



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Experiencias en la operación del  
sistema D&E para un vehículo de  
competencia 2017**

**TESINA**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A**

Eduardo Malagón Sánchez

**DIRECTOR DE TESINA**

M. en A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

# Contenido

---

1	Introducción .....	1
2	Objetivos .....	2
2.1	Objetivo General .....	2
2.2	Objetivos Específicos .....	2
2.3	Motivación .....	2
3	Antecedentes.....	3
3.1	Fórmula SAE.....	3
3.2	UNAM Motorsports – Adquisición de Datos y Electrónica.....	4
3.3	Planteamiento del problema.....	4
3.4	Temporada 2016 .....	5
3.4.1	Características deseadas para el diseño .....	5
3.4.2	Problemas Obtenidos .....	6
3.4.3	Aciertos Obtenidos.....	7
4	Temporada 2017.....	8
4.1	Necesidades del sistema .....	8
4.2	Objetivos de diseño .....	9
4.3	Componentes para el control del motor .....	10
4.3.1	Sensores en el motor de combustión interna.....	11
4.3.2	Actuadores en el motor de combustión interna .....	12
4.4	Medición de variables para la adquisición de datos.....	13
4.4.1	Variables a medir .....	13
4.4.2	Elección de sensores.....	14
4.4.3	Tipos de señales .....	17
4.5	Elección de componentes principales .....	18
4.6	Diseño del circuito.....	19
4.6.1	Requerimientos en componentes.....	19
4.6.2	Sistema de colores .....	23
4.7	Banco de pruebas.....	24
4.7.1	Registro del hardware .....	24
4.7.2	Instalación de Software.....	24
4.7.3	Primer encendido de ECU .....	25
4.7.4	Configuración de la ECU.....	26
4.7.5	Conexión Datalogger AQ-1 con Infinity ECU serie 7.....	29

4.8	Conexión de sensores.....	31
4.9	Diseño de componentes y cableado en CAD.....	31
4.9.1	Piso.....	32
4.9.2	Caja.....	32
4.9.3	Portafusibles.....	33
4.9.4	Soporte Over-Travel.....	33
4.9.5	Cableado.....	34
4.10	Rediseño.....	34
4.10.1	Justificación.....	34
4.10.2	Solución de diseño.....	35
4.11	Manufactura.....	36
4.12	Pruebas.....	36
5	Resultados.....	38
5.1	Observaciones en competencias.....	38
5.1.1	Formula SAE Italia.....	38
5.1.2	Formula Student Austria.....	39
5.1.3	Formula Student Alemania.....	41
5.2	Retroalimentación de jueces.....	41
6	Conclusiones.....	43
7	Futuro desarrollo.....	45
	Referencias.....	47

# 1 Introducción

---

En la Facultad de Ingeniería existen diversos proyectos extracurriculares desarrollados por los alumnos. El presente escrito habla sobre la elaboración del sistema de adquisición de datos y electrónica de un vehículo de carreras en el 2017, el cual se estructura en 7 capítulos.

Primero se mencionan los objetivos y la principal motivación para la elaboración de los cambios descritos y propuestas de mejoras del sistema.

Como siguiente paso, se habla sobre los antecedentes, en donde se describen los fines de la competencia, la creación del sistema en el equipo formado por alumnos de la UNAM, el planteamiento del problema que da lugar a los objetivos y finalmente, la retrospectiva de lo ocurrido en la temporada anterior para encontrar las ventajas y desventajas del sistema.

Posteriormente, en el capítulo 4, se describe todo lo realizado durante la temporada 2017, comenzando por las necesidades y objetivos del diseño continuando por la descripción de los sensores y actuadores necesarios para realizar el control del motor y los sensores para la adquisición de datos. Se menciona el diseño del circuito y diseño en CAD de los componentes del sistema, así como la manufactura del banco de pruebas y la del sistema para terminar con las pruebas realizadas.

En el siguiente capítulo, se señalan los resultados obtenidos en los distintos países donde se participó y la retroalimentación brindada por los jueces de lo realizado durante la temporada.

Finalmente se habla sobre las conclusiones a las que se llegaron y las propuestas hechas para la elaboración de los siguientes prototipos.

## 2 Objetivos

---

### 2.1 Objetivo General

Realizar un sistema eléctrico que permita tener un auto “Ready to Race” para las pruebas dinámicas, así como disminuir los puntos de fallo y colocar el mando de control del vehículo en una posición que permita un mantenimiento más eficiente.

Elegir una tarjeta de adquisición de datos “Plug-and-Play” para enfocarse en la información que brindan los sensores para su posterior análisis y retroalimentación a los demás sistemas.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Selección de materiales ligeros y resistentes.
- Realizar mejor manufactura por medio de herramientas especializadas.
- Colocar el sistema en una posición donde se pueda dar un ágil mantenimiento y que tenga el espacio necesario para realizar su manipulación.

### 2.3 Motivación

Durante las competencias en temporadas pasadas, se han presentado varias dificultades, principalmente en la continuidad de las señales en los dispositivos, corto circuitos en los cables y el desprendimiento entre los cables y conectores por la manufactura en el sistema eléctrico, lo que ha provocado que el vehículo no haya sido 100% confiable al momento de encenderlo, teniendo esto como principal motivación para la realización de un buen diseño, manufactura y posicionamiento del área eléctrica y así tener un vehículo “Ready to Race”. Mientras que, en la adquisición de datos, es el tener por primera vez datos confiables para retroalimentar a los sistemas de manera adecuada, por medio de un buen posicionamiento y manufactura de las sujeciones de los sensores.

# 3 Antecedentes

---

## 3.1 Fórmula SAE

Cada año, alumnos de la Facultad de Ingeniería y de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México realizan un prototipo vehicular llamado “Fórmula” para la competencia ofrecida por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE por sus siglas en inglés)<sup>1</sup> la cual se lleva a cabo en 8 países diferentes (10 sedes).

Fórmula SAE es una competencia de diseño estudiantil que consiste en diseñar, manufacturar, implementar y probar un vehículo monoplace de altas prestaciones. En esta se evalúan diferentes rubros, los cuales son: reporte de costos, presentación del vehículo, cumplimiento del reglamento, antiderrames por inclinación del vehículo, pruebas de aceleración y frenado, comportamiento en curvas y circuito de resistencia. [1]

El equipo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM Motorsports) inició en 2008, teniendo en el primer año el diseño del vehículo, finalizando en el segundo con la manufactura, teniendo como resultado la primera competencia en el 2010. UNAM Motorsports realiza este proyecto por medio de sub-equipos los cuales son: Administración, Motor, Múltiple de Admisión y Escape, Alimentación de Combustible y Refrigeración, Transmisión, Adquisición de Datos y Electrónica (D&E, por sus siglas en inglés)<sup>2</sup>, Suspensión y Dirección, Chasis, Masa No Suspendida, Controles y Aerodinámica. Esta división permite tener gente que se especialice en cada una de ellas para lograr los objetivos propuestos cada temporada.

---

<sup>1</sup> *Society of Automotive Engineers*

<sup>2</sup> *Data Acquisition & Electronics*

## 3.2 UNAM Motorsports – Adquisición de Datos y Electrónica

El sistema de electrónica ha sido parte del equipo desde el primer prototipo, ya que es el encargado de suministrar la energía del vehículo, controlar y configurar la Unidad de Control de Motor (*ECU* por sus siglas en inglés)<sup>3</sup> así como el cableado correspondiente a los sensores del motor.

Por su parte, la adquisición de datos del vehículo tuvo participación en el equipo a partir de la competencia del 2014 con el quinto coche. El objetivo de este nuevo sistema fue integrar nuevas tecnologías para realizar un análisis de los datos transmitidos del comportamiento del vehículo en condiciones dinámicas por medio de sensores añadidos al vehículo, logrando con esto, la retroalimentación del diseño de los componentes que lo conforman.

## 3.3 Planteamiento del problema

En las pruebas dinámicas realizadas por el equipo, se han presentado problemas eléctricos al encender el motor, los cuales retrasaban el análisis del funcionamiento de los demás sistemas del vehículo. Estos problemas se deben a la manufactura existente de los arneses, a los puntos de fallo en el área eléctrica y a la posición y diseño de los sistemas en el vehículo que provocan conflictos al realizar el mantenimiento.

En el área de adquisición de datos, en la temporada 2016, se realizó la programación y la recolección de información de los sensores por medio de la tarjeta programable *Single board RIO 9631 (sbRIO)* de *National Instruments*, la cual sufrió un corto eléctrico antes de la competencia [2], dejando al equipo sin datos que analizar para retroalimentar a los demás sistemas.

---

<sup>3</sup> *Electronic Control Unit*

## 3.4 Temporada 2016

En la realización de proyectos, existen características relevantes las cuales determinan el inicio y sus resultados, que buenos o malos, permiten mejorar los futuros desarrollos. En la temporada 2016 se definieron los objetivos y se obtuvieron los resultados, los cuales permitieron precisar las necesidades del presente trabajo (Temporada 2017).

### 3.4.1 Características deseadas para el diseño

Cada inicio de temporada, con base en el análisis de desarrollos previos, se proponen los objetivos, estrategias, componentes y características de lo que conformaría el siguiente sistema, por lo que se plantearon los siguientes puntos:

- Mantener el uso de la *ECU PE3*<sup>4</sup> para el encendido del motor, control del mapa de ignición y otras funcionalidades independientes al motor (shifter) debido al conocimiento que se tiene sobre ella y al desempeño obtenido en temporadas previas.
- Disminuir los fallos eléctricos ocasionados por la manufactura y los movimientos naturales del vehículo del arnés y la caja de distribución, teniendo una mejor elección de componentes y una mejor colocación de los cables.
- Utilizar la tarjeta de adquisición de datos *sbRIO 9631* (por la experiencia previa que se tiene con ella) con la que se pueda recopilar, transmitir y analizar los datos de los sensores.
- Realizar la transmisión de datos vía antena WIFI de la *PE3* y la *sbRIO 9631*, por los conocimientos previos de esta tecnología, y así enfocarse en reducir las fallas eléctricas y en el análisis de información de los sensores.
- Posicionar la computadora bajo el asiento (parte frontal) para que la persona encargada del sistema tenga mayor accesibilidad al momento de realizar mantenimiento.

---

<sup>4</sup> Performance Electronics 3

- Se decidió ocupar materiales ligeros y resistentes para reducir un 10% el peso en el sistema con respecto al prototipo pasado, esto permite mejorar el rendimiento del vehículo en pista.
- Separar el cableado del sistema de Adquisición de datos y Electrónica para localizar puntos de fallo y dar mantenimiento por medio de un mallado individual.
- Realizar un mallado de los cables para tener un mayor control de los arneses y su distribución.
- Generar código de colores en cableado para mayor control y facilidad de mantenimiento.

### 3.4.2 Problemas Obtenidos

Al cierre de la temporada 2016, se realizó la retrospectiva del equipo donde se buscaba identificar los aciertos y errores de la competencia, con el fin de generar posibles mejoras a implementar en los siguientes eventos. Los errores encontrados fueron los siguientes:

- La posición del sistema de D&E produjo dificultades para manipular los componentes, provocando retraso en su mantenimiento.
- Tiempos de ensamble y desensamble 3 veces mayor a lo planteado (de 40 a 120 min) por la posición del sistema y las sujeciones que se tenían.
- Falsos eléctricos en los conectores de los relevadores y conectores intermedios para los sensores debido a la manera como se realizó la manufactura y en la interacción de otras personas con los cables, jalándolos sin conocimiento.
- El desuso de herramientas especializadas provocó que las zapatas no tuvieran una correcta sujeción a los cables, lo cual ocasionó que tuvieran que ser repuestas en diversos momentos.
- Se generó un fallo en la *sbRIO 9631* al hacer pruebas con una fuente de poder que hizo un corto y dejó inservible la tarjeta.

