

# Data Acquisition System for a BAJA 2017-18

Alfonso Campos V, M. en C.<sup>1</sup>, Alejandro Escamilla Navarro, M. en C<sup>2</sup>, and Noé Oliva M. Dr.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UPIITA, Mexico, [acampos@ipn.mx](mailto:acampos@ipn.mx),

<sup>2</sup> INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UPIIH, México, second.author [aescamin@hotmail.com](mailto:aescamin@hotmail.com), third.author [loliva@ipn.mx](mailto:loliva@ipn.mx)

**Abstract**– *This text shows the information of a data acquisition system (DAQ for its acronym in English) for a vehicle type terrain LOW, which aims to measure variables such as the route of the suspension, the acceleration of the vehicle, as well as its speed, the engine temperature and in the CVT.*

**Keywords**- *Acquisition of data, CVT, BAJA*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.197>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

# Sistema de Adquisición de Datos de un Vehículo tipo BAJA 2017-18

Alfonso Campos V, M. en C.<sup>1</sup>, Alejandro Escamilla Navarro, M. en C<sup>2</sup>, and Noé Oliva M. Dr.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UPIITA, Mexico, [acampos@ipn.mx](mailto:acampos@ipn.mx).

<sup>2</sup>INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UPIIH, México, second.author [aescamin@ehotmail.com](mailto:aescamin@ehotmail.com), third.author [loliva@ipn.mx](mailto:loliva@ipn.mx)

**Abstract**– Este texto muestra la información de un sistema de adquisición datos (DAQ por sus siglas en inglés) para un vehículo todo terreno tipo BAJA, el cual pretende medir variables como el recorrido de la suspensión, la aceleración del vehículo, así como su velocidad, la temperatura del motor y en la CVT.

## I. INTRODUCCIÓN

Para la construcción de un vehículo es necesario recolectar datos que son elementales para su diseño o mejora, como las fuerzas a las que estará sometido, de modo que las partes que lo compongan resistan y se aproximen a un ideal, algunos de estos datos suelen ser conocidos (gravedad, peso, etc.), pero otros son muy particulares (velocidad, temperatura). Por lo que se requiere una medición de estas variables para conocer su comportamiento.

### A. Sistema de Adquisición de Datos

DAQ (Data Adquisition System) por sus siglas en inglés, es un conjunto de sensores que miden y recolectan información en un determinado periodo para su posterior análisis e interpretación. En este caso la información proviene de variables físicas que se transforman, a través de los sensores, en una señal analógica o digital, dicha señal se procesa en un microcontrolador y posteriormente se almacena en una memoria Micro SD (para este caso).

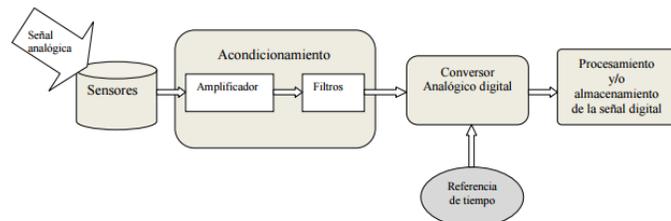


Fig. 1 Diagrama a bloques de Adquisición de Datos.

### B. SAE International

*Society of Automotive Engineers* (por sus siglas en inglés), es una organización mundial que se compone de más de 128,000 ingenieros, estudiantes y expertos en la industria aeroespacial y automotriz, la cual pretende, a través, de uno de sus programas llamado *Collegiate Design Series*, introducir a los estudiantes de nivel superior al entorno laboral, mediante una serie de competencias, donde los futuros ingenieros apliquen sus conocimientos en el diseño y manufactura de un prototipo de vehículo, desarrollando sus capacidades y aprendiendo nuevas.

### C. BAJA SAE Series

Una de las competencias que ofrece SAE internacional es el desarrollo de un auto tipo todo terreno (*off-road*), en donde la resistencia y versatilidad del vehículo se pone a prueba en *condiciones extremas* para un auto convencional.

La Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas del INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL es representada por el capítulo estudiantil BAJA SAE UPIITA, el cual se encarga del diseño y la manufactura de dicho vehículo, el cual debe cumplir con ciertas características para poder competir, que van desde sus dimensiones, materiales hasta el motor de combustión interna como fuente de potencia.

