UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



KIT BÁSICO DE SENSORES PARA MONITOREAR VARIABLES DE INTERÉS EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Sara Estefany López Ayala
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2016

KIT BÁSICO DE SENSORES PARA MONITOREAR VARIABLES DE INTERÉS EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



KIT BÁSICO DE SENSORES PARA MONITOREAR VARIABLES DE INTERÉS EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Sara Estefany López Ayala
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2016

Vo. Bo. :

(f) _____

Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

Tribunal Examinador:

(f) _____

Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

(f) _____

MsC. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f) _____

MsC. Miguel Enrique Zea Arenales

Fecha de Aprobación: Guatemala, 05 de diciembre de 2016

PREFACIO

El siguiente trabajo de graduación está inspirado en mi participación como piloto en la Shell Eco-Marathon llevada a cabo el presente año en Detroit, Estados Unidos. Una de las principales razones por la cual elegí este tema fue porque como piloto tuve muchas limitaciones al no poder informar al resto del equipo del desempeño del vehículo debido a que no contaba con la información necesaria al momento de manejar. El objetivo principal de esta tesis es inspirar a otros estudiantes de grados inferiores a desarrollar un vehículo eléctrico.

Quiero agradecer a Dios por dejarme cumplir mi sueño de convertirme en Ingeniera Mecatrónica, a mi familia por su apoyo incondicional y el financiamiento de todos los recursos utilizados en mi proyecto, a mi asesor el Ing. Pablo Mazariegos por su ayuda y consejos, al equipo UVG SEM 2016 por dejarme formar parte de tan increíble experiencia y a todas las personas que de alguna forma u otra siempre me brindaron su apoyo.

ÍNDICE

PREFACIO v
ÍNDICE vi
LISTA DE CUADROS viii
LISTA DE FIGURAS ix
RESUMEN xi
I. INTRODUCCIÓN 1
II. OBJETIVOS 2
A. GENERALES 2
B. ESPECÍFICOS 2
III. JUSTIFICACIÓN 3
IV. MARCO TEÓRICO 4
A. GENERALIDADES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO 4
1. Clasificación general 4
a. Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV). 4
a. Vehículos Híbridos Eléctricos Enchufables (PHEV). 5
b. Vehículos 100% Eléctricos (BEV). 5
c. Vehículos de Celdas de Combustible (FCEV). 6
d. Funcionamiento básico de un vehículo 100% eléctrico. 6
B. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA UTILIZADA EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO 11
1. Vehicle Speed Sensor (VSS). 11
a. VSS de Efecto Hall Analógico. 12
b. VSS de Efecto Hall Digital. 12
2. Acelerómetro. 13
3. Battery Sensor. 14
b. Sistemas de control para las baterías. 15
4. Tire – Pressure Monitoring System (TPMS). 16
5. Sensores de proximidad. 17
6. Sensor de temperatura del motor. 18
7. Global Positional System (GPS). 19
a. Adquisición de la posición del vehículo. 20
b. Transmisión de datos al servidor. 20
c. Almacenamiento en la web. 20
d. Acceso al sistema del vehículo. 20
V. METODOLOGÍA 21
VI. RESULTADOS 23
A. VARIABLES DE INTERÉS 23
1. Velocidad del vehículo. 23
2. Temperatura Ambiente. 30
3. Temperatura del motor. 33
4. Sensores de proximidad. 37
5. Nivel de batería. 41
6. GPS. 44

7. Acelerómetro 45
8. TPMS 48
a. TPMS SCHRADER. 51
b. TPMS CARCHET 52
9. Comunicación Arduino Raspberry Pi 3. 56
10. Interfaz gráfica. 57
VII. DISCUSIÓN 58
VIII. CONCLUSIONES 60
IX. RECOMENDACIONES 61
X. BIBLIOGRAFÍA 62
XI. ANEXOS 65

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Metodología empleada 21
Cuadro 2. Variables seleccionadas 23
Cuadro 3. Características básicas del sensor de efecto Hall 26
Cuadro 4. Precio sensores de efecto Hall 27
Cuadro 5. Precio imanes de Neodimio 27
Cuadro 6. Datos obtenidos para una medición 29
Cuadro 7. Precio del sensor de temperatura ambiental 30
Cuadro 8. Características del sensor de temperatura 31
Cuadro 9. Conexión con Arduino Mega 31
Cuadro 10. Recorrido San Lucas 32
Cuadro 11.Características del termistor 33
Cuadro 12. Precio del termistor 33
Cuadro 13. Coeficiente de Steinhart-Hart 34
Cuadro 14. Pines de conexión para el termostato con Arduino Mega 34
Cuadro 15. Precio sensores ultrasónicos 38
Cuadro 16. Características HC-SR04 38
Cuadro 17. Distribución de pines para sensores de proximidad 39
Cuadro 18. Nivel de batería 42
Cuadro 19. Precio módulo SIM808 44
Cuadro 20. Precio tarjeta SIM 44
Cuadro 21. Comandos AT para establecer comunicación. 45
Cuadro 22. Precio acelerómetro 46
Cuadro 23. Precio TPMS instalados fuera de las llantas. 49
Cuadro 24. Precio TPMS instalados dentro de las llantas. 49
Cuadro 25. Especificaciones del sensor Schrader 51
Cuadro 26. Especificaciones del receptor Schrader. 52
Cuadro 27. Especificaciones técnicas del sensor Carchet. 52
Cuadro 28. Especificaciones técnicas del receptor Carchet 53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de vehículo híbrido 4
Figura 2. Diagrama de vehículo enchufable 5
Figura 3. Diagrama de vehículo eléctrico 6
Figura 4. Diagrama de vehículo de celda de combustible 6
Figura 5. TESLA SP90D 7
Figura 6. Diagrama básico de un Tesla modelo S 7
Figura 7. Motor de inducción AC 8
Figura 8. Fases en motor de inducción 8
Figura 9. Motor utilizado en modelos SP90D 8
Figura 10. Configuración Dual Motor 9
Figura 11. Paquete de baterías 9
Figura 12. Baterías ion-litio 10
Figura 13. Eje trasero modelo Tesla SP90D 10
Figura 14. Paquete de baterías 11
Figura 15. Wheel ABS Speed Sensor 12
Figura 16. VSS analógico 12
Figura 17. VSS digital 13
Figura 18. Vehicle dynamics accelerometer 14
Figura 19. Batería Ion-Litio 14
Figura 20. BMS 15
Figura 21. Relación temperatura - presión 16
Figura 22. Relación altitud - presión 17
Figura 23. Sensores de proximidad 17
Figura 24. Motor de anillos rozantes. 18
Figura 25. Termistor marca Siemens temperatura máxima 190 ºC. 19
Figura 26. GPS 19
Figura 27. Diagrama de distribución básico 22
Figura 28. Diagrama básico conexiones 22
Figura 29. Wheel ABS Speed Sensor 24
Figura 30. Wheel Speed Sensor Toyota Yaris Modelo 2007 24
Figura 31. Señal sinusoidal (Wheel ABS Speed Sensor) con amplitud pico a pico de 50 mV y una frecuencia de 1.2 kHz. 25
Figura 32. Sensor Dorman 970-012 25
Figura 33. Señal del sensor Dorman 26
Figura 34. Saint-Smart Hall Effect Sensor 26
Figura 35. Imanes de Neodimio 27
Figura 36. Desmontaje de la llanta 28
Figura 37. Instalación del sensor de efecto Hall 28
Figura 38. Instalación del sensor de efecto Hall 29
Figura 39. Medición del radio del disco utilizado. 29
Figura 40. Lectura del tacómetro del carro 30
Figura 41. BME280 30
Figura 42. Temperatura marcada por el Peugeot 307 31
Figura 43. Sensor BMP280 32
Figura 44. Cambios de temperatura en el recorrido 33

Figura 45. Termistor 33
Figura 47. Relación de temperatura-resistencia para termistor 35
Figura 48. Configuración de la interfaz PASCO 36
Figura 50. Gráfica de temperatura obtenida con el sistema PASCO 37
Figura 51. Gráfica obtenida en MATLAB con el termistor 37
Figura 52. Sensor ultrasónica HC-SR04 38
Figura 53. Sensor ultrasónico lateral 40
Figura 54. Obstáculo a distancia menor a 50 cms. 40
Figura 55. Distancia de un metro para sensores frontales y traseros. 41
Figura 56. Obstáculo a distancia menor a un metro. 41
Figura 57. Divisor de voltaje para medir nivel de batería 42
Figura 58. Batería utilizada 42
Figura 59. Medición de nivel de batería 43
Figura 60. Módulo SIM808 44
Figura 61. Micro SIM Claro 44
Figura 62. Datos obtenidos con el módulo y Arduino 46
Figura 63. MPU6050 46
Figura 64. Acelerómetro instalado en la cabina de un Peugeot 307 47
Figura 65. Recorrido en tráfico San Lucas Sacatepéquez 48
Figura 66. Recorrido en tráfico Calzada Roosevelt (MATLAB) Aceleración en el eje X (rojo) y la aceleración en el eje Y (azul). 48
Figura 67. Antena NooElec para varias frecuencias. 50
Figura 68. Antena para sintonizar frecuencias a 433 MHz. 50
Figura 70. Instalación de sensores Schrader 52
Figura 71. Lecturas sensor Carchet 53
Figura 72. Sensor conectado 53
Figura 73. Comparación de lectura del manómetro. 54
Figura 74. Placa display TPMS Carchet 54
Figura 75. ATA5428 55
Figura 76. Lectura de datos con Salae Logic 55
Figura 77. NOOBS 56
Figura 78. NETBEANS para plataformas. 56
Figura 79. RXTX desde la terminal. 56
Figura 80. Comunicación Arduino-Raspberry Pi 3 57
Figura 81. Interfaz en Java 57
Figura 82. Interfaz en Python 58
Figura 83. Algunas funcionalidades. 58

RESUMEN

Los distintos sensores utilizados para monitorear el funcionamiento de un vehículo son esenciales para conocer su desempeño, mejoras que se le pueden realizar a un modelo posterior entre otros aspectos. Existen una extensa cantidad de variables que se deben monitorear en un vehículo eléctrico de las cuales se seleccionaron velocidad, aceleración, detección de obstáculos a cortas distancias, nivel de batería, temperatura del motor, temperatura del ambiente, presión de las llantas y GPS. El kit de sensores utilizados en este trabajo es básico por su costo y porque no se cuenta con un vehículo eléctrico en el cual se pueda realizar su instalación, sin embargo, ejemplifican el funcionamiento de los sensores que se utilizan en un vehículo real ya que funcionan bajo los mismos principios y pueden ser instalados para obtener resultados verídicos.

Se llegó a la conclusión que sí es posible realizar mediciones con sensores más sencillos; sin embargo para poder diseñar un kit de sensores para un vehículo eléctrico más complejo se debe dividir por módulos, de esta forma se pueden interrelacionar las variables diseñando subsistemas de control eficientes que se puedan interconectar a un sistema de control principal que no solo permita la lectura de datos sino permita a través de esos datos tomar decisiones para mejorar el desempeño del vehículo.

I. INTRODUCCIÓN

Un vehículo eléctrico es aquel que funciona parcialmente o totalmente utilizando electricidad. Como todo vehículo para conocer su desempeño se debe conocer su comportamiento a través de la instrumentación electrónica instalada en el mismo. Dependiendo del tipo de vehículo y los parámetros establecidos de fábrica los sensores pueden variar en dimensiones, costo e instalación pero a la larga miden las mismas variables de interés. Por esta razón se tomó la decisión de crear un kit de sensores básicos para poder realizar el monitoreo de las siguientes variables: velocidad, aceleración, nivel de batería, presión de llantas, temperatura del motor, temperatura del ambiente, obstáculos a una corta distancia, Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), todas estas utilizando un microncontrolador Arduino Mega2560.

Para llevar a cabo la elección de sensores se investigó acerca del funcionamiento básico de cada uno de ellos y se evaluó si era viable adquirir los sensores originales o si se podían simular utilizando sensores más sencillos. Debido a que los sensores varían en tamaño dependiendo del carro en el cual son instalados y a su vez en costo, algunos de los sensores que fueron elegidos para formar parte de este kit sirven solo para ejemplificar el funcionamiento de los mismos, ya que debido a la metodología utilizada pueden ser instalados en cualquier vehículo. Para verificar las lecturas de cada uno de los sensores se compararon con otros instrumentos de medición y a su vez con la información desplegada en el tablero de un vehículo.

En conclusión, fue posible armar un kit de sensores básicos de bajo costo que pueden ser instalados en un vehículo eléctrico y permiten obtener lecturas correctas de las variables de interés propuestas.

II. OBJETIVOS

A. GENERALES

I. Desarrollar un kit de instrumentación electrónica que permita monitorear variables de interés en un vehículo eléctrico.

B. ESPECÍFICOS

II. Instalar sensores de efecto Hall para realizar la medición de la velocidad del vehículo eléctrico.

III. Utilizar un acelerómetro de 6 ejes para obtener el valor de la aceleración del vehículo eléctrico.

IV. Diseñar un circuito para obtener un registro del nivel de la batería del vehículo eléctrico.

V. Desarrollar un sistema conformado por sensores TPMS que permitan la medición de la presión en las llantas del vehículo.

VI. Instalar sensores de proximidad para alertar al conductor de obstáculos y/o vehículos aledaños.

VII. Incorporar un sensor de temperatura para monitorear la temperatura del ambiente.

VIII. Añadir un sensor de temperatura para obtener lecturas de la temperatura del motor.

IX. Implementar un sistema GPS para monitorear la posición del vehículo.

X. Obtener la información de los sensores a través de un microcontrolador Arduino.

XI. Crear una interfaz gráfica que permita el despliegue de la información e interacción con el usuario utilizando una Raspberry Pi.

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, se busca tomar medidas para cuidar del medio ambiente y preservar nuestros recursos. Una opción es buscar alternativas que contaminen menos. En el caso de los medios de transporte, el desarrollo de vehículos eléctricos está teniendo un gran impacto. Estos vehículos son más eficientes que un vehículo con motor de combustión interna y a su vez contaminan menos. Para poder contribuir a diseñar mejoras que puedan ser implementadas en vehículos eléctricos, el primer paso es instalar toda la instrumentación electrónica necesaria para monitorear las diversas variables del sistema que lo conforma. Al obtener los valores por medio de sensores instalados se puede evaluar el desempeño del vehículo y a su vez realizar un análisis de las posibles mejoras que se pueden implementar en él. Este trabajo de graduación tiene como propósito desarrollar un kit de sensores que van a permitir el manejo de la información más relevante del vehículo, la principal razón por la que se desarrollará en modalidad de kit es que pueda ser instalado en cualquier vehículo eléctrico que se desee estudiar.

Al igual que en un vehículo de combustión interna, las variables como velocidad, aceleración y temperatura del motor son de suma importancia para conocer el funcionamiento del vehículo eléctrico. Los sensores como GPS y de proximidad son de asistencia, pues permiten tanto al usuario como al vehículo conocer su ubicación y lo que existe a su alrededor. Debido a que un vehículo completamente eléctrico no utiliza combustible, el nivel de batería y la temperatura del ambiente son variables críticas, puesto a que las baterías de ion-litio tienden a ser menos eficientes bajo cambios de temperatura muy bruscos y el nivel de batería es el análogo a un tanque de combustible.

IV. MARCO TEÓRICO

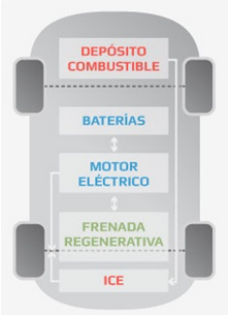
A. GENERALIDADES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Un vehículo eléctrico **(EV)** es aquel que funciona totalmente o parcialmente utilizando electricidad. Estos vehículos utilizan un motor eléctrico alimentado por baterías o celdas de combustible. Existen varios tipos de vehículos eléctricos entre los que se encuentran las siguientes clasificaciones: vehículos híbridos eléctricos **(HEV)** , vehículos híbridos enchufables **(PHEV)** , vehículos 100% eléctricos **(BEV)** y vehículos de celdas de combustible **(FCVE)**.

1. Clasificación general

a. Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV). Un **HEV (Hybrid Electric Vehicle)** utiliza un motor de combustión interna, un motor eléctrico y baterías. En otras palabras, este vehículo puede ser utilizado tanto como un carro convencional, es decir utilizando combustible como gasolina o diesel, o únicamente electricidad. Cuando el carro se queda sin electricidad cambia su modo de operación al de un carro convencional.

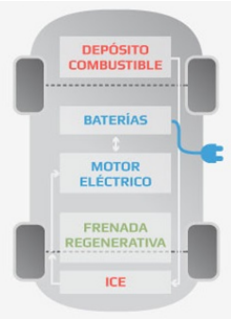
Figura 1. Diagrama de vehículo híbrido



(Endesa, 2008)

b. Vehículos Híbridos Eléctricos Enchufables (PHEV). Un **PHEV (Plug-in Electric Vehicle)** utiliza un motor de combustión interna , un motor eléctrico y una gran batería recargable. A diferencia de los vehículos híbridos eléctricos, los vehículos híbridos eléctricos enchufables pueden ser utilizados únicamente utilizando la batería para recorrer distancias cortas, estas pueden ser recargadas en las diferentes estaciones a partir de la red eléctrica de la región.

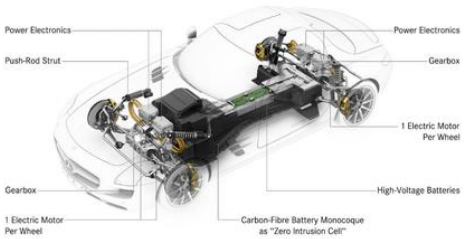
Figura 2. Diagrama de vehículo enchufable



(Endesa, 2008)

c. Vehículos 100% Eléctricos (BEV). Un **BEV (Battery Electric Vehicle)** utiliza la energía almacenada en las baterías para encender un motor eléctrico que hace girar las llantas. Estos vehículos pueden ser recargados a través de estaciones de carga o tomacorrientes convencionales. A diferencia de los híbridos, no cuentan con un motor de combustión interna por lo que su funcionamiento depende únicamente de la energía eléctrica suministrada y la capacidad de almacenamiento de las baterías.

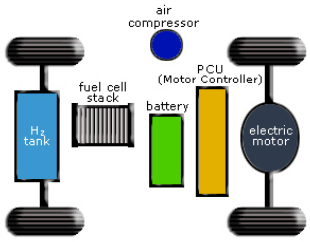
Figura 3. Diagrama de vehículo eléctrico



(Mercedes Benz, 2015)

d. Vehículos de Celdas de Combustible (FCEV). Un **FCVE (Fuel Cell Electric Vehicle)** utilizan hidrógeno y oxígeno para producir electricidad y poder encender el motor eléctrico. Si bien el vehículo funciona al 100% utilizando únicamente electricidad, para generarla se deben hacer recargas de hidrógeno lo cual es un inconveniente puesto que se debe de vivir en una zona en la cual este tipo de estaciones de hidrógeno se encuentren disponibles.

Figura 4. Diagrama de vehículo de celda de combustible



(U.S. Department of Energy, 2016)

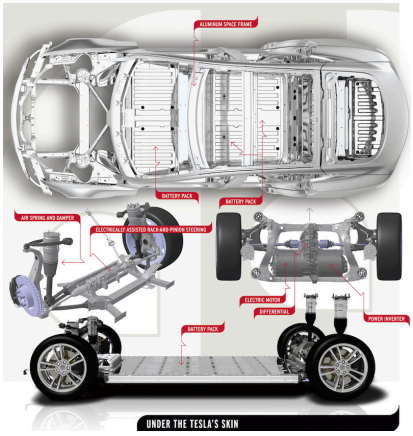
e. Funcionamiento básico de un vehículo 100% eléctrico. El sistema que conforma un vehículo eléctrico varía dependiendo de la compañía y los requerimiento del vehículo a fabricar. Para ejemplificar el funcionamiento básico de un vehículo se tomó como referencia el modelo SP90D de la compañía TESLA.

Figura 5. TESLA SP90D



(Tesla, 2016)

Figura 6. Diagrama básico de un Tesla modelo S

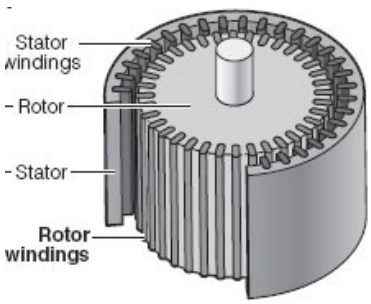


(Tesla, 2016)

Los vehículos eléctricos utilizan motores eléctricos de imanes permanentes (DC) o motores de inducción (AC) para generar el movimiento en las ruedas. En el caso del modelo SP90D se utiliza un motor de inducción eléctrico de 4 polos y 3 fases de corriente alterna (AC). La eficiencia del motor se encuentra en un rango entre el 85-90%.

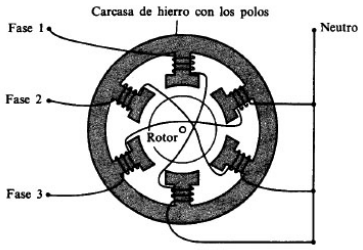
El motor asíncrono se encarga de energizar la bobina colocada en el estator. El estator es el marco fijo del motor. Esta acción permite inducir una corriente en la bobina del motor, la corriente alterna (AC) en la bobina permite originar polos en el campo magnético que los rodea. La atracción resultante en las bobinas cuando se alternan provocan la rotación del rotor.

Figura 7. Motor de inducción AC



(New Energy and Fuel, 2010)

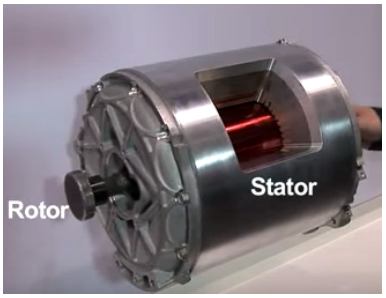
Figura 8. Fases en motor de inducción



(New Energy and Fuel, 2010)

En el SP90D el motor tiene una carcasa de aluminio, un estator de acero y el embobinado de cobre. El rotor tiene contacto únicamente con los cojinetes de bolas cuya función es reducir la fricción. Se refrigera por medio de agua.

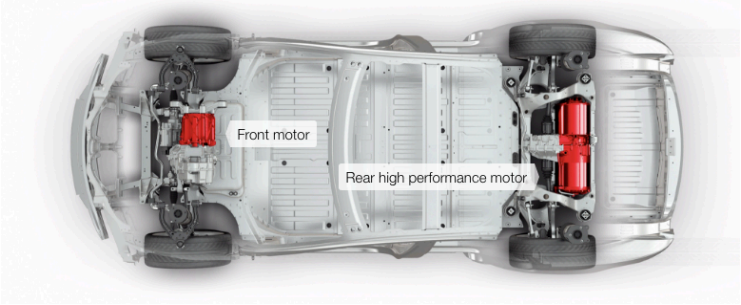
Figura 9. Motor utilizado en modelos SP90D



(Tesla, 2016)

En este modelo se encuentra incorporada la tecnología Dual-Motor, esto significa que las llantas delanteras y las llantas traseras tienen su propio motor.

Figura 10. Configuración Dual Motor



(Tesla, 2016)

Esta configuración cuenta con el motor secundario en el eje delantero y el motor principal en el eje trasero. Además, en el eje trasero se encuentran la caja de cambios y el inversor, por lo que el vehículo es tracción trasera. Debido a que existe un motor independiente para cada eje el torque de las llantas es independiente. La caja reductora del modelo tiene una relación de 9:1, para realizar el retroceso se invierten dos fases del motor para que cambie el sentido de giro todo de manera digital por lo que se reduce el uso de engranajes en la caja reductora. También cuenta con un diferencial que permite que las ruedas giren a velocidades diferentes.

Un gran espacio del vehículo se encuentra ocupado por los paquetes de baterías. Este modelo cuenta con 7014 baterías de ion- litio distribuidas en 16 paquetes. Tiene una capacidad de 90kWh a 400 VDC. Debido a que las baterías son de corriente directa y los motores de corriente alterna se requiere el uso de un inversor y un convertidor.

Figura 11. Paquete de baterías



(Tesla, 2016)

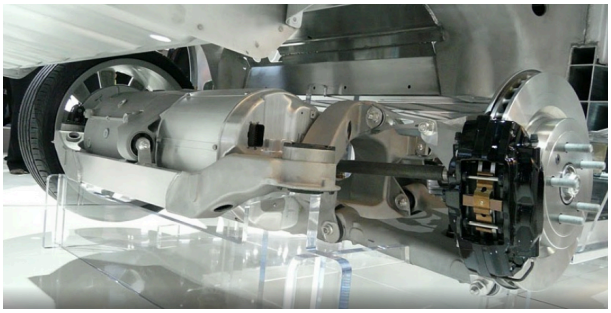
Figura 12. Baterías ion-litio



(Teslarati, 2016)

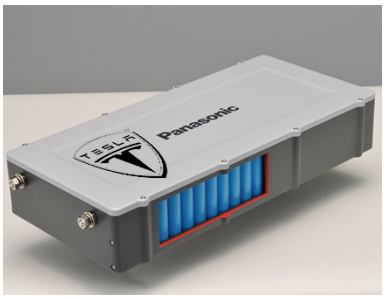
El convertidor se encuentra ubicado en el eje delantero justo al lado de la llanta derecha, se encarga de transformar corriente AC a corriente DC. Esto se requiere para poder recargar las baterías a partir del sistema de frenos del vehículo. Mientras que el inversor se encuentra en el eje trasero, este permite transformar la corriente DC de las baterías en corriente AC para que el motor de inducción pueda funcionar. Se puede frenar el vehículo de dos formas, la primera es utilizando el sistema de frenos convencional y la segunda es retirando el pie del acelerador. Al retirar el pie del acelerador el carro automáticamente frena, la corriente alterna en el motor es transformada en corriente directa y permite cargar los paquetes de baterías por lo que este proceso se conoce como frenado regenerativo en un vehículo eléctrico, ya que se obtiene energía en base a esta acción.

Figura 13. Eje trasero modelo Tesla SP90D



(Tesla, 2016)

Figura 14. Paquete de baterías

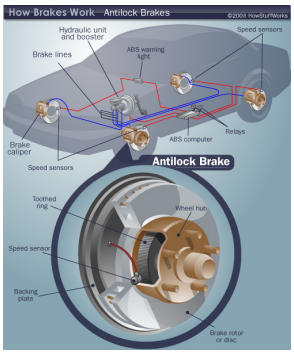


(Teslarati, 2016)

B. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA UTILIZADA EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

1. Vehicle Speed Sensor (VSS). Existen distintos tipos de sensores de velocidad en los vehículos. El sensor de velocidad principal se ubica en diferencial ubicado en el motor trasero o en el final de la caja de cambios conectado al eje conectado al motor. Este provee la información que se despliega en el tacómetro digital ubicado en la pantalla principal del vehículo, la información obtenida por este sensor es enviada a la **ECU (Engine Control Unit)** la cual se encarga de enviar la señal para desplegar la información actual. Otro tipo de sensores de velocidad se conocen como **ABS (Anti-Lock Bracking System) Wheel Speed Sensors**, estos se instalan en las ruedas del vehículo y se encargan de regular el funcionamiento del sistema de antibloqueo de ruedas, cada rueda cuenta con un sensor de tipo VSS que envía una señal a la ECU para indicar su velocidad individual a partir de ello la ECU puede determinar que rueda se encuentra atascada y envía una señal para disminuir o aumentar la presión de frenado sobre la rueda. Actualmente, existen vehículos que realizan la medición de velocidad únicamente utilizando los sensores de velocidad del sistema ABS. Para una mejor precisión se comparan las lecturas obtenidas por las obtenidas por un sistema GPS. A su vez existen distintos tipos de VSS en este caso trataremos con los de Efecto Hall. Los sensores de efecto Hall al ser sometidos a un campo magnético tienen como salida un voltaje proporcional al campo magnético. Según la teoría de Efecto Hall al colocar un conductor en el campo magnético el voltaje se genera perpendicular a la corriente y el campo. En promedio por cada milla que recorre un vehículo se generan 40,000 pulsos. Los sensores VSS de efecto Hall se subdividen en sensores analógicos y digitales.

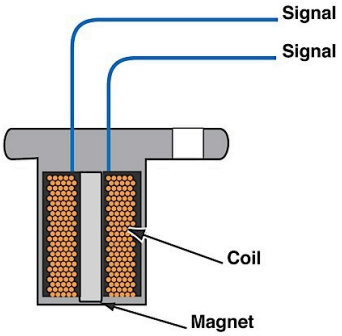
Figura 15. Wheel ABS Speed Sensor



(How Stuff Works, 2016)

a. VSS de Efecto Hall Analógico. Los sensores de velocidad de Efecto Hall Analógicos poseen dos cables, uno por el cual envía la señal y otro conectado a tierra, por lo que se consideran pasivos ya que no cuentan con un cable de alimentación. En el buje de la rueda se instala una rueda dentada, al girar el campo magnético del sensor cambia creando una señal sinusoidal que cambia en frecuencia conforme la velocidad aumenta.

