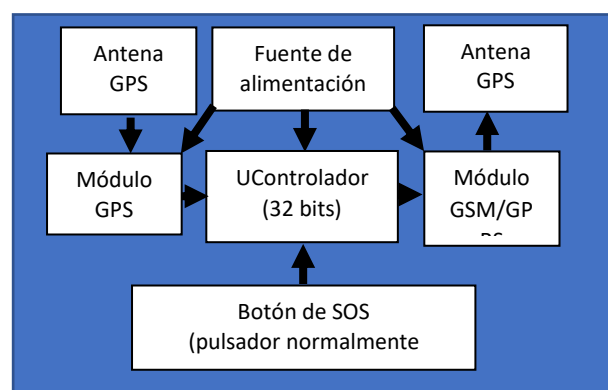
caracterizaciones eléctricas y de potencia transmitida de cada uno de los bloques que conforman el prototipo; y como parte final, se presenta una prueba de campo del prototipo y sus resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pulsera de Geolocalización, SOS, botón de pánico

La pulsera de geolocalización propuesta está basada en un sistema embebido que utilizara la tecnología de sistemas microeletromecánicos (microelectromechanical systems, MEMS). La tecnología MEMS permite diseñar sistemas con excelente rendimiento funcional, bajo consumo energético y tamaño reducido. (Marsman, E. D., *et al.* (2005); Islam, N., (Ed.). 2012; Gad-el-Hak. M., 2001; Jiang, L. and Cheung, R. 2009; Gando, R., Ono, D., Kaji, S., Ota, H., Itakura T., and Tomizawa, Y., 2020; Vettiger P., Binning, G., 2003;). El sistema embebido de la pulsera debe ser implementado con un microcontrolador, un módulo GSM, un módulo GPS, una antena GSM, una antena GPS y una batería recargable. La ejecución de las tareas principales de la pulsera de geolocalización será realizada por el microcontrolador de uso específico de 32 bits, el cual incluye interfaces de entrada/salida, banco de memoria de tamaño reducido en el mismo chip. Con las interfaces de entrada/salida, el microcontrolador será capaz de recibir la señal de activación del sistema cuando un usuario presione el botón, SOS. El microcontrolador activará el módulo GPS para obtener la geoposición del portador de la pulsera, y a su vez recibirá la información con las coordenadas geográficas. De igual forma, éste gestionara dicha información para enviarla a una plataforma de geoposición para determinar la ubicación del portador visualizándola en un mapa de una ciudad definida. En la figura 1 se presenta el diagrama a bloques del sistema propuesto.

Figura 1. Diagrama a bloques del sistema embebido de la pulsera de geolocalización,



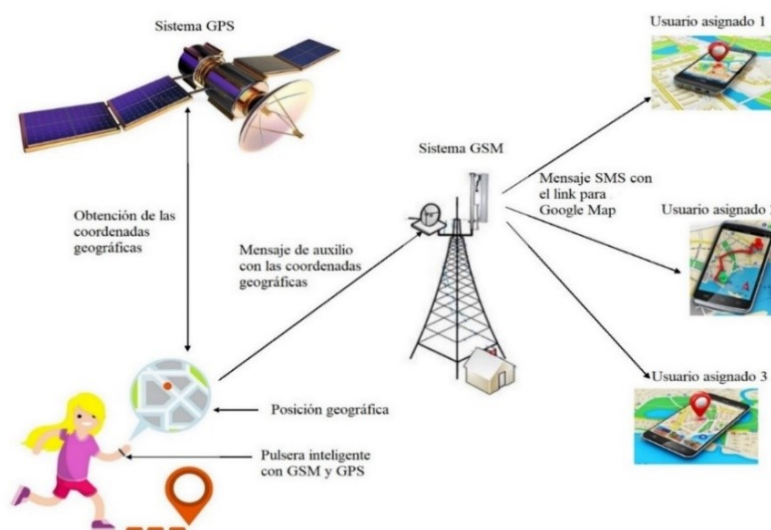
SOS. usando tecnología MEMS.

Arquitectura del prototipo de la pulsera de geolocalización, SOS, botón de pánico.

El prototipo de la pulsera propuesta presenta una arquitectura de comunicación tipo satelital y comunicación global móvil para obtener la posición geográfica de una persona vulnerable, generar y transmitir un mensaje de auxilio. El prototipo está implementado por un módulo GSM, modelo *IoT-GA6-B*, un módulo GPS, modelo *Neo-6M-uBlox*, una plataforma de prototipado de código abierto Arduino UNO y una tarjeta de módulo de identificación de abonado (SIM) de la compañía Telcel-México, de tercera generación (3G), y un pulsador.

Para los procesos de comunicación entre los módulos y la tarjeta Arduino se emplearon dos protocolos de comunicación. En el caso del módulo GPS se utilizó el protocolo de comunicación National Marine Electronics Association (NMEA) y para el módulo GSM se utilizó un protocolo serie y comandos AT. Además, el módulo GSM utiliza la banda de 1900MHz para la transmisión de mensajes a través del servicio de mensajes cortos SMS, y se puede conectar a un total de 12 satélites para obtener la ubicación geográfica del portador de la pulsera. Adicionalmente, este prototipo hace uso de la telefonía celular o móvil inteligente como medio de recepción de los mensajes con formato SMS y de las coordenadas geográficas. Esto es gracias a la capacidad de los teléfonos inteligentes para gestionar un mensaje SMS y utilizar la aplicación Google Maps para visualizar la ubicación geográfica de una víctima en tiempo real. La figura 2 presenta la arquitectura del sistema de geolocalización propuesto.