La siguiente imagen es una vista del prototipo APOLO el cual tiene una altura de 1.64 m, 2.4 m de largo y 1.62 m de ancho, compuesto de un sistema independiente de suspensión, frenos y dirección, así como, un Sistema de Adquisición de Datos. El vehículo se desarrolló a comienzos del año 2017 y está en un proceso de mejoramiento.



Fig. 2 Vista lateral del prototipo APOLO

### D. Variables a medir

Se pretende obtener lo siguiente: recorrido de los amortiguadores en cada llanta, velocidad instantánea del vehículo, así como su aceleración, la temperatura del motor y la del ambiente dentro de la guarda donde se encuentra la CVT (Transmisión Variable Continua), finalmente la aceleración que sufre el chasis en sus tres ejes (X, Y, Z).

Siendo el recorrido de la suspensión y la aceleración del chasis las más importantes para diseño, pues con el recorrido de la suspensión es posible calcular fuerza del impacto y lograr una mejor caracterización de estos, y la aceleración del chasis para conocer la fuerza a la que estará sometida la suspensión en un salto, una caída o al frenar, así como la inclinación del chasis.

## II. DESARROLLO DEL SISTEMA

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.197>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

El sistema se diseñó a la par que el prototipo APOLO para evitar problemas al ensamblar o conectar el dispositivo al vehículo, aun así, este posee un diseño flexible para modificaciones.

Cada variable se mide por separado y su almacenamiento es independiente, ya que cada una de estas se guarda en un archivo de texto (extensión *.txt*) distinto y con un nombre único.

**RPM:** Se miden a través de un sensor magnético, en específico un RedSwitch, el cual es un alambre encapsulado, en su interior se encuentra un circuito que en la presencia de un campo magnético se cierra y deja fluir la corriente.

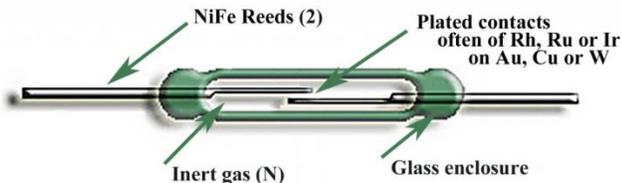


Fig. 3 Esquema interno de un Red Switch

El sistema lo completa un imán colocado en una base espacial que se encuentra sobre el eje de salida de la transmisión.

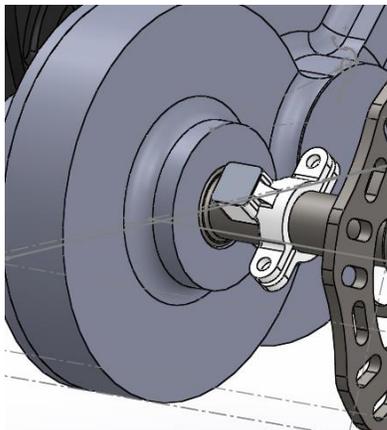


Fig. 4 Base para imán de RPM

Lo destacado de este sistema es lo simple que resulta montar y tomar la lectura del sensor, pues la señal arrojada es digital, además de no ser afectado por el agua, tierra o lodo del ambiente, pues solo reacciona en presencia de un campo magnético.

**Recorrido de Suspensión:** Para medir esta variable se consideró que las dimensiones deberían ser lo más pequeña posibles para evitar su daño al estar expuesto a las condiciones del terreno y clima, evitando tomar la lectura a través de un sensor óptico o mecánico, debido a que el lodo obstruiría el sistema y la lectura fallase.

La solución fue utilizar un sensor de Efecto hall, el cual es capaz de medir la intensidad del campo magnético, de este modo ninguno de los factores mencionados llegará a perjudicar la lectura.

El modelo SS495B cumple con las características mencionadas, con un alcance de hasta 4 pulgadas y una capacidad de medición de hasta 640 Gauss (Figura 5). Gracias a su funcionamiento, el SS495B es un sensor resistivo, es decir, varía su resistencia en presencia del campo magnético por lo cual es necesario un circuito divisor de tensión, donde la lectura que toma el sensor es enviada por la toma principal del mismo, mediante una simple formula (1) es posible conocer el valor de la tensión de salida del sensor.