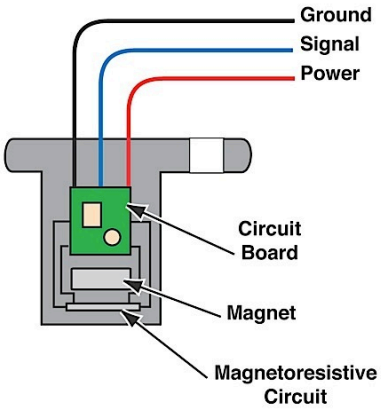
Figura 16. VSS analógico



(Babcox, 2012)

b. VSS de Efecto Hall Digital. Los sensores de velocidad de Efecto Hall Digitales poseen tres cables, uno conectado a 12 V, otro por el cual se transmite la señal 5 V, y un último que se conecta a tierra. Se consideran sensores activos ya que requieren de alimentación externa. Al igual que en los sensores analógicos al girar la rueda dentada el campo magnético cambia creando una señal cuadrada que aumenta en frecuencia conforme la velocidad aumenta.

Figura 17. VSS digital



(Babcox, 2012)

2. Acelerómetro. Los acelerómetros son dispositivos electromecánicos que miden las fuerzas de aceleración, que es la tasa de cambio de la velocidad de un objeto. Esto se mide en metros por segundo al cuadrado (m/s²) o en las fuerzas G (g). Los acelerómetros son útiles para detectar las vibraciones en los sistemas o para aplicaciones de orientación.

Básicamente es utilizarlo para detectar un rango de fuerzas que pueden ser censados. Estos rangos pueden variar desde ± 1g hasta ± 250g siendo esté el máximo soportado en vehículos de alta velocidad. La interfaz puede verse de forma análoga, digital o por modulación de ancho de pulso (PWM). En los vehículos actuales es más común ver la salida digital cuya interfaz serial sea SPI o I2C.

El acelerómetro cuenta con placas capacitivas internas dentro de lo que se puede llamar el sensor, los cuales algunos son estáticos y otros están separados por medio de pequeños resortes. Cuando existe una fuerza de aceleración en el sensor las placas internas tienden a moverse en relación el uno al otro y esto provoca un cambio de capacitancia entre estas mismas. El cambio que existe entre estas capacitancias es lo que se sensa para determinar la inclinación y aceleración que experimenta el sistema.

Figura 18. Vehicle dynamics accelerometer

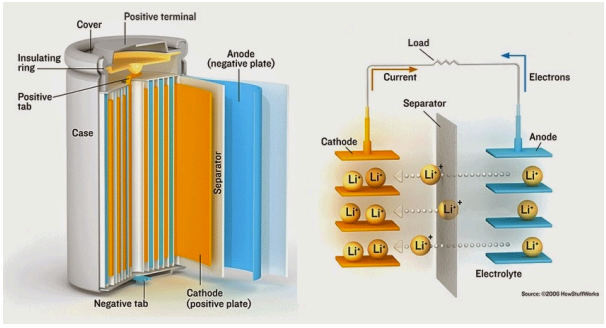


(Bosch, 2013)

3. Battery Sensor. Los vehículos eléctricos tienen un control especial sobre las baterías puesto a que son el análogo al combustible en los vehículos convencionales. Las baterías son dispositivos que permiten almacenar energía de forma electroquímica. En la mayoría de vehículos eléctricos se utilizan baterías ion-litio, en el caso del modelo S de Tesla se utilizan 7104 baterías .

a. Baterías de ion-litio. Las baterías de ion-litio contiene un electrolito líquido con iones, sal de litio, estos iones permiten la reacción electroquímica entre el ánodo y el cátodo.

Figura 19. Batería Ion-Litio



(Panasonic, 2015)

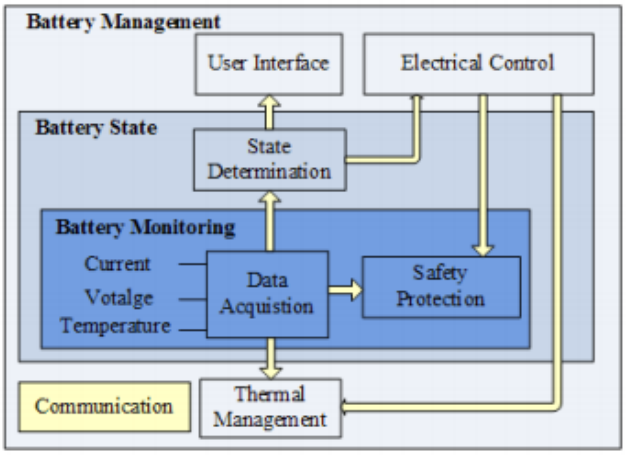
Las baterías ion-litio en promedio tienen un voltaje nominal de 3.7 V y un voltaje máximo de 4.2 V.Estas baterías son utilizadas en vehículos eléctricos por las siguientes razones:

- Permiten almacenar más carga que las baterías convencionales.
- Son más livianas.
- Aguantan varios ciclos de carga y de descarga.
- Se puede realizar una lectura de voltaje más precisa.
- Descarga lineal

Las baterías o celdas se agrupan en módulos y luego en paquetes, conjuntos de módulos, para poder controlar su temperatura. En el caso del modelo Tesla el vehículo cuenta con 16 paquetes de 444 baterías cada uno.

b. Sistemas de control para las baterías. Los vehículos eléctricos cuentan con dos sistemas de control para monitorear las baterías, estos son Battery Management System (BMS) y Thermal Management System (TMS). El sistema BMS se encarga de decidir la corriente máxima de carga y descarga y estimar dos parámetros importantes, State of Charge (SOC) y State of Health (SOH). SOC permite conocer la capacidad de la batería cuando se ve afectada por la corriente de carga y la temperatura, mientras que SOH es la capacidad de carga máxima de acuerdo al tiempo que ha sido utilizada.

Figura 20. BMS



(Energies, 2011)

De este sistema se divide un subsistema llamado Battery Monitoring, a partir de este subsistema se lleva un control de corriente, voltaje y temperatura.

Mientras que el Thermal Management System se encarga de regular todas aquellas funciones que permitan que los paquetes de baterías trabajen bajo una temperatura de condición adecuada.

4. Tire – Pressure Monitoring System (TPMS). Estos sensores se encargan de medir la presión en los neumáticos del vehículo. Los TPMS pueden ser directos o indirectos. Los sensores de presión directos se instalan de forma individual en cada llanta mientras que los indirectos utilizan información de los Wheel Speed Sensor para obtener la velocidad de giro. Los sensores de presión directos son más precisos.Los TPMS deben estar en movimiento para poder dar lecturas correctas. La temperatura y la presión están relacionada por la Ley de los gases ideales, al aumentar la temperatura absoluta aumenta la presión absoluta y viceversa.La ecuación de los gases ideales relaciona P la presión, V el volumen, n el número de moles del gas, R la constante universal del gas y T la temperatura.

Figura 21. Relación temperatura - presión

30°F	60°F	90°F	120°F	150°F	180°F
32.1 psi	35.0 psi	37.9 psi	40.7 psi	43.6 psi	46.5 psi
33.1 psi	36.0 psi	38.9 psi	41.9 psi	44.8 psi	47.7 psi
34.0 psi	37.0 psi	40.0 psi	43.0 psi	46.0 psi	48.9 psi
35.0 psi	38.0 psi	41.0 psi	44.1 psi	47.1 psi	50.2 psi
35.9 psi	39.0 psi	42.1 psi	45.2 psi	48.3 psi	51.4 psi
36.8 psi	**40.0 psi**	**43.2 psi**	**46.3 psi**	**49.5 psi**	**52.6 psi**
37.8 psi	41.0 psi	44.2 psi	47.4 psi	50.6 psi	53.9 psi
38.7 psi	42.0 psi	45.3 psi	48.5 psi	51.8 psi	55.1 psi
39.7 psi	43.0 psi	46.3 psi	49.7 psi	53.0 psi	56.3 psi
40.6 psi	44.0 psi	47.4 psi	50.8 psi	54.2 psi	57.6 psi
41.6 psi	45.0 psi	48.4 psi	51.9 psi	55.3 psi	58.8 psi

(LDR Workshop, 2010)

La mayoría de TPMS miden la diferencia entre la presión atmosférica y la presión de las llantas por lo que las lecturas de presión varían al cambiar la altitud.

Figura 22. Relación altitud - presión

Effect of Altitude on Pressure

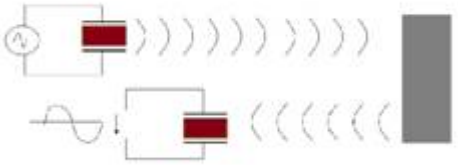
Altitude (feet)	Altitude (meters)	Atmospheric Pressure (psi)	Tire Gauge Pressure Change (psi)
0	0	14.70	
1,000	305	14.17	+0.52
2,000	610	13.66	+1.03
3,000	914	13.17	+1.52
4,000	1,219	12.69	+2.00
5,000	1,524	12.23	+2.47
6,000	1,829	11.78	+2.92
7,000	2,134	11.34	+3.36
8,000	2,438	10.92	+3.78
9,000	2,743	10.50	+4.19
10,000	3,048	10.11	+4.59

(LDR Workshop, 2010)

5. Sensores de proximidad. Los sensores de proximidad alertan al conductor de la distancia que separa la cara externa de la sección donde se encuentren instalados los sensores de otro objeto próximo a esta sección.

Los sensores de proximidad cuentan con una característica primordial para entender su funcionamiento lo cual es la señal acústica. Las señales de este sensor viajan en un medio elástico (aire) y es el sonido lo que provoca el inicio de este fenómeno. Entrando en detalle respecto a este sensor, el sonido provoca un movimiento ondulatorio el cual transmite vibraciones fluctuantes del medio el cual es interpretado como una onda de presión. Las vibraciones de frecuencia que son superiores a lo que un ser humano puede escuchar (mayores a 20 KHz) son las denominadas ondas de ultrasonido.

Figura 23. Sensores de proximidad

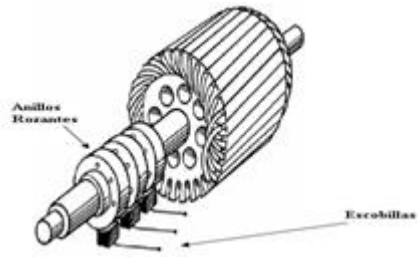


(Universidad de Alicante, 2013)

Para interpretar la señal este sensor por medio de un microcontrolador se necesita tener cuenta que la señal que este sensor devuelve se trata de una señal analógica y que no es la distancia lo que este sensor sensa si no que en realidad se trata de un diferencial de tiempo. Un microcontrolador es el encargado de recibir este diferencial de tiempo y calcular la distancia aproximada de forma digital.

6. Sensor de temperatura del motor. El motor AC utilizado en el Tesla corresponde a un motor de anillos rozantes, es decir, cuentan con un devanado de cobre en las ranuras del motor para cada una de las fases. Cada devanado está conectado por medio de anillos en el rotor. La temperatura del motor se monitorea de varias formas, una de ellas es utilizando termistores conectados al devanado del motor.

Figura 24. Motor de anillos rozantes.



(Máquinas eléctricas, 2014)

Un termistor es un sensor que permite medir temperatura en relación a la resistencia. Existen dos tipos de termistores en relación a las mediciones que realiza. Los termistores PTC o como sus siglas en inglés Positive Temperature Coefficient al aumentar su resistencia aumenta la temperatura mientras que los tipo NTC Negative Temperature Coefficient al disminuir la resistencia se incrementa el valor de la temperatura. Los termistores son muy utilizados en esta aplicación debido a su tamaño reducido y la rapidez de su respuesta. Si el devanado opera sobre la temperatura nominal la eficiencia del motor empieza a disminuir ya que se ve afectada por el aumento de la resistencia del conductor, en este caso el cobre.

Donde R del conductor es la resistencia del conductor, R nominal es la resistencia del conductor a 20 ºC, α es el coeficiente térmico y el cambio de temperatura. En la industria automotriz son comúnmente utilizados los sensores tipo NTC.

La ecuación de Steinhart-Hart permite dar una buena aproximación de la temperatura relacionando las resistencias. Los coeficientes varían de acuerdo a las especificaciones técnicas de cada fabricante.

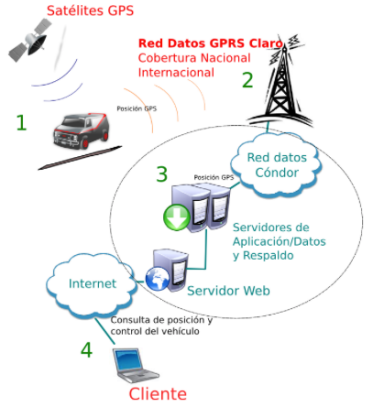
Figura 25. Termistor marca Siemens temperatura máxima 190 ºC.



(Siemens, 2016)

7. Global Positional System (GPS). Es un sistema de posicionamiento global qué es capaz de rastrear y determinar en toda la Tierra la posición de un objeto. Funciona como un receptor el cual recibe una señal en tiempo real de un satélite lo cual le permite hacer una triangulación de la señal y calcular la localización exacta de la misma.

Figura 26. GPS



(Claro, 2016)

El sistema de GPS permite múltiples funcionalidades tanto de entrada como salida en un vehículo automotor. Estas entradas y salidas pueden activarse o desactivarse dependiendo de la funcionalidad que se necesite. Algunas de estas son las siguientes:

- Apagar el vehículo
- Cerrar o abrir puertas y ventanas
- Botón de emergencia
- Notificaciones variadas (Apertura de puertas, inicio de combustión del motor o golpes al vehículo)

a. Adquisición de la posición del vehículo. La red de satélite es utilizada para obtener la posición exacta del vehículo haciendo uso de los dispositivos de rastreo en el vehículo.

b. Transmisión de datos al servidor. La información obtenida del la localización el vehículo es enviada vía GPRS con la red que se esté prestando el servicio.

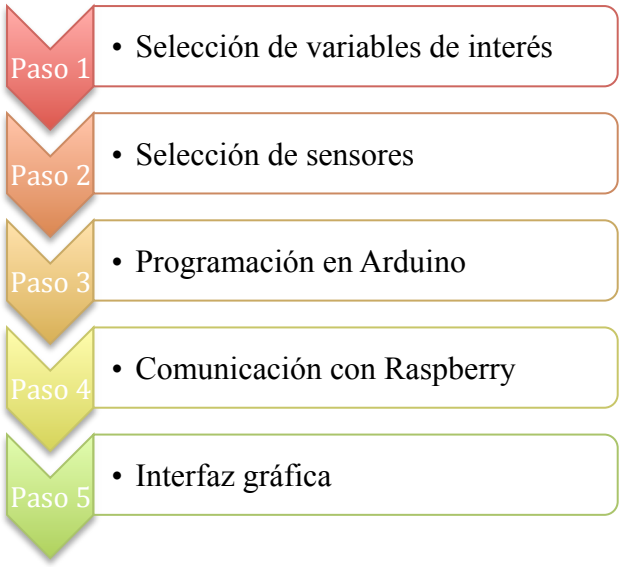
c. Almacenamiento en la web. Toda la información que recibe el dispositivo instalado en el vehículo como velocidad, ubicación, apertura de puertas o ventanas puede ser vista por el usuario en cualquier momento.

d. Acceso al sistema del vehículo. La información del vehículo puede ser monitoreada desde cualquier computadora con conexión a internet.

V. METODOLOGÍA

El trabajo de graduación se dividió en varias etapas las cuales fueron fundamentales para el desarrollo del proyecto, las cuales se pueden observar en el Cuadro1.

Cuadro 1. Metodología empleada



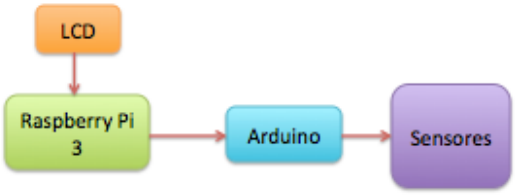
Una vez seleccionadas las variables de interés y los sensores con los cuales se obtienen las mediciones se realizó un diagrama básico de distribución (Ver Fig.27). Los sensores de velocidad se instalan en los discos de las llantas mientras que los TPMS se instalan dentro las llantas por lo que ocupan las posiciones de la 1-4 . Para los sensores de proximidad se instalan dos sensores frontales, dos traseros y dos laterales como se muestran en la posiciones de la 7-12 . Los sensores de temperatura de motor, nivel de batería y temperatura ambiental se instalan en la posición 5. Finalmente, los sensores como el acelerómetro y el GPS se instalan en la cabina del vehículo. Ya teniendo la distribución de los sensores en el vehículo se seleccionó de que manera se obtendrían mediciones para lo cual se seleccionó un Arduino Mega. Se tomó en cuenta la cantidad de entradas analógicas, entradas digitales y los protocolos de comunicación con los que se pueden trabajar. Luego se seleccionó el protocolo serial para poder enviar la información del Arduino a la Raspberry Pi y desplegarla en una LCD (Ver Fig.28) .

Figura 27. Diagrama de distribución básico



(Elaboración Propia)

Figura 28. Diagrama básico conexiones



(Elaboración Propia)

Para cada sensor se siguieron los siguientes pasos:

- Investigación del funcionamiento del sensor
- Lecturas de datos importantes en las hojas de datos del fabricante
- Programación / Lectura de datos
- Pruebas sencillas evaluando funcionamiento
- Instalación en el vehículo (Pruebas y toma de muestras)
- Envío de información a la Raspberry

VI. RESULTADOS

A. VARIABLES DE INTERÉS

Después de haber realizado una investigación general acerca de la instrumentación electrónica utilizada en los vehículos eléctricos se llevó a cabo la selección de variables a medir.

Cuadro 2. Variables seleccionadas

Variables seleccionadas
Velocidad del vehículo
Temperatura del ambiente
Temperatura del motor
Posicionamiento del vehículo (GPS)
Nivel de batería
Aceleración
Presión de las llantas (TPMS)
Distancia entre el vehículos y posibles obstáculos.

Como en todo vehículos algunos de los sensores más básicos para efectuar mediciones críticas miden las variables mencionadas en el Cuadro 2, a excepción del GPS y los sensores de proximidad, los cuales son más para asistir al conductor. La velocidad, la aceleración y la temperatura del ambiente son las variables más comunes cuyas mediciones se muestran en un tablero todo el tiempo, el resto suelen desplegar alarmas cuando el funcionamiento no es el adecuado.

1. Velocidad del vehículo. Los sensores de velocidad de los vehículos dependen del modelo, marca y funcionalidades del mismo por lo que se utilizaron sensores más sencillos para la elaboración de este trabajo. Dependiendo de su sistema de control los vehículos realizan la medición de velocidad por medio de un VSS principal o por medio de los Wheel ABS Speed Sensors, en el mejor de los casos se utilizan ambos sensores para comparar datos. Como se mencionó anteriormente, cada vehículo utiliza un sensor de velocidad especial que se ajusta a las dimensiones a las cuales será instalado. En este caso se tuvo un enfoque especial en los Wheel ABS Speed Sensors. El rango de precios varía bastante por lo que para entender el funcionamiento de los sensores de velocidad se acudió a un taller mecánico en donde el dueño me dejó hacer pruebas con un sensor de un vehículo en reparación que requería del cambio.

Figura 29. Wheel ABS Speed Sensor



(Elaboración propia)

Los sensores de velocidad instalados en las llantas, como el mostrado en la Fig. 27 son de tipo analógico. Funcionan por el principio del Efecto Hall por lo que requieren de una trigger Wheel o anillo dentado para llevar el conteo de pulsos que permiten pedir la velocidad. Este sensor pertenece a un Toyota Yaris modelo 2007, este tiene un promedio de 40000 pulsos por milla, dato almacenado en la computadora para hacer la conversión.

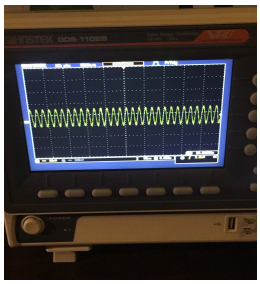
Figura 30. Wheel Speed Sensor Toyota Yaris Modelo 2007



(Elaboración propia)

Este sensor es de tipo pasivo puesto que solo cuenta con el cable por el cual envía la señal y su respetiva conexión a Tierra. Este sensor genera una señal sinusoidal de una amplitud entre 50mV a 1 V, el aumento de la velocidad se puede observar a través de su frecuencia, sin embargo, solo se logró girar el disco a mano por lo que no se alcanzaron velocidades muy altas.

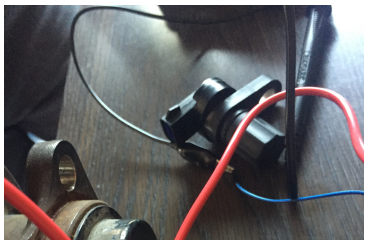
Figura 31. Señal sinusoidal (Wheel ABS Speed Sensor) con amplitud pico a pico de 50 mV y una frecuencia de 1.2 kHz.



(Elaboración propia)

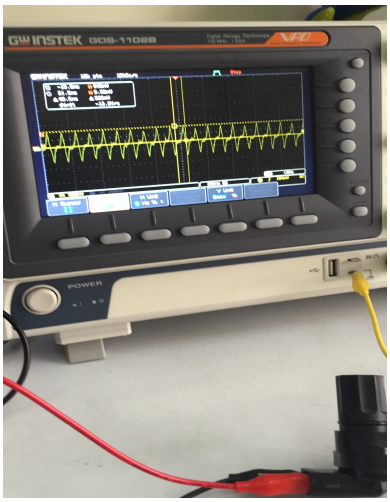
Otro sensor analógico analizado fue un Dorman 970-012 Wheel ABS Speed Sensor, este tipo de sensores genéricos funcionan con las camionetas marcas Chevrolet o marca Ford. Cuentan con una resistencia de 1.815 kΩ, y al igual que el sensor analizado anteriormente es de tipo analógico.

Figura 32. Sensor Dorman 970-012



(Elaboración propia)

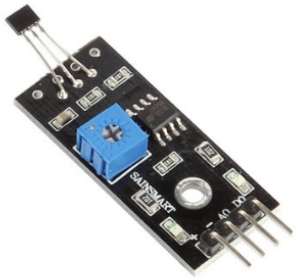
Figura 33. Señal del sensor Dorman



(Elaboración propia)

Una vez entendido el funcionamiento de este tipo de sensores se utilizó un sensor de efecto Hall de menor costo para simular un Wheel ABS Speed Sensor.

Figura 34. Saint-Smart Hall Effect Sensor



El sensor seleccionado fue un Saint-Smart de Efecto Hall como se ve en la Fig. 32.

Cuadro 3. Características básicas del sensor de efecto Hall

Saint – Smart Hall Effect Sensor	
Voltaje de Operación	3.3 – 5 V
Temperatura Máxima	150 ºC
Tipo de Salida	Analógica/Digital

Cuadro 4. Precio sensores de efecto Hall

Saint – Smart Hall Effect Sensor	
Cantidad	4
Precio Unitario	Q 60.00
Precio Total (sin shipping)	Q 240.00

Para medir la velocidad se elaboró un programa en Arduino que permite medir la cantidad de revoluciones por minuto del disco, al igual que un Wheel Speed Sensor analógico se necesita de una rueda dentada o algún tipo de mecanismo para establecer a partir de qué punto se tomó la medición como una revolución. En el caso de estos sensores se colocó un imán de neodimio sobre el disco, y se instaló el sensor sobre el disco de freno.

Figura 35. Imanes de Neodimio



Cuadro 5. Precio imanes de Neodimio

Imanes de Neodimio (Paquete)	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 60.00
Precio Total (sin shipping)	Q 60.00

El primer paso fue colocar el tricket para poder desmotar la llanta.

Figura 36. Desmontaje de la llanta



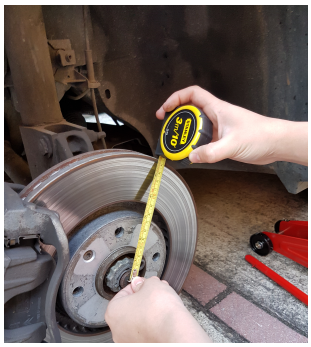
Figura 37. Instalación del sensor de efecto Hall



Figura 38. Instalación del sensor de efecto Hall



Figura 39. Medición del radio del disco utilizado.



Para calcular la velocidad tangencial del vehículo se realizaron los siguientes cálculos:

Cuadro 6. Datos obtenidos para una medición

Datos obtenidos	
Velocidad angular (Lecturas efectuadas con Arduino)	120 rpm
Radio del disco	0.15 m

$$120\,\frac{rev}{min}\left(\frac{2\pi rad}{1\,rev}\right)\left(\frac{1\,min}{60\,s}\right) = 4\pi\,\frac{rad}{s} \qquad (1)$$

$$v = \omega r$$

$$v = \left(4\pi\,\frac{rad}{s}\right)(0.15\,m) = \frac{3\pi}{5}\frac{m}{s} \qquad (2)$$

$$\frac{3\pi}{5}\frac{m}{s}\left(\frac{1\,km}{1000\,m}\right)\left(\frac{3600\,s}{1\,h}\right) = \frac{54\pi}{25}\frac{km}{h} \cong 6.78\,\frac{km}{h} \qquad (3)$$

$$\% \, de \, error = \frac{|Dato \, teórico - Dato \, Experimental \,|}{|Dato \, teórico|} = \frac{\left|6.00 \ {}^{km}/_{h} - 6.78 \, {}^{km}/_{h}\right|}{\left|6.00 \, {}^{km}/_{h}\right|} = 13 \, \% \quad (4)$$

Figura 40. Lectura del tacómetro del carro

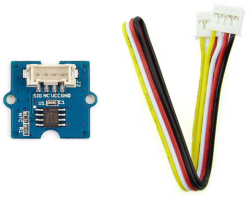


(Elaboración propia)

De esta forma se efectuaron diversas mediciones comparando los valores obtenidos con el sensor de efecto y el tacómetro del carro.

2. Temperatura Ambiente. Para realizar la temperatura ambiente se seleccionó el sensor Grove-Barometer Sensor (BME280).

Figura 41. BME280



Cuadro 7. Precio del sensor de temperatura ambiental

Grove – Barometer Sensor (BME280)	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 67.00
Precio Total (sin shipping)	Q 67.00

Cuadro 8. Características del sensor de temperatura

Características del Sensor BME280	
Voltaje de Operación	3.3 – 5 V
Temperatura de Operación	-40 - 85ºC
Precisión	± 1.0 ºC
Frecuencia de muestreo	182 Hz

Para la programación en Arduino se utilizaron las librerías Seeed_BME280.cpp y Seeed_BME280.h. Este tipo de sensor puede ser comunicado a través del Arduino por medio de comunicación SPI o I2C, en este caso se utilizó comunicación I2C.

Cuadro 9. Conexión con Arduino Mega

Conexión con Arduino MEGA 2560	
Voltaje de Operación	5 V
SDA	28
SCL	21
GND	GND

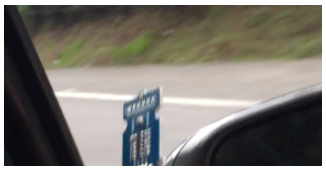
El sensor permite obtener lecturas de temperatura, presión barométrica, altitud y humedad. En este caso se buscó obtener la temperatura del ambiente, para comparar los resultados, se compararon las lecturas del sensor con las lectura de un Peugeot 307.

Figura 42. Temperatura marcada por el Peugeot 307



(Elaboración propia)

Figura 43. Sensor BMP280



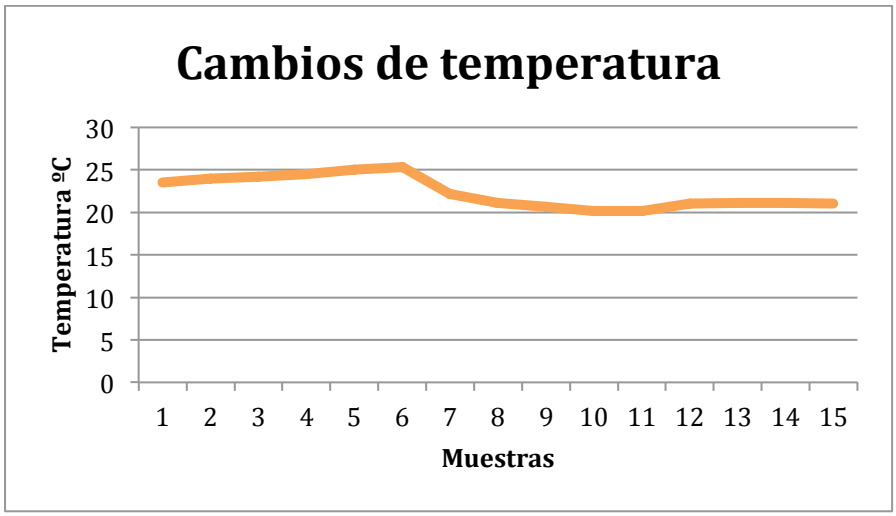
(Elaboración propia)

Cuadro 10. Recorrido San Lucas

Muestras	Temperatura	Temperatura de interés
1	23.55	24
2	23.95	24
3	24.22	24
4	24.51	25
5	25.06	25
6	25.3	25
7	22.19	22
8	21.14	21
9	20.67	21
10	20.17	20
11	20.16	20
12	21.05	21
13	21.1	21
14	21.08	21
15	21.05	21

Se realizó un breve recorrido en San Lucas Sacatepéquez, desde el inicio el termómetro en el tablero del carro marcaba 21 ºC, 10 muestras después el sensor se estabilizó puesto a que realizó mediciones más cercanas al valor mostrado en el tablero del carro. Las primeras muestras se deben a que ingrese con el sensor a la cabina y el carro se encontraba debajo del Sol, cuando se colocó directamente en la ventana pudo obtener la misma medición de temperatura ambiental que el sensor de temperatura del vehículo.

