ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA EMULACIÓN DE LAS SEÑALES GENERADAS POR LOS SENSORES EMPLEADOS EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN "ELECTRÓNICA Y CONTROL"

FELIPE ANTONIO ANDINO MANZANO
felipe.andino@epn.edu.ec

LUIS ANDRÉS CORRALES ERAZO
luis.corrales01@epn.edu.ec

DIRECTOR: M.Sc. ING. PATRICIO IVÁN CHICO HIDALGO
patricio.chico @epn.edu.ec

CODIRECTOR: Ph.D. LUIS ANÍBAL CORRALES PAUCAR
luis.corrales@epn.edu.ec

Quito, Diciembre de 2017

AVAL

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Felipe Antonio Andino Manzano y Luis Andrés Corrales Erazo, bajo nuestra supervisión.

M.Sc. ING. PATRICIO IVÁN CHICO HIDALGO
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D. LUIS ANIBAL CORRALES PAUCAR
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Felipe Antonio Andino Manzano y Luis Andrés Corrales Erazo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

FELIPE ANTONIO ANDINO MANZANO	LUIS ANDRÉS CORRALES ERAZO

DEDICATORIA

A mis mejores amigos, Luis, Alejandro y Gaby, son ustedes por quienes lucho cada día y no me dejo vencer.

A ti Ma, sé que estoy aquí gracias a ti y quiero que sepas que seguiré luchando para que estés orgullosa de tu pichón.

A esa persona que me apoyo en cada momento y me permitió culminar una gran parte de mi vida, gracias por estar en cada momento para mi Pa.

Felipe Andino

A mi papá, a mi hermana, a mis sobrinos Joaquín y Agustín con mucho cariño.

A mi madre querida, María de Lourdes, Dios te bendiga en el Cielo. Gracias por todo, este es mi regalo para ti.

Luis Andrés

AGRADECIMIENTO

Agradezco a cada persona que formó parte de esta etapa, gracias a los amigos que estuvieron ahí forjando el carácter de la persona que soy ahora, gracias a los profesores que me permitieron crecer.

Gracias Lhuu, por estar ahí apoyándome con cada momento de alegría y tristeza que pasamos, sé que es gracias a ti que logramos terminar esto, gran parte de la persona que soy fue gracias a tu presencia.

Gracias a mi Padre, quien no dejo de luchar ni un solo día por verme feliz, ahora gracias a ti estoy donde estoy y puedo decir que has hecho un gran trabajo formándome, criándome y siendo la guía que necesito y necesitaré siempre, no solo te gradezco haber sido la parte más importante en mi crianza sino también te agradezco haberme apoyado cada día desde que nos levantamos hasta que nos vamos a dormir eres uno de los pilares de mi vida.

Gracias a mi Madre, la persona que me permitió entender que la vida es una lucha constante, gracias por no dejarme solo nunca.

Agradezco de forma especial a Gaby, mi Viru, porque sé que sin ese apoyo en los momentos difíciles que tuve que atravesar, no habría podido llegar a donde estoy, eres una parte especial en mi vida y espero llenarte de orgullo con lo que he logrado.

Felipe Andino

Quiero agradecer primeramente a mi papá por todo el apoyo incondicional que me ha brindado durante toda mi vida y en especial por ser un gran ejemplo como padre, esposo, amigo, persona, y profesional. Por toda la guía que me supo brindar durante mis estudios universitarios en especial en durante el desarrollo de mi proyecto de titulación. Gracias por siempre estar, te amo mucho papá.

A mi hermana Cristina por ser una segunda madre para mí, mi mejor amiga, mi confidente, por ser siempre un gran ejemplo, por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos. Te quiero mucho ñañita querida, eres la mejor. Gracias por todo y espero llenarte de orgullo con nuevos logros.

A mi madre, María de Lourdes por todo lo que me supo enseñar, por ser esa motivación para seguir adelante. Se que desde el cielo está muy orgullosa de mí. Todo lo que soy le debo a ella. Siempre será la persona más importante de mi vida. Te amo y extraño mucho.

A mi compañero de tesis, mi mejor amigo Felipe, por todos los momentos compartidos durante toda la universidad, por la paciencia enorme, por su gran apoyo y responsabilidad en este proyecto y más que nada por su incondicional amistad.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Raúl Hidrobo por todo el apoyo y soporte brindado para el desarrollo de este proyecto.

Agradezco de igual manera al Ingeniero Patricio Chico por todo el soporte brindado para poder culminar satisfactoriamente nuestro Proyecto de Titulación.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas, familiares, amigos que de alguna u otra forma han estado al pendiente de mí y me han demostrado su apoyo constantemente no solo durante el desarrollo de mi proyecto de titulación, sino también a lo largo de mi vida.

Luis Andrés Corrales

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL…….... I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA…….. II
DEDICATORIA……..... III
AGRADECIMIENTO……... IV
ÍNDICE DE CONTENIDO……... VI
RESUMEN……..... VIII
ABSTRACT……..... IX
1. INTRODUCIÓN……..... 1
1.1. OBJETIVOS…… 2
1.2. ALCANCE……. 2
1.3. MARCO TEÓRICO…….. 5
2. METODOLOGÍA……. 33
2.1. OBTENCIÓN DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE..... 35
2.2. DESARROLLO DEL BANCO DE PRUEBAS……. 58
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN……. 173
3.1. PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS……. 174
3.2. EMULACIÓN DEL SENSOR DE POSICIÓN DEL ACELERADOR (TPS)……. 175
3.3. EMULACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN ABSOLUTA DEL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN (MAP)…… 179
3.4. EMULACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DEL AIRE DE ADMISIÓN (IAT)……..... 182
3.5. EMULACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR (ECT)……. 183
3.6. EMULACIÓN DEL SENSOR DE OXÍGENO, O2…… 185
3.7. EMULACIÓN DEL SENSOR DE POSICIÓN DEL CIGÜEÑAL (CKP)……. 187

3.8. EMULACIÓN DEL SENSOR DE DETONACIÓN (KNOCK SENSOR)……. 190
3.9. EMULACIÓN DEL SENSOR DE MASA DE AIRE (MAF)……..... 191
3.10. EMULACIÓN DEL GENERADOR DE PULSOS PARA PROBAR ACTUADORES……..... 192
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……. 200
4.1. CONCLUSIONES…….. 200
4.2. RECOMENDACIONES……. 202
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS…… 203
6. ANEXOS…….. 207

RESUMEN

Este proyecto apunta a diseñar y construir un banco de pruebas que emule las señales de los sensores que forman parte del sistema de inyección electrónica de combustible automotriz, para enviarlas a la unidad electrónica de control (ECU) de un vehículo y ayudar a diagnosticar con agilidad y precisión los problemas del mismo.

Con este propósito se realizó un estudio de los sensores que intervienen en el sistema de inyección electrónica automotriz, para determinar las características de los mismos. Basado en este estudio, se optó por desarrollar un sistema implementado en un microprocesador para la emulación de las señales de los sensores. Su tarea fue complementada con circuitos de acondicionamiento para la correcta interpretación de las señales emuladas a la ECU.

Se diseñaron y añadieron circuitos de protección contra interferencias y transitorios, para así evitar que, el ambiente agresivo del motor del vehículo interfiera en el sistema desarrollado.

Se optó por una HMI táctil con un menú para elegir el sensor cuya señal se quiere emular y manipular variables como temperatura, presión del múltiple de admisión, porcentaje de apertura de válvula de aceleración, etc.

Finalmente, se realizaron pruebas de cada señal emulada en un automóvil “Volkswagen Gol 1.6”, para determinar si la ECU del mismo las interpreta correctamente. Estas pruebas demostraron que el emulador cumplió con los objetivos planteados.

PALABRAS CLAVE: Sistema de inyección electrónica de combustible automotriz. emulador de sensores automotrices.

ABSTRACT

This project attempts to design and build a “testing bench set” which emulates the sensors signals of the automotive electronic fuel injection system, in order to help, with more celerity and accuracy, in the diagnosis of the problems affecting it.

With this purpose, a sensors study that intervene in the automotive electronic injection system was carried out to determine its characteristics. Based in this research a microprocessor-based system was chosen as the solution to emulate the signals of the sensors. Its task was complemented by conditioning circuits for the appropriate insertion of the emulated signals into the ECU.

Interference and transient protection circuits were designed and added to prevent the aggressive environment of the vehicle from interfering with the developed system.

A tactile HMI was chosen with own menu to select the sensor and, to emulate and manipulate the variable values such as: temperature, intake air pressure, choke valve percentage, etc.

Finally, each emulated signal was tested on a “Volkswagen Gol 1.6” to determine that the ECU interprets the emulated signals correctly. The tests results proved that the emulator achieved the proposed aims of this project.

KEYWORDS: Automotive electronic fuel injection system. Emulator of automotive sensors.

1 INTRODUCCIÓN

El incesante desarrollo de la industria automotriz buscando, entre otros objetivos, reducir la contaminación ambiental, mejorar las prestaciones de los vehículos y la seguridad en la conducción, ha hecho que aparezcan soluciones que dependen cada vez más de equipos e instrumentos electrónicos.

Esto ha introducido una gran carga y reto en los mecánicos automotrices que deben ahora resolver problemas no solo de tipo mecánico sino también de tipo electrónico, sin necesariamente estar preparados para tareas que demandan un conocimiento combinado de conceptos mecánicos y electrónicos.

Dentro de este nuevo reto ha aparecido la necesidad de crear herramientas para realizar diagnósticos y reparaciones en los talleres mecánicos de una manera eficiente. Esta necesidad, a su vez, requiere la participación de ingenieros electrónicos con conocimientos de instrumentación y programación a nivel de microprocesadores, dispuestos a diseñar y construir soluciones que ayuden al técnico automotriz a cumplir con celeridad y con mayor certeza en su diaria tarea de solución de problemas.

De entre las diferentes necesidades descubiertas por los técnicos automotrices, sobre todo por aquellos que desean mantenerse competitivos en su trabajo, se ha planteado el problema y objetivo de este proyecto de titulación: Diseñar y construir un sistema microprocesado que, con ayuda de circuitos electrónicos, pueda emular las señales generadas por los sensores involucrados en el sistema de inyección electrónico de un vehículo dotado de una computadora automotriz (ECU, *Electronic control unit,* en español: *Unidad de control electrónico*). El objetivo global que se busca con el sistema a desarrollarse es que, desde el punto de vista de un mecánico automotriz, ayude a identificar, con un razonable grado de certeza, donde radica el problema de un vehículo a partir del código de error generado y registrado en la ECU. Sin esta ayuda, el mecánico, en su día a día, bajo la presión de resolver el problema en el menor tiempo posible, usualmente enfrenta una situación de incertidumbre pues a pesar de contar con el código de error del vehículo, le es difícil descubrir si el problema es en el sensor, en el actuador o en otra parte. Esta herramienta electrónica permitirá entonces descartar o corroborar que se trata del sensor y así acelerar tanto el proceso de diagnóstico como de solución del problema.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto de titulación es diseñar y construir un banco de pruebas para emular las señales de los sensores empleados en el sistema de inyección electrónica de combustible de un vehículo automotriz para poder acoplarlas a la unidad electrónica de control (ECU) y así comprobar el correcto funcionamiento de la misma, de los actuadores y descartar problemas en los sensores que conforman dicho sistema.

Los objetivos específicos de este proyecto de titulación son:

- Realizar un estudio del sistema de inyección electrónica de combustible de un vehículo y de cada uno de los sensores que intervienen en dicho sistema, para establecer sus principios de funcionamiento y las magnitudes eléctricas que generan.
- Desarrollar el software para el sistema microprocesado que generará las señales que van hacia la ECU del vehículo
- Diseñar y construir los acondicionadores del sistema.
- Desarrollar un visualizador que permita el manejo y observación del funcionamiento del sistema.
- Realizar pruebas para verificar el funcionamiento correcto del banco de pruebas cuando se lo acople a la ECU del vehículo considerado.

1.2 ALCANCE

Se estudiará el principio de funcionamiento del sistema de inyección electrónica automotriz más utilizado en la actualidad y empleado en el vehículo Volkswagen Gol 1.6 año 2012 en el que se realizarán las pruebas. Se estudiará la relación que existe entre los componentes principales que lo conforman como son: los sensores y la unidad electrónica de control (ECU).

En base al trabajo anterior se identificarán y estudiarán los sensores que intervienen en el sistema de inyección electrónica. De cada uno de ellos se analizará el principio de funcionamiento y las señales generadas hacia la ECU. Los sensores por estudiar son:

- Sensor de masa de aire (MAF, *mass air flow*), mide el flujo de aire que ingresa al

múltiple de admisión y consta de un cable caliente y un termistor. Su acondicionamiento consta de un puente de Wheatstone que genera una señal de voltaje entre 0 V a 5 V.

- Sensor de posición del acelerador (TPS, *throttle position sensor*, o APP, *accelerator pedal position sensor*), formado por una resistencia variable que acondicionada genera una señal de voltaje entre 0 V a 5 V.
- Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT, *engine coolant temperature*), que consta de un termistor NTC que a la salida genera una señal de voltaje entre 0 V a 5 V mediante un circuito acondicionador.
- Sensor de Detonación (KS, *knock sensor*), que detecta las vibraciones del motor y que posee una pieza de material piezoeléctrico que genera electrónicamente una señal sinusoidal de amplitud y frecuencia variable.
- Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP, *manifold absolute pressure*), que posee un diafragma de silicón unido a resistencias variables que forman parte de un puente de Wheatstone desde el cual un circuito acondicionador genera una señal de voltaje entre 0 V a 5 V.
- Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT, *intake air temperature*), que consta de un termistor NTC al cual se lo acondiciona para generar una señal de voltaje entre 0 V a 5 V.
- Sensor de oxígeno (O2), que permite determinar la correcta mezcla aire-combustible, el cual genera una señal de voltaje mediante una reacción química. La señal de voltaje generada es sinusoidal cuyos valores de voltaje varían entre 0,1 V y 0,9 V aproximadamente.
- Sensor de posición de cigüeñal (CKP, *crankshaft position sensor*), que ayuda a los inyectores a sincronizarse con las revoluciones del motor, y posee una reluctancia magnética o un dispositivo de efecto Hall y genera una señal con una irregularidad producida por el diente faltante en la rueda fónica del vehículo.

Del estudio anterior se pasará al diseño y construcción del banco de pruebas que constará de un sistema microprocesado y circuitos acondicionadores. Para esto:

Se definirá el microprocesador de acuerdo con los requerimientos del sistema, considerando la resistencia que deberá exhibir ante interferencias electromagnéticas y los transitorios. Luego se procederá a desarrollar el software para generar las señales que, luego de sendos circuitos de acondicionamiento, emularán las señales de los sensores anteriormente citados.

Se diseñarán y construirán las etapas de acondicionamiento, capaces de soportar el ambiente agresivo del vehículo, para emular las señales del:

- Sensor de masa de aire.
- Sensor de posición del acelerador.
- Sensor de temperatura del refrigerante del motor.
- Sensor de detonación.
- Sensor de presión absoluta de múltiple de admisión.
- Sensor de temperatura de aire de admisión.
- Sensor de oxígeno.
- Sensor de posición de cigüeñal.

Circuitos de protección, que protejan al sistema contra las interferencias electromagnéticas, transitorios, y altas temperaturas. Estos circuitos se modificarán, de ser necesario, en concordancia con las pruebas reales que se realizarán con el vehículo o durante la ejecución del proyecto.

Las señales emuladas serán realimentadas al sistema microprocesado para que a través de algoritmos de control se garantice que las señales emuladas sean siempre las correctas.

Se diseñará la etapa de alimentación del sistema mediante baterías, donde los circuitos correspondientes se dimensionarán de acuerdo con el consumo previsto de los componentes del banco de pruebas.

Se diseñarán y realizarán pruebas para verificar el funcionamiento correcto del banco de pruebas cuando entregue sus señales a la ECU del vehículo de prueba. En las mismas se hará uso del escáner automotriz, multímetros, medidores de temperatura, presión, osciloscopios, etc., y también en base al comportamiento del motor. En particular, se buscará que la ECU pueda interpretar las señales emuladas de manera correcta y, por lo mismo, controle apropiadamente a los actuadores que intervienen en el sistema de inyección.

El banco de pruebas contará con un visualizador que permita, mediante un menú, elegir el sensor que se quiere emular, y seleccionar el valor de la variable que se quiere emular, por ejemplo, seleccionar el valor de presión si se ha seleccionado el sensor de presión

absoluta del múltiple de admisión. El visualizador deberá permitir observar los valores de las variables emuladas y su valor eléctrico equivalente, por ejemplo, el valor de temperatura o presión, y su equivalente en voltaje o frecuencia.

Adicionalmente, el banco de pruebas contará con un generador de pulsos para probar el funcionamiento de actuadores como: inyectores, relés y válvulas de mariposa del cuerpo de aceleración.

El banco de pruebas se comprobará en un automóvil marca Volkswagen Gol 1.6 del año 2012.

1.3 MARCO TEÓRICO

Para empezar a describir el trabajo realizado se procede a continuación a describir las partes del vehículo involucradas en este trabajo.

En este capítulo se explicará el principio de funcionamiento del sistema de inyección electrónica de combustible automotriz, incluyendo los diferentes sensores y actuadores que lo conforman. También se realizará un estudio acerca de la función de la unidad electrónica de control (ECU) en su rol como detectora de los errores que se producen en el trabajo del vehículo y punto de partida para el mecánico automotriz.

Sistemas de inyección electrónica de combustible automotriz

Gracias a la evolución en la industria automotriz se ha logrado que el sistema mecánico de alimentación de aire-combustible en los motores con carburador quede obsoleto y sean reemplazados por motores que funcionen con sistemas de inyección electrónica (SIE), por sus siglas) de combustible, lo cual ha posibilitado una serie de ventajas como: menor contaminación del aire, mejor economía del combustible, mejor potencia, mejor rendimiento del motor, y respuestas más rápidas en las aceleraciones [1]. En la Figura 1.1 se observa el diagrama de bloques típico de un sistema de inyección electrónica de combustible.

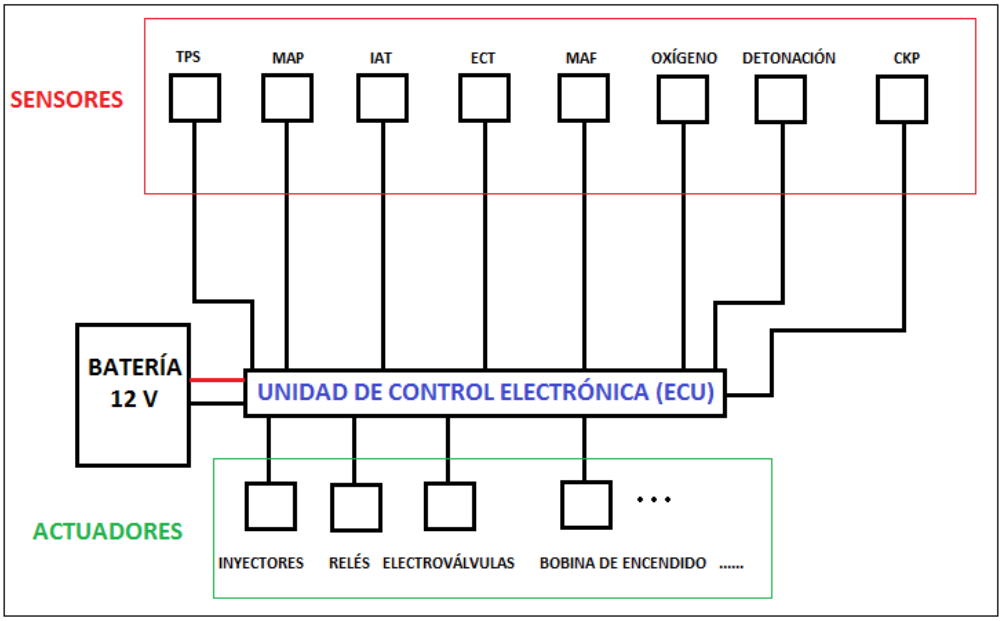


Figura 1.1. Diagrama de bloques de un sistema de inyección electrónica de combustible típico.

Principio de funcionamiento

Un sistema de inyección electrónica típico está compuesto, entre otros elementos, por sensores y actuadores. Los sensores se encargan de detectar y/o medir varios parámetros del sistema y enviar sus respectivas señales a la ECU. Los actuadores son los componentes que reciben la información de la ECU para realizar las acciones de control respectivas. La ECU es la encargada de interpretar las señales enviadas por los sensores y, en función de estas, ordenar a los actuadores que realicen sus funciones de control, en este caso específico, de la inyección electrónica.

Componentes principales de los sistemas de inyección electrónica de combustible

En este proyecto se propone emular las señales de los sensores involucrados en la inyección de combustible al motor para que, de esta manera, el mecánico o técnico pueda detectar con mayor prontitud el origen de los problemas presentes en el SIE. Las señales emuladas se las realizará en base a un vehículo Volkswagen Gol 1.6 del año 2012, el cual posee la mayoría de los sensores que hoy en día se encuentran presentes en vehículos dotados de esta tecnología, exceptuando los vehículos, así denominados, de alta gama. Los sensores por emularse se detallan a continuación.

Sensores de los sistemas de inyección electrónica de combustible

Los sensores que intervienen en el SIE de combustible y cuyas señales eléctricas serán emuladas en el prototipo que se diseñará y construirá son los siguientes:

- Sensor de masa de aire, (MAF, *mass air flow*), no disponible en el vehículo de pruebas.
- Sensor de posición del acelerador, (TPS, *throttle position sensor*, o APP, *accelerator pedal position sensor*).
- Sensor de temperatura del refrigerante, (ECT*, engine coolant temperature*).
- Sensor de detonación, (KS, *knock sensor*).
- Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión, (MAP, *manifold absolute pressure*).
- Sensor de temperatura del aire de admisión, (IAT, *intake air temperature*).
- Sensor de Oxígeno O2.
- Sensor de posición del cigüeñal, (CKP, *crankshaft position sensor*).

A continuación, se procede a describir y analizar la función, características y ubicación de cada uno de los sensores indicados.

Sensor de masa de aire (MAF, mass air flow)

Figura 1.2. Sensor de masa de aire, MAF [2].

El sensor de masa de aire, MAF (mass air flow) (Figura 1.2), tiene como función medir el flujo de masa del aire succionado en el múltiple de admisión [2]. Este sensor típicamente tiene una resistencia de hilo fino de platino cuyo valor de impedancia varía acorde el flujo de aire que ingresa al múltiple de admisión [3].

Este sensor, junto con el sensor MAP (*manifold absolute pressure*), sirve para el cálculo del tiempo de inyección. El sensor MAF típico posee 3 cables: el primero corresponde al voltaje de alimentación que brinda la ECU, el segundo está conectado a tierra y el tercero va directo a la ECU y posee el dato del caudal másico de aire [1].

El circuito típico de un sensor MAF se observa en la Figura 1.3 y son: un termistor, un cable caliente de platino y un circuito electrónico de control.

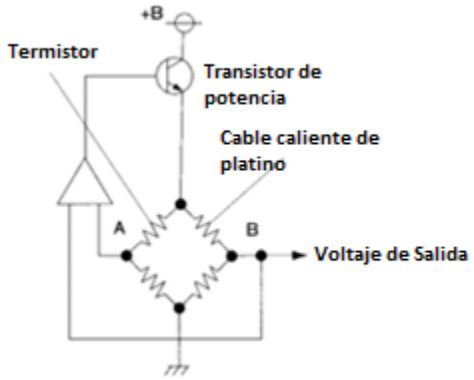


Figura 1.3. Componentes típicos de un sensor MAF [4].

Cuando aumenta el flujo de aire, el cable caliente de platino pierde calor rápidamente y el circuito electrónico de control lo compensará enviando más corriente a través del cable. Simultáneamente, el circuito de control mide el flujo de corriente de compensación y envía una señal de voltaje en proporción a dicho flujo de corriente; es decir, en proporción a la masa de aire que ingresa. En la Figura 1.4 se muestra la relación típica que existe entre la masa de aire que ingresa y el voltaje que entrega el sensor MAF.

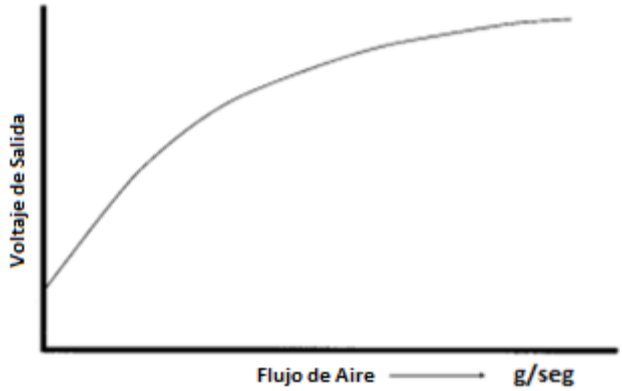


Figura 1.4. Señal típica de salida de voltaje del sensor MAF [4].

En la Figura 1.5 se ilustra el circuito típico del sensor MAF, donde se observa la conexión del mismo hacia la ECU de un vehículo.

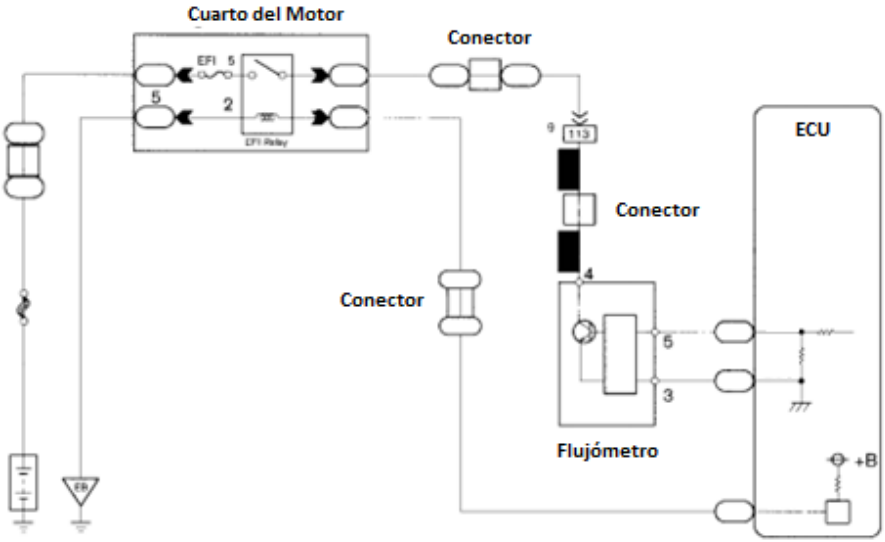


Figura 1.5. Circuito típico de conexión del sensor hacia la ECU [4].

Algunos vehículos carecen de este sensor, pero son reemplazados por el sensor MAP como es el caso del vehículo antes mencionado donde se realizarán las pruebas de este proyecto. Para la emulación de este sensor se usaron los valores obtenidos a partir de un sensor MAF típico Bosch (curva proporcionada por el técnico especialista), los cuales se observan en la Figura 1.6.

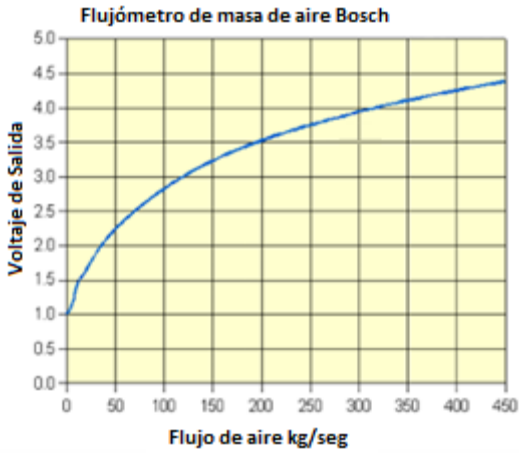


Figura 1.6. Señal de voltaje con respecto al flujo de aire en kg/hr de un sensor MAF típico Bosch [3].

La señal por emular es la que se observa en la Figura 1.6.

Sensor de posición del acelerador (TPS, throttle position sensor, o APP, accelerator pedal position sensor)

El sensor TPS (*throttle position sensor*) o sensor de posición del estrangulador (conocido también en el ámbito automotriz como: sensor de posición de mariposa) se encarga de monitorear la posición de la válvula mariposa (papalote) localizada en la garganta de entrada de aire hacia el motor, entregando una señal hacia la ECU que, a su vez, controla los tiempos de inyección de combustible hacia las cámaras de combustión. Este sensor convierte el ángulo de la válvula en un voltaje continuo. A medida que la válvula se abre, el voltaje de la señal se incrementa [5]. La ECU usa esta información para saber en qué modo está el motor: ralentí, aceleración parcial, aceleración total, pasando por todos los valores intermedios de forma continua. Por ejemplo, cuando el motor se encuentra en ralentí, el sensor TPS típico envía una señal entre 0,4 V a 0,8 V, equivalente a cero grados, hacia la ECU. Conforme se incrementa la aceleración también lo hace la señal de voltaje del sensor TPS hasta alcanzar su máximo valor a aceleración total, que está entre 4,5~5,0 Voltios. Corrigiendo la proporción aire-combustible, la ECU regula la potencia del motor. Es decir, la ECU puede determinar la cantidad de combustible que debe suministrar en los inyectores en base a la señal del sensor TPS. En la Figura 1.7 se observa una fotografía de un sensor TPS típico.

Figura 1.7. Sensor TPS típico [6].

Un sensor típico TPS posee tres cables: el de alimentación (5 V) que son proporcionados por la ECU, el de la señal de posición de la válvula y por último la tierra que va desde el sensor hacia la ECU.

El sensor TPS en este vehículo es un potenciómetro, cuyo brazo móvil-deslizable está acoplado al eje de la mariposa de aceleración y gira cierto ángulo en función de la aceleración. El ángulo máximo que gira es de alrededor de 90 grados, y tiene sentido que sea así pues a 0 grados la mariposa de aceleración está cerrada y se encuentra perpendicular a la garganta de acceso de aire hacia el múltiple de admisión, mientras que a máxima aceleración la mariposa de aceleración debe estar paralela a la garganta de

admisión. A medida que el brazo móvil se mueve la resistencia cambia y por consiguiente el voltaje. Si el brazo móvil se acerca al terminal de alimentación, la resistencia disminuye y la señal de voltaje se incrementa. En la Figura 1.8 se observa el circuito de conexión típico del sensor TPS.

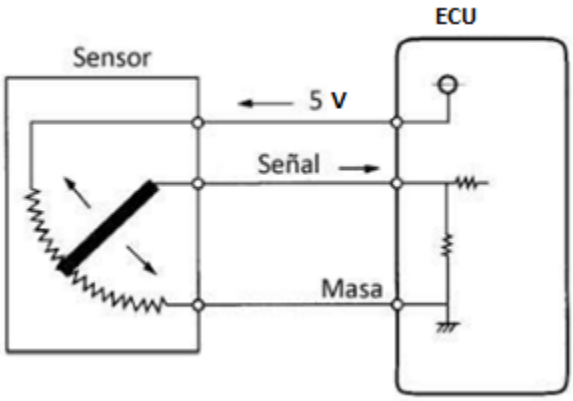


Figura 1.8. Conexión típica del sensor TPS hacia la ECU [5].

La señal de salida es lineal al ser un sensor de tipo potenciométrico tal y como se observa en la Figura 1.9.

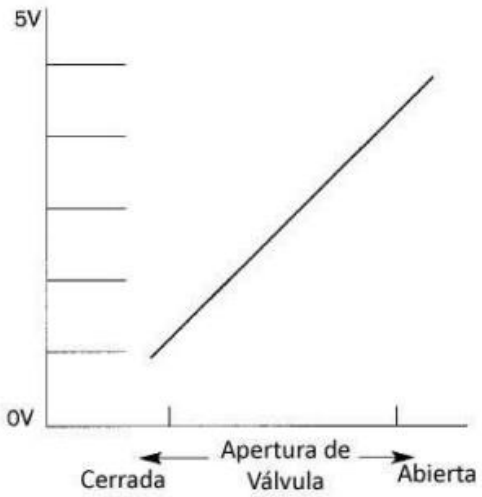


Figura 1.9. Señal de salida lineal del sensor TPS [5].

En algunos vehículos, como en el caso del Volkswagen Gol, el sensor TPS es doble; es decir, está compuesto por dos potenciómetros que proporcionan dos señales de voltaje las cuales deben mantener una cierta relación para que el vehículo pueda funcionar. En la Figura 1.10 se observa la conexión de un sensor TPS típico doble hacia la ECU.

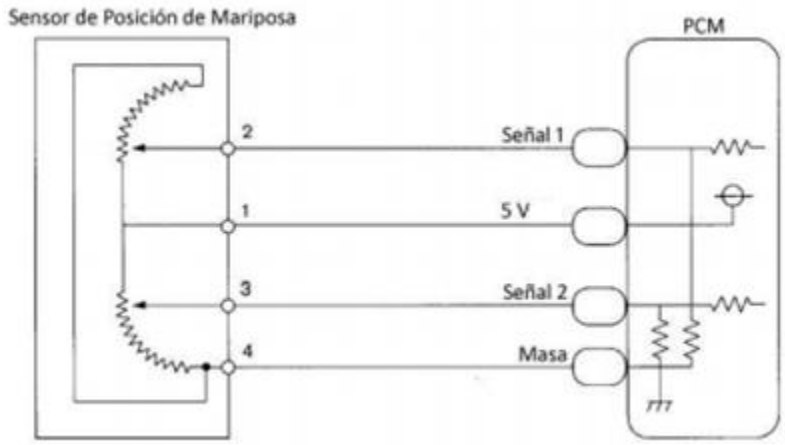


Figura 1.10. Conexión típica de un sensor TPS doble hacia la ECU (PCM) [5].

La segunda señal varía igual que la primera en concordancia con la apertura de la válvula, pero la segunda posee un voltaje mayor que la primera. Conforme aumenta el porcentaje de apertura de la válvula el voltaje de las dos señales aumenta, pero la segunda señal con una mayor proporción con respecto a la primera. La ECU puede comparar los dos voltajes y de esta manera puede detectar problemas fácilmente. En la Figura 1.11 se observan las dos señales de voltaje del sensor TPS doble con respecto al porcentaje de apertura de la válvula de mariposa. La señal 1 de menor voltaje se llamará APP2 y la señal 2 de mayor voltaje se llamará APP1.

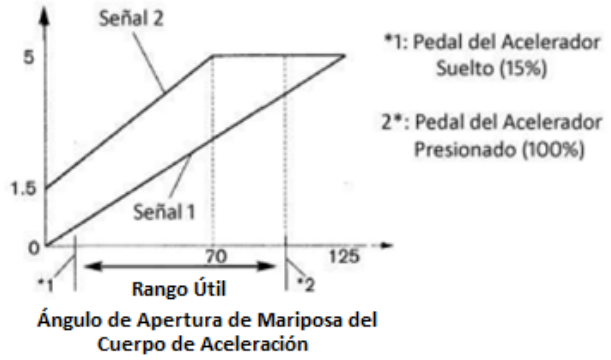


Figura 1.11. Señales de salida de un sensor TPS típico doble [5].

El banco de pruebas emulará las dos señales de voltaje.

Sensor de temperatura del refrigerante (ECT, engine coolant temperature)

El sensor ECT (*engine coolant temperature*) (Figura 1.12) es aquel que mide la temperatura del refrigerante del motor. La medición se realiza a través de un termistor NTC, es decir, conforme la temperatura aumenta, disminuye la resistencia del sensor y el voltaje de la señal.

Figura 1.12. Sensor ECT (engine coolant temperature) [7].

La medida que entrega este sensor permite que la ECU envíe la información para la activación del ventilador [8].

El sensor ECT se ubica por lo general en la toma del agua, justo donde se encuentra el termostato y se conecta a la ECU a través de una terminal. En la Figura 1.13 se observa el diagrama de conexión típico de este sensor.

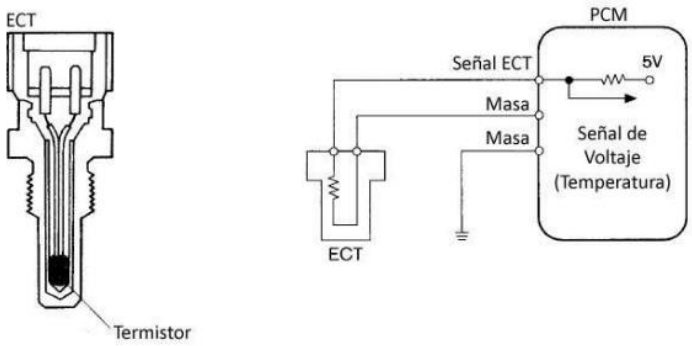


Figura 1.13. Conexión de un sensor ECT típico hacia la ECU (PCM) [9].

En la Figura 1.14 se ilustra la relación entre el valor de la temperatura versus el voltaje de un sensor ECT típico. La gráfica es en base a un voltaje de referencia V_{REF} = 5 V.

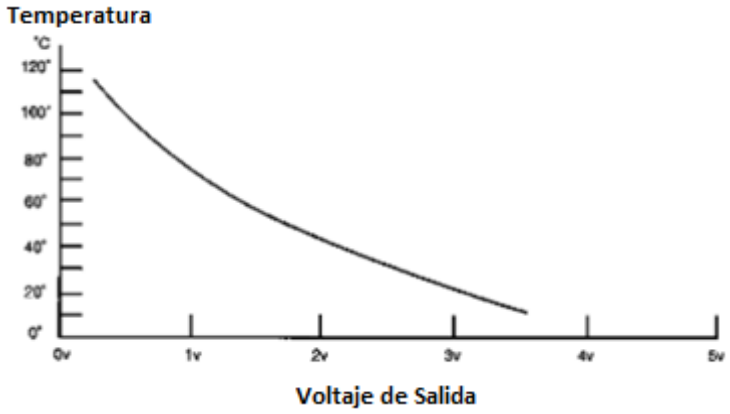


Figura 1.14. Gráfica de temperatura vs voltaje de un sensor ECT típico [10].

La señal que se emulará es la que se observa en la Figura 1.14.

Sensor de detonación (KS, knock sensor)

El sensor de detonación KS (*knock sensor*) (Figura 1.15) es aquel que detecta los sonidos de las detonaciones del motor. Este sensor tiene como objetivo detectar el golpeteo excesivo de las partes móviles del motor. La señal eléctrica generada por el sensor es llevada por un cable apantallado a fin de minimizar la contaminación eléctrica de la minúscula señal generada por el mismo [11].

Figura 1.15. Sensor de detonación típico (knock sensor) [12].

En la Figura 1.16 se muestra el esquema de conexión típico para este sensor.

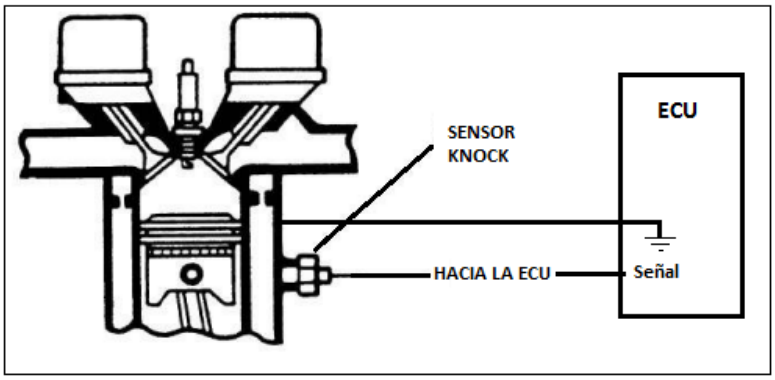


Figura 1.16. Conexión típica de un sensor de detonación hacia la ECU [13].

Un sensor KS está conformado por una cabeza metálica que contiene en su interior una pieza de material piezoeléctrico que, al ser sometida a esfuerzos mecánicos, genera un voltaje. Por lo tanto, este sensor es un dispositivo electrónico que mide la vibración y la convierte en una señal eléctrica que mide el golpeteo del motor, el cual está a una frecuencia aproximada entre 5 y 6 KHz. En la Figura 1.17 se observa la estructura interna de este sensor.

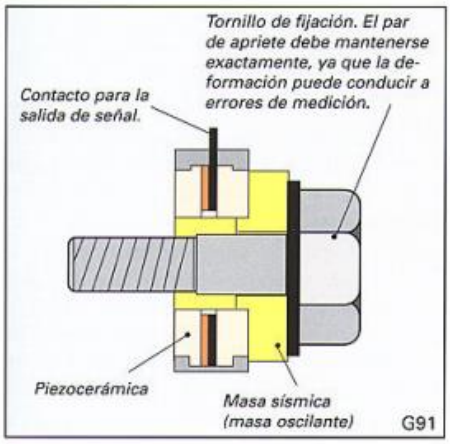


Figura 1.17. Estructura interna de un sensor KS típico (knock sensor) [11].

El sensor de detonación genera voltaje de forma continua, pero cuando el motor comienza a detonar, el sensor comienza a generar más voltaje y la ECU realiza los ajustes necesarios para evitar la detonación del motor. En la Figura 1.18 se muestra el comportamiento de la señal del sensor [11].

Figura 1.18. Comportamiento de la señal de un sensor KS típico.

El sensor de detonación genera dos frecuencias: la señal del golpeteo y la señal del funcionamiento propio del motor. Debido a que la señal del golpeteo tiene una frecuencia más alta que la del funcionamiento normal del motor se podría fácilmente separarlas en la ECU. El golpeteo excesivo causa daño al motor por lo que es necesario controlarlo. El banco de pruebas emulará una señal alterna sinusoidal para este sensor.

Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP, manifold absolute pressure)

El sensor de presión absoluta del múltiple de admisión MAP (*manifold absolute pressure*) (Figura 1.19) convierte la presión (colector/vacío) del motor en una señal eléctrica de manera que la ECU puede determinar bajo que carga el motor se encuentra. Estos datos son la base para la entrega de combustible y el control de tiempo [14].

Figura 1.19. Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión típico [15].

El sensor MAP se ubica generalmente sobre el múltiple de admisión o está montado sobre la carrocería interna del compartimento del motor, y a su vez, conectado a una manguera de caucho conectada a un puerto de vacío sobre el múltiple de admisión. Típicamente, el sensor es un elemento resistivo piezoeléctrico montado en un puente Wheatstone. En la Figura 1.20 se observa la estructura interna y funcionamiento de este sensor.

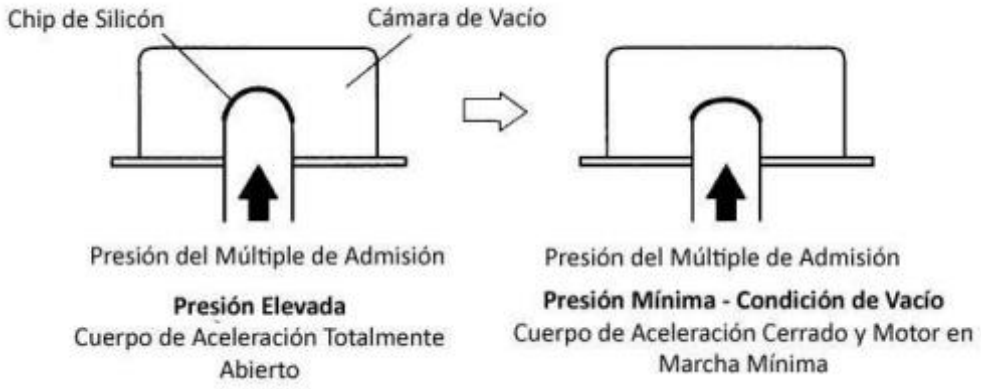


Figura 1.20. Estructura y funcionamiento de un sensor MAP típico [14].

El sensor MAP utiliza vacío para medir la diferencia entre la presión atmosférica y la presión absoluta, es decir, mide una presión por debajo de la atmosférica [16]. Esta diferencia varía la señal (voltaje) que va hacia la ECU. A medida que la presión de vacío dentro del múltiple de admisión aumenta, la señal de voltaje del sensor aumenta. En la Figura 1.21 se observa la señal de voltaje que genera este sensor.