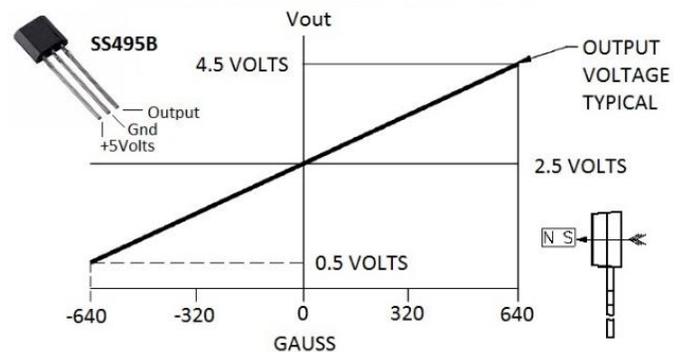


Fig. 5 Grafica Tensión – intensidad de Campo magnético

$$V_{out} = V_{in} \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} \quad (1)$$

El sensor es colocado en el chasis cerca de la sujeción a una de las horquillas, mientras que el imán se encuentra en una base especial colocada en un extremo de la horquilla.

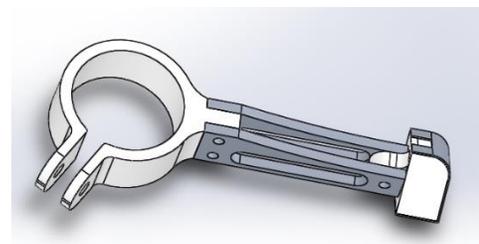


Fig. 6 Base para Sensor Efecto Hall

De este modo al moverse la horquilla por la acción de los amortiguadores el campo captado por el sensor varía, mediante un análisis geométrico se puede obtener el ángulo en que se encuentra la suspensión y de este modo el desplazamiento del amortiguador.

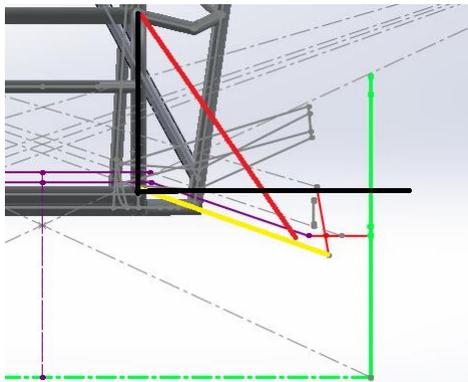


Fig. 7 Representación gráfica de la suspensión

Gracias a que este sensor entrega una relación lineal entre la tensión de salida y la intensidad del campo es posible medir el desplazamiento de la suspensión en un instante de tiempo.

**Aceleración en 3 ejes:** Mediante el uso del acelerómetro con giroscopio integrado, modelo MPU-6050, se realizó la medición de la aceleración en los ejes X, Y, Z, a dicho acelerómetro se le programa un *filtro pasa bajas* para disminuir el ruido de la señal, además de configurar su sensibilidad para lograr una lectura adecuada y real a las requeridas. Este dispositivo fue colocado lo más cerca posible del *centro de gravedad* del auto para obtener una lectura general del comportamiento del vehículo.



Fig. 8 Ubicación del acelerómetro en el vehículo

El acelerómetro arroja una señal digital, uno solo de estos dispositivos es capaz de leer la aceleración en los tres ejes coordenados, con una frecuencia de 2Hz para minimizar la vibración del motor y una comunicación con la unidad de procesamiento de hasta 400 kHz mediante el protocolo I2C, la cantidad de datos almacenada es suficiente para conocer el comportamiento del vehículo en todo momento.

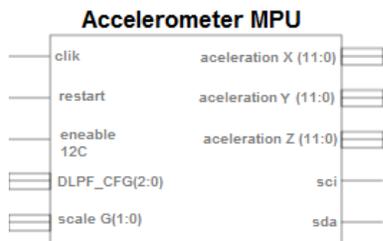


Fig. 9 Esquema del acelerómetro MPU60-50

La importancia de medir la aceleración en todo momento, cuando el vehículo se encuentra en situaciones extremas como un salto o volcadura, así como demandantes, al frenar y dar un giro, reside en las *fuerzas g* a las que están sometidas las partes de este.

