

# Análisis y desarrollo de una solución orientada a las redes celulares con énfasis en la seguridad automovilística y el Internet del Todo

## Analysis and development of a solution oriented to cellular networks with emphasis on automotive safety and the Internet of Everything

Jorge Enrique Lorenzo Rivas<sup>a,\*</sup>, Heydy Castillejos Fernández<sup>1</sup>

<sup>a</sup>Área Académica de Computación y Electrónica, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca - Tulancingo Km 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo.

### Resumen

En este trabajo se presenta un sistema que hace el uso de un acelerómetro y giroscopio, se analizan las variaciones en la posición y velocidad de un automóvil para identificar escenarios que indiquen un accidente vial y con el acceso a Internet proporcionado por las redes celulares, se desarrolla una aplicación para teléfonos Android, a fin de realizar una transición al IoT (Internet of Things) de los datos del sistema GPS incorporado por los teléfonos celulares para notificar de manera automática y mediante SMS dirigidos a los contactos de los usuarios, la ubicación y solicitud de ayuda cuando se suscite un accidente en zonas que cuentan con tecnología 2G, 3G o 4G.

#### Palabras Clave:

Análisis de datos, Circuito electrónico, Comunicación móvil, Red de telecomunicaciones, Transmisión de datos, IoT.

### Abstract

In this paper we present a system that makes use of an accelerometer and gyroscope, we analyze the variations in the position and speed of a car to identify scenarios that indicate a road accident and with the access to the Internet provided by cellular networks, develops an application for Android phones, in order to make a transition to the IoT (Internet of Things) of the data of the GPS system incorporated by cell phones to notify automatically and through SMS addressed to the contacts of the users, the location and request for help when an accident arises in areas that have 2G, 3G or 4G technology.

#### Keywords:

Analysis of data, Electronic circuit, Mobile communication, Telecommunications network, Data transmission, IoT.

## 1. Introducción

Los accidentes de tránsito terrestre ocurridos en carreteras no federales de México en el período de 2011 a 2018, promedian una media nacional de 350,000 incidentes anuales y una cantidad de víctimas mortales de 4,559; estas carreteras comunican poblaciones por debajo de los 10,000 habitantes y cuentan en su mayoría con tecnologías de comunicaciones celulares de segunda y tercera generación.

De acuerdo al *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)* en 2016, solo en el estado de Hidalgo se registraron un total de 3,146 accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas, dichos accidentes fueron clasificados como fatales,

de los cuales 3,127 fueron causados por el conductor mismo (99.39 %). Las estadísticas consultadas muestran también que el número de colisiones con otro vehículo automotor sumaron 2,144 incidentes (68.15 %), las colisiones con un objeto fijo como árboles, postes y edificaciones sumaron 450 incidentes (14.30 %) y las volcaduras un total de 79 incidentes (2.51 %).

Se desarrolla un sistema, integrado por el sensor acelerómetro y giroscopio MPU6050, cuya función es identificar cambios en la posición y velocidad del automóvil, un microcontrolador PIC16F877A conectado al MPU6050 para el análisis de los datos proporcionados por el sensor. Se desarrolla también una aplicación para teléfonos móviles Android que cumple dos

\*Autor para correspondencia: [jorge\\_lorenzo@uaeh.edu.mx](mailto:jorge_lorenzo@uaeh.edu.mx)

Correo electrónico: [jorge\\_lorenzo@uaeh.edu.mx](mailto:jorge_lorenzo@uaeh.edu.mx) (Lorenzo Rivas Jorge Enrique), [heydy\\_castillejos@uaeh.edu.mx](mailto:heydy_castillejos@uaeh.edu.mx) (Heydy Castillejos Fernández)

funciones: ubicación y envío de SMS, la aplicación obtendrá los datos de latitud y longitud del sistema GPS que incorpora el teléfono, además de incluir una función que permita extraer la dirección de Google Maps, esta aplicación estará enlazada por un modulo Bluetooth HC05 a un microcontrolador PIC16F628A 1 a fin de monitorear el estatus de la trayectoria del vehículo.