### 3.4.3 Aciertos Obtenidos

Es importante identificar los aciertos obtenidos durante el desarrollo del 2016, ya que serán repetidos en la nueva temporada, permitiendo enfocarse en solucionar los puntos descritos en el punto 1.2, y así mejorar la calidad del vehículo. Los aciertos reconocidos fueron:

- El uso de código de colores permitió identificar más fácilmente los cables que se necesitaban arreglar, haciendo más eficiente el mantenimiento en el sistema.
- Se realizó retroalimentación a los demás sistemas sobre el desempeño del vehículo durante las corridas por medio de los datos brindados por los sensores.
- El sistema de arranque presentó una mejora al tener menos errores al momento del encendido, permitiendo hacer pruebas con los demás sistemas, algo que en temporadas pasadas no ocurría.
- El vehículo, por medio del solenoide activado por el piloto, hacía una buena ejecución de los cambios, ya que cada vez que se oprimían los botones de cambios, el solenoide los realizaba en el motor, permitiendo tener un rango de revoluciones mayor.

# 4 Temporada 2017

---

Para tener un auto funcional y listo para las etapas de la competencia, el equipo dividió el proyecto en 5 secciones principales, las cuales son: definir objetivos, planear los tiempos e hitos importantes, diseñar componentes y manufacturarlos para finalmente, probar el vehículo. En la temporada 2017 se tuvieron esas secciones para la construcción del séptimo prototipo de la escudería, tal como serán explicados en los siguientes puntos del capítulo 4.

## 4.1 Necesidades del sistema

La identificación de los objetivos propuestos por el equipo, son la base de lo que será necesario realizar en cada uno de los sistemas durante todo el año, ya que surgen de los aciertos y errores generados durante la temporada y con la retroalimentación que brindan los jueces al final de la competencia.

Existieron 3 objetivos del vehículo que repercutían directamente con el sistema de D&E, por lo que tenemos como primer objetivo que el periodo de pruebas debía ser de 3 meses, como segundo, obtener y analizar los datos de los sensores para retroalimentar a los sistemas, y finalmente, la reducción de peso del vehículo en un 10% con respecto a la temporada 2016 sin considerar la adición del nuevo paquete aerodinámico.

Teniendo en cuenta esos puntos, se realizó una retrospectiva con los miembros de la temporada 2016 del sistema para definir lo que sería necesario para cumplir con los objetivos generales, los cuales fueron:

- Tener un sistema que no tenga falla alguna al momento de encender el vehículo, ya que, en sistemas pasados, eran comunes las fallas eléctricas por la manufactura del sistema y los materiales utilizados, ocasionando que no se generaran las pruebas dinámicas suficientes para validar los demás sistemas.

- Colocar el sistema en una posición donde se tenga un fácil acceso, ya que, en la temporada pasada, se le daba mantenimiento en días de prueba al sistema eléctrico.
- Tener estándares de calidad contra polvo y agua en conectores, dados los posibles cortos que pudieran haber por la conducción en los días lluviosos de pruebas.

## 4.2 Objetivos de diseño

De acuerdo con las necesidades del sistema, los objetivos del equipo y lo vivido en la temporada pasada, se definieron los puntos más importantes a resolver para la competencia los cuales son mencionados a continuación:

- Lograr un sistema robusto a través del desarrollo de la manufactura con herramientas especializadas, cuyas partes sean de fácil mantenimiento y reemplazo en caso de fallar.
- Realizar trayectorias de cableado lo más cortas posible para reducir la cantidad de cable utilizado y peso en el vehículo, así mismo, buscar rutas que eviten acercarse a componentes que comprometan su integridad.
- Elección de componentes más ligeros, homologados para cuando se haga el mantenimiento, se simplifique el número de herramental a requerir y finalmente, que cumplan con estándares de calidad que sean resistentes a la intemperie.
- Colocar el sistema en un lugar que permita reducir en un 85% los tiempos de mantenimiento (4 horas a 35 minutos máx.)
- Asegurar que el vehículo esté el 100% de las veces "Ready to Race" para las pruebas y carreras que se necesiten.
- Mantener el uso de materiales y componentes del cambio de velocidad, ya que no presentan fallas.

Además de los puntos anteriores, uno de los retos solicitados por el capitán para la temporada, fue el implementar una nueva ECU y una nueva tarjeta de adquisición de datos, la cual pudiera servir de reemplazo a la descompuesta en la temporada pasada y así poder cubrir el objetivo de generar los datos necesarios para los demás sistemas.

Cabe señalar que el reglamento de la competencia realizado por *SAE*, es la guía que se debe cumplir en todo el proceso de diseño, siendo esencial para pasar la inspección técnica de las pruebas estáticas. Este reglamento es publicado cada año antes de la inscripción y puede tener variantes dependiendo de la sede.

### 4.3 Componentes para el control del motor

Para satisfacer los requerimientos de rendimiento, costo y confiabilidad en la potencia entregada por el motor, se necesita contar con un sistema de control de lazo cerrado que permita conocer el estado en el que se encuentra el motor para poder ajustar los actuadores en todo momento y así llegar a un estado con mejor desempeño.

Esto lo hace por medio de tres componentes principales:

- Computadora del vehículo (*ECU*): Encargada de la regulación del motor a través de los sensores y actuadores conectados al motor.
- Sensores: Existen diferentes tipos de sensores, los cuales permiten medir diversas variables del motor; como lo es la temperatura, presión del múltiple de admisión, RPM del cigüeñal y el árbol de levas, entre otros.
- Actuadores: Se conforman por los inyectores, bobinas, bomba de combustible, ventilador del motor, entre otros.

En los siguientes puntos se mencionarán los sensores y actuadores que utiliza el motor de motocicleta con el que cuenta el equipo.

### 4.3.1 Sensores en el motor de combustión interna

Para el funcionamiento correcto de un motor, son necesarios diferentes sensores, los cuales se mencionan a continuación: [3]

- Sensor TPS

Encargado de medir la posición de la válvula de mariposa accionada por el pedal del acelerador, permitiendo el acceso del aire por el múltiple de admisión. En este caso se utiliza un sensor rotativo de tipo resistivo.

- Sensor IAT

Utilizado para detectar la temperatura a la que entra el aire (temperatura ambiente). Se usa para el arranque en frío donde se compara la temperatura del Coolant Temp con respecto a la del aire contra la entrada para inyectar más o menos combustible. El sensor ocupado es un termistor, donde varía su resistencia a través del cambio en su temperatura.

- Sensor MAP

Encargado de medir la presión en el múltiple de admisión para controlar la carga con la cual trabaja la computadora, afectando los tiempos de inyección e ignición. Este sensor es una galga extensiométrica, la cual varía su resistencia por medio del cambio de la compresión ejercida sobre él.

- Sensor Crank

Lee la posición del cigüeñal por medio de un encoder acoplado a éste, ayudando a la *ECU* a conocer las RPM del motor y calcular los ángulos y tiempos de inyección e ignición. El sensor utilizado en el equipo es de reluctancia variable el cual detecta los dientes del encoder.

- Sensor Cam

Sensor de efecto *hall* que indica la posición del árbol de levas, ayudando a la *ECU* a conocer si el árbol de levas está sincronizado con el cigüeñal.

- Sensor Coolant Temp

Termistor acoplado al motor con contacto con el refrigerante para conocer su temperatura, y así poder variar la cantidad de combustible que es inyectada para tener una mezcla más homogénea en la combustión o bien para cambiar los tiempos de ignición. En el caso del equipo, el conocer la temperatura del refrigerante, nos permitirá conocer que tan eficiente fue el sistema de refrigeración con respecto a los cálculos que realizó.

- Sensor EGO

Montado antes de la entrada del silenciador para medir la cantidad de oxígeno que sale del motor, permitiendo que el sistema de control sea de lazo cerrado para los inyectores.

### 4.3.2 Actuadores en el motor de combustión interna

Dentro de los actuadores podemos mencionar la existencia de tres tipos controlados por la *ECU*:

- Inyectores electrónicos

Inyectan una cantidad de combustible determinada por el aire que ingresa por el múltiple de admisión para minimizar la contaminación de los gases de escape.

- Bobinas

Genera una chispa en la etapa de compresión del pistón por medio de una bobina conectada a una bujía para iniciar la combustión de la mezcla de comburente y combustible.

- Relevadores (Ventilador, bomba, solenoide para cambio de velocidades)

Interruptor electromagnético que permite controlar por medio de una señal de baja corriente, una de alta corriente sin el contacto entre ellas. En el auto de Formula SAE son utilizados para accionar la bomba de combustible, el ventilador para enfriar el líquido refrigerante del motor y el solenoide que se tiene para realizar los cambios de velocidades en el motor.

## 4.4 Medición de variables para la adquisición de datos

Dentro de la adquisición de datos en un vehículo, existen diversas variables que pueden ser medidas para entender mejor su comportamiento en el momento de estar en la pista y conocer la manera en que el piloto conduce el vehículo. Cabe señalar que existen limitaciones en algunas de estas variables, ya que son difíciles de medir o los sensores que se requieren, tienen un precio elevado.

### 4.4.1 Variables a medir

Para conocer las variables deseables a medir (sin contar las del motor), se agendó una reunión con cada uno de los líderes de los sistemas, los cuales nos permitieron conocer cuales variables eran representativas para que pudieran identificar cómo les afectaban en el diseño.

Tabla 4-1 Variables medibles en el auto

Sistema	¿Qué se quiere medir?	Justificación
Alimentación de Combustible y Refrigeración	Temperatura de líquido de enfriamiento a la salida del motor y a la salida del sistema de enfriamiento	Se requiere conocer la diferencia de temperatura a la entrada del enfriador y a la salida para saber si el sistema disipa la energía necesaria para que el motor no se sobrecaliente.
	Nivel de Gasolina	Identificar el consumo a diferentes RPM y justificar que tendrá lo suficiente para la prueba de resistencia (22km) [4]
Masa Suspendida No	Temperatura de discos de freno	Validar el material que se eligió por medio de la temperatura, la cual podría indicar si el material cambiase sus propiedades.
	RPM en llantas	Conocer la velocidad longitudinal del vehículo.
Suspensión y Dirección	Desplazamiento lineal de los amortiguadores	Permite conocer las cargas normales en las llantas y el ángulo de inclinación del vehículo en las curvas.
	Desplazamiento rotativo del volante	Conocer el ángulo de las llantas, los cuales ayudan a conocer la maniobrabilidad del piloto.
Transmisión	RPM Crankshaft	Comparar las RPM del cigüeñal y las RPM de las llantas para conocer qué tan eficiente es la transmisión.
Controles	Presión en línea de frenos	Conocer cómo se distribuye el líquido de frenos frontal y trasero por medio de la presión.

Además de las variables a medir mencionados por cada sistema, se requirió del conocimiento de la aceleración, frenado y movimientos en curva del vehículo por medio de un acelerómetro en los tres ejes diferentes. Así mismo, fue necesaria la lectura de los ejes de rotación con un giroscopio para conocer la distribución de la masa modificada por la fuerza de reacción de las llantas (acelerado y frenado).

#### 4.4.2 Elección de sensores

Algunas de las variables mencionadas en el punto anterior, ya se han medido anteriormente en otras temporadas, por lo que ya se tienen sensores que serán utilizados en la adquisición de datos de esta temporada, por lo cual se tuvo principal foco en los que no se tienen o los que han presentado problemas por lectura o por las sujeciones que tenían en el auto.

Algunas de las variables mencionadas en el punto anterior

- Alimentación de Combustible

Para conocer el nivel de gasolina se eligió un sensor capacitivo, el cual varía su capacitancia de acuerdo con la cantidad de fluido que se encuentre almacenado. Al tener mayor fluido, habrá mayor capacitancia y viceversa. Para su calibración, se deberá medir la señal al máximo nivel y vacío.