Un ejemplo es la suspensión y sus partes, como el mango de dirección, donde todos los componentes de este sistema se unen junto con la cremallera de dirección y, por supuesto, la llanta.

Aquí la aceleración en una vuelta es medida y puede llegar a 3 g en momentos, esta magnitud sumada al peso del vehículo resulta en una fuerza concentrada en punto, en este caso el mango de dirección, el cual debe ser diseñado para soportar tales fuerzas.

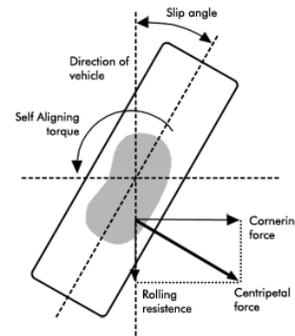


Fig. 10 Diagrama de fuerzas en la llanta al girar

**Temperatura:** La temperatura en cualquier sistema es un dato importante, ya que la eficiencia de este se puede ver reflejada en la cantidad de calor que emite, es por eso que se pretende medir la temperatura en la CVT para relacionar su eficiencia con la temperatura en su entorno, y en el motor para conocer el tiempo en que tarda en llegar a la temperatura de mantenimiento (Aprox. 90 °C) y la relación temperatura-RPM de este.

Mediante un *termistor tipo K*, el cual es un sensor resistivo que posee un rango de 0 °C a 120 °C y una impedancia máxima de 10 kohms, la cual es alcanzada al registrar la temperatura mínima del rango, por ser del tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*) por sus siglas en inglés, es decir, cuando la temperatura aumenta la resistencia en el sensor disminuye.

Al igual que el sensor de Efecto Hall, este sensor necesita de un circuito divisor de tensión para conocer la lectura de este, mediante la relación de  $V_{in}$  y  $V_{out}$ .

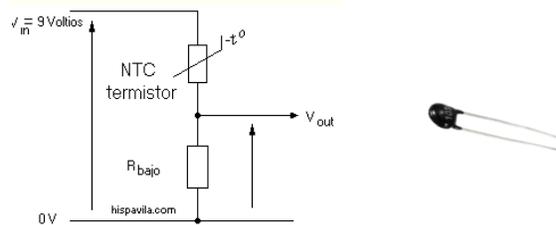


Fig. 11 Esquema del circuito Divisor de Tensión e imagen de un termistor tipo K

Un aspecto importante es que la lectura del sensor no es lineal, ya que la relación de temperatura-resistencia produce una función exponencial, debido a esto se debe caracterizar el sensor, es decir, encontrar los coeficientes de dicha función, mediante la ecuación *Stain-Hart* (2) es posible caracterizar la curva de comportamiento del termistor y así conocer la temperatura real medida por este.

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C[\ln(R)]^3 \quad (2)$$

Dónde: T es la temperatura en grados Kelvin  
R es la resistencia en ohms  
A, B y C son las constantes de la ecuación

Para encontrar dichas constantes se deben tomar 3 mediciones con el sensor a distintas temperaturas y colocarlas en el siguiente sistema de ecuaciones (3) para su resolución.

$$\begin{bmatrix} 1 & \ln(R_1) & \ln^3(R_1) \\ 1 & \ln(R_2) & \ln^3(R_2) \\ 1 & \ln(R_3) & \ln^3(R_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix} \quad (3)$$

La resistencia medida con la primera medición de temperatura y así respectivamente, los coeficientes resultantes se colocan en la Ecuación (2), esta es colocada en el sistema de procesamiento y así todos los datos que lleguen de este sensor serán almacenados con la temperatura real medida.

Para medir la temperatura en el motor se colocó un *termistor tipo k* de 10 kohms dentro de una de las tomas del aceite, tal como se hace en la industria automovilística, esto con el fin de que el sensor este en contacto con el aceite y la medición sea lo más próxima a la que se encuentra el motor.