Figura 1: Elementos de la solución propuesta

## 2. IoT y la necesidad de estandarización

En un mundo interconectado, son innumerables las ventajas que ofrece el Internet del Todo (IoT, Internet of Things), la montaña de datos que está generando el IoT necesita ser almacenada y darle un sentido para su análisis y procesamiento. La hiperconectividad de IoT deja abierta una serie de vulnerabilidades de seguridad y vigilancia, donde cada objeto conectado es susceptible a un ataque o al mal uso. Una solución IoT, permite que distintos tipos de dispositivos y cualquier otra fuente estén conectados entre sí y que además lo hagan a través de Internet Sauter (2017). Debido que no existe ningún proveedor que abarque toda la cadena de valor de IoT, es necesario que existan estándares en el mercado que permitan que distintos dispositivos se comuniquen y se pueda crear una capa de servicios transparente para los clientes.

En el desarrollo de las distintas soluciones IoT, fabricantes y proveedores se han lanzado al mercado tomando como referencia su propia oferta, buscando la diferenciación o autenticidad de sus soluciones y no la compatibilidad entre ellas, además se ha iniciado la transición al IoT desde una perspectiva muy orientada al hardware y no al servicio que se pueda construir sobre dicho hardware. La reflexión sobre la necesidad de interoperabilidad entre soluciones ha tenido lugar cuando ya se ha producido el lanzamiento de productos en el mercado.

## 3. Sensor acelerómetro y giroscopio MPU6050

El MPU6050 es una unidad de medición inercial o IMU (Inertial Measurement Units, por sus siglas en inglés) de 6 grados de libertad, combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes por lo que proporciona seis valores como salida. Este sensor es utilizado en navegación, goniometría, estabilización, etc. Un acelerómetro funciona según el principio del efecto piezoeléctrico y un giroscopio funciona según el principio de la aceleración de Coriolis.

El MPU6050 esta basado en la tecnología MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), tanto el acelerómetro como el giroscopio están integrados dentro de un solo chip 2, este chip usa el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit) para la comunicación de sus datos con microcontroladores Zapata et al. (2015). Es muy preciso, ya que contiene hardware para la conversión

analógico-digital realizando una codificación de 16 bits para cada canal, por lo tanto captura los canales X, Y & Z de manera simultanea.

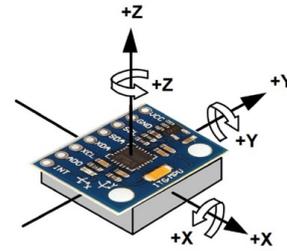


Figura 2: Ejes del sensor MPU6050

### 3.1. Principio de operación del acelerómetro

La aceleración es la variación de la velocidad por unidad de tiempo, es decir, es la razón de cambio en la velocidad respecto al tiempo y se expresa por la ecuación 1.

$$a = \frac{\partial V}{\partial t}, \tag{1}$$

La Segunda Ley de Newton Young (2000) indica que en un cuerpo con masa constante, la aceleración del cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa sobre él mismo, esta relación se expresa con la ecuación 2.

$$a = \frac{F}{m}, \tag{2}$$

Este último concepto es utilizado por los acelerómetros para medir la aceleración. Los acelerómetros internamente incorporan un sistema micro eléctrico-mecánico que de forma similar a un sistema masa-resorte permite medir la aceleración teniendo en cuenta que a pesar de que no exista movimiento alguno, el acelerómetro mide permanentemente la aceleración de la gravedad Dey et al. (2014) y con el podemos hacer mediciones indirectas, por ejemplo, si integramos la aceleración en el tiempo, tenemos la velocidad y si la integramos nuevamente tenemos el desplazamiento, para dichas operaciones se necesitan conocer los datos de velocidad y la posición inicial respectivamente.