Figura 44. Cambios de temperatura en el recorrido



3. Temperatura del motor. Como se pudo leer en la sección de marco teórico, para la lectura de temperaturas en un vehículo eléctrico se utilizan termistores.

Figura 45. Termistor



Cuadro 11.Características del termistor

Características del Termistor	
Voltaje de Alimentación	5 V
Rango de Temperaturas	-25 - 125ºC

Cuadro 12. Precio del termistor

Grove – Barometer Sensor (BME280)	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 16.00
Precio Total (sin shipping)	Q 16.00

Para poder obtener la temperatura a partir del microcontrolador Arduino se empleó la ecuación de Steinhart-Hart .Esta ecuación permite calcular el valor de resistencia del semiconductor a diferentes temperaturas utilizando los coeficientes de cada termistor en particular. A partir de la entrada analógica se obtiene el valor de ADC. La resolución entre lecturas para un voltaje de 5 V es de 1024 unidades en un Arduino Mega por lo que para encontrar el valor de R se utilizó la siguiente relación:

$$R = \left(R_{divisor\ de\ voltaje}\right)\left(\frac{1024}{ADC} - 1\right) \quad (5)$$

Siendo 9900 ohmios el valor de la resistencia utilizada en el divisor de voltaje. Una vez obtenido el valor de la resistencia en ohmios se obtuvo la temperatura en Kelvin, para ello se emplearon los coeficientes propios del termistor (Ver Tabla1) y se resta un valor de 273 para obtener la temperatura en grados Centígrados.

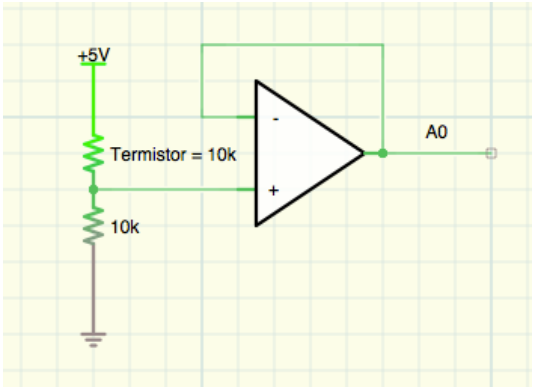
Cuadro 13. Coeficiente de Steinhart-Hart

Coeficientes	Valor
A	0.001129148
B	0.000234125
C	0.0000000876741

Cuadro 14. Pines de conexión para el termostato con Arduino Mega

Conexión con Arduino MEGA 2560	
Voltaje de Operación	5 V
Entrada Analógica	A0
GND	GND

Figura 46. Divisor de voltaje y seguidor para el termistor



En el circuito de la Fig.46 se utilizaron resistencias de precisión. A partir de la ecuación de Steinhart-Hart se obtuvo el valor de temperatura en grados Centígrados.

$$T = \frac{1}{A + Bln(R) + C(\ln(R))^3} - 273.15 \quad (6)$$

Figura 47. Relación de temperatura-resistencia para termistor

热敏电阻电阻—温度分度表

R（25℃）：10KΩ　　B(25℃/50℃):3950

T（℃）	R（kΩ）	T（℃）	R（KΩ）	T（℃）	R（kΩ）	T（℃）	R（kΩ）
-25	133.500	15	15.7511	55	2.96331	95	.781670
-24	125.672	16	15.0306	56	2.85569	96	.758701
-23	118.350	17	14.3472	57	2.75256	97	.736519
-22	111.498	18	13.6987	58	2.65369	98	.715094
-21	105.084	19	13.0833	59	2.55890	99	.694397
-20	99.0773	20	12.4990	60	2.46799	100	.674400
-19	93.4469	21	11.9441	61	2.38080	101	.655075
-18	88.1750	22	11.4169	62	2.29714	102	.636398
-17	83.2296	23	10.9161	63	2.21686	103	.618345
-16	78.5909	24	10.4400	64	2.13980	104	.600890
-15	74.2384	25	10.0000	65	2.06583	105	.584013
-14	70.1527	26	9.55693	66	1.99480	106	.567690
-13	66.3162	27	9.14743	67	1.92658	107	.551902
-12	62.7122	28	8.75777	68	1.86105	108	.536629
-11	59.3254	29	8.38690	69	1.79809	109	.521852
-10	56.1416	30	8.03380	70	1.73758	110	.507552
-9	53.1475	31	7.69753	71	1.67942	111	.493712
-8	50.3307	32	7.37721	72	1.62351	112	.480316
-7	47.6799	33	7.07200	73	1.56975	113	.467346
-6	45.1842	34	6.78110	74	1.51804	114	.454788
-5	42.8339	35	6.50378	75	1.47300	115	.442627
-4	40.6197	36	6.23934	76	1.42045	116	.430848
-3	38.5330	37	5.98711	77	1.37439	117	.419438
-2	36.5656	38	5.74646	78	1.33007	118	.408384
-1	34.7103	39	5.51680	79	1.28740	119	.397674
0	32.9600	40	5.29758	80	1.24632	120	.387294
1	31.3081	41	5.08828	81	1.20675	121	.377233
2	29.7487	42	4.88838	82	1.16864	122	.367481
3	28.2760	43	4.69743	83	1.13193	123	.358026
4	26.8848	44	4.51498	84	1.09655	124	.348859
5	25.5702	45	4.34060	85	1.06246	125	.339968
6	24.3274	46	4.17391	86	1.02960		
7	23.1523	47	4.01452	87	.997924		
8	22.0407	48	3.86207	88	.967376		
9	20.9889	49	3.71624	89	.937916		
10	19.9934	50	3.58800	90	.909498		
11	19.0509	51	3.44314	91	.882083		
12	18.1582	52	3.31529	92	.855630		
13	17.3124	53	3.19287	93	.830101		
14	16.5109	54	3.07563	94	.805459		

(Seeed Studio, 2016)

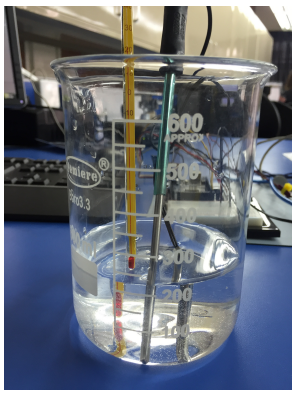
Para comparar las mediciones efectuadas por el termistor se utilizó un sensor PASCO y un termómetro de vidrio.

Figura 48. Configuración de la interfaz PASCO



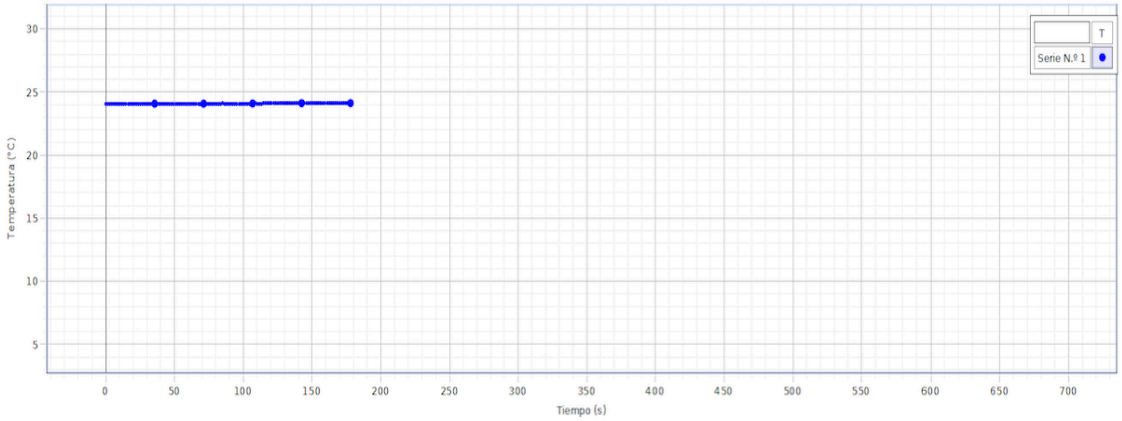
(PASCO, 2013)

Figura 49. Sensor PASCO, termómetro y termistor



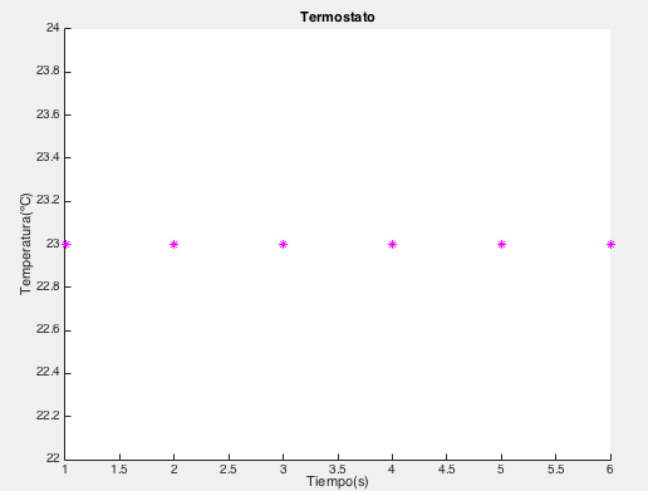
(Elaboración propia)

Figura 50. Gráfica de temperatura obtenida con el sistema PASCO



Al mismo tiempo que se graficaban los datos en usando Kapston, el nuevo programa con el que se puede utilizar PASCO, se realizó un programa en MATLAB para graficar las mediciones obtenidas con el termistor.

Figura 51. Gráfica obtenida en MATLAB con el termistor



4. Sensores de proximidad. Los sensores de proximidad tienen un valor de mercado de 1500 quetzales en adelante, para simular sensores de proximidad como los instalados en un vehículo se seleccionaron los sensores ultrasónicos HC-SR04.

Figura 52. Sensor ultrasónica HC-SR04



(Arduino, 2013)

Cuadro 15. Precio sensores ultrasónicos

Grove – Barometer Sensor (BME280)	
Cantidad	6
Precio Unitario	Q 35.83
Precio Total (sin shipping)	Q 214.96

Cuadro 16. Características HC-SR04

Características del Sensor Ultrasónico	
Voltaje de Alimentación	5 V
Distancia mínima	2 cm
Distancia máxima	400 cm
Frecuencia	40 Hz
Ángulo de medición	15 º
Trigger Input	10 µS (TTL)

Se utilizaron seis sensors ultrasónicos, dos frontales, dos laterales y dos traseros para tener un mejor sistema de alarmas ante obstáculos.

Cuadro 17. Distribución de pines para sensores de proximidad

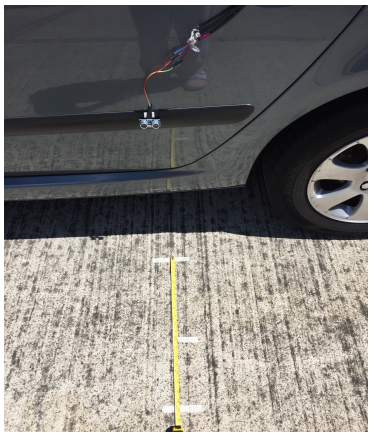
Conexión con Arduino Mega						
Parámetros	Left Front	Right Front	Left	Right	Rear Left	Rear Right
Vcc	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V
Trigger	DIGITAL PIN 3	DIGITAL PIN 5	DIGITAL PIN 7	DIGITAL PIN 24	DIGITAL PIN 28	DIGITAL PIN 13
Echo	DIGITAL PIN 2	DIGITAL PIN 4	DIGITAL PIN 6	DIGITAL PIN 22	DIGITAL PIN 26	DIGITAL PIN 12
GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND

Los sensores de proximidad frontales y traseros alertan al conductor cuando la señal es menor a 1 metro mientras que los sensores laterales alertan al conductor cuando la distancia es menor a 50 cm. Para calcular la distancia en centímetros se utiliza:

$$Distancia = \frac{(Trigger - Echo) * (340\ {}^{m}/_{s})}{2} \quad (7)$$

Cada 10 microsegundos trigger envía un pulso lo que activa el envío de 8 pulsos a una frecuencia de 40kHz y activa el pin de echo, este pin se mantiene en alto hasta que recibe el eco del objeto más cercano detectado. En el momento que echo cambia su estado se puede obtener el tiempo del pulso y realizar el cálculo de la distancia.

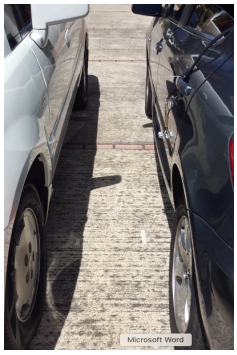
Figura 53. Sensor ultrasónico lateral



(Elaboración propia)

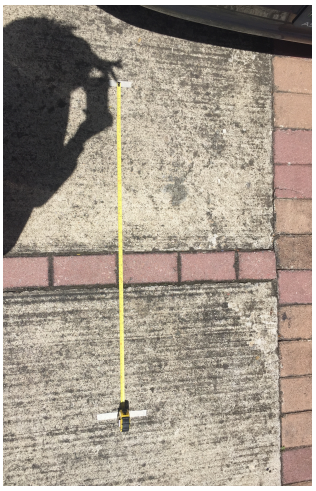
Para probar los sensores ultrasónicos laterales se marcó una distancia de 50 cm y se programó un buzzer para que al aproximarse un vehículo a una distancia menor a 50 cm generara una sonido de alerta.

Figura 54. Obstáculo a distancia menor a 50 cms.



(Elaboración propia)

Figura 55. Distancia de un metro para sensores frontales y traseros.



(Elaboración propia)

Figura 56. Obstáculo a distancia menor a un metro.

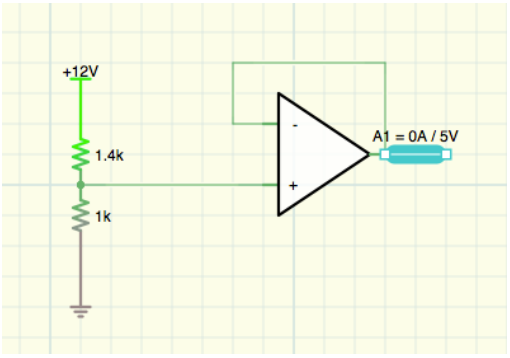


(Elaboración propia)

De manera similar a los sensores laterales se programó un buzzer para que al detectar un obstáculo a una distancia menor a un metro se generara un sonido de alerta.

5. Nivel de batería. Para la medición del voltaje en la batería no se requirió de un sensor adicional, únicamente se fabricó un divisor de voltaje.

Figura 57. Divisor de voltaje para medir nivel de batería

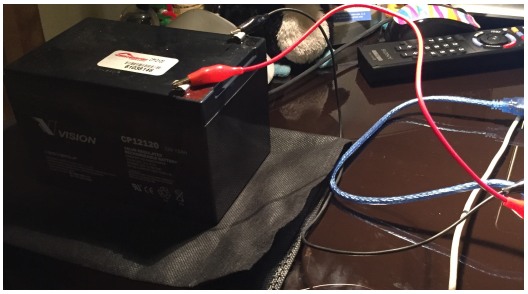


Debido a que los pines del microcontrolador Arduino no soportan un voltaje mayor a 5 V, se creó una relación de 0-5 V que represente el cambio de voltaje de 0-12 V en la batería.

Cuadro 18. Nivel de batería

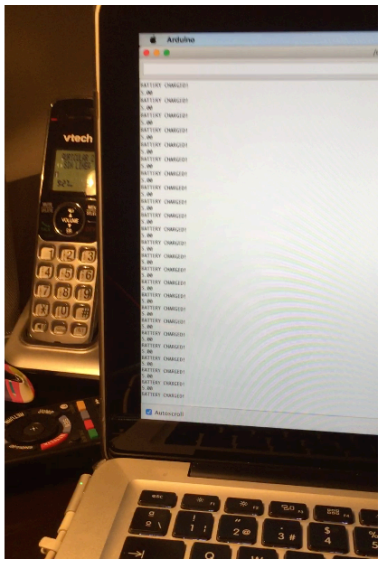
Nivel de Voltaje	Conversión de 0 – 5 V	Porcentaje
12 V	5 V	100 %
7.2 V	3 V	60 %
6 V	2 .5 V	50 %

Figura 58. Batería utilizada



(Elaboración propia)

Figura 59. Medición de nivel de batería

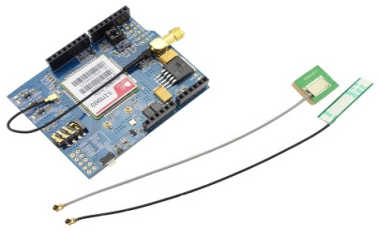


(Elaboración propia)

En el momento en el que se midió el voltaje la batería estaba cargada, por otra parte, para poder verificar las variaciones de voltaje se conectó una fuente y se disminuyó el voltaje por debajo de los 6 V para que se activará un mensaje de alerta sobre la carga de la batería y se disminuyó el voltaje hasta llegar a cero voltios para verificar las mediciones en el rango de 14 V a 0 V. Entre las especificaciones de la batería se indica que su voltaje nominal es de 12 V pero se consideró que la batería puede tener un voltaje máximo de 14 V cuando tiene carga completa.

6. GPS. Para el sistema de posicionamiento global se utilizó el módulo Elecrow SIM808 y una tarjeta microSIM.

Figura 60. Módulo SIM808



(Elecrow, 2016)

Cuadro 19. Precio módulo SIM808

Módulo SIM808	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 300.00
Precio Total (sin shipping)	Q 300.00

Figura 61. Micro SIM Claro



(Elaboración propia)

Cuadro 20. Precio tarjeta SIM

MicroSIM Claro

Cantidad	1
Precio Unitario	Q 25.00
Precio Total	Q 25.00

Para conocer la posición actual del vehículo se requiere conocer latitud y longitud. Se utilizaron los siguientes comandos para obtener la información del GPS:

Cuadro 21. Comandos AT para establecer comunicación.

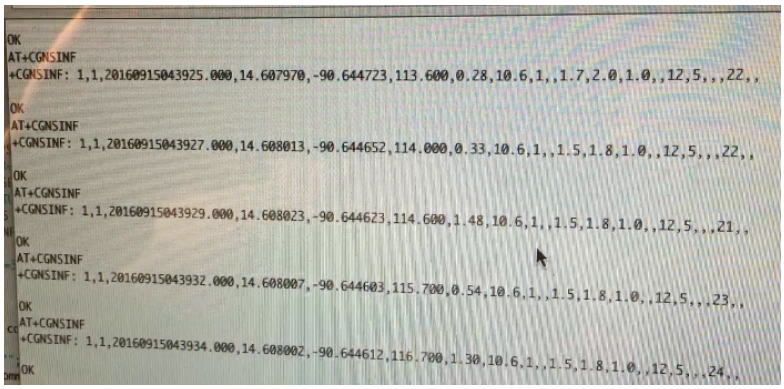
Comando	Descripción
AT+CGPSPWR=1	Permite establecer comunicación con el satélite.
AT+CGPSSTATUS?	Permite establecer si la comunicación fue exitosa o no, es posible obtener los datos de posicionamiento.
AT+CGPSINF=0	Permite resetear el GPS y obtener los datos.
AT+CGPSPWR=0	Cerrar el GPS

Con el tercer comando mostrado en el Cuadro 21 se pueden obtener los siguientes datos:

- Modo
- Altitud
- Latitud
- Longitud
- Tiempo UTC (Universal Time Coordinate)
- TTFF (Time To First Fix)
- Num
- Speed
- Course

De los cuales nos interesan altitud, latitud y longitud para la interfaz gráfica.

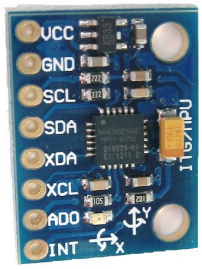
Figura 62. Datos obtenidos con el módulo y Arduino



(Elaboración propia)

7. Acelerómetro

Figura 63. MPU6050



(Arduino Playground, 2014)

Para medir la aceleración se seleccionó un acelerómetro de 6 ejes, MPU-6050.(Ver Fig. 63)

Cuadro 22. Precio acelerómetro

Acelerómetro	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 49.00
Precio Total (sin shipping)	Q 49.00

Por el tipo de aplicación se seleccionó una sensibilidad de ± 2g. Este tipo de sensor fue programado utilizando comunicación I2C, se utiliza un Arduino UNO exclusivamente para el mismo y se diseñará una cajita que contenga el sensor con el microcontrolador utilizado. La librería MPU-6050 devuelve raw values los cuales deben ser divididos por el valor 16348 para obtener las aceleraciones reales.

$$Aceleración\ en\ x = \frac{raw\ value}{scale\ factor} = \frac{raw\ value}{16348} \quad (8)$$

$$Aceleración\ en\ y = \frac{raw\ value}{scale\ factor} = \frac{raw\ value}{16348} \quad (9)$$

$$Aceleración\ en\ z = \frac{raw\ value}{scale\ factor} = \frac{raw\ value}{16348} \quad (10)$$

$$\|Aceleración\| = \sqrt{(aceleración_x)^2 + (aceleración_y)^2 + (aceleración_z)^2} \quad (10)$$

Figura 64. Acelerómetro instalado en la cabina de un Peugeot 307



(Elaboración propia)

Figura 65. Recorrido en tráfico San Lucas Sacatepéquez

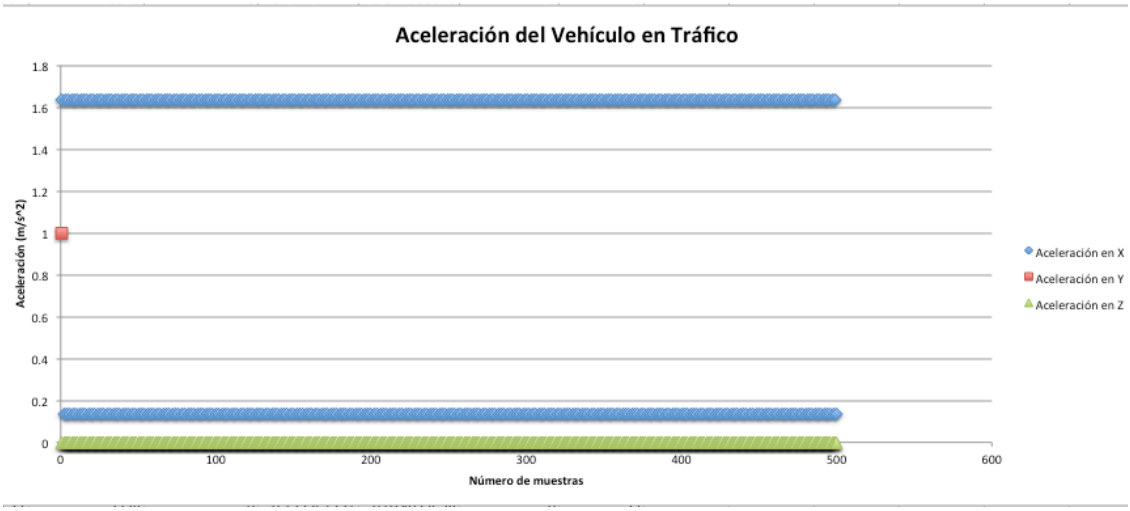
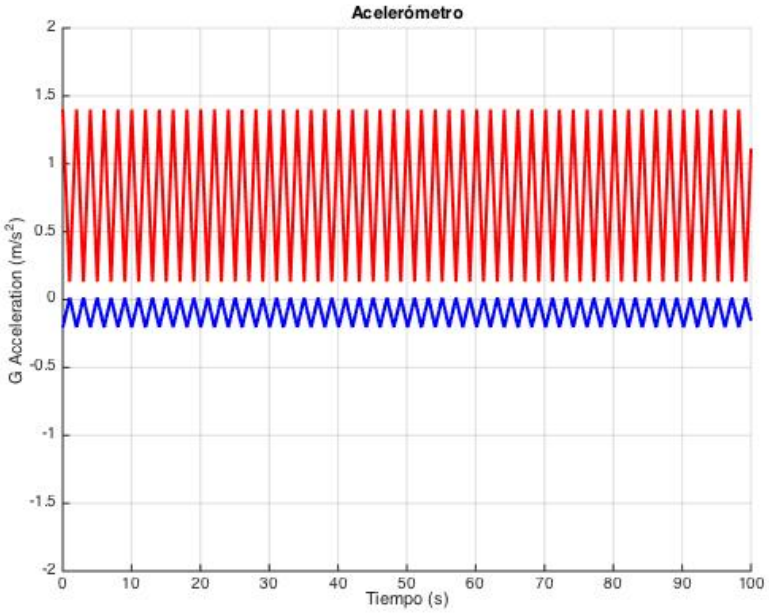


Figura 66. Recorrido en tráfico Calzada Roosevelt (MATLAB) Aceleración en el eje X (rojo) y la aceleración en el eje Y (azul).



Se llevarán a cabo más pruebas para corroborar que los datos sean correctos y se realizarán pruebas para comparar la aceleración de 0 hasta 100 kilómetros por hora en un Peugeot 307 modelo 2007.

Según la ficha técnica, la aceleración de 0 a 100 kilómetros se realiza en un tiempo promedio de 8.9 segundos.

$$100\frac{km}{h}\left(\frac{1000\ m}{1\ km}\right)\left(\frac{1\ h}{3600\ s}\right) = \frac{250}{9}\frac{m}{s} \quad (11)$$

$$aceleración = \frac{V_f - V_i}{t_f - t_i} = \frac{\frac{250}{9}\frac{m}{s}}{8.9\ s} = \frac{2500}{801}\frac{m}{s^2} \approx 3.12\ \frac{m}{s^2} \quad (12)$$

8. TPMS

Cuadro 23. Precio TPMS instalados fuera de las llantas.

TMPS marca CARCHET	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 794.00
Precio Total (sin shipping)	Q 794.00

Cuadro 24. Precio TPMS instalados dentro de las llantas.

TMPS marca SCHRADER	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 1123.50
Instalación de sensores	Q 120.00
Precio Total (sin shipping)	Q 1243.50

Los sensores marca Schrader han demostrado tener mejores mediciones que los sensores Carchet, muchas veces estos varían mucho con respecto a otros instrumentos de medición. Para obtener los datos de presión se comenzó por tratar de interceptar la señal de radiofrecuencia que utilizan para enviar y recibir datos del monitor al sensor y viceversa, aunque desafortunadamente no se logró interceptar la señal utilizando un receptor de 433 MHz sencillo. El siguiente paso fue adquirir una antena marca NooElec.

Los sensores TPMS por default están en modo sleep para disminuir su consumo de batería, estos comienzan el envió de señales cuando detectan que el carro se encuentra en movimiento (por lo general cuando tiene una velocidad arriba de los 40 km/h). Para realizar el muestreo de datos se optó por llevar una

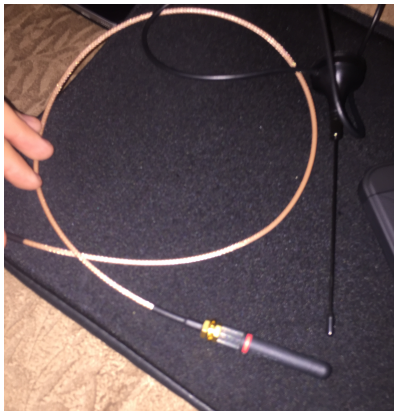
computadora dentro del vehículo para interceptar la señal de radiofrecuencia que se podían detectar a una frecuencia 433.92 MHz, por lo que por medio de software se aplico un filtro pasa banda con una frecuencia de corte baja de 315 MHz y una frecuencia de corte alta de 450 MHz. Algunos de los programas utilizados fueron Audacity, Inspectrum y Gnu-radio.

Figura 67. Antena NooElec para varias frecuencias.