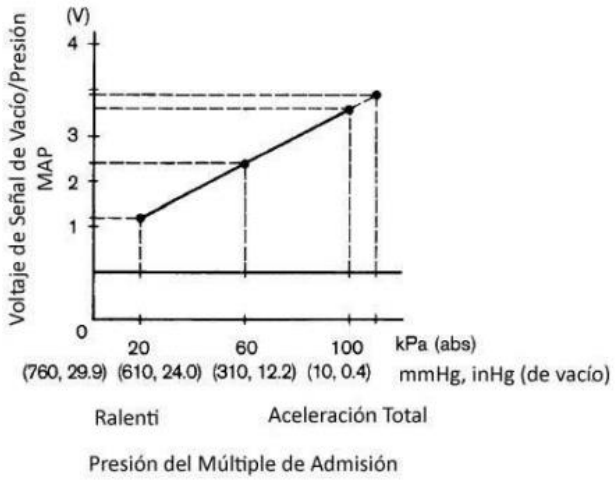


Figura 1.21. Gráfica de voltaje del sensor MAP típico vs presión [14].

La ECU mide esta señal de voltaje en la terminal correspondiente. El sensor recibe 5 voltios para su alimentación desde la ECU, así como también el cable para conexión a tierra. En la Figura 1.22 se observa el circuito de conexión típico de este sensor.

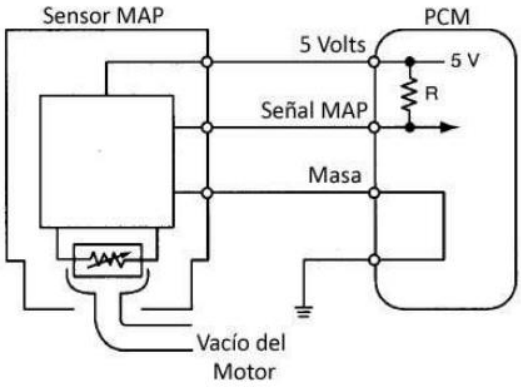


Figura 1.22. Circuito eléctrico típico de un sensor MAP hacia la ECU (PCM) [14].

En el vehículo de este proyecto el sensor MAP reemplaza al sensor MAF e integra al sensor IAT que se explica en la siguiente sección con lo que se convierte en realidad en un sensor compuesto TMAP. Se emulará una señal de voltaje como la que se observa en la Figura 1.21.

Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT, intake air temperature)

Figura 1.23. Sensor IAT típico (*intake air temperature*) [17].

El sensor IAT (Figura 1.23) es aquel que detecta la temperatura del aire en el conducto de admisión y permite a la ECU corregir el tiempo de inyección con base en la densidad del aire que entra a las cámaras de combustión. En vehículos que están equipados con sensores MAF, el sensor IAT viene por separado, mientras que en ciertos vehículos equipados con sensores MAP, el sensor IAT forma parte de este sensor, como es el caso del vehículo Volkswagen Gol 1.6, año 2012.

El sensor IAT típico se conecta a la ECU a través de un cable y un terminal de tierra. Al igual que el sensor ECT, el sensor IAT consta de un termistor tipo NTC; es decir, al haber

un incremento de temperatura la resistencia del sensor disminuye [17]. En la Figura 1.24 se observa el circuito de conexión típico del sensor IAT.

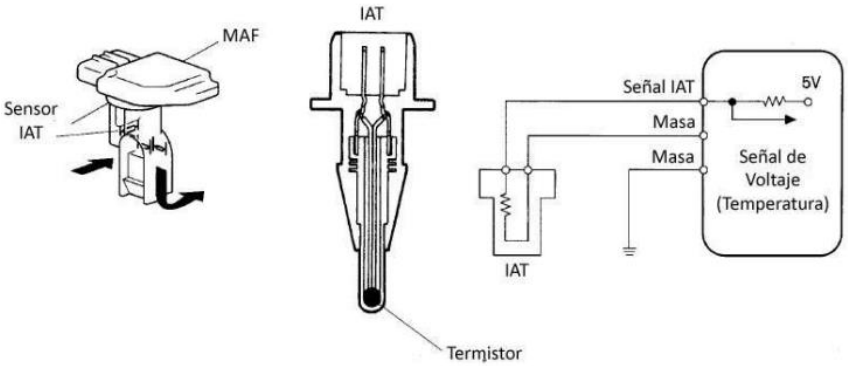


Figura 1.24. Circuito eléctrico típico de un sensor IAT [8].

En la Figura 1.25 se observa la señal de voltaje que genera este sensor la cual será emulada por el banco de pruebas.

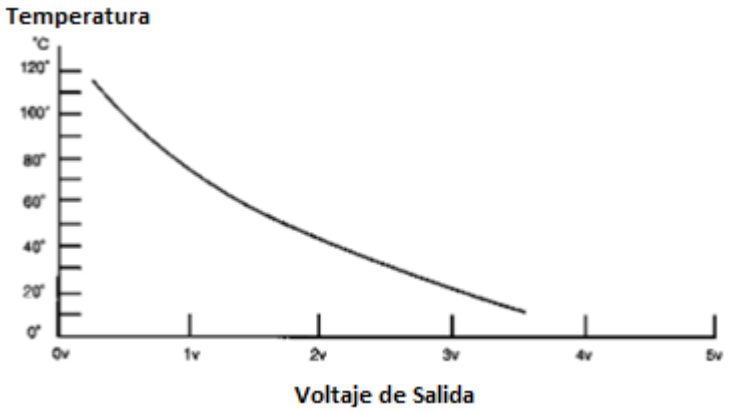


Figura 1.25. Gráfica de temperatura vs voltaje de un sensor IAT típico [10].

Sensor de oxígeno, O2

Un vehículo se encuentra equipado con un convertidor catalítico que se encarga de reducir las emisiones de los gases que se producen en el interior del motor. Este sensor determina la presencia de oxígeno en el tubo de escape del vehículo [18]. En la Figura 1.26 se observa una fotografía de un sensor de oxígeno típico.

Figura 1.26. Sensor de oxígeno típico [19].

Desde este sensor se envía una señal eléctrica a la ECU para que la misma se encargue de realizar los ajustes necesarios y obtener la relación óptima de aire-combustible.

Al quemarse la gasolina dentro del cilindro se generan humos de escape donde existen pocas cantidades de oxígeno que no alcanzan a consumirse por completo. Las cantidades de oxígeno cambian constantemente siempre que el motor se encuentre en funcionamiento [18]. En la Figura 1.27 se ilustra el principio de funcionamiento de este sensor.

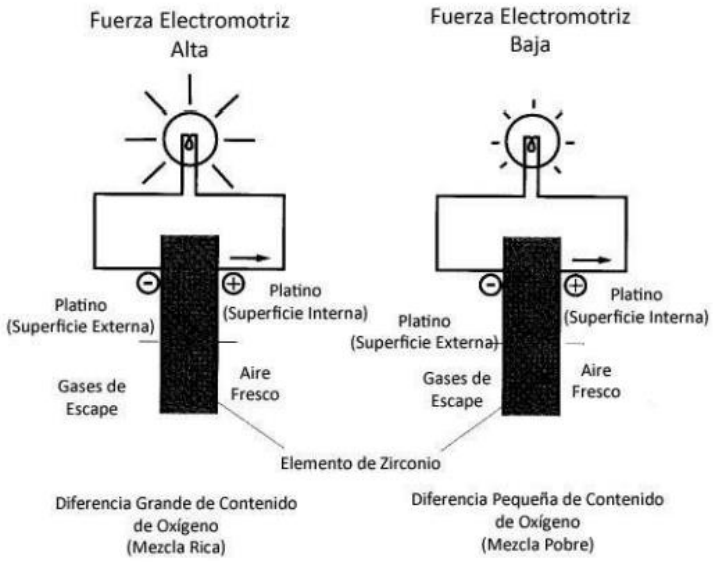


Figura 1.27. Principio de funcionamiento del sensor de oxígeno [18].

Estas variaciones de oxígeno son las que este sensor se encarga de monitorear. Cuando el contenido de oxígeno es alto el sensor produce un bajo voltaje y cuando las cantidades de oxígeno son bajas el sensor produce un alto voltaje.

En una mezcla rica en combustible (poco oxígeno) el sensor producirá un voltaje alto en un rango aproximado de 0,6 voltios a 1 voltio. En una mezcla pobre en combustible (bastante oxígeno) el sensor entregará una señal de voltaje en un rango de 0,1 voltios a 0,4 voltios. Esas dos condiciones son los extremos de la mezcla [18].

La condición más equilibrada en la composición de la mezcla aire-combustible, se llama estequiometría que se refiere a la perfección de la mezcla que es cuando se tiene 14.7 partes de aire por 1 de combustible [18]. Cuando la mezcla alcanza esta proporción el voltaje que entrega el sensor será aproximadamente de 0,45 voltios [18]. Es importante mencionar que el sensor de oxígeno no puede determinar la cantidad de pobreza o riqueza de combustible [18]. En la Figura 1.28 se observa el rango de voltaje típico de este sensor.

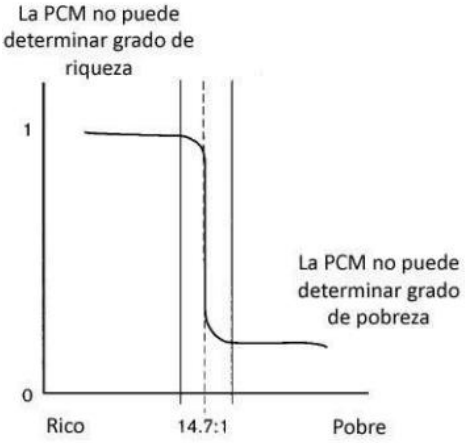


Figura 1.28. Rango de voltaje de un sensor de oxígeno típico [18].

Esto significa que el sensor de oxígeno se comporta como un interruptor, cuando la mezcla de aire-combustible se encuentra en su zona de estequiometría (14.7:1) la señal de voltaje será de 0,45 voltios y en ese instante el sensor cambiará el voltaje de la señal hacia arriba (1 voltio) o hacia abajo (0.1 voltios), y lo seguirá haciendo mientras el motor siga funcionando [18]. En la Figura 1.29 se observa la señal de salida típica que genera un sensor de oxígeno.

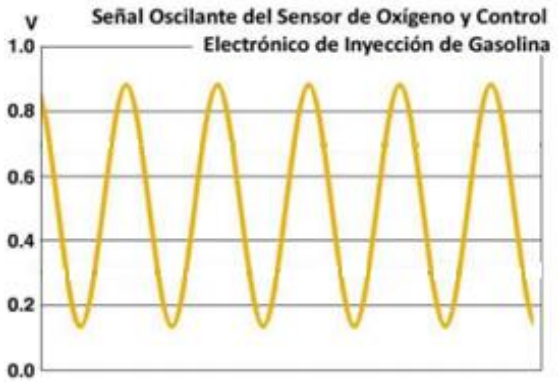


Figura 1.29. Señal típica de un sensor de oxígeno [18].

Cuando el sensor se encuentra frío se comporta como una resistencia eléctrica hasta alcanzar su temperatura ideal. Al llegar a dicha temperatura, el sensor se comporta como una batería [18]. Para que la señal de salida sea lo más precisa posible, es importante que el sensor se mantenga a temperaturas elevadas; esto es, cuando ha alcanzado una temperatura mínima de 400°C [18]. En la Figura 1.30 se observa la señal de voltaje que genera este sensor con respecto a la variación de temperatura.

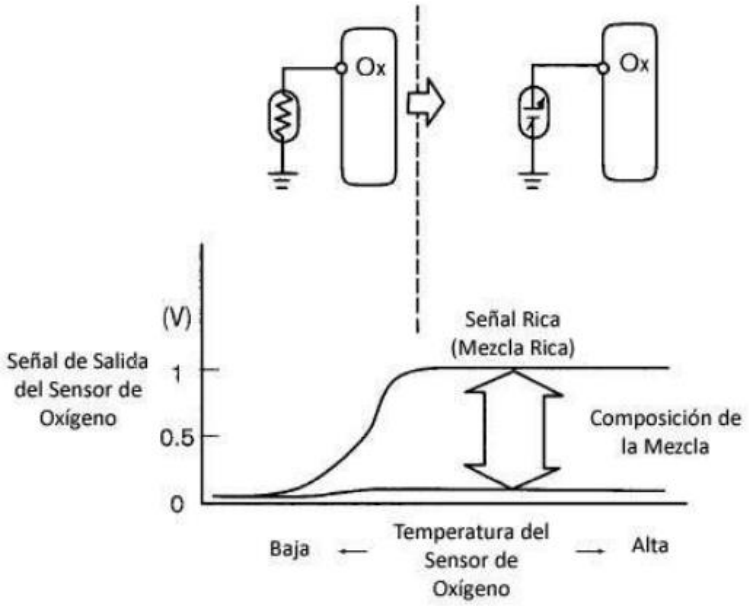


Figura 1.30. Gráfica de temperatura vs. señal del sensor de oxígeno típico [18].

Para que el sensor se caliente rápido y se mantenga caliente tanto en ralentí como en altas RPM, el sensor posee una resistencia calefactora controlada por la ECU. En la Figura 1.31 se observa la conexión típica del sensor de oxígeno hacia la ECU.

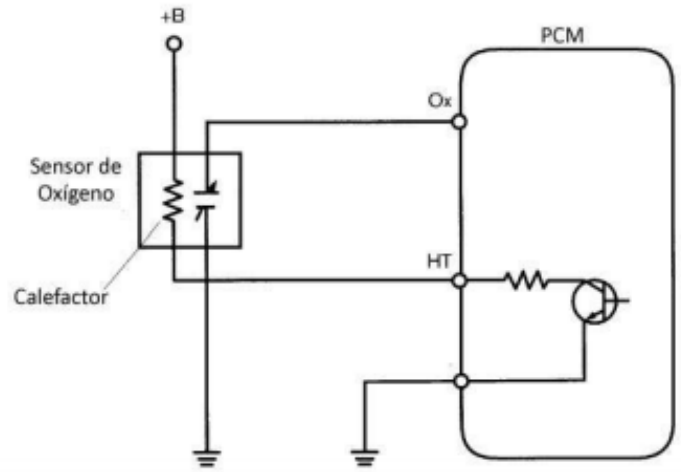


Figura 1.31. Conexión típica de un sensor de oxígeno hacia la ECU (PCM) [18].

Sensor de posición del cigüeñal (CKP, crankshaft position sensor)

Figura 1.32. Sensor de posición de cigüeñal típico [20].

El sensor CKP (*crankshaft position sensor*) (Figura 1.32) es un sensor de tipo inductivo cuya función es detectar los cambios de campo magnético producidos por las variaciones de posición del cigüeñal [21]. También existen sensores CKP de efecto Hall que trabajan en conjunto con el Pull-Up de la ECU, como es el caso del vehículo donde se realiza este proyecto.

El sensor CKP se coloca frente a una rueda dentada (rueda fónica) (Figura 1.33) con varios dientes (58 dientes en el caso del vehículo de este proyecto) acoplada al cigüeñal.

La señal que envía este sensor permite a la ECU controlar la activación del relé de la bomba de combustible, y la dosificación del mismo.

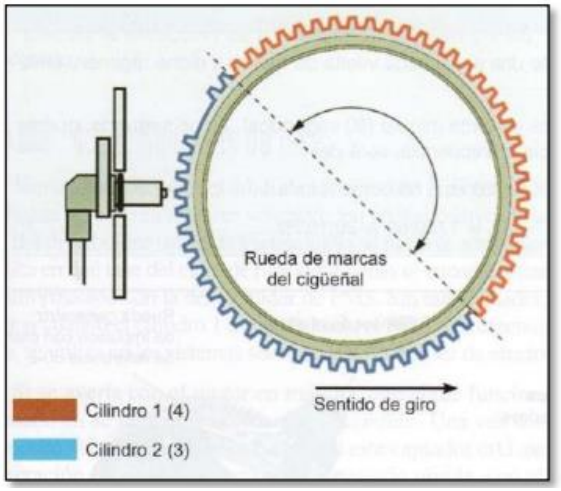


Figura 1.33. Rueda fónica [22].

Cuando la rueda fónica gira y un diente pasa por el sensor CKP (Figura 1.34) existe una variación del campo magnético lo cual crea un pulso de encendido y apagado cuyo número depende de las revoluciones del cigüeñal.

Figura 1.34. Partes del sensor CKP y rueda fónica [21].

La señal que genera este sensor en caso de ser inductivo es una onda alterna sinusoidal de frecuencia y amplitud variable ya que depende de las revoluciones del motor y posee una irregularidad debida a un diente faltante en la rueda fónica [21]. Actualmente, los sensores CKP de tipo inductivo han sido reemplazados por sensores de efecto Hall. En la Figura 1.35 se observa la señal típica que genera un sensor CKP inductivo.

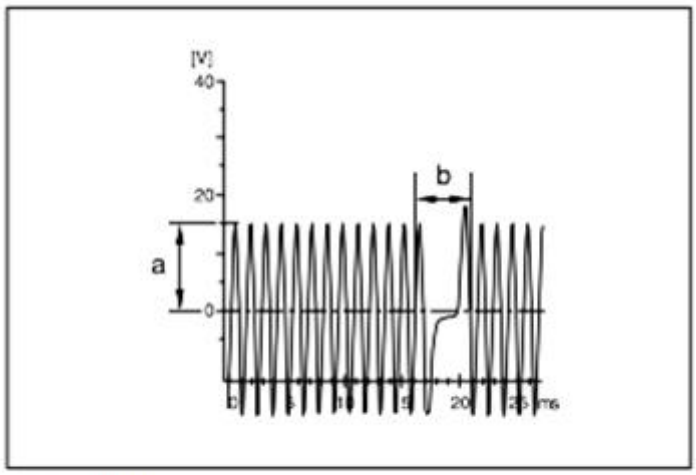


Figura 1.35. Señal típica de un sensor CKP inductivo donde b es la irregularidad producida por el diente faltante en la rueda fónica [23].

En la Figura 1.36 se muestra un esquema de conexión típico del sensor CKP a la ECU.

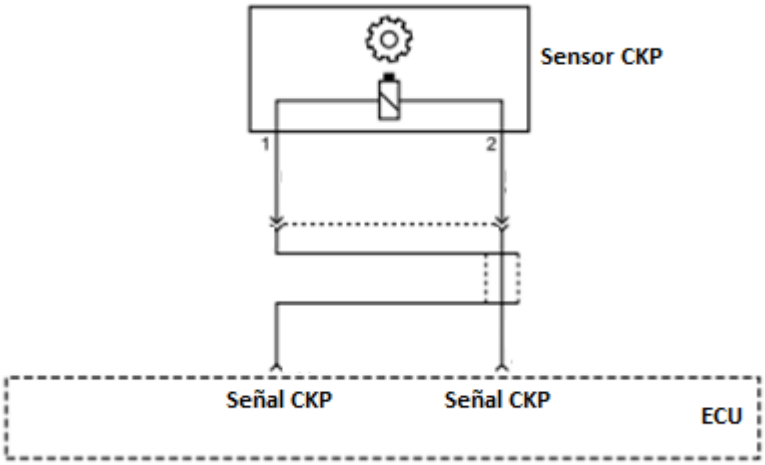


Figura 1.36. Conexión Eléctrica típica del Sensor CKP hacia la ECU (ECM) [23].

En el caso de un sensor CKP de efecto Hall, la señal de salida es la que se observa en la Figura 1.37.

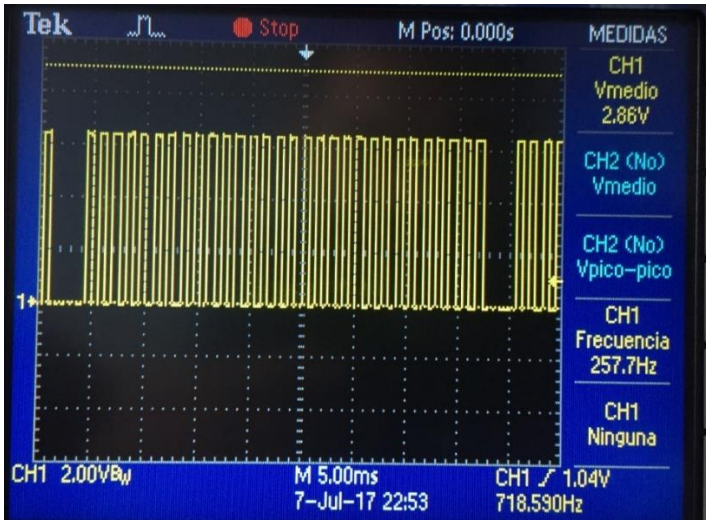


Figura 1.37. Señal de salida típica de un sensor CKP de efecto Hall.

En la Figura 1.37 se puede observar un tren de pulsos con un espacio faltante que corresponde a los dientes faltantes de la rueda fónica. La señal que se emulará es la que se observa en esta figura.

Actuadores de los sistemas de inyección electrónica de combustible

Los actuadores que intervienen en el sistema de inyección electrónica de combustible y cuyo control depende de las señales que son enviadas por los sensores del sistema hacia la ECU son:

- Inyectores de combustible.
- Bobina de encendido.
- Relés eléctricos.
- Electroválvulas en general.

Un esquema típico del sistema de encendido electrónico moderno se muestra en la Figura 1.38.

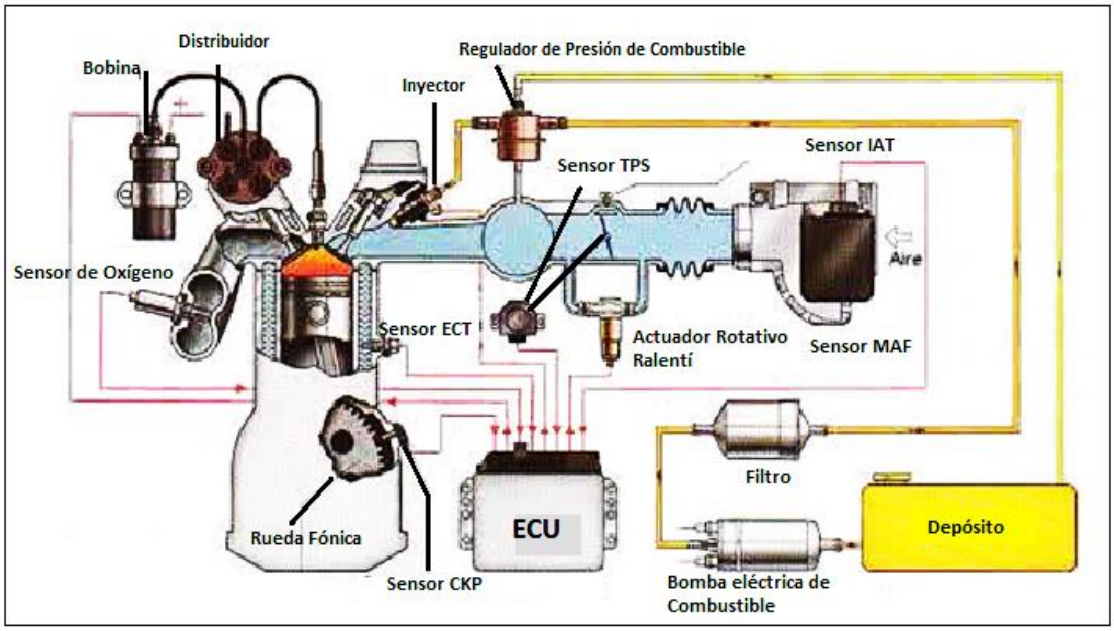


Figura 1.38. Esquema típico de un sistema de inyección electrónico [24].

A continuación, se describen los actuadores cuyo funcionamiento se probará a través del generador de pulsos que tendrá el banco de pruebas.

Inyectores de combustible

Los inyectores (Figura 1.39) son válvulas eléctricas que reciben una señal PWM (*pulse width modulation*) generada por la ECU y su función es inyectar la cantidad correcta de combustible calculada por la ECU de acuerdo con las señales enviadas por los diferentes sensores. Programas de la ECU controlan los inyectores de combustible de manera muy precisa, de modo que bajo diferentes condiciones de operación del motor se puede obtener una mezcla aire-combustible óptima. En la Figura 1.40 se observa la curva característica de un inyector típico.

Figura 1.39. Inyectores de combustible [25].

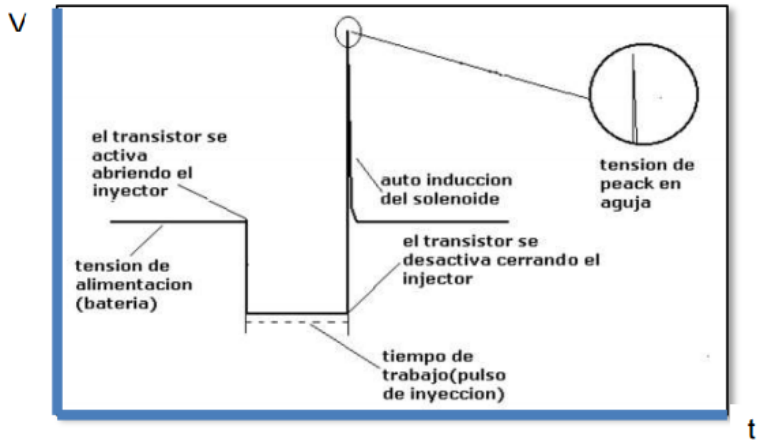


Figura 1.40. Curva característica de un inyector típico [26].

El circuito de conexión típico de un inyector con la ECU se muestra en la Figura 1.41. Existe un inyector por cada cilindro.

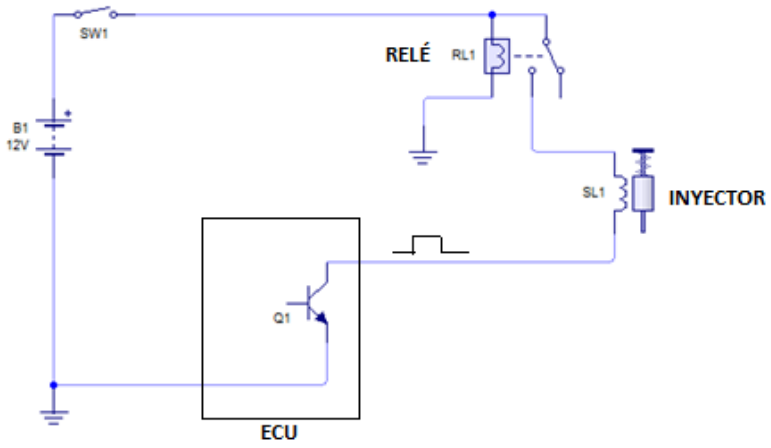


Figura 1.41. Circuito típico de un inyector de combustible [27].

Cuando el inyector es energizado, inyecta combustible que se mezcla con el aire succionado desde el exterior para producir la mezcla aire/combustible. Esto se produce durante la etapa de admisión del cilindro. A presión constante, la cantidad de combustible es proporcional al tiempo de activado.

Relé automotriz

Los relés (Figura 1.42) en los sistemas de inyección electrónica de combustible son utilizados para conmutar corrientes de alto amperaje para la alimentación de diversos componentes usando corrientes pequeñas [27].

Figura 1.42. Relé automotriz [28].

Entre estos componentes se encuentran los inyectores, bobinas de encendido, válvulas de control de aire, electro ventiladores, entre otros que son comandados por la ECU para su activación [27]. En la Figura 1.43 se observa la conexión de los relés en los sistemas de inyección electrónica de combustible.

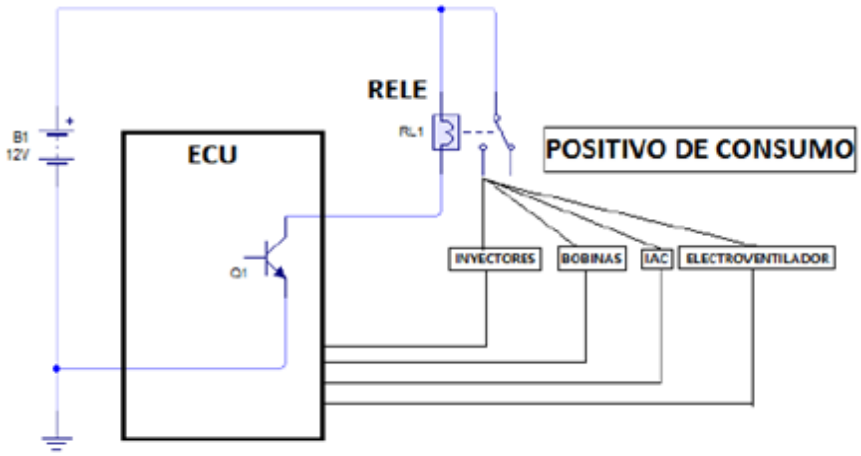


Figura 1.43. Circuito eléctrico típico de los relés [27].

Válvula de mariposa del cuerpo de aceleración

Esta válvula, en conjunto con el sensor TPS, constituyen el cuerpo de aceleración del vehículo. La válvula de mariposa es controlada por medio de un motor de corriente continua cuya operación es controlada a través del sensor TPS y la ECU. Esta válvula tiene como función principal regular la cantidad de aire que ingresa al motor [30]. El funcionamiento de esta válvula se probará a través de la emulación de la señal del sensor TPS y también, a través del generador de pulsos. En la Figura 1.44 se observa el cuerpo de aceleración con sus componentes principales.

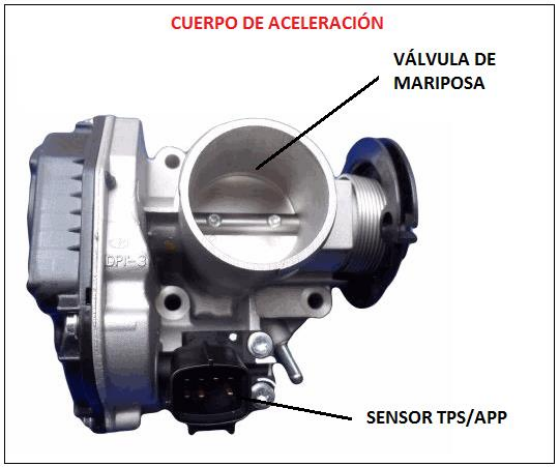


Figura 1.44. Cuerpo de aceleración [29].

Unidad electrónica de control (ECU, electronic control unit)

Figura 1.45. Unidad electrónica de control ECU [31].

La unidad electrónica de control ECU (Figura 1.45) (*electronic control unit*), es una unidad comúnmente conocida como “cerebro” que se basa en un sistema microprocesado que regula el sistema de inyección electrónica de combustible y realiza otras funciones como: la regulación de pre-ignición, control de ralentí, servicios de seguridad, etc., dependiendo de las señales que recibe de los diferentes sensores que intervienen dentro de los sistemas del vehículo, entre los que se incluye el sistema de inyección electrónica de combustible [21]. En lo que se refiere a este último sistema, la ECU recibe las señales de cada uno de los sensores, las interpreta y a través de algoritmos envía las señales de control para la activación de los actuadores. En la Figura 1.46 se ilustra la arquitectura de una ECU de un vehículo marca Volkswagen GOL 1.6 (proporcionada por el técnico especialista).

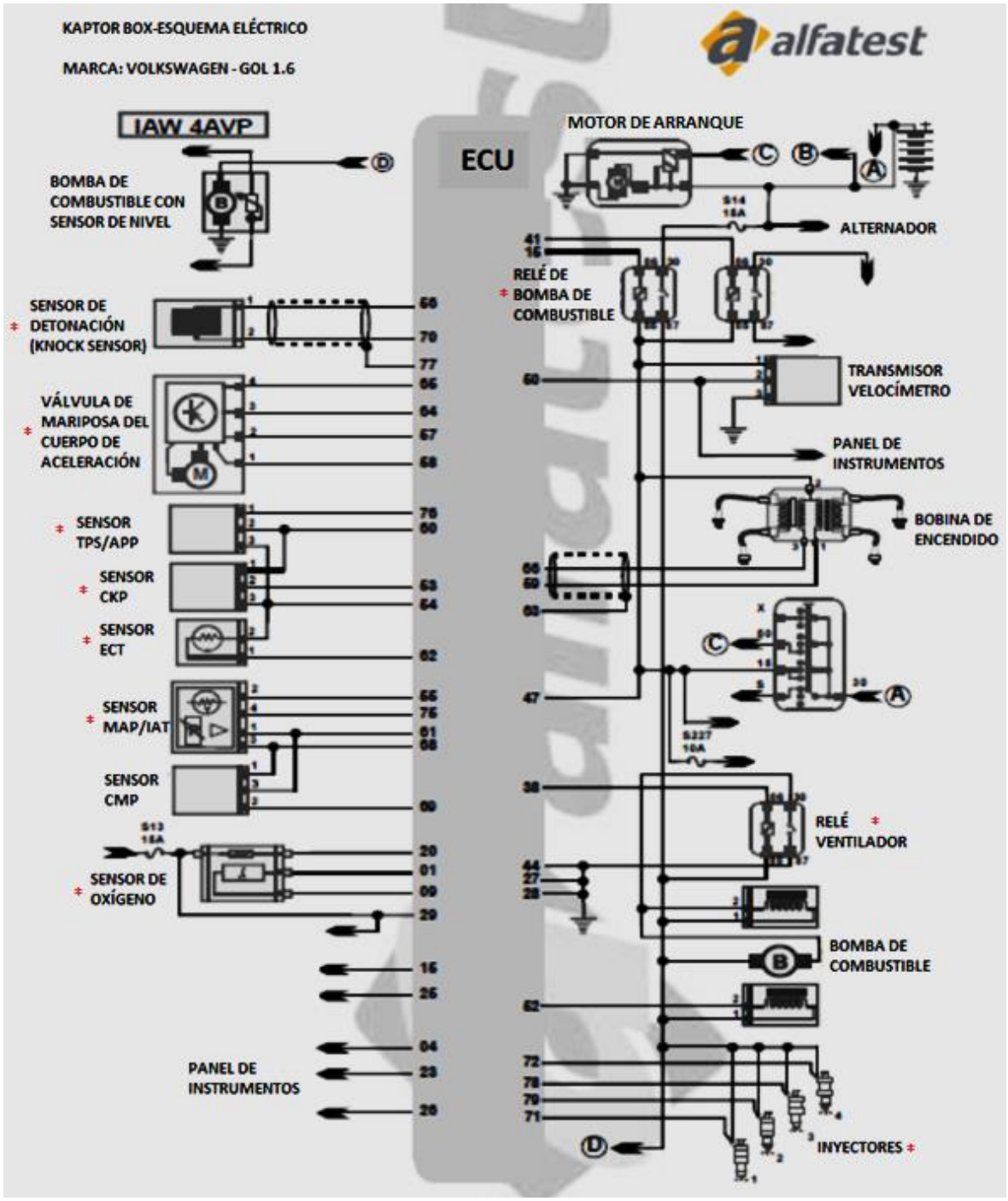


Figura 1.46. Arquitectura de la ECU del Volkswagen Gol 1.6.

Hasta aquí se ha dado una idea concisa sobre las partes principales involucradas en el sistema de inyección electrónica de combustible de un vehículo dotado de esta tecnología, buscando destacar el rol de los sensores cuyas señales se deberán emular en este trabajo. A continuación, se enlistan los sensores que serán emulados por el banco de pruebas:

- Sensor de masa de aire (MAF, *mass air flow*), no disponible en el vehículo de pruebas.
- Sensor de posición del acelerador (TPS, *throttle position sensor*, APP, *accelerator Pedal Position Sensor*).
- Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT, e*ngine coolant temperature*).
- Sensor de detonación (KS, *knock sensor*).
- Sensor de presión absoluta de múltiple de admisión (MAP, *manifold absolute pressure*).
- Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT, *intake aire temperature*).
- Sensor de oxígeno, O2.
- Sensor de posición de cigüeñal (CKP, *crankshaft position sensor*).

Adicionalmente el banco de pruebas generará un tren de pulsos para probar los actuadores mencionados anteriormente.

En el siguiente capítulo se describen los pasos llevados a efecto para conseguir la emulación en lo que al software y hardware se refiere.

2 METODOLOGÍA

Luego de haber revisado la teoría sobre las características y funcionamiento de los sensores y actuadores del sistema de inyección electrónica de combustible, motivo de este proyecto de titulación, en este capítulo se procede a analizar de forma experimental los referidos elementos; para luego proceder al diseño y desarrollo de su emulación electrónica.

El sistema se concibió alrededor de un microprocesador (STM32F407, más adelante en la Sección 2.2 (pág. 59) se justifica su selección) para obtener la emulación mediante software. Las señales generadas por el microprocesador serán acondicionadas y acopladas a la ECU del vehículo en el que se realizarán las pruebas. Una interfaz humano-máquina (HMI) permitirá al usuario controlar las señales por emuladas. Considerando que el dispositivo a ser implementado será empleado en vehículos con una batería de 12 V, este voltaje será el que lo alimente. En la Figura 2.1 se muestra un diagrama de bloques de las partes involucradas.

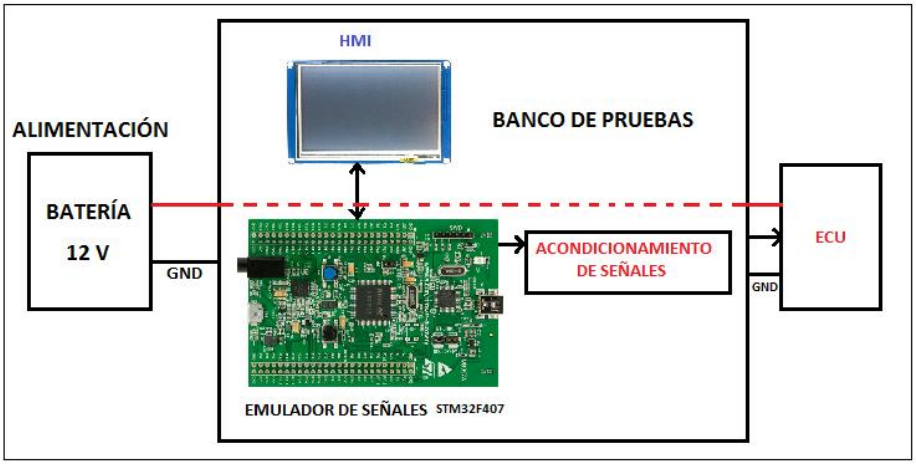


Figura 2.1. Diagrama de bloques del sistema.

Para las pruebas de la obtención de las señales de cada sensor se utilizarán herramientas como:

- Osciloscopio.
- Multímetros.
- Escáner automotriz.

Con el osciloscopio se podrá ver las características de las señales, como amplitud, frecuencia, entre otras, con el multímetro se medirán parámetros como voltaje, frecuencia

y a través del escáner automotriz se obtendrán los valores de las variables que los sensores miden, por ejemplo: la presión, temperatura, revoluciones por minuto del motor, flujo de aire, porcentaje de aceleración, cantidad de oxígeno, etc. El escáner automotriz se comunica con la ECU del vehículo vía bluetooth. El módulo de bluetooth se conecta directamente a la ECU. En la Figura 2.2 se observa el escáner automotriz con su módulo de conexión bluetooth.

Figura 2.2. Escáner automotriz [32].

En la Figura 2.3 se observa el diagrama de bloques que muestra los componentes principales que intervendrán para las pruebas con las que se confirmará la validez de las señales que se emularán para cada sensor.

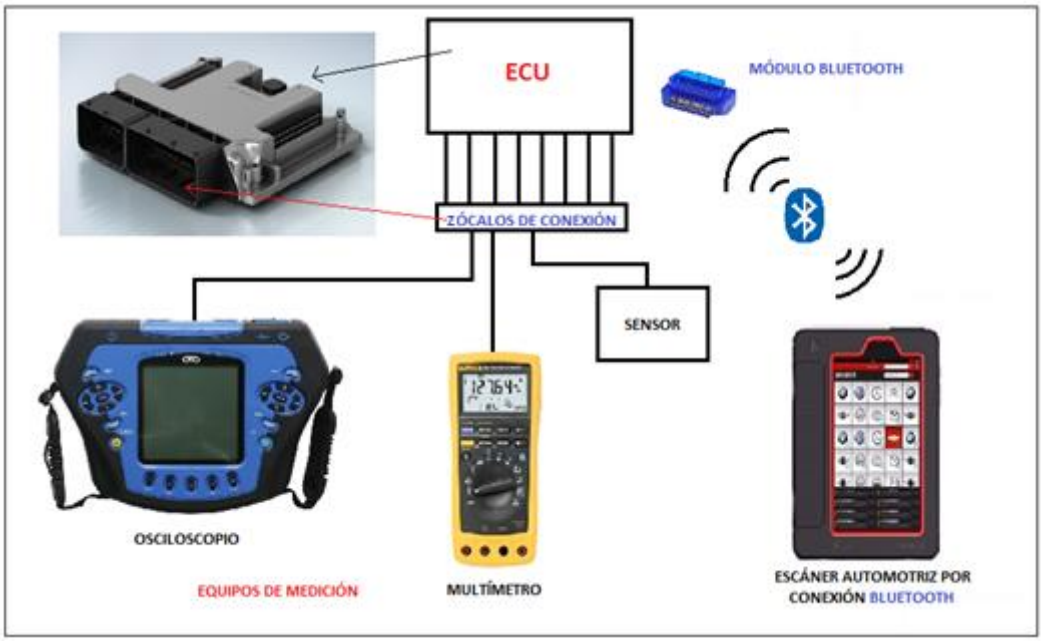


Figura 2.3. Diagrama de bloques del montaje de pruebas

A continuación, se detallan las pruebas realizadas para la obtención de las señales de cada sensor y en base a los resultados, proceder a elegir el microcontrolador y luego, al desarrollo en software y hardware del emulador.

2.1 OBTENCIÓN DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

Para la obtención de las señales se realizó el levantamiento de la distribución de pines de la ECU del vehículo (Volkswagen Gol 1.6 año 2012), en vista de que por "reserva comercial" no fue posible obtener esta información de parte de los concesionarios de la marca del vehículo a probarse. Luego de revisar el interior del motor del vehículo, y al verificar que los cables en partes estaban sujetos y protegidos por bandas de protección, lo que dificultaba el seguimiento de los mismos, se decidió que la mejor opción era realizar pruebas de continuidad desde cada uno de los cables de los sensores a los pines de la ECU. De esta manera, se obtuvo la distribución de los pines a los sensores, ya que algunos de estos están ubicados en lugares poco accesibles, como es el caso del sensor CKP, de detonación (knock sensor) y de oxígeno. Todo este proceso fue supervisado por los técnicos del taller, quienes, con su conocimiento y experiencia práctica, daban indicaciones acerca de cada uno de los sensores y de los colores de código, típicos de los cables que los conforman. A continuación, en la Figura 2.4, se muestra la distribución de los pines de los dos zócalos que se conectan a la ECU con su respectiva numeración.

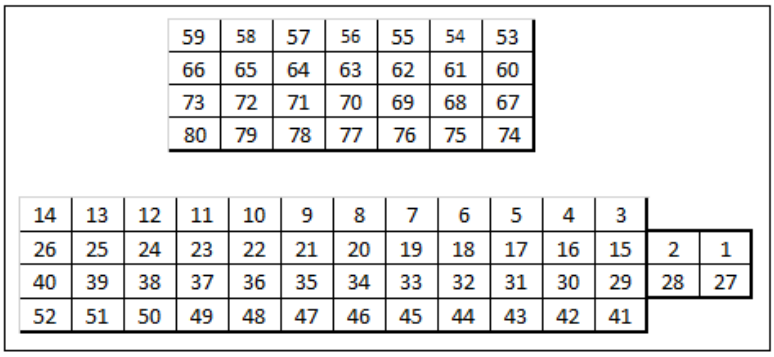


Figura 2.4. Numeración de pines de los zócalos de la ECU del vehículo.

Después, se prosiguió a obtener las señales de cada uno de los sensores. Para esto se tuvo que identificar a qué correspondía cada uno de los cables, es decir, cuáles correspondían a la alimentación de 5 V (Vcc), tierra (GND) y a la señal propiamente dicha. Para realizar esta tarea, al interruptor del motor del vehículo se lo ponía en posición de contacto (ON) y se medía el voltaje enviado por cada cable. En la Tabla 2.1 se observa la correspondencia de los cables de cada sensor con los pines de la ECU, así como también el color y el valor de voltaje de cada cable.

