

Alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca

Smart alarm to prevent bike theft in Oaxaca City

MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela†*, JIMÉNEZ-ROCHA, Alejandra, HERNANDEZ-ABREGO, Anayansi Cristina y SÁNCHEZ-DIAZ, Clara Aurora

Tecnológico Nacional de México, Campus Oaxaca. Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030; Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

ID 1^{er} Autor: *Maricela, Morales-Hernández* / **ORC ID:** 0000-0002-3521-2041, **CVU CONACYT ID:** 731036

ID 1^{er} Coautor: *Alejandra, Jiménez-Rocha* / **ORC ID:** 0000-0002-4394-8454, **CVU CONACYT ID:** 1063629

ID 2^{do} Coautor: *Anayansi Cristina, Hernandez-Abrego* / **ORC ID:** 0000-0002-8882-4842, **CVU CONACYT ID:** 748036

ID 3^{er} Coautor: *Clara Aurora, Sánchez-Díaz* / **ORC ID:** 0000-0002-1149-454X, **CVU CONACYT ID:** 787254

DOI: 10.35429/JTEN.2020.14.4.1.12

Recibido 03 de Junio, 2020; Aceptado 30 Octubre, 2020

Resumen

El objetivo del presente artículo es presentar el desarrollo de un prototipo de alarma inteligente que coadyuve en la prevención del robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca basado en un sistema programable. El proyecto surge como una necesidad de protección y seguridad de la bicicleta como medio de transporte; ya que los robos de bicicletas estacionadas en vía pública en la ciudad de Oaxaca aumentan día a día. Como, por ejemplo, Carrera (2018) hace notar que la autoridad responsable no tiene una participación decidida en el abatimiento de robos a bicicleta y que son los ciudadanos los que por sus propios medios las buscan y no siempre con éxito. La investigación se llevó a cabo en dos fases, en el presente documento se presenta la primera fase, en la cual, se diseñaron e implementaron dos prototipos funcionales de la alarma inteligente. La metodología de desarrollo aplicada es la de prototipos; ya que ésta facilita la comprensión de las necesidades de los usuarios. Con la presente investigación se espera sentar las bases para continuar con la mejora del prototipo y de este modo, se ofrezca a la sociedad una opción de protección de su patrimonio.

Alarma inteligente, Sistema programable, Antirrobo

Abstract

The objective of this article is to present the development of a smart alarm prototype that will help prevent bicycle theft in Oaxaca City, which is based on a programmable system. The project arises as a need for protection and safety of the bicycle as a means of transportation; since the thefts of bicycles parked on streets in Oaxaca City increase day by day. As, for example, Carrera (2018) notes that the responsible authority does not have a decisive participation in the abatement of bicycle thefts and that it is the citizens who seek them out by their own means and they not always get success. The research was carried out in two phases, in this document the first phase is presented, in which two functional prototypes of the smart alarm were designed and implemented. The applied development methodology is that of prototypes; since this facilitates the understanding of the needs of the users. With the present research, it is hoped to lay the foundations to continue with the improvement of the prototype and in this way, society will be offered an option to protect its heritage.

Smart alarm, Programmable system, Antitheft device

Citación: MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, JIMÉNEZ-ROCHA, Alejandra, HERNANDEZ-ABREGO, Anayansi Cristina y SÁNCHEZ-DIAZ, Clara Aurora. Alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2020. 4-14: 1-12

* Correspondencia del Autor ((moralesh.maricela@gmail.com))

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El objetivo del presente artículo es presentar el desarrollo de un prototipo de alarma inteligente que coadyuve en la prevención del robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca basado en un sistema programable. La investigación se ha dividido en dos fases, y en este documento se presenta la primera. El proyecto surge a partir de observar un incremento de robos de bicicletas estacionadas en vía pública en la ciudad de Oaxaca. Como, por ejemplo, Carrera (2018) en su artículo de un diario de circulación estatal, hace notar que la autoridad responsable no tiene una participación decidida en el abatimiento de robos a bicicleta y que son los ciudadanos los que por sus propios medios las buscan y no siempre con éxito.

También Robles (2018) en otro artículo de El Imparcial (periódico local), enfatiza que estadísticamente después del robo de medidores de agua y automóviles; el robo de bicicletas ya es significativo en la capital del estado de Oaxaca; agregando que esto ocurre bajo las cámaras de vigilancia de la Secretaría de Seguridad. Agrega que son bandas bien organizadas de acuerdo con declaraciones de los vecinos y que usan herramientas como la cizalla para cortar las cadenas con las que aseguran las bicicletas.

La metodología de desarrollo aplicada es la de prototipos; ya que ésta facilita la comprensión de las necesidades de los usuarios. Para construir la alarma inteligente, se utiliza un sistema programable que consta de sensores, un microcontrolador en el que se programa el sistema y actuadores que alertan al usuario de un posible robo o extracción de su patrimonio (bicicleta), mediante mensaje SMS - Short Message Service (Hillebrand, 2010) a un número de celular previamente registrado.