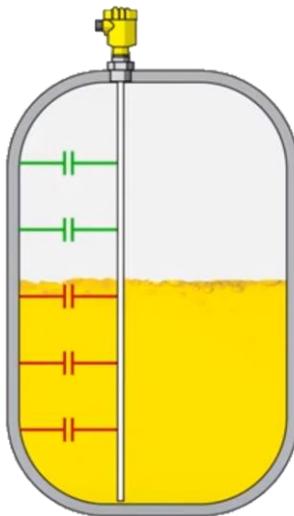


Ilustración 4-1 Sensor capacitivo - nivel de gasolina

El sensor que se eligió es genérico, el cual se compró en una refaccionaria automotriz, esto ya que el precio y sus características se adecuaban a las necesidades del equipo:

- Voltaje de entrada de 12 V
  - Señal de salida de 0.5 a 5 V
  - Temperatura de operación de -40 a 85 C
- Refrigeración

En los termistores para determinar la temperatura del refrigerante a la entrada y salida del radiador, no se contaba con las hojas técnicas para conocer sus rangos de trabajo y la resistencia que genera a diferente temperatura para poder programarlos en la *ECU* por lo que se caracterizaron en el laboratorio de termodinámica de la Facultad de Ingeniería, obteniendo la variación de la resistencia a diferentes temperaturas.

Los resultados fueron los mostrados en la tabla siguiente:

**Tabla 4-2 Caracterización de termistores para refrigerante**

Coolant Temp (entrada a radiador)		Temp. refrigerante (salida radiador)	
Temperatura [°C]	Resistencia [ $\Omega$ ]	Temperatura [°C]	Resistencia [ $\Omega$ ]
-1	5700	-1	6530
0	5000	0	6000
10	3610	10	4360
20	2430	20	3130
30	1650	30	2320
40	1150	40	1500
50	820	50	1030
60	590	60	710
70	430	70	500
80	322	80	363
90	243	90	262

Con estos resultados, se identificaron los tipos de termistor que se tenían, los cuales eran *NTC*<sup>5</sup>. Este tipo de termistores disminuye su resistencia al incrementar la temperatura y viceversa; al disminuir la temperatura, aumenta su resistencia.

- Masa No Suspendingida

Para la lectura de las RPM de las llantas, se tenían sensores inductivos los cuales presentaban un problema dentro del vehículo, ya que al tener una distancia muy pequeña con cada diente del encoder y al tener vibraciones al momento de estar corriendo, los dientes del encoder chocaban con los sensores resultando afectados para su correcto funcionamiento.

Se requirió de nuevas formas de medir las RPM debido al problema antes mencionado, por lo que se optó por el uso de *reed switch*, los cuales son un tipo de interruptor normalmente abiertos que se cierran con la presencia de un campo magnético. Se hicieron pruebas con un imán de neodimio y la adaptación de un circuito de *pulldown* para asegurar que el voltaje cambiara de 0 a 5 volts de forma discreta.

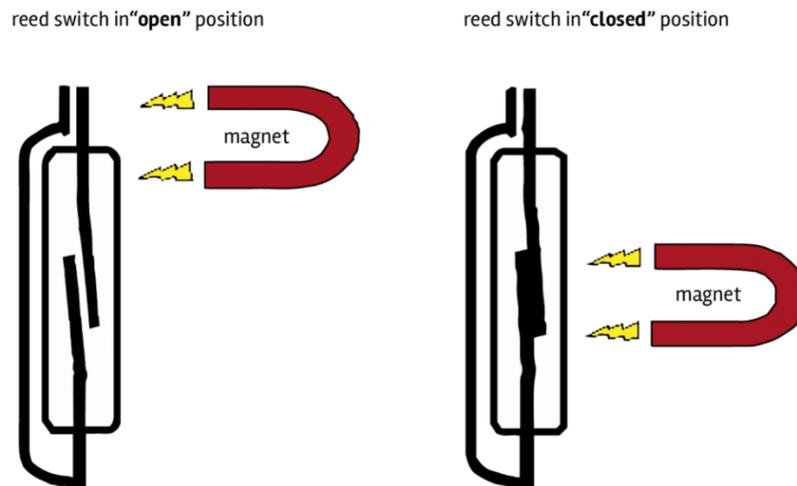


Ilustración 4-2 Sensor Magnético

Para la activación de los *reed switch*, se pensó en usar imanes de neodimio acoplados a los dientes del encoder.

---

<sup>5</sup> Negative Temperature coefficient (Coeficiente negativo de temperatura)

### 4.4.3 Tipos de señales

Para la elección de una *ECU* y una tarjeta de adquisición de datos, se necesita conocer el número total de entradas analógicas y digitales de los sensores del vehículo tal como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 4-3 Entradas de sensores

Sensor	Tipo de sensor	Variable a medir	Señal	
			Analógica	Digital
<i>TPS</i>	Potenciómetro radial	Posición de la válvula mariposa	1	
<i>IAT</i>	Termistor	Temperatura del aire que entra al motor	1	
<i>MAP</i>	Piezoeléctrico	Presión en el múltiple de admisión	1	
<i>Crank</i>	Reluctancia Variable	RPM cigüeñal	1	
<i>CAM</i>	Hall Efect	RPM árbol de levas	1	
<i>Coolant Temp</i>	Termistor	Temperatura del refrigerante a la salida del motor	1	
<i>EGO</i>	Químico	Cantidad de oxígeno a la salida del motor	1	
Down y Up Shift	Interruptor	Cambio de velocidades		2
Acelerómetro	Capacitivo	Aceleración en tres ejes	3	
Giroscopio	Capacitivo	Giros en tres ejes	3	
Sensor de posición	Potenciómetro lineal	Desplazamiento de la suspensión	4	
<i>Reed Switch</i>	Interruptor	RPM en llantas		4
Sensor de presión	Piezoeléctrico	Presión en la línea de frenos	2	
Sensor de nivel	Capacitivo	Nivel de Gasolina	1	
Sensor de posición angular	Potenciómetro radial	Posición del volante	1	
Temperatura refrigerante	Termistor	Temperatura de refrigerante a la salida del radiador	1	
<b>Total</b>			22	6

## 4.5 Elección de componentes principales

Como se mencionó anteriormente, la adquisición de datos se realizaba en temporadas pasadas con una tarjeta programable, la cual se tenía por patrocinio con *National Instruments*. Debido al término del patrocinio y por la experiencia que se tenía con las tarjetas *sbRIO 9631*, se decidió utilizar una tarjeta Plug and Play con las características necesarias y a su vez, que fuera más económica, para concentrar los esfuerzos en el análisis de datos más que en la programación de salidas y entradas de los sensores.

Para la parte electrónica se planteó conseguir una nueva *ECU* ya que la que se tenía presentaba fallos por pines que hacían falso contacto en diferentes momentos.

Se realizó una búsqueda de marcas existentes en el mercado y de las más utilizadas dentro de los equipos en las competencias, lo cual nos permitió identificar que la computadora para el control del motor y la tarjeta de adquisición de datos pueden estar conectadas entre sí, teniendo solo un software para la manipulación de parámetros de los sensores desde una computadora externa (laptop personal).

A continuación, se muestra una tabla comparativa con las características que se consideraron como las más relevantes para su elección.

Tabla 4-4 Comparativa entre componentes

Especificación	ECU			Datalogger		
	PE3	MoTec 150	AEM 708	sbRIO 9631	MoTec C125	AEM AQ1
Analog Inputs	18	23	23	32	8	8
Digital Inputs	7	4	8	110	2	3
Masa	400g	450 g	689.4 g	269.3 g	360 g	226 g
Precio (US\$)	\$1,075.00	\$1,460.00	\$1,284.04	\$2,680.00	\$1,421.05	\$197.83

Debido a las características brindadas por AEM, que cumplían con los requerimientos de entradas (22 analógicas y 6 digitales) y de salidas, así como el patrocinio obtenido repercutido en costos al equipo, se adquirió tanto la ECU “Infinity Series 7” para el control del motor, como el “AQ-1 Data Logger” para la adquisición de datos.

Como adicional, los conectores de ambos componentes cuentan con unos seguros en las zapatas para poder extraerlas más fácilmente al darle mantenimiento, sin necesidad de afectar el conector.

## 4.6 Diseño del circuito

Como primer paso en el diseño, se realizó el diagrama del circuito del vehículo (ver Ilustración 4-3) con la ayuda de los manuales (competencia, motor, *ECU*, sensores y actuadores) para conocer las entradas y las salidas de la *ECU*, actuadores, fusibles e interruptores de corte de circuito, así como las conexiones de señales, tierras y voltajes para cada componente con los que se cuenta.

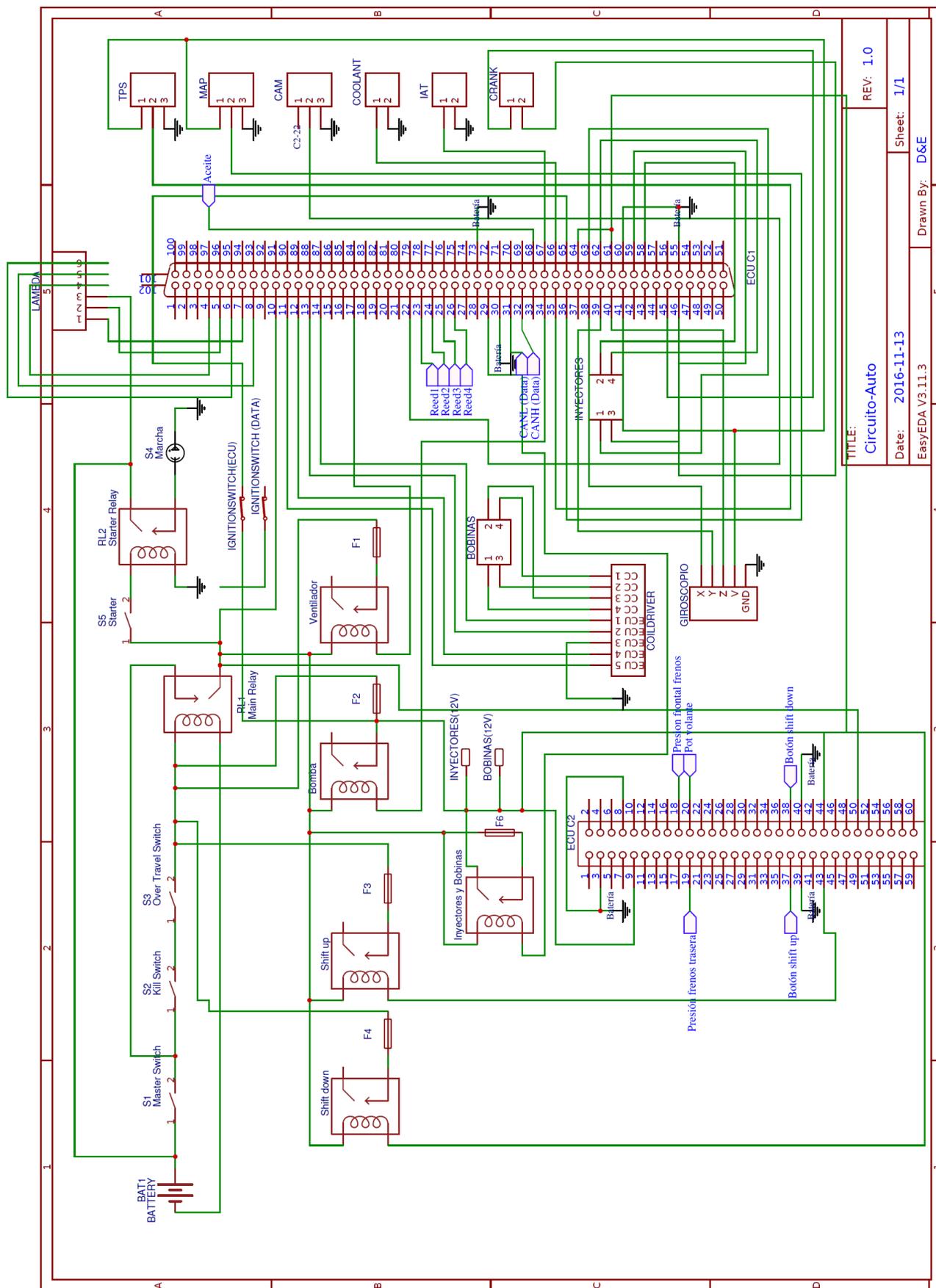
Esto permitió conocer el número total de cables, conectores zapatas, relevadores, entre otros para la manufactura del circuito de banco y del circuito final del auto; teniendo en cuenta al comprar los componentes, contar con repuestos en caso de fallas; hacer esto reduce costos de pedido y tiempos de entrega, mejorando la eficiencia de todo el proceso.