Tabla 2.1. Valores de voltaje y colores de los cables de cada sensor, y su respectiva correspondencia con la numeración de pines de la ECU.

SENSOR	PIN	COLOR	VOLTAJE V
TPS	6	Verde-blanco	Vcc = 5 V
	8	Amarillo-verde	Vcc = 5 V
	7	Gris-rojo	GND
	33	Negro-celeste	0,75 V señal APP1
	19	Gris-celeste	GND
	45	Café-celeste	0,37 V señal APP2
MAP-IAT	54	Café	GND
	56	Amarillo	1,717 V señal IAT
	62	Verde-tomate	Vcc
	70	Café-amarillo	2,95 V señal MAP
ECT	74	Rojo	1,7 V señal
	54	Amarillo-negro	GND
OXÍGENO	59/65/73/79	Rojo-azul	14 V
	1	Café	0,21 V
	20	Tomate-café	GND
	46	Verde-tomate	0,45 V señal
DETONACIÓN	63	Blanco	señal
	77	Negro	GND
CKP	55	Morado	Vcc = 5 V
	53	Amarillo	4,8 V señal
	67	Café	GND

Con esta información se tomó datos de cada una de las señales, con la ayuda del escáner automotriz, un osciloscopio y multímetros como se explicó anteriormente.

Obtención de las señales del sensor de posición del acelerador (TPS)

Tal como se había explicado en el Capítulo 1, este sensor entrega dos señales de voltaje que varían de acuerdo con el porcentaje de apertura de la válvula de mariposa, mismo que cambia al acelerar y desacelerar el motor del vehículo. Al presionar el pedal del acelerador la válvula se abre y ambos voltajes se incrementan en diferentes proporciones, al desacelerar sucede el proceso opuesto. En las siguientes imágenes se observan fotografías de las señales obtenidas para este sensor.

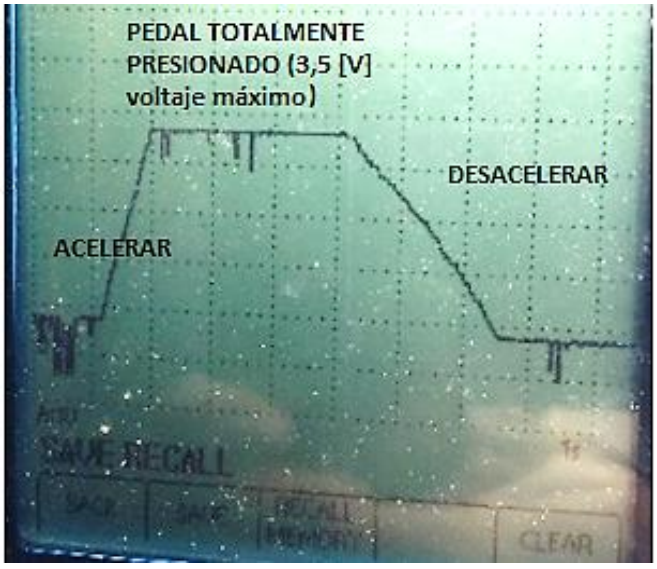


Figura 2.5. Señal de salida del sensor TPS de mayor voltaje que se **llamará APP1**.

En la Figura 2.5 se observa la señal APP1 que corresponde a la de mayor voltaje. Conforme se presiona el pedal, el voltaje de la señal aumenta. Al dejar de presionar el acelerador, el voltaje disminuye.

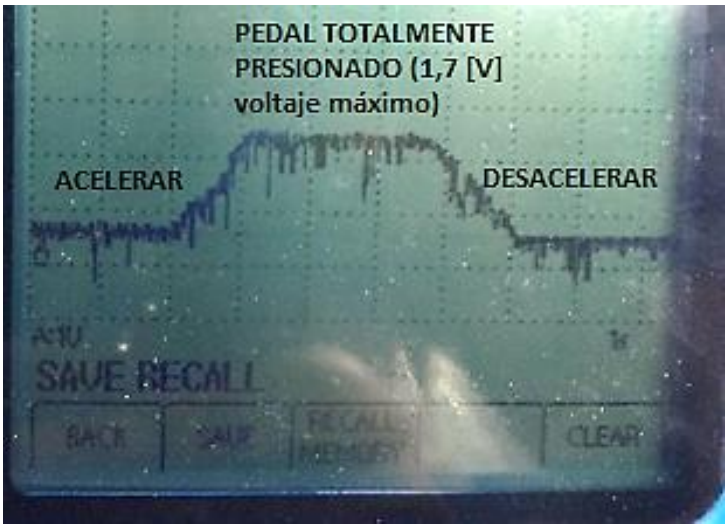


Figura 2.6. Señal de salida del sensor TPS de menor voltaje que se **llamará APP2**.

En la Figura 2.6 se observa que al igual que la señal APP1, la señal APP2 aumenta su voltaje conforme se presiona el pedal de aceleración. Así mismo, al dejar de presionar el pedal, el voltaje disminuye. Los valores de voltaje con respecto al porcentaje de apertura de la válvula se obtuvieron del escáner automotriz que proporciona el valor de porcentaje. Se realizaron varias pruebas para la obtención de los valores de voltaje con respecto al

porcentaje y a continuación, se muestran los valores obtenidos cuyos resultados dieron el menor error.

Señal APP1: Total de muestras: 39

Tabla 2.2. Valores de voltaje de la señal APP1 del sensor TPS con respecto al porcentaje de apertura de la válvula de mariposa.

SENSOR TPS, SEÑAL APP1					
%	**Valor APP1 V**	**%**	**Valor APP1 V**	**%**	**Valor APP1 V**
5,49	1,136	19,61	2,303	38,49	2,854
6,27	1,403	20,78	2,357	40,39	2,9
7,6	1,497	21,57	2,377	46,27	3,019
7,84	1,589	23,14	2,421	50,59	3,092
8,24	1,647	24,71	2,483	56,8	3,155
9,2	1,735	26,67	2,547	61,57	3,212
10,2	1,865	28,24	2,617	70,2	3,32
13,33	2,046	29,41	2,632	79,61	3,34
14,12	2,057	30,2	2,656	83,92	3,364
14,51	2,092	32,16	2,707	85,1	3,379
16,8	2,168	33,73	2,752	88,63	3,409
16,47	2,191	36,86	2,712	94,12	3,421
18,4	2,24	38,4	2,849	100	3,475

Con los valores de la Tabla 2.2 se obtuvo la curva que se observa en la Figura 2.7.

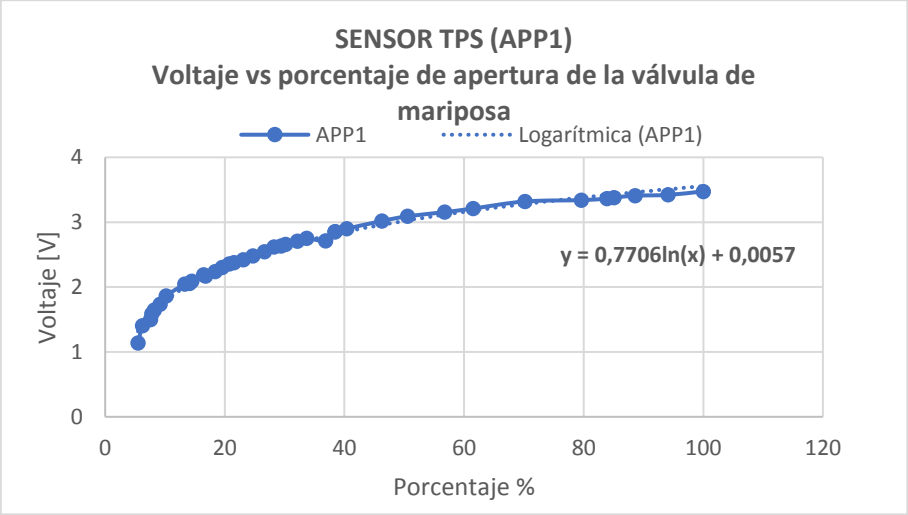


Figura 2.7 Gráfica de voltaje vs porcentaje de apertura de la válvula de mariposa de la señal APP1.

Señal APP2: Total de muestras: 28

Tabla 2.3. Valores de voltaje de la señal APP2 del sensor TPS con respecto al porcentaje de apertura de la válvula de mariposa.

SENSOR TPS, SEÑAL APP2			
%	**Valor APP2 V**	**%**	**Valor APP2 V**
5,49	0,655	28,63	1,305
6,67	0,75	30,59	1,343
7,84	0,794	32,55	1,377
9,8	0,905	35,29	1,413
10,98	0,953	40	1,475
12,16	0,996	48,24	1,54
14,12	1,042	55,69	1,594
14,51	1,052	65,1	1,632
15,29	1,078	69,2	1,65
16,47	1,104	73,33	1,671
18,82	1,162	76,47	1,69
21,96	1,22	81,96	1,697
23,92	1,233	94,12	1,724
25,88	1,274	100	1,751

Con los valores de la Tabla 2.3 se obtuvo la curva que se observa en la Figura 2.8.

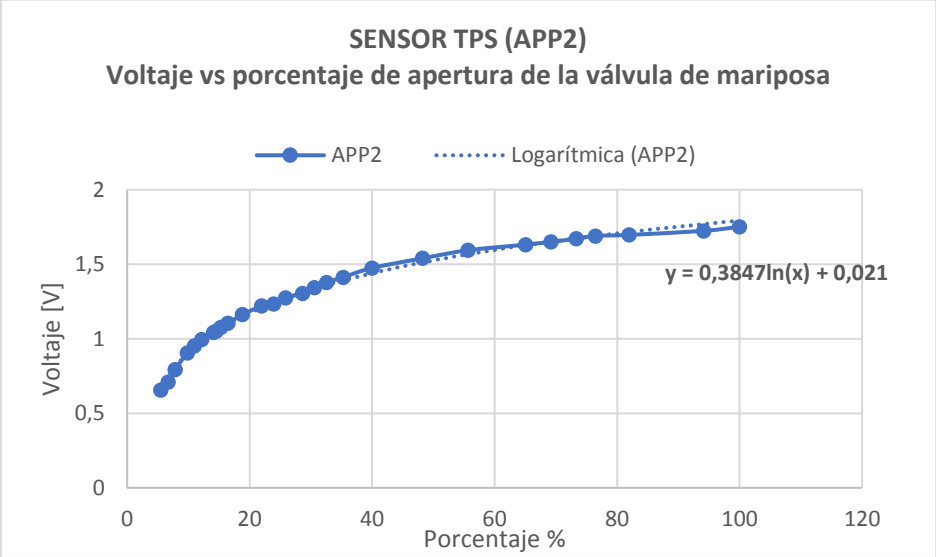


Figura 2.8. Gráfica de voltaje vs porcentaje de apertura de la válvula de mariposa de la señal APP2.

En las Figuras 2.7, y 2.8, se muestran las curvas de voltaje vs porcentaje de las señales del sensor TPS (APP1 y APP2, respectivamente). Usando el programa Excel se pudo obtener la curva de tendencia que más se asemeje a cada una de ellas y de la misma manera se pudo determinar su correspondiente ecuación. El mismo procedimiento se repite para obtener las ecuaciones de las líneas de tendencia de las señales de los sensores MAP, IAT, ECT y MAF. Por lo tanto, de cada señal (APP1, APP2), se obtuvieron las siguientes ecuaciones logarítmicas.

APP1:

$$y = 0{,}7706 \times \ln(x) + 0{,}0057$$

Ecuación 2.1. Ecuación de la línea de tendencia de la señal APP1

APP2:

$$y = 0{,}3847 \times \ln(x) + 0{,}021$$

Ecuación 2.2. Ecuación de la línea de tendencia de la señal APP2

Donde:

- “y” es el voltaje V.
- “x” es el porcentaje % de apertura de la válvula de mariposa.

Ambas Ecuaciones, 2.1 y 2.2, serán utilizadas para el desarrollo del algoritmo del software de este proyecto para generar las señales del sensor TPS (APP1 y APP2, respectivamente). Por lo tanto, para este sensor se emularán dos señales de voltajes que corresponden a las señales APP1 (Figura 2.7) y APP2 (Figura 2.8). La señal APP1 tendrá valores entre 0,7 V y 3,5 V y la señal APP2 tendrá valores entre 0,35 V y 1,8 V, aproximadamente.

Obtención de la señal del sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP)

Como se explicó en el Capítulo 1, este sensor entrega una señal de voltaje que varía de acuerdo con la presión de aire que ingresa a través del múltiple de admisión del motor del vehículo. Conforme la presión aumenta el voltaje incrementa su valor.

Para la obtención de los valores de voltaje con respecto a la presión, se realizaron varias pruebas consistentes en medir el voltaje a diferentes valores de presión de aire, que varían

al momento de acelerar o desacelerar el motor. Al motor se lo aceleró desde su estado de ralentí, hasta llegar aproximadamente a 4000 revoluciones por minuto (RPM).

En la Figura 2.9 se observa una fotografía de una de las pruebas realizadas.

Figura 2.9. Prueba realizada para obtener el valor de voltaje y presión de la señal del sensor MAP.

En la Figura 2.9 se observa que durante las pruebas para la obtención de los valores de este sensor se utilizó el escáner automotriz, el cual muestra un valor de presión de 24 kPa, que mide el sensor mientras el multímetro muestra el valor de voltaje correspondiente (0,987 V). A continuación, se muestran los valores obtenidos cuyos resultados dieron el menor error.

Tabla 2.4. Valores de voltaje de la señal del sensor MAP con respecto a la presión del múltiple de admisión.

MAP		
PRESIÓN kPa	**VOLTAJE V**	**RPM**
20	0,845	800
21	0,8675	-
22,5	0,935	-
71	2,9	-
72	2,95	4400

Con los valores de la Tabla 2.4 se obtuvo la curva que se observa en la Figura 2.10.

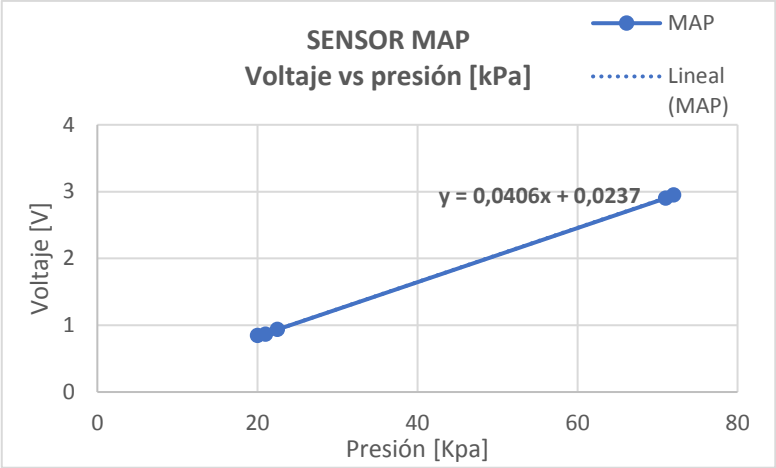


Figura 2.10. Gráfica de voltaje vs presión del múltiple de admisión de la señal del sensor MAP.

La Figura 2.10 muestra un comportamiento lineal, coincidiendo con lo que espera de este sensor, y su ecuación obtenida es:

$$y = 0{,}0406x + 0{,}0237$$

Ecuación 2.3. Ecuación de la línea de tendencia para la señal del sensor MAP.

Donde:

- “y” es el voltaje V.
- “x” es la presión kPa del múltiple de admisión.

La Ecuación 2.3, será utilizada en el desarrollo del algoritmo para la emulación de la señal del sensor MAP. En resumen, para este sensor se emulará una señal de voltaje con valores entre 0 V y 5 V (Figura 2.10).

Obtención de la señal del sensor de temperatura del aire de admisión (IAT)

En el sensor IAT se comprobó que entrega una señal de voltaje que varía de acuerdo con el incremento de temperatura del aire que ingresa por el ducto de admisión. Conforme la temperatura aumenta el voltaje disminuye.

Para obtener los valores de voltaje se realizaron pruebas consistentes en, calentar el motor iniciándolo; midiendo con el escáner y el multímetro los valores de temperatura y voltaje,

respectivamente. En la Figura 2.11 se observa una fotografía de una de las pruebas realizadas.

Figura 2.11. Pruebas realizadas para la obtención de los valores de voltaje y temperatura de la señal del sensor IAT.

Como se puede observar en la Figura 2.11, el valor de temperatura se obtuvo con el escáner automotriz (33 °C) y el valor de voltaje, a través del multímetro (1,834 V).

A continuación, se muestran los valores obtenidos de voltaje y temperatura con los que se obtuvo el menor error.

Tabla 2.5. Valores de voltaje de la señal del sensor IAT con respecto a la temperatura del aire del conducto de admisión.

IAT	
TEMPERATURA °C	**VOLTAJE V**
32	1,84
33	1,81
34	1,78
36	1,69
37	1,66

Con los valores de la Tabla 2.5 se obtuvo la curva de la Figura 2.12.

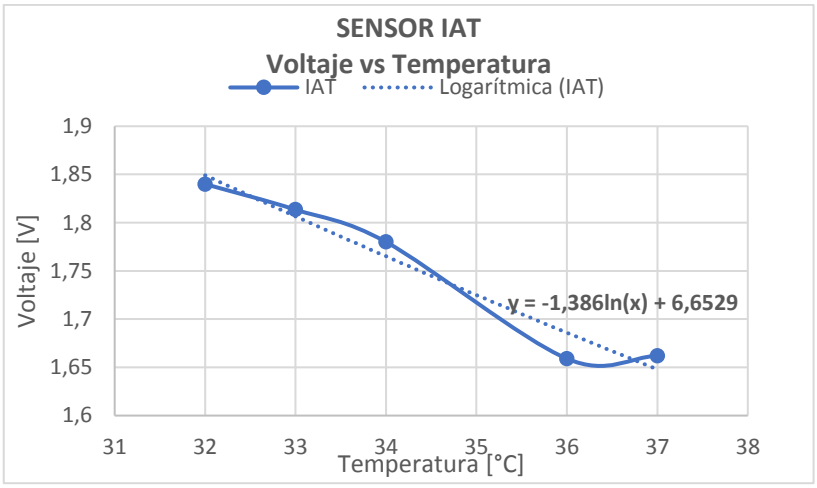


Figura 2.12. Gráfica de voltaje vs temperatura de aire del conducto de admisión de la señal del sensor IAT.

Se obtuvo una curva de tendencia logarítmica como se muestra en la Figura 2.12 cuya ecuación es la siguiente:

$$y = -1{,}386 \times \ln(x) + 6{,}6529$$

Ecuación 2.4. Ecuación de la línea de tendencia de la señal del sensor IAT.

Donde:

- “y” es el voltaje V.
- “x” es la temperatura °C del aire del ducto de admisión.

La Ecuación 2.4 será utilizada en el algoritmo que sirve para emular la señal del sensor IAT. En conclusión, la señal a emular será de voltaje con valores entre 0 V y 5 V, aproximadamente (Figura 2.12).

Obtención de la señal del sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT)

Este sensor, al igual que el sensor IAT, envía una señal de voltaje que cambia al variar la temperatura del refrigerante del motor. Al aumentar la temperatura el voltaje disminuye. Se realizaron pruebas similares a las del sensor IAT, consistentes en, calentar el motor iniciándolo; midiendo con el escáner y el multímetro los valores de temperatura y voltaje,

respectivamente. En la Figura 2.13 se observa una fotografía de una de las pruebas realizadas.

Figura 2.13. Pruebas realizadas para la obtención de los valores de voltaje y temperatura de la señal del sensor ECT.

En la Figura 2.13 se observa que se utilizó el multímetro para obtener el valor de voltaje y el escáner automotriz para obtener el respectivo valor de la temperatura. A continuación, se muestran los valores de voltaje y temperatura con los que se obtuvo el menor error.

Tabla 2.6. Valores de voltaje de la señal del sensor ECT con respecto a la temperatura del refrigerante del motor.

Temperatura °C	VOLTAJE V
17	2,504
20	2,35
24	2,171
31	1,853
38	1,582
45	1,316
54	0,979
67	0,745
75	0,625
87	0,512
101	0,339
127	0,037
129	0,019

Con los valores de la Tabla 2.6 se obtuvo la curva que se muestra en la Figura 2.14.

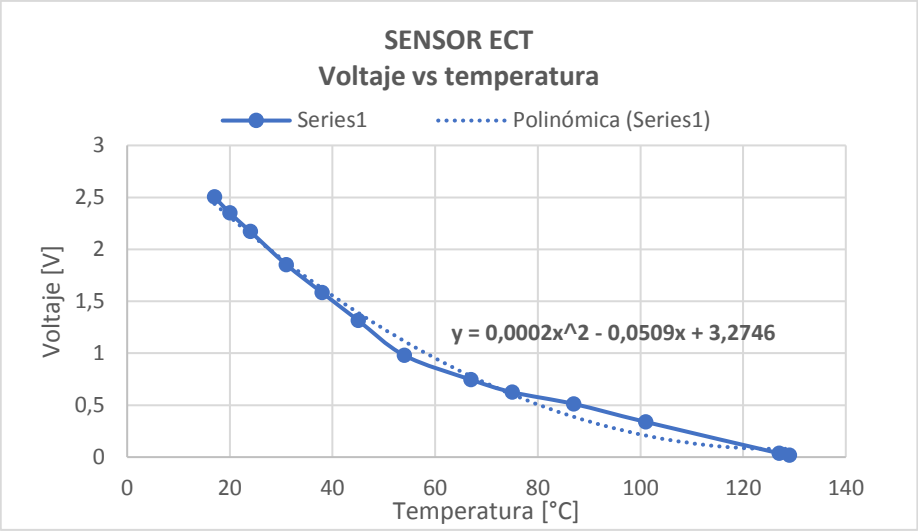


Figura 2.14. Gráfica de voltaje vs temperatura del refrigerante del motor de la señal del sensor ECT.

La Figura 2.14 muestra una curva de tendencia polinómica cuya ecuación es la siguiente:

$$y = 0{,}0002x^2 - 0{,}0509x + 3{,}2746$$

Ecuación 2.5. Ecuación de la línea de tendencia de la señal del sensor ECT.

Donde:

- “y” es el voltaje V.
- “x” es la temperatura °C del refrigerante del motor.

Igualmente, la Ecuación 2.5 será utilizada en el algoritmo para la emulación de la señal del sensor ECT. Cabe recordar que la medida que entrega este sensor permite la activación del ventilador del motor. Al superar los 90 °C la ECU envía la señal de activación del ventilador. Entonces, la señal que se emulará será de voltaje con valores entre 0 V y 5 V, aproximadamente (Figura 2.14).

Obtención de la señal del sensor de posición del cigüeñal (CKP)

Para las pruebas con el sensor CKP se utilizó el escáner automotriz, un osciloscopio y un multímetro. El escáner proporcionaba el valor de RPM del motor, el osciloscopio permitía visualizar las características de la señal y con el multímetro se midió el valor de frecuencia.

En las Figuras 2.15, 2.16 y 2.17 se muestran ejemplos de los resultados de las pruebas realizadas para este sensor.

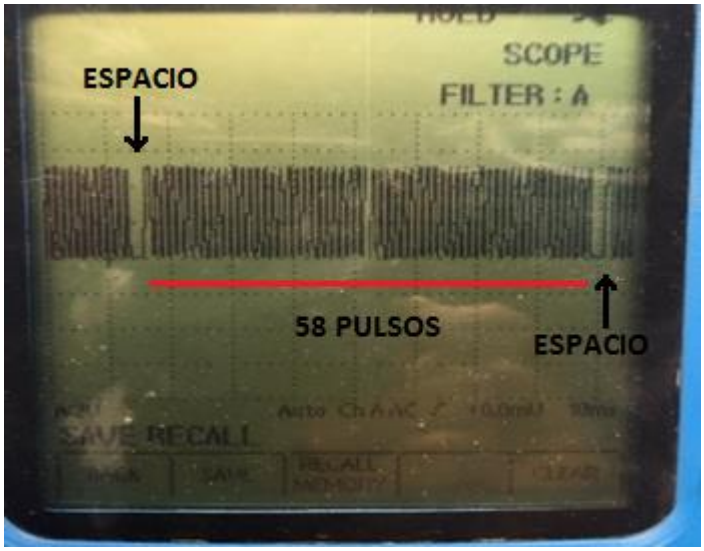


Figura 2.15. Señal de salida del sensor CKP.

En la Figura 2.15 se observa el tren de pulsos de la señal del sensor CKP con un espacio correspondiente a los dos dientes faltantes de la rueda fónica. En total son 58 pulsos. En la Figura 2.16 se puede observar mejor el espacio correspondiente a los dos dientes faltantes.

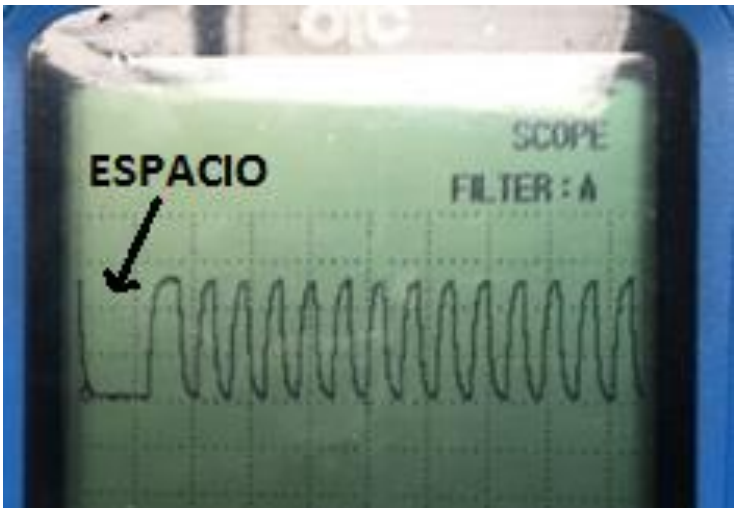


Figura 2.16. Señal de salida del sensor CKP.

Figura 2.17. Frecuencia de la señal de salida del sensor CKP en ralentí (785 Hz).

En la Figura 2.17 se puede observar la medida de frecuencia obtenida a través del multímetro (785 Hz).

Se debe recordar que el sensor CKP de este vehículo es de efecto Hall y trabaja en conjunto con el pull-up de la ECU. En la Figura 2.18 se observa el diagrama de conexión de un sensor CKP de efecto Hall.

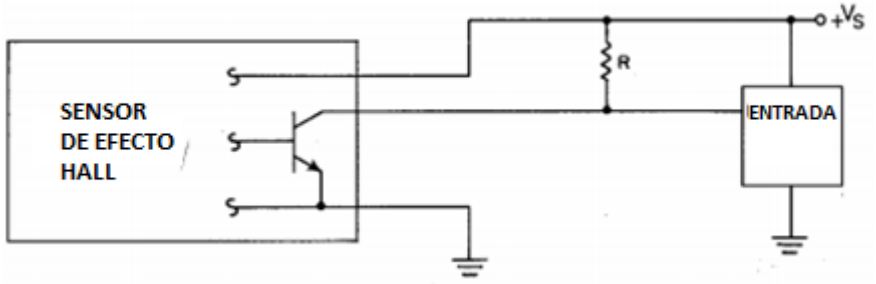


Figura 2.18. Diagrama de conexión típico de un sensor de efecto Hall con resistencia de Pull-Up 33.

Obtenida la señal de este sensor se contó el número de pulsos que debe ser igual al número de dientes del cigüeñal del vehículo. El número total de pulsos/dientes es de 58.

Por lo tanto, la señal que se emulará es la que se observa en la Figura 2.19, con la única diferencia que el número de pulsos se podrá variar.

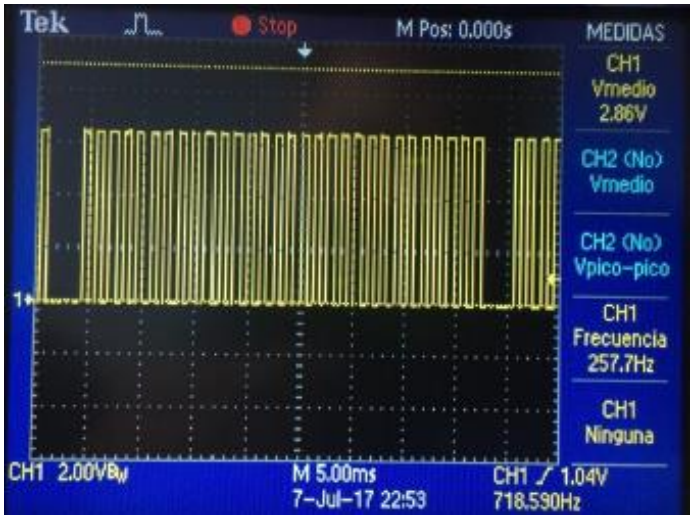


Figura 2.19. Señal por emular para el sensor CKP.

Se realizaron algunas pruebas para ver la relación de las RPM del motor y la frecuencia de la señal. En ralentí (aproximadamente 800 RPM) se tuvo una frecuencia entre 760 Hz y 780 Hz, y a aproximadamente 4500 RPM se tuvo una frecuencia de 4300 Hz y 4400 Hz. Por lo tanto, la relación que existe entre frecuencia y RPM es:

$$relación = \frac{RPM}{frecuencia}$$

Ecuación 2.6. Relación entre RPM y frecuencia.

En ralentí:

$$frecuencia_{promedio_{ralentí}} \approx \frac{770\ Hz + 790Hz}{2} = 780\ Hz$$

$$relación\ ralentí = \frac{800}{780} \approx 1{,}026$$

A 4500 RPMS:

$$frecuencia \approx \frac{4400Hz + 4300\ Hz}{2} = 4350\ Hz$$

$$relación = \frac{4500}{4350} = 1{,}035$$

Relación Promedio:

$$relación\ promedio = \frac{1{,}026 + 1{,}035}{2} = 1{,}03$$

Como se puede ver, la relación que existe entre las RPM del motor y la frecuencia de la señal del sensor CKP es aproximadamente constante (1,03), por lo que se considera una relación lineal entre las dos variables. La relación promedio calculada se utiliza para el algoritmo que genera la señal del sensor CKP. Por lo tanto, se emulará la señal de la Figura 2.19 con frecuencia y número de pulsos (dientes) variable.

Obtención de la señal del sensor de oxígeno, O2

Las pruebas para la obtención de este sensor se realizaron con el motor del vehículo en funcionamiento y con el osciloscopio se obtuvo la señal a diferentes condiciones como: motor en ralentí estable, al acelerar y al desacelerar. En la Figura 2.20 se observa la señal generada por este sensor cuando el motor se encuentra en ralentí estable.

Figura 2.20. Señal del sensor de oxígeno.

Como se puede observar en la Figura 2.20 la señal varía entre 0,1 V y 0,7 V. Cuando se procede a acelerar o desacelerar el motor se obtienen las señales siguientes:

Al acelerar:

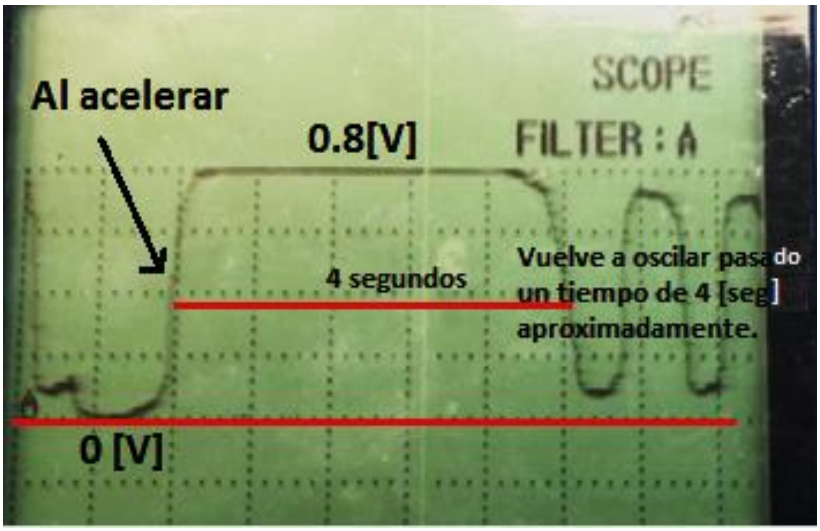


Figura 2.21. Señal del sensor de oxígeno al acelerar el motor.

En la Figura 2.21 se observa que, al momento de acelerar, el voltaje de la señal se reduce a 0 V y después se incrementa hasta llegar a un valor de 0,8 V. Pasado un tiempo de aproximadamente 4 segundos la señal vuelve a su estado normal; es decir, empieza a oscilar entre los valores de 0,1 V y 0,7 V.

Al desacelerar:

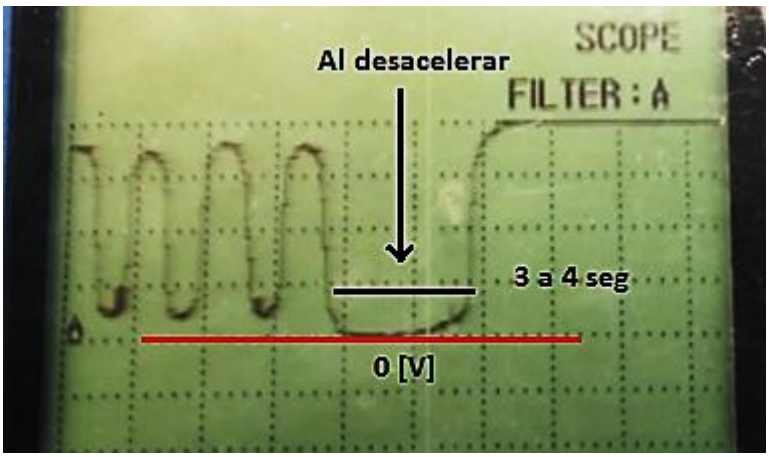


Figura 2.22. Señal del sensor de oxígeno al desacelerar el motor.

En la Figura 2.22 se observa que, al momento de desacelerar el voltaje de la señal baja hasta 0 V y se mantiene en ese estado por, aproximadamente, 3 a 4 segundos. Pasado este tiempo la señal se incrementa y vuelve a oscilar entre 0,1 V y 0,7 V. Cualquier cambio,

sea de desaceleración o aceleración, por mínimo que sea, produce los mismos efectos en la señal. Cabe indicar que la señal oscilante tiene una frecuencia aproximada de 0,5 Hz (2 segundos).

Con las señales obtenidas se elaboraron tablas de valores para los tres casos: ralentí (señal oscilante), aceleración y desaceleración, a partir de las cuales se pueda emular las señales del sensor de oxígeno. Más adelante (pág. 94) su explicación. Estas tablas son utilizadas en el algoritmo del software del sistema para emular las señales de este sensor, que corresponden a las que se observan en la Figuras 2.20, 2.21, y 2.22. Además, se emulará una señal de voltaje con valores entre 0 y 1 V, los cuales podrán ser controlados por el usuario.

Obtención de la señal del sensor de detonación (knock sensor)

Como se había mencionado en el Capítulo 1, el sensor de detonación envía señales de voltaje a la frecuencia de vibración del motor. Para entender mejor las señales que genera este sensor se hicieron dos pruebas. La primera prueba consistió en golpear al sensor con una llave de tuerca. La señal que se obtuvo se observa en la Figura 2.23.

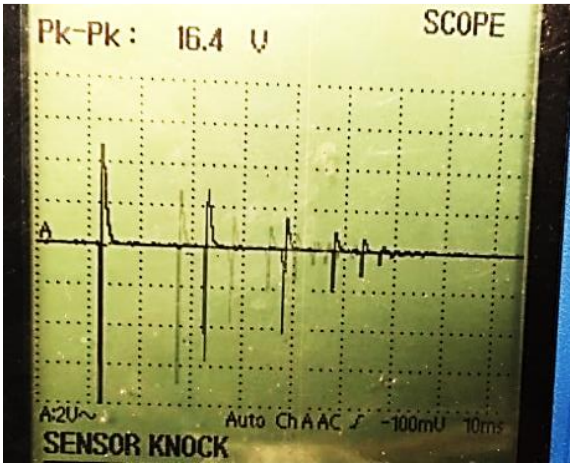


Figura 2.23. Señal del sensor de detonación (prueba 1) cuando se golpea el sensor con una llave tuerca.

La segunda prueba se la realizó con el motor del vehículo en marcha y de esta manera se pudo observar que las señales seguían la vibración que produce el motor. En la Figura 2.24 se observa la señal generada por las vibraciones del motor.

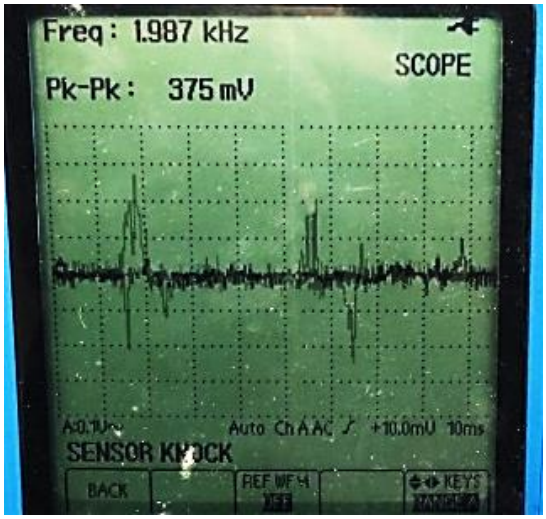


Figura 2.24. Señal del sensor de detonación (prueba 2).

Como se observa, la señal de este sensor es alterna con valores positivos y negativos. La forma de la señal es parecida a la de un ruido, con picos esporádicos. Mientras más fuerte es la vibración del motor, aumenta la amplitud de las mismas. Si el motor está detenido, la señal que se genera aparece como ruido de bajo nivel. Cabe indicar que el vehículo no mostró ningún comportamiento inusual al variar la señal del sensor de detonación, sea golpeándolo con la llave de tuerca o a través de las vibraciones del motor, esto quiere decir que la ECU, a través de algoritmos de control, compensa la inyección de combustible de manera que el vehículo no presente ningún comportamiento inusual y tampoco presente un código de error en el escáner automotriz.

Al ver la característica de esta señal, se decidió emular una señal alterna sinusoidal con 1 kHz de frecuencia, con una amplitud de 0,5 V para emular la señal en condiciones normales (no existe perturbación, Figura 2.25) y con una amplitud de 2,5 V cuando se emule una perturbación (Figura 2.26). La perturbación será controlada por el usuario a través de la HMI, es decir a través de un botón se cambiará la amplitud de la señal de 0,5 V a 2,5 V y viceversa.

En las siguientes gráficas se observa la señal que se emulará para el sensor de detonación.

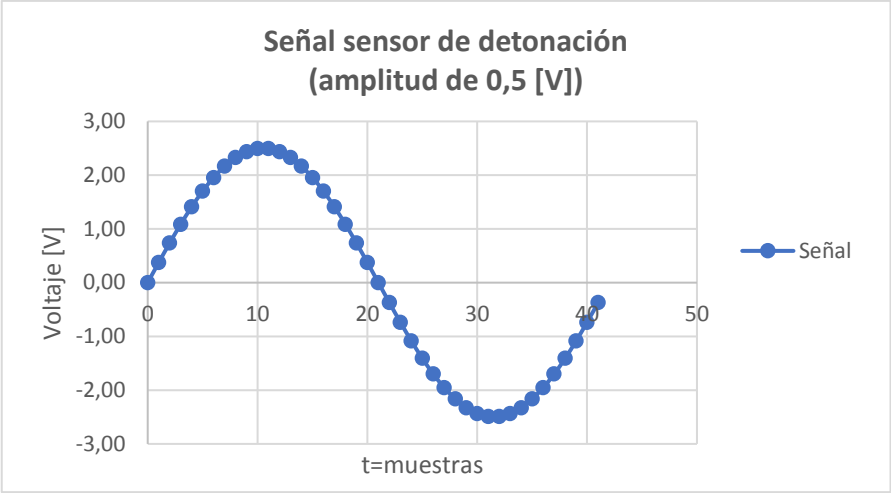


Figura 2.25. Señal por emular del sensor de detonación con una amplitud de 0,5 V (condiciones normales).

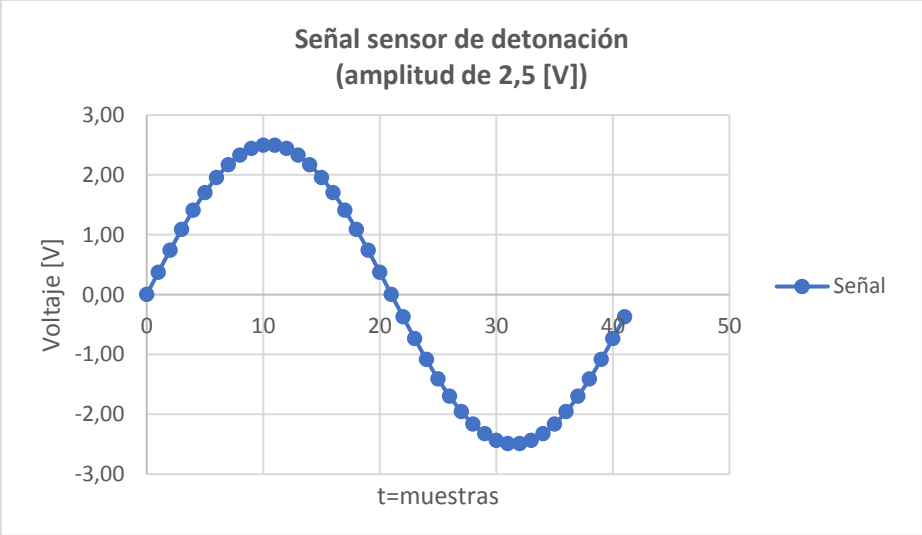


Figura 2.26. Señal por emular del sensor de detonación con una amplitud de 2,5 V (perturbación emulada).

Más adelante en la subsección de la pág. 102 se explica la generación de la señal del sensor de detonación.

Obtención de la señal del sensor de masa de aire (MAF)

El vehículo de pruebas no posee este sensor, pero a petición del técnico automotriz con quien se trabaja en este proyecto se generará una señal de acuerdo con los siguientes parámetros:

Según un sensor MAF marca Bosch se tiene la siguiente curva:

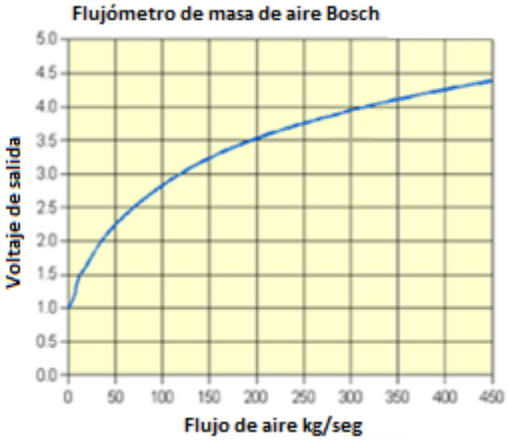


Figura 2.27. Señal de voltaje con respecto al flujo de aire en kg/hr [3].

Según la curva de la Figura 2.27 se tabularon los siguientes valores. A petición del técnico se transformó el flujo en gramos por segundo.

Tabla 2.7. Valores de voltaje de la señal del sensor MAF con respecto al flujo de aire del conducto de admisión.

Flujo kg/hr	Flujo gr/seg	Voltaje V
10	0,87	1
25	6,94	1,75
50	13,89	2,25
75	20,83	2,6
100	27,78	2,85
125	34,72	3,05
150	41,67	3,24
175	48,61	3,4
200	55,56	3,55
225	62,50	3,67
250	69,44	3,76
275	76,39	3,86
300	83,33	3,96
325	90,28	4,05
350	97,22	4,14
375	104,17	4,2
400	111,11	4,25
425	118,06	4,3
450	125,00	4,35

Con los valores de la Tabla 2.7 se obtuvo la curva que se observa en la Figura 2.28.