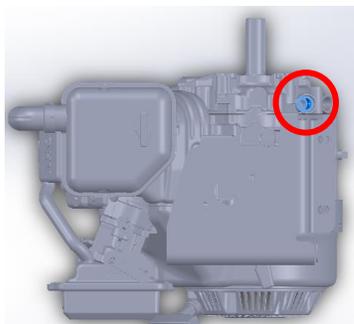


Fig. 12 Toma de aceite donde se ubica el termistor

En el caso de la CVT, el termistor se ubica dentro de la guarda que contiene las poleas, con el objetivo de tomar la temperatura lo más próxima a la banda.

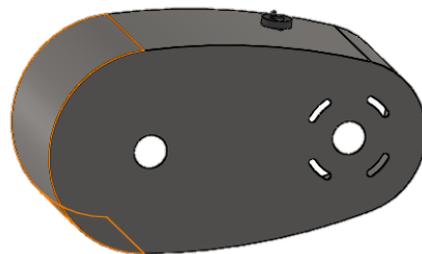


Fig. 13 Termistor ubicado en la guarda de la CVT

**Sistema de Procesamiento y Almacenamiento:** Para almacenar los datos primero se deben procesar, esto se realiza con el propósito guardar datos coherentes y no solo simbólicos, para esto, se le da un valor a cada dato de entrada.

El sistema de procesamiento y almacenamiento consta de una fuente reguladora de tensión, para mantener una alimentación constante y segura, sin la necesidad de utilizar baterías especiales para cada sensor. Para procesar y ordenar la información que llega de los sensores se utiliza una tarjeta Arduino NANO (Fig. 14), basada en un microcontrolador ATmega328P y arquitectura AVR, cuenta con 8 pines analógicos y 22 digitales, de los cuales, 4 analógicos son utilizados para los sensores de Efecto Hall (uno para cada amortiguador), y otros 2 los ocupan los termistores, en el caso de los pines digitales, 2 están destinados a los acelerómetros y 1 para el Red-Switch de las RPM.

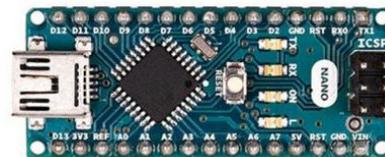


Fig. 14 Arduino NANO

Para guardar los datos ya procesados, el Arduino NANO es conectado a un módulo Micro SD (Fig. 15), el cual es capaz de registrar datos, música, imágenes y videos, es una extensión de memoria del microcontrolador y su capacidad de almacenamiento es la de la memoria SD que sea conectada, a través de una interfaz SPI la comunicación se realiza. Lo conveniente de este módulo es que ordena la información de cada sensor individualmente como un archivo de texto, mediante código se le asigna un nombre a dicho archivo y a este se le van añadiendo los datos sin necesidad de borrar o crear de nuevo el archivo.