### 4.6.1 Requerimientos en componentes

La selección de los componentes y materiales debe hacerse de acuerdo con el reglamento y a los objetivos planteados para el diseño del sistema, por lo que se consideraron los siguientes puntos:

- Homogeneizar conectores

Se decidió homogeneizar los tipos de conectores, lo cuales utilizan el mismo tipo de zapatas, con el fin de comprarlas en mayor cantidad y facilitar el reemplazo de estas; esto permite la reducción tanto en tiempo como en costos de manufactura y mantenimiento.



TITLE: Circuito-Auto  
 Date: 2016-11-13  
 EasyEDA V3.11.3

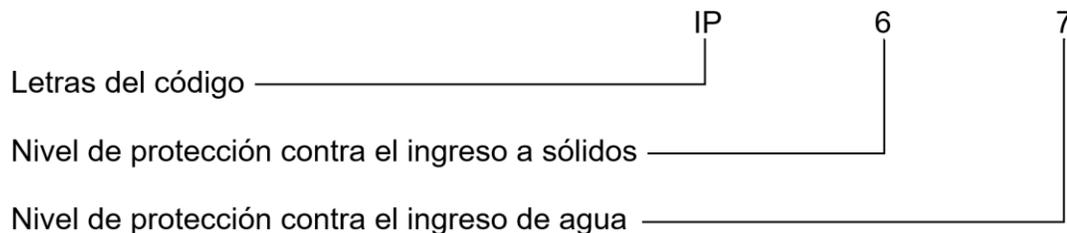
REV: 1.0  
 Sheet: 1/1  
 Drawn By: D&E

Ilustración 4-3 Diagrama del circuito del auto con AEM

- Calidad en conectores

Los conectores que tienen la *ECU* y el *Datalogger* tienen un grado de protección IP67, el cual se determina con base en la norma internacional *CEI*<sup>6</sup> 60529 Degrees of Protection [5].

La nomenclatura indica los grados de protección proporcionados por un envolvente contra el acceso de polvo y agua. La estructura que toma dicha nomenclatura se muestra a continuación:



**Ilustración 4-4 Nomenclatura CEI 60529**

El rango de valores del nivel de protección contra el ingreso de sólidos va del 0 al 6, donde 0 representa “sin protección” y el 6 indica que no entra polvo en ninguna circunstancia.

Para el caso de la protección contra agua, el rango va de 0 a 9, donde 0 indica “sin protección”, el 7 “no entra agua a un metro de profundidad por 30 minutos” y el 9 representa la protección contra chorros de alto presión y de alta temperatura.

Teniendo en cuenta estos estándares de calidad, se planteó el tener conectores que contaran con dicha protección para los momentos en que el auto esté corriendo bajo la lluvia. Por lo que se optó por conseguir conectores similares para el acoplo de los sensores con el mismo grado de protección (IP67) con 1, 2, 3 o 4 vías para el acoplamiento de las señales de los sensores y actuadores.

<sup>6</sup> Comisión Electrónica Internacional



Ilustración 4-5 Conectores elegidos

- Pinzas de ponchado de terminales

Para colocar las terminales de los conectores a los cables, se utilizaban pinzas convencionales para envolver la terminal en el cobre del cable, por lo que muchas veces terminaban desprendiéndose.

Dados estos acontecimientos, se optó por conseguir herramientas para la correcta sujeción entre las terminales y el cable. Las pinzas que se utilizaron para la manufactura del cableado fueron las mostradas en la siguiente ilustración:



Ilustración 4-6 Pinzas para terminales

## 4.6.2 Sistema de colores

Para el mantenimiento y verificación del estado de las señales de los sensores y actuadores, se decidió mantener un código de colores el cual nos permitiría reconocer más fácilmente a dónde van los cables en caso de fallo.

Se utilizó rojo para los voltajes de los sensores, negro para las tierras y diferentes colores para las diferentes señales. Dado que el número de colores en el mercado son limitados, se tuvieron que repetir varios de estos. Contemplando que el arnés de los sensores y actuadores del motor irían separados de los sensores para conocer la dinámica del vehículo.

Tabla 4-5 Código de Colores en cableado

Sensor/Actuador	Color
Inyectores	Yellow
Bobinas	Orange
TPS	Blue
IAT	Grey
MAP	White
EGO	Light Orange
Crank	White
Cam	Green
Coolant	Brown
Up Shift	Blue
Down Shift	Light Orange
Acelerómetro	Purple
Giroscopio	White
Sensor de posición	Yellow
<i>Reed Switch</i>	Orange
Sensor de presión	Blue
Sensor de nivel	Brown
Sensor de posición angular	Green
Temperatura refrigerante	Grey

## 4.7 Banco de pruebas

Para realizar pruebas de calibración, ajuste o configuración, es necesario realizar un banco de pruebas, el cual permitirá conocer que los sensores, actuadores y motor tengan un correcto funcionamiento y para calibrarlos a las necesidades del equipo.

Para la manufactura del banco de pruebas de la *ECU* y el *Datalogger*, se acondicionaron los componentes utilizados en la temporada anterior para no generar mayores costos. Estos componentes incluyen los portarelevadores, portafusibles, sensores, actuadores, conectores y cables.

Para la colocación de los dispositivos, se utilizó una tabla de MDF que sirviera como panel para realizar las conexiones necesarias a través de cable reutilizado del auto anterior, siguiendo la lógica del esquema de conexión de la Ilustración 4-3.

### 4.7.1 Registro del hardware

Uno de los requerimientos para hacer uso de la *ECU* fue el registro del hardware en la página de AEM, la cual permite descargar el *firmware* (.pakgrp) que necesita la *ECU* para poder utilizar el hardware y así realizar las calibraciones y configuraciones del motor.

### 4.7.2 Instalación de Software

Para instalar el *firmware*, realizar las configuraciones del motor y calibrar los sensores, es necesario instalar el software que brinda AEM en una computadora personal de algún miembro del equipo, con las siguientes características mínimas [6]:

- Sistema Operativo - Windows XP con .NET 4.0 framework instalado
- Memoria Ram - 2GB
- Procesador - 1 GHz
- Memoria en disco duro - 600 Mb
- Conexión - USB 2.0

### 4.7.3 Primer encendido de ECU

Siguiendo paso a paso las instrucciones del manual [7] para el encendido de la ECU, se conectaron los pines correspondientes al voltaje y tierra.

Se detectó la necesidad de un interruptor extra (*ignition switch*), el cual sirve para poder encender la ECU y comenzar las modificaciones; este *switch* va conectado al pin C1-65 que ya tiene la configuración *pulldown*.

Una vez energizada la *ECU*, se usó el software de AEM en una Laptop para subir el firmware en la *ECU* y empezar con las configuraciones mencionadas anteriormente.

Para esto se realizaron los siguientes pasos:

- Dentro del software de AEM, se accedió al menú Target para iniciar la configuración, teniendo en cuenta que para comenzar el proceso es indispensable que la opción “*Keep calibration data*” esté activa ya que de esta manera podrán permanecer los datos antes configurados en la *ECU*.
- En el menú Target se requirió colocar el número de serie de la *ECU* mostrándose a continuación la pantalla correspondiente para subir el *firmware* antes mencionado (Ilustración 4-7).
- Una vez cargado el *firmware*, el sistema solicitó reiniciar el ciclo de voltaje, es decir, apagar y prender el *ignition switch* para terminar la instalación de la *ECU*.
- Una vez reiniciada la *ECU*, el programa permitió empezar con la configuración del motor.

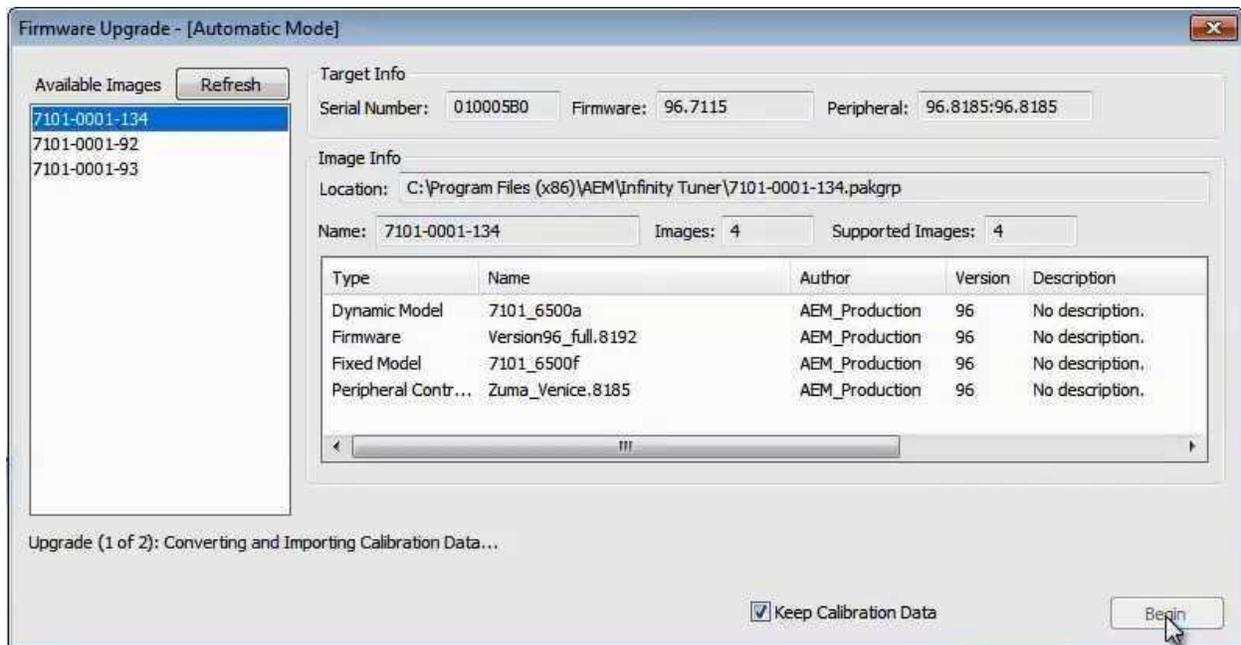


Ilustración 4-7 Instalación del firmware

#### 4.7.4 Configuración de la ECU

Para la configuración de la nueva *ECU* se establecieron algunas características del motor, las cuales fueron obtenidas del manual técnico del motor Yamaha ZZFR6 (2008) [8] y con la ayuda de las personas encargadas del sistema del motor, que tienen el conocimiento a detalle de todas sus características para darle su respectivo mantenimiento.

En las siguientes ilustraciones se verán los campos requeridos de la *ECU* sobre los sensores que se tienen y/o su calibración:

Como primer paso básico de configuración, fue necesario colocar las especificaciones del motor tales como el número de cilindros, el volumen de desplazamiento, entre otros.