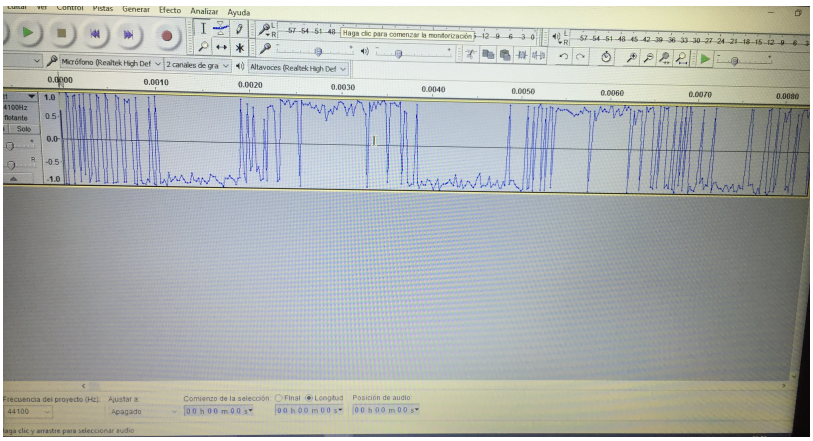
(Elaboración propia)

Figura 68. Antena para sintonizar frecuencias a 433 MHz.



(Elaboración propia)

Figura 69. Algunos de los patrones detectados con los TPMS Schrader.



(Elaboración propia)

La desventaja de este tipo de mediciones es que se cuenta con muchos dispositivos que envían datos por radiofrecuencia a frecuencias en este rango y a pesar del filtro pasan a ser parte de la señal capturada. Para poder decodificar los datos se requiere procesar la señal y poder determinar el tipo de códigos que envían los transmisores (sensores) y el receptor (monitor), por lo que actualmente se cambió este método por ingeniería inversa. El propósito es detectar las señales de comunicación desde el circuito integrado en el monitor.

a. TPMS SCHRADER. Una vez instalados en el vehículo estos sensores requieren de una calibración especial para ser detectados por el monitor. El primer paso es seleccionar la opción ID Lear en el menú, luego se debe seleccionar el neumático que se desea aprender en la posición que se encuentra, en ese momento el neumático seleccionado tiene que ser desinflado por lo menos 1 psi, al detectar el cambio de presión el monitor guarda el ID code del neumático. Se debe realizar la misma calibración para los cuatro neumáticos.

Cuadro 25. Especificaciones del sensor Schrader

Especificaciones Técnicas del Sensor	
Rango de temperaturas de operación	-40 a 100 ºC
Humedad tolerable	85 %
Duración de batería (estimada)	10 años (Bajo condiciones estándar)
Frecuencia a la que transmite	433.920 MHz (+/- 100 kHz)
Activación del transmisor	Cambio brusco de presión o que el vehículo se desplace a más de 40 km/h.

Cuadro 26. Especificaciones del receptor Schrader.

Especificaciones técnicas del Receptor	
Fuente de voltaje	3V DC
Consumo de corriente	200uA (standby), 3mA (nominal) y 40mA (alerta)
Rango de temperatura de operación	-40 a 85 ºC
Rango de temperatura monitoreada	-40 a 125 ºC
Rango de presión monitoreada	0 a 101.5 PSI

Figura 70. Instalación de sensores Schrader



(Elaboración propia)

b. TPMS CARCHET. A diferencia de los TPMS Schrader, cada sensor viene identificado con la posición a la cual está programado, y al conectarse en la llanta adecuada es reconocido por el monitor es su posición predeterminada. Los datos que despliega al conectarlos con el carro en reposo no tienen sentido, los datos de presión se estabilizan al tener el carro en marcha o cuando se condujo y no se ha apagado el vehículo guarda la configuración anterior.

Cuadro 27. Especificaciones técnicas del sensor Carchet.

Especificaciones Técnicas del Sensor	
Rango de temperaturas de operación	-40 a 80 ºC
Rango de presión	0 a 116 psi
Exactitud Presión	± 1.5 psi
Frecuencia a la que transmite	433.920 MHz (+/- 100 kHz)
Vida útil de la batería	Más de 2 años

Cuadro 28. Especificaciones técnicas del receptor Carchet.

Especificaciones técnicas del teceptor	
Fuente de voltaje	12 – 24 VDC
Rango de temperatura de operación	-30 a 85 ºC
Frecuencia	433.92 MHz

Figura 71. Lecturas sensor Carchet



(Elaboración propia)

Figura 72. Sensor conectado



(Elaboración propia)

Figura 73. Comparación de lectura del manómetro.



(Elaboración propia)

Para esta lectura se condujo el carro por 5 minutos y luego se estacionó para realizar la lectura correspondiente.

Figura 74. Placa display TPMS Carchet

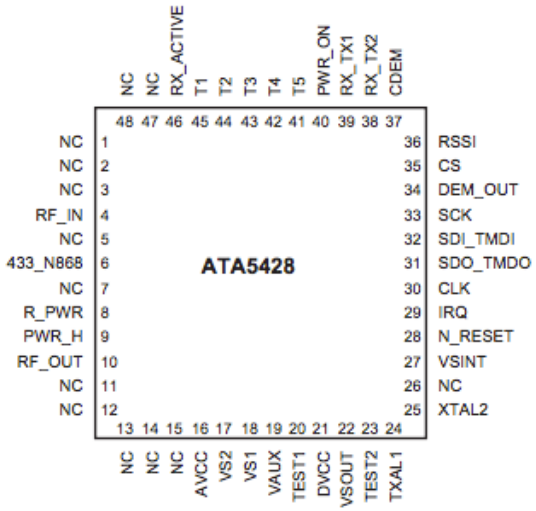


(Elaboración propia)

Desarmando el monitor de los sensores Carchet se pueden encontrar tres circuitos integrados, los cuales son:

- ATA5428C : UHF Transceiver
- HOLTEK HT1621B: RAM Mapping 32X4 LCD Controller for I/O MCU
- SINO WEALTH SH79F166AF: Enhanced 8051 Microcontroller with 10bit ADC

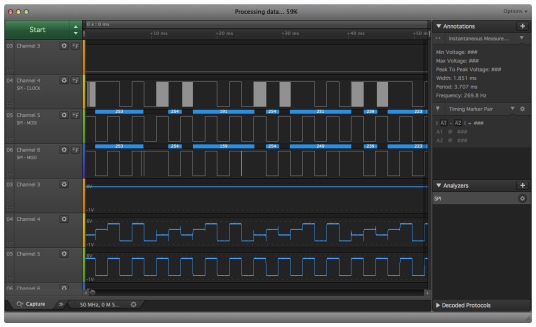
Figura 75. ATA5428



(ATMEL, 2014)

Al conectar los pines RF_IN y RF_OUT, no se obtuvo ningún tipo de señal, mientras que en el módulo de comunicación SPI si existen cuatro señales importantes dos de las cuales podrían contener la información de los sensores.

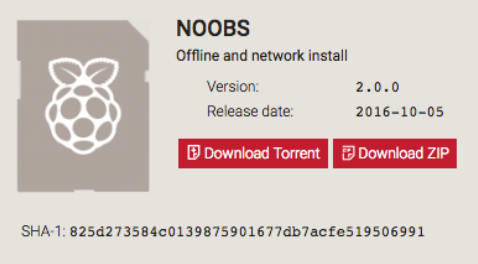
Figura 76. Lectura de datos con Salae Logic



(Elaboración propia)

9. Comunicación Arduino Raspberry Pi 3. Para la comunicación Arduino-Raspberry se está utilizando el puerto USB, sin embargo, se han presentado algunos problemas en cuanto a sincronización de datos por lo que se está evaluando cambiar el puerto USB por los pines RX/TX en la Raspberry Pi. Para la lectura de datos del puerto e interfaz gráfica se tenía planeado utilizar Java y las librerías RX/TX. Para la configuración de las Raspberry se instaló el sistema operativo NOOBS, el cual contiene la Plataforma Java SE disponible.

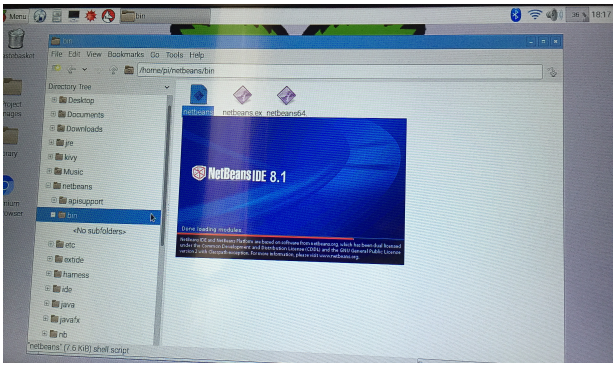
Figura 77. NOOBS



(Raspberry Org. , 2016)

Luego se instaló la plataforma Netbeans para plataformas ARM.

Figura 78. NETBEANS para plataformas.



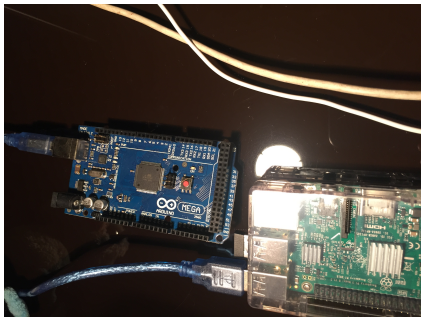
(Elaboración propia)

Figura 79. RXTX desde la terminal.

```
su - root
apt-get install librxtx-java
```

Finalmente, desde la terminal se instaló la librería, una vez instalada se debe cambiar la ruta de los archivos RXTXcomm.jar y librxtxSerial.so. Los resultados no fueron los esperados debido a que el archivo .so no funciona adecuadamente en la Raspberry Pi 3, por lo que se optó por utilizar Python. La librería utilizada para comunicación serial en Python es PySerial la cual ya vienen instalada por default. Además de ésta se instalaron las librerías Numpy, Scipy y Matplotlib.

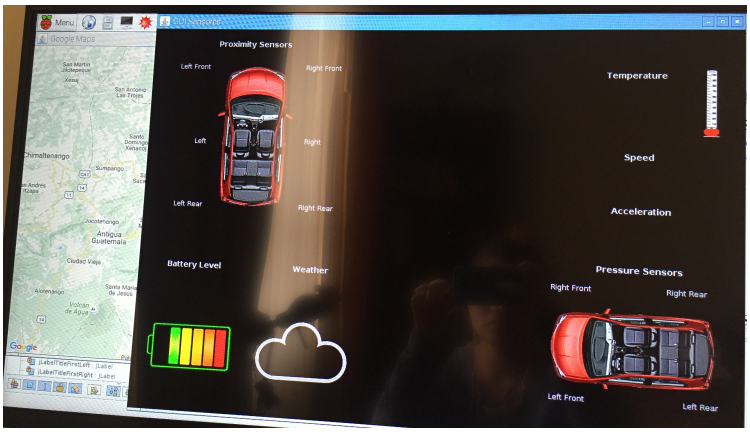
Figura 80. Comunicación Arduino-Raspberry Pi 3



(Elaboración propia)

10. Interfaz gráfica. Para la interfaz gráfica se utilizó Python al principio se había desarrollado una interfaz en Java Netbeans, sin embargo por los problemas de comunicación se cambio a Python.

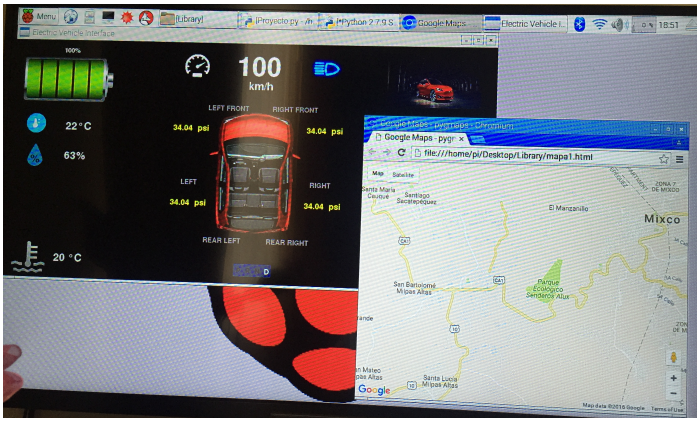
Figura 81. Interfaz en Java



(Elaboración propia)

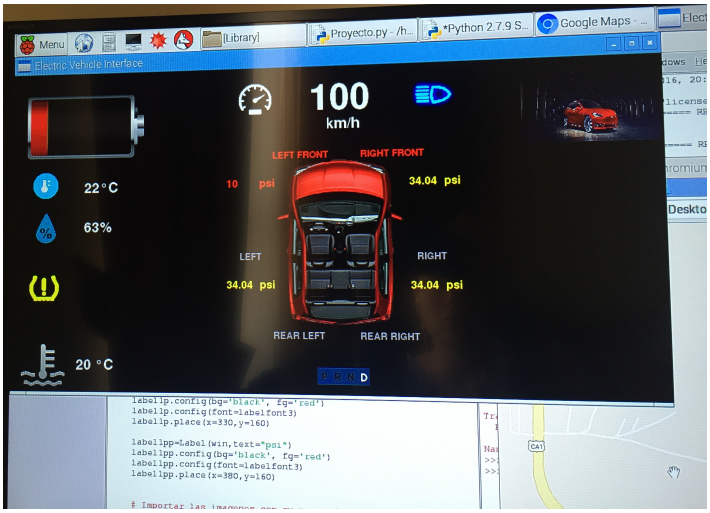
En la interfaz en Python se utilizó la librería Tkinter, la cual ya viene instalada por default. En la interfaz se muestran los datos más importantes. Por otra parte a partir de las coordenadas de latitud, longitud y altitud proporcionadas por el GPS, se pudo generar un mapa en tiempo real utilizando las funciones básicas de Google Maps por lo que el usuario puede acercar o alejar el mapa. Cuando la batería se descarga la imagen de carga cambia, si la presión de las llantas es menor al límite inferior o mayor al límite superior se muestran imágenes de alerta. El color de las etiquetas cambia al tener un obstáculo detectado por alguno de los sensores de proximidad. El valor que todavía no se muestra es el de aceleración.

Figura 82. Interfaz en Python



(Elaboración propia)

Figura 83. Algunas funcionalidades.



(Elaboración propia)

VII. DISCUSIÓN

Se seleccionaron sensores de un costo aceptable para medir ocho variables en un vehículo eléctrico, las cuales fueron velocidad, aceleración, nivel de batería, GPS, presión en las llantas, temperatura del motor, temperatura del ambiente y proximidad de obstáculos. El primer paso para verificar si los sensores se encuentran en buen estado es medir la resistencia entre el cable de tierra y el de la señal de salida, y verificar dicho valor con los datos técnicos de fabricante, en el caso de los sensores Dorman es un valor de 1.8 kΩ y en el caso del sensor del Toyota es una resistencia de 1.5 MΩ. Una vez verificado este parámetro un sensor en buen estado debe genera una señal sinusoidal (AC) con una amplitud entre los 50 a 700 mV, como resultado para ver las variaciones al incrementar la velocidad de giro se debe aumentar la frecuencia de la señal. Una de las consideraciones a tomar en cuenta es que se debe dejar un "air gap" entre la Trigger Wheel y el sensor para obtener la señal deseada. Entre los otros aspectos que se pueden observar utilizando un osciloscopio, es que si la amplitud de una o varias ondas sinusoidales varía en amplitud con respecto al resto significa que la trigger Wheel tiene uno varios dientes dañados. Para poder detectar esta señal utilizando un microcontrolador se debe hacer una etapa de filtrado y una amplificación de la señal.

Conociendo cómo funcionaban estos sensores se eligió un sensor de efecto Hall digital puesto a que ya genera una onda cuadrada en el orden de 0-5 V, señal que puede ser fácilmente detectada por los pines del Arduino. Para poder tener un control del punto a partir del cual se inicia una revolución se debe colocar un imán, de preferencia si este es de neodimio para tener una mejor detección de la señal. Para corroborar si las mediciones eran correctas antes de ser instalados en un vehículo se efectúo la medición de los rpm de un barreno puesto a que se contaba con los valores de rpm en la ficha técnica del mismo. Una vez obtenido los resultados indicados se procedió a probar estos sensores en un vehículo. Si bien el vehículo es de combustión interna y no eléctrico tienen el mismo principio de funcionamiento, en ambos tipos de automóviles estos sensores se instalan en la parte posterior del disco y tiene la misma funcionalidad, comparar las lecturas con el VSS y llevar un control del sistema ABS. Las mediciones efectuadas con el Arduino son iguales a las reportadas por el tacómetro del carro en el cual fueron instalados los sensores. No se deben comparar las revoluciones por minuto obtenidas en la rueda con las revoluciones por minuto reportadas en el tablero puesto a que estas hacer referencia a las rpm del motor, para encontrar ese valor de rpm se debe conocer la relación de engranes en el motor del vehículo en el que se realicen las pruebas. Se midió el radio del disco sobre el cual fue instalado el imán y a partir de ello es posible calcular la velocidad tangencial.

En el caso de la aceleración se optó por utilizar un acelerómetro de 6 ejes de esta forma se puede obtener la aceleración en los ejes “X”, “Y” y “Z” y obtener una resultante. Los valores obtenidos debe ser escalados por un factor dependiendo del nivel de sensibilidad elegido para el sensor en el caso de esta aplicación se eligió ±2g. Las aceleraciones obtenida se encuentran en un rango aceptable, puesto a que la aceleración entre 0 – 100 km/h del carro utilizado es de 3.12 $^{m}/_{s^2}$, los valores reportados en el tráfico son por lo general menores a la mitad, sin embargo se quiere mejorar la instalación de este sensor para poder reportar mejores resultados.

Para medir la temperatura del ambiente se han realizado mediciones a distintas horas del día y se comparan con termómetros y la temperatura detectada por el carro desplegada en el tablero correspondiente. Solo se despliegan las primeras dos cifras significativas del dato obtenido puesto a que las cifras decimales son inciertas y no son necesarias para este tipo de aplicación.

Para medir la temperatura del motor se eligió un termostato que sea capaz de medir temperaturas arriba de los 80ºC, por lo tanto, se debe instalar sobre un material que no interfiera con las lecturas y que sea resistente a altas temperaturas. Las lecturas se han comparado con otros termómetros y utilizando el equipo PASCO. Se utilizó la ecuación de Steinhart-Hart para obtener mejores resultados entre la relación temperatura y resistencia.

Por otra parte, para las mediciones del nivel de batería se efectuaron utilizando una batería convencional, los vehículos eléctricos utilizan paquetes de baterías ion-litio pero el principio para le medición de voltaje sigue siendo el mismo, se deben de tomar en cuenta las fluctuaciones de voltaje presentadas al estar la batería completamente cargada y ser conectada al Arduino. Si se diseñara un sistema más robusto se debería tener un control sobre cada una de las baterías que forman parte de un paquete.

Los sensores de proximidad fueron programados para distintas distancias puesto a que a la hora de conducir es más importante monitorear la distancia entre los obstáculos frontales y los traseros que los laterales, si la distancia fuese mayor en los sensores laterales el sensor no dejaría de emitir alarmas al conducir en nuestras rutas diarias puesto a que identificaría a los carros del carril de a la par. Para verificar las mediciones se utilizó un metro para comparar si los sensores identificaban los obstáculos colocadas a las distancias establecidas por software. En el caso de los sensores de proximidad frontales se eligió una distancia de un metro, mientras que en las laterales se eligió una distancia de 50 centímetros.

En cuanto a los TPMS se buscó obtener el valor de la presión de los neumáticos interceptando la recepción de datos desde el monitor, de esta forma se puede alertar al usuario que neumático requiere de una revisión inmediata.

Finalmente, para el sistema de posicionamiento global se obtuvieron las coordenadas más importantes latitud, longitud y altitud. A partir de estas coordenadas por medio de la librería Gmplot se enlaza con Google Maps para obtener una imagen más clara del lugar en el que se encuentra el vehículo. Al ser posible la obtención de datos a partir del Arduino y a su vez la comunicación con la Raspberry Pi se puso crear una interfaz gráfica capaz de desplegar los datos adquiridos de una forma más amena y que se preste a una interpretación más sencilla.

VIII. CONCLUSIONES

- Se implementaron sensores de Efecto Hall digitales para medir la velocidad tangencial del vehículo, las mediciones realizadas fueron exitosas puesto a que concuerdan con las lecturas del tacómetro del vehículo, utilizando la misma resolución que muestra el tacómetro el porcentaje de error es de 0%.
- Se seleccionó un MPU-6050 para poder llevar a cabo las mediciones de aceleración realizando distintos recorridos.
- Se logró realizar mediciones del nivel de batería acoplando un divisor de voltaje que permite acoplar la señal en un valor de 0-5V en base al voltaje actual de la batería.
- Se logró implementar un termistor para realizar las mediciones de temperatura del motor.
- Se implementó el sensor BME280 para realizar las mediciones de temperatura del ambiente de las cuales se obtuvo un porcentaje de error del 0 % después de transcurrir 5 mediciones.
- Se utilizaron sensores ultrasónicos HSR-04 como sensores de proximidad por su bajo costo y por el rango de distancias a las cuales detectan un objeto. (Ver Cuadro15.)
- Se lograron obtener las coordenadas de posicionamiento global utilizando un módulo SIM808 debido a su gran alcance para este tipo de aplicación.
- Se comparó el funcionamiento entre los sensores marca Schrader y marca Carchet, se seleccionaron los marca Schrader debido a que sus lecturas coinciden con las efectuadas en un manómetro.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar un proyecto en el cual en vez de crear un kit de sensores se trabajen cada uno de los módulos de control de un vehículo, de esta forma no solo se obtendrán mediciones de sensores sino se puede monitorear con mayor certeza el desempeño del vehículo y como una falla en un subsistema afecta a otro. El sistema de control principal sería el encargado de llevar un control de toda la información proveniente de cada subsistema.

Se recomienda contar con un vehículo eléctrico en el cual se puede llevar a cabo la instalación de dichos sensores para que se puede invertir en los sensores correspondientes.

X. BIBLIOGRAFÍA

Adam Fabio. *Tesla Model S Battery Teardown.* http://hackaday.com/2014/09/13/tesla-model-s-battery-teardown/ [01 de agosto de 2016]

Arduino. *Arduino Basics*. 15/06/16, de Arduino Sitio web: https://www.arduino.cc/ [16 de julio de 2016]

ATMEL. *ATA5428*. http://www.atmel.com/Images/Atmel-4841-Transceiver-ICs-ATA5428_Datasheet.pdf [18 de julio de 2016]

Austin, Tom. *Tire Pressure Monitoring.* http://www.ironbutt.com/ibmagazine/IBMag4-p76-83.pdf [20 de julio de 2016]

Bob Tabor.*C# Fundamentals for Absolute Beginners*.16/05/16, de Microsoft Sitio web: https://mva.microsoft.com/en-us/training-courses/c-fundamentals-for-absolute-beginners16169?l=Lvld4EQIC_2706218949 [22 de julio de 2016]

Bridgestone. (2016). What is TPMS and how does it work?.13/06/16, de Bridgestone Americas Sitio web: http://www.bridgestonetire.com/tread-and-trend/drivers-ed/tire-pressure-monitoring-system-how-tpms-works [10 de agosto de 2016]

Cadie Thompson. (2016). Cars similar to Tesla.15/06/16, de TECH insider Sitio web: http://www.techinsider.io/cars-similar-to-tesla-model-s-photos-2016-6 [17 de septiembre de 2016]

Carl Pickering. (2013). Human interaction with electric vehicles.14/06/16, de SpringerLink Sitio web: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-77980-3_11#page-2 [01 de octubre de 2016]

Coleman Benson. (2012). Accelerometers, Gyros, IMUs. 15/06/16, de RobotShop Sitio web: http://www.robotshop.com/blog/en/arduino-5-minute-tutorials-lesson-7-accelerometers-gyros-imus-3634 [24 de julio de 2016]

Eben Upton. (2016). Raspberry Pi 3. 13/06/16, de Raspberry Pi Sitio web: https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-on-sale/ [12 de agosto de 2016]

Electrow. *SIM808*. http://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=SIM808_GPRS/GSM%2BGPS_Shield_v1.1 [10 de septiembre de 2016]

Endesa. *Tipos de Vehículos Eléctricos.* http://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/el-vehiculo/tipos [20 de agosto de 2016]

Frances. *Tracker GPS con Raspberry Pi.* 13/06/16, de Fpaez Sitio web: http://fpaez.com/tracker-gps-con-raspberry-pi/ [09 de septiembre de 2016]

Gilles, Tim. *Automotive Service*https://books.google.com.gt/books?id=Ji5BAAAQBAJ&pg=PA530&lpg=PA530&dq=digital+vehicle+speed+sensor+vs+analog+vehicle+speed+sensor&source=bl&ots=XV8XzuEzND&sig=_kSvsSHKqtShpSy2wxmicrE97WU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjk6PiXzMXPAhXFKiYKHbbiDlAQ6AEIaTAN#v=onepage&q=digital%20vehicle%20speed%20sensor%20vs%20analog%20vehicle%20speed%20sensor&f=false
[25 de septiembre de 2016]

HOLTEK. *HT1621*.http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/96976/HOLTEK/HT1621B.html
[15 de septiembre]

Honeywell. (2015). MICRO SWITCH Sensing and Control 1.http://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf
[07 de septiembre de 2016]

Hyperphysics. *Ley de los Gases Ideales* .http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kinetic/idegas.html
[02 de octubre de 2016]

Infineon. (2016). *Hybrid Electric and Electric Cars*. 14/06/16, de Infineon Sitio web: http://www.infineon.com/dgdl/Hybrid+Electric+and+Electric+Cars_BR_2014_Web.pdf?fileId=db3a30432ba3fa6f012ba4a6027b0002

John Voelcker. (2013). *Electric Vehicles Need More Study, Less Emotion*. 14/06/16, de IEEE Spectrum Sitio web: http://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/electric-vehicles-need-more-study-less-emotion

Li Jiling,.*Battery Thermal Management Systems of Electric Vehicles*http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/200046/200046.pdf
Mercedes Benz. *Mercedes AWG.* https://www.mercedes-amg.com/home.php?lang=eng

New Energy and Fuel. *The Best Electric Vehicle Motor*.http://newenergyandfuel.com/http:/newenergyandfuel/com/2010/02/09/the-best-electric-vehicle-motor/
[07 de agosto de 2016]

NXP. (2014). *Intelligent Battery Sensor with CAN and LIN*. 15/06/16, de NXP Sitio web: http://www.mouser.com/ds/2/302/MM9Z1_638D1-782427.pdf [08 de septiembre de 2016]

PEUGEOT. *Especificaciones Técnicas modelo 307 año 2007*
http://www.avantpeugeot.com.ar/peugeot-307-ficha-tecnica.html [28 de julio de 2016]

SAE International. *Vehicle Thermal Management.*
https://books.google.com.gt/books?id=V9lyAgAAQBAJ&pg=PA352&lpg=PA352&dq=temperature+for+an+EV+engine&source=bl&ots=_MeIMsCb74&sig=vAs4c5Q0MowFiWzc2hogPCsqmoA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj25cyw5L3PAhVF1x4KHfeZAk8Q6AEIGjAA#v=onepage&q=temperature%20for%20an%20EV%20engine&f=false [09 de agosto de 2016]

SinoWealth. *SH79F166*.
http://www.sinowealth.com/en/softdown_body.asp?type_id=1&cat_id=7&type_name=Data%20sheet
[12 de septiembre de 2016]

SKF. *Sensor Units for Hybrid and Electric Vehicles*. http://www.skf.com/in/products/bearings-units-housings/engineered-products/sensor-bearing-units/other-sensor-bearing-units/sensor-units-for-motor-control-of-hybrid-and-electric-vehicles/index.html [20 de agosto de 2016]

Texas Instruments. *Hybrid and Electric Vehicle Solutions Guide*. http://www.ti.com/lit/ml/szza058c/szza058c.pdf [17 de agosto de 2016]

The Boston Consulting Group Inc *Batteries for Electric Cars; Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020*; www.bcg.com/documents/file36615.pdf .[14 de agosto de 2016]

Tkinter. *Tkinter Programming.* https://wiki.python.org/moin/TkInter [08 de agosto de 2016]

U.S. Department of Energy.*Alternative Fuels*. http://www.afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html
Underhood Services. *Wheel Speed Sensor Diagnostics*.http://www.underhoodservice.com/wheel-speed-sensor-diagnostics-for-meters-and-scopes/ [12 de agosto de 2016]

Union of Concerned Scientists.*Electric Vehicles.* http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles#.V-UVpJPhCRt [10 de agosto de 2016]

VirtualBox .*Acelerómetro*http://hetpro-store.com/TUTORIALES/acelerometro-mpu-6050-6dof/ [27 de julio de 2016]

XI. ANEXOS

Todos los archivos de programación utilizados en la realización del proyecto se encuentran en el siguiente link:

- https://github.com/SaraLA94/EV/tree/master

KIT BÁSICO DE SENSORES PARA MONITOREAR VARIABLES DE INTERÉS EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



KIT BÁSICO DE SENSORES PARA MONITOREAR VARIABLES DE INTERÉS EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Sara Estefany López Ayala
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2016

Vo. Bo. :

(f) _____

Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

Tribunal Examinador:

(f) _____

Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

(f) _____

MsC. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f) _____

MsC. Miguel Enrique Zea Arenales

Fecha de Aprobación: Guatemala, 05 de diciembre de 2016

PREFACIO

El siguiente trabajo de graduación está inspirado en mi participación como piloto en la Shell Eco-Marathon llevada a cabo el presente año en Detroit, Estados Unidos. Una de las principales razones por la cual elegí este tema fue porque como piloto tuve muchas limitaciones al no poder informar al resto del equipo del desempeño del vehículo debido a que no contaba con la información necesaria al momento de manejar. El objetivo principal de esta tesis es inspirar a otros estudiantes de grados inferiores a desarrollar un vehículo eléctrico.