De acuerdo con Nuevo y Escaño (2018), el control automático está presente en la vida cotidiana de las personas y actualmente se incorporan las últimas tecnologías de la información y comunicación, lo que les da mayor confiabilidad a los sistemas, con precios más asequibles. Existen en la actualidad diferentes tipos de alarmas para bicicletas; sin embargo, no todos estos modelos integran las funcionalidades propuestas en el prototipo que se presenta en este trabajo.

Por ejemplo, en la tienda en línea Amazon se encuentran el Candado con Alarma para Bicicleta con un precio de \$1739.74 pesos mexicanos y sólo cuenta con una alarma audible en caso de robo (Amazon, 2020); también se encuentra en esta misma tienda el Candado para Bicicleta y Motocicleta con Alarma y Sensor de Movimiento con precio de \$889 pesos mexicanos (Amazon, 2020), el cual cuenta únicamente con un sensor de movimiento, que al activarse emite una alarma de 110 decibeles.

En la propuesta que se presente en este artículo incorpora cinco módulos y utiliza tecnología de segunda generación de dispositivos móviles, para garantizar su funcionalidad, estos módulos son:

1. Acelerómetro: Detecta cualquier movimiento inusual en la bicicleta.
2. Lector de tarjeta RFID (Radio Frequency IDentification): Permite obtener códigos binarios de etiquetas ubicadas a cierta distancia de un lector (Salas, 2017).
3. Geolocalizador: Genera la ubicación en latitud y longitud que será enviada mediante mensaje SMS.
4. SIM: Establece la comunicación entre la alarma y el dispositivo móvil del usuario. Según Burbak et ál (2013), el Sistema Global Para comunicaciones Móviles (GSM) hace una clara diferencia entre la movilidad del suscriptor y la movilidad del equipo a través del SIM.
5. Base de datos: almacenar todas las ubicaciones donde se ha presentado alguna incidencia con la bicicleta

El artículo se ha dividido en varias secciones para su mejor comprensión: en el planteamiento del problema se explica la necesidad encontrada a partir de la observación del entorno y las incidencias que se han presentado en la ciudad de Oaxaca con el incremento en el robo de bicicletas; en la propuesta de solución se explica la forma en que se da respuesta a la problemática planteada; en la sección metodología a desarrollar se fundamentan los pasos que se siguieron en el desarrollo de los prototipos; en el desarrollo se detallan los dos prototipos que se desarrollaron en esta fase; posteriormente se habla de los trabajos futuros, que en este caso, sería la segunda fase del presente trabajo.

Luego, se presentan los agradecimientos tanto a la institución que apoyó la investigación, como a las personas que participan en este proyecto. Después, se dan las conclusiones. Y, para finalizar, el artículo lista las referencias en las que se ha basado.

Planteamiento del problema

Este proyecto surgió a partir de la identificación de la necesidad de protección y seguridad de la bicicleta como medio de transporte; ya que éste por ser económico y libre de contaminación, va ganando popularidad en su uso para transportarse, alcanzando distancias de recorrido de entre 6 y 10 kilómetros, y en ocasiones, hasta mayores distancias en la ciudad de Oaxaca y sus municipios conurbados. En contraparte, un problema al que se enfrentan los usuarios de las bicicletas es el robo de las mismas, ya que, de acuerdo con la ENVIPE (Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública 2019),

Se estima en Oaxaca que 45.4% de la población de 18 años y más considera la inseguridad como el problema más importante que aqueja hoy en día su entidad federativa, seguido de la pobreza con 44.7 % y la salud con un 40.8% (INEGI,2019, p. 21).

Además, al consultar los diarios de mayor circulación en la ciudad, tales como Noticias voz e imagen de Oaxaca, el Imparcial, entre otros, se pueden encontrar notas periodísticas sobre robos de bicicletas tal como lo menciona Carrera (2018), los robos de bicicletas se han llevado a cabo en pleno centro de la ciudad y en los bici-estacionamientos. Por lo anterior, en la actualidad, proteger el patrimonio de los ciudadanos se convierte en una necesidad imperante.

Metodología a desarrollar

Para el desarrollo de la alarma inteligente, se utiliza la metodología de desarrollo rápido de aplicaciones (RAD) basada en la creación de prototipos, según Fernández, un prototipo:

Es un sistema de información funcional a pequeña escala que permite descubrir cuáles son las necesidades de los usuarios. El método para el desarrollo rápido de aplicaciones tiene varias ventajas, entre las que destacan su rápido desarrollo y su bajo costo económico. (2010, p. 37)

El desarrollo de sistemas basado en prototipos no es un concepto nuevo, ya que se documentó desde los años 80's de acuerdo con McCracken y Jackson (1982) aplicar la metodología de prototipo permite tener un desarrollo orientado al usuario, se avanza paso a paso con el usuario, a medida que se obtiene información del entorno y propiamente los requisitos del usuario. De este modo, se construyen una serie de prototipos de forma iterativa, pudiendo interpretar la idea de que el prototipo final son modificaciones del primer prototipo.