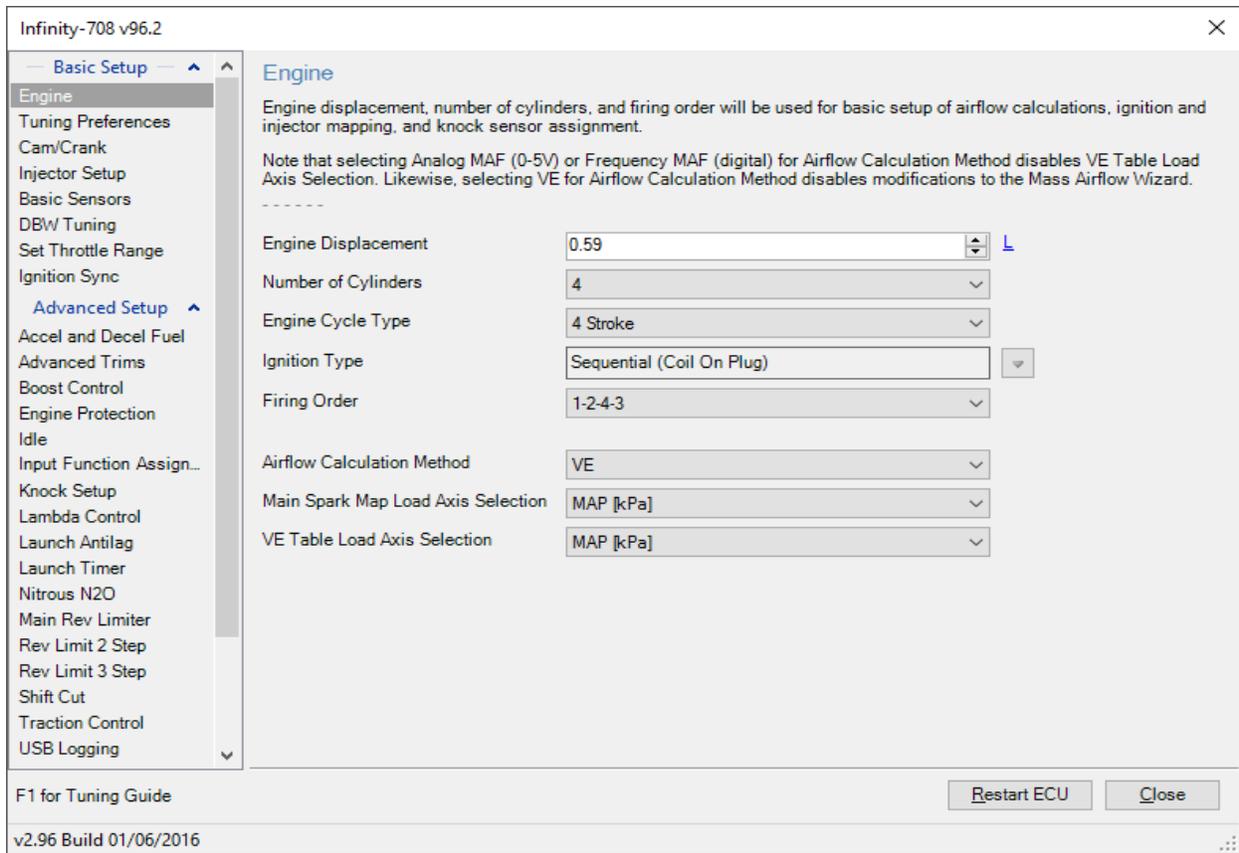


Ilustración 4-8 Configuración del motor en ECU Infinity 708

Para el sensor de temperatura del refrigerante se utilizaron los valores de la tabla 4-2, los cuales el programa ajustó para generar la curva del sensor:

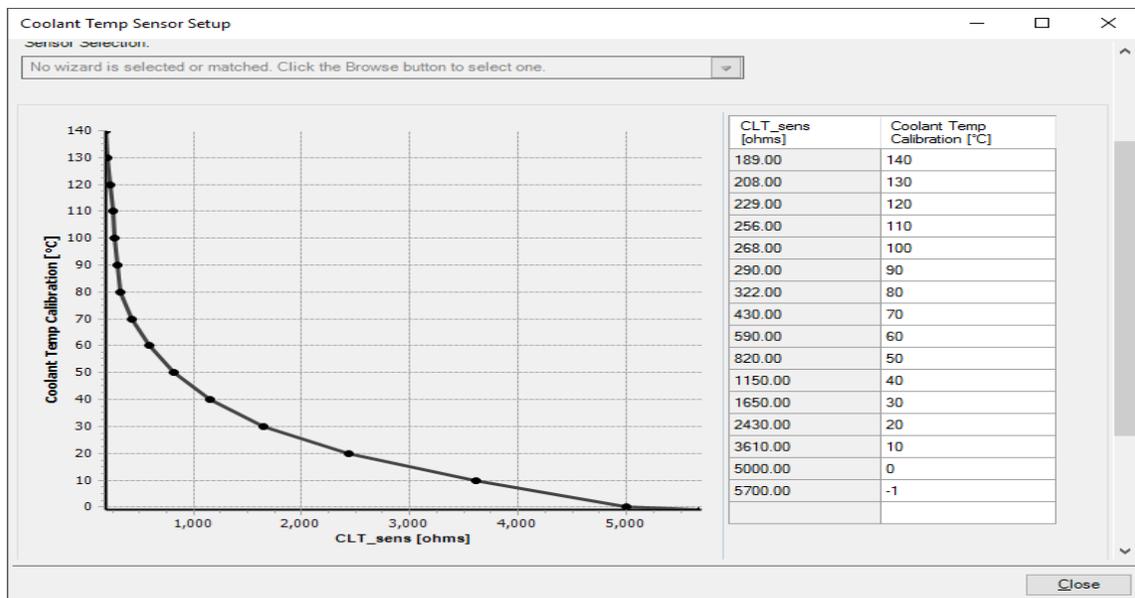


Ilustración 4-9 Configuración del sensor de temperatura en ECU Infinity 708

De igual manera se establecieron los valores mínimo y máximo en voltaje y presión del sensor MAP:

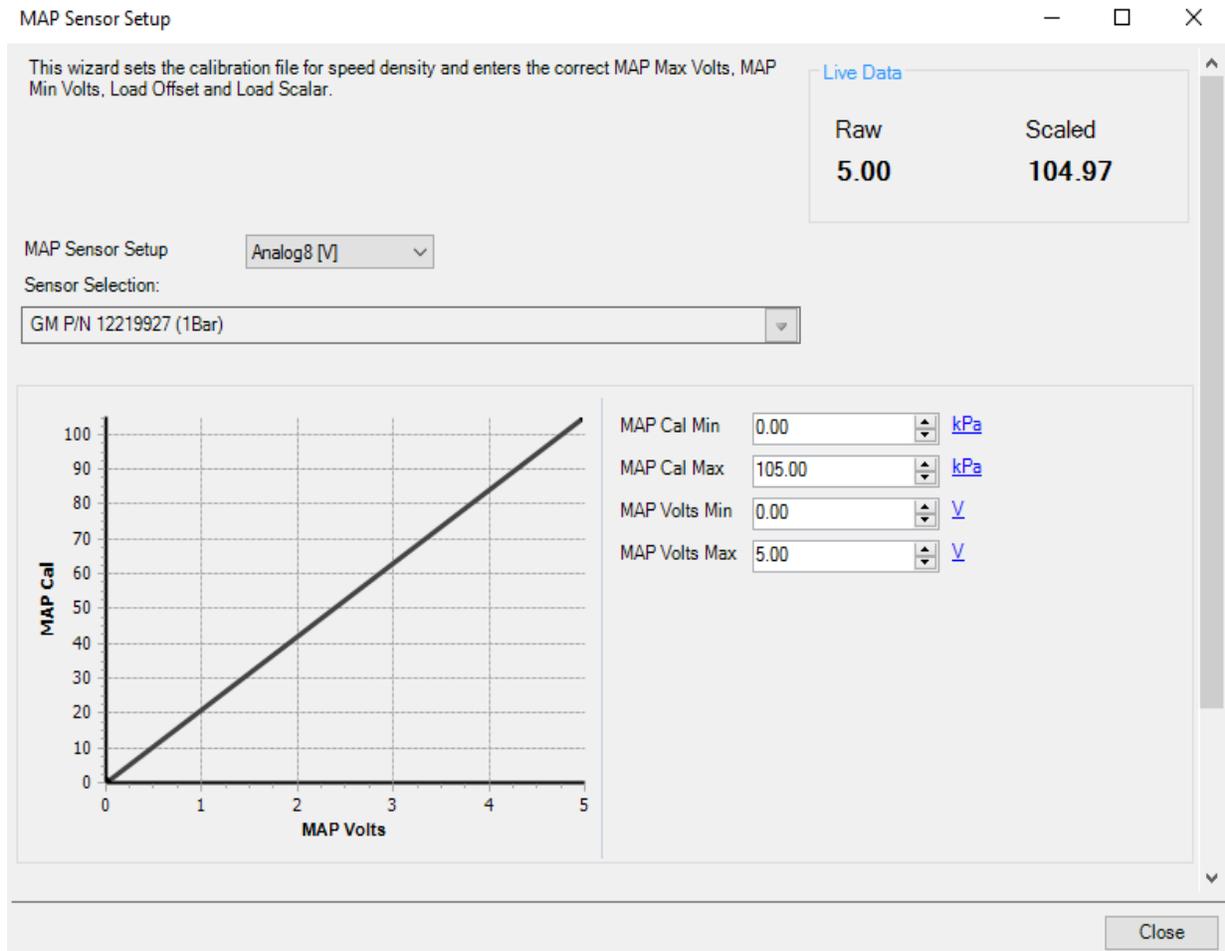


Ilustración 4-10 Configuración del sensor MAP en ECU Infinity 708

Para colocar el campo de sincronización de ignición, se revisó la hoja de especificaciones del motor [8]:

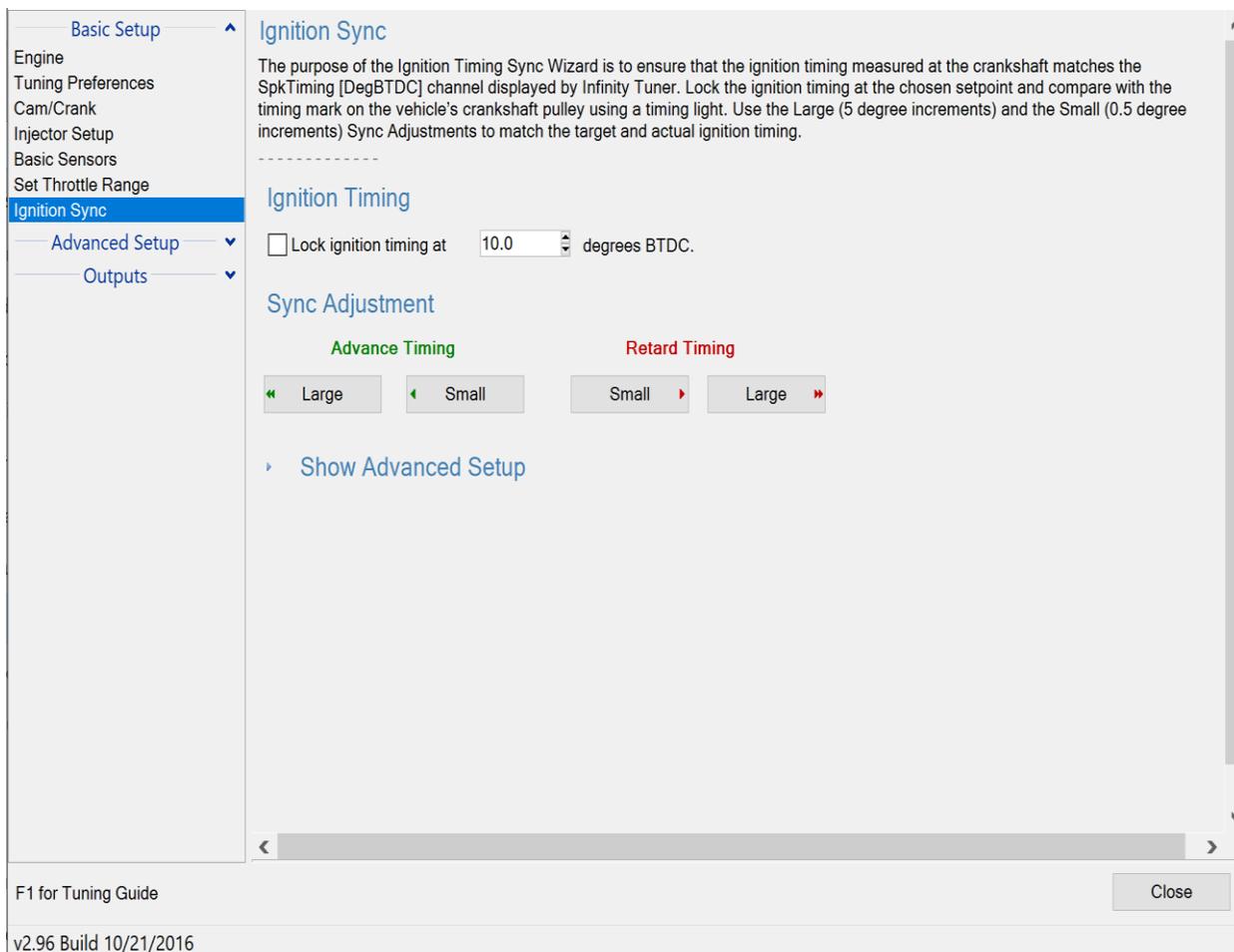


Ilustración 4-11 Configuración de la sincronía de ignición en ECU Infinity 708

#### 4.7.5 Conexión Datalogger AQ-1 con Infinity ECU serie 7

Dentro de las cualidades del *Datalogger* y la *ECU*, contienen canales de comunicación vía CAN (Controller Area Network), esto permite centralizar la información de revisión en un mismo software. Los puertos utilizados para estos canales para el *Datalogger* son los puertos 27 (AEMnet+) y 28 (AEMnet-), que se conectan respectivamente a los puertos C1-32 (CANH A) y C1-31 (CANL A) de la *ECU*.