Quiero agradecer a Dios por dejarme cumplir mi sueño de convertirme en Ingeniera Mecatrónica, a mi familia por su apoyo incondicional y el financiamiento de todos los recursos utilizados en mi proyecto, a mi asesor el Ing. Pablo Mazariegos por su ayuda y consejos, al equipo UVG SEM 2016 por dejarme formar parte de tan increíble experiencia y a todas las personas que de alguna forma u otra siempre me brindaron su apoyo.

ÍNDICE

PREFACIO v
ÍNDICE vi
LISTA DE CUADROS viii
LISTA DE FIGURAS ix
RESUMEN xi
I. INTRODUCCIÓN 1
II. OBJETIVOS 2
A. GENERALES 2
B. ESPECÍFICOS 2
III. JUSTIFICACIÓN 3
IV. MARCO TEÓRICO 4
A. GENERALIDADES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO 4
1. Clasificación general 4
a. Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV). 4
a. Vehículos Híbridos Eléctricos Enchufables (PHEV). 5
b. Vehículos 100% Eléctricos (BEV). 5
c. Vehículos de Celdas de Combustible (FCEV). 6
d. Funcionamiento básico de un vehículo 100% eléctrico. 6
B. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA UTILIZADA EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO 11
1. Vehicle Speed Sensor (VSS). 11
a. VSS de Efecto Hall Analógico. 12
b. VSS de Efecto Hall Digital. 12
2. Acelerómetro. 13
3. Battery Sensor. 14
b. Sistemas de control para las baterías. 15
4. Tire – Pressure Monitoring System (TPMS). 16
5. Sensores de proximidad. 17
6. Sensor de temperatura del motor. 18
7. Global Positional System (GPS). 19
a. Adquisición de la posición del vehículo. 20
b. Transmisión de datos al servidor. 20
c. Almacenamiento en la web. 20
d. Acceso al sistema del vehículo. 20
V. METODOLOGÍA 21
VI. RESULTADOS 23
A. VARIABLES DE INTERÉS 23
1. Velocidad del vehículo. 23
2. Temperatura Ambiente. 30
3. Temperatura del motor. 33
4. Sensores de proximidad. 37
5. Nivel de batería. 41
6. GPS. 44

7. Acelerómetro 45
8. TPMS 48
a. TPMS SCHRADER. 51
b. TPMS CARCHET 52
9. Comunicación Arduino Raspberry Pi 3. 56
10. Interfaz gráfica. 57
VII. DISCUSIÓN 58
VIII. CONCLUSIONES 60
IX. RECOMENDACIONES 61
X. BIBLIOGRAFÍA 62
XI. ANEXOS 65

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Metodología empleada 21
Cuadro 2. Variables seleccionadas 23
Cuadro 3. Características básicas del sensor de efecto Hall 26
Cuadro 4. Precio sensores de efecto Hall 27
Cuadro 5. Precio imanes de Neodimio 27
Cuadro 6. Datos obtenidos para una medición 29
Cuadro 7. Precio del sensor de temperatura ambiental 30
Cuadro 8. Características del sensor de temperatura 31
Cuadro 9. Conexión con Arduino Mega 31
Cuadro 10. Recorrido San Lucas 32
Cuadro 11.Características del termistor 33
Cuadro 12. Precio del termistor 33
Cuadro 13. Coeficiente de Steinhart-Hart 34
Cuadro 14. Pines de conexión para el termostato con Arduino Mega 34
Cuadro 15. Precio sensores ultrasónicos 38
Cuadro 16. Características HC-SR04 38
Cuadro 17. Distribución de pines para sensores de proximidad 39
Cuadro 18. Nivel de batería 42
Cuadro 19. Precio módulo SIM808 44
Cuadro 20. Precio tarjeta SIM 44
Cuadro 21. Comandos AT para establecer comunicación. 45
Cuadro 22. Precio acelerómetro 46
Cuadro 23. Precio TPMS instalados fuera de las llantas. 49
Cuadro 24. Precio TPMS instalados dentro de las llantas. 49
Cuadro 25. Especificaciones del sensor Schrader 51
Cuadro 26. Especificaciones del receptor Schrader. 52
Cuadro 27. Especificaciones técnicas del sensor Carchet. 52
Cuadro 28. Especificaciones técnicas del receptor Carchet 53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de vehículo híbrido 4
Figura 2. Diagrama de vehículo enchufable 5
Figura 3. Diagrama de vehículo eléctrico 6
Figura 4. Diagrama de vehículo de celda de combustible 6
Figura 5. TESLA SP90D 7
Figura 6. Diagrama básico de un Tesla modelo S 7
Figura 7. Motor de inducción AC 8
Figura 8. Fases en motor de inducción 8
Figura 9. Motor utilizado en modelos SP90D 8
Figura 10. Configuración Dual Motor 9
Figura 11. Paquete de baterías 9
Figura 12. Baterías ion-litio 10
Figura 13. Eje trasero modelo Tesla SP90D 10
Figura 14. Paquete de baterías 11
Figura 15. Wheel ABS Speed Sensor 12
Figura 16. VSS analógico 12
Figura 17. VSS digital 13
Figura 18. Vehicle dynamics accelerometer 14
Figura 19. Batería Ion-Litio 14
Figura 20. BMS 15
Figura 21. Relación temperatura - presión 16
Figura 22. Relación altitud - presión 17
Figura 23. Sensores de proximidad 17
Figura 24. Motor de anillos rozantes. 18
Figura 25. Termistor marca Siemens temperatura máxima 190 ºC. 19
Figura 26. GPS 19
Figura 27. Diagrama de distribución básico 22
Figura 28. Diagrama básico conexiones 22
Figura 29. Wheel ABS Speed Sensor 24
Figura 30. Wheel Speed Sensor Toyota Yaris Modelo 2007 24
Figura 31. Señal sinusoidal (Wheel ABS Speed Sensor) con amplitud pico a pico de 50 mV y una frecuencia de 1.2 kHz. 25
Figura 32. Sensor Dorman 970-012 25
Figura 33. Señal del sensor Dorman 26
Figura 34. Saint-Smart Hall Effect Sensor 26
Figura 35. Imanes de Neodimio 27
Figura 36. Desmontaje de la llanta 28
Figura 37. Instalación del sensor de efecto Hall 28
Figura 38. Instalación del sensor de efecto Hall 29
Figura 39. Medición del radio del disco utilizado. 29
Figura 40. Lectura del tacómetro del carro 30
Figura 41. BME280 30
Figura 42. Temperatura marcada por el Peugeot 307 31
Figura 43. Sensor BMP280 32
Figura 44. Cambios de temperatura en el recorrido 33

Figura 45. Termistor 33
Figura 47. Relación de temperatura-resistencia para termistor 35
Figura 48. Configuración de la interfaz PASCO 36
Figura 50. Gráfica de temperatura obtenida con el sistema PASCO 37
Figura 51. Gráfica obtenida en MATLAB con el termistor 37
Figura 52. Sensor ultrasónica HC-SR04 38
Figura 53. Sensor ultrasónico lateral 40
Figura 54. Obstáculo a distancia menor a 50 cms. 40
Figura 55. Distancia de un metro para sensores frontales y traseros. 41
Figura 56. Obstáculo a distancia menor a un metro. 41
Figura 57. Divisor de voltaje para medir nivel de batería 42
Figura 58. Batería utilizada 42
Figura 59. Medición de nivel de batería 43
Figura 60. Módulo SIM808 44
Figura 61. Micro SIM Claro 44
Figura 62. Datos obtenidos con el módulo y Arduino 46
Figura 63. MPU6050 46
Figura 64. Acelerómetro instalado en la cabina de un Peugeot 307 47
Figura 65. Recorrido en tráfico San Lucas Sacatepéquez 48
Figura 66. Recorrido en tráfico Calzada Roosevelt (MATLAB) Aceleración en el eje X (rojo) y la aceleración en el eje Y (azul). 48
Figura 67. Antena NooElec para varias frecuencias. 50
Figura 68. Antena para sintonizar frecuencias a 433 MHz. 50
Figura 70. Instalación de sensores Schrader 52
Figura 71. Lecturas sensor Carchet 53
Figura 72. Sensor conectado 53
Figura 73. Comparación de lectura del manómetro. 54
Figura 74. Placa display TPMS Carchet 54
Figura 75. ATA5428 55
Figura 76. Lectura de datos con Salae Logic 55
Figura 77. NOOBS 56
Figura 78. NETBEANS para plataformas. 56
Figura 79. RXTX desde la terminal. 56
Figura 80. Comunicación Arduino-Raspberry Pi 3 57
Figura 81. Interfaz en Java 57
Figura 82. Interfaz en Python 58
Figura 83. Algunas funcionalidades. 58

RESUMEN

Los distintos sensores utilizados para monitorear el funcionamiento de un vehículo son esenciales para conocer su desempeño, mejoras que se le pueden realizar a un modelo posterior entre otros aspectos. Existen una extensa cantidad de variables que se deben monitorear en un vehículo eléctrico de las cuales se seleccionaron velocidad, aceleración, detección de obstáculos a cortas distancias, nivel de batería, temperatura del motor, temperatura del ambiente, presión de las llantas y GPS. El kit de sensores utilizados en este trabajo es básico por su costo y porque no se cuenta con un vehículo eléctrico en el cual se pueda realizar su instalación, sin embargo, ejemplifican el funcionamiento de los sensores que se utilizan en un vehículo real ya que funcionan bajo los mismos principios y pueden ser instalados para obtener resultados verídicos.

Se llegó a la conclusión que sí es posible realizar mediciones con sensores más sencillos; sin embargo para poder diseñar un kit de sensores para un vehículo eléctrico más complejo se debe dividir por módulos, de esta forma se pueden interrelacionar las variables diseñando subsistemas de control eficientes que se puedan interconectar a un sistema de control principal que no solo permita la lectura de datos sino permita a través de esos datos tomar decisiones para mejorar el desempeño del vehículo.

I. INTRODUCCIÓN

Un vehículo eléctrico es aquel que funciona parcialmente o totalmente utilizando electricidad. Como todo vehículo para conocer su desempeño se debe conocer su comportamiento a través de la instrumentación electrónica instalada en el mismo. Dependiendo del tipo de vehículo y los parámetros establecidos de fábrica los sensores pueden variar en dimensiones, costo e instalación pero a la larga miden las mismas variables de interés. Por esta razón se tomó la decisión de crear un kit de sensores básicos para poder realizar el monitoreo de las siguientes variables: velocidad, aceleración, nivel de batería, presión de llantas, temperatura del motor, temperatura del ambiente, obstáculos a una corta distancia, Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), todas estas utilizando un microncontrolador Arduino Mega2560.

Para llevar a cabo la elección de sensores se investigó acerca del funcionamiento básico de cada uno de ellos y se evaluó si era viable adquirir los sensores originales o si se podían simular utilizando sensores más sencillos. Debido a que los sensores varían en tamaño dependiendo del carro en el cual son instalados y a su vez en costo, algunos de los sensores que fueron elegidos para formar parte de este kit sirven solo para ejemplificar el funcionamiento de los mismos, ya que debido a la metodología utilizada pueden ser instalados en cualquier vehículo. Para verificar las lecturas de cada uno de los sensores se compararon con otros instrumentos de medición y a su vez con la información desplegada en el tablero de un vehículo.

En conclusión, fue posible armar un kit de sensores básicos de bajo costo que pueden ser instalados en un vehículo eléctrico y permiten obtener lecturas correctas de las variables de interés propuestas.

II. OBJETIVOS

A. GENERALES

I. Desarrollar un kit de instrumentación electrónica que permita monitorear variables de interés en un vehículo eléctrico.

B. ESPECÍFICOS

II. Instalar sensores de efecto Hall para realizar la medición de la velocidad del vehículo eléctrico.

III. Utilizar un acelerómetro de 6 ejes para obtener el valor de la aceleración del vehículo eléctrico.

IV. Diseñar un circuito para obtener un registro del nivel de la batería del vehículo eléctrico.

V. Desarrollar un sistema conformado por sensores TPMS que permitan la medición de la presión en las llantas del vehículo.

VI. Instalar sensores de proximidad para alertar al conductor de obstáculos y/o vehículos aledaños.

VII. Incorporar un sensor de temperatura para monitorear la temperatura del ambiente.

VIII. Añadir un sensor de temperatura para obtener lecturas de la temperatura del motor.

IX. Implementar un sistema GPS para monitorear la posición del vehículo.

X. Obtener la información de los sensores a través de un microcontrolador Arduino.

XI. Crear una interfaz gráfica que permita el despliegue de la información e interacción con el usuario utilizando una Raspberry Pi.

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, se busca tomar medidas para cuidar del medio ambiente y preservar nuestros recursos. Una opción es buscar alternativas que contaminen menos. En el caso de los medios de transporte, el desarrollo de vehículos eléctricos está teniendo un gran impacto. Estos vehículos son más eficientes que un vehículo con motor de combustión interna y a su vez contaminan menos. Para poder contribuir a diseñar mejoras que puedan ser implementadas en vehículos eléctricos, el primer paso es instalar toda la instrumentación electrónica necesaria para monitorear las diversas variables del sistema que lo conforma. Al obtener los valores por medio de sensores instalados se puede evaluar el desempeño del vehículo y a su vez realizar un análisis de las posibles mejoras que se pueden implementar en él. Este trabajo de graduación tiene como propósito desarrollar un kit de sensores que van a permitir el manejo de la información más relevante del vehículo, la principal razón por la que se desarrollará en modalidad de kit es que pueda ser instalado en cualquier vehículo eléctrico que se desee estudiar.

Al igual que en un vehículo de combustión interna, las variables como velocidad, aceleración y temperatura del motor son de suma importancia para conocer el funcionamiento del vehículo eléctrico. Los sensores como GPS y de proximidad son de asistencia, pues permiten tanto al usuario como al vehículo conocer su ubicación y lo que existe a su alrededor. Debido a que un vehículo completamente eléctrico no utiliza combustible, el nivel de batería y la temperatura del ambiente son variables críticas, puesto a que las baterías de ion-litio tienden a ser menos eficientes bajo cambios de temperatura muy bruscos y el nivel de batería es el análogo a un tanque de combustible.

IV. MARCO TEÓRICO

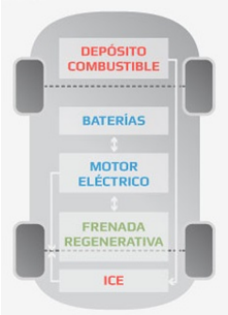
A. GENERALIDADES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Un vehículo eléctrico **(EV)** es aquel que funciona totalmente o parcialmente utilizando electricidad. Estos vehículos utilizan un motor eléctrico alimentado por baterías o celdas de combustible. Existen varios tipos de vehículos eléctricos entre los que se encuentran las siguientes clasificaciones: vehículos híbridos eléctricos **(HEV)** , vehículos híbridos enchufables **(PHEV)** , vehículos 100% eléctricos **(BEV)** y vehículos de celdas de combustible **(FCVE)**.

1. Clasificación general

a. Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV). Un **HEV (Hybrid Electric Vehicle)** utiliza un motor de combustión interna, un motor eléctrico y baterías. En otras palabras, este vehículo puede ser utilizado tanto como un carro convencional, es decir utilizando combustible como gasolina o diesel, o únicamente electricidad. Cuando el carro se queda sin electricidad cambia su modo de operación al de un carro convencional.

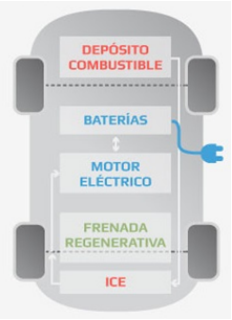
Figura 1. Diagrama de vehículo híbrido



(Endesa, 2008)

b. Vehículos Híbridos Eléctricos Enchufables (PHEV). Un **PHEV (Plug-in Electric Vehicle)** utiliza un motor de combustión interna , un motor eléctrico y una gran batería recargable. A diferencia de los vehículos híbridos eléctricos, los vehículos híbridos eléctricos enchufables pueden ser utilizados únicamente utilizando la batería para recorrer distancias cortas, estas pueden ser recargadas en las diferentes estaciones a partir de la red eléctrica de la región.

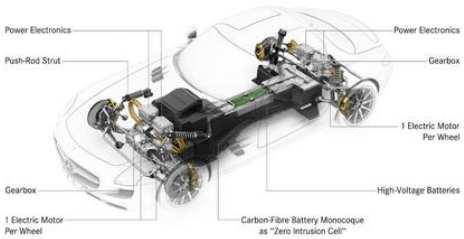
Figura 2. Diagrama de vehículo enchufable



(Endesa, 2008)

c. Vehículos 100% Eléctricos (BEV). Un **BEV (Battery Electric Vehicle)** utiliza la energía almacenada en las baterías para encender un motor eléctrico que hace girar las llantas. Estos vehículos pueden ser recargados a través de estaciones de carga o tomacorrientes convencionales. A diferencia de los híbridos, no cuentan con un motor de combustión interna por lo que su funcionamiento depende únicamente de la energía eléctrica suministrada y la capacidad de almacenamiento de las baterías.

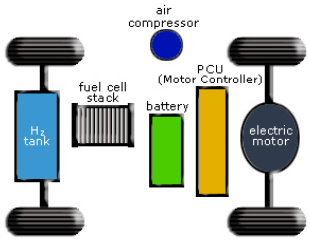
Figura 3. Diagrama de vehículo eléctrico



(Mercedes Benz, 2015)

d. Vehículos de Celdas de Combustible (FCEV). Un **FCVE (Fuel Cell Electric Vehicle)** utilizan hidrógeno y oxígeno para producir electricidad y poder encender el motor eléctrico. Si bien el vehículo funciona al 100% utilizando únicamente electricidad, para generarla se deben hacer recargas de hidrógeno lo cual es un inconveniente puesto que se debe de vivir en una zona en la cual este tipo de estaciones de hidrógeno se encuentren disponibles.

Figura 4. Diagrama de vehículo de celda de combustible



(U.S. Department of Energy, 2016)

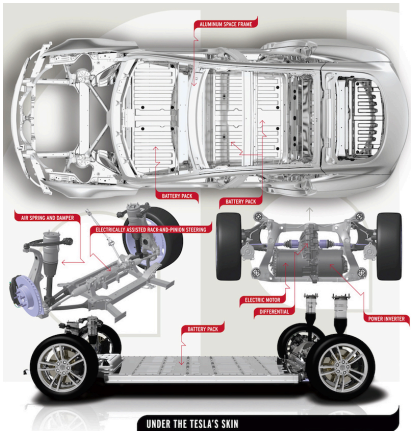
e. Funcionamiento básico de un vehículo 100% eléctrico. El sistema que conforma un vehículo eléctrico varía dependiendo de la compañía y los requerimiento del vehículo a fabricar. Para ejemplificar el funcionamiento básico de un vehículo se tomó como referencia el modelo SP90D de la compañía TESLA.

Figura 5. TESLA SP90D



(Tesla, 2016)

Figura 6. Diagrama básico de un Tesla modelo S

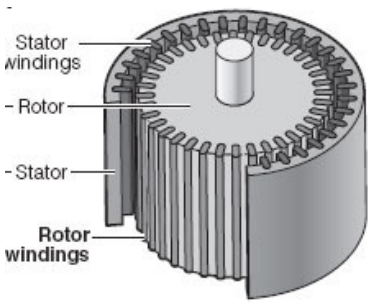


(Tesla, 2016)

Los vehículos eléctricos utilizan motores eléctricos de imanes permanentes (DC) o motores de inducción (AC) para generar el movimiento en las ruedas. En el caso del modelo SP90D se utiliza un motor de inducción eléctrico de 4 polos y 3 fases de corriente alterna (AC). La eficiencia del motor se encuentra en un rango entre el 85-90%.

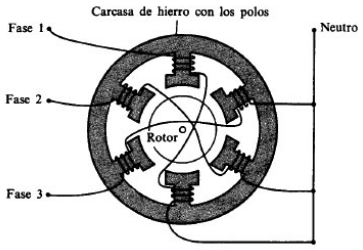
El motor asíncrono se encarga de energizar la bobina colocada en el estator. El estator es el marco fijo del motor. Esta acción permite inducir una corriente en la bobina del motor, la corriente alterna (AC) en la bobina permite originar polos en el campo magnético que los rodea. La atracción resultante en las bobinas cuando se alternan provocan la rotación del rotor.

Figura 7. Motor de inducción AC



(New Energy and Fuel, 2010)

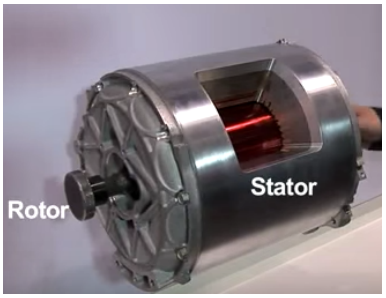
Figura 8. Fases en motor de inducción



(New Energy and Fuel, 2010)

En el SP90D el motor tiene una carcasa de aluminio, un estator de acero y el embobinado de cobre. El rotor tiene contacto únicamente con los cojinetes de bolas cuya función es reducir la fricción. Se refrigera por medio de agua.

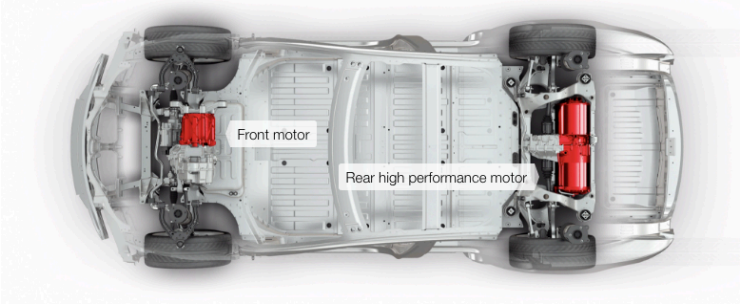
Figura 9. Motor utilizado en modelos SP90D



(Tesla, 2016)

En este modelo se encuentra incorporada la tecnología Dual-Motor, esto significa que las llantas delanteras y las llantas traseras tienen su propio motor.

Figura 10. Configuración Dual Motor



(Tesla, 2016)

Esta configuración cuenta con el motor secundario en el eje delantero y el motor principal en el eje trasero. Además, en el eje trasero se encuentran la caja de cambios y el inversor, por lo que el vehículo es tracción trasera. Debido a que existe un motor independiente para cada eje el torque de las llantas es independiente. La caja reductora del modelo tiene una relación de 9:1, para realizar el retroceso se invierten dos fases del motor para que cambie el sentido de giro todo de manera digital por lo que se reduce el uso de engranajes en la caja reductora. También cuenta con un diferencial que permite que las ruedas giren a velocidades diferentes.

Un gran espacio del vehículo se encuentra ocupado por los paquetes de baterías. Este modelo cuenta con 7014 baterías de ion- litio distribuidas en 16 paquetes. Tiene una capacidad de 90kWh a 400 VDC. Debido a que las baterías son de corriente directa y los motores de corriente alterna se requiere el uso de un inversor y un convertidor.

Figura 11. Paquete de baterías



(Tesla, 2016)

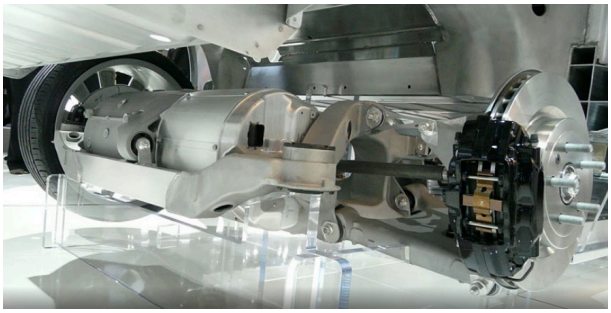
Figura 12. Baterías ion-litio



(Teslarati, 2016)

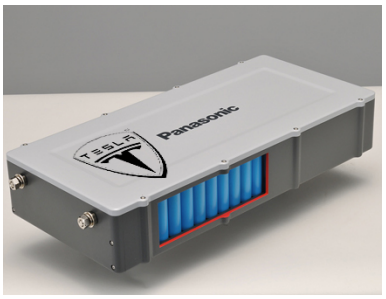
El convertidor se encuentra ubicado en el eje delantero justo al lado de la llanta derecha, se encarga de transformar corriente AC a corriente DC. Esto se requiere para poder recargar las baterías a partir del sistema de frenos del vehículo. Mientras que el inversor se encuentra en el eje trasero, este permite transformar la corriente DC de las baterías en corriente AC para que el motor de inducción pueda funcionar. Se puede frenar el vehículo de dos formas, la primera es utilizando el sistema de frenos convencional y la segunda es retirando el pie del acelerador. Al retirar el pie del acelerador el carro automáticamente frena, la corriente alterna en el motor es transformada en corriente directa y permite cargar los paquetes de baterías por lo que este proceso se conoce como frenado regenerativo en un vehículo eléctrico, ya que se obtiene energía en base a esta acción.

Figura 13. Eje trasero modelo Tesla SP90D



(Tesla, 2016)

Figura 14. Paquete de baterías

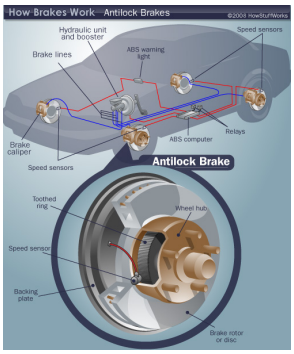


(Teslarati, 2016)

B. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA UTILIZADA EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

1. Vehicle Speed Sensor (VSS). Existen distintos tipos de sensores de velocidad en los vehículos. El sensor de velocidad principal se ubica en diferencial ubicado en el motor trasero o en el final de la caja de cambios conectado al eje conectado al motor. Este provee la información que se despliega en el tacómetro digital ubicado en la pantalla principal del vehículo, la información obtenida por este sensor es enviada a la **ECU (Engine Control Unit)** la cual se encarga de enviar la señal para desplegar la información actual. Otro tipo de sensores de velocidad se conocen como **ABS (Anti-Lock Bracking System) Wheel Speed Sensors**, estos se instalan en las ruedas del vehículo y se encargan de regular el funcionamiento del sistema de antibloqueo de ruedas, cada rueda cuenta con un sensor de tipo VSS que envía una señal a la ECU para indicar su velocidad individual a partir de ello la ECU puede determinar que rueda se encuentra atascada y envía una señal para disminuir o aumentar la presión de frenado sobre la rueda. Actualmente, existen vehículos que realizan la medición de velocidad únicamente utilizando los sensores de velocidad del sistema ABS. Para una mejor precisión se comparan las lecturas obtenidas por las obtenidas por un sistema GPS. A su vez existen distintos tipos de VSS en este caso trataremos con los de Efecto Hall. Los sensores de efecto Hall al ser sometidos a un campo magnético tienen como salida un voltaje proporcional al campo magnético. Según la teoría de Efecto Hall al colocar un conductor en el campo magnético el voltaje se genera perpendicular a la corriente y el campo. En promedio por cada milla que recorre un vehículo se generan 40,000 pulsos. Los sensores VSS de efecto Hall se subdividen en sensores analógicos y digitales.

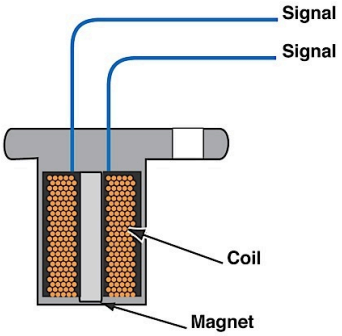
Figura 15. Wheel ABS Speed Sensor



(How Stuff Works, 2016)

a. VSS de Efecto Hall Analógico. Los sensores de velocidad de Efecto Hall Analógicos poseen dos cables, uno por el cual envía la señal y otro conectado a tierra, por lo que se consideran pasivos ya que no cuentan con un cable de alimentación. En el buje de la rueda se instala una rueda dentada, al girar el campo magnético del sensor cambia creando una señal sinusoidal que cambia en frecuencia conforme la velocidad aumenta.