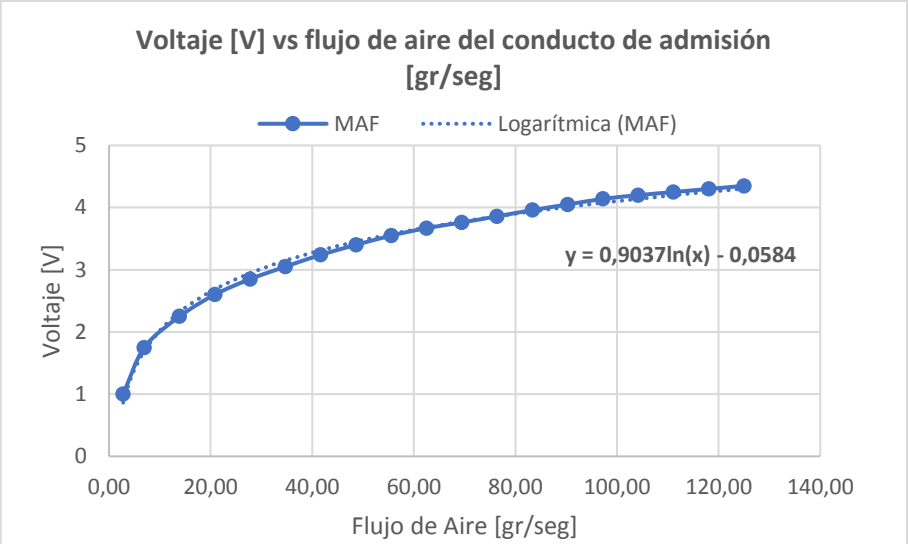


Figura 2.28. Gráfica de voltaje vs flujo de aire del conducto de admisión.

En la Figura 2.28 se observa la curva de voltaje vs flujo de aire en gramos por segundo. Con estos valores se obtuvo la curva de tendencia logarítmica cuya ecuación es:

$$y = 0{,}9037 \times \ln(x) - 0{,}0584$$

Ecuación 2.7. Ecuación de la línea de tendencia de la señal del sensor MAF.

Donde:

- "y" es el voltaje de la señal V.
- "x" es el flujo en gramos por segundo.

La Ecuación 2.7 será utilizada en el algoritmo para emular la señal del sensor MAF. Por consiguiente, se emulará una señal de voltaje con valores entre 0 V y 5 V, aproximadamente (Figura 2.28).

Vale aclarar que, para decidir si las señales capturadas son las correctas, además de las curvas experimentales que se obtuvieron de algunos sensores, siempre se contó con el asesoramiento del personal técnico de la mecánica, quienes, basados en su experiencia obtenida en el día a día de su trabajo, aprobaban la validez de las señales hasta aquí descritas. Cabe también resaltar que en esta parte del proyecto se tuvo la invalorable oportunidad de comprobar de forma práctica, la estrecha relación que existe entre las diferentes magnitudes de las variables físicas que intervienen para el buen funcionamiento del sistema de inyección electrónico del motor del vehículo, lo que explica la dificultad para, en caso de falla, aún con ayuda del escáner automotriz, diagnosticar con absoluta certeza

el origen de la falla a partir del código de error generado. También fue valiosa la experiencia de poder trabajar físicamente en un vehículo, siguiendo protocolos de seguridad para evitar dañar algún equipo, dispositivo, motor, o incluso poner en riesgo la integridad física del técnico ajeno a estos ambientes.

Resumiendo, para cada sensor la señal a emular es:

- Sensor de posición del acelerador (TPS, *throttle position sensor,* o APP*, accelerator pedal position sensor*): se emularán dos señales de voltaje (APP1 y APP2). La señal APP1 tendrá valores aproximados entre 0,7 V y 3,5 V y la señal APP2 tendrá valores aproximados entre 0,35 V y 1,8 V. Se utilizarán las Ecuaciones 2.1 y 2.2 para generar las señales APP1 y APP2, respectivamente.
- Sensor de presión absoluta de múltiple de admisión (MAP, *manifold absolute pressure*): se emulará una señal de voltaje con valores aproximados entre 0 V y 5 V. Se utilizará la Ecuación 2.3 para emular la señal.

- Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT, *intake air temperature*): se emulará una señal de voltaje con valores aproximados entre 0 V y 5 V. Se utilizará la Ecuación 2.4 para generar la señal.

- Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT, *engine coolant temperature*): se emulará una señal de voltaje con valores aproximados entre 0 V y 5 V. Se utilizará la Ecuación 2.5 para emular la señal.

- Sensor de posición del cigüeñal (CKP, *crankshaft position sensor*): se emulará el tren de pulsos que se observa en la Figura 2.19 con frecuencia y número de pulsos variable.

- Sensor de oxígeno, O2: se emularán las señales de voltaje que se observan en las Figuras 2.20, 2.21, 2.22, utilizando las tablas. Además, se emulará una señal de voltaje con valores entre 0 V y 1 V cuyos valores serán controlados por el usuario a través de la HMI.

- Sensor de detonación (KS, *knock sensor*): se emulará una señal alterna sinusoidal de amplitud variable y de 1kHz de frecuencia. La amplitud será entre 0,5 V y 2,5 V.

- Sensor de masa de aire (MAF, *mass air flow*), no disponible en el vehículo de pruebas: se emulará una señal de voltaje de valores aproximados entre 0 V y 5 V utilizando la Ecuación 2.7 para generar la señal.

También se diseñará un generador de pulsos de frecuencia variable (0 a 100 Hz) para probar actuadores como: inyectores, relés y válvulas del cuerpo de aceleración.

Por lo tanto, son 10 señales que se generarán. En la siguiente sección de este capítulo se explicará el desarrollo del banco de pruebas para la emulación de las señales mencionadas.

2.2 DESARROLLO DEL BANCO DE PRUEBAS

Selección del microcontrolador

Son 10 señales que se generarán, por lo tanto, analizando las señales de los diferentes sensores se dedujo lo siguiente:

- Para generar las señales de los sensores TPS (APP1 y APP2), MAP, IAT, ECT y MAF, se deben usar señales PWM que requerirán de los canales de salida de timers en igual número (6 señales PWM).
- Para generar la señal del sensor de oxígeno, y del sensor de detonación se deben emplear canales DAC (*digital to analog converter,* convertidor digital/análogo). Por lo tanto, se requerirán de dos canales DAC.
- Para generar las señales del sensor CKP y el generador de pulsos se deberá usar un solo timer que será empleado de forma alternada y dos canales de salida.
- Para las señales que necesiten de control por realimentación se deberá usar los canales ADC (*analog to digital converter,* convertidor análogo/digital*)* que finalmente resultaron ser 5, como se demostrará más adelante en la subsección de la pág. 148 de este Capítulo.
- El sistema utilizará una HMI la cual se comunicará con el microcontrolador serialmente, por lo tanto, se necesita de dos puertos que sirvan como transmisor y receptor de datos. Más adelante se incluye su explicación, en la subsección de la pág. 122 del presente Capítulo.

Tomando en consideración el número de timers, canales DAC, canales ADC, y comunicación serial, se procedió a buscar entre los diferentes microcontroladores el más apropiado, el cual resultó ser el microcontrolador STM32F407VG, el cual, entre otras características, es robusto, algo muy importante para un dispositivo que debe trabajar en un ambiente algo agresivo en cuanto a la generación de transitorios producidos por los diferentes equipos eléctricos del vehículo. El microcontrolador se encuentra integrado en una tarjeta, la STM32F4 Discovery Kit que se muestra en la Figura 2.29 a continuación.

Figura 2.29. Tarjeta STM32F4DISCOVERY [34].

Algunas de sus características más relevantes para el presente proyecto son las siguientes [34]:

- Microcontrolador STM32F407VGT6 con ARM Cortex -M4 de 32 bits con núcleo FPU, memoria flash de 1 Mbyte, RAM de 192 Kbyte en un paquete “LQFP100”.
- Frecuencia: CPU “clock” (HCLK): 144 MHz y 168 MHz.
- Alimentación de la tarjeta:
    - A través del cable USB.
    - Fuentes externas: 3 V y 5 V.
- (ADC) tres convertidores análogos/digitales (resolución de 12, 10, 8 bits).
- (DAC) dos convertidores digitales/análogos: Un canal de salida cada uno (12 bits).
- 8 timers (16 bits) de control avanzado.
- Entre otras. (Anexo VI).

Este microcontrolador posee 8 timers de control avanzado, cada uno de 16 bits, y tienen hasta 4 canales independientes los cuales pueden ser utilizados ya sea en modo captura

o para generar formas de onda ("*output compare mode*", PWM, PWM complementario con inserción en tiempo muerto). Se utiliza el timer 3 (4 canales) y 4 (2 canales) configurados de tal manera que generen señales PWM, específicamente, y el timer 5 configurado para generar las señales de los sensores de oxígeno, detonación y CKP a través de interrupciones. También el microcontrolador posee dos canales DAC cada uno de 12 bits y tres ADC de hasta 12 bits, cada uno con varios canales multiplexados. Además, posee 3 USART seriales programables de 8 a 9 bits cada uno.

Timers:

Los timers dependen de la frecuencia del reloj HCLK (*CPU clock*) que es de 168 MHz. Por lo tanto, para la configuración de estos se debe verificar que la frecuencia del HCLK sea la apropiada y de esta manera los timers funcionen a la frecuencia correcta.

El microcontrolador posee dos buses internos, APB1 y APB2, los cuales proveen la frecuencia periférica del mismo. Existen timers que se encuentran conectados al bus APB1 y otros al bus APB2 y, dependiendo del bus al que pertenezcan, la frecuencia de trabajo es diferente. En el Anexo VII se encuentra el diagrama de bloques de los timers de control avanzado [35] y en el Anexo VIII se encuentra el diagrama del árbol de reloj [35].

Con las siguientes expresiones matemáticas se puede calcular el valor de frecuencia de trabajo del timer respectivo.

Para timers que trabajan con el bus APB1 (42MHz) [35]:

$$f_{timer} = \frac{(84\ MHz\ )}{(prescalador + 1) \times (periodo + 1)}$$

Ecuación 2.8. Cálculo de la frecuencia para timers que trabajan con el bus APB1 [35].

Para timers que trabajan con el bus APB2 (84MHz) [35]:

$$f_{timer} = \frac{(168\ MHz\ )}{(prescalador + 1) \times (periodo + 1)}$$

Ecuación 2.9. Cálculo de la frecuencia para timers que trabajan con el bus APB2 [26].

Para establecer la frecuencia de los timers se debe colocar los valores de pre-escalador y periodo apropiados siguiendo las fórmulas de las Ecuaciones 2.8 y 2.9.

Las variables del “periodo” y “pre-escalador” dependen de los bits con los que trabaje el timer; por lo tanto, si el timer seleccionado es de 16 bits, estas variables pueden tener valores de hasta 65535 (2^{16}).

Por otro lado, el ancho de pulso de una señal PWM depende del “periodo” establecido, es decir, si el periodo es 4095, el valor de ancho de pulso debe estar entre 0 y 4095. Así mismo, depende del voltaje de referencia del microcontrolador. Si el voltaje de referencia es de 3 V (como es el caso de este microcontrolador) el valor de ancho de pulso será 4095. A continuación, un ejemplo:

Para obtener un valor de 1,8 V con un voltaje de referencia 3 V:

$$ancho\ de\ pulso = \frac{Voltaje_{requerido} \times 4095}{Voltaje_{referencia}}$$

Ecuación 2.10. Cálculo del ancho de pulso de una señal PWM.

$$ancho\ de\ pulso = \frac{1{,}8\ V \times 4095}{3\ V} = 2457$$

Ecuación 2.11. Ejemplo del cálculo del ancho de pulso de una señal PWM.

El valor de 2457 (valor entero) se debe cargar en el registro correspondiente del canal del timer.

Los timers utilizados para generar las siguientes señales son el timer 3 y 4 de 16 bits y corresponden al bus APB1.

- TPS:
    - Timer 3, canal 1 (APP1) y 2 para (APP2).
- MAP:
    - Timer 3, canal 3.
- IAT:
    - Timer 3, canal 4.

- ECT:
    - Timer 4, canal 1.
- MAF:
    - Timer 4, canal 4.

El periodo establecido en el software, para cada una de las PWM, es de 4095 y el pre-escalador es 0, lo que da una frecuencia de 20,5 kHz de acuerdo con la Ecuación 2.8.

Convertidores digitales/análogos (DAC):

Para las señales generadas por el convertidor digital/ análogo (DAC) se debe tener en cuenta el voltaje de referencia que posee el microcontrolador y también su resolución. Los dos canales tienen una resolución de 12 bits y tienen un voltaje de referencia de 3 V, es decir que a 4095 (2^{12}) se tendrá un voltaje de 3 V. En la siguiente expresión se da un ejemplo:

Para obtener un valor de 2,1 V con un voltaje de referencia 3 V:

$$Valor_{DAC} = \frac{Voltaje_{requerido} \times 4095}{Voltaje_{referencia}}$$

Ecuación 2.12. Cálculo del valor DAC a un voltaje dado.

$$Valor_{DAC} = \frac{2{,}1\ V \times 4095}{3\ V} = 2866{,}5$$

Ecuación 2.13. Ejemplo de cálculo del valor DAC a un voltaje dado.

El valor de 2866,5 (valor entero “2866”) se debe cargar en el registro correspondiente del canal DAC.

Se vuelve a aclarar que las señales que son generadas a través de las salidas digitales/análogas corresponden al sensor de oxígeno y al sensor de detonación. Para la señal del sensor CKP y el generador de pulsos se usan timers que mediante interrupciones cambian el estado del pin de salida seleccionado. En la Tabla 2.8 se resumen los recursos que serán utilizados para la emulación de cada una de las señales.

Tabla 2.8. Recursos del microcontrolador que serán utilizados para la emulación de las señales, entradas analógicas, y comunicación serial.

	SENSOR	RECURSO	PIN
SALIDAS	**TPS (APP1)**	Timer 3, canal 1	PC6
	TPS (APP1)	Timer 3, canal 3	PC8
	MAP	Timer 3, canal 2	PC7
	IAT	Timer 3, canal 4	PC9
	ECT	Timer 4, canal 1	PD12
	MAF	Timer 4, canal 4	PD15
	Oxígeno	DAC, canal 1	PA4
	Detonación	DAC, canal 2	PA5
	CKP	Timer 5	PA6
	Generador	Timer 5	PA9
Comunicación Serial	**Transmisor**	TX, USART	PB10
	Receptor	RX, USART	PB11
ENTRADAS	**TPS (APP1)**	ADC1, canal 7	PA7
	MAP	ADC1, canal 3	PA3
	IAT	ADC1, canal 1	PA1
	ECT	ADC1, canal 2	PA2
	MAF	ADC1, canal 11	PC1

En la Tabla 2.8 se incluyen también las entradas ADC que se van a utilizar para realizar control por realimentación de las señales de los sensores TPS (APP1), MAP, IAT, ECT, y MAF. Más adelante, en la subsección de la pág. 147, se explicará el control realizado para estas señales.

En la Figura 2.30 se observa un diagrama donde se indica los pines de entrada y salida utilizados del microcontrolador a partir de los recursos de la Tabla 2.8. También se detalla la alimentación del sistema en donde se especifica que la tarjeta se alimenta con 5 V, pero el microcontrolador se alimenta con 3 V a través de un regulador integrado en la tarjeta.

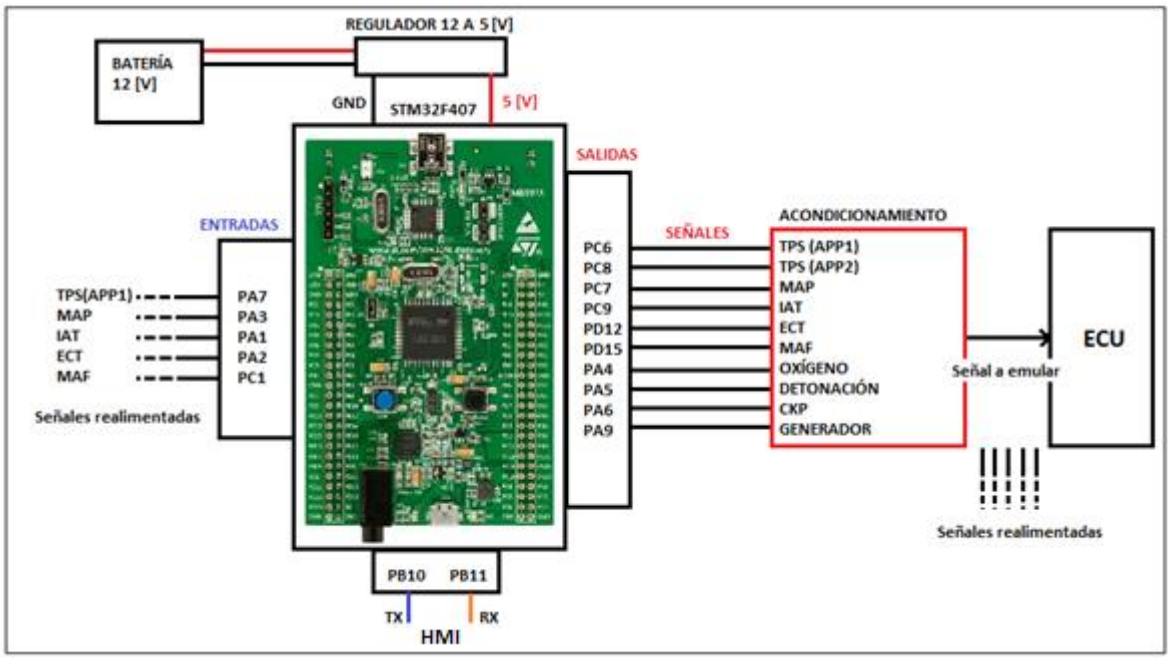


Figura 2.30. Diagrama de conexiones de los recursos utilizados en el microcontrolador.

En la Figura 2.30 se observan las salidas utilizadas para emular las señales. Cada una de ellas van hacia la etapa de acondicionamiento cuyo diseño se explicará más adelante. A la salida del acondicionamiento se realimentan las señales de los sensores TPS (APP1), MAP, IAT, ECT y MAF y van hacia cada una de las entradas análogas del microcontrolador.

Observación: El banco de pruebas emulará una señal a la vez.

Por lo tanto, el hardware del sistema está compuesto por el microcontrolador, la HMI y la etapa de acondicionamiento de las señales que van hacia la ECU del vehículo.

A continuación, se explica el diseño del hardware del sistema en lo que se refiere a la alimentación y circuitos de protección.

Hardware para la alimentación del banco de pruebas

Para la alimentación del sistema se emplea una batería de plomo de 12 V y 2,2 Ah (Figura 2.31), así mismo, por sugerencia del técnico que es el usuario final del equipo, también se puede utilizar la misma batería del vehículo. A continuación, en las siguientes fotografías se observan las baterías que se utilizarán para la alimentación del banco de pruebas.

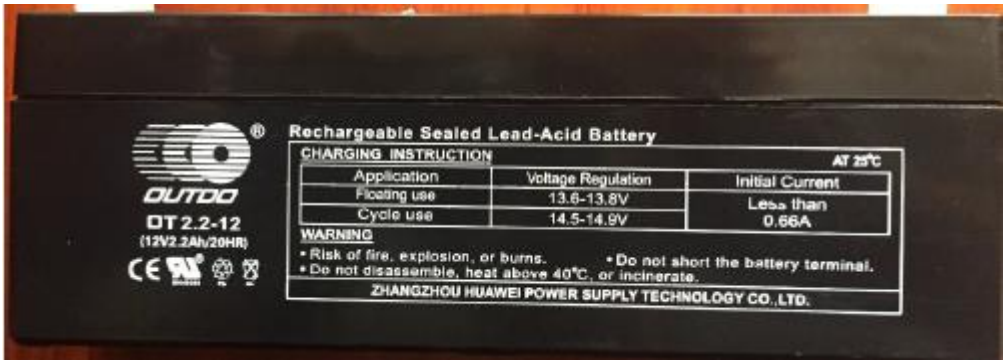


Figura 2.31. Batería de plomo de 12 V y 2,2 Ah.

La batería de la Figura 2.31 es recargable por lo tanto se implementó un cargador cuyo diseño se explica más adelante.

Figura 2.32. Batería del vehículo.

En la Figura 2.32 se observa la batería del vehículo de pruebas y algunas de sus especificaciones son:

- Marca: Baterías Ecuador.
- Voltaje: 12 V.
- Amperaje: 60 Ah.

Para alimentar al microcontrolador y la HMI se utiliza un módulo que permite un voltaje regulado de salida variable que se observa en la Figura 2.33.

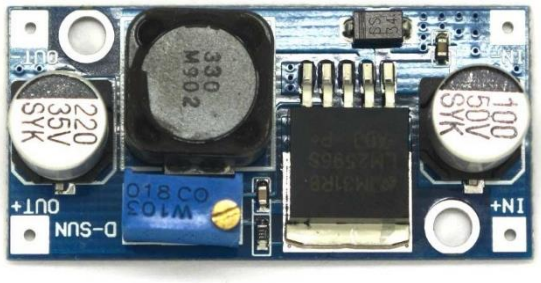


Figura 2.33. Módulo regulador de voltaje de salida ajustable.

Este módulo consta de un regulador LM2596 cuyas especificaciones son:

- Salida ajustable de 3,3 V, 5 V y 12 V.
- 3 A corriente de carga.
- Voltaje de entrada de hasta 40 V.
- Requiere de solo 4 componentes externos.
- Alta eficiencia.
- Excelentes especificaciones de regulación de línea y carga.
- Protección contra apagado térmico y límite de corriente.
- (Anexo IX para más especificaciones).

En la Figura 2.34 se ilustra el diagrama de conexión de este módulo.

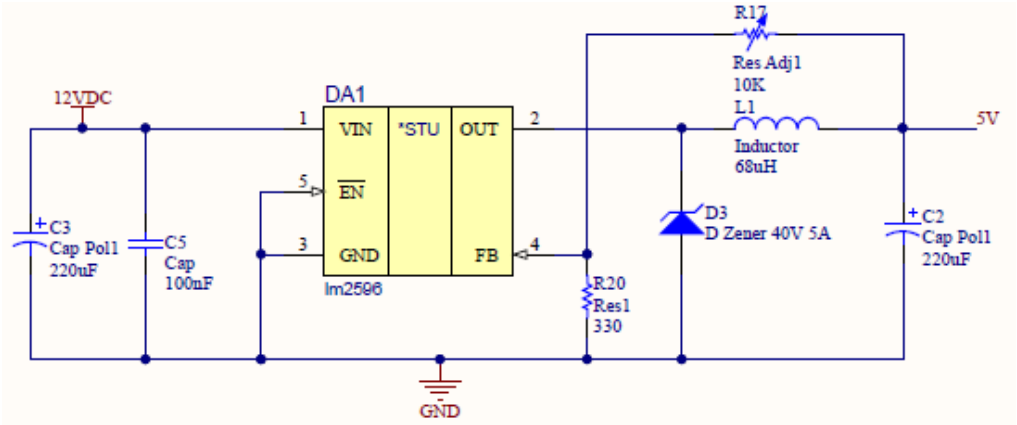


Figura 2.34. Diagrama del circuito del módulo.

Para alimentar el microcontrolador y la HMI se ajusta el voltaje de salida del regulador a 5 V. Este módulo también posee capacitores que filtran el ruido que puede ingresar al sistema.

Para la etapa de acondicionamiento de las señales de los sensores TPS, MAP, IAT, ECT y MAF (más adelante su explicación) se utiliza el circuito integrado LM358p (Figura 2.35), que es un amplificador operacional dual cuya alimentación es de 12 V.

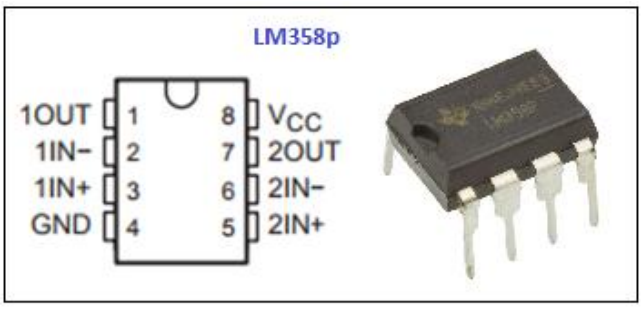


Figura 2.35. Amplificador operacional Dual LM358p [37].

A continuación, se muestran sus especificaciones:

- Amplio rango de suministro:
  - Suministro único: 3 V a 32 V.
  - Suministro dual: 1,5 V a 16 V.
- Rango de voltaje de entrada en modo común. Incluye tierra, permitiendo la detección directa cerca de la tierra.
- Consumo de corriente 0,7 mA.
- Compensación interna de frecuencia.
- (Anexo IX para más especificaciones).

Para alimentar los amplificadores se utilizó 12 V y tierra (GND) siendo esta una gran ventaja ya que no se necesita de otra fuente, como es el caso de otros amplificadores que se alimentan según requerimiento de voltaje positivo negativo (+, -).

El sistema también cuenta con circuitos de protección los cuales se explican a continuación.

- Un zener de 18 V que protege al sistema contra sobre picos de voltaje que se pueden generar cuando se inicia el motor del vehículo. Al haber un sobre voltaje mayor a 18 V, el zener entra en zona de conducción lo que hace que todo el flujo de corriente circule a través del zener y no hacia la carga que, en este caso, corresponde al sistema.
- Un fusible de 1 A que protege al sistema contra sobre corrientes y cortocircuitos. En el caso de que exista un sobre voltaje el zener entra en zona de conducción. En

ese instante circula una corriente considerable. Cuando la corriente supere 1 A se dispara y la batería deja de proporcionar voltaje al sistema.

- Un diodo de 3 A que protege al sistema en caso de que se conecte el dispositivo con la polaridad incorrecta.

A continuación, en la Figura 2.36 se muestra el circuito de protección:

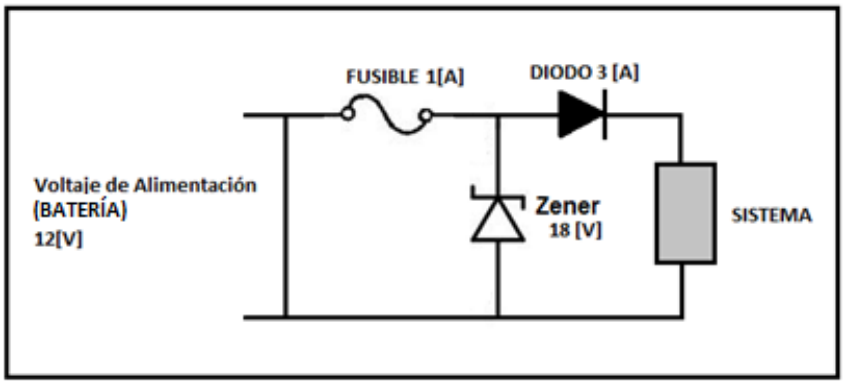


Figura 2.36. Circuito de protección del sistema.

En la siguiente imagen se observa el diagrama que corresponde a la alimentación de cada uno de los componentes que conforman el sistema.

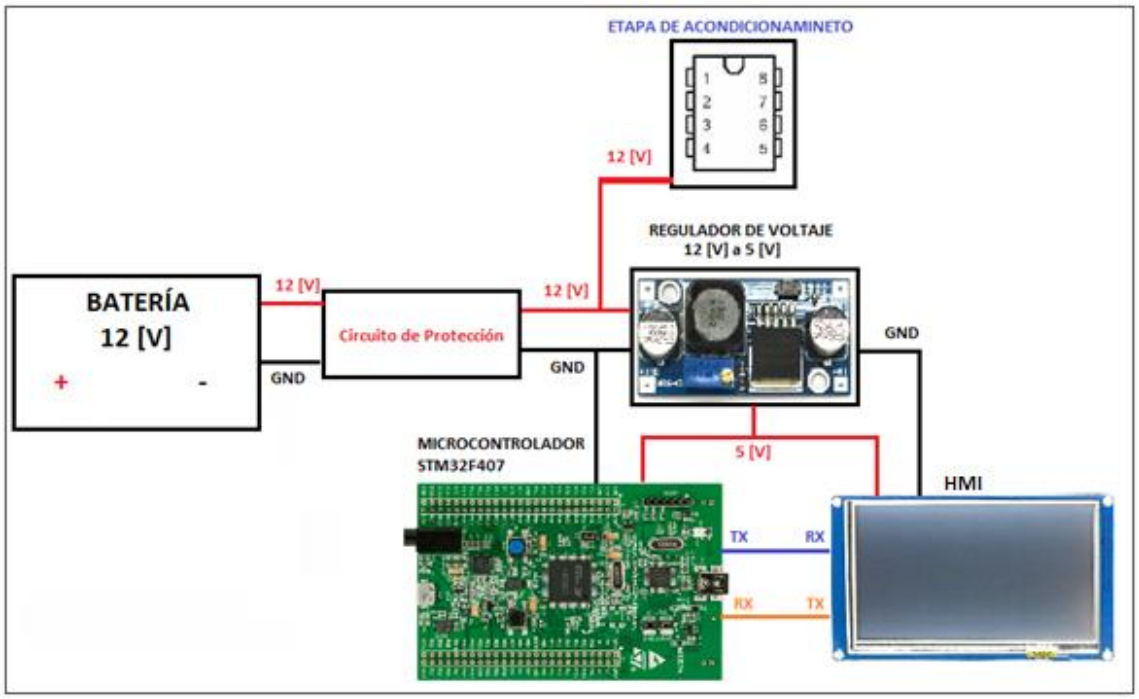


Figura 2.37. Diagrama de conexión de la alimentación de cada uno de los componentes del banco de pruebas.

En la Figura 2.37 se observan los componentes que conforman el banco de pruebas. El sistema se alimenta desde la batería de 12 V (batería de plomo o del vehículo). A través del circuito de protección de la Figura 2.36 se alimenta el resto de componentes. La tarjeta del microcontrolador utiliza 5 V al igual que la HMI. Los 5 V son obtenidos gracias al regulador de voltaje LM2596. Los amplificadores (LM358p) se alimentan con 12 V.

Entre Vcc y tierra se colocaron capacitores cerámicos de 0,1 µF lo más próximos a hacia los componentes como son: el microcontrolador y cada uno de los amplificadores, usados para reducir interferencias o ruido. En la Figura 2.38 se ilustra lo explicado.

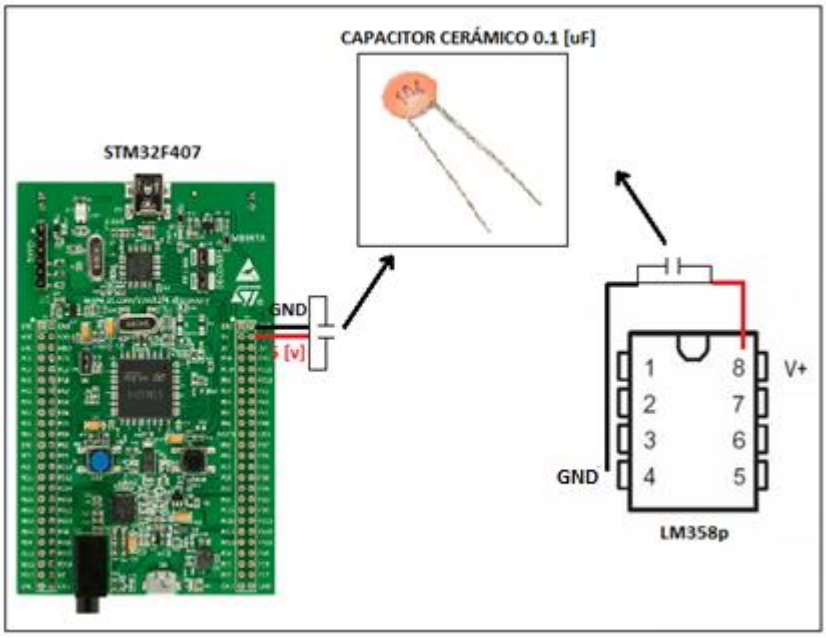


Figura 2.38. Conexión de los capacitores cerámicos.

A continuación, se procederá a partir de ecuaciones y diagramas de flujo, a desarrollar el programa para el microprocesador, hasta comprobar la validez de los algoritmos desarrollados. Paralelamente se explicará el diseño del hardware del sistema en lo que se refiere al acondicionamiento de las señales.

El IDE (por sus siglas en inglés, *integrated development enviroment*), utilizado para el desarrollo del software de este proyecto es Coocox CoIDE que es un entorno de desarrollo integrado gratuito que se centra en los microcontroladores ARM Cortex-M0 /M0 + /M3/M4 [36]. Para la programación del software se utilizó el lenguaje de programación C.

Generación de las señales de los sensores del sistema de inyección electrónica de combustible

A continuación, se procede a explicar y describir los pasos dados para el desarrollo del software de los emuladores.

Generación de las señales del sensor de posición del acelerador (TPS)

En las Figuras 2.7 y 2.8 (pág. 38 y 39) se observan las señales que van a ser emuladas por el banco de pruebas correspondientes al sensor TPS. Estas señales varían su valor de voltaje al variar el porcentaje de apertura de la válvula de mariposa.

Para generar las señales de este sensor se genera una señal PWM a través del canal 1 y 2 del timer 3, y se utilizan las expresiones matemáticas de las Ecuaciones 2.1 y 2.2 (pág. 40)

El porcentaje está entre 6% y 100%, y este valor puede ser controlado a través de la HMI de usuario cuyo diseño se detalla más adelante. La HMI envía el valor de porcentaje seleccionado por el usuario y de esta manera el voltaje de ambas señales cambia.

Los rangos de voltaje de ambas señales son:

- APP1: 0,75 V (valor Inicial).
  - 1,38 V al 6%– 3,55 V al 100%.
- APP2: 0,37 V (valor Inicial).
  - 0,71 V al 6 %– 1,79 V al 100%.

Observación: Se debe tener en consideración que, al encender el sistema emulador cuando el interruptor de encendido del vehículo está en la posición de contacto (ON), éste debe enviar ciertos voltajes iniciales correspondientes a las señales que generan los sensores: TPS, MAP, IAT, ECT, MAF y oxígeno. De no procederse así, la ECU del vehículo detectaría 0 V e interpretaría esto como un fallo, ocasionando que el motor incluso se inhiba totalmente.

Para el sensor TPS los valores iniciales de voltaje son: 0,75 V (APP1) y 0,37 V (APP2). Para obtener el ancho de pulso de las señales PWM con respecto al valor de voltaje requerido se utilizan las siguientes ecuaciones:

Para la señal APP1:

$$ancho0 = \frac{4095 \times voltaje_setpoint0}{3{,}554\ V}$$

Ecuación 2.14. Ecuación para calcular el ancho de pulso de la señal PWM correspondiente a la señal APP1 del sensor TPS.

Donde:

- "ancho0" es la variable que contendrá el valor de ancho de pulso (entre 0 y 4095) para el sensor APP1.
- "voltaje_setpoint0" es la variable que contiene el valor de voltaje que se desea generar para la señal APP1 que se obtiene de la Ecuación 2.1.
- 3,554 es el valor máximo de voltaje que entrega esta señal de acuerdo con la Ecuación 2.1.
- 4095 es el valor máximo de ancho de pulso establecido por el periodo.

Ejemplo a partir de la Ecuación 2.14:

$$ancho0 = \frac{4095 \times 0{,}75\ V}{3{,}554\ V} = 864{,}16$$

Como solo se puede tener un máximo de 3 V, el valor de 864 en realidad es 0,63 V; por lo tanto, se debe realizar una amplificación de 3 V a 3,554 V. Más adelante en esta subsección, se explica el diseño de la etapa de amplificación correspondiente.

Para la señal APP2:

$$ancho1 = \frac{4095 \times voltaje_setpoint1}{3\ V}$$

Ecuación 2.15. Ecuación para calcular el ancho de pulso de la señal PWM correspondiente a la señal APP2 del sensor TPS.

Donde:

- “ancho1” es una variable que posee el valor de ancho de pulsos entre (0 y 4095) para el sensor APP2.
- “voltaje_setpoint1” es la variable que contiene el valor de voltaje que se desea generar para la señal APP2 que se obtiene de la Ecuación 2.2.

Ejemplo a partir de la Ecuación 2.15:

$$ancho1 = \frac{4095 \times 0{,}37}{3\ V} = 505$$

Para este sensor se utiliza la referencia de 3 V que tiene el microcontrolador ya que este sensor tiene un valor de 1,79 V al 100%. Por lo tanto, no es necesaria una etapa de amplificación.

Observación: Como se explicó en el Capítulo 1, el sensor TPS doble depende mucho de la relación entre sus dos señales para que este funcione. Por lo tanto, las señales emuladas del sensor TPS son específicas para el vehículo en el cual se realiza este proyecto y no pueden ser utilizadas para probarlas en otros vehículos que posean un sensor TPS doble, ya que, de hacerlo, la ECU del otro vehículo no podría interpretar correctamente las señales y generaría un código de error. Sin embargo, de ser un vehículo que posea un sensor TPS simple (una sola señal), se podría usar una de las señales emuladas.

En la Figura 2.39, se muestra el diagrama de flujo para la generación de las señales de este sensor.

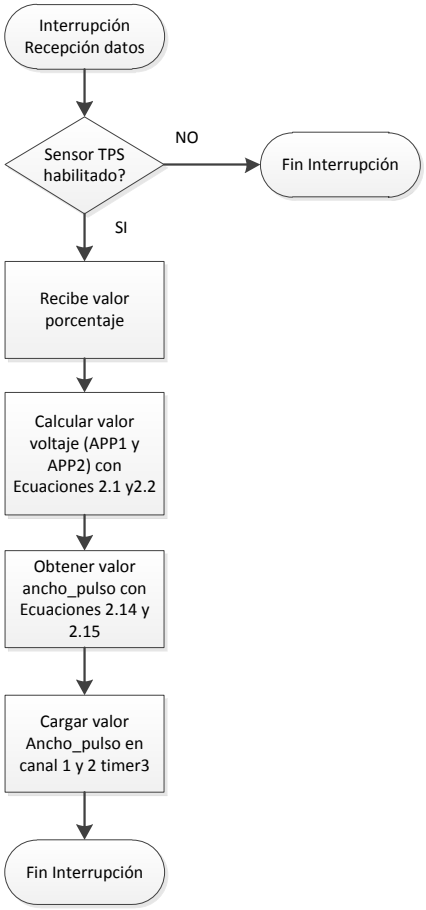


Figura 2.39. Diagrama de flujo para generar las señales del sensor TPS.

En las Figuras 2.40 y 2.41 se observan las señales PWM generadas con el algoritmo mostrado en el diagrama de flujo de la Figura 2.39.

Señal PWM (APP1):

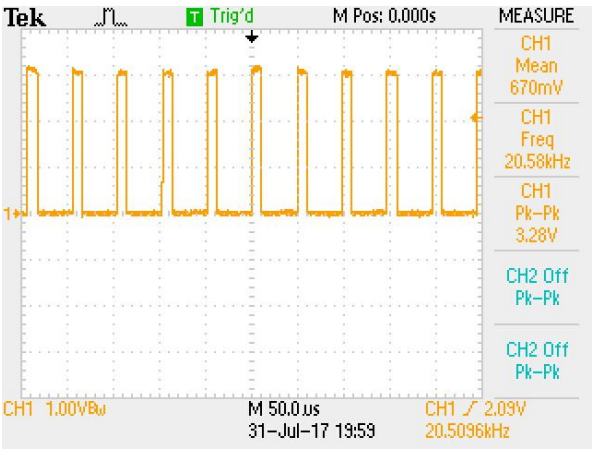


Figura 2.40 Señal PWM generada para la señal del sensor TPS (APP1) (voltaje medio: 0,670 V, frecuencia: 20,58 Hz, porcentaje: 2,4 %).

Señal PWM (APP2):

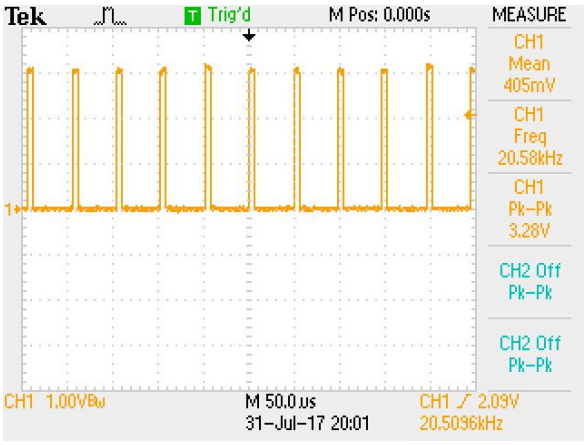


Figura 2.41 Señal PWM generada para la señal del sensor TPS (APP2) (voltaje medio: 0,405 V, frecuencia: 20,58 Hz, porcentaje: 2,8%).

Una vez obtenida las señales PWM, se prosiguió al diseño del hardware de acondicionamiento.

Como se había explicado, para generar las señales de los sensores TPS, MAP, IAT, ECT y MAF se utilizan señales PWM las cuales deben ser filtradas para obtener una señal de corriente continua (C.C.). Para esto se implementaron filtros RC, cuyo diseño se muestra a continuación.

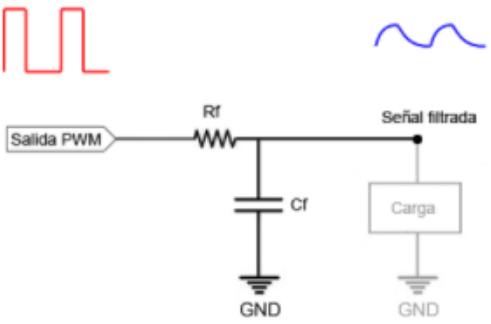


Figura 2.42. Circuito típico de un filtro RC [38].

La fórmula para el diseño de un filtro RC es:

$$R = \frac{1}{2\,\pi\ \times\ C\ \times fc}$$

Ecuación 2.16. Fórmula para el diseño de un filtro RC.

Donde:

- R:es el valor de la resistencia del filtro.
- C: es el valor del capacitor del filtro.
- “fc” es la frecuencia de corte.

La frecuencia de las señales PWM es de 20,5 kHz, por lo tanto, a partir de la Ecuación 2.16 se asume una frecuencia de corte fc de 70 Hz. También se asume un valor de capacitancia de 0,1 µf. Por lo tanto, el valor de resistencia es:

$$R = \frac{1}{2\,\pi\ \times\ 0{,}1\,\mu F\ \times 70\,Hz} = 22{,}74\,k\Omega$$

Se elige una resistencia de 22 kΩ. El filtro es el mismo para todas las señales de los sensores TPS, MAP, IAT, ECT, y MAF.

Algunas de las señales que serán emuladas superan los 3 V, que corresponde al valor de voltaje máximo de salida que puede entregar el microcontrolador. Por lo tanto, se requiere de una etapa de amplificación para las siguientes señales:

- Sensor TPS: dos señales de voltaje, aproximadamente (APP1 (0,7 V – 3,5 V) y APP2 (0,35 V – 1,8 V)). **Solamente amplificación de la señal APP1 que supera los 3 V.**
- Sensor MAP: señal única de voltaje, aproximadamente (0 V – 5 V).
- Sensor IAT: señal única de voltaje, aproximadamente (0 V – 5 V).
- Sensor ECT: señal única de voltaje, aproximadamente (0 V – 5 V).
- Sensor MAF: señal única de voltaje, aproximadamente (0 V – 5 V).

Para amplificar las señales de los sensores TPS (APP1), MAF, IAT, ECT, y MAF, se diseñaron amplificadores no inversores cuyo diseño se muestra a continuación.

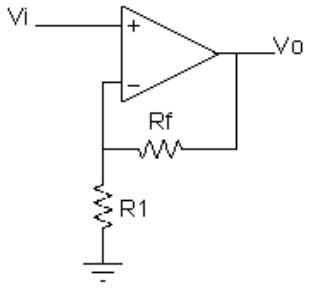


Figura 2.43. Circuito de un amplificador no inversor.

Se tiene que la relación entre el voltaje de entrada Vi y voltaje de salida Vo es:

$$G = \frac{Vo}{Vi} = 1 + \frac{Rf}{R1}$$

Ecuación 2.17. Fórmula para el diseño de un amplificador no inversor.