Figura 2. Arquitectura del sistema de geolocalización: botón de pánico.



Funcionamiento del botón de pánico.

Cuando el portador del botón de pánico se encuentra en una situación de emergencia, sólo debe de apretar el botón (pulsador) durante un periodo aproximado de 5s. para activar al sistema, y éste genere mensajes de auxilio con su ubicación geográfica. Cuando el botón ha sido presionado, el sistema activa el módulo GPS y éste comienza una búsqueda de la señal de posicionamiento. La información con la posición es transmitida a la placa Arduino usando el protocolo de comunicación NMEA a través de una conexión serie. Este proceso de transmisión se realiza cada segundo.

El sketch computacional (IDE de Arduino) que contiene la placa de Arduino UNO gestiona e interpreta la información recibida del módulo GPS y transmite la información al módulo GSM usando comandos AT a través de un protocolo de comunicación serie. El módulo GSM recibe dicha información y envía mensajes SMS de auxilio a tres números telefónicos específicos que pertenecen a personas de confianza o asignadas con antelación. Estas personas de confianza pueden ser familiares de la víctima o bien autoridades de seguridad pública que se encargaran de gestionar los mensajes de auxilio y tomar las medidas pertinentes para ayudar a la víctima en cuestión. El mensaje SMS generado por el sistema presenta una leyenda de auxilio y un enlace (link) de acceso a la aplicación Google Maps para visualizar en un mapa de la ciudad de México la ubicación geográfica de la víctima. A partir del primer mensaje de auxilio, el sistema envía una actualización de la posición geográfica de la víctima aproximadamente cada 3 minutos.

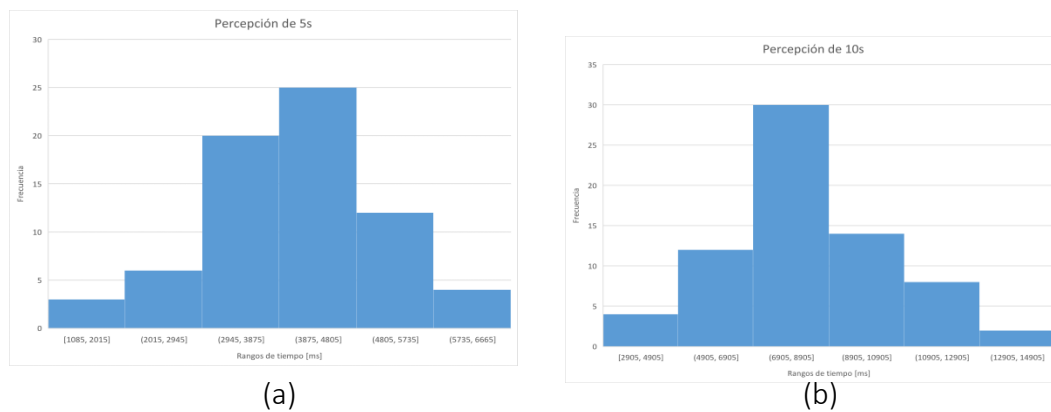
Definición de las ventanas de tiempo

Los intervalos o ventanas de tiempo utilizados en el botón de pánico se definieron en función de los resultados obtenidos de un estudio de percepción de tiempo realizado a una muestra de 70 personas. El estudio consistió en que las personas presionaran un botón durante lo que ellas consideraran 5 y 10 segundos. Para el periodo de 5 s., se obtuvo un promedio de 4019ms con una desviación estándar de $\sigma=1094$, este comportamiento se puede observar en la figura 3a. Para el caso de 10 segundos, se obtuvo la figura 3b con un promedio de 8413ms con una desviación de $\sigma=2309$. En las figuras 3a y 3b se presentan los histogramas del estudio de percepción de tiempo, en donde se puede observar la frecuencia de los intervalos en que las personas

mantuvieron presionado el botón. El promedio corresponde al intervalo donde hubo mayor frecuencia. Con base a estos resultados se definieron los intervalos de tiempo para la activación y desactivación del dispositivo.

Figura 3.

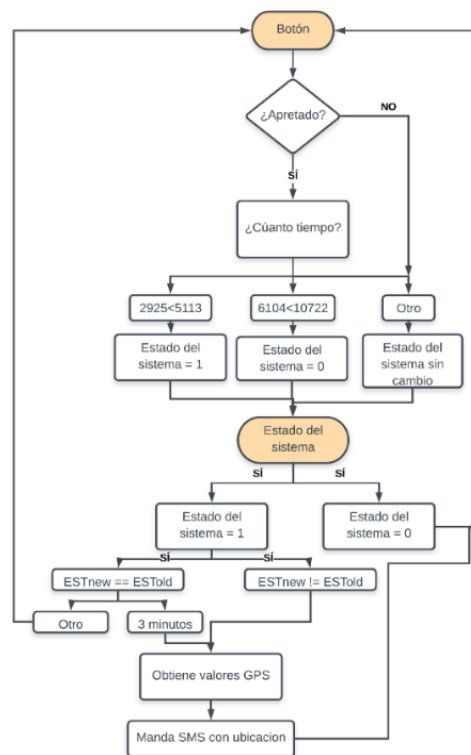
Histograma de percepción de tiempo, (a) para 5s, y (b) para 10s.