#### 3.1.1. Cálculo del ángulo de inclinación con el acelerómetro del MPU6050

Se debe tener en cuenta que la única fuerza que actúa sobre el sensor es la fuerza de la gravedad, por lo que los valores que obtenemos en las componentes del acelerómetro corresponden a la gravedad y los ángulos de la resultante corresponden a la inclinación del plano del sensor, puesto que la gravedad siempre es vertical. Para entender mejor, asumiremos que estamos en un plano XZ e inclinamos el MPU6050 un ángulo  $\theta$ , dicho ángulo se calcula con la relación de la gravedad para el plano X y Z, generando la ecuación 3.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{g_x}{g_z}, \tag{3}$$

La fórmula anterior sirve para calcular el ángulo en un plano bidimensional, para calcular los ángulos de inclinación en un espacio tridimensional tanto en X como en Y se usan las ecuaciones 4 y 5.

$$\theta_x = \tan^{-1} \left( \frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \right) \quad (4)$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \left( \frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}} \right) \quad (5)$$

Con las ecuaciones anteriores se calcula el ángulo de inclinación, si se desea calcular el ángulo de rotación, es decir el ángulo que rota el eje sobre sí mismo, entonces en las formulas se debe intercambiar el  $a_y$  por el  $a_x$  y viceversa Fedorov et al. (2015).

### 3.2. Principio de operación del giroscopio

La velocidad angular es la razón de cambio del desplazamiento angular por unidad de tiempo, es decir, que tan rápido gira un cuerpo alrededor de su eje o más entendido como el número de grados que un objeto gira en un segundo. Con un giroscopio podemos medir la velocidad angular y si se integra dicha velocidad angular con respecto al tiempo se obtiene el desplazamiento angular que es la posición angular si se conoce el punto donde inició el giro.

$$\omega = \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (6)$$

#### 3.2.1. Cálculo del ángulo de rotación con el giroscopio del MPU6050

El giroscopio del MPU6050 nos entrega la velocidad angular y para calcular el ángulo actual es necesario integrar la velocidad y conocer el ángulo inicial, se hace uso de la ecuación 7 y 8.

$$\theta_x = \theta_{x0} + \omega_x \Delta t, \quad (7)$$

$$\theta_y = \theta_{y0} + \omega_y \Delta t, \quad (8)$$

Se debe tener en cuenta que cuando en la fórmula se refiere a  $\theta_{x0}$ , nos referimos al ángulo que gira el eje  $X$  sobre su propio eje. Es importante recalcar que **la medida dada por el giroscopio no es exacta, incluso cuando no se mueve, el ángulo varía**, o si se gira cierto ángulo y luego se regresa a la posición original, el ángulo que medimos no es el inicial, esto se debe a que al integrar la velocidad angular y sumar el ángulo inicial hay un error, el cual es producto de la mala medición del tiempo o del ruido en la lectura del MPU6050, el error por más pequeño que sea, se va acumulando en cada iteración y creciendo, este error es conocido como *DRIFT* Jaiswal et al. (2016).

Para disminuir el *DRIFT* existen varios métodos, la mayoría aplica filtros para eliminar el ruido de las lecturas del sensor. También se pueden usar otros sensores como magnetómetros o acelerómetros y con los ángulos calculados por estos otros sensores, se reduce el margen de error del cálculo del giroscopio. Uno de los mejores filtros para eliminar el *DRIFT* es el filtro *Kalman* Benini et al. (2012), pero necesita una buena capacidad de procesamiento computacional, lo que lo hace difícil de implementar en un microcontrolador o algún Arduino.