Una vez energizados y conectados ambos dispositivos, se procedió a utilizar el software del *Datalogger*, *AQ-1 Data Acquisition System* en el que se observa una ventana como la siguiente:

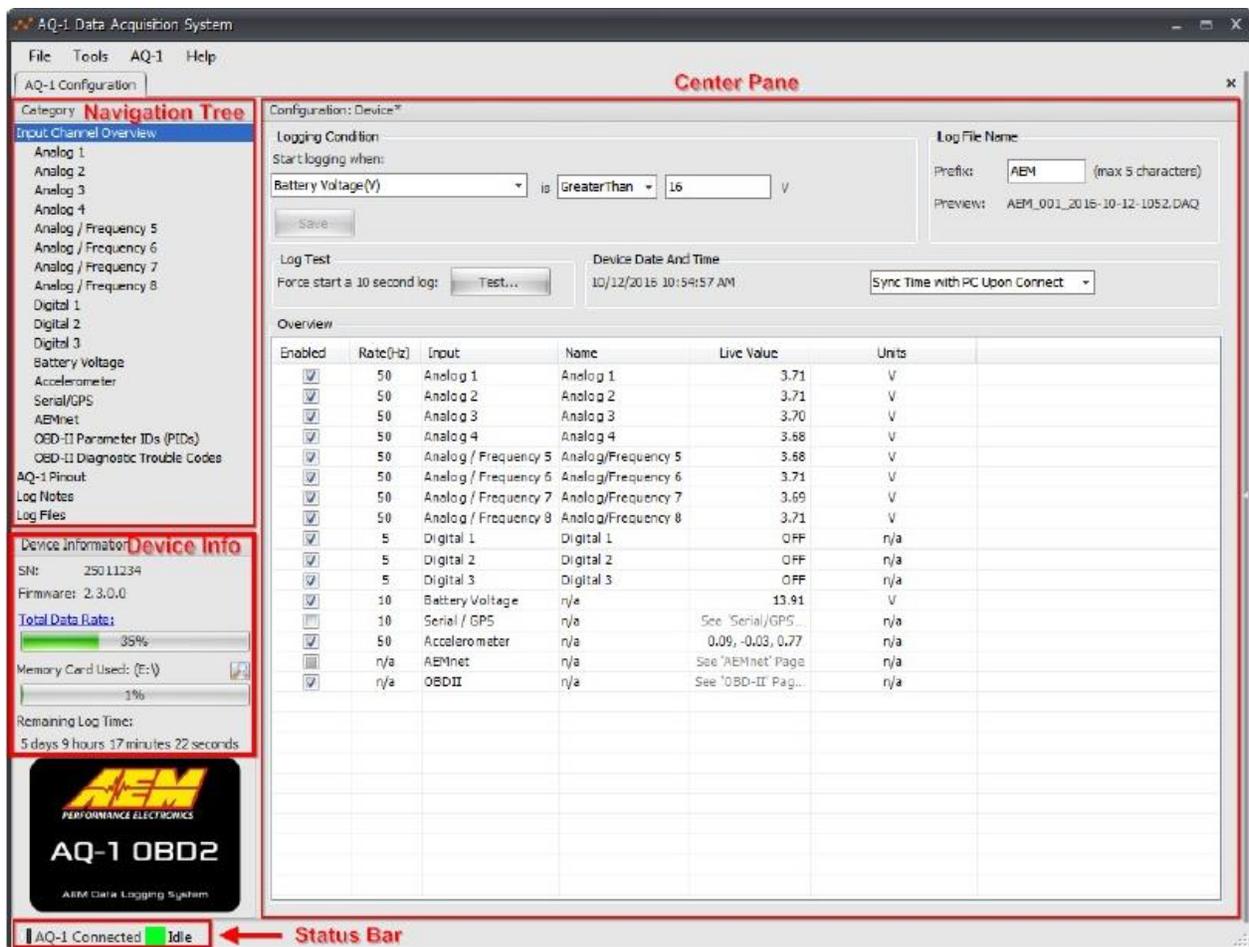


Ilustración 4-12 Ventana de configuración del Data Logger AQ1

En la sección de Árbol de Navegación (*Navigation Tree*) y con el dispositivo conectado, seleccionamos la pestaña “AEMnet”. Una vez ahí, se presiona la opción “Autodiscover” para seleccionar la ECU AEM serie 7 que se tiene, tal como se muestra en la Ilustración siguiente:



Ilustración 4-13 Elección de los dispositivos a conectar con AQ1 Data Logger

El software debe detectar que la *ECU* está conectada al *Datalogger*. Una vez realizado este procedimiento, todos los datos registrados en la unidad de control, también serán guardados en el *Datalogger* la cual tiene una mayor capacidad de almacenamiento.

## 4.8 Conexión de sensores

Se realizó la conexión de los sensores que se tenían, haciendo las calibraciones y pruebas de cada uno.

En una de las pruebas, hubo una descarga eléctrica de la fuente de poder con la que alimentábamos los dispositivos, esto causó que la *ECU* y el *Datalogger* no encendieran nuevamente.

Dado este acontecimiento, se tuvieron que enviar a reparar ambos dispositivos. Mientras tanto, se decidió seguir con el diseño de algunos componentes y generar el cableado en el CAD<sup>7</sup> para la presentación del diseño del vehículo con todos sus componentes.

## 4.9 Diseño de componentes y cableado en CAD

Dentro de la competencia, se tiene que realizar una presentación de diseño, en la cual se muestran los componentes en CAD.

El material utilizado para la caja y el piso fue de fibra de vidrio con fibra de carbono y resina, el cual se basó en el objetivo de reducción de peso del equipo y en las recomendaciones dadas por el área de Aerodinámica, que tiene experiencia en el trabajo de diferentes materiales.

Para los materiales del portafusibles y el soporte del *switch over-travel* se decidió utilizar el mismo de la temporada pasada, el cual fue plástico ABS.

Se acordó que el diseño y manufactura de las sujeciones de los sensores serían realizados por el sistema que le correspondiere.

---

<sup>7</sup> Computer-Aided Design

### 4.9.1 Piso

Fue diseñado para colocar los componentes principales debajo del asiento del piloto, ya que es necesario ubicar el acelerómetro y giroscopio en el centro de gravedad del vehículo para generar los datos de rotación sin trasladar las fuerzas a ese punto.



Ilustración 4-14 Piso para colocación de componentes principales

### 4.9.2 Caja

El elemento que contendría los *ignition switch*, los portafusibles, los portarelevadores y los puntos de distribución de corriente, sería la “caja”, la cual se posicionó a un costado de donde se posicionaron los componentes principales (*ECU* y *Datalogger*).

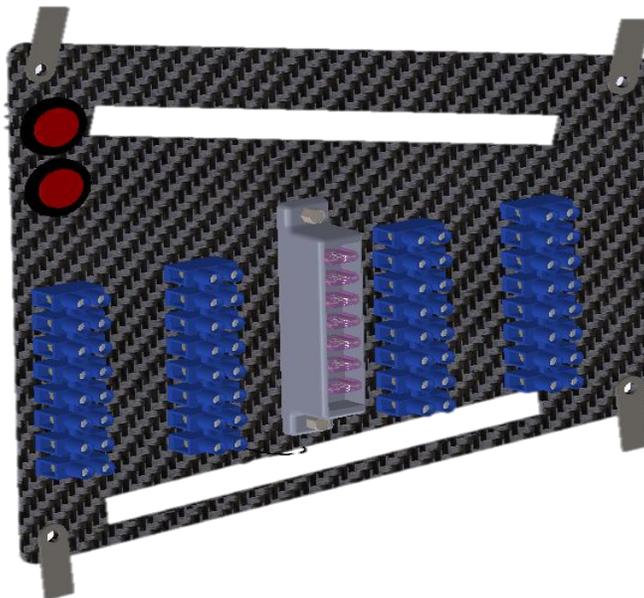


Ilustración 4-15 Caja del sistema

### 4.9.3 Portafusibles

Se diseñó un portafusibles ya que se enfocó en la distribución de los fusibles para que fueran más accesibles para su mantenimiento.



Ilustración 4-16 Portafusibles

### 4.9.4 Soporte Over-Travel

El *Over-Travel* es un interruptor, el cual está pensado para desenergizar el sistema en caso de quedarse sin líquido de frenos; se encuentra al final de la carrera del pedal de freno por lo que tiene que tener un ángulo adecuado para ser accionado por el pedal.

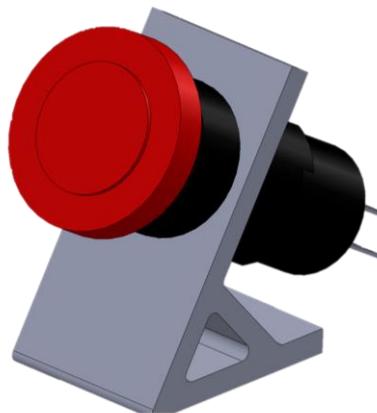


Ilustración 4-17 Soporte Over-Travel

## 4.9.5 Cableado

Para realizar las trayectorias del cableado, se utilizó como referencia el CAD del chasis del vehículo (estructura interna del vehículo que genera sostén, rigidez y seguridad de un auto). El chasis del equipo fue realizado con tubos de acero los cuales fueron aprovechados por el sistema, para sujetar los cables.

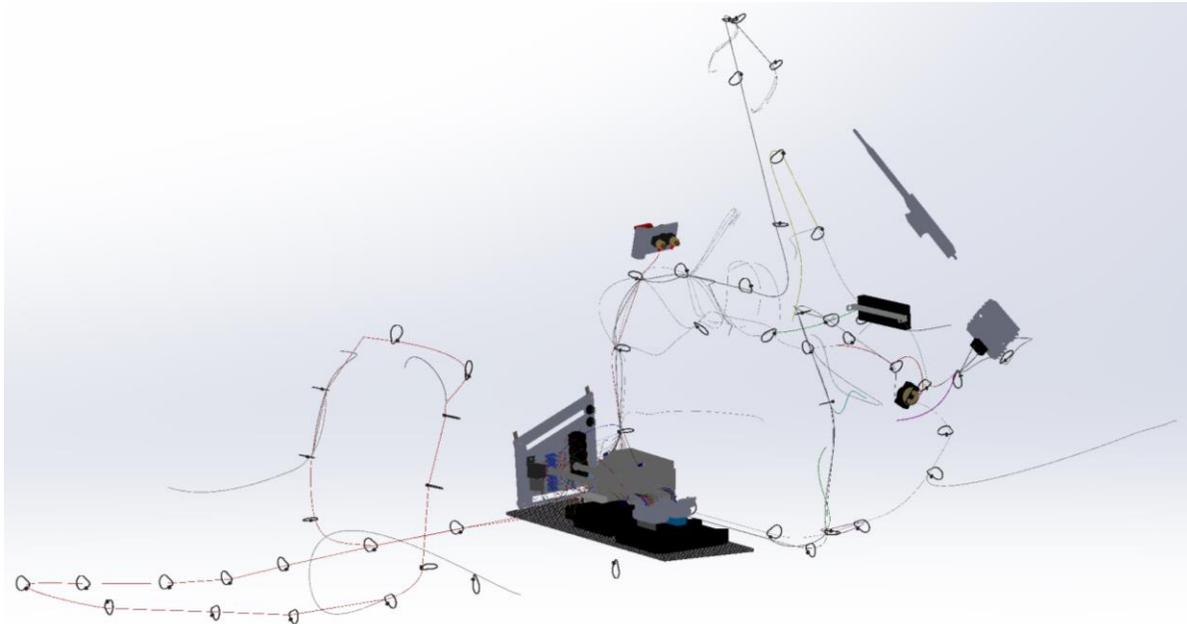


Ilustración 4-18 Diseño final del cableado con componentes

## 4.10 Rediseño

### 4.10.1 Justificación

Una vez arreglados los componentes, se volvieron a conectar todos los cables en el banco de pruebas al motor y se realizaron todas las consideraciones de configuración correspondientes.