Fig. 15 Modulo para tarjeta Micro SD

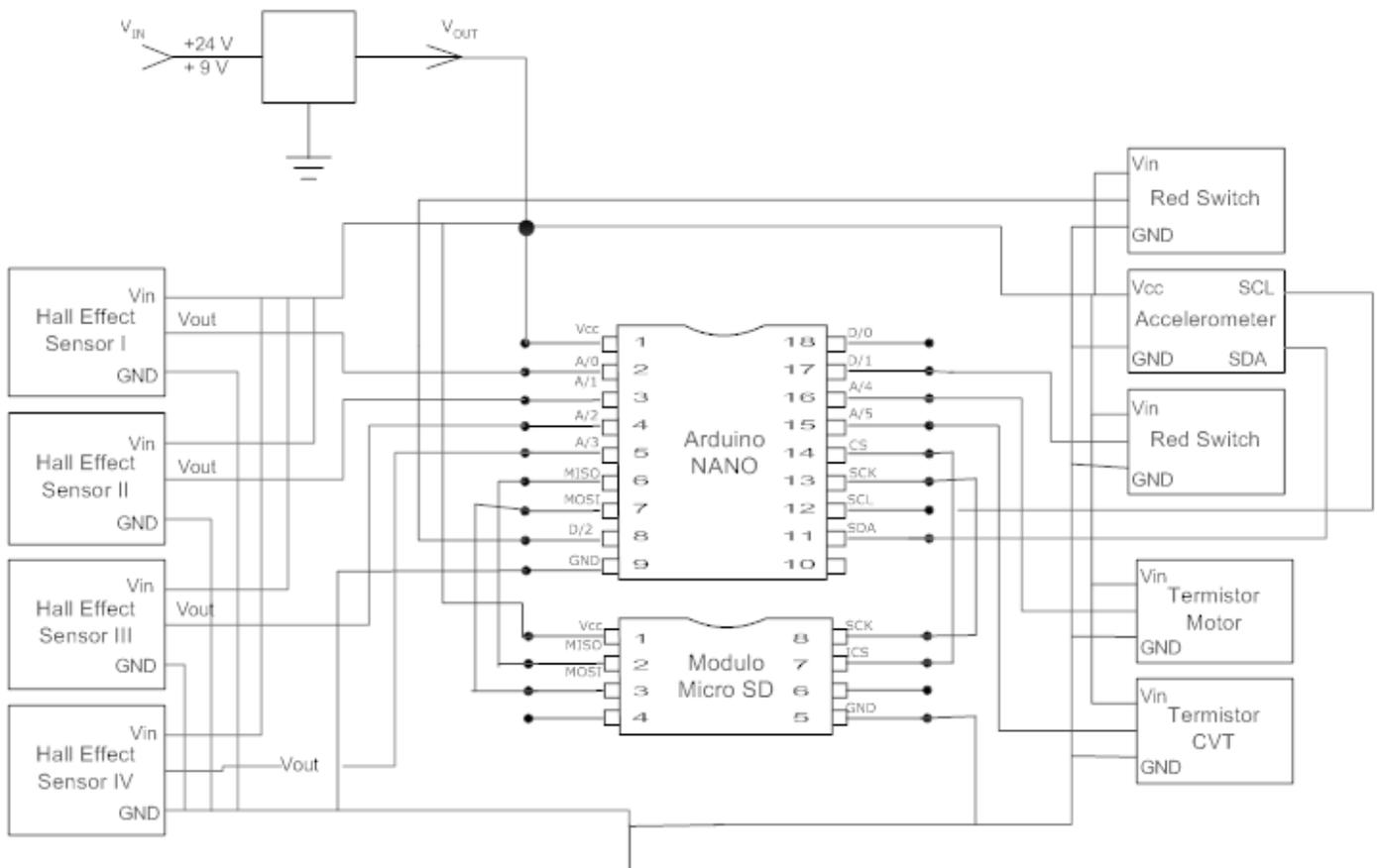


Fig. 16 Diagrama de conexión de Sistema de Adquisición de Datos para vehículo tipo BAJA

**MOSI:** *Master Out Slave In*, línea que envía los bits del maestro al esclavo.

**MISO:** *Master In Slave Out*, línea que envía los bits del esclavo al maestro.

**CLK:** *Clock*, línea que envía la señal de reloj.

**SS:** *Slave Select*, línea que selecciona y habilita a un esclavo.

Al igual que la comunicación I2C se dice que es *Serial* y *Síncrona*, con la característica de tener cuatro modos para enviar la información, la cual depende de las combinaciones de estados del *modo de reloj* y el *flanco de transición*.

Las señales provenientes de los sensores son procesadas con un microcontrolador de 8 bits, es decir, una definición de 256 de dígitos de rango, por lo que una tensión máxima de 5 V equivale a un 255 en decimal, cabe mencionar que la tensión de mantenimiento, así como la tensión máxima y mínima a la que trabaja cada sensor, y esta definición se de muestreo se adecua a dichos límites mediante programación.

Como se muestra en el diagrama de conexión (Fig. 16) todos los sensores se conectan directamente a la tarjeta Arduino NANO, la cual procesa dato a dato y los envía a la unidad de almacenamiento (Módulo Micro SD) la cual se encarga de

**Comunicación I2C:** El protocolo *Circuito Interintegrado* (por sus siglas en inglés) fue desarrollado en los años 80s, para comunicar varios chips al mismo tiempo, toma lo mejor de sus predecesores (*SPI* y *UART*) logrando una comunicación más rápida y facilidad para el manejo de datos.