### 3.3. Filtro complementario

El filtro complementario es uno de los más usados por su fácil implementación, combina el ángulo calculado por el giroscopio y el ángulo calculado por el acelerómetro debido a que si solo se trabaja con el acelerómetro, este es susceptible a las aceleraciones producto del movimiento del MPU6050 o a fuerzas externas, pero en tiempos largos el ángulo no acumula errores a diferencia que si solo se trabaja con el giroscopio, si bien este último no es susceptible a fuerzas externas, con el tiempo el *DRIFT* es muy grande y servirá solo para mediciones de tiempos cortos. Para calcular el ángulo usando el filtro complementario se usa la ecuación 9.

$$\theta = 0,98 (\theta + \omega_{\text{giroscopio}} \partial t) + 0,2 (\theta_{\text{acelerometro}}) \quad (9)$$

De esta forma el ángulo del acelerómetro está pasando por un filtro pasa bajas, amortiguando las variaciones bruscas de aceleración y el ángulo calculado por el giroscopio tiene un filtro pasa altas teniendo gran influencia cuando hay rotaciones rápidas. Podemos probar también con otros valores diferentes a 0.98 y 0.02 pero con la condición de que ambos, siempre deben de sumar 1.

## 4. Bluetooth HC05

Bluetooth es una especificación para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que se rige por el estándar IEEE 802.15, esta tecnología posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda *ISM* (banda de radio para aplicaciones industriales, científicas y médicas) de los 2.4 GHz Rao (2012). Los Bluetooth HC05 son módulos muy populares para aplicaciones con microcontroladores. Se trata de dispositivos económicos y que habitualmente se venden en un formato que permite insertarlos en un protoboard y cablearlo directamente a cualquier microcontrolador, sin realizar soldaduras.

El Bluetooth HC05 ofrece una excelente relación de precio y características, ya que es un módulo Maestro-Esclavo, quiere decir que además de recibir conexiones desde una PC u otro dispositivo móvil, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos Bluetooth. Esto nos permite conectar dos módulos de Bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos. Para comunicarnos con el módulo, es necesario tener acceso al mismo mediante una interfaz serial como los pines de transmisión y recepción de un microcontrolador PIC.

## 5. Microcontrolador PIC16F877A y sensor MPU6050

Para la lectura y análisis de los valores de cada eje del sensor MPU6050 se realiza la conexión del sensor MPU6050 con el microcontrolador PIC16F877A, este microcontrolador cuenta con los puertos de conexión necesarios para la comunicación I2C con el sensor MPU6050 en sus pines SCL y SDA AP and Sudarshan (2015), dichos pines corresponden a los números 18 (RC3) y 23 (RC4) respectivamente, de acuerdo a la hoja de datos suministrada por el fabricante del microcontrolador. La conexión se realiza de forma directa, el pin SDA del sensor

se conecta al pin SDA del microcontrolador y el pin SCL del sensor se conecta al pin SCL del microcontrolador.

Para la visualización de los valores de cada eje se hace uso de una pantalla de cristal líquido (LCD) de 16 caracteres por 2 filas, dicha pantalla se conecta al microcontrolador en el puerto B del mismo como se muestra en el diagrama del circuito 3, los valores que se muestran en pantalla se programan en el código del microcontrolador para que se actualicen en el periodo de 1 segundo, esto evita saturar el puerto de salida de tantos mensajes ya que el sensor actualiza sus lecturas en periodos de  $2000\mu\text{s}$  y en ese mismo periodo las envía al microcontrolador, si no se contase con un retardo en la lectura y visualización, los cambios en pantalla serían en el mismo periodo de  $2000\mu\text{s}$ , lo que haría imposible distinguir ante la vista humana la lectura de los ejes del sensor, debido a la alta velocidad de cambio de los mismos.

### 6. Microcontrolador PIC16F628A y Bluetooth HC05

La comunicación del sensor con la aplicación móvil se realiza mediante un circuito 3, integrado por el modulo Bluetooth HC05 y un microcontrolador PIC16F628A, la razón por la cual este proceso no se integra en conjunto con el microcontrolador PIC16F877A, es que para realizar la comunicación mediante el bus I2C entre el sensor MPU6050 y el PIC es necesario deshabilitar la instrucción *brownout* (reset) para el PIC16F877A, dicha instrucción es un restablecimiento por pérdida de carga en un circuito, lo que hace que un microcontrolador se reinicie en el caso de una caída de voltaje. Sin un circuito de restablecimiento de baja tensión o una fuente de alimentación ininterrumpida (UPS) que mantenga el voltaje operativo completamente normal para el microcontrolador, al producirse un apagón, el microcontrolador puede funcionar mal o bloquearse. En algunos casos, si un microcontrolador recibe un voltaje bajo y continúa operando, producirá una salida sin sentido o incorrecta en sus pines.