Al momento de intentar prender el motor con la *ECU (Infinity 708)*, esta no prendió. Después de una constante comunicación con el personal de *AEM* para dar solución al problema, no se concluyó el motivo de la falla, por lo que se realizaron pruebas con los actuadores (inyectores y bobinas) para conocer si tenían un correcto funcionamiento a través de un accionamiento manual desde el software de la *ECU*, los cuales no presentaban problemas.

## 4.10.2 Solución de diseño

Debido al problema encontrado, se decidió usar la *ECU* de la temporada anterior (PE3), manteniendo el *Datalogger* AQ1 como dispositivo para los datos de los demás sensores. Esto ocasionó que se realizara un nuevo diseño de entradas y salidas de cada componente.

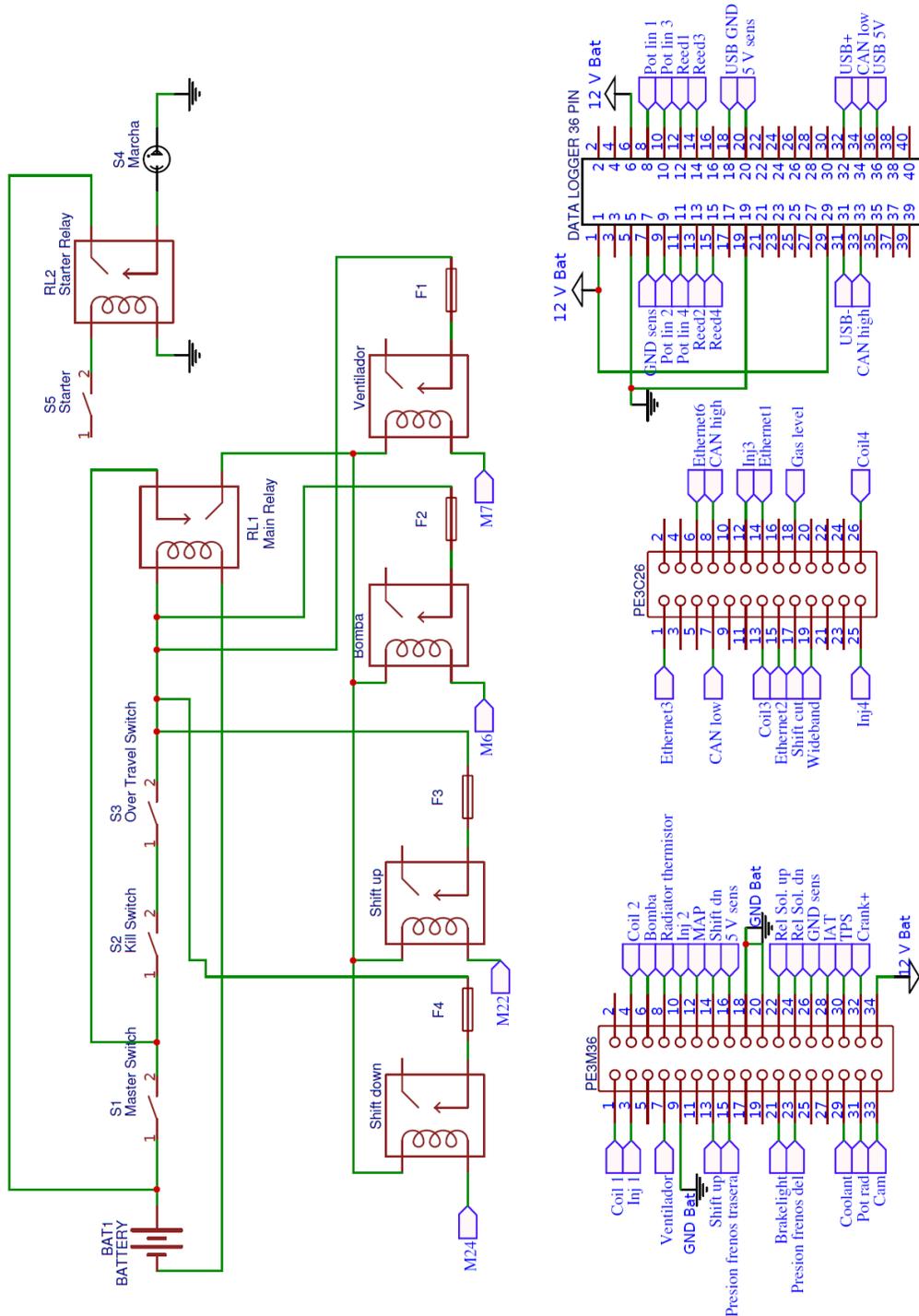


Ilustración 4-19 Diagrama del circuito del auto con PE3

## 4.11 Manufactura

La manufactura es el proceso en el cual se materializa lo que se ha diseñado; si el diseño se hizo correctamente, la manufactura debe ser sencilla. Cabe mencionar que tanto la caja como el piso fueron manufacturados por el sistema de Aerodinámica.

Para la manufactura del arnés se siguieron los siguientes pasos:

- Obtención de las medidas de cada cable en el CAD.
- Cortar los cables a la medida.
- Pelar los cables.
- Colocar las zapatas con las pinzas de ponchado.
- Instalar cables a su correspondiente conector.
- Poner malla para agrupar los cables.

En cuanto al portafusibles y al soporte del *Over-Travel* fueron hechos en impresión 3D con material plástico ABS como lo hicieron en temporadas pasadas las personas encargadas del sistema de adquisición de datos y electrónica.

Una vez obtenidos todos los componentes, se realizó la instalación en el auto (ilustración 4-20) sujetando el arnés en los tubos del chasis por medio de cinchos plásticos y conectando todas las terminales a su respectiva salida/entrada.

## 4.12 Pruebas

Al momento de tener el vehículo con todos los componentes de los sistemas, se encendió el vehículo sin presentar fallas un par de días antes del traslado del vehículo a Europa.

Cabe mencionar que los sensores para la lectura de RPM de las llantas tuvieron un retraso en su entrega, por lo que no se pudo recibir ningún dato de las llantas. Así mismo, las sujeciones para los sensores de los demás sistemas no fueron terminados; teniendo como resultado, la observación única de los datos de los sensores del motor.

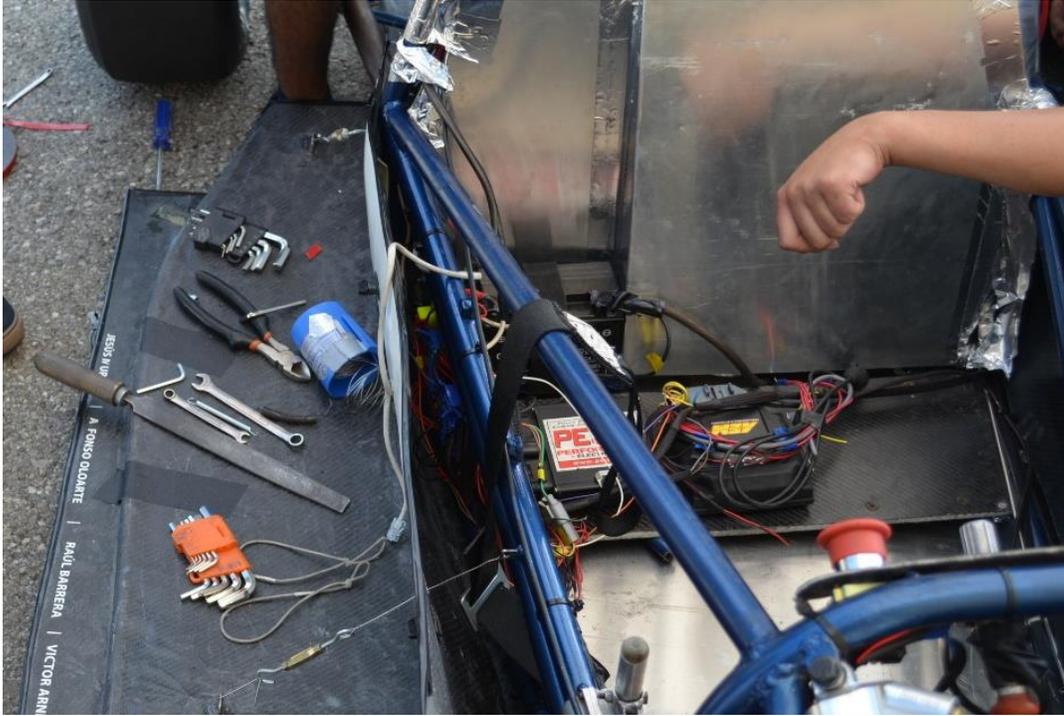


Ilustración 4-20 Colocación de componentes en el vehículo

# 5 Resultados

---

Los resultados serán divididos en dos rubros: las observaciones en las competencias y la retroalimentación de los jueces, que fueron clave importante para las conclusiones del trabajo realizado durante la temporada.

## 5.1 Observaciones en competencias

### 5.1.1 Formula SAE Italia

En la competencia de Italia, a la llegada tardía del auto, se revisó si las señales de los sensores funcionaban correctamente. Al momento de conectar el cable ethernet a la laptop, no se conectó a la *ECU* por lo que, al estar revisando todas las conexiones, se llegó a la conclusión de que ese no era el fallo, mientras que la laptop con la que se estaba probando no reconocía el dispositivo, por lo que se sustituyó para que funcionara.

Otro de los problemas encontrados fue el encendido de la *brake-light*, ya que no se prendía al pisar el freno, se llegó a la conclusión de que la conexión con el sensor de presión de frenos no realizaba un contacto adecuado con las terminales, causando que la *ECU* no detectara la señal.

Se observó que los demás sistemas provocan un daño a los cables, ya que, al momento de hacer mantenimiento a sus respectivos componentes, estos jalaban los cables, ocasionando que no hubiera una correcta conexión entre componentes.

Dados los cambios que se tuvieron que realizar al vehículo por fallos en otros sistemas, no fue concluida la prueba estática de revisión del reglamento.

Un punto importante a destacar en esta competencia es que la detección de errores en el sistema eléctrico era rápida y fácil de ubicar, ya que el orden y el código de colores, permitían realizar pruebas mucho más ágiles.



Ilustración 5-1 Competencia Formula SAE Italia

### 5.1.2 Formula Student Austria

Para pasar la prueba estática, se solicitó cambiar la sujeción del *over-travel*, la cual estaba hecha con impresión 3D y unida con velcro al vehículo, ya que como es un instrumento para seguridad del piloto, el material y sujeción al vehículo tenían que ser más robustas. Se tuvo que hacer uno nuevo con una placa de aluminio y se colocó al auto por medio de un tornillo y tuerca para mayor seguridad.

También, se presentó un problema en la prueba de revisión de los interruptores de emergencia, los cuales deben de apagar el motor al ser accionados de manera independiente en caso de ser requerido. Evaluando el problema, se llegó a la conclusión de que el error se presentó en un solo interruptor, el cual fue remplazado sin mejora alguna.

Se pidió ayuda a otros equipos para detectar el error, los cuales llegaron a la misma conclusión, las conexiones estaban bien hechas por lo que no se reconoció que estaba provocando el fallo del interruptor para realizar el apagado del vehículo.