En el desarrollo basado en prototipos se pueden identificar desde el punto de vista de Alonso, Martínez y Segovia (2005), las siguientes etapas:

1. Recolección de requisitos
2. Diseño rápido
3. Construcción del prototipo
4. Evaluación del prototipo
5. Refinamiento del prototipo
6. Producto

Estas etapas fueron adaptadas al presente trabajo para lograr obtener los dos prototipos que se muestran en la sección del desarrollo.

Desarrollo

Primer prototipo

Requisitos

El primer prototipo es un sistema programable que contiene cinco módulos, entre ellos un localizador, un lector de tarjetas, envío de mensajes de texto, un acelerómetro y comunicación con un gestor de base de datos, en este caso se utiliza MySQL.

El usuario cuenta con una tarjeta para activar y desactivar la alarma y, al activarse, el dispositivo obtiene la latitud y longitud de la ubicación física de la bicicleta cada cinco minutos, notificando al propietario mediante un mensaje de texto enviado al número de celular registrado; estos datos son mapeados en Google Maps. Los datos mencionados anteriores son almacenados en una base de datos y pueden ser manipulados para realizar consultas sobre las zonas con mayor incidencia.

Diseño y construcción

El diseño y construcción se realizó por módulos, y la arquitectura utilizada es Arduino Uno, todos los componentes fueron montados en una placa de prueba para este primer prototipo; tales módulos se describen en los siguientes párrafos.

Módulo acelerómetro

El módulo acelerómetro MPU-6050 contiene: un giroscopio de tres ejes, como se muestra en la figura 1, con el que se puede medir la velocidad angular; y un acelerómetro, también de 3 ejes con el que se miden los componentes X, Y y Z de la aceleración.

La comunicación entre Arduino y el acelerómetro se realiza a través del protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit), conectando físicamente el acelerómetro a la placa Arduino a través de los pines SDA (serial Data) y SCL (serial Clock).

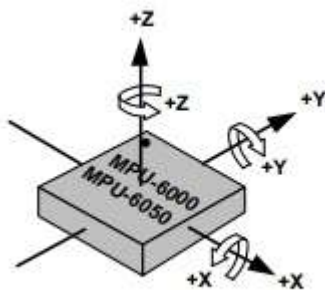


Figura 1 Orientación de los ejes de sensibilidad y polaridad de la rotación
Fuente (Invensense, 2012)

En la figura 2, se muestra un diagrama a bloques de la función que realiza el módulo de acelerómetro.



Figura 2 Diagrama a bloques del módulo acelerómetro
Fuente: Elaboración Propia

Módulo lector

En este módulo se utiliza un lector RFID (Radio Frequency IDentification), ya que con este lector y su complemento se puede intercambiar información importante, basta deslizar una tarjeta conteniendo la información y el lector la interpretará. La información puede ser desde un simple código o todo un paquete de información guardado en la memoria del lector.

El módulo se comunica mediante el bus SPI (Serial Peripheral Interface), por lo que se puede implementar en el prototipo, ya que permite la comunicación con la placa Arduino. El bus SPI envía y recibe datos mediante dos líneas diferentes: una línea que controla desde el prototipo a los diferentes componentes, y otra de manera inversa. Por tanto, la comunicación es Full-Duplex, es decir, se pueden enviar y recibir datos simultáneamente. El diagrama a bloques que describe la funcionalidad de este módulo se presenta en la figura 3.



Figura 3 Diagrama a bloques del módulo lector
Fuente: Elaboración Propia

Módulo geolocalizador

La comunicación del localizador GPS se lleva a cabo a través de un puerto serial que se emula mediante la librería SoftwareSerial de Arduino, se utilizan los puertos Rx0 y TX0 (puerto serie por Hardware) de este modo se pueden verificar los datos que se reciben. El diagrama a bloques de la figura 4 muestra la funcionalidad de este módulo.



Figura 4 Diagrama a bloques del módulo geolocalizador
Fuente: Elaboración Propia

Módulo SIM (Subscriber Identity Module)

Este módulo se comunica con el Arduino por medio de comandos AT (**a**ttention). Los comandos AT son instrucciones codificadas en un lenguaje especialmente diseñado para configurar módems. Este modo de comunicación permite que se usen pocos pines para el control del módulo, los más esenciales son los pines TXD (pin transmisor del módulo SIM) y RXD (pin receptor del módulo SIM).

La funcionalidad de este módulo puede verse en la figura 5.



Figura 5 Diagrama a bloques del módulo SIM
Fuente: *Elaboración Propia*

Módulo de base de datos

Para que el prototipo sea capaz de establecer la conexión y comunicación con una base de datos, se utiliza el gestor MySQL, para que éste módulo pueda funcionar se coloca el código mostrado en la figura 6, en el archivo /apache/conf/extra/httpd-xampp.conf, con esta configuración el servidor podrá almacenar los datos generados por el módulo geolocalizador.

```

</code>
</pre>

```

Figura 6 Código para la conexión de base de datos
Fuente: *Elaboración Propia*

La funcionalidad de este módulo se muestra en el diagrama a bloques de la figura 7.