Ventanas de tiempo de activación del botón de pánico

La activación o desactivación del prototipo está basada en tres intervalos o ventanas de tiempo, el primero está entre $2925 < t < 5113$ ms, el segundo está entre $6104 < t < 10722$ ms, y el tercero corresponde al complemento de los dos primeros. Las ventanas 1 y 2 son periodos que corresponden a una percepción de tiempo de 5 segundos y de 10 segundos, respectivamente, y definen la tarea a ser ejecutada en función del tiempo que se mantiene presionado el botón. La figura 4 presenta el diagrama de flujo que describe el funcionamiento del prototipo botón de pánico. Cuando el botón de la pulsera inteligente es presionado, el sistema comienza a cuantificar el tiempo que se mantuvo en ese estado. Si el tiempo que duró el botón activado está dentro de la primera ventana ($2925 < t < 5113$ ms), el sketch genera un nivel ALTO (1 lógico) y verifica el estado previo del botón. Si el estado previo del botón fue BAJO (0 lógico), se determina que el botón fue accionado por primera vez y se obtienen los datos de geolocalización y se envía el primer mensaje SMS de auxilio.

Figura 4. Diagrama de flujo del funcionamiento del botón de pánico.



En el caso contrario, cuando el estado previo del botón fue ALTO, significa que ya se había generado un mensaje de auxilio con antelación. Entonces, el sistema cuantifica el tiempo que ha transcurrido desde dicho evento. Si el tiempo es igual o mayor a 3 minutos, el sistema obtiene los datos de geolocalización recientes y genera otro mensaje. Ahora bien, si el botón es presionado durante el periodo de la segunda ventana ($6104 < t < 10722$ ms.), el sketch genera un estado BAJO y nuevamente verifica el estado previo del botón. Si el estado previo era ALTO, es decir, el dispositivo estaba ejecutando la tarea de envío de mensajes, entonces se cambia el estado a BAJO y, por lo tanto, el dispositivo deja de enviar mensajes de texto. Por otra parte, si el estado anterior del botón era BAJO, simplemente se revisa si el botón ha sido presionado nuevamente o no. Pero, si el botón es presionado fuera de estas dos ventanas, el sketch sólo verifica si el botón ha sido presionado nuevamente, pero no obtiene datos de geolocalización, ni genera ningún mensaje. En conclusión, la primera ventana de tiempo ($2925 < t < 5113$ ms) es para activar el sistema y la segunda para apagarlo ($6104 < t < 10722$ ms), cualquier actividad del botón de pánico que esté fuera de estos intervalos es simplemente ignorada.

Desarrollo del Sketch computacional del prototipo

El desarrollo del Sketch se basó en el diagrama de flujo que se presenta en la figura 4 y se implementó en el IDE de Arduino. El código del Sketch incluye las bibliotecas necesarias para obtener los datos de geolocalización del módulo GPS y establecer comunicación serie con Arduino. Estas bibliotecas son TinyGPS++ y softwareSerial, respectivamente.

La función TinyGPSPlus crea una instancia “gps” que permite llamar a los métodos propios de la paquetería TinyGPS++ para la extracción de información de los códigos NMEA. La comunicación serie entre módulo GPS y Arduino utilizó una velocidad de transmisión de 9600 baudios y entre el módulo GSM y Arduino fue de 115200 baudios. La función SoftwareSerial se utilizó para configurar los puertos del Arduino para la comunicación serie con los módulos.

En la figura 5a se muestra el bloque del código que verifica si el módulo GPS está transmitiendo información de geolocalización y el estado del botón SOS. Si se cumple que el botón se mantuvo presionado durante la ventana de tiempo 1 ($2925\text{ms} < t < 5113\text{ms}$), se cambia el estado del sistema a ALTO y el dispositivo se “enciende”. En la figura 5b se observa la función denominada EnvioSMS(). Esta función se encarga de enviar un mensaje SMS con el comando “AT+CMGF=1\r” y la dirección URL de Google Maps junto con los datos de latitud y longitud geográficas a un número telefónico establecido (“AT+CMGS =\” 55””), que corresponde a un contacto de confianza. La figura 5c presenta el código que se encarga de gestionar la deshabilitación del sistema cuando el botón SOS ha sido presionado de forma accidental o se desee apagar. En este caso, el dispositivo puede ser apagado o llevado a un estado “BAJO” al presionar el botón de forma continua en un lapso correspondiente a la ventana de tiempo 2 ($6104\text{ms} < t < 10722\text{ms}$). También, se observa la condición de que, si el dispositivo está activado, éste ejecute la función EnvioSMS cada 3 minutos (180000 ms).

Diagrama eléctrico del botón de pánico.

En la figura 6 se muestra el diagrama eléctrico que conforma el prototipo del botón de pánico. Éste está implementado por un módulo GPS, un módulo GSM, una placa Arduino UNO y un interruptor eléctrico de un polo un tiro (SPST), normalmente abierto, con resistencia pull-down de 330 ohms.

Figura 5.