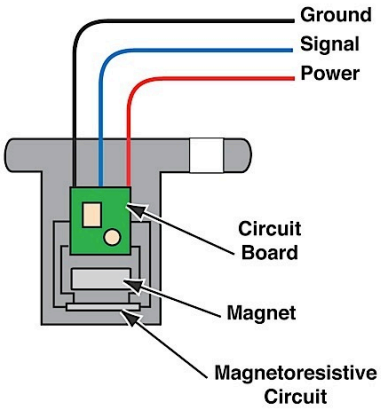
Figura 16. VSS analógico



(Babcox, 2012)

b. VSS de Efecto Hall Digital. Los sensores de velocidad de Efecto Hall Digitales poseen tres cables, uno conectado a 12 V, otro por el cual se transmite la señal 5 V, y un último que se conecta a tierra. Se consideran sensores activos ya que requieren de alimentación externa. Al igual que en los sensores analógicos al girar la rueda dentada el campo magnético cambia creando una señal cuadrada que aumenta en frecuencia conforme la velocidad aumenta.

Figura 17. VSS digital



(Babcox, 2012)

2. Acelerómetro. Los acelerómetros son dispositivos electromecánicos que miden las fuerzas de aceleración, que es la tasa de cambio de la velocidad de un objeto. Esto se mide en metros por segundo al cuadrado (m/s²) o en las fuerzas G (g). Los acelerómetros son útiles para detectar las vibraciones en los sistemas o para aplicaciones de orientación.

Básicamente es utilizarlo para detectar un rango de fuerzas que pueden ser censados. Estos rangos pueden variar desde ± 1g hasta ± 250g siendo esté el máximo soportado en vehículos de alta velocidad. La interfaz puede verse de forma análoga, digital o por modulación de ancho de pulso (PWM). En los vehículos actuales es más común ver la salida digital cuya interfaz serial sea SPI o I2C.

El acelerómetro cuenta con placas capacitivas internas dentro de lo que se puede llamar el sensor, los cuales algunos son estáticos y otros están separados por medio de pequeños resortes. Cuando existe una fuerza de aceleración en el sensor las placas internas tienden a moverse en relación el uno al otro y esto provoca un cambio de capacitancia entre estas mismas. El cambio que existe entre estas capacitancias es lo que se sensa para determinar la inclinación y aceleración que experimenta el sistema.

Figura 18. Vehicle dynamics accelerometer

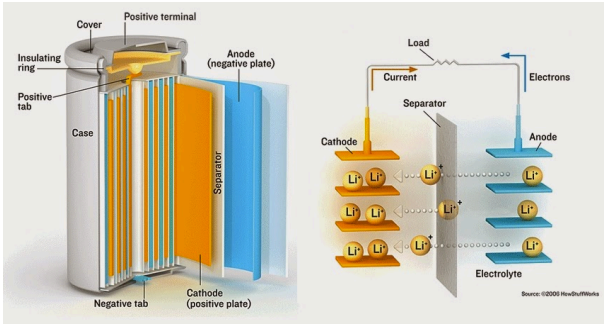


(Bosch, 2013)

3. Battery Sensor. Los vehículos eléctricos tienen un control especial sobre las baterías puesto a que son el análogo al combustible en los vehículos convencionales. Las baterías son dispositivos que permiten almacenar energía de forma electroquímica. En la mayoría de vehículos eléctricos se utilizan baterías ion-litio, en el caso del modelo S de Tesla se utilizan 7104 baterías .

a. Baterías de ion-litio. Las baterías de ion-litio contiene un electrolito líquido con iones, sal de litio, estos iones permiten la reacción electroquímica entre el ánodo y el cátodo.

Figura 19. Batería Ion-Litio



(Panasonic, 2015)

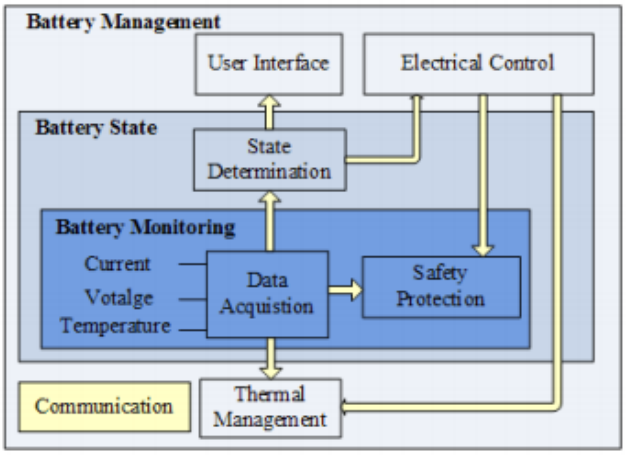
Las baterías ion-litio en promedio tienen un voltaje nominal de 3.7 V y un voltaje máximo de 4.2 V.Estas baterías son utilizadas en vehículos eléctricos por las siguientes razones:

- Permiten almacenar más carga que las baterías convencionales.
- Son más livianas.
- Aguantan varios ciclos de carga y de descarga.
- Se puede realizar una lectura de voltaje más precisa.
- Descarga lineal

Las baterías o celdas se agrupan en módulos y luego en paquetes, conjuntos de módulos, para poder controlar su temperatura. En el caso del modelo Tesla el vehículo cuenta con 16 paquetes de 444 baterías cada uno.

b. Sistemas de control para las baterías. Los vehículos eléctricos cuentan con dos sistemas de control para monitorear las baterías, estos son Battery Management System (BMS) y Thermal Management System (TMS). El sistema BMS se encarga de decidir la corriente máxima de carga y descarga y estimar dos parámetros importantes, State of Charge (SOC) y State of Health (SOH). SOC permite conocer la capacidad de la batería cuando se ve afectada por la corriente de carga y la temperatura, mientras que SOH es la capacidad de carga máxima de acuerdo al tiempo que ha sido utilizada.

Figura 20. BMS



(Energies, 2011)

De este sistema se divide un subsistema llamado Battery Monitoring, a partir de este subsistema se lleva un control de corriente, voltaje y temperatura.

Mientras que el Thermal Management System se encarga de regular todas aquellas funciones que permitan que los paquetes de baterías trabajen bajo una temperatura de condición adecuada.

4. Tire – Pressure Monitoring System (TPMS). Estos sensores se encargan de medir la presión en los neumáticos del vehículo. Los TPMS pueden ser directos o indirectos. Los sensores de presión directos se instalan de forma individual en cada llanta mientras que los indirectos utilizan información de los Wheel Speed Sensor para obtener la velocidad de giro. Los sensores de presión directos son más precisos.Los TPMS deben estar en movimiento para poder dar lecturas correctas. La temperatura y la presión están relacionada por la Ley de los gases ideales, al aumentar la temperatura absoluta aumenta la presión absoluta y viceversa.La ecuación de los gases ideales relaciona P la presión, V el volumen, n el número de moles del gas, R la constante universal del gas y T la temperatura.

Figura 21. Relación temperatura - presión

30°F	60°F	90°F	120°F	150°F	180°F
32.1 psi	35.0 psi	37.9 psi	40.7 psi	43.6 psi	46.5 psi
33.1 psi	36.0 psi	38.9 psi	41.9 psi	44.8 psi	47.7 psi
34.0 psi	37.0 psi	40.0 psi	43.0 psi	46.0 psi	48.9 psi
35.0 psi	38.0 psi	41.0 psi	44.1 psi	47.1 psi	50.2 psi
35.9 psi	39.0 psi	42.1 psi	45.2 psi	48.3 psi	51.4 psi
36.8 psi	**40.0 psi**	**43.2 psi**	**46.3 psi**	**49.5 psi**	**52.6 psi**
37.8 psi	41.0 psi	44.2 psi	47.4 psi	50.6 psi	53.9 psi
38.7 psi	42.0 psi	45.3 psi	48.5 psi	51.8 psi	55.1 psi
39.7 psi	43.0 psi	46.3 psi	49.7 psi	53.0 psi	56.3 psi
40.6 psi	44.0 psi	47.4 psi	50.8 psi	54.2 psi	57.6 psi
41.6 psi	45.0 psi	48.4 psi	51.9 psi	55.3 psi	58.8 psi

(LDR Workshop, 2010)

La mayoría de TPMS miden la diferencia entre la presión atmosférica y la presión de las llantas por lo que las lecturas de presión varían al cambiar la altitud.

Figura 22. Relación altitud - presión

Effect of Altitude on Pressure

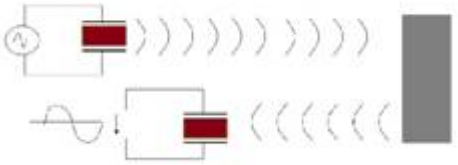
Altitude (feet)	Altitude (meters)	Atmospheric Pressure (psi)	Tire Gauge Pressure Change (psi)
0	0	14.70	
1,000	305	14.17	+0.52
2,000	610	13.66	+1.03
3,000	914	13.17	+1.52
4,000	1,219	12.69	+2.00
5,000	1,524	12.23	+2.47
6,000	1,829	11.78	+2.92
7,000	2,134	11.34	+3.36
8,000	2,438	10.92	+3.78
9,000	2,743	10.50	+4.19
10,000	3,048	10.11	+4.59

(LDR Workshop, 2010)

5. Sensores de proximidad. Los sensores de proximidad alertan al conductor de la distancia que separa la cara externa de la sección donde se encuentren instalados los sensores de otro objeto próximo a esta sección.

Los sensores de proximidad cuentan con una característica primordial para entender su funcionamiento lo cual es la señal acústica. Las señales de este sensor viajan en un medio elástico (aire) y es el sonido lo que provoca el inicio de este fenómeno. Entrando en detalle respecto a este sensor, el sonido provoca un movimiento ondulatorio el cual transmite vibraciones fluctuantes del medio el cual es interpretado como una onda de presión. Las vibraciones de frecuencia que son superiores a lo que un ser humano puede escuchar (mayores a 20 KHz) son las denominadas ondas de ultrasonido.

Figura 23. Sensores de proximidad

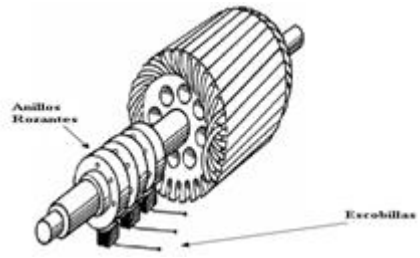


(Universidad de Alicante, 2013)

Para interpretar la señal este sensor por medio de un microcontrolador se necesita tener cuenta que la señal que este sensor devuelve se trata de una señal analógica y que no es la distancia lo que este sensor sensa si no que en realidad se trata de un diferencial de tiempo. Un microcontrolador es el encargado de recibir este diferencial de tiempo y calcular la distancia aproximada de forma digital.

6. Sensor de temperatura del motor. El motor AC utilizado en el Tesla corresponde a un motor de anillos rozantes, es decir, cuentan con un devanado de cobre en las ranuras del motor para cada una de las fases. Cada devanado está conectado por medio de anillos en el rotor. La temperatura del motor se monitorea de varias formas, una de ellas es utilizando termistores conectados al devanado del motor.

Figura 24. Motor de anillos rozantes.



(Máquinas eléctricas, 2014)

Un termistor es un sensor que permite medir temperatura en relación a la resistencia. Existen dos tipos de termistores en relación a las mediciones que realiza. Los termistores PTC o como sus siglas en inglés Positive Temperature Coefficient al aumentar su resistencia aumenta la temperatura mientras que los tipo NTC Negative Temperature Coefficient al disminuir la resistencia se incrementa el valor de la temperatura. Los termistores son muy utilizados en esta aplicación debido a su tamaño reducido y la rapidez de su respuesta. Si el devanado opera sobre la temperatura nominal la eficiencia del motor empieza a disminuir ya que se ve afectada por el aumento de la resistencia del conductor, en este caso el cobre.

Donde R del conductor es la resistencia del conductor, R nominal es la resistencia del conductor a 20 ºC, α es el coeficiente térmico y el cambio de temperatura. En la industria automotriz son comúnmente utilizados los sensores tipo NTC.

La ecuación de Steinhart-Hart permite dar una buena aproximación de la temperatura relacionando las resistencias. Los coeficientes varían de acuerdo a las especificaciones técnicas de cada fabricante.

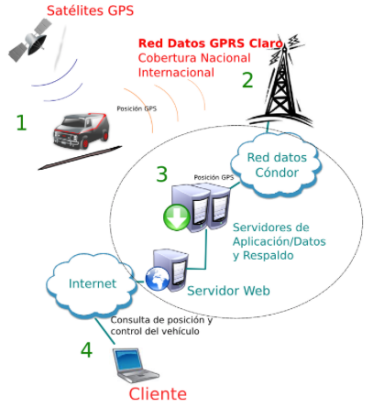
Figura 25. Termistor marca Siemens temperatura máxima 190 ºC.



(Siemens, 2016)

7. Global Positional System (GPS). Es un sistema de posicionamiento global qué es capaz de rastrear y determinar en toda la Tierra la posición de un objeto. Funciona como un receptor el cual recibe una señal en tiempo real de un satélite lo cual le permite hacer una triangulación de la señal y calcular la localización exacta de la misma.

Figura 26. GPS



(Claro, 2016)

El sistema de GPS permite múltiples funcionalidades tanto de entrada como salida en un vehículo automotor. Estas entradas y salidas pueden activarse o desactivarse dependiendo de la funcionalidad que se necesite. Algunas de estas son las siguientes:

- Apagar el vehículo
- Cerrar o abrir puertas y ventanas
- Botón de emergencia
- Notificaciones variadas (Apertura de puertas, inicio de combustión del motor o golpes al vehículo)

a. Adquisición de la posición del vehículo. La red de satélite es utilizada para obtener la posición exacta del vehículo haciendo uso de los dispositivos de rastreo en el vehículo.

b. Transmisión de datos al servidor. La información obtenida del la localización el vehículo es enviada vía GPRS con la red que se esté prestando el servicio.

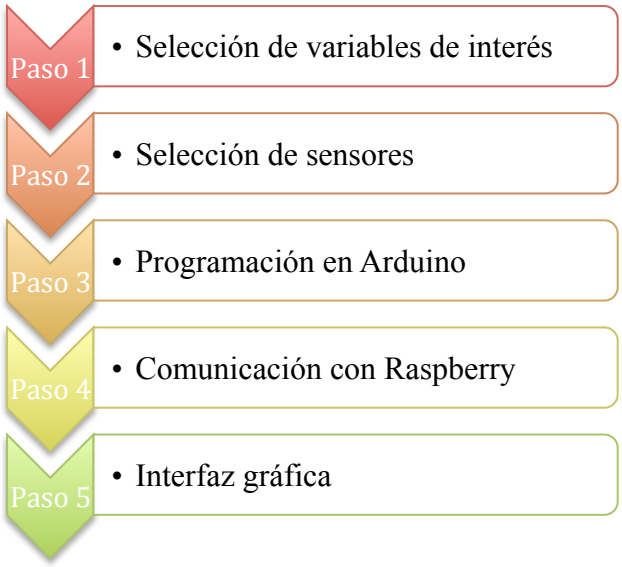
c. Almacenamiento en la web. Toda la información que recibe el dispositivo instalado en el vehículo como velocidad, ubicación, apertura de puertas o ventanas puede ser vista por el usuario en cualquier momento.

d. Acceso al sistema del vehículo. La información del vehículo puede ser monitoreada desde cualquier computadora con conexión a internet.

V. METODOLOGÍA

El trabajo de graduación se dividió en varias etapas las cuales fueron fundamentales para el desarrollo del proyecto, las cuales se pueden observar en el Cuadro1.

Cuadro 1. Metodología empleada



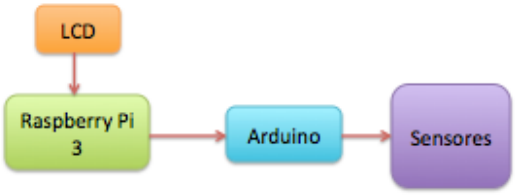
Una vez seleccionadas las variables de interés y los sensores con los cuales se obtienen las mediciones se realizó un diagrama básico de distribución (Ver Fig.27). Los sensores de velocidad se instalan en los discos de las llantas mientras que los TPMS se instalan dentro las llantas por lo que ocupan las posiciones de la 1-4 . Para los sensores de proximidad se instalan dos sensores frontales, dos traseros y dos laterales como se muestran en la posiciones de la 7-12 . Los sensores de temperatura de motor, nivel de batería y temperatura ambiental se instalan en la posición 5. Finalmente, los sensores como el acelerómetro y el GPS se instalan en la cabina del vehículo. Ya teniendo la distribución de los sensores en el vehículo se seleccionó de que manera se obtendrían mediciones para lo cual se seleccionó un Arduino Mega. Se tomó en cuenta la cantidad de entradas analógicas, entradas digitales y los protocolos de comunicación con los que se pueden trabajar. Luego se seleccionó el protocolo serial para poder enviar la información del Arduino a la Raspberry Pi y desplegarla en una LCD (Ver Fig.28) .

Figura 27. Diagrama de distribución básico



(Elaboración Propia)

Figura 28. Diagrama básico conexiones



(Elaboración Propia)

Para cada sensor se siguieron los siguientes pasos:

- Investigación del funcionamiento del sensor
- Lecturas de datos importantes en las hojas de datos del fabricante
- Programación / Lectura de datos
- Pruebas sencillas evaluando funcionamiento
- Instalación en el vehículo (Pruebas y toma de muestras)
- Envío de información a la Raspberry

VI. RESULTADOS

A. VARIABLES DE INTERÉS

Después de haber realizado una investigación general acerca de la instrumentación electrónica utilizada en los vehículos eléctricos se llevó a cabo la selección de variables a medir.

Cuadro 2. Variables seleccionadas

Variables seleccionadas
Velocidad del vehículo
Temperatura del ambiente
Temperatura del motor
Posicionamiento del vehículo (GPS)
Nivel de batería
Aceleración
Presión de las llantas (TPMS)
Distancia entre el vehículos y posibles obstáculos.

Como en todo vehículos algunos de los sensores más básicos para efectuar mediciones críticas miden las variables mencionadas en el Cuadro 2, a excepción del GPS y los sensores de proximidad, los cuales son más para asistir al conductor. La velocidad, la aceleración y la temperatura del ambiente son las variables más comunes cuyas mediciones se muestran en un tablero todo el tiempo, el resto suelen desplegar alarmas cuando el funcionamiento no es el adecuado.

1. Velocidad del vehículo. Los sensores de velocidad de los vehículos dependen del modelo, marca y funcionalidades del mismo por lo que se utilizaron sensores más sencillos para la elaboración de este trabajo. Dependiendo de su sistema de control los vehículos realizan la medición de velocidad por medio de un VSS principal o por medio de los Wheel ABS Speed Sensors, en el mejor de los casos se utilizan ambos sensores para comparar datos. Como se mencionó anteriormente, cada vehículo utiliza un sensor de velocidad especial que se ajusta a las dimensiones a las cuales será instalado. En este caso se tuvo un enfoque especial en los Wheel ABS Speed Sensors. El rango de precios varía bastante por lo que para entender el funcionamiento de los sensores de velocidad se acudió a un taller mecánico en donde el dueño me dejó hacer pruebas con un sensor de un vehículo en reparación que requería del cambio.

Figura 29. Wheel ABS Speed Sensor



(Elaboración propia)

Los sensores de velocidad instalados en las llantas, como el mostrado en la Fig. 27 son de tipo analógico. Funcionan por el principio del Efecto Hall por lo que requieren de una trigger Wheel o anillo dentado para llevar el conteo de pulsos que permiten pedir la velocidad. Este sensor pertenece a un Toyota Yaris modelo 2007, este tiene un promedio de 40000 pulsos por milla, dato almacenado en la computadora para hacer la conversión.

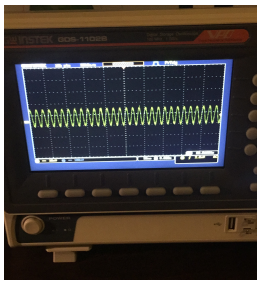
Figura 30. Wheel Speed Sensor Toyota Yaris Modelo 2007



(Elaboración propia)

Este sensor es de tipo pasivo puesto que solo cuenta con el cable por el cual envía la señal y su respetiva conexión a Tierra. Este sensor genera una señal sinusoidal de una amplitud entre 50mV a 1 V, el aumento de la velocidad se puede observar a través de su frecuencia, sin embargo, solo se logró girar el disco a mano por lo que no se alcanzaron velocidades muy altas.

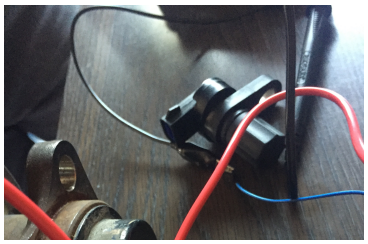
Figura 31. Señal sinusoidal (Wheel ABS Speed Sensor) con amplitud pico a pico de 50 mV y una frecuencia de 1.2 kHz.



(Elaboración propia)

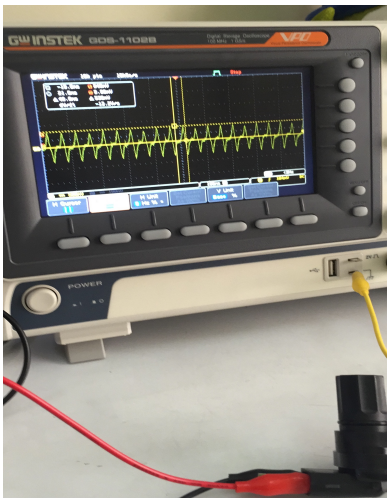
Otro sensor analógico analizado fue un Dorman 970-012 Wheel ABS Speed Sensor, este tipo de sensores genéricos funcionan con las camionetas marcas Chevrolet o marca Ford. Cuentan con una resistencia de 1.815 kΩ, y al igual que el sensor analizado anteriormente es de tipo analógico.

Figura 32. Sensor Dorman 970-012



(Elaboración propia)

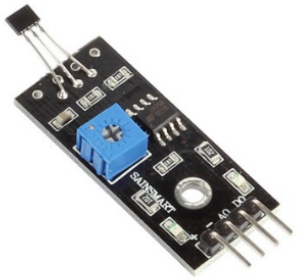
Figura 33. Señal del sensor Dorman



(Elaboración propia)

Una vez entendido el funcionamiento de este tipo de sensores se utilizó un sensor de efecto Hall de menor costo para simular un Wheel ABS Speed Sensor.

Figura 34. Saint-Smart Hall Effect Sensor



El sensor seleccionado fue un Saint-Smart de Efecto Hall como se ve en la Fig. 32.

Cuadro 3. Características básicas del sensor de efecto Hall

Saint – Smart Hall Effect Sensor	
Voltaje de Operación	3.3 – 5 V
Temperatura Máxima	150 ºC
Tipo de Salida	Analógica/Digital

Cuadro 4. Precio sensores de efecto Hall

Saint – Smart Hall Effect Sensor	
Cantidad	4
Precio Unitario	Q 60.00
Precio Total (sin shipping)	Q 240.00

Para medir la velocidad se elaboró un programa en Arduino que permite medir la cantidad de revoluciones por minuto del disco, al igual que un Wheel Speed Sensor analógico se necesita de una rueda dentada o algún tipo de mecanismo para establecer a partir de qué punto se tomó la medición como una revolución. En el caso de estos sensores se colocó un imán de neodimio sobre el disco, y se instaló el sensor sobre el disco de freno.

Figura 35. Imanes de Neodimio



Cuadro 5. Precio imanes de Neodimio

Imanes de Neodimio (Paquete)	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 60.00
Precio Total (sin shipping)	Q 60.00

El primer paso fue colocar el tricket para poder desmotar la llanta.

Figura 36. Desmontaje de la llanta



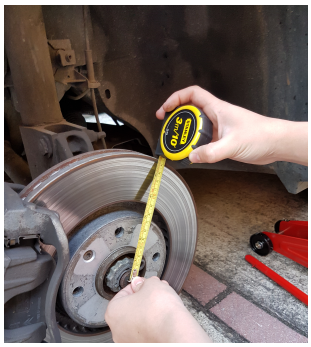
Figura 37. Instalación del sensor de efecto Hall



Figura 38. Instalación del sensor de efecto Hall



Figura 39. Medición del radio del disco utilizado.



Para calcular la velocidad tangencial del vehículo se realizaron los siguientes cálculos:

Cuadro 6. Datos obtenidos para una medición

Datos obtenidos	
Velocidad angular (Lecturas efectuadas con Arduino)	120 rpm
Radio del disco	0.15 m

$$120\,\frac{rev}{min}\left(\frac{2\pi rad}{1\,rev}\right)\left(\frac{1\,min}{60\,s}\right) = 4\pi\,\frac{rad}{s} \qquad (1)$$

$$v = \omega r$$

$$v = \left(4\pi\,\frac{rad}{s}\right)(0.15\,m) = \frac{3\pi}{5}\frac{m}{s} \qquad (2)$$

$$\frac{3\pi}{5}\frac{m}{s}\left(\frac{1\,km}{1000\,m}\right)\left(\frac{3600\,s}{1\,h}\right) = \frac{54\pi}{25}\frac{km}{h} \cong 6.78\,\frac{km}{h} \qquad (3)$$

$$\% \, de \, error = \frac{|Dato \, teórico - Dato \, Experimental \,|}{|Dato \, teórico|} = \frac{\left|6.00 \ {}^{km}/_{h} - 6.78 \, {}^{km}/_{h}\right|}{\left|6.00 \, {}^{km}/_{h}\right|} = 13 \, \% \quad (4)$$

Figura 40. Lectura del tacómetro del carro

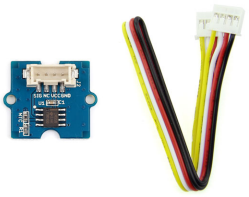


(Elaboración propia)

De esta forma se efectuaron diversas mediciones comparando los valores obtenidos con el sensor de efecto y el tacómetro del carro.

2. Temperatura Ambiente. Para realizar la temperatura ambiente se seleccionó el sensor Grove-Barometer Sensor (BME280).

Figura 41. BME280



Cuadro 7. Precio del sensor de temperatura ambiental

Grove – Barometer Sensor (BME280)	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 67.00
Precio Total (sin shipping)	Q 67.00

Cuadro 8. Características del sensor de temperatura

Características del Sensor BME280	
Voltaje de Operación	3.3 – 5 V
Temperatura de Operación	-40 - 85ºC
Precisión	± 1.0 ºC
Frecuencia de muestreo	182 Hz

Para la programación en Arduino se utilizaron las librerías Seeed_BME280.cpp y Seeed_BME280.h. Este tipo de sensor puede ser comunicado a través del Arduino por medio de comunicación SPI o I2C, en este caso se utilizó comunicación I2C.

Cuadro 9. Conexión con Arduino Mega

Conexión con Arduino MEGA 2560	
Voltaje de Operación	5 V
SDA	28
SCL	21
GND	GND

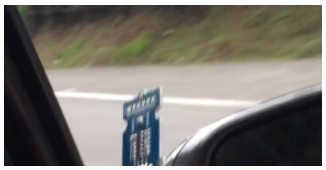
El sensor permite obtener lecturas de temperatura, presión barométrica, altitud y humedad. En este caso se buscó obtener la temperatura del ambiente, para comparar los resultados, se compararon las lecturas del sensor con las lectura de un Peugeot 307.

Figura 42. Temperatura marcada por el Peugeot 307



(Elaboración propia)

Figura 43. Sensor BMP280



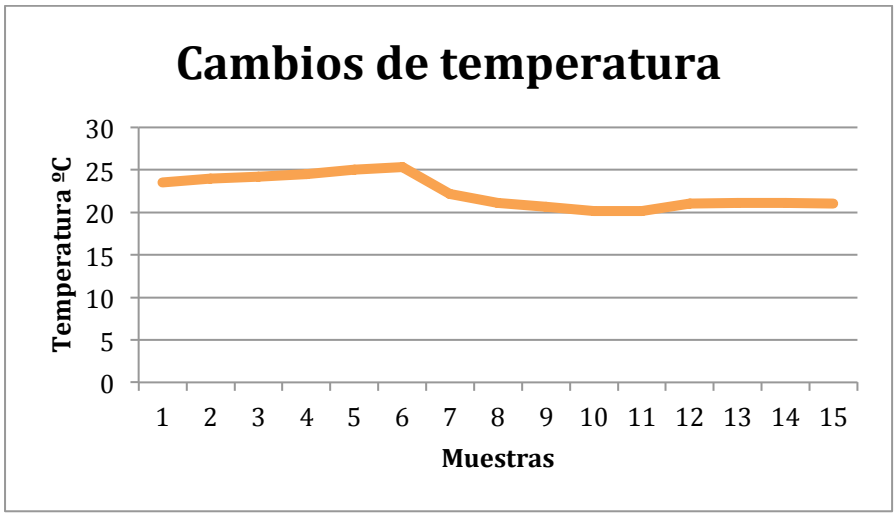
(Elaboración propia)

Cuadro 10. Recorrido San Lucas

Muestras	Temperatura	Temperatura de interés
1	23.55	24
2	23.95	24
3	24.22	24
4	24.51	25
5	25.06	25
6	25.3	25
7	22.19	22
8	21.14	21
9	20.67	21
10	20.17	20
11	20.16	20
12	21.05	21
13	21.1	21
14	21.08	21
15	21.05	21

Se realizó un breve recorrido en San Lucas Sacatepéquez, desde el inicio el termómetro en el tablero del carro marcaba 21 ºC, 10 muestras después el sensor se estabilizó puesto a que realizó mediciones más cercanas al valor mostrado en el tablero del carro. Las primeras muestras se deben a que ingrese con el sensor a la cabina y el carro se encontraba debajo del Sol, cuando se colocó directamente en la ventana pudo obtener la misma medición de temperatura ambiental que el sensor de temperatura del vehículo.