Figura 7 Diagrama a bloques del módulo de base de datos
Fuente: *Elaboración Propia*

El primer prototipo se montó en una tarjeta de prueba y los resultados son los esperados, la alarma inteligente funciona correctamente; primero, se activa la alarma con la tarjeta RFID, una vez hecho esto, si la alarma detecta un movimiento, se empiezan a generar los datos de ubicación (longitud y latitud), el formato en el que se muestran puede observarse en el ejemplo de la tabla 1.

Latitud (deg)	Longitud (deg)
17.068630	96.704040
17.068630	96.704048
17.068628	96.704048
17.068628	96.704048

Tabla 1 Datos obtenidos por el modulo GPS
Fuente: *Elaboración Propia*

Los datos mostrados en la tabla 1 son enviados a través de un mensaje SMS al celular registrado en la alarma, en el mensaje se despliega una liga que lleva al usuario a un mapa de Google, en el cual se puede conocer la ubicación de la bicicleta en tiempo real, un ejemplo de ubicación se muestra en la figura 8.

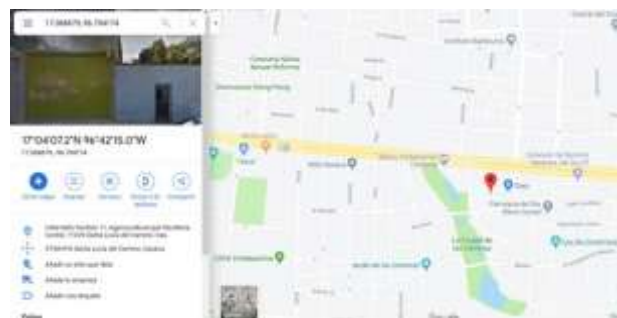


Figura 8 Ejemplo de mapeo de datos en Google maps.
Fuente: *(Alphabet, Inc., 2019)*

Evaluación del prototipo

Una vez obtenido una primera versión del prototipo se hicieron diferentes pruebas de su funcionamiento con todos sus módulos integrados.

Al aplicar las pruebas se obtuvieron buenos resultados de cada uno de los cinco módulos descritos en la sección anterior. La alarma inicia su funcionamiento activándose con la tarjeta del usuario, una vez en función si detecta un movimiento en la bicicleta, el módulo geolocalizador comienza a generar datos en forma de coordenadas con latitud y longitud. En este momento el módulo SIM envía un mensaje de texto en tiempo real con dichos datos al número de celular registrado previamente.

El usuario de la alarma puede mapear los datos recibidos en su celular a través de la aplicación Google Maps. Los datos que se reciben en el dispositivo móvil también son almacenados en una base de datos para su futura consulta o procesamiento.

Refinamiento del prototipo

Después de haber realizado las pruebas con el prototipo se observaron oportunidades de mejora; y aplicando las características de la metodología, ésta da la oportunidad de realizar ciclos iterativos para ir mejorando un prototipo hasta alcanzar la satisfacción del usuario o bien, obtener los beneficios esperados del producto final. Hasta este punto, solo se había experimentado con un prototipo en tarjeta de prueba, por lo que se plantea la evolución a un segundo prototipo mejorado, en el cuál se propone cambiar algunas características tales como: el tamaño del dispositivo, la presentación del prototipo en una carcasa plástica; también se hacen cambios en algunos componentes para mejorar el diseño.

Producto

El producto obtenido como primer prototipo tiene las siguientes características:

- Tamaño:** Las dimensiones de la tarjeta de prueba son 8.2 x 5.5 cm, y el alto lo define el lector RFID, en este caso 6 cm.
- Componentes:** Se conectan con líneas discretas que tampoco tengan conexión entre ellas para evitar fallas dentro del prototipo.
- Conexión:** Las conexiones entre componentes son revisadas previamente con el fin de que tengan un correcto funcionamiento.

- Fuente de energía:** En este primer prototipo, toda la energía necesaria es obtenida de la computadora, ya que la placa Arduino se conecta a ésta a través del puerto serial.
- Tarjeta RFID:** La forma de ésta puede variar, siendo como una de tarjeta común o como un llavero, depende de lo que el usuario desee utilizar.
- Calibración módulo acelerómetro:** Se calibran los ejes cada cierto tiempo para que mantenga su funcionalidad.

Este primer prototipo se muestra en la figura 9.



Figura 9 Primer prototipo

Fuente: Elaboración Propia

Segundo prototipo

Requisitos

En el primer prototipo se encontraron algunas debilidades, que se tomaron como oportunidades de mejora en un nuevo prototipo, como lo son:

- Carece de una protección contra factores del medio ambiente como son: lluvia, polvo, sol, etc.
- El tamaño no es adecuado para ocultarse en alguna parte de la bicicleta, y no se vea a simple vista.