Código del botón de pánico, (a) Código que permite que el GPS transmita información, (b) Función EnvioSMS que envía mensajes SMS a los contactos de confianza, y (c) Código que gestiona la acción de apagar el sistema.

(a)

```

49 while (ss.available() > 0) //Veri
50 if (gps.encode(ss.read())) //Y lo
51
52 PushActual = digitalRead(Push); /
53
54 tiempo(); //Función tiempo
55
56 if (2925 < DT && DT < 5113){ //Si
57
58   if (LEDestado == 0){ //Si el si
59     digitalWrite(LED,HIGH); //Aho
60     LEDestado = 1; //Me cambia el
61     R = 0;
62   }
63 }

```

(b)

```

101 void EnvioSMS(){
102   sim.print("AT+CMGF=1\r\n"); //El envío del SMS
103   delay(100);
104   sim.println("AT+CMGS =\"551\"); //Número de tel
105   delay(100);
106   sim.print("https://maps.google.com/maps?q="); //
107   sim.print(gps.location.lat(), 6); //Obtemos los
108   sim.print("+");
109   sim.print(gps.location.lng(), 6); //Obtemos los
110   delay(100);
111   sim.println((char)26); //El código ASCII del ctr
112   delay(100);
113   sim.println();
114   delay(1000);
115   Serial.println("Mensaje enviado");
116 }

```

(c)

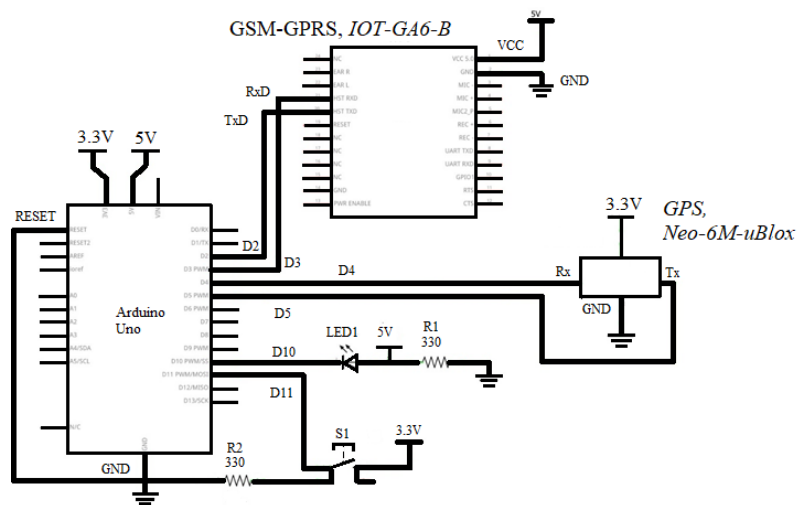
```

64 else if (6104 < DT && DT < 10722){
65   if (LEDestado == 1){ //Si el sist
66     digitalWrite(LED,LOW); //Ahora
67     LEDestado = 0; //Cambia el esta
68   }
69 }
70 PushViejo = PushActual; //Cambia el
71
72 unsigned long TA = millis(); //
73 unsigned long TT = TA - TV; //Rest
74
75 if (TT >= R && LEDestado == 1){
76   EnvioSMS();
77   TV = TA;
78   R = 100000;
79 }
80 }

```

La configuración eléctrica del botón se describe a continuación. Una terminal del interruptor está conectada a una fuente de voltaje de 3.3 volts y la otra terminal está conectada a la entrada digital D11 de la placa Arduino. De la misma entrada D11 se conecta un extremo de una resistencia de 330 Ω y el otro extremo se conecta a tierra. En la terminal D10 se conecta en serie un LED con una resistencia de 330 Ω , el cuál funciona como señalamiento visual durante el proceso de prueba. En el dispositivo final, este led será eliminado para cumplir con el objetivo de camuflaje. El módulo GSM se alimenta con un nivel de voltaje de 5 volts, y sus terminales UART (TXD y RXD) se conectan a la terminal D2 y D3 de Arduino, respectivamente. De igual forma las terminales UART (TX y RX) del módulo GPS se conectan a las terminales D4 y D5 de Arduino, respectivamente. El módulo GPS se alimenta con 3.3 volts y la tarjeta Arduino se alimenta con 5 Volts. El módulo GPS soporta una tensión de alimentación entre 3.3 y 5 Volts, y puede recibir una tensión máxima en los pines de comunicación de 3.3 volts. Este módulo presenta dos modos de consumo eléctrico; en modo de búsqueda consume 67 mA. y en modo de tracking consume 11 mA. También presenta una sensibilidad de rastreo y de captura de -162 dBm y -148 dBm, respectivamente. El módulo GSM puede ser alimentado con una tensión entre 3.7 y 5 volts, y una corriente máxima de 2 A cuando está en modo de trabajo y de 1 A en modo activo. Este módulo presenta cuatro bandas de frecuencia de operación 850/900/1800 /1900MHz.

Figura 6. Diagrama eléctrico del botón de pánico.