El microcontrolador PIC16F628A es un PIC de 18 pines y de dimensiones cortas, perfecto para incorporarse en el sistema sin afectar a grandes rasgos el tamaño del mismo, cuenta con los pines de transmisión y recepción necesarios para la comunicación serial con el modulo Bluetooth HC05 Seyfi and Akbulut (2014), dichos pines de TX y RX corresponden a los números 8 (RB2) y 7 (RB1) respectivamente, de acuerdo a la hoja de datos suministrada por el fabricante del microcontrolador. La conexión es cruzada, el pin RX del modulo HC05 se conecta al pin TX del microcontrolador y el pin TX del modulo HC05 se conecta al pin RX del microcontrolador Lletí (2015).

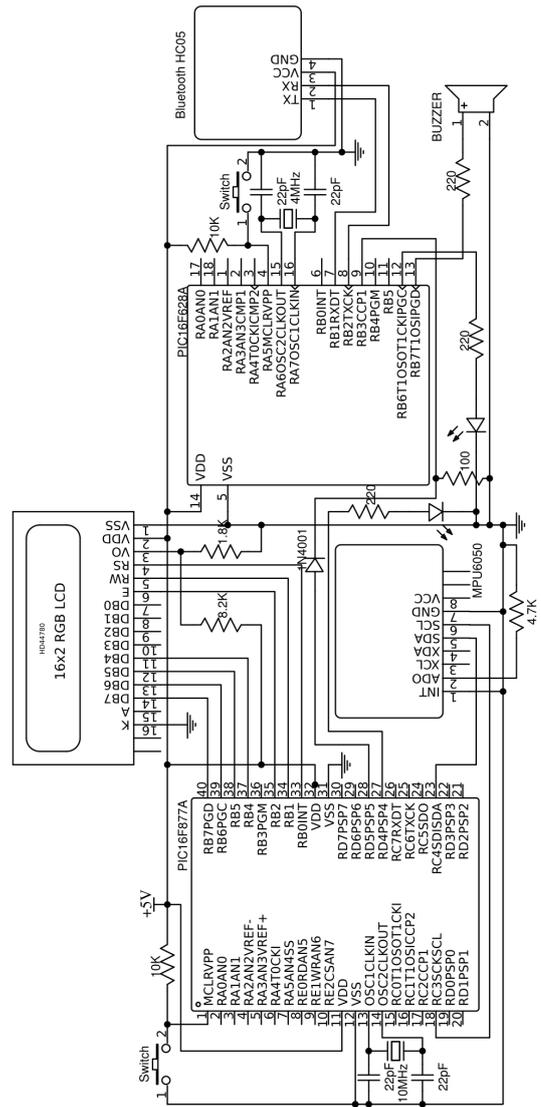


Figura 3: Circuito desarrollado

### 7. Aplicación para dispositivos móviles Android: MESE-RA

La razón de desarrollar una aplicación para un teléfono móvil y usar la localización y posicionamiento del mismo en lugar de implementar módulos GPS y de tarjeta SIM para enviar los mensajes de texto directamente desde el circuito es el costo económico de los módulos requeridos. Implementar un modulo de tarjeta SIM en el circuito requiere mayor espacio y sobretodo adquirir una nueva tarjeta SIM de algún operador, además de realizar un pago adicional en lapsos de tiempo definidos por el mismo operador de telefonía móvil para poder contar con el servicio de envío de mensajes de texto. Dichas tarifas varían durante el año e incorporan el cobro de servicios adicionales como redes sociales y llamadas ilimitadas, los cuales son servicios innecesarios para la operación del sistema desarrollado.