De este modo podemos establecer que los requisitos del segundo prototipo son:

- Se integra directamente un microcontrolador ATtiny85, el cual se comunica con cuatro módulos (RFID, GPS, GSM800L y giroscopio).

2. Al detectar un movimiento inusual mediante un giroscopio, envía una alerta a través de un mensaje de texto, éste contiene la ubicación de la bicicleta para poder localizarla fácilmente.
3. El prototipo es activado o desactivado por el usuario de la bicicleta, cuando lo considere necesario, mediante una tarjeta RFID.
4. El sistema almacena datos en una base de datos para poder tratarlos posteriormente.
5. Para poder proteger el prototipo de los factores ambientales, se adapta una carcasa a la medida.

Diseño y construcción

El diseño y construcción del segundo prototipo también se realizó por módulos, un componente importante que se cambió fue la arquitectura Arduino UNO; en esta ocasión, se utiliza directamente un microcontrolador ATtiny85, todos los componentes fueron montados en una tarjeta de cobre y encapsulada en una carcasa de plástico para proteger el circuito de las inclemencias del medio ambiente; los módulos que componen este nuevo diseño se describen a continuación.

Módulo acelerómetro

Para el segundo prototipo, la comunicación entre el microcontrolador y el módulo acelerómetro también se hace mediante el protocolo I2C, en la figura 10 se muestra un diagrama a bloques de la conexión entre el acelerómetro y el microcontrolador ATtiny85.

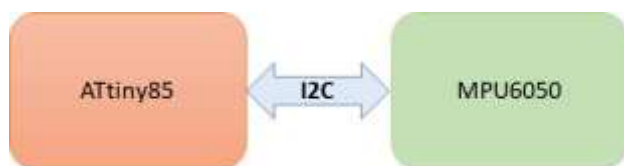


Figura 10 Diagrama a bloques de la comunicación entre el acelerómetro y el microcontrolador

Fuente (Invensense, 2012)

La funcionalidad de este módulo es la misma que se propone en el primer prototipo, tal como puede observarse en la figura 2.

Módulo lector

El módulo lector RFID se comunica mediante el bus SPI con el microcontrolador ATtiny85. Para enviar datos entre el componente RFID y el microcontrolador, se configuran los pines de acuerdo con la información mostrada en la tabla 2.

Modo	PN532	ATtiny85
SPI	SCK	D0
	MISO	D1
	MOSI	D2
	SS	D3

Tabla 2 Correspondencia de pines entre el lector PN532 y el microcontrolador ATtiny85

Fuente: Elaboración Propia

El bus SPI permite el envío y recepción de datos mediante dos líneas diferentes: una que se conecta al prototipo para controlar a los diferentes componentes, y otra que recibe datos de los componentes al microcontrolador. Por lo tanto, la comunicación es Full-Duplex, esto implica que se pueden enviar y recibir datos simultáneamente. La funcionalidad de este módulo sigue siendo la que se muestra en el diagrama a bloques de la figura 3.

Módulo geolocalizador

El funcionamiento de este módulo no cambia sustancialmente; lo único que cambia es el diseño de conexiones que tendrá el componente GPS NEO6MV2 con el microcontrolador ATtiny85, en este caso se usan los pines Rx0 y TX0, éste último conectado al pin cinco del microcontrolador. Esta conectividad se muestra en la figura 11.

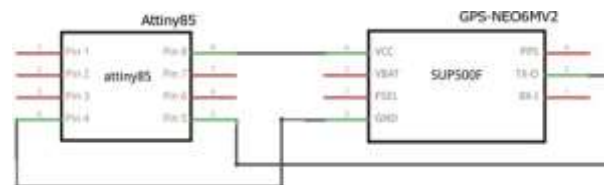


Figura 11 Conexión del módulo geo-localizador con el microcontrolador ATtiny85

Fuente (u-blox, 2010)

La funcionalidad de este módulo se puede observar en la figura 4.

Módulo SIM

Este módulo se comunica con el microcontrolador ATtiny85 por medio de comandos AT que utilizan un reducido número de pines para el control del módulo, los más esenciales son los pines TXD y RXD, para transmisión, recepción de datos y comandos. Esta conexión se presenta en la figura 12.

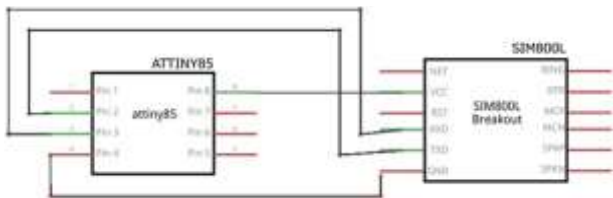


Figura 12 Conexión del módulo SIM con el microcontrolador ATtiny85
Fuente (SIMCom, 2015)

La funcionalidad del módulo SIM se ilustra en la figura 13.