Figura 44. Cambios de temperatura en el recorrido



3. Temperatura del motor. Como se pudo leer en la sección de marco teórico, para la lectura de temperaturas en un vehículo eléctrico se utilizan termistores.

Figura 45. Termistor



Cuadro 11.Características del termistor

Características del Termistor	
Voltaje de Alimentación	5 V
Rango de Temperaturas	-25 - 125ºC

Cuadro 12. Precio del termistor

Grove – Barometer Sensor (BME280)	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 16.00
Precio Total (sin shipping)	Q 16.00

Para poder obtener la temperatura a partir del microcontrolador Arduino se empleó la ecuación de Steinhart-Hart .Esta ecuación permite calcular el valor de resistencia del semiconductor a diferentes temperaturas utilizando los coeficientes de cada termistor en particular. A partir de la entrada analógica se obtiene el valor de ADC. La resolución entre lecturas para un voltaje de 5 V es de 1024 unidades en un Arduino Mega por lo que para encontrar el valor de R se utilizó la siguiente relación:

$$R = \left(R_{divisor\ de\ voltaje}\right)\left(\frac{1024}{ADC} - 1\right) \quad (5)$$

Siendo 9900 ohmios el valor de la resistencia utilizada en el divisor de voltaje. Una vez obtenido el valor de la resistencia en ohmios se obtuvo la temperatura en Kelvin, para ello se emplearon los coeficientes propios del termistor (Ver Tabla1) y se resta un valor de 273 para obtener la temperatura en grados Centígrados.

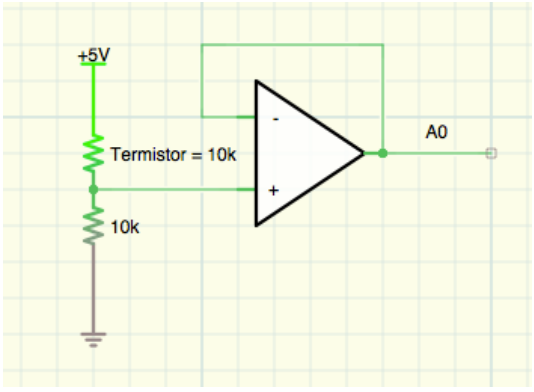
Cuadro 13. Coeficiente de Steinhart-Hart

Coeficientes	Valor
A	0.001129148
B	0.000234125
C	0.0000000876741

Cuadro 14. Pines de conexión para el termostato con Arduino Mega

Conexión con Arduino MEGA 2560	
Voltaje de Operación	5 V
Entrada Analógica	A0
GND	GND

Figura 46. Divisor de voltaje y seguidor para el termistor



En el circuito de la Fig.46 se utilizaron resistencias de precisión. A partir de la ecuación de Steinhart-Hart se obtuvo el valor de temperatura en grados Centígrados.

$$T = \frac{1}{A + Bln(R) + C(\ln(R))^3} - 273.15 \quad (6)$$

Figura 47. Relación de temperatura-resistencia para termistor

热敏电阻电阻—温度分度表

R（25℃）：10KΩ　　B(25℃/50℃):3950

T（℃）	R（kΩ）	T（℃）	R（KΩ）	T（℃）	R（kΩ）	T（℃）	R（kΩ）
-25	133.500	15	15.7511	55	2.96331	95	.781670
-24	125.672	16	15.0306	56	2.85569	96	.758701
-23	118.350	17	14.3472	57	2.75256	97	.736519
-22	111.498	18	13.6987	58	2.65369	98	.715094
-21	105.084	19	13.0833	59	2.55890	99	.694397
-20	99.0773	20	12.4990	60	2.46799	100	.674400
-19	93.4469	21	11.9441	61	2.38080	101	.655075
-18	88.1750	22	11.4169	62	2.29714	102	.636398
-17	83.2296	23	10.9161	63	2.21686	103	.618345
-16	78.5909	24	10.4400	64	2.13980	104	.600890
-15	74.2384	25	10.0000	65	2.06583	105	.584013
-14	70.1527	26	9.55693	66	1.99480	106	.567690
-13	66.3162	27	9.14743	67	1.92658	107	.551902
-12	62.7122	28	8.75777	68	1.86105	108	.536629
-11	59.3254	29	8.38690	69	1.79809	109	.521852
-10	56.1416	30	8.03380	70	1.73758	110	.507552
-9	53.1475	31	7.69753	71	1.67942	111	.493712
-8	50.3307	32	7.37721	72	1.62351	112	.480316
-7	47.6799	33	7.07200	73	1.56975	113	.467346
-6	45.1842	34	6.78110	74	1.51804	114	.454788
-5	42.8339	35	6.50378	75	1.47300	115	.442627
-4	40.6197	36	6.23934	76	1.42045	116	.430848
-3	38.5330	37	5.98711	77	1.37439	117	.419438
-2	36.5656	38	5.74646	78	1.33007	118	.408384
-1	34.7103	39	5.51680	79	1.28740	119	.397674
0	32.9600	40	5.29758	80	1.24632	120	.387294
1	31.3081	41	5.08828	81	1.20675	121	.377233
2	29.7487	42	4.88838	82	1.16864	122	.367481
3	28.2760	43	4.69743	83	1.13193	123	.358026
4	26.8848	44	4.51498	84	1.09655	124	.348859
5	25.5702	45	4.34060	85	1.06246	125	.339968
6	24.3274	46	4.17391	86	1.02960		
7	23.1523	47	4.01452	87	.997924		
8	22.0407	48	3.86207	88	.967376		
9	20.9889	49	3.71624	89	.937916		
10	19.9934	50	3.58800	90	.909498		
11	19.0509	51	3.44314	91	.882083		
12	18.1582	52	3.31529	92	.855630		
13	17.3124	53	3.19287	93	.830101		
14	16.5109	54	3.07563	94	.805459		

(Seeed Studio, 2016)

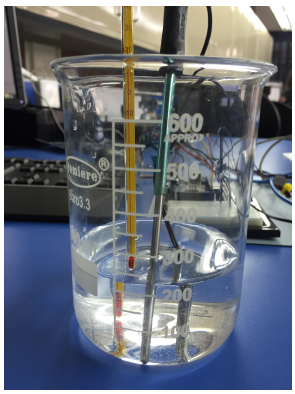
Para comparar las mediciones efectuadas por el termistor se utilizó un sensor PASCO y un termómetro de vidrio.

Figura 48. Configuración de la interfaz PASCO



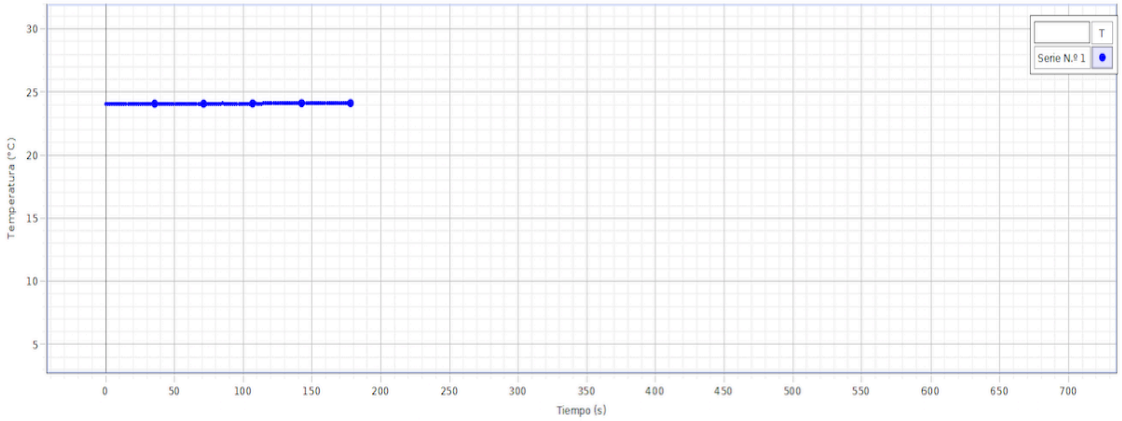
(PASCO, 2013)

Figura 49. Sensor PASCO, termómetro y termistor



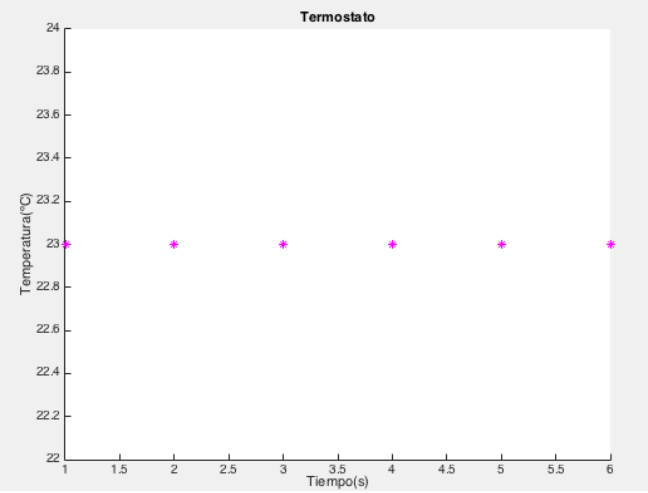
(Elaboración propia)

Figura 50. Gráfica de temperatura obtenida con el sistema PASCO



Al mismo tiempo que se graficaban los datos en usando Kapston, el nuevo programa con el que se puede utilizar PASCO, se realizó un programa en MATLAB para graficar las mediciones obtenidas con el termistor.

Figura 51. Gráfica obtenida en MATLAB con el termistor



4. Sensores de proximidad. Los sensores de proximidad tienen un valor de mercado de 1500 quetzales en adelante, para simular sensores de proximidad como los instalados en un vehículo se seleccionaron los sensores ultrasónicos HC-SR04.

Figura 52. Sensor ultrasónica HC-SR04



(Arduino, 2013)

Cuadro 15. Precio sensores ultrasónicos

Grove – Barometer Sensor (BME280)	
Cantidad	6
Precio Unitario	Q 35.83
Precio Total (sin shipping)	Q 214.96

Cuadro 16. Características HC-SR04

Características del Sensor Ultrasónico	
Voltaje de Alimentación	5 V
Distancia mínima	2 cm
Distancia máxima	400 cm
Frecuencia	40 Hz
Ángulo de medición	15 º
Trigger Input	10 µS (TTL)

Se utilizaron seis sensors ultrasónicos, dos frontales, dos laterales y dos traseros para tener un mejor sistema de alarmas ante obstáculos.

Cuadro 17. Distribución de pines para sensores de proximidad

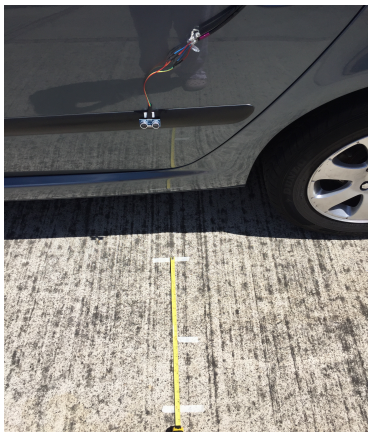
Conexión con Arduino Mega						
Parámetros	Left Front	Right Front	Left	Right	Rear Left	Rear Right
Vcc	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V
Trigger	DIGITAL PIN 3	DIGITAL PIN 5	DIGITAL PIN 7	DIGITAL PIN 24	DIGITAL PIN 28	DIGITAL PIN 13
Echo	DIGITAL PIN 2	DIGITAL PIN 4	DIGITAL PIN 6	DIGITAL PIN 22	DIGITAL PIN 26	DIGITAL PIN 12
GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND

Los sensores de proximidad frontales y traseros alertan al conductor cuando la señal es menor a 1 metro mientras que los sensores laterales alertan al conductor cuando la distancia es menor a 50 cm. Para calcular la distancia en centímetros se utiliza:

$$Distancia = \frac{(Trigger - Echo) * (340\ {}^{m}/_{s})}{2} \quad (7)$$

Cada 10 microsegundos trigger envía un pulso lo que activa el envío de 8 pulsos a una frecuencia de 40kHz y activa el pin de echo, este pin se mantiene en alto hasta que recibe el eco del objeto más cercano detectado. En el momento que echo cambia su estado se puede obtener el tiempo del pulso y realizar el cálculo de la distancia.

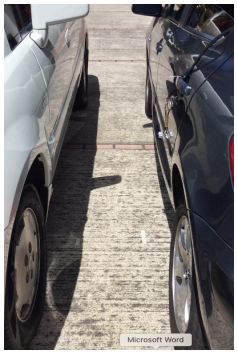
Figura 53. Sensor ultrasónico lateral



(Elaboración propia)

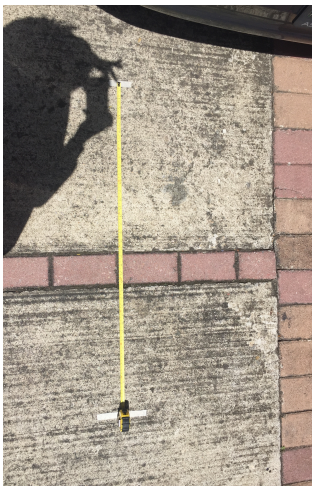
Para probar los sensores ultrasónicos laterales se marcó una distancia de 50 cm y se programó un buzzer para que al aproximarse un vehículo a una distancia menor a 50 cm generara una sonido de alerta.

Figura 54. Obstáculo a distancia menor a 50 cms.



(Elaboración propia)

Figura 55. Distancia de un metro para sensores frontales y traseros.



(Elaboración propia)

Figura 56. Obstáculo a distancia menor a un metro.

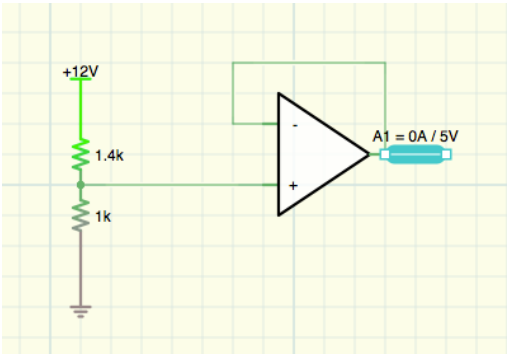


(Elaboración propia)

De manera similar a los sensores laterales se programó un buzzer para que al detectar un obstáculo a una distancia menor a un metro se generara un sonido de alerta.

5. Nivel de batería. Para la medición del voltaje en la batería no se requirió de un sensor adicional, únicamente se fabricó un divisor de voltaje.

Figura 57. Divisor de voltaje para medir nivel de batería

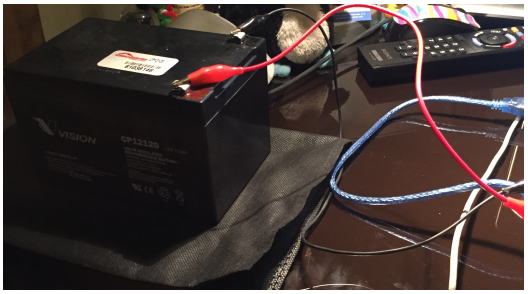


Debido a que los pines del microcontrolador Arduino no soportan un voltaje mayor a 5 V, se creó una relación de 0-5 V que represente el cambio de voltaje de 0-12 V en la batería.

Cuadro 18. Nivel de batería

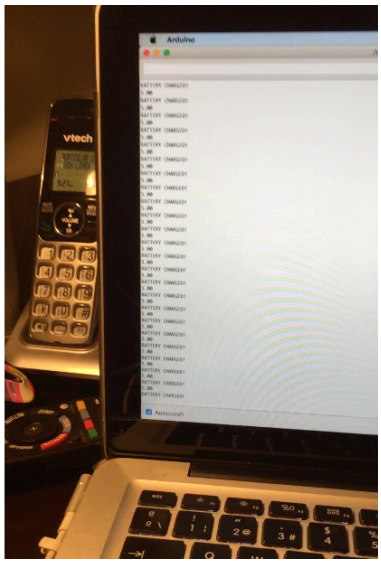
Nivel de Voltaje	Conversión de 0 – 5 V	Porcentaje
12 V	5 V	100 %
7.2 V	3 V	60 %
6 V	2 .5 V	50 %

Figura 58. Batería utilizada



(Elaboración propia)

Figura 59. Medición de nivel de batería

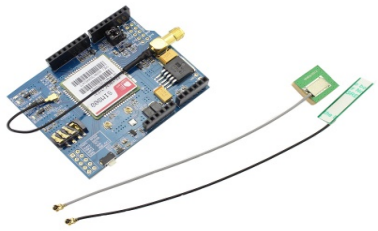


(Elaboración propia)

En el momento en el que se midió el voltaje la batería estaba cargada, por otra parte, para poder verificar las variaciones de voltaje se conectó una fuente y se disminuyó el voltaje por debajo de los 6 V para que se activará un mensaje de alerta sobre la carga de la batería y se disminuyó el voltaje hasta llegar a cero voltios para verificar las mediciones en el rango de 14 V a 0 V. Entre las especificaciones de la batería se indica que su voltaje nominal es de 12 V pero se consideró que la batería puede tener un voltaje máximo de 14 V cuando tiene carga completa.

6. GPS. Para el sistema de posicionamiento global se utilizó el módulo Elecrow SIM808 y una tarjeta microSIM.

Figura 60. Módulo SIM808



(Elecrow, 2016)

Cuadro 19. Precio módulo SIM808

Módulo SIM808	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 300.00
Precio Total (sin shipping)	Q 300.00

Figura 61. Micro SIM Claro



(Elaboración propia)

Cuadro 20. Precio tarjeta SIM

MicroSIM Claro

Cantidad	1
Precio Unitario	Q 25.00
Precio Total	Q 25.00

Para conocer la posición actual del vehículo se requiere conocer latitud y longitud. Se utilizaron los siguientes comandos para obtener la información del GPS:

Cuadro 21. Comandos AT para establecer comunicación.

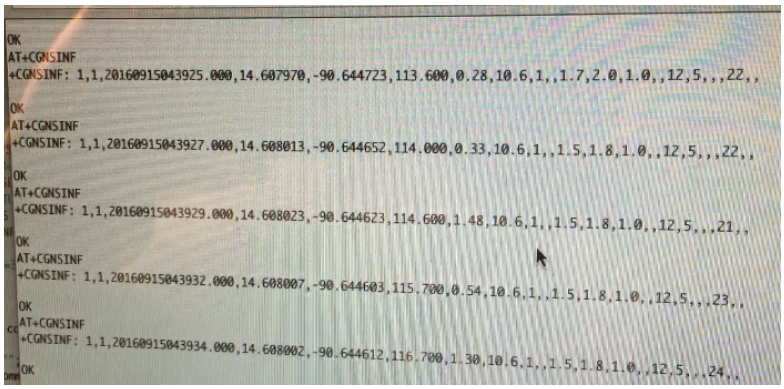
Comando	Descripción
AT+CGPSPWR=1	Permite establecer comunicación con el satélite.
AT+CGPSSTATUS?	Permite establecer si la comunicación fue exitosa o no, es posible obtener los datos de posicionamiento.
AT+CGPSINF=0	Permite resetear el GPS y obtener los datos.
AT+CGPSPWR=0	Cerrar el GPS

Con el tercer comando mostrado en el Cuadro 21 se pueden obtener los siguientes datos:

- Modo
- Altitud
- Latitud
- Longitud
- Tiempo UTC (Universal Time Coordinate)
- TTFF (Time To First Fix)
- Num
- Speed
- Course

De los cuales nos interesan altitud, latitud y longitud para la interfaz gráfica.

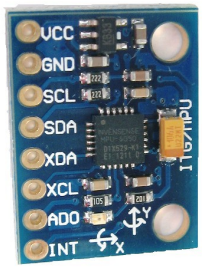
Figura 62. Datos obtenidos con el módulo y Arduino



(Elaboración propia)

7. Acelerómetro

Figura 63. MPU6050



(Arduino Playground, 2014)

Para medir la aceleración se seleccionó un acelerómetro de 6 ejes, MPU-6050.(Ver Fig. 63)

Cuadro 22. Precio acelerómetro

Acelerómetro	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 49.00
Precio Total (sin shipping)	Q 49.00

Por el tipo de aplicación se seleccionó una sensibilidad de ± 2g. Este tipo de sensor fue programado utilizando comunicación I2C, se utiliza un Arduino UNO exclusivamente para el mismo y se diseñará una cajita que contenga el sensor con el microcontrolador utilizado. La librería MPU-6050 devuelve raw values los cuales deben ser divididos por el valor 16348 para obtener las aceleraciones reales.

$$Aceleración\ en\ x = \frac{raw\ value}{scale\ factor} = \frac{raw\ value}{16348} \quad (8)$$

$$Aceleración\ en\ y = \frac{raw\ value}{scale\ factor} = \frac{raw\ value}{16348} \quad (9)$$

$$Aceleración\ en\ z = \frac{raw\ value}{scale\ factor} = \frac{raw\ value}{16348} \quad (10)$$

$$\|Aceleración\| = \sqrt{(aceleración_x)^2 + (aceleración_y)^2 + (aceleración_z)^2} \quad (10)$$

Figura 64. Acelerómetro instalado en la cabina de un Peugeot 307



(Elaboración propia)

Figura 65. Recorrido en tráfico San Lucas Sacatepéquez

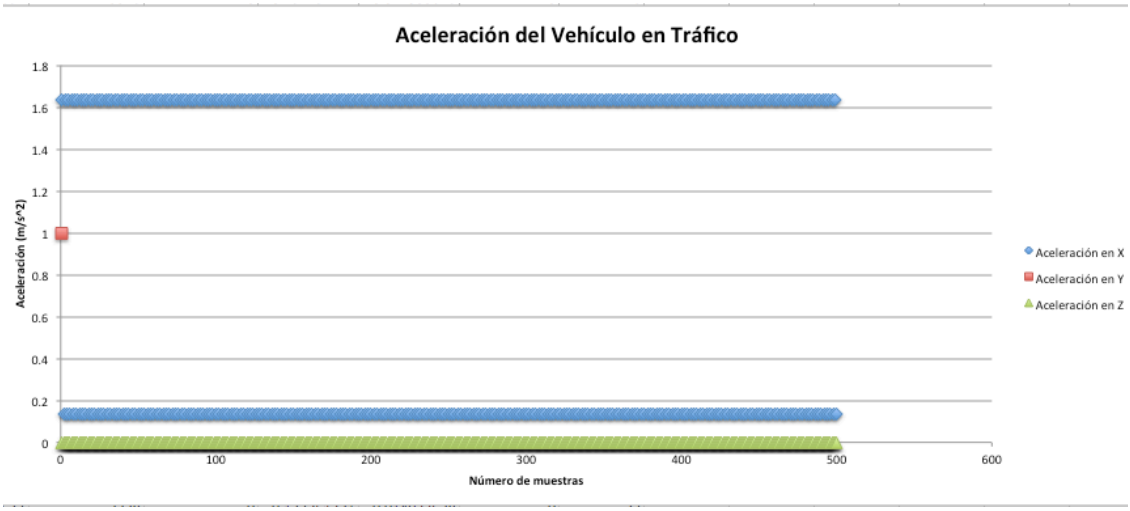
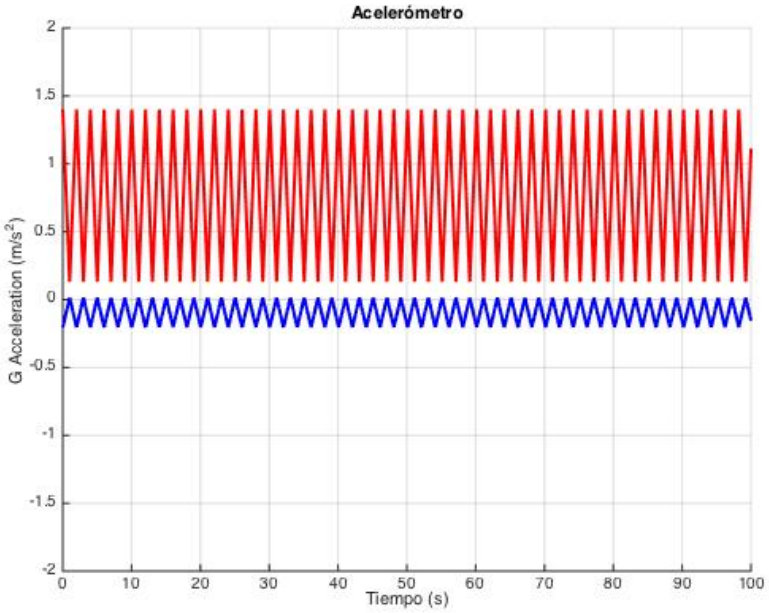


Figura 66. Recorrido en tráfico Calzada Roosevelt (MATLAB) Aceleración en el eje X (rojo) y la aceleración en el eje Y (azul).



Se llevarán a cabo más pruebas para corroborar que los datos sean correctos y se realizarán pruebas para comparar la aceleración de 0 hasta 100 kilómetros por hora en un Peugeot 307 modelo 2007.

Según la ficha técnica, la aceleración de 0 a 100 kilómetros se realiza en un tiempo promedio de 8.9 segundos.

$$100\frac{km}{h}\left(\frac{1000\ m}{1\ km}\right)\left(\frac{1\ h}{3600\ s}\right) = \frac{250}{9}\frac{m}{s} \quad (11)$$

$$aceleración = \frac{V_f - V_i}{t_f - t_i} = \frac{\frac{250}{9}\frac{m}{s}}{8.9\ s} = \frac{2500}{801}\frac{m}{s^2} \approx 3.12\ \frac{m}{s^2} \quad (12)$$

8. TPMS

Cuadro 23. Precio TPMS instalados fuera de las llantas.

TMPS marca CARCHET	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 794.00
Precio Total (sin shipping)	Q 794.00

Cuadro 24. Precio TPMS instalados dentro de las llantas.

TMPS marca SCHRADER	
Cantidad	1
Precio Unitario	Q 1123.50
Instalación de sensores	Q 120.00
Precio Total (sin shipping)	Q 1243.50

Los sensores marca Schrader han demostrado tener mejores mediciones que los sensores Carchet, muchas veces estos varían mucho con respecto a otros instrumentos de medición. Para obtener los datos de presión se comenzó por tratar de interceptar la señal de radiofrecuencia que utilizan para enviar y recibir datos del monitor al sensor y viceversa, aunque desafortunadamente no se logró interceptar la señal utilizando un receptor de 433 MHz sencillo. El siguiente paso fue adquirir una antena marca NooElec.

Los sensores TPMS por default están en modo sleep para disminuir su consumo de batería, estos comienzan el envió de señales cuando detectan que el carro se encuentra en movimiento (por lo general cuando tiene una velocidad arriba de los 40 km/h). Para realizar el muestreo de datos se optó por llevar una

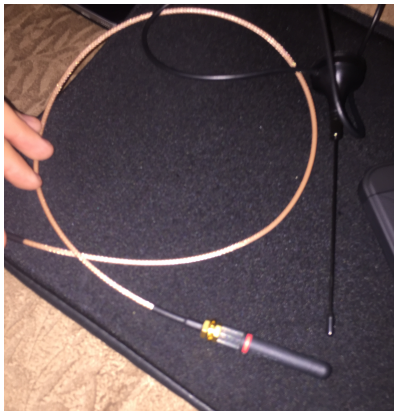
computadora dentro del vehículo para interceptar la señal de radiofrecuencia que se podían detectar a una frecuencia 433.92 MHz, por lo que por medio de software se aplico un filtro pasa banda con una frecuencia de corte baja de 315 MHz y una frecuencia de corte alta de 450 MHz. Algunos de los programas utilizados fueron Audacity, Inspectrum y Gnu-radio.

Figura 67. Antena NooElec para varias frecuencias.