**Ilustración 5-2 Evaluación de los interruptores**

Una vez más, se pudo centralizar el error de manera rápida, debido al orden, al código de colores en los cables y a los esquemas que se tenían para conocer la ubicación de cada cable. El conocimiento del funcionamiento del motor y las pruebas recurrentes realizadas para encender el vehículo, permitieron reconocer más fácilmente los errores generados por malas conexiones en los inyectores, bobinas y en la bomba.



**Ilustración 5-3 Competencia Formula Student Austria**

### 5.1.3 Formula Student Alemania

En esta competencia no se concursó, debido a que se quería observar los diseños de los otros equipos, técnicas ocupadas en manufactura y como los patrocinadores ayudaban a los equipos.

Se pudo comprobar, mediante la observación directa, que el diseño y manufactura de los arneses de UNAM Motosports poseían mayores ventajas en comparación con los otros equipos, ya que, realizando el contraste se encontró que los demás equipos carecían de los siguientes aspectos: falta de trayectorias específicas y agrupación de los cables con sujeciones en partes rígidas, poco control en la manipulación de los cables por otros miembros del equipo ya que los cables estaban expuestos, falta de conectores, por lo que recurrían a utilizar métodos y materiales poco prácticos, poco seguimiento de normas de protección y mantenimiento al no utilizar un código de colores, entre otros aspectos.

De igual manera, otra diferencia relevante es que otros equipos no tenían como principal objetivo la reducción de peso, el cual parece que fue algo crucial en el equipo de D&E por los errores provocados por los componentes hechos en impresión 3D y los cortos obtenidos por usar fibra de carbono para sostener el portafusibles.

Los demás equipos tienen ayuda especializada para el análisis de datos, así como equipo profesional para hacer telemetría y comunicación con el piloto, siendo todo patrocinado. Dejando pocas variables a solucionar a los estudiantes.

## 5.2 Retroalimentación de jueces

Al final de cada competencia, se solicitaron a los jueces los puntos de mejora para el equipo, los cuales se colocan a continuación:

- Tener todos los datos técnicos impresos de todos los componentes utilizados, tanto de cables, relés, sensores, entre otros para tener sustento durante la explicación ante los jueces.
- No usar componentes realizados en impresión 3D.

- Obtener datos de una manera más precisa, esto quiere decir que hay que anotar las condiciones climatológicas al momento de cada prueba, se necesitan establecer trayectorias específicas para la conducción del vehículo, además de considerar las solicitudes de los otros sistemas para generar trayectorias específicas para determinar las condiciones del vehículo.
- La caja de fusibles y relevadores debe estar completamente aislada del exterior, ya que el agua puede afectar el bienestar de los componentes.
- Se tiene que hablar de nuevas formas de analizar datos, retroalimentación a los sistemas, cómo y por qué es un diferencial.



**Ilustración 5-4 Retroalimentación de los jueces**

## 6 Conclusiones

---

De acuerdo con los objetivos marcados en el presente trabajo, se puede mencionar que hubo mejoras en la parte eléctrica del auto por medio del uso de herramientas especializadas, la adquisición de materiales con factores de calidad específicos, un mayor control en la manufactura y las trayectorias realizadas de los arneses, lo que permitió encender el auto cada vez que se requiriera para realizar pruebas. Junto con los demás sistemas y con esta mejora, se puede determinar que se tuvo un auto “Ready to Race”.

En cuanto a la posición del sistema para su mantenimiento, se tuvieron complicaciones debido a que los otros sistemas estorbaban el paso o afectaban los cables del sistema, ocasionando fallas eléctricas; por lo que se propone utilizar otra posición mencionada en el capítulo 6. Así mismo, se identificó que esto se debe a la falta de comunicación entre los representantes de los sistemas, para asegurar todos los puntos importantes a considerar de cada uno, para no ocasionar algún conflicto como la afectación de los cables. Esto se plantea resolverlo por medio de reglas internas sobre la interacción en los componentes de los sistemas.

Se adquirió una tarjeta de adquisición “Plug-and-Play” como parte de los objetivos propuestos; lamentablemente no se pudieron obtener datos de las corridas del vehículo porque no se consiguieron todos los sensores o no se realizaron las sujeciones. Se sugiere para temporadas posteriores que el equipo de D&E se quede encargado del diseño y manufactura de las sujeciones, ya que ningún otro sistema le pone la atención necesaria por que no representa el core de su respectiva área. Mientras que para los sensores que no llegaron con suficiente antelación, tener un seguimiento más estricto con el sistema de Management para darle continuidad a los pedidos realizados.

Cabe mencionar que es necesario contar con una mejor administración del proyecto, ya que hace falta una planeación de mitigación de posibles riesgos, definición del alcance, cronograma y control de presupuesto; esto hubiera permitido tener un mayor control de las entregas de todos los sistemas sin que se vieran afectados los objetivos. Se propone tener un canal de comunicación más estricto con el sistema de Management

para dar seguimiento a todos los planes, seguir metodologías ya definidas, tener mayor confianza en la comunicación sobre los posibles problemas existentes que se vayan generando, para plantear soluciones como equipo

Es complicado permear la cultura a los miembros del equipo sobre el cuidado del sistema eléctrico del vehículo, ya que muchos de los fallos presentados en el sistema, se debieron a la manipulación de los cables al momento de mover su sistema, por lo que se plantea realizar un reglamento interno que describa los puntos importantes a tener en cuenta para la manipulación al momento de dar mantenimiento a los sistemas, además de una mejor comunicación llevada a cabo por el sistema de Management.

Uno de los factores más importantes que definen grosso modo el éxito de un sistema, es el tiempo que le lleva a sus integrantes aprender sobre el funcionamiento del sistema, cuanta información haya al respecto y la disposición de la gente con experiencia, el transmitir sus conocimientos. Por lo que, se propone generar un repositorio de información tanto escrita como en video en los que se explique cómo funciona el sistema y qué se ha hecho en cada una de las temporadas para que no se cometan los mismos errores y se enfoquen en las cosas ya trabajadas y en generar nuevas propuestas de mejora.

En cuanto a lo mencionado por los jueces, se analizó toda la información brindada para saber cómo priorizar lo más importante y así tenerlo en cuenta durante la siguiente temporada. Como puntos más importantes son: el uso de materiales que vayan acorde con el uso que se les esté dando (no usar impresión 3D en sujeciones de sensores de “pánico” aunque en temporadas pasadas eso no ha sido un problema) y en la protección de todos los elementos contra el exterior.

## 7 Futuro desarrollo

---

Las propuestas presentadas en este capítulo nacen de toda la experiencia adquirida durante la temporada, tanto las cosas buenas como las malas, así como de lo observado de los demás equipos en las competencias y finalmente por la retroalimentación de los jueces.

- Posición del Sistema

Es necesario ubicar el sistema donde nadie más pueda alterarlo, además de hacerle una cubierta para que no pase ningún fluido u objeto que pueda afectar el rendimiento del sistema. Se sugiere colocarlo arriba del motor, sujeto a los tubos del *frame hoop*.

- Telemetría

Conectar el AQ1 con la antena WIFI para la visualización de datos en tiempo real. Se sugiere que se haga por medio de la conexión del *CAN* a la *ECU* y la *ECU* los transmita por la antena.

- Dashboard

Se necesita un dashboard que indique solo lo necesario al piloto. Que son RPM y el engrane al que va para los cambios que se tienen que hacer. Esto se puede realizar con la programación de un microcontrolador y usando las señales brindadas por la *ECU*.

- Caja de fusibles

Se sugiere comprar uno comercial, para asegurar buenas conexiones y evitar un posible falso o corto con otros componentes.

- Sujeción Overtravel

Tiene que ser de un material resistente al líquido de frenos y aguantar el pedal en caso de emergencia; al igual estar sujeto por medio de tornillo y tuerca al vehículo para que no se mueva.

- Banco de pruebas solenoide

Se sugiere hacer un banco de pruebas para una buena orientación de éste con respecto a la caja de cambios del motor, para que se realicen en el momento adecuado.

- Banco de pruebas AEM

Se requiere un banco de pruebas que permita hacer un análisis exhaustivo de la ECU para poder prender el motor.

# Referencias

---

- [1] «SAE student events,» SAE International, [En línea]. Available: <https://www.sae.org/attend/student-events/>. [Último acceso: Diciembre 2019].
- [2] D. de la Cabada de la Fuente y A. Lozada Salas, «Implementación de una Unidad de Control de Motor para un vehículo Formula SAE con un sistema en tiempo real,» UNAM, 2017.
- [3] «PE-LTD,» [En línea]. Available: <https://pe-ltd.com/assets/pe3-series-manual.pdf>.
- [4] «Formula SAE® Rules (2017-18 ),» Junio 2016. [En línea]. Available: <https://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf>.
- [5] C. Galizia, «Electrico Copaipa,» [En línea]. Available: [http://electrico.copaipa.org.ar/attachments/102\\_Interpretaci%C3%B3n%20de%20los%20Grados%20de%20Protecci%C3%B3n%20seg%C3%BAAn%20IEC%20y%20NEMA.pdf](http://electrico.copaipa.org.ar/attachments/102_Interpretaci%C3%B3n%20de%20los%20Grados%20de%20Protecci%C3%B3n%20seg%C3%BAAn%20IEC%20y%20NEMA.pdf). [Último acceso: 16 02 2020].
- [6] «Infinity User Guide AEM,» 15 08 2017. [En línea]. Available: <https://www.aemelectronics.com/files/instructions/Infinity%20Stand-Alone%20Programmable%20Engine%20Management%20System%20Full%20Manual.pdf.pdf>. [Último acceso: 26 04 2020].
- [7] «Infinity Quick Start Guide AEM,» 13 04 2017. [En línea]. Available: <https://www.aemelectronics.com/files/instructions/30-71XX-Infinity-Series-7-Quick-Start-Guide.pdf>. [Último acceso: 26 04 2020].
- [8] «Service Manual YZFR6X(C),» YAMAHA Motor, USA, 2008.
- [9] S. Ruiz López, «Adquisición y procesamiento de datos para el análisis dinámico de un vehículo Formula SAE,» UNAM, 2014.
-

# Lista de Tablas

Tabla 4-1 Variables medibles en el auto.....	13
Tabla 4-2 Caracterización de termistores para refrigerante .....	15
Tabla 4-3 Entradas de sensores .....	17
Tabla 4-4 Comparativa entre componentes .....	18
Tabla 4-5 Código de Colores en cableado.....	23

# Índice de Figuras

Ilustración 4-1 Sensor capacitivo - nivel de gasolina.....	14
Ilustración 4-2 Sensor Magnético.....	16
Ilustración 4-3 Diagrama del circuito del auto con AEM .....	20
Ilustración 4-4 Nomenclatura CEI 60529.....	21
Ilustración 4-5 Conectores elegidos.....	22
Ilustración 4-6 Pinzas para terminales .....	22
Ilustración 4-7 Instalación del firmware .....	26
Ilustración 4-8 Configuración del motor en <i>ECU Infinity 708</i> .....	27
Ilustración 4-9 Configuración del sensor de temperatura en <i>ECU Infinity 708</i> .....	27
Ilustración 4-10 Configuración del sensor MAP en <i>ECU Infinity 708</i> .....	28
Ilustración 4-11 Configuración de la sincronía de ignición en <i>ECU Infinity 708</i> .....	29
Ilustración 4-12 Ventana de configuración del Data Logger AQ1 .....	30
Ilustración 4-13 Elección de los dispositivos a conectar con AQ1 Data Logger .....	30
Ilustración 4-14 Piso para colocación de componentes principales .....	32
Ilustración 4-15 Caja del sistema .....	32
Ilustración 4-16 Portafusibles .....	33
Ilustración 4-17 Soporte Over-Travel.....	33
Ilustración 4-18 Diseño final del cableado con componentes.....	34
Ilustración 4-19 Diagrama del circuito del auto con PE3 .....	35
Ilustración 4-20 Colocación de componentes en el vehículo.....	37
Ilustración 5-1 Competencia Formula SAE Italia.....	39
Ilustración 5-2 Evaluación de los interruptores.....	40
Ilustración 5-3 Competencia Formula Student Austria.....	40
Ilustración 5-4 Retroalimentación de los jueces.....	42