#### 7.1. Diseño y desarrollo

La aplicación fue diseñada para ser lo más intuitiva posible a fin de que cualquier usuario sin dominio completo de un

teléfono inteligente pudiese manipular la aplicación sin presentar obstáculo alguno. Su desarrollo se realizó en la plataforma App Inventor del *Massachusetts Institute of Technology*. A continuación se describen las funciones de cada elemento de la interfaz 4.

Los botones para buscar y enlazarse con el módulo Bluetooth HC05 están colocados juntos de manera horizontal, el procedimiento para enlazarse es el siguiente: primero se pulsa el botón buscar, de manera automática aparece una lista con el nombre o dirección MAC de los dispositivos Bluetooth disponibles en el área, se selecciona el dispositivo deseado y la lista se cierra automáticamente, posteriormente debajo de los botones aparece el nombre o dirección MAC del Bluetooth seleccionado, esto con la finalidad de que el usuario verifique que sea el dispositivo correcto antes de enlazarse, una vez verificado se pulsa el botón enlazar y en un lapso de 2 segundos la aplicación estará enlazada con el PIC16F628A, si se trata de algún dispositivo incorrecto se debe volver a pulsar el botón buscar y repetir el procedimiento antes mencionado.

El botón color verde con una flecha color blanca cumple la función de verificar si la conexión se realizó correctamente, al pulsar el botón, MESERA envía una clave al PIC16F628A y si esta conexión es válida, el PIC16F628A activará su pin RB5 en estado HIGH (pin número 12) para encender un LED verde durante un segundo. Si la conexión no es buena o es con otro dispositivo, el LED verde permanecerá apagado.

En el centro de la aplicación se observan 3 leyendas desplegadas de forma vertical correspondientes a *latitud*, *longitud* y *ubicación*, estos datos tardan en ser cargados dependiendo la zona de cobertura en donde nos ubiquemos, para cobertura 2G el tiempo promedio en cargar los datos son 30 segundos, para 3G este tiempo se reduce a 25 segundos y para 4G el tiempo es menor a 10 segundos, cabe mencionar que si nos encontramos dentro de alguna edificación el tiempo en cargar los datos mencionados puede superar el minuto, esto debido a los obstáculos físicos que impiden el paso o bien atenúan gravemente la señal de telefonía móvil.

Debajo de las leyendas de localización y posicionamiento se encuentran juntos de forma horizontal los botones de agregar y eliminar miembros, la finalidad de estos botones es ingresar a la lista de contactos de nuestros teléfonos móviles y seleccionar los números telefónicos a los cuales se les enviarán los mensajes de texto de auxilio en caso de suscitarse un accidente. Bajo estos botones se encuentra la leyenda *números registrados*, delante de esta leyenda aparecen los números telefónicos que se hayan seleccionado, si no se muestra algún número telefónico, quiere decir que no se tiene ningún contacto seleccionado para solicitar auxilio.

En la parte inferior de la aplicación se muestra un botón rojo centrado con la leyenda *STOP*, una vez que el conductor llega a su destino, debe presionar este botón para eliminar el enlace que existe entre su teléfono y el circuito, esta acción indica que el trayecto culminó sin percance alguno.

## 8. Integración del circuito con la aplicación MESERA

El sensor MPU6050 comunica en periodos de  $2000\mu s$  la lectura de sus ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  &  $H$  al microcontrolador PIC16F877A, este a su vez actualiza y muestra en la pantalla LCD la lectura de dichos ejes en periodos de 1 segundo, este retardo en la programación evita saturar el puerto de salida a la LCD con muchos mensajes, cuando el código programado en el PIC16F877A recibe una lectura del eje  $H$  que indica una colisión o una volcadura (parcial o completa), activa la salida del pin RD5 en estado alto (pin número 28 de acuerdo a la hoja de datos suministrada por el fabricante del microcontrolador), dicha salida actúa como un estado 1 lógico en el circuito que se conecta a su vez al pin RB3 del microcontrolador PIC16F628A (pin número 9 de acuerdo a la hoja de datos suministrada por el fabricante del microcontrolador). En caso de no detectar alguna colisión o volcadura la salida del pin RD5 permanecerá en estado bajo, que actúa a su vez como un estado 0 lógico en el circuito.