Comunicación GSM

Para la comunicación GSM, el módulo IOT-GA6-B puede utilizar una tarjeta SIM (módulo de identificación de abonado) de cualquier compañía telefónica que opere en México (o en el país que se desee utilizar) para poder transmitir los mensajes SMS a través de la red GSM. Para este trabajo se utilizó una SIM de la compañía Telcel debido a las siguientes características que presenta; opera en las mismas bandas de frecuencia que el módulo GSM (850 y 1900 MHz), y utiliza la red 3G (Garrido, 2021). También, presenta varios planes tarifarios. Debido a que el sistema sólo funcionara cuando se presente una emergencia, no es necesario contratar un plan o paquete con internet, por lo que se puede utilizar el modo "paga lo que usas", así, cada mensaje de texto tiene un costo de 0.98mxn. Además, el saldo se "congela" tras un plazo de 30 días y se acumula al nuevo saldo, mes con mes. Utilizando este plan tarifario no se paga una mensualidad con costos elevados y con servicios que no se utilizan. Además, esta compañía telefónica tiene una cobertura garantizada del 86% y una cobertura poblacional diferenciada del 90.5% a nivel nacional. En dónde 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%. Con respecto a la cobertura del servicio en la ciudad de México se cubre un 99.8% de localidades y el 100% de municipios con las redes 3G y 4G de acuerdo con el Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2020. Esta cobertura garantiza una alta certidumbre en la transmisión de mensajes SMS generados por el prototipo dentro de la Ciudad de México.

Pruebas de funcionalidad

Comunicación entre el módulo GPS (Neo-6M-uBlox), y Arduino UNO

La primera prueba de funcionalidad consistió en establecer la comunicación serie entre el módulo GPS y Arduino Uno. La conexión eléctrica utilizada se presenta en la figura 7. Se utilizó el sketch ya mencionado, en donde se configuró una velocidad de comunicación serie de 9600 baudios en ambos dispositivos y se utilizaron los códigos del protocolo NMEA. El código GPLL proporciona la latitud y longitud del módulo GPS. Estas coordenadas geográficas se ingresan en la aplicación Google Maps para ser interpretadas y obtener la geolocalización del portador del sistema. En la tabla 1 se presentan los códigos utilizados por el módulo GPS.

Figura 7. Conexión eléctrica entre el módulo GPS Neo-6M-uBlox y Arduino UNO.

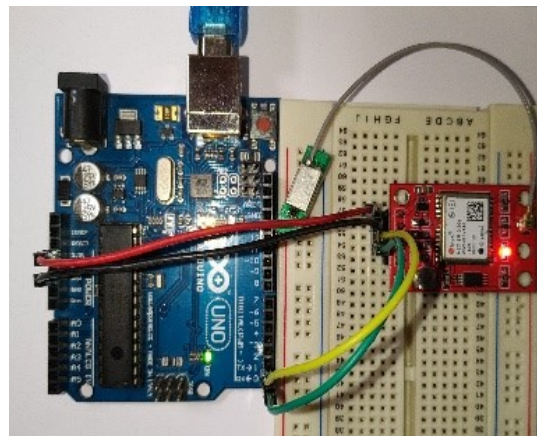


Tabla 1. Códigos NMEA utilizados por el módulo GPS Neo-6M-uBlox

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
GPGLL	Latitud y Longitud geográficas
GPRMC	Datos GPS/Transito mínimos específicos
GPVTG	Curso y Velocidad con respecto a la Tierra
GPGST	Pseudo Error Estadístico
GPZDA	UTC Tiempo y Fecha

En la figura 8 se presentan los datos que el módulo Neo-6M-uBlox transmite a Arduino, en función del código recibido. Los códigos que se observan en la figura son \$GPGGA, \$GPGSA, \$GPGSV, \$GPGLL, \$GPGGA, \$GPGMC, y \$GPGIA. El código \$GPGLL regresa los

datos de geolocalización con el siguiente formato: **\$GPGGA,110617.00,41XX.XXXXX,N,00831.54761,W,1,05,2.68,129.0,M,50.1,M,*42**, en donde los primeros datos numéricos corresponden al estándar de tiempo en formato UTC, los siguientes indican la latitud y se especifica la dirección de la misma con una letra mayúscula (N = Norte, S = Sur), enseguida se indica la longitud y de igual manera su dirección es especificada con una letra (E = Este, W = Oeste), después se presenta el modo de trabajo del módulo (tiene hasta 8 modos), el siguiente dato corresponde al número de satélites a los cuales se está conectado, después continua con la posición horizontal y finalmente presenta la altitud en metros con respecto al nivel del mar.

Por otra parte el código \$GPGSA devuelve la información con el formato siguiente: **\$GPGSA,M,3,17,02,30,04,05,10,09,06,31,12,,,1.2,0.8,0.9*35**, en donde la primer letra indica el modo de trabajo (M=manual o A=automático), después se indica el modo de trabajo disponibles (1=Sin ajuste, 2=Ajuste 2D, 3=Ajuste 3D) y los números siguientes indican el número de satélites a los cuales se está conectado, estos pueden tomar desde la cuarta hasta la décimo quinta posición e indicar la clase de satélite o tecnología de rastreo mediante rangos (GPS = 1 a 32, SBAS = 33 a 64 y GLO = 65 a 96). Los símbolos de coma que presenta la línea de comando en lugar de datos numéricos en la figura 8 indican que el módulo no está obteniendo datos de los satélites.