Mediante un par de terminales digitales se logra la conexión:

**SDA:** *Serial Data*, es la línea de comunicación.

**SCL:** *Serial Clock*, es la línea de la señal de reloj.

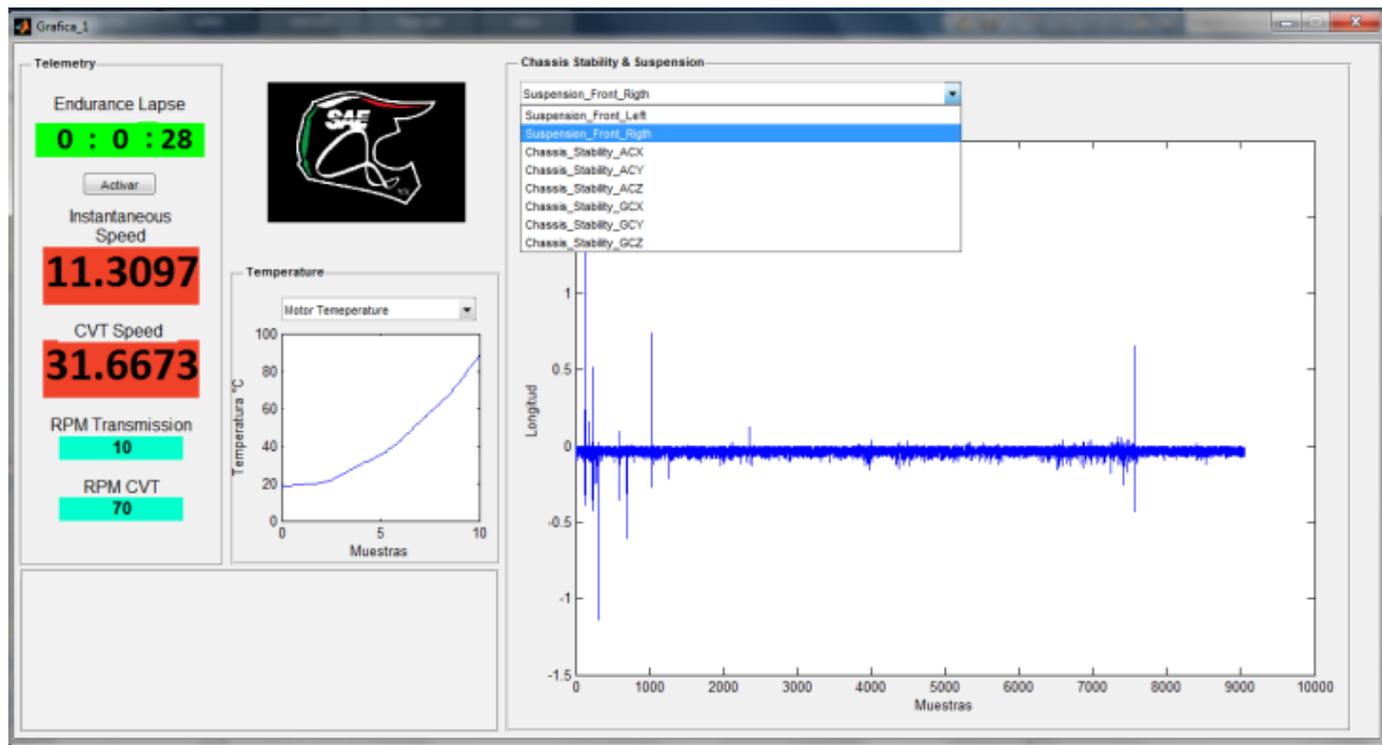
Debido a que solo una línea es la vía de comunicación, se dice que es una comunicación *Serial*, otro punto importante es la presencia de una señal de reloj, es decir, que debe existir una sincronización entre el emisor y receptor, por lo que se dice que también es una comunicación *Serial*.

**Comunicación SPI:** El protocolo de *Interface Periférica* (por sus siglas en inglés) también desarrollado a principios de los 80s, se basa en la comunicación *Full Duplex* que es la capacidad de enviar y recibir información entre dos dispositivos al mismo tiempo mediante canales diferentes.

Mediante cuatro líneas lógicas de terminales se logra la comunicación:

guardar la información y ordenarla en archivos de texto individuales para cada variable.

lectura y escritura, finalmente se cierra el archivo y el proceso se repite de nuevo.



Esta interacción se logra gracias a la comunicación sistemática y coherente entre sensor, microcontrolador y memoria, mediante terminales especiales para cada protocolo de comunicación como *I2C* para los acelerómetros y *SPI* para el Modulo Micro SD.