La comunicación serial entre la aplicación MESERA y el microcontrolador PIC16F628A por medio del módulo Bluetooth HC05, es continua durante el trayecto carretero, en esta red Bluetooth el módulo HC05 actúa como maestro, mientras que el teléfono móvil con la aplicación MESERA instalada y el microcontrolador PIC16F628A actúan como esclavos.

El PIC16F628A lee en periodos de 1 segundo la entrada de su pin RB3, el cual es el puerto de comunicación con el PIC16F877A para indicar las lecturas del sensor, en la programación mediante el condicional IF, en caso de detectar un 0 lógico a la entrada del pin RB3, el PIC16F628A, haciendo uso del maestro envía a la aplicación MESERA un mensaje indicando que el trayecto es normal y no realizó alguna otra acción y estará a la espera de la siguiente señal de entrada, si la siguiente señal llegase a detectar un estado 1 lógico, de forma inmediata envía a la aplicación MESERA un mensaje que indica que ha ocurrido un accidente, además de activar un buzzer conectado al pin RB7.

Desde su ejecución en el teléfono móvil, la aplicación MESERA realiza el proceso de localización y posicionamiento sin importar este o no enlazado al módulo Bluetooth HC05, el tiempo que tarda la aplicación en obtener las coordenadas y dirección de la ubicación del teléfono móvil depende de la disponibilidad de la red móvil del operador al cual está suscrito. Cuando la aplicación MESERA se vincula con el Bluetooth HC05 hace uso del mismo para comunicarse con el microcontrolador PIC16F628A y recibir de esta forma los estados que indican si el trayecto es normal o bien ha ocurrido un accidente y dependiendo del estatus recibido, MESERA envía a los contactos seleccionados previamente, el mensaje de texto con la solicitud de auxilio y las coordenadas y otro mensaje de texto adicional con la dirección del incidente ocurrido.



Figura 4: Interfaz de la aplicación MESERA

## 9. Diseño y desarrollo de PCB

Para implementar dispositivo desarrollado en un automóvil, se realiza el diseño del prototipo en una placa de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés), con el software *PCB Wizard*, la PCB resultante es una figura cuadrada con dimensiones de 8 centímetros por lado y una altura aproximada de 1.6 centímetros ya con los componentes instalados.

Para la fabricación, se imprime la vista *Artwork* del diseño del PCB en una hoja de papel couche, se emplea una impresora con tecnología láser para tener una mejor calidad de impresión y evitar los derrames de tinta generados comúnmente por las impresoras que emplean cartuchos convencionales. El circuito impreso fue planchado durante 10 minutos sobre el cobre de una placa fenólica de fibra de vidrio, posteriormente se sumerge dicha placa en un recipiente con ácido férrico para eliminar el cobre restante y grabar las pistas del circuito a manera de que queden perfectamente aisladas unas de otras, a fin de evitar un posible corto eléctrico.

Se hace uso de bases para colocar los microcontroladores, la pantalla LCD, el sensor MPU6050, el módulo Bluetooth HC05 y el buzzer, debido a que mediante el uso de bases de  $n$  pines se facilita el cambio de algún componente defectuoso, el resto de los elementos: resistencias, LED, capacitores y diodos del circuito fueron soldados de forma directa sobre la placa.

## 10. Pruebas de operación del sistema

Se realizaron varias pruebas de operación del sistema, entre ellas se realizó la simulación de una voladura parcial con el

dispositivo instalado en un carro a control remoto, el mensaje de auxilio fue enviado correctamente. Para las pruebas en un automóvil real, se realizó un trayecto en un camino rural con el dispositivo instalado en una camioneta FORD F150 XLT 1996, las pruebas a bordo de la camioneta sobre un terreno irregular se realizaron para detectar valores del sensor que pudiesen ingresar en el umbral definido para un accidente y de dicha manera modificar el código en el microcontrolador PIC16F877A que detecta los valores en los ejes, indicando accidentes y no los cambios bruscos del terreno durante un trayecto.