Figura 8. Información transmitida por el módulo Neo-6M-uBlox.

```
$GPGGA,,,,,0,00,99.99,,,,,*48
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,99.99,99.99,99.99*30
$GPGSV,3,1,12,01,,,29,04,,,25,08,,,25,10,,,28*75
$GPGSV,3,2,12,11,,,24,12,,,29,14,,,25,15,,,25*74
$GPGSV,3,3,12,16,,,27,17,,,26,18,,,29,20,,,31*78
$GPGLL,,,,,V,N*64
$GPRMC,,V,,,,,,,,,N*53
$GPVTG,,,,,,,,,N*30
$GPGGA,,,,,0,00,99.99,,,,,*48
```

Comunicación entre módulos GSM (IOT-GA6-B), y Arduino UNO

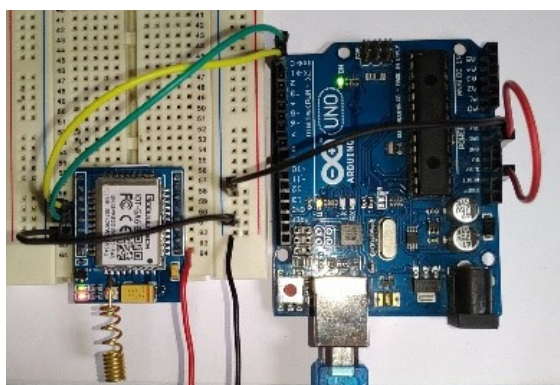
La segunda prueba de funcionalidad consistió en establecer la comunicación serie entre el módulo GSM y Arduino UNO. Esta conexión eléctrica se presenta la figura 9a y se utilizó el software Docklight para dicha tarea. El primer comando AT de prueba transmitido al módulo GSM fue "AT <CR>" y como resultado el módulo devolvió la siguiente palabra "\$<SOH>@<LF>" para indicar que estaba activo, pero no listo para recibir comandos. Una vez que el módulo envió el comando "AT Ready <CR><LF>", éste estuvo listo para recibir comandos AT. Consecuentemente, el módulo comunicó que

estaba encendido mediante el código “AST_POWERON”, y después envió el código “SMS Ready” para indicar que se podían enviar mensajes de texto.

Después entregó la fecha y hora local mediante el código “+NITZ” y posteriormente devolvió el comando “Call Ready”, para indicar que estaba listo para recibir y realizar llamadas. Por último, retornó el código “+CREG: 1”, para indicar que el módulo se había registrado adecuadamente en la red GSM. El proceso de comunicación entre el módulo y Arduino se observa en la figura 9b. Una vez concluida esta prueba de funcionalidad, este proceso de comunicación fuero implementado en el Sketch del prototipo. La tabla 2 presenta los comandos AT utilizados en este trabajo.

Figura 9

Comunicación entre módulo GSM y Arduino, (a) Conexión eléctrica entre módulos y (b) Información obtenida del módulo IOT-GA6-B.



Communication			
ASCII	HEX	Decimal	Binary
06/11/2019 16:54:46.404 [TX]			- AT<CR>
06/11/2019 16:55:25.901 [RX]			- y\$ <SOH>@<LF>
<NUL> ? <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL>			<NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL>
06/11/2019 16:55:50.718 [TX]			- AT<CR>
06/11/2019 16:56:19.192 [RX]			- <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL>
<NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL>			<NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL> <NUL>
			AT Ready<CR><LF>
			<CR><LF>
			AST_POWERON<CR><LF>
			<CR><LF>
			SMS Ready<CR><LF>
			<CR><LF>
			+NITZ:19/11/06,16:57:56,a4<CR><LF>
			<CR><LF>
			Call Ready<CR><LF>
			<CR><LF>
			+CREG: 1<CR><LF>

Tabla 2. Comandos AT para acciones en el módulo IOT-GA6-B.

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>

Caracterización de consumo energético del sistema

La tercera prueba de funcionalidad correspondió a la caracterización de consumo energético de los módulos implicados en el diseño del prototipo. Esta caracterización se dividió en dos bloques; el primero está implementado por el módulo GPS-Arduino, y el segundo bloque por el módulo GSM-Arduino.

Para el primer bloque se consideraron tres estados de operación del módulo GPS que son encendido, buscar ubicación y obtener ubicación. Como se puede observar en la tabla 3, el consumo eléctrico corresponde a un consumo máximo de corriente de 27.5 mA., y un consumo máximo de voltaje máximo de 4.33 Volts en modo de obtener ubicación. La tabla 3 presenta el consumo eléctrico del primer bloque con respecto a cada uno de los estados de funcionalidad.

Para el segundo bloque, se consideraron cuatro estados de operación del módulo; encendido, llamada, mensaje SMS y *stand by*. De acuerdo con la caracterización eléctrica, el consumo máximo de corriente fue de 180 mA con un consumo de voltaje de 5.1 volts en modo llamada. En los demás casos se presentó un consumo de voltaje promedio de 5.2 volts y de corriente menor a 100 mA. En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de los cuatro modos de operación del módulo GSM. Con base a los resultados, se puede concluir que el módulo no consume los 2 Amperes que recomienda el fabricante. Sin embargo, es recomendable, que la fuente de alimentación utilizada por el sistema tenga la capacidad de proporcionar los 2 Amperes para evitar algún problema de funcionalidad.