Para el caso de la comunicación *I2C* el acelerómetro toma una lectura de 8 bits, esta es enviada a la unidad de procesamiento donde es acondicionada por un filtro pasa bajas de 5Hz, posteriormente se reconoce si proviene del giroscopio o de un acelerómetro y a cual eje corresponde, finalmente se traduce a grados o  $m/s^2$  (según sea el caso) y se le asigna una variable, esta variable tendrá la función de identificar el tipo de dato para guardarlo en un archivo de texto específico.

Para el almacenamiento de datos que se basa en la comunicación *SPI* el proceso comienza con identificar el pin Cs al que se ha conectado el modulo, segundo paso es comprobar si existe un archivo con el nombre especificado y su directorio en la tarjeta SD, el tercer paso es crear el directorio y subdirectorios especificados, retorna una variable lógica dependiendo del estado, posteriormente se abre el archivo especificado, ac

### III INTERFAZ GRÁFICA

Para interpretar los datos almacenados se ha desarrollado una GUI (Graphical User Interface) en el software matemático MATLAB™ R2013, dicha interfaz tiene como fin mostrar una expresión gráfica de las variables medidas, así como un entendimiento del comportamiento del vehículo.

La GUI cuenta con un lista de selección para elegir la variable que se desea mostrar en la gráfica principal, a un costado se muestra otra grafica que muestra la temperatura del motor y CVT en grados centígrados, mientras que en la parte izquierda aparece en color verde el tiempo total de la prueba, la velocidad del auto, así como de las RPM del eje de salida de la transmisión y la CVT, esta última se obtiene de la relación de entrada y salida de la caja de transmisión, la cual es aprox. 7.3 a 1.

Fig. 17 Interfaz gráfica desarrollada en MATLAB™ R2013

## CONCLUSIONES

La implementación de un Sistema *ajeno* a un vehículo (no indispensable para su funcionamiento) suele presentar dificultades, en el caso de un monoplaza todo terreno implica un esfuerzo mayor, debido a las condiciones poco habituales para un auto, es por eso que la elección de componentes y métodos para la medición de variables físicas fue la primera instancia en este desarrollo.

En comparación a sistemas similares anteriores la disminución de dimensiones y peso ha resultado en una mejora al momento de ensamblar y ofrece la oportunidad de mantener el sistema en pruebas más demandantes y que requieren de una autonomía superior de la alimentación y capacidad de almacenamiento, con el plus de que este nuevo diseño (DAQ) tiene un costo menor al anterior.

Se ha migrado de una tecnología de procesamiento, de métodos de medición e incluso de interfaz, con el fin de un desarrollo más simple para su elaboración y su ampliación, sin mencionar las nuevas variables que se ahora se toman en cuenta para medir.

Lo anterior obedece a un propósito específico, el entendimiento del comportamiento del vehículo en forma particular para lograr una mejora general, esto ya se ha venido haciendo y resulta de gran ayuda al momento de rediseñar partes del vehículo o para el diseño de nuevos prototipos como ha sido el caso.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al capítulo estudiantil BAJA SAE UPIITA de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional por su apoyo en la construcción del prototipo en el cual este sistema de adquisición de datos fue probado, así como todas las facilidades que ofrecieron.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.sae.org/about/>
- [2] Reza N. Jazar, *Vehicle Dynamics: Theory and Application*, Springer, 2008.
- [1] Tomas D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, 2006.
- [2] J. Segers, *Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition*, Warrendale, PA: SAE International, 2008.
- [3] Digilent. *Nexys 2 Reference manual*, <http://www.digilentinc.com>, 2014.
- [4] US digital. *Incremental Lineal Encoders*, <http://www.digilentinc.com>, 2014.
- [5] M. Rodríguez, A. Escamilla, A. Campos. “ Sistema de adquisición de datos para vehículo de radio control a escala 1:10 implementado en un dispositivo de lógica programable”, Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Santo Domingo, Dominican Republic, 2015.

- [6] M. Rodríguez, A. Escamilla, A. Campos. “Data acquisition system on an off-road vehicle by a programmable logic device”, *American Journal of Engineering Research*, 2016.