## 11. Conclusión

Las pruebas realizadas con el dispositivo instalado en un automóvil compacto, muestran la eficiencia del proyecto, sin embargo, debido a la calidad del sensor y la ausencia de un regulador de voltaje instalado, las lecturas en los ejes muestran resultados que en ocasiones están fuera del rango establecido para considerarlo trayectoria regular, lo que lo introduce en el umbral considerado para accidente vial, provocando que en algunas pruebas el dispositivo detecte un choque con un movimiento brusco del automóvil como un frenado repentino o el pasar por un bache.

- Se estudiaron las características y el modo de operación del sensor MPU6050.
- Se escribió un código en lenguaje C que adapta el sensor MPU6050 (orientado a la plataforma Arduino) a un microcontrolador PIC16F877A.
- Se estableció un modo de comunicación simplex entre el dispositivo electrónico desarrollado y la aplicación móvil MESERA.
- Se programó una aplicación que hace uso del sensor GPS integrado en el teléfono móvil para consultar el nombre de una ubicación en Google Maps.
- Se programó una aplicación que permite la selección de múltiples contactos para el envío de un mismo mensaje de texto.

### Trabajo a futuro

Se sugiere implementar de un sensor de uso industrial modelo MPU6050 marca TDK InvenSense, además de una modificación en el circuito del sistema, en la cual se agregue un dispositivo regulador de voltaje 7805, para suprimir los picos de voltaje que inducen al sensor a enviar lecturas adyacentes con cambios considerables de una lectura anterior a la actual. Esto mejorará la precisión en la lectura de cada eje y optimiza el tiempo de duración de la carga suministrada por la batería de alimentación del circuito.

### Agradecimientos

A toda la comunidad perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; trabajadores, académicos, administrativos, investigadores y a cada uno de ustedes que de forma directa o indirecta colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

- AP, A., Sudarshan, B., 2015. A review of materials and components for developing a smart fall detecting system. *Int. J. of Multidisciplinary and Current research* 3.
- Benini, A., Mancini, A., Marinelli, A., Longhi, S., 2012. A biased extended kalman filter for indoor localization of a mobile agent using low-cost imu and uwb wireless sensor network. *IFAC Proceedings Volumes* 45 (22), 735–740.
- Dey, S., Roy, N., Xu, W., Choudhury, R. R., Nelakuditi, S., 2014. Accelprint: Imperfections of accelerometers make smartphones trackable. In: *NDSS*.
- Fedorov, D., Ivoilov, A., Zhmud, V., Trubin, V., 2015. Using of measuring system mpu6050 for the determination of the angular velocities and linear accelerations. *Automatics & Software Engineering* 11 (1), 75–80.
- Jaiswal, R., Nair, R. C., Yarlagadda, N. K., Senapati, A. A. K., Mulage, P., et al., 2016. Adaptive gyroscope drift compensation based on temporal noise modelling. In: *2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom)*. IEEE, pp. 1–5.
- Lletí, F. B., 2015. Comunicación bluetooth entre arduino uno y android aplicado a un detector de mentiras. Ph.D. thesis.
- Rao, G. S., 2012. *Mobile cellular communication*. Pearson.
- Sauter, M., 2017. *From GSM to LTE-advanced Pro and 5G: An introduction to mobile networks and mobile broadband*. John Wiley & Sons.
- Seyfi, L., Akbulut, I., 2014. Implementation of unmanned ground vehicle with a smartphone. *International Journal of Computer Science and Mobile Applications* 2 (11), 01–10.
- Young, H. D. y. R. A. F., 2000. *Física universitaria volumen 1*. Pearson educación.
- Zapata, E. J. C., Cayturo, H. C. R., Marazo, E. E., Yui, J. H., 2015. Control de un brazo robótico antropomórfico con 6 grados de libertad teleoperado para la seguridad industrial en el Perú. *Perfiles de Ingeniería* 2 (11).