Tabla 3. Consumo eléctrico del módulo GPS, Neo-6M-uBlox

Neo-6M-uBlox		
Estado	Corriente [mA]	Voltaje [V]
Encendido	26	3.99
Buscar ubicación	27.4	4.25
Obtener ubicación	27.5	4.33

Caracterización de potencia transmitida del módulo GSM

La cuarta prueba de funcionalidad consistió en medir el nivel de la potencia transmitida y la frecuencia de operación del módulo GSM en los modos de hacer llamada, recibir

llamada y envío de mensaje. Para realizar esta caracterización se utilizó una cámara semianecoica, un receptor de emisiones radiadas EMI, de la marca Rohde&Schwarz, modelo ESIB-26 y una antena de corneta marca ETS-Lindgren, modelo 3117, del taller cámara semianecoica de la Facultad de ciencias, UNAM.

Tabla 4. Consumo eléctrico del módulo GSM/GPRS, IOT-GA6-B

IOT-GA6-B		
Estado	Corriente [mA]	Voltaje [V]
Encendido	80	5.3
Llamada	180	5.1
Mensaje SMS	30	5.2
Stand By	14	5.2

La configuración de prueba utilizada correspondió a la técnica de transmisión de Friis. Para el cálculo de la potencia máxima radiada por el módulo se utilizó la ecuación 1.

$$P_R = P_{TX} \frac{G_{TX} G_{RX} \lambda^2}{4\pi r^2} \quad \text{ec. (1)}$$

en donde P_{TX} es la potencia transmitida del módulo, G_{RX} es la ganancia de la antena receptora y fue de 5dBi, la ganancia de la antena transmisora del módulo (G_{TX}) fue de 3dBi, la distancia entre las dos antenas (r) fue de 3 metros, y la frecuencia de operación de 1900MHz. Las intensidades máximas medidas fueron muy similares en todos los casos con un promedio de -31.57 ± 4 dBm. Este valor corresponde a una potencia máxima de transmisión (P_{TX}) del módulo de 8 dBm. Este valor de transmisión se debe a que el módulo consumió un promedio de 180mA durante la prueba. El valor promedio obtenido de -31.57 dBm es un valor muy cercano a la potencia esperada para un módulo GSM de clase 10. Es decir, que el módulo genera una potencia máxima transmitida con una alimentación de corriente máxima de -29.57 dBm a una distancia de 3 metros. Cabe señalar que se utilizó material absorbente para eliminar las señales reflejadas por las paredes y piso de la cámara. Debido a que no se logró que el módulo GPS estableciera

comunicación con la red satelital desde dentro de la cámara, no se hizo un análisis semejante. La configuración de prueba se observa en la figura 10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba final de funcionalidad correspondió a una prueba de campo en dónde se trazó una ruta de prueba que inició en la Facultad de Ciencias de la UNAM, CDMX y terminó en Ciudad Satélite, estado de México. Para esta prueba se definió un solo usuario de confianza, y su número telefónico fue agregado al sistema. La persona encargada de controlar el prototipo realizó el trayecto mencionado abordo de un automóvil sedan a una velocidad promedio de 80 Km/h. La figura 11a presenta el prototipo final utilizado en la prueba de campo.

Figura 10.

Medición de la potencia transmitida y frecuencia de operación del módulo GSM.

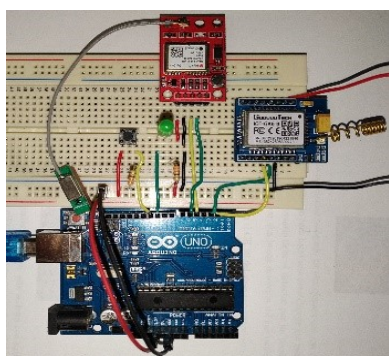


Cuando el dispositivo fue activado, el usuario de confianza recibió mensajes como los que se muestran en la figura 11b. Estos mensajes están conformados por un enlace (link) que permite abrir de forma automática la aplicación de Google Maps, en dónde se despliega la ubicación del usuario que activó el botón. El prototipo puede incluir algún mensaje como "Auxilio", "Ayuda" o también puede contener datos como la hora y día en que se recibió la ubicación. En la figura 11b se presenta un mapa en donde se muestran los marcadores tipo globo de color verde que corresponden a las ubicaciones obtenidas mediante mensajes de texto y una línea roja que describe la trayectoria realizada durante la prueba de campo. Las ubicaciones presentan una precisión adecuada ($\pm 2.5\text{m}$) con respecto a la trayectoria establecida. Sin embargo, en la figura 11b se observan zonas de la trayectoria en las que no se generaron marcadores, a pesar