Figura 13 Diagrama de bloques del proceso del envío del mensaje de texto
Fuente: Elaboración Propia

Módulo de base de datos

Para este segundo prototipo, el proceso que se realiza en el módulo de base de datos es el mismo que se realiza en el primer prototipo. Por lo tanto, en este módulo no se realizaron cambios y la funcionalidad es la que se muestra en la figura 7. El diseño del circuito del segundo prototipo queda como se observa en la figura 14.

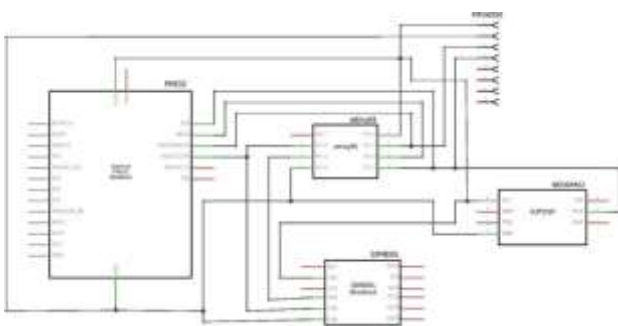


Figura 14 Diagrama a bloques del circuito electrónico del segundo prototipo
Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la programación, esta se lleva a cabo en lenguaje C para el editor de Arduino, en el primer bloque se colocan comentarios, que describen la función del programa, la declaración de las variables, así como la declaración de las librerías que ayudan a controlar la comunicación entre los componentes.

Para usar el bus I2C en Arduino, el editor estándar proporciona la librería *Wire.h*, también se integra la librería *Adafruit_PN532.h* para controlar el lector RFID modelo PN532.

Para la comunicación con la base de datos se tiene establecida la dirección MAC (Media Access Control), de la computadora que se utiliza, el usuario y contraseña de ingreso al gestor MySQL y las operaciones necesarias que, en este caso, se trata de una inserción a la tabla que almacena los datos de ubicación de la bicicleta.

El segundo bloque de programación es la función de configuración, llamada *setup*, contiene la inicialización de los elementos y esta función sólo se ejecuta una vez justo después de reiniciar el microcontrolador, y no se vuelve a ejecutar hasta que no haya otro reinicio. Es la primera función a ejecutar en el programa, aquí se utiliza para configurar, inicializar variables, comenzar a usar librerías, entre otras.

En el tercer y último bloque existe una función bucle o ciclo, llamada *loop*, que contiene el código que se ejecuta continuamente. Esta función es el núcleo del programa y se usa para el control activo del prototipo, en la figura 15 se muestra este fragmento de código, que es la parte medular de la alarma.

Se realizan las pruebas pertinentes al segundo prototipo y se obtienen los resultados esperados, mismos que se describen en la siguiente sección de este documento.


```

void loop() {
  //Acelerómetro
  sensor.getAcceleration(sax, say, saz); //Obtener la aceleración.

  if(sax < -1860 || saz > -2200){
    //Serial.println("A la izquierda");
    // Detectar tarjeta
    if (mfrc522.PICC_IsNewCardPresent()) {
      //Seleccionamos una tarjeta
      if (mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) {
        // Comparar ID con las claves válidas
        if (isEqualArray(mfrc522.uid.uidByte, validKey1, 4)){
          Serial.println("Tarjeta válida");
        }
      }
    }
    else{
      Serial.println("Tarjeta no detectada");
      Serial.println();
      Serial.println("Latitud Longitud Fecha");
      Serial.println("{deg} {deg} {date}");
      Serial.println("-----");

      float flat, flon;
      unsigned long age, date, time, chars = 0;

      gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
      print_float(flat, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 10, 6);
      print_float(flon, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 11, 6);
      print_date(gps);
    }
  }
}

```

Figura 15 Fragmento del programa principal de control del prototipo

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación del prototipo

Una vez terminado el segundo prototipo, éste se sometió a diferentes pruebas para comprobar que su funcionamiento sea el esperado. De este modo, cuando se inicia el funcionamiento de la alarma, esta detecta la tarjeta RFID con lo cual es activada para iniciar el sensado de algún movimiento inusual, si se presenta un movimiento de alerta se inicia el funcionamiento del módulo geolocalizador; en este momento se obtienen los datos en forma de coordenadas con latitud y longitud, estos datos se envían a través de un mensaje de texto SMS al número de móvil registrado previamente, esta información se presenta como una liga que lleva directamente a la aplicación Google Maps y al abrir la aplicación se muestra un punto que identifica esa localización en el mapa.

Por otro lado, se agrega la localización en la base de datos implementada para tal fin. Se probaron diferentes condiciones de entrada para el sistema programable, detectándose algunos errores en la programación que se subsanaron en su momento.

Refinamiento del prototipo

Después de realizadas las pruebas surgen oportunidades de mejora del prototipo obtenido, entre las características que se pueden mejorar son: reducción del tamaño del prototipo con el replanteamiento del diseño, de este modo se suprimen algunos componentes.