Donde:

- G=es la ganancia.

Para la señal del sensor APP1 se requiere de un voltaje máximo de 3,554 V. Por lo tanto, se necesita una amplificación de 3 V a 3,554 V. La ganancia para este sensor es:

$$G = \frac{3{,}554\ V}{3\ V} = 1{,}18$$

Se asume que Rf es 180 kΩ.

$$1{,}18 = 1 + \frac{180\ k\Omega}{R_1}$$

Por lo tanto, R1 es:

$$R_1 = \frac{180\ k\Omega}{0{,}18} = \ 1M\Omega$$

Para las señales de los sensores MAP, IAT, ECT y MAF se quiere obtener un valor máximo de 5 V por lo tanto la ganancia es:

$$G = \frac{5\ V}{3\ V} = 1{,}67$$

Se asume que Rf es 100 kΩ.

$$1{,}67 = 1 + \frac{100\ k\Omega}{R_1}$$

Por lo tanto, R1 es:

$$R_1 = \frac{100\ k\Omega}{0{,}67} = \ 150\ k\Omega$$

A continuación, se muestran los resultados obtenidos, correspondientes a las señales APP1 y APP2 del sensor TPS, con sus respectivos acondicionamientos.

Señal APP1:

Tabla 2.9. Valores de voltaje (teóricos y medidos) y error porcentual (%) obtenidos para la señal APP1 del sensor TPS.

APP1			
%	**Valor Teórico V**	**Valor Medido V**	**Error %**
INI	**0,75**	**0,8**	6,67%
6	1,386	1,42	2,42%
10	1,780	1,81	1,68%
20	2,314	2,33	0,68%
30	2,627	2,637	0,39%
40	2,848	2,854	0,20%
50	3,020	3,022	0,06%
60	3,161	3,16	0,03%
70	3,280	3,276	0,11%
80	3,382	3,377	0,16%
90	3,473	3,465	0,24%
100	3,554	3,545	0,27%
		Error Promedio	1,08%

En la Tabla 2.9 se observan los valores de voltaje teóricos y medidos de la señal APP1 emulada del sensor TPS. El valor teórico corresponde al obtenido a partir de la Ecuación 2.1 y, el valor medido, corresponde al que mostró el osciloscopio. Se obtuvo un error

promedio del 1,08% entre los valores medidos y los valores teóricos calculados con la fórmula que se muestra a continuación.

$$Error\ Porcentual\ \% = \frac{Valor\ Teórico - Valor\ Medido}{Valor\ Teórico} \times 100\%$$

Ecuación 2.18. Fórmula para el cálculo del error porcentual (%).

"INI" corresponde al valor inicial de voltaje emulado del sensor.

Señal APP2:

Tabla 2.10. Valores de voltaje (teóricos y medidos) y error porcentual (%) obtenidos para la señal APP2 del sensor TPS.

APP2			
%	**Valor Teórico V**	**Valor Medido V**	**Error %**
INI	**0,37**	**0,4**	8,11%
6	0,710	0,725	2,07%
10	0,907	0,912	0,57%
20	1,173	1,175	0,13%
30	1,329	1,328	0,11%
40	1,440	1,435	0,35%
50	1,526	1,52	0,39%
60	1,596	1,589	0,44%
70	1,655	1,645	0,63%
80	1,707	1,695	0,69%
90	1,752	1,74	0,69%
100	1,793	1,78	0,70%
		Error Promedio	1,24%

Para este sensor se obtuvo un error promedio de 1,24% con los valores de voltaje que se encuentran en la Tabla 2.10. A continuación, se muestra un ejemplo de las señales emuladas para el sensor TPS.

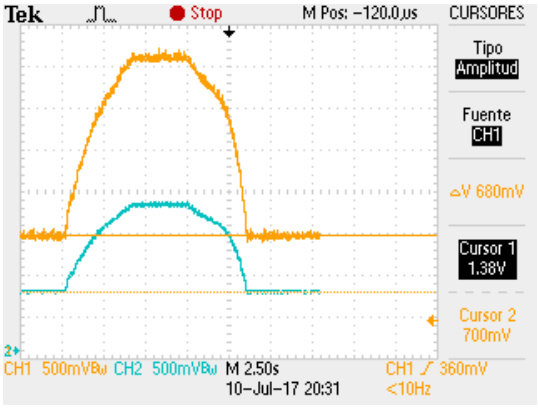


Figura 2.44. Señales de voltaje del sensor TPS: APP1 (canal 1) y APP2 (canal 2).

En la Figura 2.44 se representa la emulación de las señales APP1 y APP2. Se empieza con un voltaje de 0,75 V (APP1) y 0,37 V (APP2) que son los voltajes iniciales que envía el sensor TPS cuando el motor se encuentra en su estado de ralentí. Luego se incrementa el voltaje de ambas señales al mismo tiempo para emular el incremento del porcentaje de apertura de la válvula hasta que las señales llegan a un voltaje de 3,54 V (APP1) y 1,76 V, aproximadamente; momento en el cual la válvula está abierta en su totalidad. Conforme se incrementa el porcentaje de la válvula el vehículo debe acelerar. Luego se disminuye el voltaje para así emular la disminución del porcentaje de apertura de la válvula. Al disminuir dicha apertura el vehículo debe desacelerar.

Generación de la señal del sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP)

En la Figura 2.10 (pág. 42) se observa una señal de voltaje con respecto a la presión del múltiple de admisión en kilopascales.

Para emular la señal de este sensor se genera una señal PWM a través del canal 3 del timer 3. Para generar la señal se utiliza la expresión de la Ecuación 2.3 (pág. 42). El valor de presión está entre 0 y 110 kPa y este valor podrá ser variado a través de la HMI del sistema. El rango de voltaje de esta señal es: 0,02 V a 0 kPa – 4,49 V a 110 kPa. La señal tiene un valor inicial de 1 V.

Para obtener el ancho de pulso de la señal PWM con respecto al valor de voltaje requerido se utiliza la siguiente ecuación:

$$ancho2 = \frac{4095 \times voltaje_setpoint2}{5\ V}$$

Ecuación 2.19. Ecuación para calcular el ancho de pulso de la señal PWM correspondiente a la señal del sensor MAP.

Donde:

- “ancho2” es la variable que almacenará el valor de ancho de pulso entre (0 y 4095) para el sensor MAP.
- “voltaje_setpoint2” es la variable que contiene el valor de voltaje que se desea generar que se obtiene de la Ecuación 2.3.
- 5 V es el valor de referencia.
- 4095 es el valor máximo de ancho de pulso establecido por el periodo.

El valor de referencia de 5 V se repite para los sensores IAT, ECT y MAF con los que se pueden tener valores de voltaje de 5 V.

En la Figura 2.45, se ilustra el diagrama de flujo para la generación de la señal de este sensor.

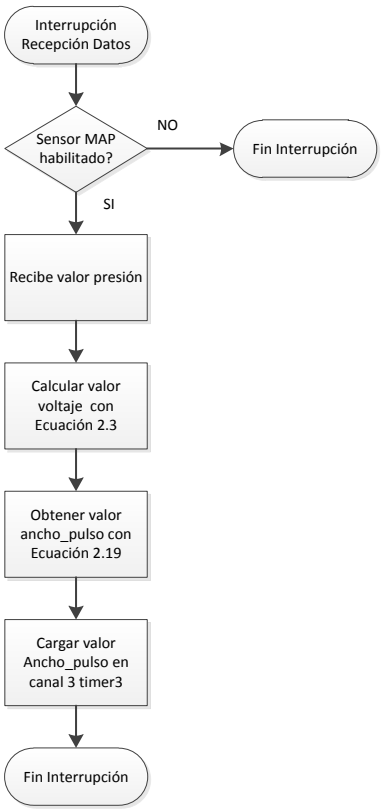


Figura 2.45. Diagrama de flujo para generar la señal del sensor MAP.

En la Figura 2.46 se observa la señal PWM generada con el algoritmo representado en el diagrama de flujo de la Figura 2.45.

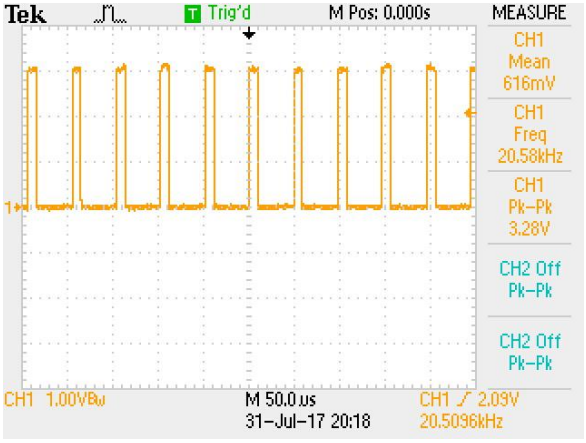


Figura 2.46. Señal PWM generada para el sensor MAP (voltaje medio: 0,616 V, frecuencia: 20,58 Hz, presión: 15,1 kPa).

Con la etapa de acondicionamiento correspondiente al sensor MAP, cuyo diseño se explicó anteriormente (subsección, pág. 70), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2.11. Valores de voltaje (teóricos y medidos) y error porcentual (%) obtenidos para la señal del sensor MAP.

MAP			
Presión kPa	**Valor Teórico V**	**Valor Medido V**	**Error %**
INI	**1,000**	**1,002**	0,20%
20	0,836	0,846	1,23%
30	1,242	1,245	0,27%
40	1,648	1,642	0,35%
50	2,054	2,04	0,67%
60	2,460	2,438	0,88%
70	2,866	2,837	1,00%
80	3,272	3,233	1,18%
90	3,678	3,63	1,30%
100	4,084	4,03	1,31%
110	4,490	4,43	1,33%
		Error Promedio	0,88%

Con los valores de voltaje de la Tabla 2.11 se obtuvo un error promedio de 0,88%. El error fue calculado siguiendo el mismo procedimiento explicado en las páginas 77 y 78. A

continuación, en la siguiente imagen se observa un ejemplo de la señal emulada para el sensor MAP.

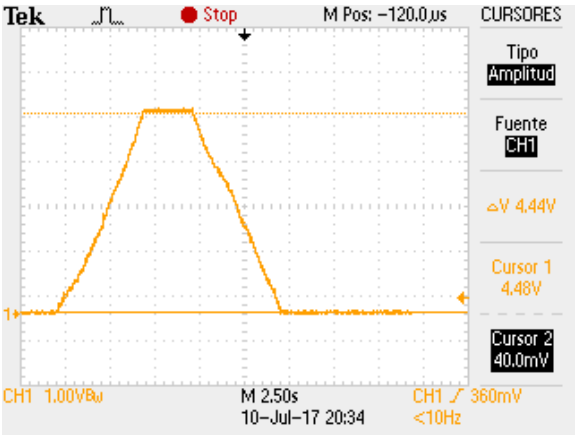


Figura 2.47. Señal de voltaje del sensor MAP.

En la Figura 2.47 se observa la señal emulada para el sensor MAP. Al incrementar el voltaje se emula el incremento de la presión de aire del múltiple de admisión hasta llegar a un valor de 110 kPa que corresponde a un voltaje de 4,49 V, aproximadamente. Luego se reduce el voltaje emulando la disminución de la presión hasta llegar a un valor mínimo de 0,04 V aproximadamente, que corresponde a 0 kPa.

Generación de la señal del sensor de temperatura del aire de admisión (IAT)

En la Figura 2.12 (pág. 44) se observa la señal de voltaje con respecto a la temperatura del aire de admisión.

Para emular la señal de este sensor se utiliza una señal PWM a través del canal 4 del timer 3. Para generar la señal se utiliza la expresión de la Ecuación 2.4 (pág. 44). El valor de temperatura está entre 0 y 77 °C y este valor podrá ser variado a través de la HMI del sistema. El rango de voltaje de esta señal es: 3,13 V a 0 °C – 0,038 V a 77 °C. La señal tiene un valor inicial de 2,8 V. Para obtener el ancho de pulso de la señal PWM con respecto al valor de voltaje requerido se utiliza la siguiente ecuación:

$$ancho3 = \frac{4095 \times voltaje_setpoint3}{5\ V}$$

Ecuación 2.20. Ecuación para calcular el ancho de pulso de la señal PWM correspondiente a la señal del sensor IAT.

Donde:

- "ancho3" es la variable que almacenará el valor de ancho de pulso entre (0 y 4095) para el sensor IAT.
- "voltaje_setpoint3" es la variable que contiene el valor de voltaje que se desea generar que se obtiene de la Ecuación 2.4.

Para el caso de los sensores IAT y ECT, se optó por tener una segunda opción en la que el sistema entregue una variación lineal entre 0,5 V y 4 V para que puedan ser utilizados en otros vehículos. Para esta opción se asumió que a 0,5 V se tiene una temperatura de 90 °C y a 4 V, de 20 °C. Estos datos fueron obtenidos de artículos especializados y corroborados por el especialista automotriz que da soporte a este proyecto.
Por lo tanto, para estos dos sensores se utiliza la siguiente expresión que podrá ser utilizada en otros vehículos.

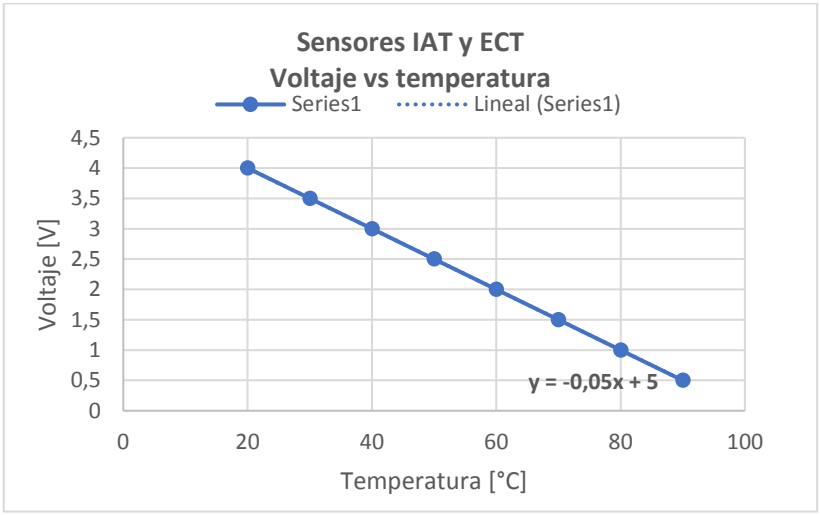


Figura 2.48. Gráfica de voltaje vs temperatura.

En la Figura 2.48 se observa una curva lineal cuya ecuación es la siguiente:

$$y = -0{,}05x + 5$$

Ecuación 2.21. Ecuación de la línea de tendencia para las señales de los sensores IAT y ECT (segunda opción).

Donde:

“y”: es el valor de voltaje V.

“x”: es el valor de temperatura en grados Celsius °C.

Las dos opciones que permiten variar los valores de temperatura estarán disponibles en la HMI del sistema. La HMI envía al microcontrolador la respectiva información para que este trabaje con la opción que el usuario necesite.

En la Figura 2.49 se muestra el diagrama de flujo para generar la señal del sensor IAT.

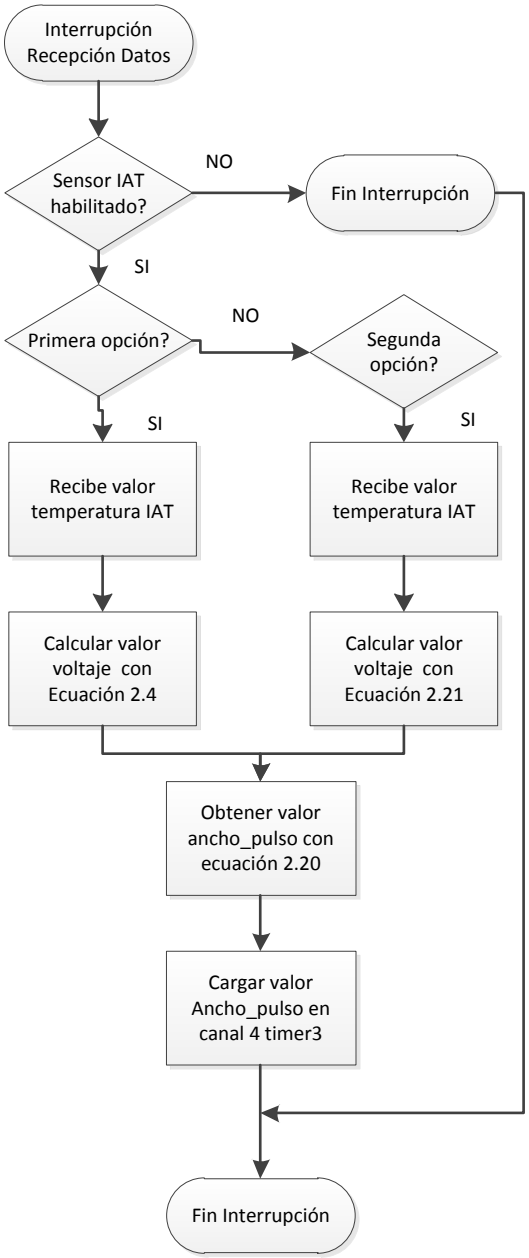


Figura 2.49. Diagrama de flujo para generar la señal del sensor IAT.

En la Figura 2.50 se muestra la señal PWM generada para la señal del sensor IAT obtenida a partir del algoritmo representado en el diagrama de flujo de la Figura 2.49.

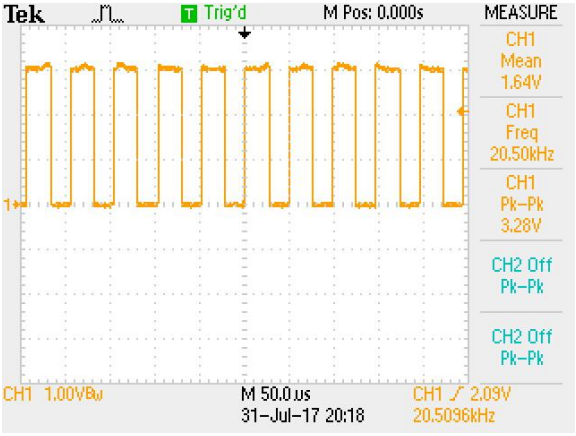


Figura 2.50. Señal PWM generada para el sensor IAT. (voltaje medio: 1,64 V, frecuencia: 20,5 Hz, temperatura: 0 °C).

Con la etapa de acondicionamiento correspondiente al sensor IAT, cuyo diseño se explicó anteriormente (subsección, pág. 70), se obtuvieron los siguientes resultados:

Primera opción (3,13 V a 0 °C – 0,038 V a 77 °C):

Tabla 2.12. Valores de voltaje (teóricos y medidos) y error porcentual (%) obtenidos para la señal del sensor IAT.

IAT 1			
Temperatura °C	**Valor Teórico V**	**Valor Medido V**	**Error %**
INI	**2,79**	**2,794**	0,14%
0	3,13	3,123	0,34%
5	2,93	2,925	0,26%
10	2,73	2,729	0,09%
20	2,33	2,33	0,02%
30	1,93	1,938	0,54%
40	1,53	1,545	1,28%
50	1,12	1,15	2,36%
60	0,72	0,756	4,78%
70	0,32	0,36	12,68%
		Error Promedio	2,25%

Con los valores de voltaje de la Tabla 2.12 se obtuvo un error promedio de 2,25 %.

Segunda opción (4 V a 20 °C – 0,5 V a 90 °C):

Tabla 2.13. Valores de voltaje (teóricos y medidos) y error porcentual (%) obtenidos para la señal del sensor IAT. (segunda opción).

IAT 2			
Temperatura °C	**Valor Teórico V**	**Valor Medido V**	**Error %**
INI	**2,79**	**2,794**	0,14%
20	4	3,97	0,75%
30	3,5	3,482	0,51%
40	3	2,991	0,30%
50	2,5	2,5	0,00%
60	2	2,01	0,50%
70	1,5	1,518	1,20%
80	1	1,03	3,00%
90	0,5	0,539	7,80%
		Error Promedio	1,58%

Con los valores de voltaje de la Tabla 2.13 se obtuvo un error promedio de 1,58%.

En la Figura 2.51 se observa un ejemplo de la señal emulada para el sensor IAT.

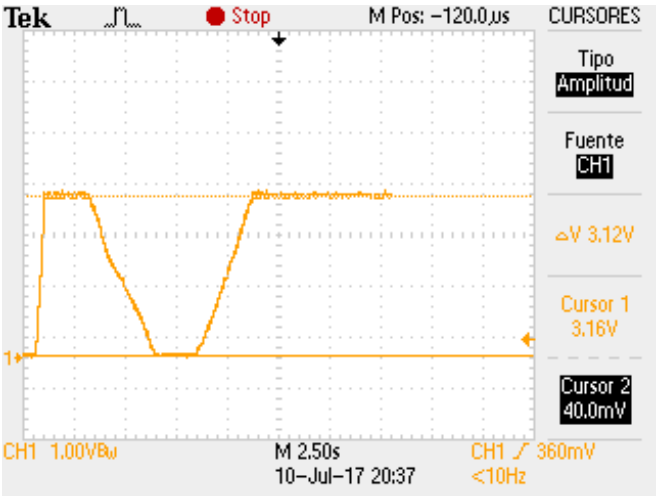


Figura 2.51. Señal de voltaje del sensor IAT.

En la Figura 2.51 se observa que al reducir el voltaje de la señal se emula el aumento de temperatura del aire del conducto de admisión. Con un valor de voltaje máximo de 3,13 V se tiene la temperatura mínima de 0 °C y se llega a 77 °C con un valor mínimo de 0,038 V, aproximadamente.

Generación de la señal del sensor de temperatura del refrigerante (ECT)

En la Figura 2.14 (pág. 46) se observa la señal de voltaje con respecto a la temperatura del refrigerante del motor.

Para emular la señal de este sensor se utiliza una señal PWM a través del canal 1 del timer 4. Para generar la señal se utiliza la expresión de la Ecuación 2.5 (pág. 46). El valor de temperatura está entre 0 y 130 °C y este valor podrá ser variado a través de la HMI del sistema. El rango de voltaje de esta señal es: 3,27 V a 0 °C – 0,04 V a 130 °C. La señal tiene un valor inicial de 2,8 V. Para obtener el ancho de pulso de la señal PWM con respecto al valor de voltaje requerido se utiliza la siguiente ecuación:

$$ancho4 = \frac{4095 \times voltaje_setpoint4}{5\ V}$$

Ecuación 2.22. Ecuación para calcular el ancho de pulso de la señal PWM correspondiente a la señal del sensor IAT.

Donde:

- “ancho4” es la variable que guardará el valor de ancho de pulso entre (0 y 4095) para el sensor ECT.
- “voltaje_setpoint4” es la variable que contiene el valor de voltaje que se desea generar que se obtiene de la Ecuación 2.5.

Como se había explicado, para este sensor también se emulará una señal de voltaje con los siguientes parámetros: 4 V a 20 °C y 0,5 V a 90 °C, a partir de la Ecuación 2.21 (pág. 83).

En la Figura 2.52 se muestra el diagrama de flujo para generar la señal del sensor ECT.

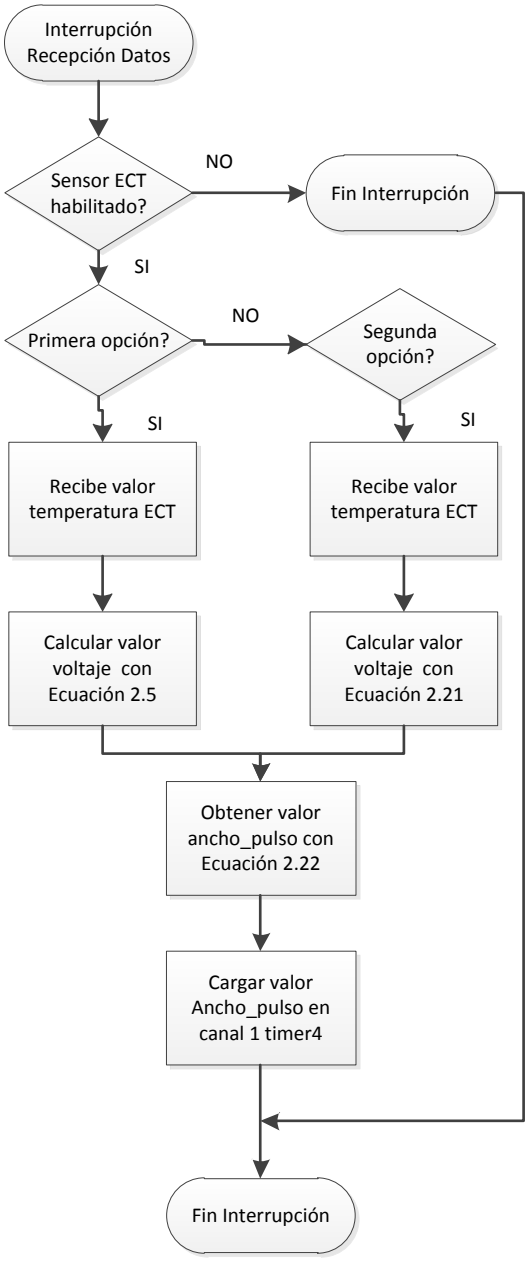


Figura 2.52. Diagrama de flujo para generar la señal del sensor ECT.

En la Figura 2.53 se muestra la señal PWM generada para la señal del sensor ECT. La señal fue obtenida con el algoritmo representado en el diagrama de flujo de la Figura 2.52.

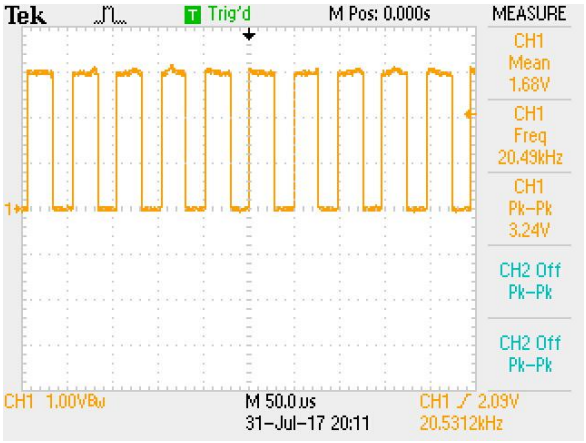


Figura 2.53. Señal PWM generada para el sensor ECT (voltaje medio: 1,68 V, frecuencia: 20,49 Hz, temperatura: 36,6 °C).

Con la etapa de acondicionamiento correspondiente al sensor ECT, cuyo diseño se explicó anteriormente (subsección, pág. 70), se obtuvieron los siguientes resultados:

Primera opción (3,27 V a 0 °C – 0,04 V a 130 °C):

Tabla 2.14. Valores de voltaje (teóricos y medidos) y error porcentual (%) obtenidos para el sensor ECT (primera opción).

ECT 1			
Temperatura °C	**Valor Teórico V**	**Valor Medido V**	**Error %**
IN	2,79	2,77	0,72%
0	3,2746	3,23	1,36%
10	2,7856	2,76	0,92%
20	2,3366	2,325	0,50%
30	1,9276	1,926	0,08%
40	1,5586	1,57	0,73%
50	1,2296	1,253	1,90%
60	0,9406	0,969	3,02%
70	0,6916	0,73	5,55%
80	0,4826	0,53	9,82%
90	0,3136	0,32	2,04%
100	0,1846	0,19	2,93%
110	0,0956	0,1	4,60%
120	0,0466	0,05	7,30%
130	0,0376	0,04	6,38%
		Error Promedio	3,19%

Con los valores de la Tabla 2.14 se obtuvo un error promedio de 3,19%.

Segunda Opción (4 V a 20 °C – 0,5 V a 90 °C):

Tabla 2.15. Valores de voltaje (teóricos y medidos) y error porcentual (%) obtenidos para el sensor ECT (segunda opción).

ECT 2			
Temperatura °C	**Valor Teórico V**	**Valor Medido V**	**Error %**
IN	2,79	2,77	0,72%
20	4	3,93	1,75%
30	3,5	3,465	1,00%
40	3	2,98	0,67%
50	2,5	2,499	0,04%
60	2	2,01	0,50%
70	1,5	1,53	2,00%
80	1	1,04	4,00%
90	0,5	0,51	2,00%
		Error Promedio	1,41%

A partir de los valores de voltaje de la Tabla 2.15 se obtuvo un error promedio de 1,41%.

A continuación, en la Figura 2.54 se observa un ejemplo de la señal emulada para el sensor ECT.

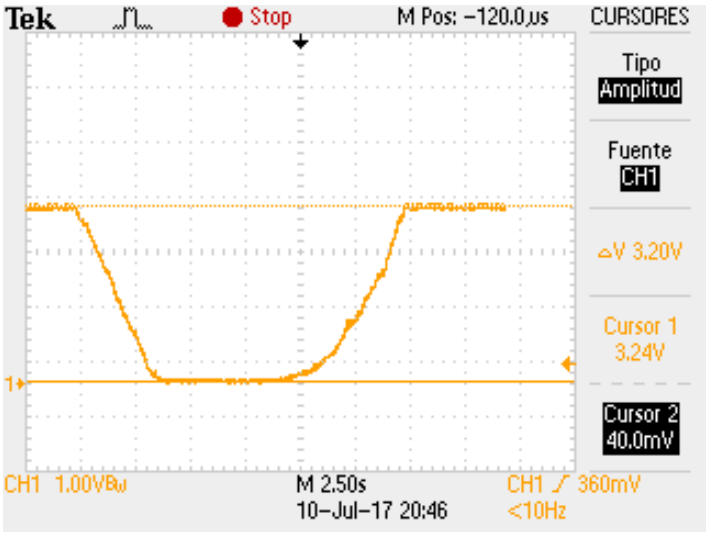


Figura 2.54. Señal de voltaje del sensor ECT.

En la Figura 2.54 se observa que al reducir el voltaje de la señal se emula el aumento de temperatura del refrigerante del motor. Con un valor de voltaje máximo de 3,27 V se tiene la temperatura mínima de 0 °C y se llega a 130 °C con un valor mínimo de 0,04 V, aproximadamente.

Generación de la señal del sensor de masa de aire (MAF)

En la Figura 2.28 (pág. 56) se observa la señal de voltaje con respecto al flujo de aire que ingresa al múltiple de admisión en gramos por segundo (gr/seg).

Para emular la señal de este sensor se utiliza una señal PWM a través del canal 4 del timer 4. Para generar la señal se utiliza la expresión de la Ecuación 2.7 (pág. 56). El valor de flujo está entre 0 y 125 gr/seg y este valor podrá ser variado a través de la HMI del sistema. El rango de voltaje de esta señal es: 0 V a 1,07 gr/seg – 4,3 V a 125 gr/seg. La señal tiene un valor inicial de 1 V. Para obtener el ancho de pulso de la señal PWM con respecto al valor de voltaje requerido se utiliza la siguiente ecuación:

$$ancho5 = \frac{4095 \times voltaje_setpoint5}{5\ V}$$

Ecuación 2.23. Ecuación para calcular el ancho de pulso de la señal PWM correspondiente a la señal del sensor MAF.

Donde:

- “ancho5” es la variable que contendrá el valor de ancho de pulso entre (0 y 4095) para el sensor MAF
- “voltaje_setpoint5” es la variable que contiene el valor de voltaje que se desea generar que se obtiene de la Ecuación 2.7.

En la Figura 2.55, se muestra el diagrama de flujo para generar la señal del sensor MAF.

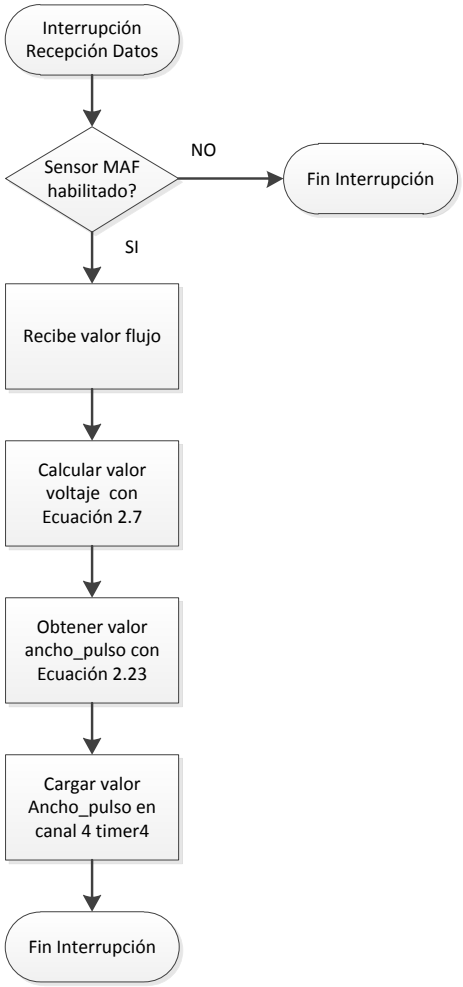


Figura 2.55. Diagrama de flujo para generar la señal del sensor MAF.

En la Figura 2.56 se observa la señal PWM que se logró generar para la señal del sensor MAF a partir del diagrama de flujo de la Figura 2.55.

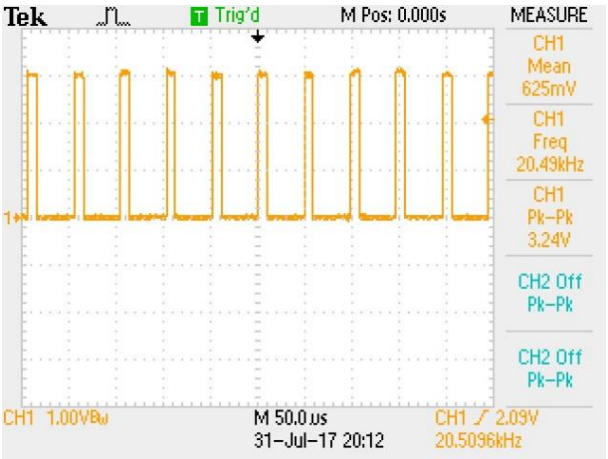


Figura 2.56. Señal PWM generada para el sensor MAF (voltaje medio: 0,625 V, frecuencia: 20,49 Hz, flujo de aire: 2,1 gr/seg).

A partir de la etapa de acondicionamiento correspondiente al sensor MAF, cuyo diseño se explicó anteriormente (subsección, pág. 70), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2.16. Valores de voltaje (teóricos y medidos) y error porcentual (%) obtenidos para el sensor MAF.

MAF			
Flujo gr/seg	**Valor Teórico V**	**Valor Medido V**	**Error %**
INI	1	1,01	1,00%
10	2,02	2,02	0,00%
20	2,64	2,63	0,38%
30	3,01	3	0,33%
40	3,27	3,26	0,31%
50	3,47	3,46	0,29%
60	3,64	3,62	0,55%
70	3,78	3,76	0,53%
80	3,9	3,885	0,38%
90	4	3,99	0,25%
100	4,1	4,08	0,49%
125	4,3	4,28	0,47%
		Error Promedio	0,41%

A partir de los valores de la Tabla 2.16 se obtuvo un error promedio de 0,41%.

A continuación, en la Figura 2.57 se observa un ejemplo de la señal emulada para el sensor MAF.

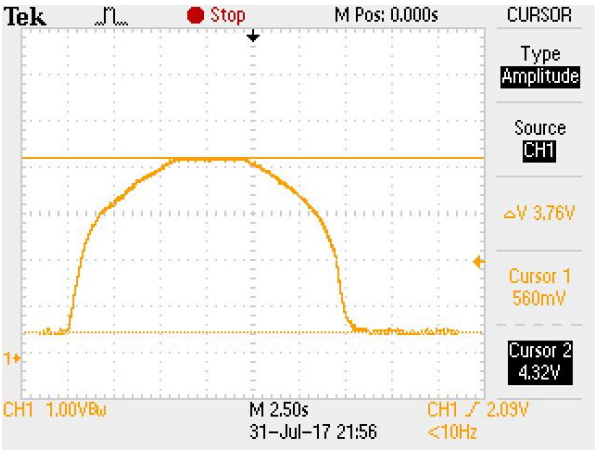


Figura 2.57. Señal de voltaje del sensor MAF.

En la Figura 2.57 se puede observar que al incrementar el voltaje se emula el aumento de flujo de aire que ingresa por el múltiple de admisión. La señal llega hasta un valor de voltaje

máximo de aproximadamente 4,32 V correspondiente a 125 gr/seg. Luego se reduce el voltaje para emular la disminución de flujo de aire hasta llegar a un valor mínimo de aproximadamente 0,560 V que corresponde a 1,07 gr/seg.

Generación de las señales del sensor de oxígeno, O2

Como se había explicado se generarán tres señales que corresponden a las Figuras 2.20, 2.21, y 2.22 (pág. 50 y 51). Para esto se realizaron tablas que permitan generar aproximadamente las señales.

Señal Oscilante:

Para elaborar la señal oscilante se tomó un total de 60 muestras a partir de la señal de la Figura 2.20. Los valores se observan en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17. Tabla de valores para la señal oscilante del sensor de oxígeno.

Muestras	Voltaje V	Muestras	Voltaje V	Muestras	Voltaje V
1	0,11	21	0,72	41	0,62
2	0,1125	22	0,7225	42	0,6
3	0,115	23	0,725	43	0,58
4	0,1175	24	0,7275	44	0,54
5	0,12	25	0,73	45	0,5
6	0,121	26	0,734	46	0,42
7	0,122	27	0,739	47	0,34
8	0,1225	28	0,739	48	0,24
9	0,125	29	0,73	49	0,14
10	0,127	30	0,725	50	0,13
11	0,129	31	0,72	51	0,12
12	0,162	32	0,7195	52	0,117
13	0,195	33	0,719	53	0,115
14	0,438	34	0,709	54	0,114
15	0,68	35	0,7	55	0,113
16	0,685	36	0,69	56	0,112
17	0,69	37	0,68	57	0,11
18	0,704	38	0,665	58	0,11
19	0,719	39	0,65	59	0,11
20	0,7195	40	0,635	60	0,11

Con los valores de la Tabla 2.17 se obtuvo la curva que se muestra en la Figura 2.58.

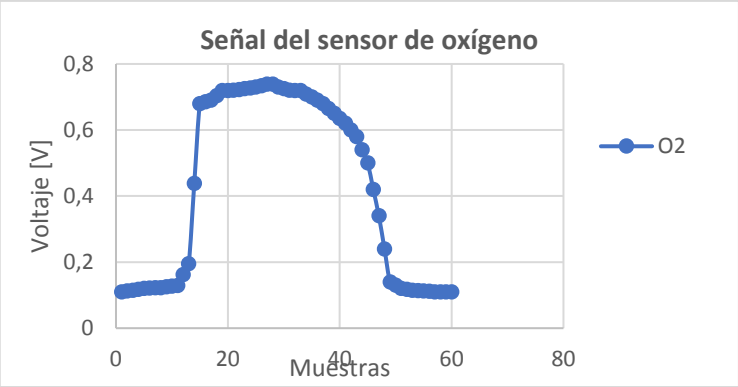


Figura 2.58. Señal oscilante del sensor de oxígeno formada con los valores de la Tabla 2.17.

Señal al momento de acelerar:

Para la señal al momento de acelerar se tomó un total de 216 muestras partiendo de la señal que se observa en la Figura 2.21. En la Tabla 2.18 se observan los valores para generar la señal al momento de acelerar.

Tabla 2.18. Tabla de valores para la señal del sensor de oxígeno al acelerar el vehículo.

Muestras	Voltaje V
1	0
2	.
6	0
7	0,11
8	0,1125
9	0,115
10	0,1175
11	0,12
12	0,121
13	0,122
14	0,1225
15	0,125
16	0,127
17	0,129
18	0,162
19	0,195
20	0,438
21	0,68
22	0,72
23	0,73
24	0,74

Muestras	Voltaje V
25	0,75
26	0,76
27	0,77
28	0,7725
29	0,775
30	0,78
31	0,79
32	0,7925
33	0,795
34	0,7975
35	0,8
…	0,8
182	0,8
183	0,7975
184	0,795
185	0,7925
186	0,79
187	0,78
188	0,775
189	0,7725
190	0,77

Muestras	Voltaje V
191	0,76
192	0,75
193	0,74
194	0,73
195	0,72
196	0,68
197	0,438
198	0,195
199	0,162
200	0,129
201	0,127
202	0,125
203	0,1225
204	0,122
205	0,121
206	0,12
207	0,1175
208	0,115
209	0,1125
210	…
216	0,1125

Con los valores de la Tabla 2.18 se obtuvo la curva que se observa en la Figura 2.59.

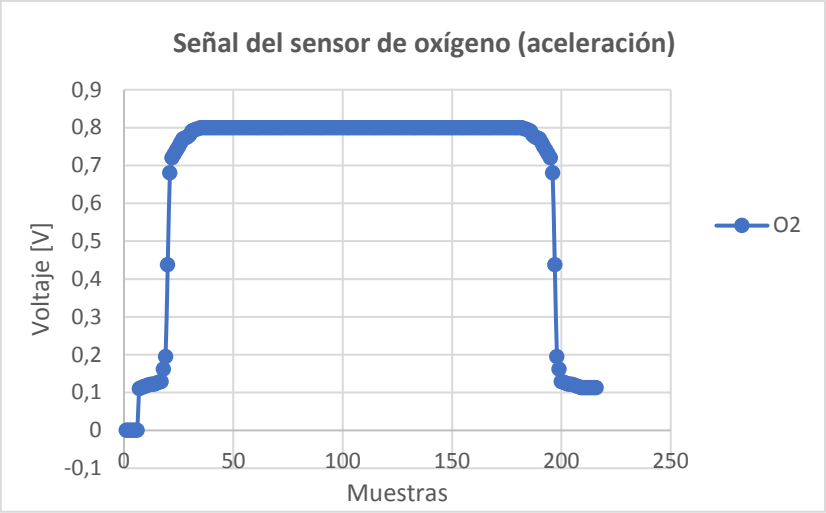


Figura 2.59. Señal del sensor de oxígeno formada con los valores de la Tabla 2.18.

Señal al momento de desacelerar:

Para la señal al momento de desacelerar se tomó un total de 216 muestras al igual que para la señal al acelerar, partiendo de la señal que se observa en la Figura 2.22. En la Tabla 2.19 se observan los valores de voltaje por cada muestra.

Tabla 2.19. Tabla de valores para la señal del sensor de oxígeno al desacelerar el vehículo.

Muestras	Voltaje V
1	0,11
2	0,07
3	0,06
4	0,05
5	0,04
6	0,03
7	0,025
8	0,02
9	0,019
10	0,015
11	0,01
12	0,009
13	0,008
14	0,007
15	0,006
16	0,005
17	0,0045
18	0,004

Muestras	Voltaje V
19	0,0035
20	0,003
21	0,0025
22	0,002
23	0,0015
24	0,001
25	0
26	…
27	…
28	…
191	0
192	0,001
193	0,0015
194	0,002
195	0,0025
196	0,003
197	0,0035
198	0,004

Muestras	Voltaje V
199	0,0045
200	0,005
201	0,006
202	0,007
203	0,008
204	0,009
205	0,01
206	0,015
207	0,019
208	0,02
209	0,025
210	0,03
211	0,04
212	0,05
213	0,06
214	0,07
215	0,11
216	0,11

Con los valores de la Tabla 2.19 se obtuvo la curva que se observa en la Figura 2.60.

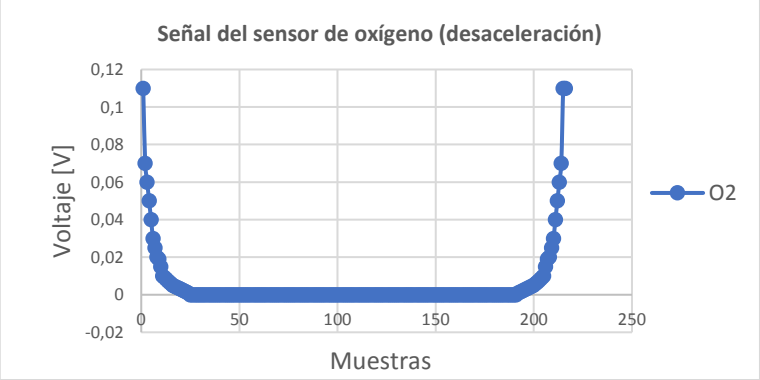


Figura 2.60. Señal del sensor de oxígeno formada con los valores de la Tabla 2.19.