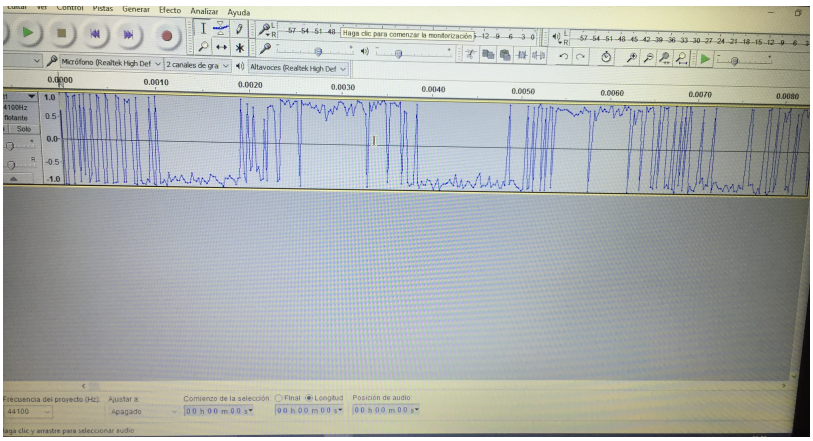
(Elaboración propia)

Figura 68. Antena para sintonizar frecuencias a 433 MHz.



(Elaboración propia)

Figura 69. Algunos de los patrones detectados con los TPMS Schrader.



(Elaboración propia)

La desventaja de este tipo de mediciones es que se cuenta con muchos dispositivos que envían datos por radiofrecuencia a frecuencias en este rango y a pesar del filtro pasan a ser parte de la señal capturada. Para poder decodificar los datos se requiere procesar la señal y poder determinar el tipo de códigos que envían los transmisores (sensores) y el receptor (monitor), por lo que actualmente se cambió este método por ingeniería inversa. El propósito es detectar las señales de comunicación desde el circuito integrado en el monitor.

a. TPMS SCHRADER. Una vez instalados en el vehículo estos sensores requieren de una calibración especial para ser detectados por el monitor. El primer paso es seleccionar la opción ID Lear en el menú, luego se debe seleccionar el neumático que se desea aprender en la posición que se encuentra, en ese momento el neumático seleccionado tiene que ser desinflado por lo menos 1 psi, al detectar el cambio de presión el monitor guarda el ID code del neumático. Se debe realizar la misma calibración para los cuatro neumáticos.

Cuadro 25. Especificaciones del sensor Schrader

Especificaciones Técnicas del Sensor	
Rango de temperaturas de operación	-40 a 100 ºC
Humedad tolerable	85 %
Duración de batería (estimada)	10 años (Bajo condiciones estándar)
Frecuencia a la que transmite	433.920 MHz (+/- 100 kHz)
Activación del transmisor	Cambio brusco de presión o que el vehículo se desplace a más de 40 km/h.

Cuadro 26. Especificaciones del receptor Schrader.

Especificaciones técnicas del Receptor	
Fuente de voltaje	3V DC
Consumo de corriente	200uA (standby), 3mA (nominal) y 40mA (alerta)
Rango de temperatura de operación	-40 a 85 ºC
Rango de temperatura monitoreada	-40 a 125 ºC
Rango de presión monitoreada	0 a 101.5 PSI

Figura 70. Instalación de sensores Schrader



(Elaboración propia)

b. TPMS CARCHET. A diferencia de los TPMS Schrader, cada sensor viene identificado con la posición a la cual está programado, y al conectarse en la llanta adecuada es reconocido por el monitor es su posición predeterminada. Los datos que despliega al conectarlos con el carro en reposo no tienen sentido, los datos de presión se estabilizan al tener el carro en marcha o cuando se condujo y no se ha apagado el vehículo guarda la configuración anterior.

Cuadro 27. Especificaciones técnicas del sensor Carchet.

Especificaciones Técnicas del Sensor	
Rango de temperaturas de operación	-40 a 80 ºC
Rango de presión	0 a 116 psi
Exactitud Presión	± 1.5 psi
Frecuencia a la que transmite	433.920 MHz (+/- 100 kHz)
Vida útil de la batería	Más de 2 años

Cuadro 28. Especificaciones técnicas del receptor Carchet.

Especificaciones técnicas del teceptor	
Fuente de voltaje	12 – 24 VDC
Rango de temperatura de operación	-30 a 85 ºC
Frecuencia	433.92 MHz

Figura 71. Lecturas sensor Carchet



(Elaboración propia)

Figura 72. Sensor conectado



(Elaboración propia)

Figura 73. Comparación de lectura del manómetro.



(Elaboración propia)

Para esta lectura se condujo el carro por 5 minutos y luego se estacionó para realizar la lectura correspondiente.

Figura 74. Placa display TPMS Carchet

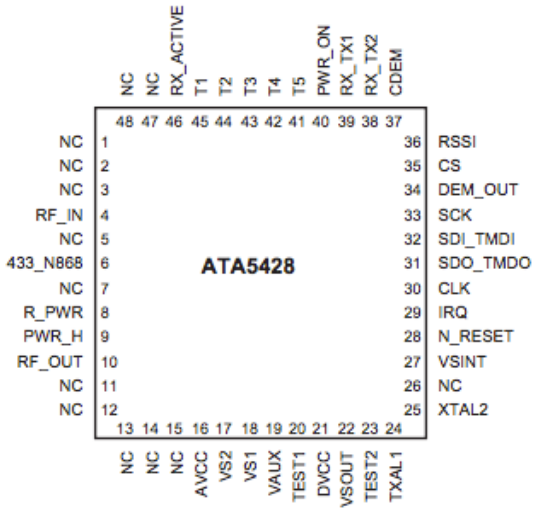


(Elaboración propia)

Desarmando el monitor de los sensores Carchet se pueden encontrar tres circuitos integrados, los cuales son:

- ATA5428C : UHF Transceiver
- HOLTEK HT1621B: RAM Mapping 32X4 LCD Controller for I/O MCU
- SINO WEALTH SH79F166AF: Enhanced 8051 Microcontroller with 10bit ADC

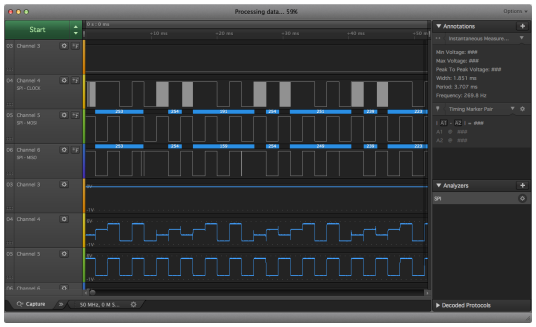
Figura 75. ATA5428



(ATMEL, 2014)

Al conectar los pines RF_IN y RF_OUT, no se obtuvo ningún tipo de señal, mientras que en el módulo de comunicación SPI si existen cuatro señales importantes dos de las cuales podrían contener la información de los sensores.

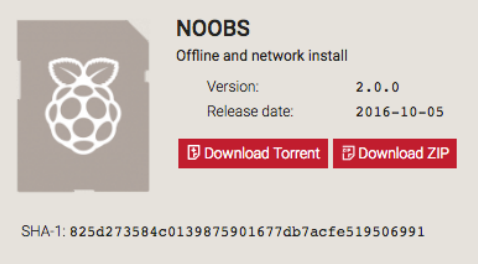
Figura 76. Lectura de datos con Salae Logic



(Elaboración propia)

9. Comunicación Arduino Raspberry Pi 3. Para la comunicación Arduino-Raspberry se está utilizando el puerto USB, sin embargo, se han presentado algunos problemas en cuanto a sincronización de datos por lo que se está evaluando cambiar el puerto USB por los pines RX/TX en la Raspberry Pi. Para la lectura de datos del puerto e interfaz gráfica se tenía planeado utilizar Java y las librerías RX/TX. Para la configuración de las Raspberry se instaló el sistema operativo NOOBS, el cual contiene la Plataforma Java SE disponible.

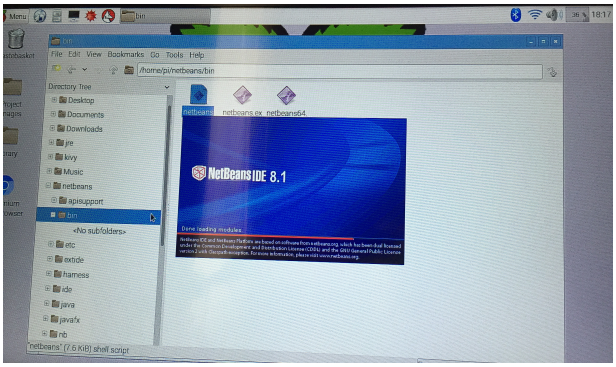
Figura 77. NOOBS



(Raspberry Org. , 2016)

Luego se instaló la plataforma Netbeans para plataformas ARM.

Figura 78. NETBEANS para plataformas.



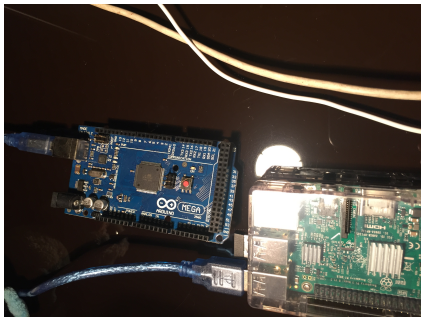
(Elaboración propia)

Figura 79. RXTX desde la terminal.

```
su - root
apt-get install librxtx-java
```

Finalmente, desde la terminal se instaló la librería, una vez instalada se debe cambiar la ruta de los archivos RXTXcomm.jar y librxtxSerial.so. Los resultados no fueron los esperados debido a que el archivo .so no funciona adecuadamente en la Raspberry Pi 3, por lo que se optó por utilizar Python. La librería utilizada para comunicación serial en Python es PySerial la cual ya vienen instalada por default. Además de ésta se instalaron las librerías Numpy, Scipy y Matplotlib.

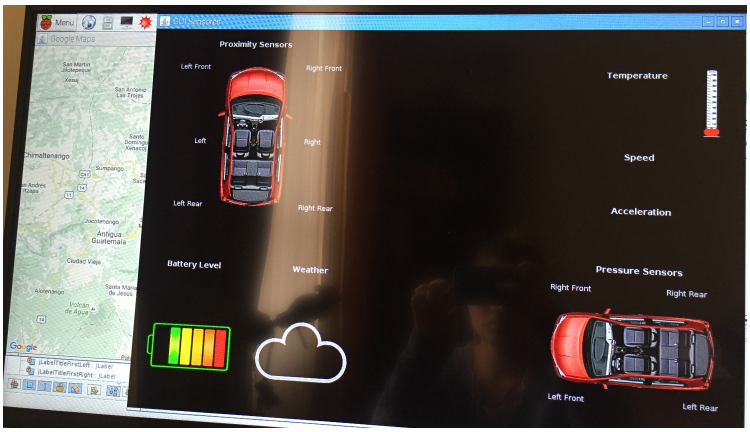
Figura 80. Comunicación Arduino-Raspberry Pi 3



(Elaboración propia)

10. Interfaz gráfica. Para la interfaz gráfica se utilizó Python al principio se había desarrollado una interfaz en Java Netbeans, sin embargo por los problemas de comunicación se cambio a Python.

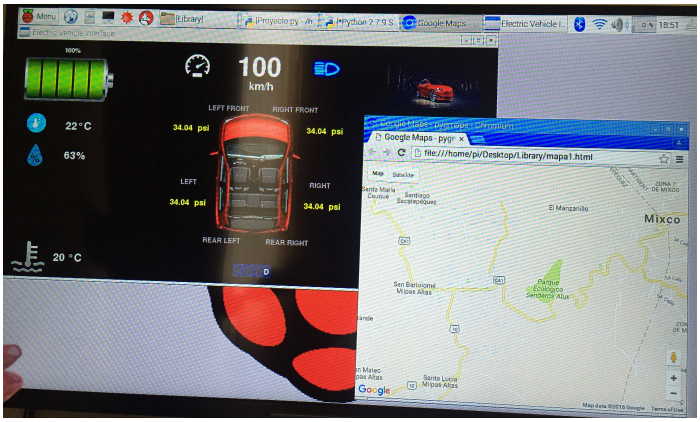
Figura 81. Interfaz en Java



(Elaboración propia)

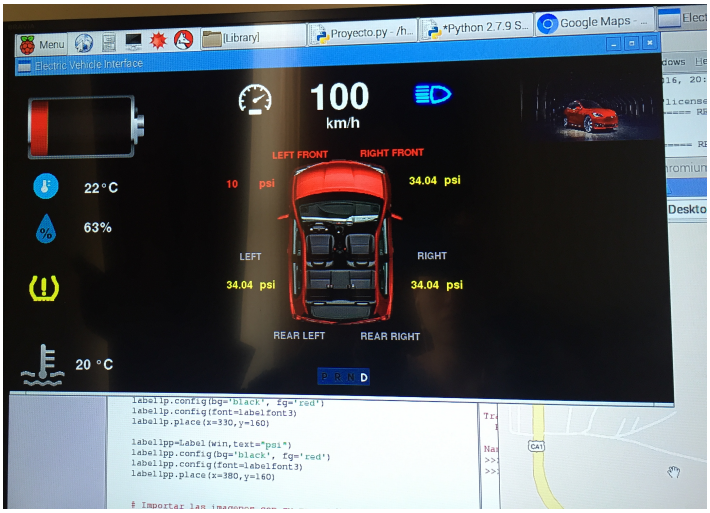
En la interfaz en Python se utilizó la librería Tkinter, la cual ya viene instalada por default. En la interfaz se muestran los datos más importantes. Por otra parte a partir de las coordenadas de latitud, longitud y altitud proporcionadas por el GPS, se pudo generar un mapa en tiempo real utilizando las funciones básicas de Google Maps por lo que el usuario puede acercar o alejar el mapa. Cuando la batería se descarga la imagen de carga cambia, si la presión de las llantas es menor al límite inferior o mayor al límite superior se muestran imágenes de alerta. El color de las etiquetas cambia al tener un obstáculo detectado por alguno de los sensores de proximidad. El valor que todavía no se muestra es el de aceleración.

Figura 82. Interfaz en Python



(Elaboración propia)

Figura 83. Algunas funcionalidades.



(Elaboración propia)

VII. DISCUSIÓN

Se seleccionaron sensores de un costo aceptable para medir ocho variables en un vehículo eléctrico, las cuales fueron velocidad, aceleración, nivel de batería, GPS, presión en las llantas, temperatura del motor, temperatura del ambiente y proximidad de obstáculos. El primer paso para verificar si los sensores se encuentran en buen estado es medir la resistencia entre el cable de tierra y el de la señal de salida, y verificar dicho valor con los datos técnicos de fabricante, en el caso de los sensores Dorman es un valor de 1.8 kΩ y en el caso del sensor del Toyota es una resistencia de 1.5 MΩ. Una vez verificado este parámetro un sensor en buen estado debe genera una señal sinusoidal (AC) con una amplitud entre los 50 a 700 mV, como resultado para ver las variaciones al incrementar la velocidad de giro se debe aumentar la frecuencia de la señal. Una de las consideraciones a tomar en cuenta es que se debe dejar un "air gap" entre la Trigger Wheel y el sensor para obtener la señal deseada. Entre los otros aspectos que se pueden observar utilizando un osciloscopio, es que si la amplitud de una o varias ondas sinusoidales varía en amplitud con respecto al resto significa que la trigger Wheel tiene uno varios dientes dañados. Para poder detectar esta señal utilizando un microcontrolador se debe hacer una etapa de filtrado y una amplificación de la señal.

Conociendo cómo funcionaban estos sensores se eligió un sensor de efecto Hall digital puesto a que ya genera una onda cuadrada en el orden de 0-5 V, señal que puede ser fácilmente detectada por los pines del Arduino. Para poder tener un control del punto a partir del cual se inicia una revolución se debe colocar un imán, de preferencia si este es de neodimio para tener una mejor detección de la señal. Para corroborar si las mediciones eran correctas antes de ser instalados en un vehículo se efectúo la medición de los rpm de un barreno puesto a que se contaba con los valores de rpm en la ficha técnica del mismo. Una vez obtenido los resultados indicados se procedió a probar estos sensores en un vehículo. Si bien el vehículo es de combustión interna y no eléctrico tienen el mismo principio de funcionamiento, en ambos tipos de automóviles estos sensores se instalan en la parte posterior del disco y tiene la misma funcionalidad, comparar las lecturas con el VSS y llevar un control del sistema ABS. Las mediciones efectuadas con el Arduino son iguales a las reportadas por el tacómetro del carro en el cual fueron instalados los sensores. No se deben comparar las revoluciones por minuto obtenidas en la rueda con las revoluciones por minuto reportadas en el tablero puesto a que estas hacer referencia a las rpm del motor, para encontrar ese valor de rpm se debe conocer la relación de engranes en el motor del vehículo en el que se realicen las pruebas. Se midió el radio del disco sobre el cual fue instalado el imán y a partir de ello es posible calcular la velocidad tangencial.

En el caso de la aceleración se optó por utilizar un acelerómetro de 6 ejes de esta forma se puede obtener la aceleración en los ejes “X”, “Y” y “Z” y obtener una resultante. Los valores obtenidos debe ser escalados por un factor dependiendo del nivel de sensibilidad elegido para el sensor en el caso de esta aplicación se eligió ±2g. Las aceleraciones obtenida se encuentran en un rango aceptable, puesto a que la aceleración entre 0 – 100 km/h del carro utilizado es de 3.12 $^{m}/_{s^2}$, los valores reportados en el tráfico son por lo general menores a la mitad, sin embargo se quiere mejorar la instalación de este sensor para poder reportar mejores resultados.

Para medir la temperatura del ambiente se han realizado mediciones a distintas horas del día y se comparan con termómetros y la temperatura detectada por el carro desplegada en el tablero correspondiente. Solo se despliegan las primeras dos cifras significativas del dato obtenido puesto a que las cifras decimales son inciertas y no son necesarias para este tipo de aplicación.

Para medir la temperatura del motor se eligió un termostato que sea capaz de medir temperaturas arriba de los 80ºC, por lo tanto, se debe instalar sobre un material que no interfiera con las lecturas y que sea resistente a altas temperaturas. Las lecturas se han comparado con otros termómetros y utilizando el equipo PASCO. Se utilizó la ecuación de Steinhart-Hart para obtener mejores resultados entre la relación temperatura y resistencia.

Por otra parte, para las mediciones del nivel de batería se efectuaron utilizando una batería convencional, los vehículos eléctricos utilizan paquetes de baterías ion-litio pero el principio para le medición de voltaje sigue siendo el mismo, se deben de tomar en cuenta las fluctuaciones de voltaje presentadas al estar la batería completamente cargada y ser conectada al Arduino. Si se diseñara un sistema más robusto se debería tener un control sobre cada una de las baterías que forman parte de un paquete.

Los sensores de proximidad fueron programados para distintas distancias puesto a que a la hora de conducir es más importante monitorear la distancia entre los obstáculos frontales y los traseros que los laterales, si la distancia fuese mayor en los sensores laterales el sensor no dejaría de emitir alarmas al conducir en nuestras rutas diarias puesto a que identificaría a los carros del carril de a la par. Para verificar las mediciones se utilizó un metro para comparar si los sensores identificaban los obstáculos colocadas a las distancias establecidas por software. En el caso de los sensores de proximidad frontales se eligió una distancia de un metro, mientras que en las laterales se eligió una distancia de 50 centímetros.

En cuanto a los TPMS se buscó obtener el valor de la presión de los neumáticos interceptando la recepción de datos desde el monitor, de esta forma se puede alertar al usuario que neumático requiere de una revisión inmediata.

Finalmente, para el sistema de posicionamiento global se obtuvieron las coordenadas más importantes latitud, longitud y altitud. A partir de estas coordenadas por medio de la librería Gmplot se enlaza con Google Maps para obtener una imagen más clara del lugar en el que se encuentra el vehículo. Al ser posible la obtención de datos a partir del Arduino y a su vez la comunicación con la Raspberry Pi se puso crear una interfaz gráfica capaz de desplegar los datos adquiridos de una forma más amena y que se preste a una interpretación más sencilla.

VIII. CONCLUSIONES

- Se implementaron sensores de Efecto Hall digitales para medir la velocidad tangencial del vehículo, las mediciones realizadas fueron exitosas puesto a que concuerdan con las lecturas del tacómetro del vehículo, utilizando la misma resolución que muestra el tacómetro el porcentaje de error es de 0%.
- Se seleccionó un MPU-6050 para poder llevar a cabo las mediciones de aceleración realizando distintos recorridos.
- Se logró realizar mediciones del nivel de batería acoplando un divisor de voltaje que permite acoplar la señal en un valor de 0-5V en base al voltaje actual de la batería.
- Se logró implementar un termistor para realizar las mediciones de temperatura del motor.
- Se implementó el sensor BME280 para realizar las mediciones de temperatura del ambiente de las cuales se obtuvo un porcentaje de error del 0 % después de transcurrir 5 mediciones.
- Se utilizaron sensores ultrasónicos HSR-04 como sensores de proximidad por su bajo costo y por el rango de distancias a las cuales detectan un objeto. (Ver Cuadro15.)
- Se lograron obtener las coordenadas de posicionamiento global utilizando un módulo SIM808 debido a su gran alcance para este tipo de aplicación.
- Se comparó el funcionamiento entre los sensores marca Schrader y marca Carchet, se seleccionaron los marca Schrader debido a que sus lecturas coinciden con las efectuadas en un manómetro.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar un proyecto en el cual en vez de crear un kit de sensores se trabajen cada uno de los módulos de control de un vehículo, de esta forma no solo se obtendrán mediciones de sensores sino se puede monitorear con mayor certeza el desempeño del vehículo y como una falla en un subsistema afecta a otro. El sistema de control principal sería el encargado de llevar un control de toda la información proveniente de cada subsistema.

Se recomienda contar con un vehículo eléctrico en el cual se puede llevar a cabo la instalación de dichos sensores para que se puede invertir en los sensores correspondientes.

X. BIBLIOGRAFÍA

Adam Fabio. *Tesla Model S Battery Teardown.* http://hackaday.com/2014/09/13/tesla-model-s-battery-teardown/ [01 de agosto de 2016]

Arduino. *Arduino Basics*. 15/06/16, de Arduino Sitio web: https://www.arduino.cc/ [16 de julio de 2016]

ATMEL. *ATA5428*. http://www.atmel.com/Images/Atmel-4841-Transceiver-ICs-ATA5428_Datasheet.pdf [18 de julio de 2016]

Austin, Tom. *Tire Pressure Monitoring.* http://www.ironbutt.com/ibmagazine/IBMag4-p76-83.pdf [20 de julio de 2016]

Bob Tabor.*C# Fundamentals for Absolute Beginners*.16/05/16, de Microsoft Sitio web: https://mva.microsoft.com/en-us/training-courses/c-fundamentals-for-absolute-beginners16169?l=Lvld4EQIC_2706218949 [22 de julio de 2016]

Bridgestone. (2016). What is TPMS and how does it work?.13/06/16, de Bridgestone Americas Sitio web: http://www.bridgestonetire.com/tread-and-trend/drivers-ed/tire-pressure-monitoring-system-how-tpms-works [10 de agosto de 2016]

Cadie Thompson. (2016). Cars similar to Tesla.15/06/16, de TECH insider Sitio web: http://www.techinsider.io/cars-similar-to-tesla-model-s-photos-2016-6 [17 de septiembre de 2016]

Carl Pickering. (2013). Human interaction with electric vehicles.14/06/16, de SpringerLink Sitio web: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-77980-3_11#page-2 [01 de octubre de 2016]

Coleman Benson. (2012). Accelerometers, Gyros, IMUs. 15/06/16, de RobotShop Sitio web: http://www.robotshop.com/blog/en/arduino-5-minute-tutorials-lesson-7-accelerometers-gyros-imus-3634 [24 de julio de 2016]

Eben Upton. (2016). Raspberry Pi 3. 13/06/16, de Raspberry Pi Sitio web: https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-on-sale/ [12 de agosto de 2016]

Electrow. *SIM808*. http://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=SIM808_GPRS/GSM%2BGPS_Shield_v1.1 [10 de septiembre de 2016]

Endesa. *Tipos de Vehículos Eléctricos.* http://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/el-vehiculo/tipos [20 de agosto de 2016]

Frances. *Tracker GPS con Raspberry Pi.* 13/06/16, de Fpaez Sitio web: http://fpaez.com/tracker-gps-con-raspberry-pi/ [09 de septiembre de 2016]

Gilles, Tim. *Automotive Service*https://books.google.com.gt/books?id=Ji5BAAAQBAJ&pg=PA530&lpg=PA530&dq=digital+vehicle+speed+sensor+vs+analog+vehicle+speed+sensor&source=bl&ots=XV8XzuEzND&sig=_kSvsSHKqtShpSy2wxmicrE97WU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjk6PiXzMXPAhXFKiYKHbbiDlAQ6AEIaTAN#v=onepage&q=digital%20vehicle%20speed%20sensor%20vs%20analog%20vehicle%20speed%20sensor&f=false
[25 de septiembre de 2016]

HOLTEK. *HT1621*.http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/96976/HOLTEK/HT1621B.html
[15 de septiembre]

Honeywell. (2015). MICRO SWITCH Sensing and Control 1.http://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf
[07 de septiembre de 2016]

Hyperphysics. *Ley de los Gases Ideales* .http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kinetic/idegas.html
[02 de octubre de 2016]

Infineon. (2016). *Hybrid Electric and Electric Cars*. 14/06/16, de Infineon Sitio web: http://www.infineon.com/dgdl/Hybrid+Electric+and+Electric+Cars_BR_2014_Web.pdf?fileId=db3a30432ba3fa6f012ba4a6027b0002

John Voelcker. (2013). *Electric Vehicles Need More Study, Less Emotion*. 14/06/16, de IEEE Spectrum Sitio web: http://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/electric-vehicles-need-more-study-less-emotion

Li Jiling,.*Battery Thermal Management Systems of Electric Vehicles*http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/200046/200046.pdf
Mercedes Benz. *Mercedes AWG.* https://www.mercedes-amg.com/home.php?lang=eng

New Energy and Fuel. *The Best Electric Vehicle Motor*.http://newenergyandfuel.com/http:/newenergyandfuel/com/2010/02/09/the-best-electric-vehicle-motor/
[07 de agosto de 2016]

NXP. (2014). *Intelligent Battery Sensor with CAN and LIN*. 15/06/16, de NXP Sitio web: http://www.mouser.com/ds/2/302/MM9Z1_638D1-782427.pdf [08 de septiembre de 2016]

PEUGEOT. *Especificaciones Técnicas modelo 307 año 2007*
http://www.avantpeugeot.com.ar/peugeot-307-ficha-tecnica.html [28 de julio de 2016]

SAE International. *Vehicle Thermal Management.*
https://books.google.com.gt/books?id=V9lyAgAAQBAJ&pg=PA352&lpg=PA352&dq=temperature+for+an+EV+engine&source=bl&ots=_MeIMsCb74&sig=vAs4c5Q0MowFiWzc2hogPCsqmoA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj25cyw5L3PAhVF1x4KHfeZAk8Q6AEIGjAA#v=onepage&q=temperature%20for%20an%20EV%20engine&f=false [09 de agosto de 2016]

SinoWealth. *SH79F166*.
http://www.sinowealth.com/en/softdown_body.asp?type_id=1&cat_id=7&type_name=Data%20sheet
[12 de septiembre de 2016]

SKF. *Sensor Units for Hybrid and Electric Vehicles*. http://www.skf.com/in/products/bearings-units-housings/engineered-products/sensor-bearing-units/other-sensor-bearing-units/sensor-units-for-motor-control-of-hybrid-and-electric-vehicles/index.html [20 de agosto de 2016]

Texas Instruments. *Hybrid and Electric Vehicle Solutions Guide*. http://www.ti.com/lit/ml/szza058c/szza058c.pdf [17 de agosto de 2016]

The Boston Consulting Group Inc *Batteries for Electric Cars; Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020*; www.bcg.com/documents/file36615.pdf .[14 de agosto de 2016]

Tkinter. *Tkinter Programming.* https://wiki.python.org/moin/TkInter [08 de agosto de 2016]

U.S. Department of Energy.*Alternative Fuels*. http://www.afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html
Underhood Services. *Wheel Speed Sensor Diagnostics*.http://www.underhoodservice.com/wheel-speed-sensor-diagnostics-for-meters-and-scopes/ [12 de agosto de 2016]

Union of Concerned Scientists.*Electric Vehicles.* http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles#.V-UVpJPhCRt [10 de agosto de 2016]

VirtualBox .*Acelerómetro*http://hetpro-store.com/TUTORIALES/acelerometro-mpu-6050-6dof/ [27 de julio de 2016]

XI. ANEXOS

Todos los archivos de programación utilizados en la realización del proyecto se encuentran en el siguiente link:

- https://github.com/SaraLA94/EV/tree/master