Diseñar una página web y aplicación móvil para llevar un control de los usuarios que adquieran la alarma y en un momento dado poder dar seguimiento a través de este sistema web, en caso de robo de la bicicleta. Al tener un prototipo más reducido, se cambia la carcasa por una de menores dimensiones, pero que asegure su protección de agentes ambientales; y, al mismo tiempo, no sea visible para las personas que sustraen la bicicleta.

Producto

El prototipo obtenido como segundo prototipo tiene las siguientes características, éstas pueden verse en la figura 16:

- Protección: Elaboración de una carcasa con PLA para proteger el dispositivo.
- Tamaño: No excede los 2.5 x 7.2 x 5.7 cm, son las dimensiones de la caja de protección.
- Componentes: Se conectan con líneas discretas que tampoco tengan conexión entre ellas para evitar fallos dentro del prototipo.
- Módulo RFID: Se suple el modelo RFID RC522 por el modelo RFID PN532, siendo este último más pequeño reduciendo el tamaño del prototipo.
- Sustitución de la placa Arduino por el microcontrolador ATtiny85.

Resultados

Los resultados obtenidos en esta primera fase de la alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca es un prototipo con cinco módulos, el cual se ilustra en la figura 16:

1. Acelerómetro
2. Lector de tarjeta RFID
3. Geolocalizador
4. SIM
5. Base de datos

El funcionamiento de la misma inicia con la activación de la alarma a través de la lectura de la tarjeta RFID que tiene el usuario. Una vez activada la alarma, ésta es capaz de detectar un movimiento de la bicicleta, si esto ocurre, se activa el módulo geolocalizador, y de éste se obtienen los datos en forma de coordenadas con la latitud y la longitud que en ese momento tiene la bicicleta.



(a) Vista interior

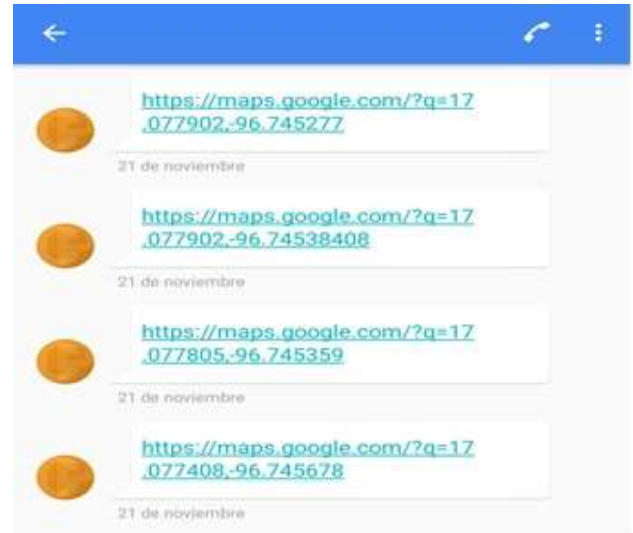


(b) Vista exterior

Figura 16 Segundo prototipo físicoFuente: *Elaboración Propia*

Con los datos obtenidos por el módulo geolocalizador, se compone un mensaje de texto que es enviado en tiempo real al número de celular registrado previamente, el proceso interno que se realiza con dichos datos es la conversión de la latitud y longitud planas en un punto que se ubica en los mapas de Google Maps; de este modo, lo que se envía como mensaje de texto al teléfono celular receptor es una la liga que puede direccionar a un punto de ubicación utilizando la aplicación Google Maps. La apariencia de estos mensajes SMS pueden verse en la figura 17.

Al abrir la liga de Google Maps se muestra la ubicación en tiempo real de la bicicleta, a manera de ejemplo en la figura 18, se presenta la ubicación de un punto obtenido de un mensaje SMS, recibido en el teléfono celular autorizado.

**Figura 17** Ejemplos de mensajes de texto SMS conteniendo la liga del punto ubicado con Google Maps
Fuente: *Elaboración Propia***Figura 18** Longitud y latitud enviados vía SMS, ubicados en Google Maps
Fuente: *(Alphabet, Inc, 2019)*

Por otro lado, la información obtenida sobre la ubicación de la bicicleta es almacenada en la base de datos, creada para tal fin.

En esta base de datos existe una tabla con los atributos: fecha, latitud y longitud, como se muestra en la figura 19, donde se presenta un ejemplo de los datos que se van almacenando en la base de datos y que posteriormente se pueden usar para obtener, por ejemplo, zonas de mayor incidencia.

registro	fecha	latitud	longitud
52	2019-10-08	18.757281	-98.983946
53	2019-10-08	18.757281	-98.983946
54	2019-10-08	17.068536	-96.704170
55	2019-10-08	17.068538	-96.704170
56	2019-10-08	17.068540	-96.704162
57	2019-10-08	17.068538	-96.704162

Figura 19 Ejemplo de datos almacenados en la base de datos

Fuente: *Elaboración Propia*

Trabajos futuros

En la primera fase de este trabajo se desarrollan dos prototipos; sin embargo, existe un aspecto que es fundamental para que el segundo prototipo sea autónomo en relación a la fuente de energía de alimentación; hasta el segundo prototipo se utiliza energía de la computadora con la que se realizan las pruebas. Por lo anterior, un trabajo futuro inminente es la autonomía de energía agregando un módulo de alimentación autónoma al sistema programable en el que se basa la alarma.