Para este sensor se emula una señal que varía entre 0,11 V y 0,73 V (Figura 2.58) a una frecuencia de 0,5 Hz (2 segundos) y al momento de acelerar llega a un valor de 0,8 V (Figura 2.59), y al desacelerar 0 V (Figura 2.60). Para generar la señal se utilizan los valores de las Tablas 2.17, 2.18, y 2.19. Estas tablas son guardadas en el microcontrolador.

- Tabla “sensorO2(t)”: contiene los valores de la Tabla 2.17 para formar la señal oscilante de la Figura 2.58 (60 muestras).
- Tabla “aceleración(t)”: contiene los valores de la Tabla 2.18 para formar la señal de la Figura 2.59 (216 muestras).
- Tabla “desaceleración(t)”: contiene los valores de la Tabla 2.19 para formar la señal de la Figura 2.60. (216 muestras).

Para tomar cada muestra se utiliza un timer del microcontrolador (timer 5 perteneciente al bus APB1). El timer genera una interrupción para tomar la muestra y cargar el respectivo valor por el convertidor digital/análogo. Las interrupciones del timer son generadas cada 30 Hz ya que la señal oscilante consta de 60 muestras, tal y como se observa en la Tabla 2.17. Al generarse 60 interrupciones cada 30 Hz (aproximadamente 0,03 segundos) la señal del sensor se genera a una frecuencia de 0,5 Hz. Del mismo modo, la señal que se emula al momento de acelerar y desacelerar con 216 muestras ocurre en un tiempo de 7,2 segundos, aproximadamente. Para tomar cada muestra de las tablas se necesita de un contador (“t”) el cual se va incrementando por cada interrupción del timer que se genere y, según su valor, se toma el valor correspondiente de la tabla. Por ejemplo, si se tiene la tabla llamada “señal[t]” y si el contador es t=4, el valor de la tabla que se tomará será el

cuarto. El contador “t” tendrá valores desde 0 hasta el número total de valores que tiene la tabla; es decir, si la tabla “señal(t)” tiene 40 valores, su valor máximo será 40. Como esta señal entrega valores de voltajes menores a 3 V, su voltaje de referencia es de 3 V y se parte de la Ecuación 2.13 (pág. 62) para cargar el valor en la DAC. En la siguiente expresión se muestra un ejemplo.

$$valor_O2 = \frac{sensorO2(t) \times 4095}{3\,V}$$

Ecuación 2.24. Ecuación para obtener el valor DAC para la señal del sensor de oxígeno.

Este valor es cargado en el Canal 1 del convertidor digital/análogo.

En la Figura 2.61, se observa el diagrama de flujo perteneciente a las interrupciones del timer para generar esta señal.

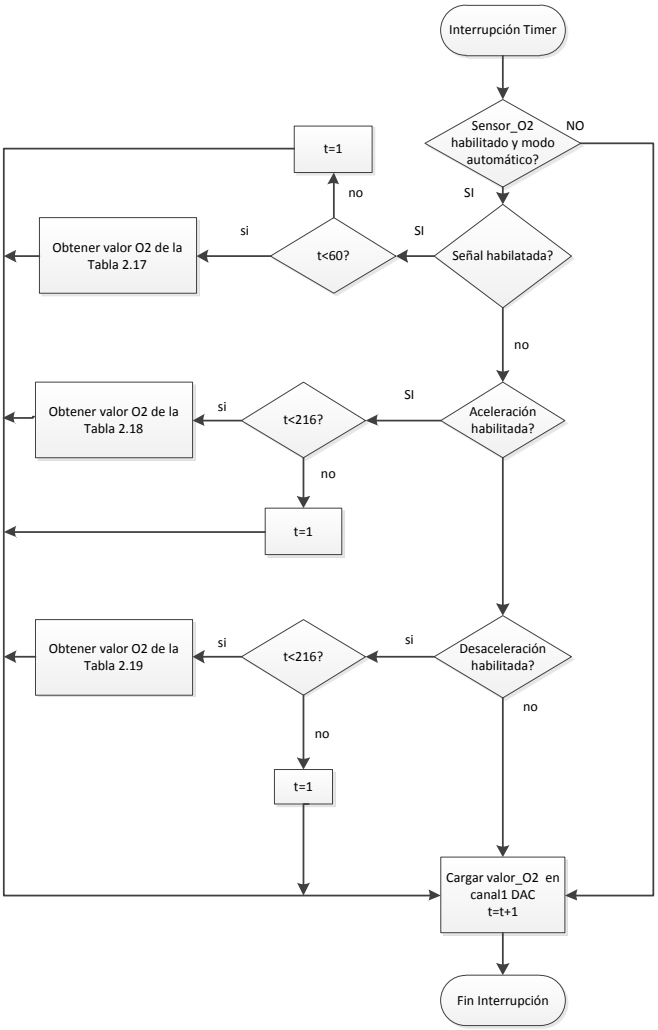


Figura 2.61. Diagrama de flujo de la interrupción de timer para generar las señales del sensor de oxígeno.

El valor inicial de voltaje que se emula para este sensor es de 0,45 V.

En la HMI del sistema se programó para que este sensor pueda trabajar en dos modos: automático y manual, que el usuario puede seleccionar a través de la HMI. En modo automático se obtienen las señales de las Figuras 2.58, 2.59, 2.60 y en modo manual se puede variar el voltaje entre valores de 0 V a 1 V. El usuario puede aumentar o disminuir el voltaje en pasos de 0,1 V. El modo manual se implementó para que el instrumento, a criterio del técnico automotriz, tenga mayor versatilidad y así hacer pruebas a voluntad del técnico. Todo este control se lo realiza a través de la HMI.

A continuación, en la Figura 2.62, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo desarrollado para la emulación de este sensor.

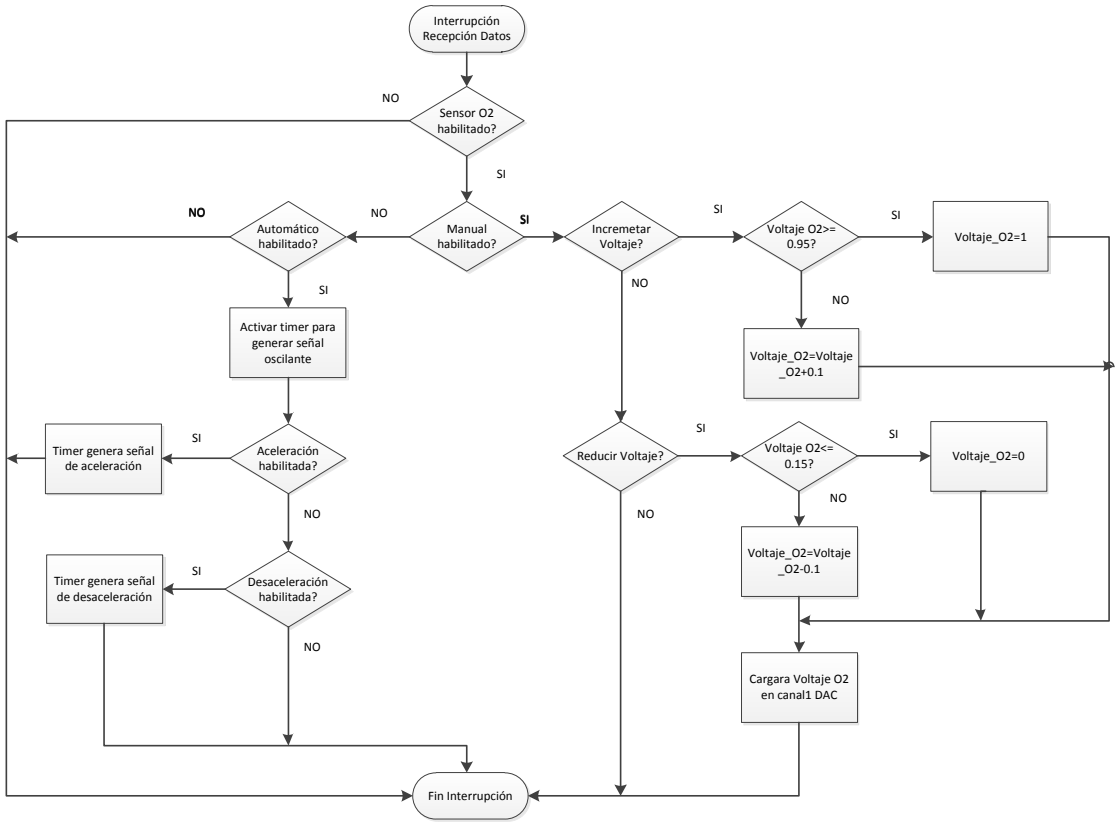


Figura 2.62. Diagrama de flujo para la emulación de la señal del sensor de oxígeno modo manual y modo automático.

A partir del diagrama de flujo de la Figura 2.62 se obtuvieron las señales finales emuladas para el sensor de oxígeno. Cabe destacar que para este sensor no fue necesaria una etapa

de acondicionamiento, por lo tanto, las señales para cada uno de los casos son las siguientes:

Señal oscilante:

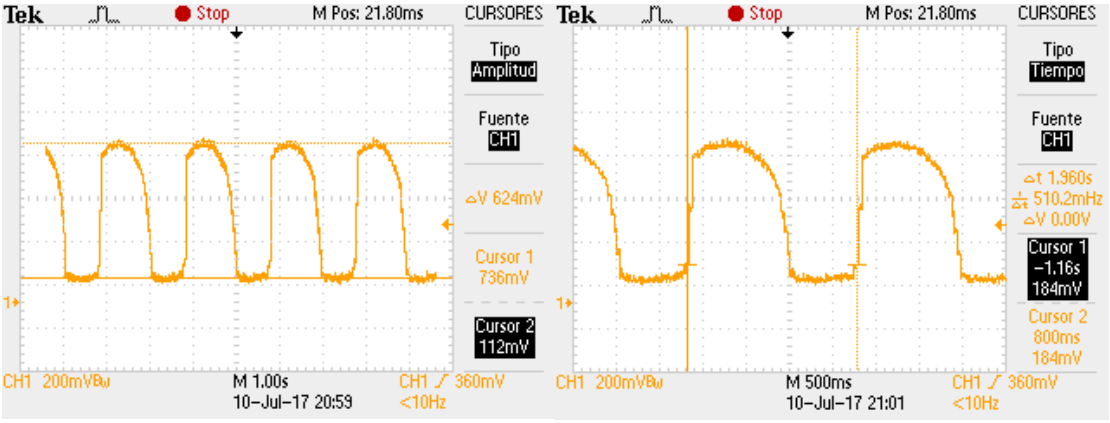


Figura 2.63. Señal oscilante emulada del sensor de oxígeno

En la Figura 2.63 se observa la señal que oscila entre 0,74 V y 0,11 V a una frecuencia de 0,5 Hz (periodo 1,96 segundos, aproximadamente). Esta señal emulada corresponde cuando el motor está en estado de ralentí.

Señal de aceleración:

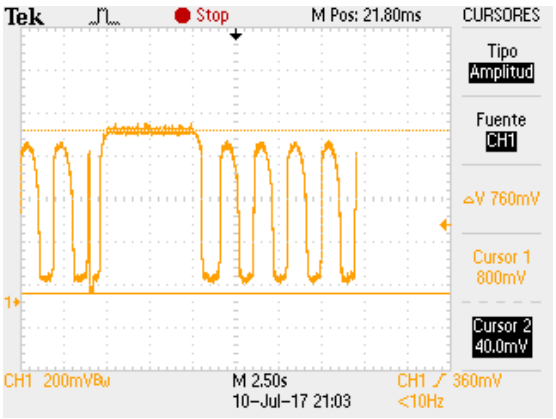


Figura 2.64. Señal de aceleración emulada del sensor de oxígeno.

En la Figura 2.64 se observa la señal emulada correspondiente a una aceleración en el motor de vehículo. La señal llega hasta un valor máximo de voltaje de 0,8 V, se mantiene en ese valor por un tiempo de 5 segundos aproximadamente luego del cual la señal vuelve a oscilar.

Señal de desaceleración:

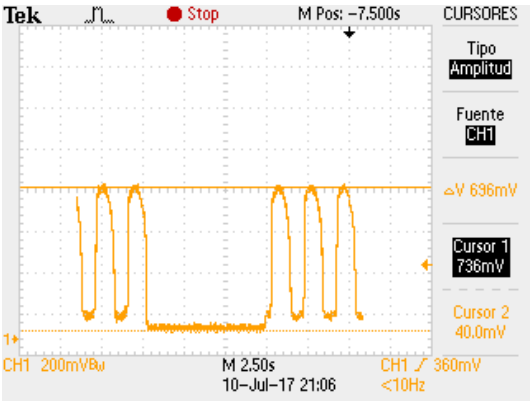


Figura 2.65. Señal de desaceleración emulada del sensor de oxígeno.

En la Figura 2.65 se observa la señal emulada correspondiente a una desaceleración del motor del vehículo. La señal llega hasta un valor mínimo de voltaje de 0,04 V y se mantiene en ese valor por un tiempo de 5 segundos luego del cual la señal vuelve a oscilar.

Señal modo manual (0 V a 1 V):

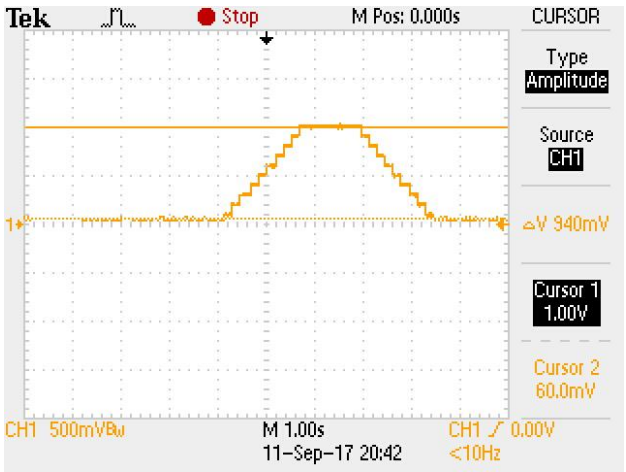


Figura 2.66. Señal del emulada del sensor de oxígeno en modo manual (0 V a 1 V).

En la Figura 2.66 se observa la señal en modo manual que va desde 0 V a 1 V emulada para el sensor de oxígeno. De esta manera se podrá ver la relación de aire-combustible con respecto al voltaje generado.

Cabe recordar que el valor inicial de voltaje emulado para el sensor de oxígeno es de 0,45 V. Este valor corresponde cuando el interruptor de encendido del motor está en su posición de “contacto”.

Generación de las señales del sensor de detonación (knock sensor)

Para este sensor se debe emular una señal alterna con una amplitud de 0,5 V y con una frecuencia de 1 KHz en condiciones normales como se observa en la Figura 2.25 (pág. 54). Cuando existe una perturbación o una vibración muy fuerte la amplitud que envía el sensor aumenta, en cuyo caso la HMI posee una opción que emula una perturbación y se entrega la misma señal, pero con una amplitud de 2,5 V tal y como se observa en la Figura 2.26 (pág. 54), de este modo la ECU podrá interpretar la señal y podrá identificar cuando existe una perturbación o no.

Para generar la onda sinusoidal de 1 kHz se utilizan un total de 42 muestras y con un timer del microcontrolador (timer 5), se carga el valor respectivo en el convertidor digital/análogo mediante interrupciones. Como son 42 muestras se debe generar una interrupción a 42 kHz, aproximadamente 0,024 milisegundos. Al cumplir las 42 interrupciones se tendrá como resultado una onda sinusoidal de 1 kHz. Se eligió un total de 42 muestras tomando en cuenta que el tiempo de muestreo máximo de la DAC del microcontrolador es de 10,5 Msps (10,5 millones de muestras por segundo) [39]. La ecuación que se utiliza en el software del sistema para generar la señal de este sensor es la siguiente:

$$valor_KS = 2048 + amplitud \times \sin\left(\frac{2\pi}{42}\right) \times t$$

Ecuación 2.25. Ecuación para generar la señal del sensor de detonación.

Donde:

- “t” es el contador que va desde 0 a 41 (42 muestras)
- 2048 es el valor de referencia de la señal. Debe recordarse que esta señal es alterna con valores negativos (referencia 0 V), y el microcontrolador solo puede

entregar valores de voltaje positivos, por lo que se utiliza este valor como referencia. El valor de 2048 es aproximadamente la mitad del valor máximo que puede tomar la DAC (4095) y corresponde a 1,5 V, y de esta manera la señal oscilará entre 0 V y 3 V teniendo a 1,5 V como referencia.

- "valor_KS" es la variable que tiene el valor (0 a 4095) que se debe cargar en el canal 2 del convertidor digital/análogo.
- Amplitud: es una variable que corresponde al valor máximo que va a tener la señal. En la Figura 2.67 se tiene la señal sinusoidal con una amplitud de 2047.

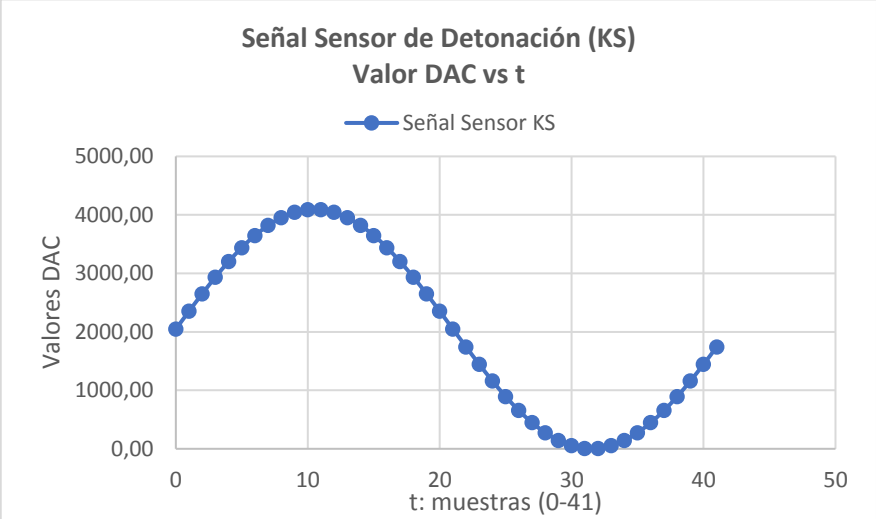


Figura 2.67. Señal sinusoidal que varía entre 0 V y 3 V (4095) con una referencia de 1,5 V (2048).

Al convertirse esta señal a alterna simétrica, quiere decir que la referencia de 1,5 V se deberá hacer cero y de esta manera la amplitud máxima será de 1,5 V, por lo que se necesitará una etapa de amplificación para obtener así una señal de 2,5 V.

La ganancia por lo tanto es:

$$Ganancia_{sensor_{KS}} = \frac{2{,}5}{1{,}5} = 1{,}67 \approx 1{,}7$$

Ecuación 2.26. Ganancia de amplificación de la señal del sensor de detonación.

Para obtener la señal alterna en condiciones normales con una amplitud de 0,5 V, de acuerdo con la ganancia de 1,7, se debe emular una señal de 0,3 V de amplitud aproximadamente.

$$Voltaje_{máximo_{condiciones\ normales}} = \frac{0{,}5\ V}{1{,}7} = 0{,}3\ V$$

El valor de amplitud correspondiente a 0,3 V calculado con la Ecuación 2.13 (pág. 62) es 410, aproximadamente. Con esta amplitud y con una referencia de 2048 (1,5 V) la señal varía entre 1642 (1,2 V) y 2454 (1,8 V). En la Figura 2.68 se observa lo explicado.

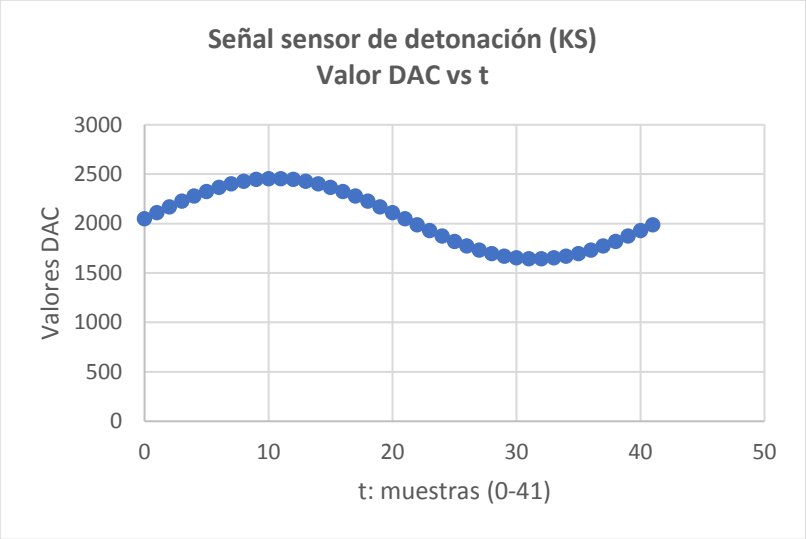


Figura 2.68. Señal sinusoidal que varía entre 1,2 V (1642) y 1,8 V (2454) con una referencia de 1,5 V (2048).

Al convertirse esta señal en alterna simétrica, la señal tendrá una amplitud máxima de 0,3 V y al amplificarla se tiene una señal de 0,5 V de amplitud. La etapa de amplificación se diseña más adelante.

A continuación, se muestran los diagramas de flujo correspondientes a la generación de esta señal. Cabe indicar nuevamente que la perturbación que se emula para que la señal cambie su amplitud se lo realiza a través de la HMI.

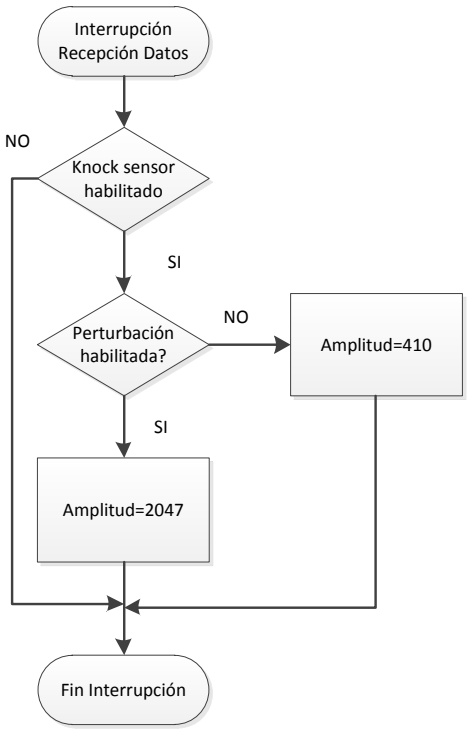


Figura 2.69. Diagrama de flujo para emular la señal del sensor de detonación.

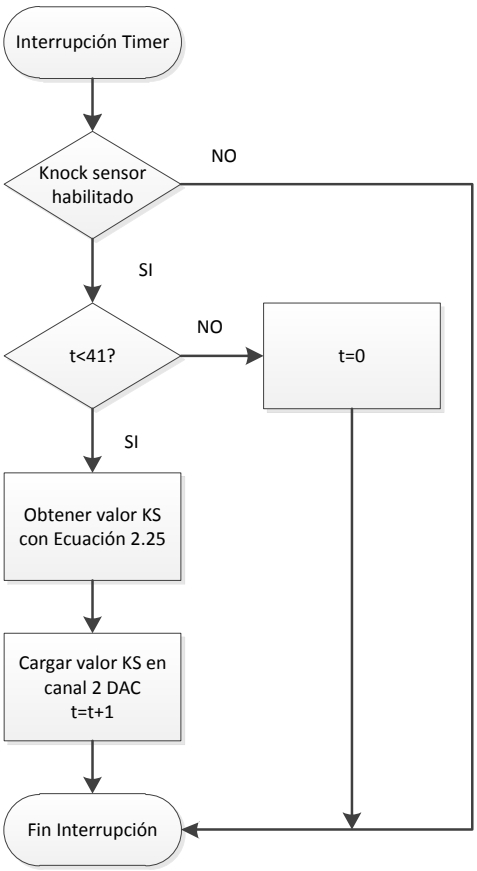


Figura 2.70. Diagrama de flujo de la interrupción del timer para generar la señal del sensor de detonación.

A continuación, se explica sobre el diseño del circuito de acondicionamiento para la emulación del sensor de detonación.

Como se había mencionado, el microcontrolador envía una señal sinusoidal que oscila entre 0 V y 3 V con una referencia de 1,5 V. Esta señal se la acondicionará de tal manera que sea alterna con una amplitud de 0,5 V en condiciones normales y 2,5 V cuando se emule una perturbación.

Para esto se consta de una etapa de amplificación la cual permite que la señal oscile entre 0 V y 5 V con una referencia de 2,5 V. A continuación, se detalla el diseño de esta etapa.

Se diseñó un amplificador no inversor (Figura 2.43, pág. 76) cuya ganancia es:

$$G = \frac{Vo}{Vi} = \frac{2{,}5[V]}{1{,}5[V]} = 1{,}67 \sim 1{,}7$$

A partir de la Ecuación 2.17, (pág. 76):

Se asume que Rf es 330 kΩ.

$$1{,}7 = 1 + \frac{330\ k\Omega}{R1}$$

Por lo tanto, R1 es:

$$R1 = 471{,}43 = 470\ k\Omega$$

Con esta etapa de amplificación las señales fueron las siguientes:

Señal sin perturbación:

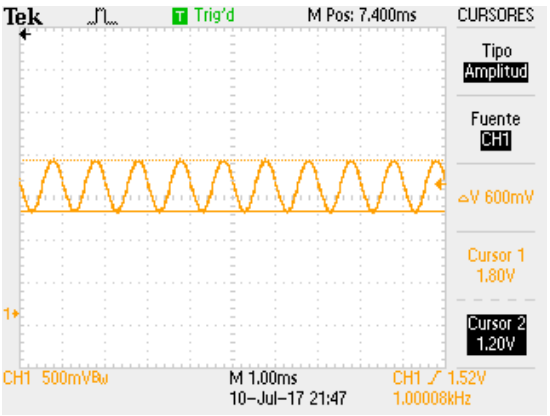


Figura 2.72. Señal del sensor de detonación con una referencia de 2,5 V.

Señal con perturbación:

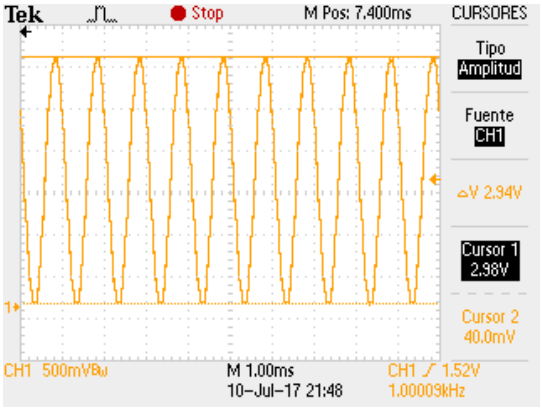


Figura 2.73. Señal del sensor de detonación con una referencia de 2,5 V.

Como se puede observar en las Figuras 2.72 y 2.73 las señales tienen una referencia de 2,5 V. Por lo tanto, para lograr obtener una señal alterna se colocó un capacitor a la salida de esta etapa, tal y como se observa en la Figura 2.74.

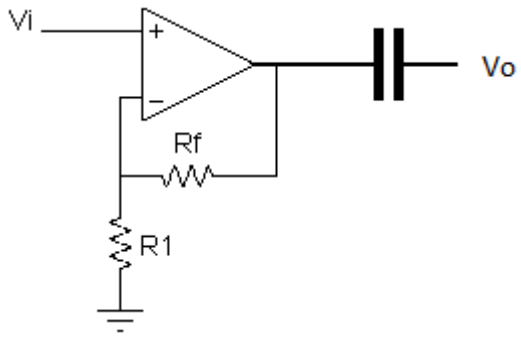


Figura 2.74. Etapa de amplificación con capacitor a la salida.

Este capacitor elimina la componente continua de la señal sinusoidal que oscila entre valores positivos con una referencia de 2,5 V. Al eliminar la componente continua la referencia de la señal es 0 V y se obtiene así una señal alterna con valores negativos. También se añadió un trasformador de pulsos de relación 1:1 para aislar la tierra del sistema con la tierra del vehículo tal y como se observa en la Figura 2.75.

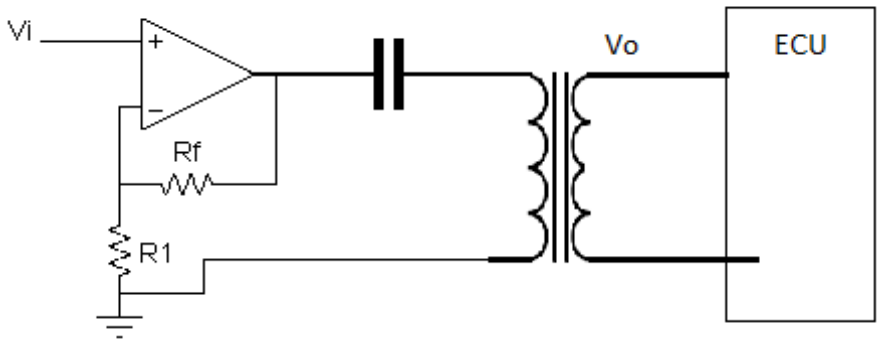


Figura 2.75. Circuito de acondicionamiento para el sensor de detonación con transformador de pulsos.

En las siguientes imágenes se observan las señales finales emuladas para este sensor.

Señal sin perturbación (condiciones normales, amplitud: 0,5 V):

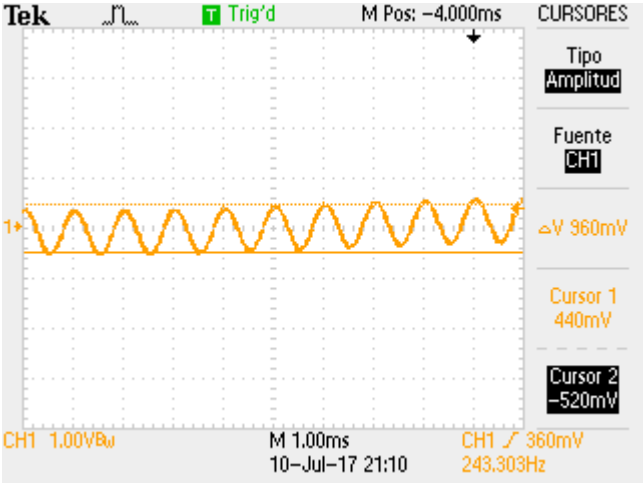


Figura 2.76. Señal emulada para el sensor de detonación con una amplitud de 0,5 V aproximadamente.

En la Figura 2.76 se observa la señal sinusoidal emulada con una amplitud de 0,5 V cuando no se ha emulado una perturbación.

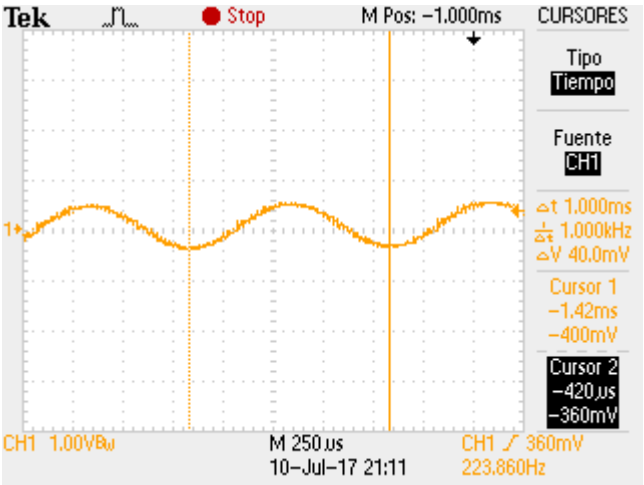


Figura 2.77. Señal emulada para el sensor de detonación con una frecuencia de 1 kHz.

En la Figura 2.77 se observa la frecuencia de 1 kHz de la señal emulada.

Señal de perturbación (amplitud: 2,5 V):

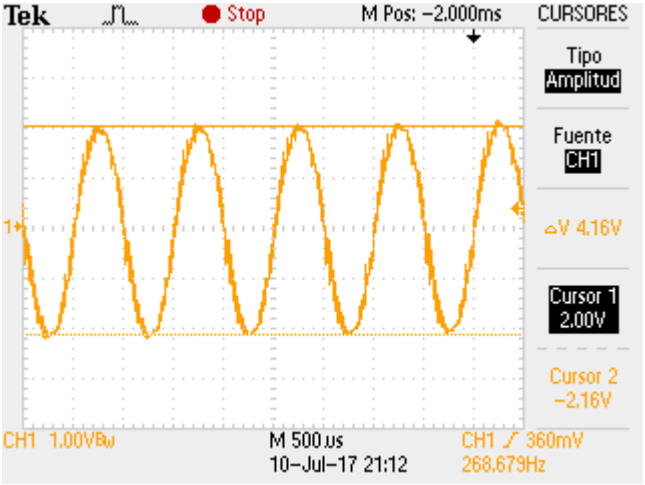


Figura 2.78. Señal emulada para el sensor de detonación con una amplitud de 2,5 V aproximadamente.

En la Figura 2.78 se observa la señal emulada para el sensor de detonación con una amplitud de 2,5 V que corresponde cuando se ha emulado una perturbación. La frecuencia de la señal es de 1 kHz.

Generación de las señales del sensor de posición del cigüeñal (CKP)

Para la señal del sensor CKP se emula un tren de pulsos (Figura 2.19, pág. 49) de frecuencia entre 780 Hz y 5000 Hz. Los pulsos de la señal corresponden al número de dientes del cigüeñal del vehículo. La señal tiene por otro lado un espacio sin pulsos que corresponde a los dientes faltantes del cigüeñal. En el caso de este vehículo son 60 dientes menos dos, es decir, 58 pulsos.

Para generar el tren de pulsos se utiliza un timer del microcontrolador (timer 5), el cual, mediante interrupciones, cambia el estado del pin de salida seleccionado (PA6) para generar la señal. Lo que significa que al entrar por primera vez a la interrupción el estado del pin es 1 lógico (3 V) y la segunda vez será 0 lógico (0 V), y así sucesivamente. Por lo tanto, para generar la señal a una frecuencia determinada, la frecuencia del timer del microcontrolador deberá ser el doble. Por ejemplo, para generar la señal a una frecuencia

de 1 Hz (1 segundo) se debe configurar al timer a 2 Hz (0,5 segundos). En la Figura 2.79, se explica de mejor manera este proceso:

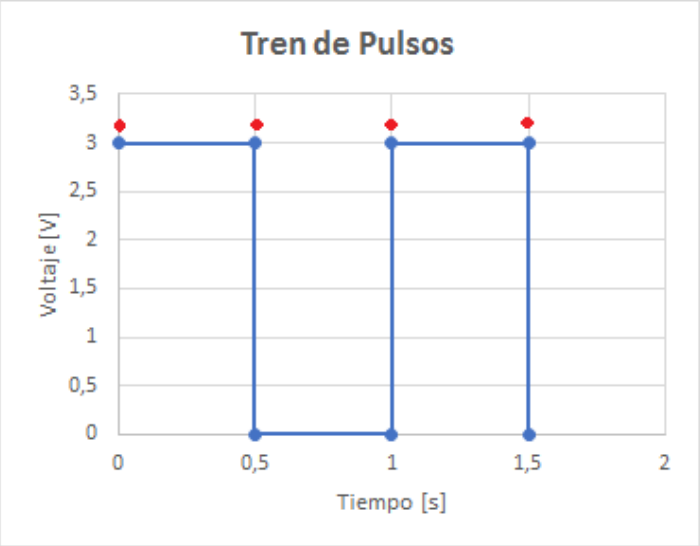


Figura 2.79. Generación de la señal del sensor CKP por interrupciones.

Partiendo de la Figura 2.79, cada punto rojo corresponde al instante en que se produce la interrupción, por lo tanto, para obtener una onda de 1 s de periodo, el timer debe producir la interrupción a 0,5 s. Por esta razón, se necesitan de dos interrupciones para generar un pulso.

Tanto la frecuencia como el número de pulsos (dientes) se los puede variar mediante la HMI para así adaptar este sistema para cualquier otro vehículo.

Para cambiar el valor de frecuencia de la señal se utiliza la HMI del sistema. A través de la HMI se varía el valor de RPM desde 800 RPM hasta 5000 RPM, este dato recibe el microcontrolador y lo transforma en frecuencia mediante la siguiente expresión:

$$frecuencia_setpoint = RPMs/1{,}03$$

Ecuación 2.28. Ecuación para obtener el valor de frecuencia con respecto a las RPM.

En cuanto al número de pulsos (dientes), como se había indicado, se necesita de dos interrupciones del timer para generar un pulso, por lo tanto, si se quieren obtener 58 pulsos y un espacio equivalente a dos pulsos faltantes se deben realizar 120 interrupciones, por lo tanto, un contador (“dientes”) debe tener esta cuenta (de 0 a 120). Para generar los pulsos, el contador debe llegar a un valor de 116 (dientes x 2 = 58 x 2) y para generar el

espacio debe llegar a 120 ((dientes +2) x 2 = 60 x 2). Como el sistema permite al usuario variar el número de dientes desde la HMI, el valor de “dientes x 2” se guarda en una variable y de la misma manera el valor de “(dientes + 2) x 2” se guarda en otra variable. Para aclarar esta explicación se ilustran a continuación, los diagramas de flujo para generar la señal de este sensor.

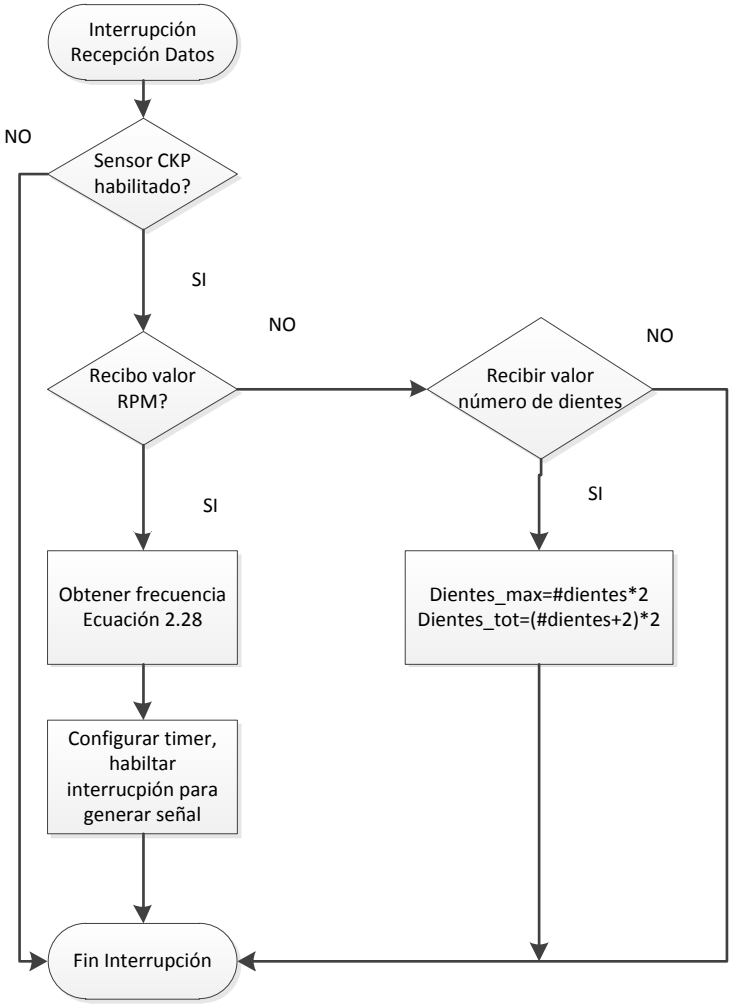


Figura 2.80. Diagrama de flujo del sensor CKP.

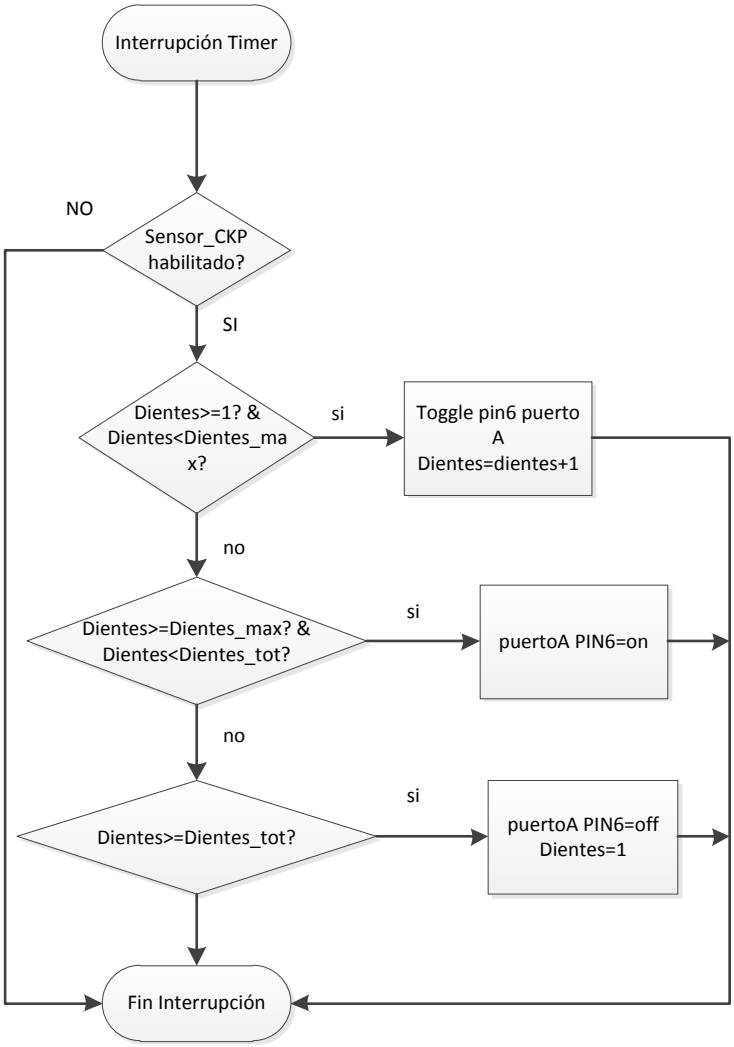


Figura 2.81. Diagrama de Flujo para la generación de la Señal del sensor CKP por interrupciones del timer.

Donde:

- “dientes”: es el contador.
- “dientes_max”: es “dientes x 2”.
- “dientes_tot”: es “(dientes + 2) x 2”.

Para que el timer trabaje a la frecuencia determinada, se desarrolló un algoritmo que permite calcular los valores del pre-escalador y periodo para que la frecuencia sea exacta. El algoritmo consiste en encontrar los números primos del valor obtenido “n” mediante la siguiente división:

$$n = \frac{84\,MHz}{frecuencia_{timer}}$$

Cuando se tienen los números primos se realiza el siguiente cálculo:

Por ejemplo, para una frecuencia de 351 Hz.

$$n = \frac{84\ MHz}{351\ Hz} = 239316$$

Obtención de números primos:

$$\frac{239316}{2} \rightarrow \frac{119658}{2} \rightarrow \frac{59829}{3} \rightarrow \frac{19943}{7} \rightarrow \frac{2849}{7} \rightarrow \frac{407}{11} \rightarrow \frac{37}{37} \rightarrow 1$$

Los números primos son: 2 (2 veces), 3, 7 (2 veces), 11, y 37.