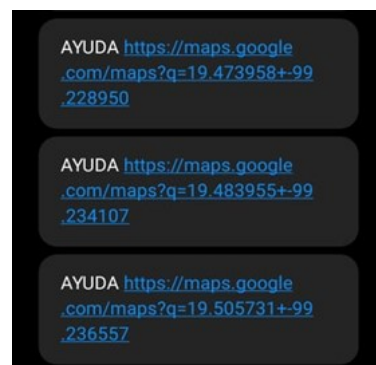
de que el prototipo generó los mensajes, y los usuarios de confianza los recibieron cada tres minutos. La falta de marcadores fue consecuencia directa de que el módulo GPS presentó interferencias en la comunicación. Esto propició, que el sistema enviara mensajes con las ubicaciones anteriores al momento de perder conexión. Estas fallas se pueden deber a varios factores tales como, la trayectoria establecida para la prueba de campo cruzara zonas ciegas de cobertura de la compañía telefónica utilizada, así como también, que la trayectoria este rodeada de estructuras arquitectónicas como puentes, pasos a desnivel, edificios, etc. que perturbaron o bloquearon la señal del módulo GPS. De igual forma, otra causa pudo ser que el módulo no se alimentó con la corriente máxima de 2 Amperes, sino con la corriente mínima utilizada en las pruebas de laboratorio. Por lo tanto, la suma de todos estos factores pudo contribuir a una degradación en la operación del módulo GPS. También se deben de considerar las limitantes técnicas que tiene el módulo al ser de propósito general, de bajo coste y que está diseñado para aplicaciones sencillas y fijas.

Figura 11.

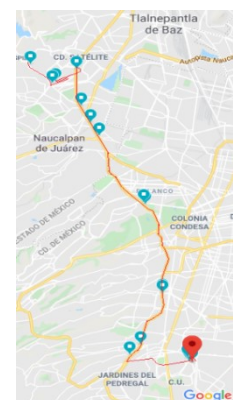
Protitpo de botón de pánico, (a) Circuito eléctrico, (b) Mensajes enviados al teléfono de la persona de confianza com el hipervínculo, y (c) Trayectoria generada con las ubicaciones geográficas del portador y con la aplicación Google Maps.



(a)



(b)



(c)

CONCLUSIONES

El prototipo propuesto funcionó de forma adecuada tanto en las pruebas de laboratorio como en la prueba de campo, a pesar de que fue implementado con tecnología de bajo coste. El módulo GSM-GPRS operó en la banda de frecuencia de 1900 MHz y el módulo GPS tuvo una precisión de $\pm 2.5\text{m}$ (definida por el fabricante) en las ubicaciones

reportadas. Ambos módulos fueron alimentados con una corriente mínima. Esto representa un ahorro energético para el sistema.

Se debe de seguir trabajando en mejorar el rendimiento operacional del prototipo. Por ejemplo, mejorar la comunicación GPS para evitar pérdidas de información en ciudades con alto grado de perturbaciones arquitectónicas o de otra índole. Se puede mejorar el rendimiento del prototipo usando módulos GPS con características técnicas más avanzadas. Una vez subsanado estos detalles se puede empezar a desarrollar la propuesta de un sistema embebido utilizando tecnología MEMS. Un aspecto importante es buscar mecanismos comerciales que permitan utilizar al sistema en situaciones de emergencia sin necesidad de tener un plan tarifario.

LISTA DE REFERENCIAS

- 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.
- Celularia. (2021). Celularia. Localizadores GPS y Vending en México. Ciudad de México, México. Recuperado de <https://celularia.com.mx/gps-alzheimer-mexico/>
- Chávez, J., & Vázquez, J. (2002). *Sistema de Navegación Inteligente: usando GPS, una palm, un módem inalámbrico y una central de monitoreo con un software de mapeo* (Tesis de pregrado). Escuela Superior de Computación del Instituto Politécnico Nacional, México.
- Comisión de las comunidades europeas. (1999). *Navegación por satélite: Galileo, EUR-Lex*. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:51999DC0054&from=PL>.
- 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.
- 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.
- Federal Communication Commission, FCC. (2019). *Wireless E-911 Location Accuracy Requirements*. Recuperado de <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-360516A1.pdf>.
- 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>
- Garmin International. (2021). Garmin. Kansas, EE. UU. Recuperado de <http://www.garmin.com>.
- 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/>
- 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 Nacional de Estadística y Geografía (2019). *Consulta interactiva de datos*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=mortgral_dh.
- 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>
- Telcel (2021). *Mapa de Cobertura*. Recuperado de https://www.telcel.com/mundo_telcel/quienes-somos/corporativo/mapas-cobertura

- Movistar. (2012). *Movistar México: Contador gratis*. Recuperado de <http://www.contadorgratis.es/reporte/localizame.movistar.com.mx>
- Movistar. (2021). *Movistar México: Tracking and Go*. Ciudad de México, México. Recuperado de <https://www.movistar.com.mx/web/negocios/rastreo-vehicular-tracking-and-go>
- Navento Technologies SI. (2021). EZENTIS. Madrid, España. Recuperado de <https://www.ezentis.com/>
- Li, D., Gu, Y., y Kamijo, S. (2017). Pedestrian positioning in urban environment by integration of PDR and traffic mode detection. *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Yokohama, Japan. doi: 10.1109/ITSC.2017.8317779
- 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.
- Robledo S. C. (2016). *Genealogía e historia no resuelta de la desaparición forzada en México*. Íconos Revista De Ciencias Sociales, 55. doi: 10.17141/iconos.55.2016.1854
- 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.
- U-blox Company (2013). U-Blox 6: Receiver Description Including Protocol Specification (Publicversion), Docu. No.GPS.G6-SW-10018
- Vela, D. (2019). Secuestro aumenta 36.5% en 2019: 'Alto al Secuestro'. *El Financiero*. Recuperado de <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/secuestro-aumenta-36-5-en-2019-alto-al-secuestro>.