Por otro lado, también es importante revisar los componentes para sustituir algunos con el fin de reducir el tamaño del prototipo, y este, sea fácilmente camuflado entre los componentes de la bicicleta para de alguna manera impedir que sea retirado de la misma.

Agradecimiento

Se agradece el apoyo brindado por el Tecnológico Nacional de México, que a través del Campus Oaxaca da las facilidades y los espacios para el desarrollo de la investigación; así como el apoyo para la elaboración del presente artículo. También se agradece ampliamente la colaboración y dedicación de los autores del artículo, profesores y estudiantes que participan en la investigación.

Esperando que para todos ellos, la divulgación del trabajo realizado, redunde en su desarrollo profesional.

Conclusiones

El prototipo resultado de este trabajo de investigación, ha despertado el interés de realizar investigación en el campo de la aplicación de las tecnologías en la solución de problemas cotidianos, que aparentemente, se tienen resueltos; pero que en ocasiones las soluciones que se encuentran en el mercado son parciales o limitadas. El hecho de proponer una solución a la medida a través de los sistemas programables, permite que los desarrolladores vayan adaptando el producto final a las necesidades reales de los usuarios.

En este caso, existen diferentes alarmas comerciales que pueden ser de utilidad para resguardar una bicicleta; sin embargo, la incorporación de tecnologías emergentes, agregan valor al prototipo. El costo del primer prototipo que se obtuvo es de \$1000.00, el segundo prototipo se redujo en \$200, quedando su valor en \$800.00; sin embargo, estos costos aún no son exactos; ya que, aún no queda definido un modelo de negocio con el que se pueda calcular el valor de la alarma, lo cual puede formar parte del trabajo futuro.

Para poder evaluar el prototipo que se obtuvo, éste fue presentado en diferentes foros de tecnología donde se recibieron observaciones y mejoras al prototipo. Como por ejemplo el Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica 2019, en el que se logró clasificar al nivel regional; otro evento en el que se expuso el prototipo fue Proyecto Multimedia 2019 auspiciado por Infomatrix Latinoamérica, en el cual se obtuvo medalla de bronce. Resultado de estas participaciones dieron origen a una serie de mejoras que se desarrollan en la segunda fase de este trabajo de investigación.

Referencias

Alphabet Inc. (2019). Aplicación Web Google Maps. USA.

Alonso, F., Martínez, L. y Segovia, F.J. (2005). Introducción a la Ingeniería del software. España: Delta Publicaciones.

Amazon (2020). Departamento de electrónicos: Alarmas para bicicletas. Consultado el 30 de abril de 2020. <https://www.amazon.com.mx/>

Burbank, J.L., Andrusenko, J., Everett, J.S. y Kash, W.T.M. (2013). *Wireless Networking: Understanding Internetworking Challenges*. USA: IEEE press.

Carrera, A. (2018, 11 de agosto). Robo de bicis imparable en el centro de la ciudad capital. *El Imparcial*. Recuperado de <https://imparcialoaxaca.mx/policiaca/203564/robo-de-bicis-imparable-en-el-centro-de-la-ciudad-capital/>

Fernández, V. (2010). *Desarrollo de Sistemas de Información. Una Metodología Basada en el Modelado*. Volumen 120 de Aula politècnica: Organización de empresas. España: Univ. Politèc. de Catalunya.

Hillebrand, F. (2010). *Short Message Service (SMS): The Creation of Personal Global Text Messaging*. Uited Kindom: John Wiley & Sons Ltd.

INEGI. (2019). *Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) 2019. Principales Resultados*. Oaxaca.

InvenSense. (2012). *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification. Revision 3.3*. USA.

McCracken, D. D. y Jackson, M. A. (1982). *Life Cycle Concept Considered Harmful*. ACM Software Engineering Notes Volume 7 No. 2.

Alonso, F., Martínez, L. y Segovia, F.J. (2005). *Introducción a la Ingeniería de Software: Modelos de desarrollo de programas*. España: Delta Publicaciones.

Nuevo, A. y Escaño, J.A. (2018). *Sistemas secuenciales programables*. España: Paraninfo

Robles, J. (2018, 3 de agosto). Joven denuncia el robo de su bici. *El imparcial*. El mejor diario de Oaxaca. Recuperado de <https://imparcialoaxaca.mx/policiaca/199885/joven-denuncia-el-robo-de-su-bici/>

Salas, S. (2017). *Todo sobre sistemas embebidos: Arquitectura, programación y diseño de aplicaciones prácticas con el PIC18F*.

Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

SIMCom.(2015). *SIM800H & SIM800L Hardware Design V2.02*. China: SIMCom

Ublox. (2010). *NEO-6 u-blox 6 GPS Modules. Data Sheet*. USA: ublox.