De estos números se van a obtener dos números de tal forma que ninguno supere los 65535 (valor máximo con 16 bits que corresponden al timer 5) que corresponden a 2^{16}. Para esto se multiplican todos los números primos y con una variable (257, valor que se obtuvo en base a varias pruebas) se limita que la multiplicación no supere los 65535.

$$2 \times 2 \times 3 \times 7 \times 7 \times 11 = 6468$$

El valor máximo que se puede obtener multiplicando es 6468, ya que, si se lo multiplica por 37, se obtiene un valor de 239316 que supera a los 65535. Por lo tanto, al valor de 6468 se lo carga en el periodo del timer y, mediante la división entre el número “n” y el periodo, se obtiene el valor del pre-escalador que en este caso es 37. A continuación se muestra el diagrama de flujo de esta función que permite calcular los valores de periodo y pre-escalador a una frecuencia dada, también se explican la función de las variables “x”, “y” y “factor”.

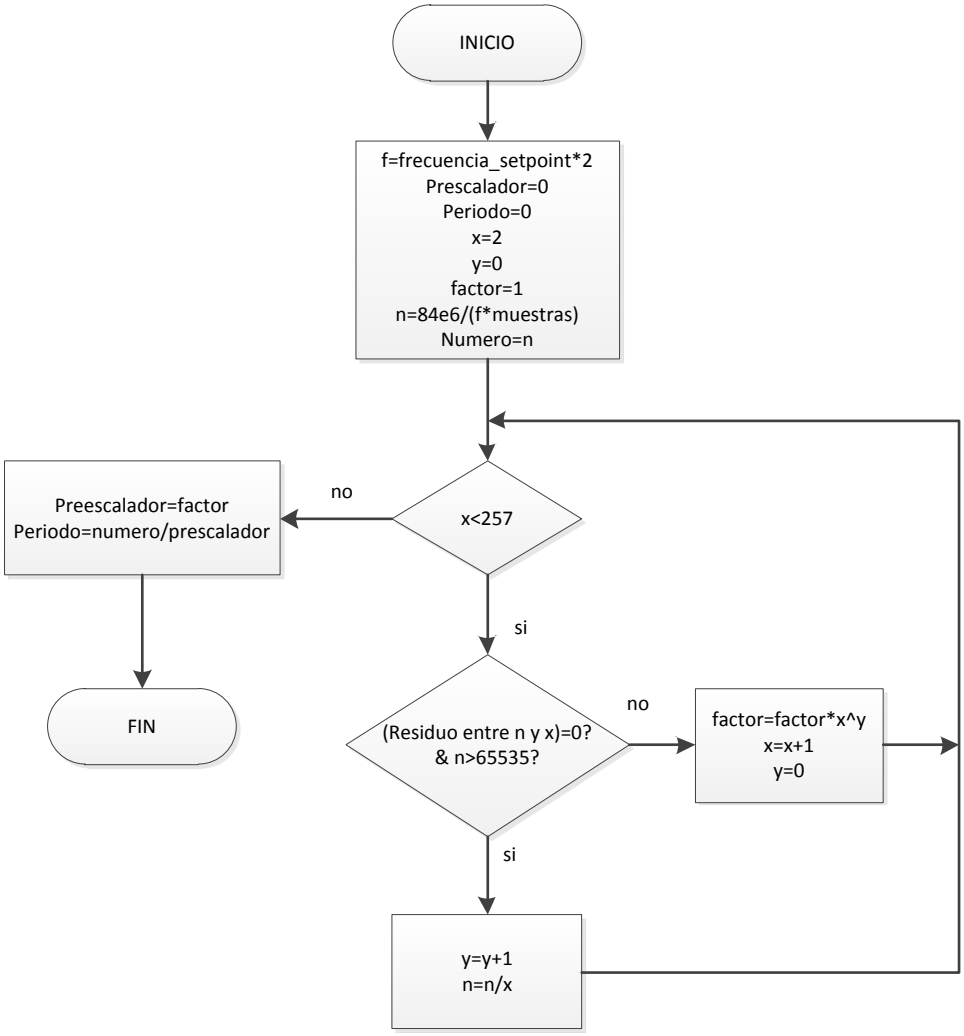


Figura 2.82. Algoritmo de la función periodo prescalador.

Donde:

- “x” son los números primos.
- “y” es el número de veces que se repite un número primo.
- “factor” es el producto de los números primos.

En la Figura 2.83, se muestra la señal emulada de este sensor en las primeras pruebas.

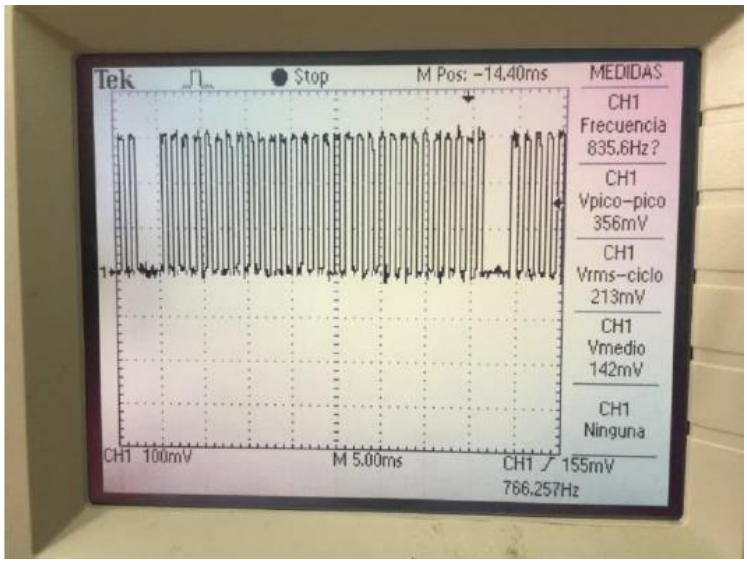


Figura 2.83. Señal emulada del sensor CKP con 30 dientes.

En la Figura 2.83 se observa la señal emulada con 30 dientes. La señal se encuentra a una frecuencia de 760 Hz, aproximadamente. También se puede apreciar el espacio que corresponde a los dos dientes faltantes.

Como se había mencionado, el sensor CKP del vehículo es de efecto Hall y trabaja en conjunto con un pull-up de la ECU para que esta pueda interpretar la señal del sensor. Para lograr que la ECU interprete la señal emulada por el sistema, el hardware de acondicionamiento de esta señal se muestra a continuación en la Figura 2.84.

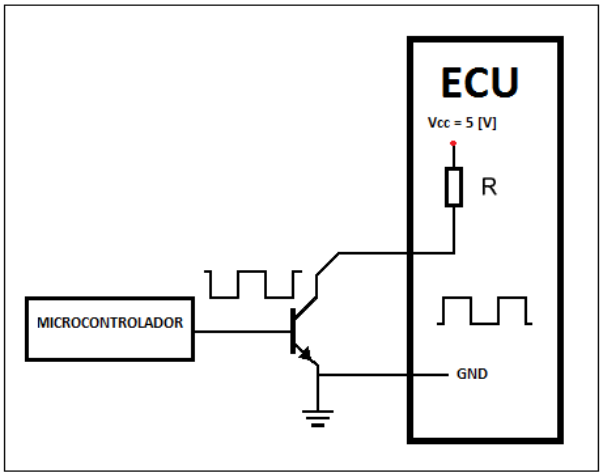


Figura 2.84. Circuito de acondicionamiento para la señal del sensor CKP.

Cuando el transistor recibe un pulso conmuta de tal manera que en ese instante el voltaje es 0 V. De igual manera cuando no existe un pulso el voltaje que recibe la ECU es de aproximadamente 5 V. Por lo tanto, la señal (Figura 2.85) que debe generar el microcontrolador debe ser de lógica invertida para que la señal que llega a la ECU sea la correcta y pueda interpretarla.

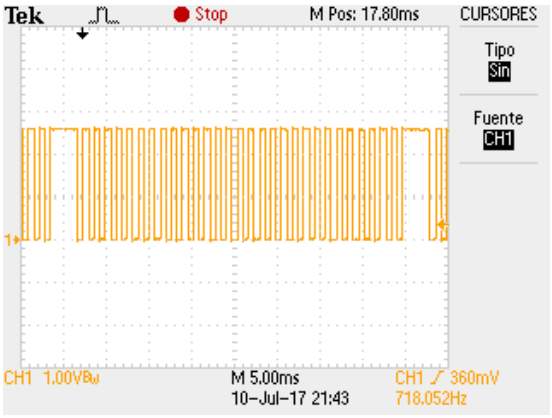


Figura 2.85. Señal invertida que genera el microcontrolador.

Para emular la señal se trabajó con una fuente de 6 V aproximadamente, y se colocó una resistencia de 4,7 KΩ en base al circuito de la Figura 2.84, así se pudo comprobar el acondicionamiento de esta señal. A continuación, se muestra la señal emulada para el sensor CKP.

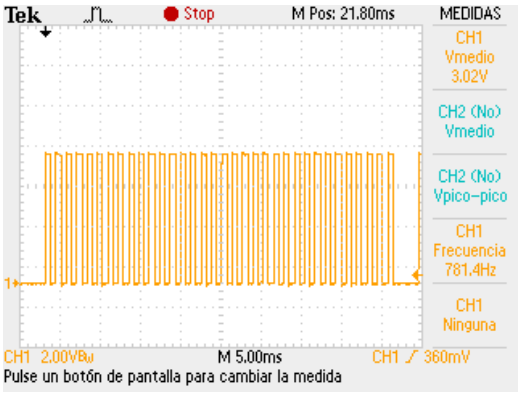


Figura 2.86. Señal emulada para el sensor CKP.

En la Figura 2.86 se observa la señal emulada para el sensor CKP. Se puede observar los pulsos que corresponden a los dientes de la rueda fónica del cigüeñal y el espacio de 0 V que corresponde a los dos dientes faltantes.

Como condición inicial el microcontrolador envía 3 V (1 lógico del pin de salida) para que a la ECU del vehículo le llegue 0 V.

El transistor utilizado es el 2N3904 cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo IX.

Generador de pulsos

En este proyecto se desarrolló un generador de pulsos que permitirá a los técnicos probar actuadores como inyectores, relés automotrices y válvulas del cuerpo de aceleración. El sistema envía un tren de pulsos a una determinada frecuencia, el actuador recibe estos pulsos y conmuta el actuador comprobando así su funcionamiento. La frecuencia del generador se la puede variar a través de la HMI entre 0 a 100 Hz (valores que fueron solicitados por el técnico especialista), valor de frecuencia que se envía al microcontrolador. Para generar esta señal se realizó un algoritmo similar al del sensor CKP, con la única diferencia que no existen pulsos faltantes.

En las Figuras 2.87 y 2.88 se observan los diagramas de flujo para generar el tren de pulsos.

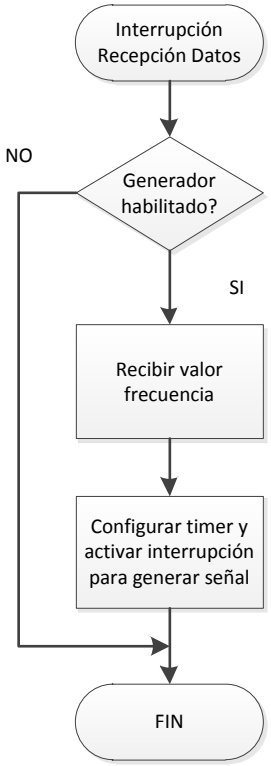


Figura 2.87. Diagrama del para el generador de pulsos.

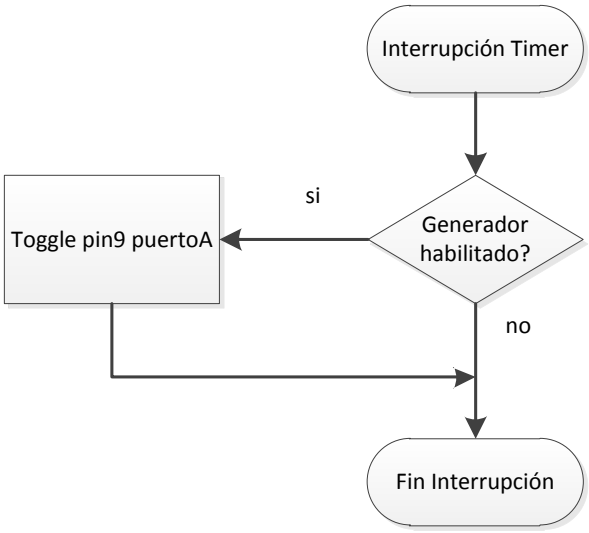


Figura 2.88. Diagrama de flujo de la interrupción del timer para generar esta señal.

En la Figura 2.89, se observa el tren de pulsos que envía el microcontrolador.

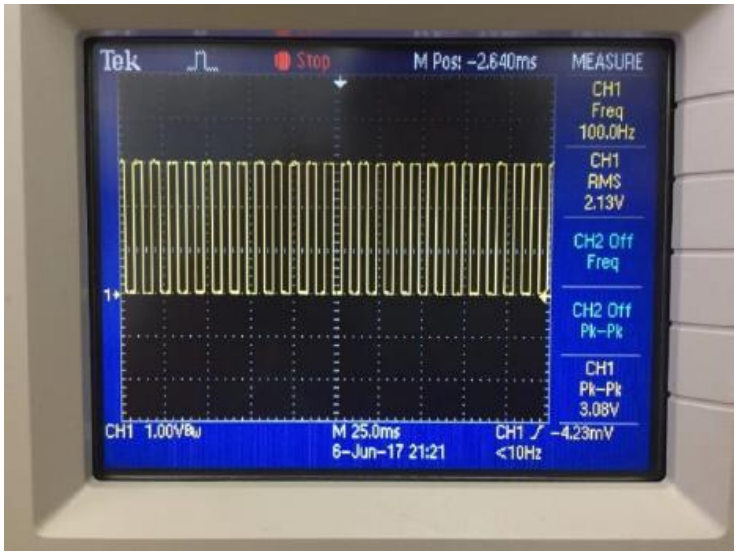


Figura 2.89. Tren de pulsos (frecuencia 100 Hz) para probar actuadores.

A continuación, se explica el diseño del hardware para probar los actuadores a través del generador de pulsos del banco de pruebas.

Los actuadores cuyo funcionamiento será probado son:

- Inyectores.
- Relés automotrices.
- Válvulas del cuerpo de aceleración.

Para esto se diseñó el circuito de la Figura 2.90.

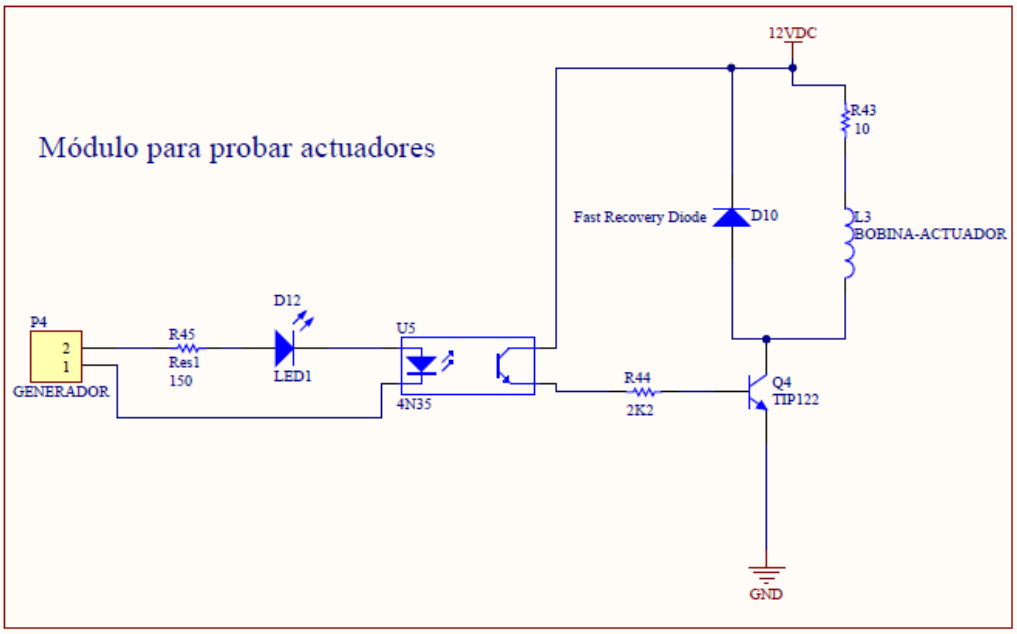


Figura 2.90. Circuito para probar los actuadores mencionados.

Los pulsos son enviados desde el banco de pruebas y estos pasan a través de una resistencia de 150 Ω que sirve para limitar la corriente en el led. El opto-acoplador sirve para aislar la tierra del banco de pruebas con la alimentación de los actuadores. El opto-acoplador utilizado es el 4N35 cuyas características se encuentran en el Anexo IX.

El colector del opto-acoplador se conecta hacia los 12 V de la alimentación de los actuadores y el emisor se conecta a una resistencia de 2,2 kΩ que sirve para limitar la corriente del opto-acoplador.

El transistor (Tip122, Anexo IX) del circuito recibe los pulsos de tal manera que éste conmute y pueda circular corriente por la bobina del actuador la cual se conecta en serie con una resistencia de 10 Ω para evitar que se produzca corto circuito al momento que el transistor se active, sabiendo que la impedancia de la bobina depende del actuador a conectar.

- Bobina del inyector: tiene una impedancia de 10 Ω a 20 Ω.
- Bobina del relé automotriz: tiene una impedancia de 60 Ω a 65 Ω.
- Bobina del motor dc válvula de mariposa del cuerpo de aceleración: tiene una impedancia de 2 Ω a 4 Ω.

Los actuadores se alimentan con un voltaje de 12 V. También se colocó un diodo de conmutación rápida en paralelo con la bobina del actuador para que la corriente acumulada en la bobina se libere por el diodo y no por el transistor.

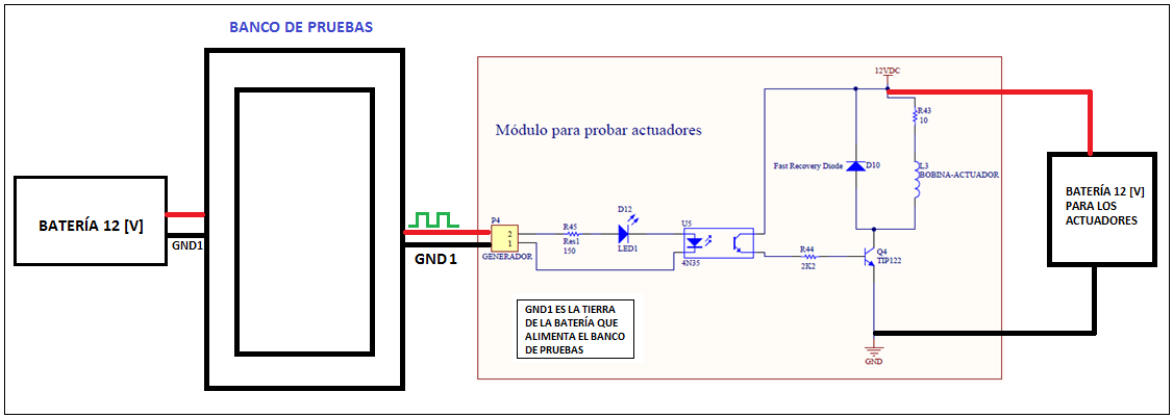


Figura 2.91. Conexión del banco de pruebas con el circuito del módulo para probar actuadores.

En la Figura 2.91 se muestra le diagrama de conexión del banco de pruebas con el circuito del módulo para probar actuadores. La alimentación es diferente para el banco de pruebas y los actuadores.

Finalmente, cabe nuevamente indicar que las formas de onda de todos los sensores obtuvieron la aprobación del técnico automotriz asesor de este proyecto.

A continuación, se explica el diseño de la HMI que controla el sistema.

Diseño y desarrollo del software de la HMI

El sistema utiliza una interfaz (HMI) gráfica NEXTION TFT LCD touch de 7 pulgadas (Figura 2.92). Esta HMI proporcionará la comunicación entre el usuario y el sistema. La interfaz Nextion TFT utiliza solo un puerto serie para comunicarse, lo cual reduce el cableado.

Figura 2.92. Interfaz gráfica (Generic 7.0" HMI touch display) [40].

Para poder diseñar la HMI se utiliza el editor de Nextion (Nextion Editor) que es un entorno de desarrollo que posee componentes que se pueden utilizar para el diseño de la HMI, como son: botones, textos, barras de progreso, control deslizante, panel de instrumentos, entre otros. Así mismo, se puede desarrollar una HMI con múltiples ventanas o páginas, como es el caso de este proyecto.

Características técnicas [40]:

- RTC incorporado
- Soporta GPIO (general purpose input/output)
- Espacio de almacenamiento de datos (FLASH): 32 MB
- RAM: 8192 bytes
- EEPROM: 1024 bytes
- Color: 65K (65535) colores
- Resolución: 800 x 480 pixeles
- Brillo ajustable.
- Alimentación recomendada: 5 V 2 A
- Consumo de corriente 510 mA

La comunicación se la realiza de forma serial con el microcontrolador. La HMI envía datos por medio de 4 bytes de información. Por lo tanto, le da al programador una amplia gama de opciones. Según este protocolo de comunicación, los 4 bytes se los usa de la siguiente manera empezando desde la izquierda.

Los dos primeros bytes contienen el valor de la variable a manipular (temperatura, presión, frecuencia, etc.), el tercer byte corresponde al comando (variable "opción") que debe identificar el microcontrolador para realizar una función específica, por ejemplo, encender o desactivar la emulación de un sensor o manipular la variable del mismo, y, finalmente, el cuarto byte no se lo utiliza. En la Figura 2.93 se observa la trama de 4 bytes enviada por la HMI.

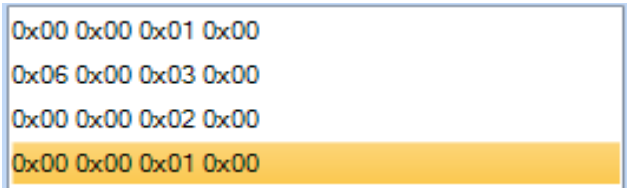


Figura 2.93. Trama de envío de datos.

El microcontrolador recibe los 4 bytes de información y los guarda en un vector de 4 elementos llamado "datos_recibidos[i]". Cada vez que el microcontrolador recibe un byte de información se genera una interrupción y a través del contador "i" se van guardando los datos en el vector. Una vez que el vector tiene los 4 bytes los dos primeros (datos_recibidos [0] y datos_recibidos [1]) que contienen el valor de "porcentaje, presión, temperatura, gramos por segundo, rpm y frecuencia" se los guarda en una variable llamada "dato_recibido" de la siguiente manera:

$$dato_recibido = datos_recibidos[0] + datos_recibidos[1] \times 256$$

Ecuación 2.29. Fórmula para obtener el valor de la variable "dato_recibido" a partir de los dos primeros bytes que envía la HMI.

Por ejemplo, si la HMI envía un valor de RPM de 1000 para el sensor CKP, los valores recibidos son: 0xe8 0x03 0xa3 0x00.

$$dato_recibido = 0xe8\ (decimal = 232) + 0x03(decimal = 3) \times 256 = 1000$$

Ecuación 2.30. Ejemplo de cálculo para obtener la variable "dato_recibido".

Finalmente, se toma al tercer byte y se lo guarda en una variable llamada “opción”, y con esta variable el microcontrolador interpreta la función que se debe realizar. En la Figura 2.94 se muestra el diagrama de flujo de la recepción de datos.

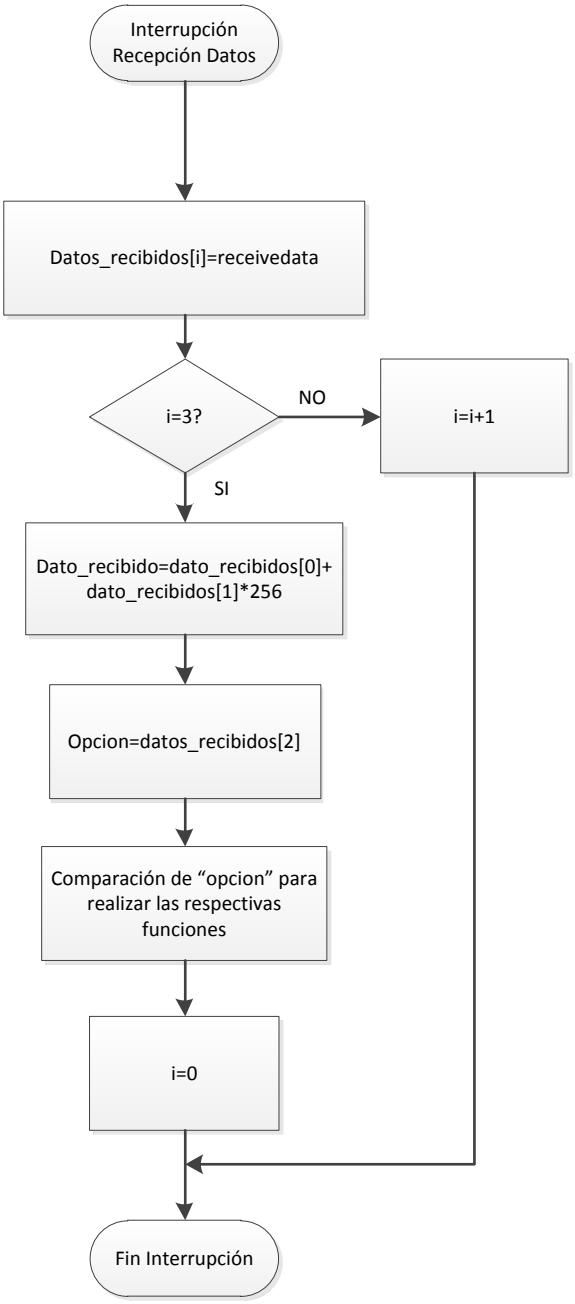


Figura 2.94. Diagrama de flujo de la recepción de datos.

La interpretación de la variable “opción” se detalla más adelante.

Para más información de cómo utilizar la HMI y como se realiza el envío y recepción de datos se puede consultar el set de instrucciones disponible en [41].

La HMI consta de una página principal llamada “menú”. En esta ventana se encuentran los botones correspondientes a los sensores cuyas señales serán emuladas. De este menú en, el usuario se puede dirigir a las demás ventanas pulsando sobre el botón correspondiente.

Figura 2.95. Ventana del menú de la HMI.

Una vez que el usuario seleccione el sensor y presione su respectivo botón se desplegará un mensaje de seguridad (Figura 2.97) que pide al usuario haber realizado las respectivas conexiones en el vehículo, mismas que fueron recomendadas por los técnicos mecánicos. El mensaje desplegado posee dos opciones, “sí y no”. Si el usuario presiona “sí”, se puede avanzar a la siguiente ventana correspondiente a la del sensor, además se envía la información correspondiente al microcontrolador para habilitar el uso de dicho sensor. Si el usuario presiona “no”, la HMI regresa a la pantalla del menú y no se habilita el sensor. Este proceso se ilustra en las Figuras 2.96 y 2.97.

Figura 2.96. Ventana de menú con botón TPS presionado.

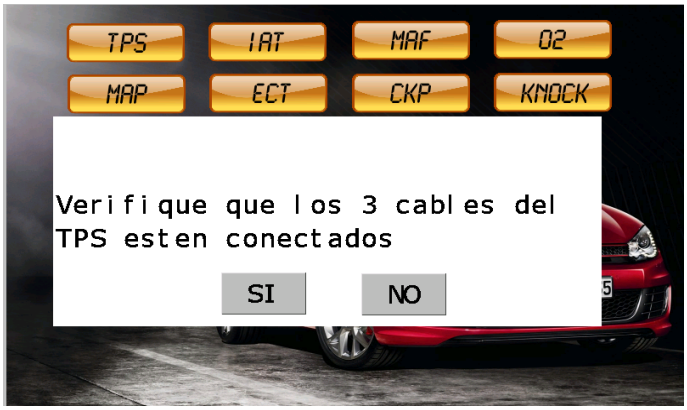


Figura 2.97. Mensaje de advertencia.

En las ventanas de cada sensor se encuentran tres botones principales que son: “BACK, OFF, y ON”, como se observa en la Figura 2.98.

Figura 2.98. Botones: (BACK, ON, OFF).

BACK:

Este botón permite al usuario “volver” al menú principal y desactivar el sensor que estaba siendo emulado. Al presionar “BACK” se despliega un mensaje (Figura 2.99) donde se pregunta al usuario si éste se encuentra seguro de salir de la ventana del sensor. De ser afirmativa la respuesta, la HMI vuelve al menú principal y de ser “no”, se vuelve a la ventana del sensor que estaba siendo emulado. Al desactivarse el sensor este vuelve a su valor inicial.

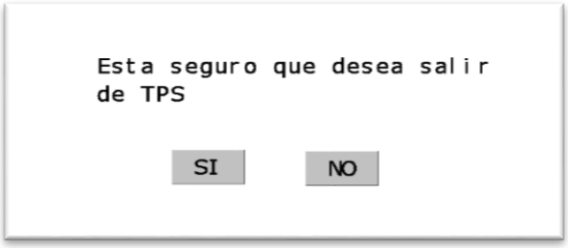


Figura 2.99. Mensaje de advertencia al presionar “BACK”.

OFF:

Este botón permite al usuario desactivar la emulación del sensor y para esto envía al microcontrolador el dato para que este lo desactive. Al desactivarse la emulación del sensor, este vuelve a su valor inicial.

ON:

Este botón permite al usuario activar la emulación del sensor en caso de que este hubiese sido desactivado y poder manipular las variables del mismo.

Botón TPS:

El botón TPS permite al usuario ingresar a la pantalla (Figura 2.100) donde podrá emular y controlar las señales de este sensor. La pantalla de este sensor tiene un osciloscopio que grafica las señales APP1 y APP2 del sensor TPS. También existe una barra de desplazamiento que permite emular la variación de porcentaje de apertura de la válvula de mariposa. De acuerdo con esta variación de porcentaje, el microcontrolador varía el voltaje de ambas señales. El valor de voltaje también se visualiza en la pantalla, así el usuario sabe que voltaje está recibiendo la ECU del vehículo.

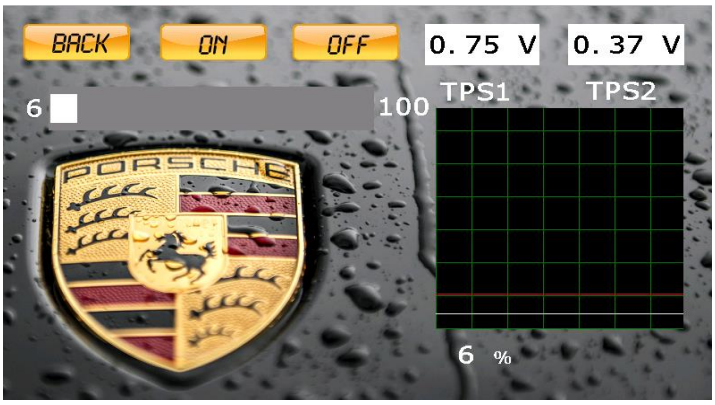


Figura 2.100. Ventana del sensor TPS.

Botón MAP:

El botón MAP permite al usuario ingresar a la ventana del sensor MAP (Figura 2.101) donde se puede observar una barra de desplazamiento con la cual se determina la presión del múltiple de admisión en kilo pascales. De acuerdo con la variación de presión, el sistema varía el voltaje que genera este sensor. El voltaje correspondiente se puede observar en la pantalla.

Figura 2.101. Ventana del sensor MAP.

Botón IAT:

El botón IAT permite al usuario ingresar a la ventana del sensor IAT (Figura 2.102) donde se pueden observar dos barras de desplazamiento con las cuales se determina la temperatura del flujo de aire en grados Celsius. Nuevamente, de acuerdo con la variación de temperatura, el microcontrolador varía el voltaje.

De las 2 barras que se dispone, la primera es para uso exclusivo con el vehículo de este proyecto y la segunda puede ser utilizada para otros vehículos.

Así mismo se puede observar el valor de voltaje que el sistema está enviando.

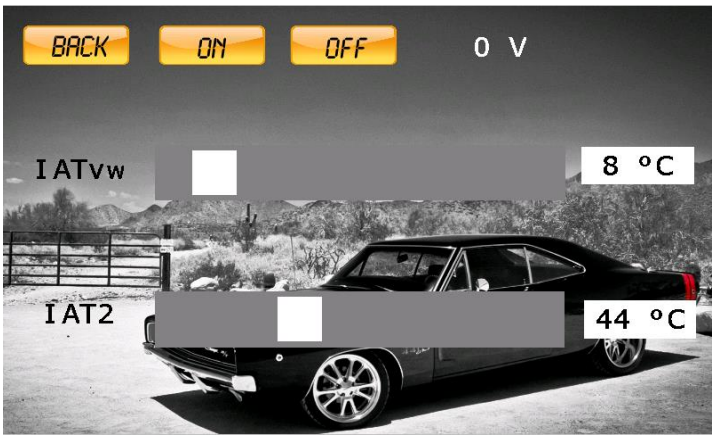


Figura 2.102. Ventana del sensor IAT.

Botón ECT:

El botón ECT permite al usuario ingresar a la ventana del sensor ECT (Figura 2.103) donde se puede observar dos barras de desplazamiento con las cuales se determina la temperatura del motor en grados Celsius. Conforme varía la temperatura el microcontrolador varía el voltaje el cual se lo puede observar en la pantalla.

Al igual que en el sensor IAT, la primera barra de desplazamiento es exclusiva para el vehículo de este proyecto y la segunda puede ser utilizada para otros vehículos.

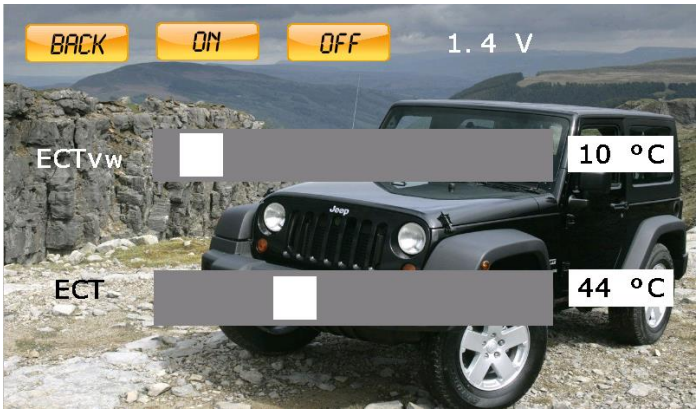


Figura 2.103. Ventana del sensor ECT.

Botón MAF:

El botón MAF permite al usuario ingresar a la ventana del sensor MAF (Figura 2.104) donde se puede observar una barra de desplazamiento con la cual se determina el valor de flujo en gramos por segundo. Así mismo, conforme varía el flujo, el microcontrolador varía el voltaje cuyo valor se lo puede observar en la pantalla.

Figura 2.104. Ventana del sensor MAF.

Botón CKP:

El botón CKP permite al usuario ingresar a la ventana del respectivo sensor (Figura 2.105) donde se tiene una barra de desplazamiento con la cual se determina el número de dientes del sensor de posición del cigüeñal (30-78 dientes). La pantalla del sistema muestra inicialmente 58 dientes que corresponde al vehículo de este proyecto.

Además, se tiene un botón llamado “RALENTÍ” que hace que la señal trabaje a una frecuencia aproximada de 800 Hz.

El usuario también puede variar la frecuencia de la señal al variar las revoluciones por minuto ya sea en pasos de 100, o 1000 RPM. La frecuencia de la señal emulada se puede observar en la pantalla.

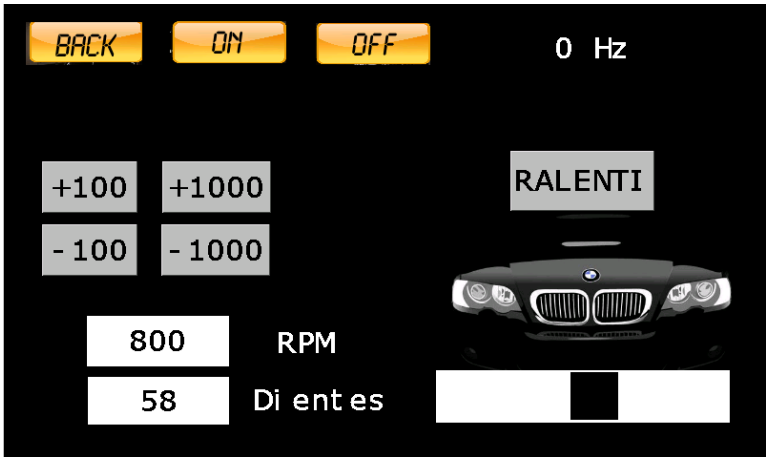


Figura 2.105. Ventana del sensor CKP.

Botón O2:

El botón O2 permite al usuario ingresar a la ventana del sensor de oxígeno (Figura 2.106). Este sensor puede trabajar en dos modos: “manual” y “automático”. Si el usuario selecciona modo manual, se puede variar el valor de voltaje desde 0 V a 1 V. Los botones para variar el voltaje se encuentran en la pantalla. El voltaje puede aumentar o disminuir en pasos de 0,1 V. Si el usuario selecciona modo automático, la señal empieza a oscilar y se puede emular la señal cuando existe una aceleración o desaceleración con los botones “ACELERAR” y “DESACELERAR”, respectivamente. En la ventana de este sensor se puede observar un osciloscopio en el cual se grafica la señal que el sistema envía hacia la ECU. Por último, se tiene un botón de HOLD para congelar la visualización de la señal.

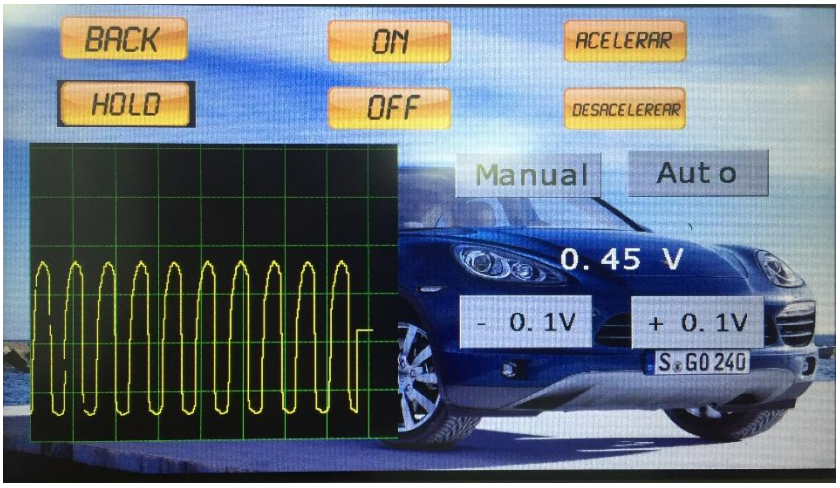


Figura 2.106. Ventana del sensor O2.

Botón KNOCK:

El botón “KNOCK” se refiere al sensor de detonación. Al presionar este botón se ingresa a la ventana de este sensor (Figura 2.107) donde se tiene un botón que permite la simulación de una perturbación. Al presionarlo se puede cambiar la amplitud de la señal a 2,5 V o 0,5 V.

Figura 2.107. Ventana del sensor de detonación (knock sensor).

Botón GENERADOR:

Este botón corresponde al generador de pulsos, el cual permitirá comprobar el funcionamiento de los actuadores como inyectores, relés y válvulas del cuerpo de aceleración. En esta ventana (Figura 2.108) se tiene una barra de desplazamiento que permite variar la frecuencia de la señal entre 0 y 100 Hz. El valor de frecuencia de la señal emulada se observa en la pantalla.

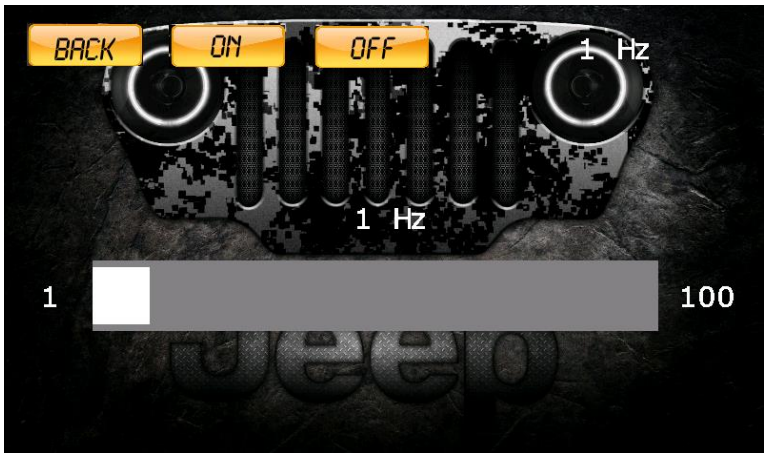


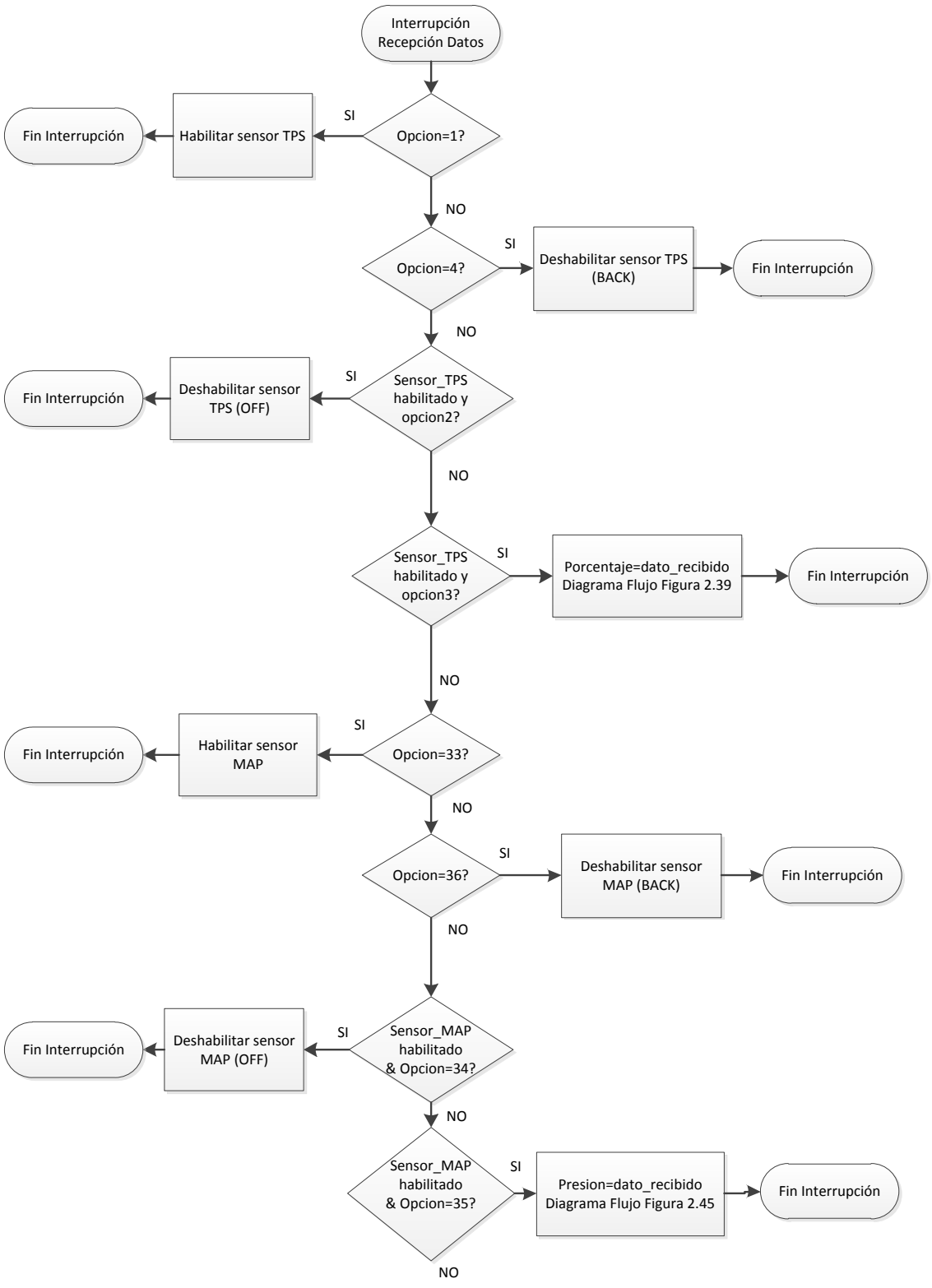
Figura 2.108. Ventana del generador de pulsos.

Para los sensores CKP, de detonación, y para el generador se pensó en la opción de poder graficar sus señales en la HMI, pero el timer que sirve para graficar las señales es de hasta 0,05 segundos por lo tanto al querer observar una señal de más de 20 Hz se distorsionaba la imagen.

A continuación, En la Figura 2.109, se observa el diagrama de flujo de la comparación de la variable “opción” que permite definir cuál de las señales van a ser emuladas y variar sus respectivos parámetros. También en la Tabla 2.20 se resume las funciones de la variable “opción”.

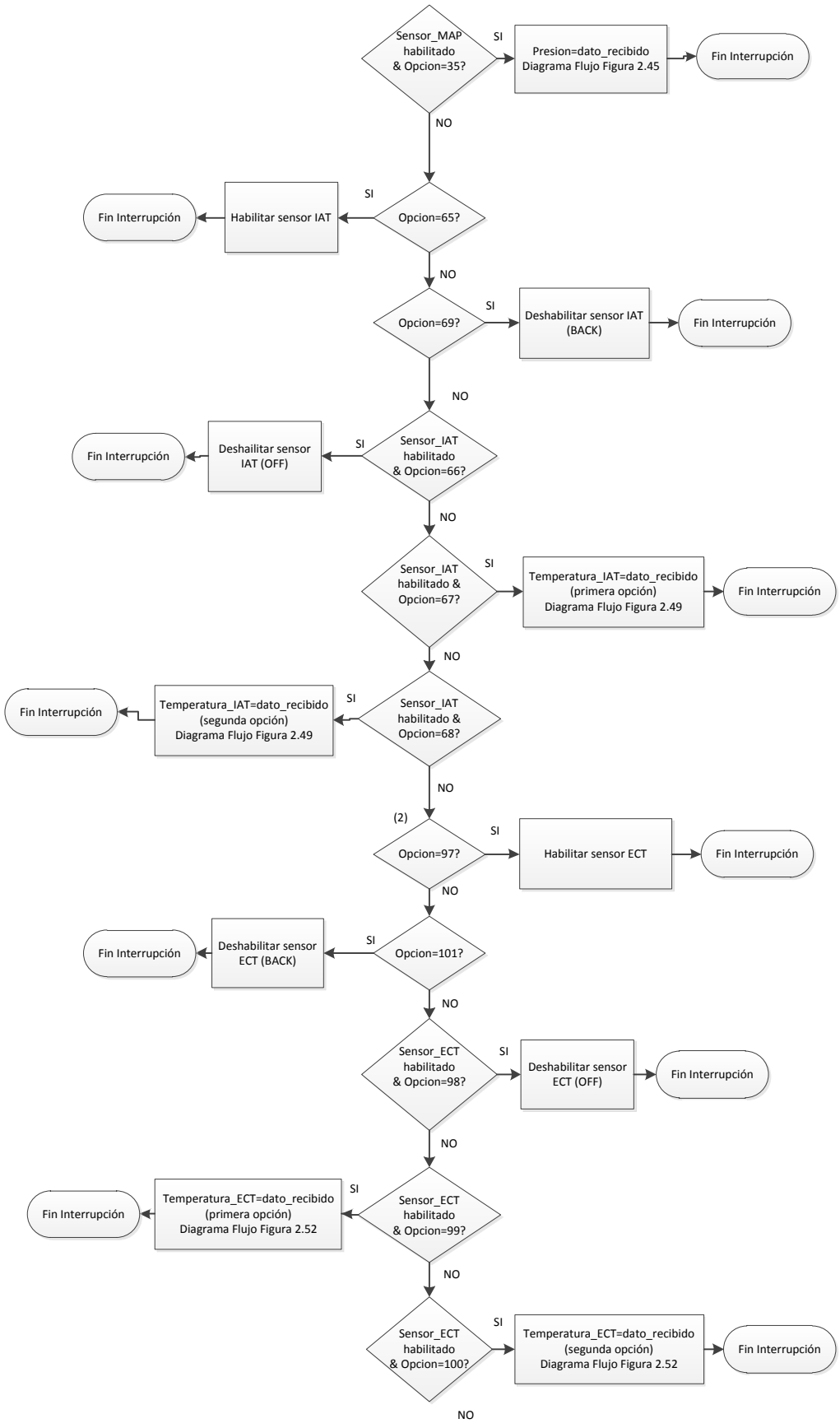
Tabla 2.20. Funciones de la variable “opción”

Valor Variable "Opción"	Función
1	Habilitar sensor TPS
2	Deshabilitar sensor TPS (OFF)
3	Recibir porcentaje
4	Deshabilitar sensor TPS (BACK)
33	Habilitar sensor MAP
34	Deshabilitar sensor MAP (OFF)
35	Recibir presión
36	Deshabilitar sensor MAP (BACK)
65	Habilitar sensor IAT
66	Deshabilitar sensor IAT (OFF)
67	Recibir temperatura IAT (1ra opción)
68	Recibir temperatura IAT (2da opción)
69	Deshabilitar sensor IAT (BACK)
97	Habilitar sensor ECT
98	Deshabilitar sensor ECT (OFF)
99	Recibir temperatura ECT (1ra opción)
100	Recibir temperatura ECT (2da opción)
101	Deshabilitar sensor ECT (BACK)
129	Habilitar sensor MAF
130	Deshabilitar sensor MAF (OFF)
131	Recibir flujo
132	Deshabilitar sensor MAF (BACK)
161	Habilitar sensor CKP
162	Deshabilitar sensor CKP (BACK/OFF)
163	Recibir RPM
164	Recibir # dientes
193	Habilitar sensor O2
194	Deshabilitar sensor O2 (OFF)
195	Acelerar habilitado
196	Desacelerar habilitado
197	Deshabilitar sensor O2 (BACK)
198	Modo automático habilitado
199	Modo manual habilitado
200	Aumentar voltaje_O2
201	Reducir voltaje_O2
225	Habilitar sensor KS
226	Deshabilitar sensor KS (OFF)
227	Habilitar perturbación
228	Deshabilitar sensor_KS (back)
229	Deshabilitar perturbación
240	Habilitar generador
241	Deshabilitar generador (BACK/OFF)
242	Recibir frecuencia

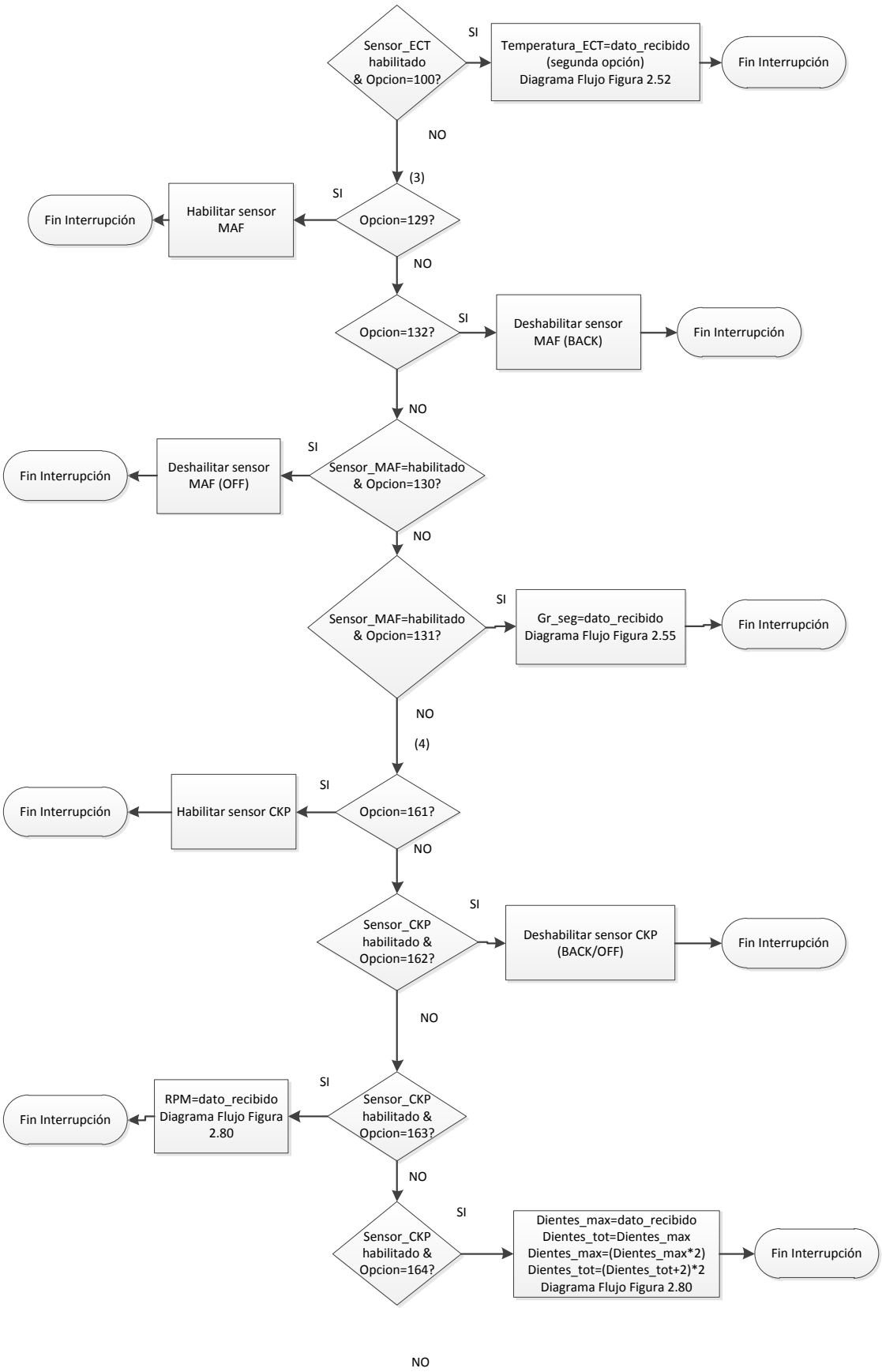

Interrupción Recepción Datos
Opcion=1?
SI
Habilitar sensor TPS
Fin Interrupción
NO
Opcion=4?
SI
Deshabilitar sensor TPS (BACK)
Fin Interrupción
NO
Sensor_TPS habilitado y opcion2?
SI
Deshabilitar sensor TPS (OFF)
Fin Interrupción
NO
Sensor_TPS habilitado y opcion3?
SI
Porcentaje=dato_recibido Diagrama Flujo Figura 2.39
Fin Interrupción
NO
Opcion=33?
SI
Habilitar sensor MAP
Fin Interrupción
NO
Opcion=36?
SI
Deshabilitar sensor MAP (BACK)
Fin Interrupción
NO
Sensor_MAP habilitado & Opcion=34?
SI
Deshabilitar sensor MAP (OFF)
Fin Interrupción
NO
Sensor_MAP habilitado & Opcion=35?
SI
Presion=dato_recibido Diagrama Flujo Figura 2.45
Fin Interrupción
NO

(1)

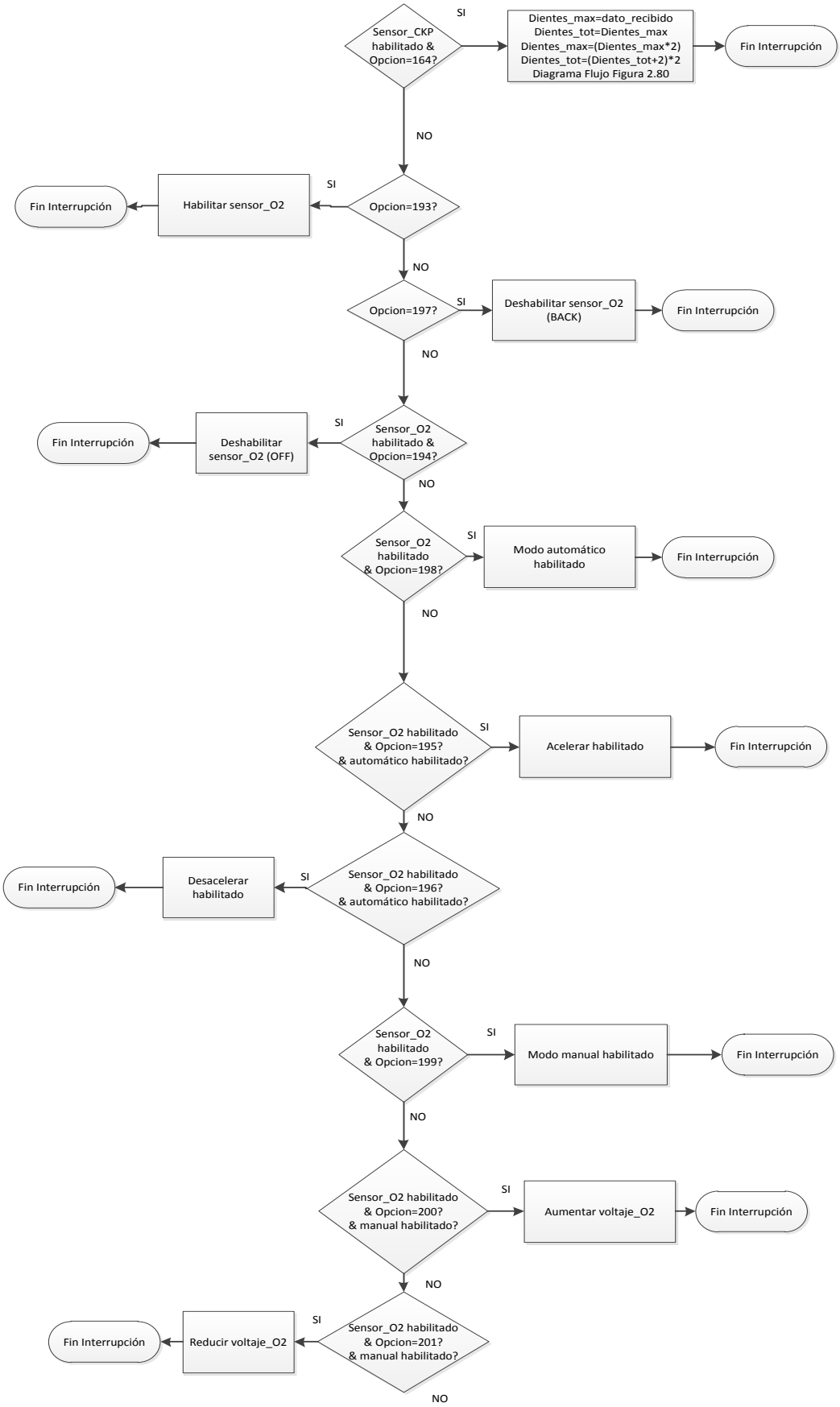
(a)


Sensor_MAP habilitado & Opcion=35?
SI
Presion=dato_recibido Diagrama Flujo Figura 2.45
Fin Interrupción
NO
Opcion=65?
SI
Habilitar sensor IAT
Fin Interrupción
NO
Opcion=69?
SI
Deshabilitar sensor IAT (BACK)
Fin Interrupción
NO
Sensor_IAT habilitado & Opcion=66?
SI
Deshailitar sensor IAT (OFF)
Fin Interrupción
NO
Sensor_IAT habilitado & Opcion=67?
SI
Temperatura_IAT=dato_recibido (primera opción) Diagrama Flujo Figura 2.49
Fin Interrupción
NO
Sensor_IAT habilitado & Opcion=68?
SI
Temperatura_IAT=dato_recibido (segunda opción) Diagrama Flujo Figura 2.49
Fin Interrupción
NO
(2)
Opcion=97?
SI
Habilitar sensor ECT
Fin Interrupción
NO
Opcion=101?
SI
Deshabilitar sensor ECT (BACK)
Fin Interrupción
NO
Sensor_ECT habilitado & Opcion=98?
SI
Deshabilitar sensor ECT (OFF)
Fin Interrupción
NO
Sensor_ECT habilitado & Opcion=99?
SI
Temperatura_ECT=dato_recibido (primera opción) Diagrama Flujo Figura 2.52
Fin Interrupción
NO
Sensor_ECT habilitado & Opcion=100?
SI
Temperatura_ECT=dato_recibido (segunda opción) Diagrama Flujo Figura 2.52
Fin Interrupción
NO

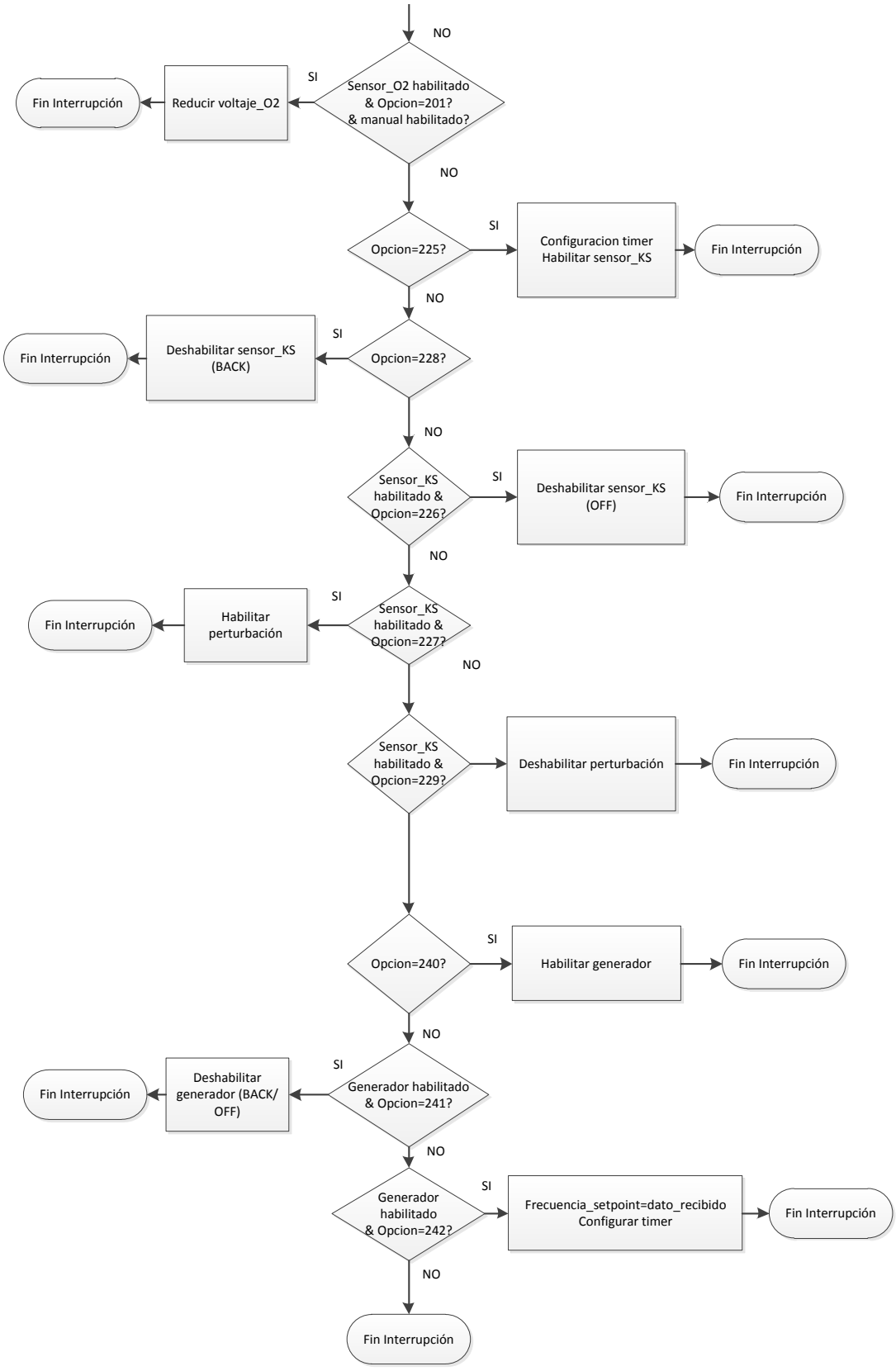
(b)


Sensor_ECT habilitado & Opcion=100?
SI
Temperatura_ECT=dato_recibido (segunda opción) Diagrama Flujo Figura 2.52
Fin Interrupción
NO
(3)
Opcion=129?
SI
Habilitar sensor MAF
Fin Interrupción
NO
Opcion=132?
SI
Deshabilitar sensor MAF (BACK)
Fin Interrupción
NO
Sensor_MAF=habilitado & Opcion=130?
SI
Deshailitar sensor MAF (OFF)
Fin Interrupción
NO
Sensor_MAF=habilitado & Opcion=131?
SI
Gr_seg=dato_recibido Diagrama Flujo Figura 2.55
Fin Interrupción
NO
(4)
Opcion=161?
SI
Habilitar sensor CKP
Fin Interrupción
NO
Sensor_CKP habilitado & Opcion=162?
SI
Deshabilitar sensor CKP (BACK/OFF)
Fin Interrupción
NO
Sensor_CKP habilitado & Opcion=163?
SI
RPM=dato_recibido Diagrama Flujo Figura 2.80
Fin Interrupción
NO
Sensor_CKP habilitado & Opcion=164?
SI
Dientes_max=dato_recibido
Dientes_tot=Dientes_max
Dientes_max=(Dientes_max*2)
Dientes_tot=(Dientes_tot+2)*2
Diagrama Flujo Figura 2.80
Fin Interrupción
NO

(c)


Sensor_CKP habilitado & Opcion=164?
SI
Dientes_max=dato_recibido
Dientes_tot=Dientes_max
Dientes_max=(Dientes_max*2)
Dientes_tot=(Dientes_tot+2)*2
Diagrama Flujo Figura 2.80
Fin Interrupción
NO
Opcion=193?
SI
Habilitar sensor_O2
Fin Interrupción
NO
Opcion=197?
SI
Deshabilitar sensor_O2 (BACK)
Fin Interrupción
NO
Sensor_O2 habilitado & Opcion=194?
SI
Deshabilitar sensor_O2 (OFF)
Fin Interrupción
NO
Sensor_O2 habilitado & Opcion=198?
SI
Modo automático habilitado
Fin Interrupción
NO
Sensor_O2 habilitado & Opcion=195? & automático habilitado?
SI
Acelerar habilitado
Fin Interrupción
NO
Sensor_O2 habilitado & Opcion=196? & automático habilitado?
SI
Desacelerar habilitado
Fin Interrupción
NO
Sensor_O2 habilitado & Opcion=199?
SI
Modo manual habilitado
Fin Interrupción
NO
Sensor_O2 habilitado & Opcion=200? & manual habilitado?
SI
Aumentar voltaje_O2
Fin Interrupción
NO
Sensor_O2 habilitado & Opcion=201? & manual habilitado?
SI
Reducir voltaje_O2
Fin Interrupción
NO

(d)



(e)

Figura 2.109. a, b, c, d, e. Diagrama de flujo para la comparación de la variable “opción”.

Otros diagramas de flujo del software del sistema

Antes de empezar el lazo principal del programa se realiza la definición de variables y tablas, y las configuraciones de los puertos de entrada y salida, se configuran los diferentes timers, la comunicación serial, las salidas digitales/análogas, y las entradas análogas/digitales.

Como ya se mencionó, inicialmente el sistema envía voltajes (valores iniciales) por cada una de las salidas de los siguientes sensores emulados:

- TPS:
    - APP1: 0,75 V.
    - APP2: 0,37 V.
- MAP: 1 V.
- IAT Y ECT: 2,8 V.
- MAF: 1 V.
- Oxígeno: 0,45 V.

Tal como se indicó, se envían voltajes iniciales puesto que si el sistema se conecta a la ECU del vehículo y detecta 0 V este puede interpretar como falla y deshabilitar el vehículo. En el caso del sensor CKP se envía 3 V por el pin de salida (PA6 = Pin 6 del puerto A). Para el sensor de detonación no es necesario un valor de voltaje inicial. En el siguiente diagrama de flujo se muestra las configuraciones iniciales del sistema antes de empezar con el lazo principal del software.

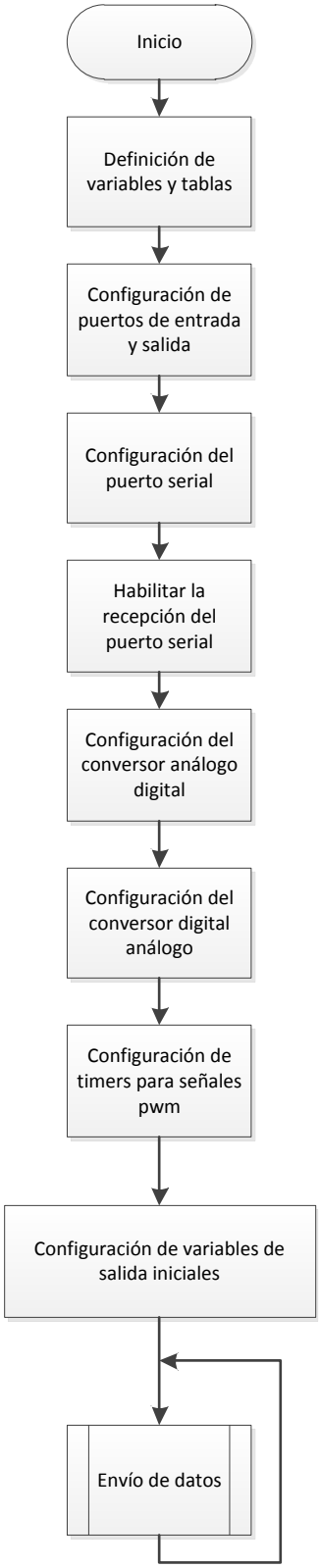


Figura 2.110. Diagrama de flujo de configuraciones iniciales y del lazo principal.

En el lazo principal del programa del software se realiza el envío de datos hacia la HMI. El microcontrolador envía el dato correspondiente al sensor que se encuentra funcionando en ese momento. Los datos enviados correspondientes a cada sensor son:

- Sensor TPS: se envía los valores de voltaje de las señales APP1 y APP2, la HMI recibe estos valores y los grafica en la pantalla. Así mismo se visualiza su valor.
- Sensor MAP, IAT, ECT, y MAF: se envía el valor de voltaje que está siendo generado.
- Sensor de oxígeno: se envía el valor de voltaje. La HMI recibe este valor y lo grafica en la pantalla.
- Sensor de detonación: se envía el valor de la amplitud de voltaje de la señal.
- Sensor CKP: se envía el valor de frecuencia de la señal generada.
- Generador: se envía el valor de frecuencia del tren de pulsos.

El envío de la señal se activa cuando se ha habilitado el respectivo sensor, de igual manera se desactiva el envío cuando se presiona el botón “BACK”, el cual, como ya se indicó, desactiva todo el funcionamiento de la emulación de la señal del sensor y vuelve a este a sus valores iniciales. Así mismo, debe recordarse que al presionar “OFF” no se desactiva el envío de datos para que se muestre el valor inicial en la pantalla. Por ejemplo, si se está usando el sensor MAP y se presiona “OFF” el sistema debe emular 1 V, al no deshabilitar el envío de datos, en la pantalla del sensor se muestra el valor de 1 V.

El envío de datos se lo debe realizar siguiendo el siguiente formato:

page.t0.txt=”dato_enviado” 0XFF 0XFF 0XFF 0XFF

La variable dato_enviado contiene el valor a enviar. Esta variable es de tipo texto, por lo tanto, se debe hacer una conversión de número a texto previo al envío de datos.

- “page” es el nombre de la ventana donde se va a visualizar el dato
- “t0” es el nombre del lugar donde se va a recibir el dato.
- “txt” es el tipo de formato del dato enviado, en este caso de tipo texto.

El dato debe ser enviado entre comillas. Al final de la trama se debe enviar 4 veces el número “0XFF”. Todo este proceso se encuentra en el set de instrucciones para programar la HMI [41].

Conocido este proceso de envío, a continuación, se muestra el diagrama de flujo del envío de datos que se encuentra en el lazo principal.

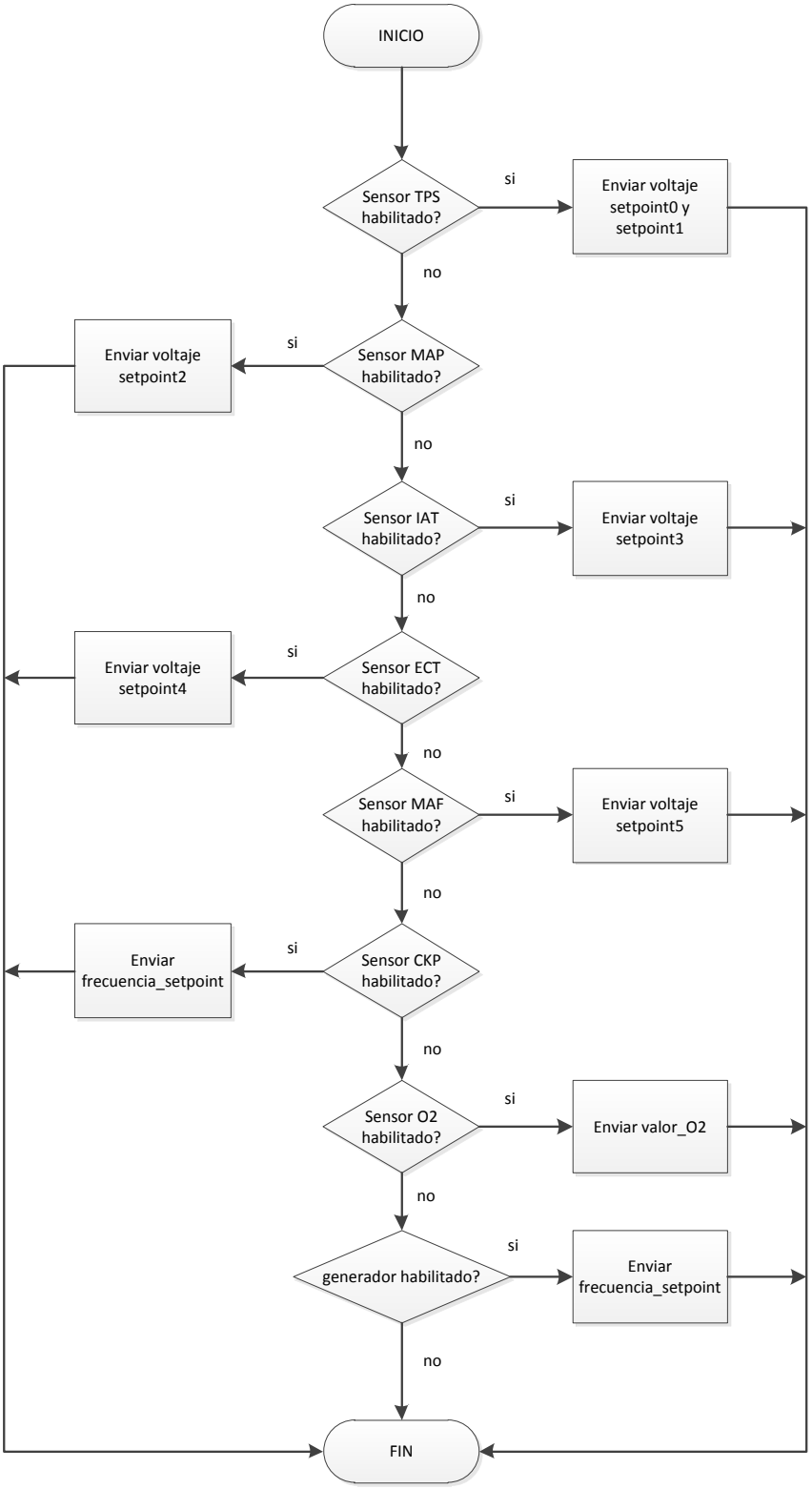


Figura 2.111. Diagrama de flujo del envío de datos.

A continuación, se explica el diseño del hardware adicional existente en el sistema.

Diseño de hardware adicional

Para comunicar la HMI con el microcontrolador se hizo lo siguiente:

La HMI envía por el transmisor una señal de hasta 5 V; por lo tanto, para que el microcontrolador pueda recibirla se colocó un divisor de voltaje de 5 V a 3 V. Si el microcontrolador recibe 5 V en su receptor (RX) se corre el riesgo de dañarlo.

El divisor diseñado es el de la Figura 2.112, este es un divisor de tensión muy simple pues se tomó en cuenta que la impedancia de entrada del pin que corresponde al receptor (RX) del microcontrolador es de 7 MΩ y si se emplean resistencias de valor apropiado, el error producido por la misma será mínimo.

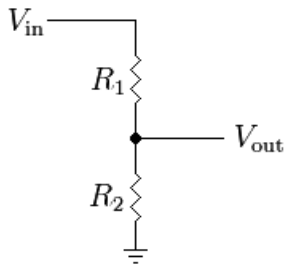


Figura 2.112. Divisor de voltaje.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

Ecuación 2.31. Fórmula para el diseño de un divisor de voltaje.

Donde:

- “Vin” es el voltaje a la salida del amplificador.
- “Vout” es el voltaje obtenido con el divisor de tensión.

A partir de la Ecuación 2.31:

Se asume una resistencia R1 de 3,3 kΩ

Por lo tanto:

$$3\ [V] = \frac{R_2}{3{,}3\ k\Omega + R_2} \times 5\ V$$

La resistencia R2 es:

$$R_2 = 4{,}95\ k\Omega \sim 4{,}7\ k\Omega$$

En la Figura 2.113 se observa el diagrama de conexión entre el microcontrolador con la HMI a través del circuito descrito.

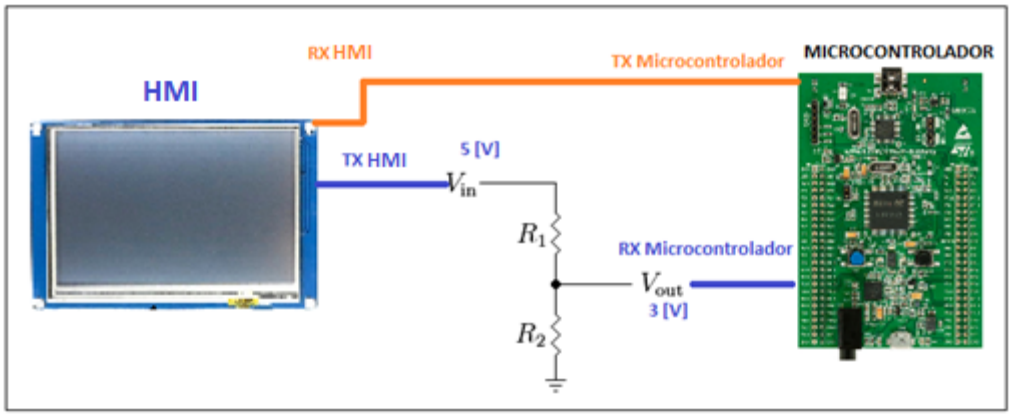


Figura 2.113. Diagrama de conexión entre la HMI y el microcontrolador.

Fuente externa de 3 V:

Como se había explicado, el microcontrolador se encuentra integrado en una tarjeta (STM32F4 Discovery Kit) la cual se alimenta con 5 V. Como el microcontrolador se alimenta con 3 V la tarjeta posee el regulador LD2985M33R de 5 V a 3 V como se observa en la Figura 2.114.

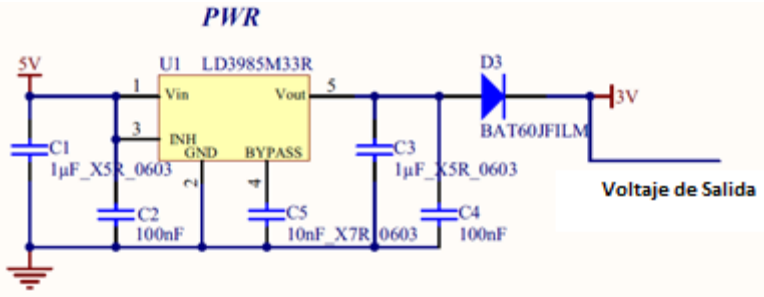


Figura 2.114. Regulador de voltaje (U1) LD3985M33R (5 V a 3 V) para alimentar el microcontrolador STM32F407VG dentro de la tarjeta [34].

Durante las pruebas para comprobar los valores de voltaje de cada una de las señales de los sensores emulados se pudo observar que el voltaje de referencia del microcontrolador de 3 V variaba. Esta variación provocaba que los voltajes de las señales cambien.

Para resolver este problema, se colocó una fuente de 3 V externa en paralelo con el voltaje de 3 V de la tarjeta del microcontrolador, para de esta manera mantener este voltaje constante y así evitar que los voltajes de las señales emuladas varíen.

Para obtener los 3 V se utiliza el regulador LM2596 (pág. 66). En la Figura 2.115 se observa el diagrama de conexión de la fuente externa de 3 V con la tarjeta del microcontrolador.

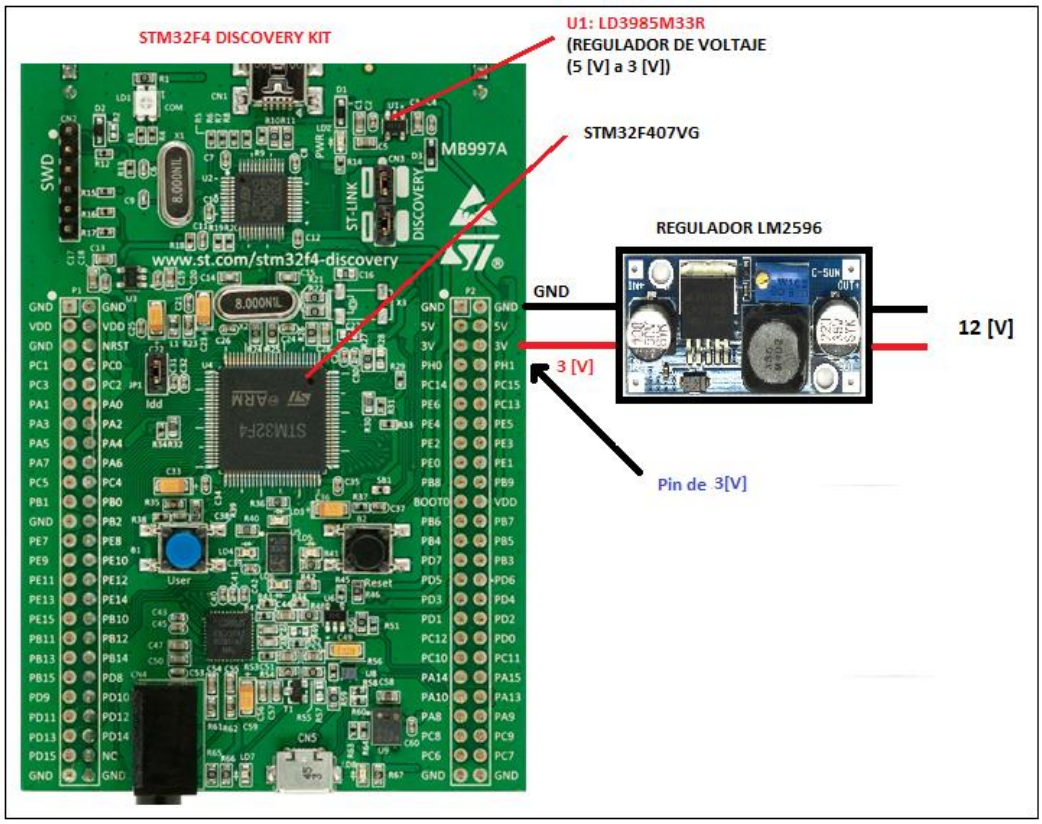


Figura 2.115. Conexión de la fuente externa de 3 V al microcontrolador a través del regulador de salida ajustable LM2596.

Cargador batería 12 V:

Como se había mencionado el banco de pruebas se puede alimentar con una batería de 12 V de plomo recargable, para lo cual se diseñó y construyó un cargador con desactivación automática. En la Figura 2.116 se muestra el circuito diseñado.

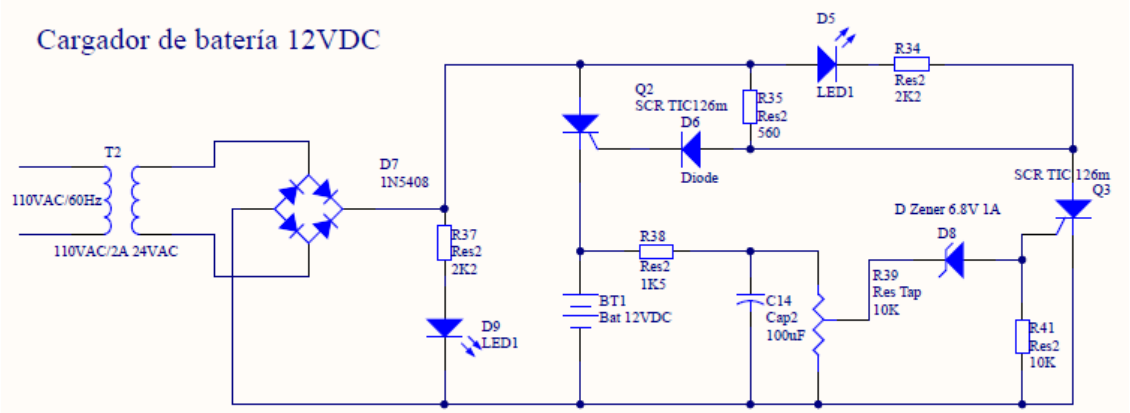


Figura 2.116. Circuito del cargador para la batería de 12 V con desactivación automática [42].

Cabe mencionar que el diseño del circuito de la Figura 2.116 se lo obtuvo a partir del manual: "*Voltage Regulator Handbook de National Semiconductor*" [42].

Este circuito funciona de la siguiente manera:

A través de un transformador se obtienen 24 VAC de la red de 110 VAC. Por medio de un puente rectificador de onda completa se obtiene el voltaje DC. Inicialmente el SCR (Q2) empieza a conducir y recibe un voltaje en la compuerta por medio de la resistencia de 560 Ω y el diodo D6. La batería se debe conectar en paralelo con el capacitor de 100 µF y el potenciómetro de 10 kΩ. Antes de conectar la batería se debe regular el voltaje a través del potenciómetro hasta obtener 13 V para que pueda cargar la batería. No se debe tener un voltaje menor a 12 V porque de lo contrario la batería nunca se cargará, así mismo, el voltaje no debe exceder los 13,6 V (especificaciones de la batería, Figura 2.31, pág. 65) ya que la misma puede dañarse por sobre-voltaje. Cuando el SCR (Q2) se encuentra conduciendo, los 13 VDC irán a través de la batería cargándola. Cuando la batería está casi cargada la corriente empieza a circular a través de la resistencia de 1,5 kΩ, y el potenciómetro. Cuando el voltaje llegue a 6,8 V entre la tierra y terminal central del potenciómetro, el zener empieza a conducir activando el SCR (Q3) desactivando la carga

de la batería. Como resultado la corriente circula a través del SCR (Q3) por medio de la resistencia de 560 Ω, el led rojo se prende indicando la carga total de la batería. El SCR utilizado es el TIP126M cuyas especificaciones están en el Anexo IX.

Cabe mencionar que este circuito, junto con la batería de plomo, no serán montados dentro del banco de pruebas ya que, por petición del técnico especialista, esto aumentaría el peso del mismo dificultando su uso práctico al momento de conectarlo a un vehículo. Se manifestó que en la práctica se recurre a utilizar la batería misma del vehículo. En el Anexo V se encuentra la solicitud y aclaración por parte del técnico especialista acerca del uso de la batería).

Controladores proporcionales integrales (PI)

Para asegurar los valores de voltaje de salida de las señales de los sensores emulados que tienen una etapa de amplificación como son: TPS (APP1), MAP, IAT, ECT, y MAF, se diseñaron controladores PI que mantengan este voltaje constante ante cualquier eventualidad que se presente al momento de amplificarlo y de conectar dichas señales a la ECU del vehículo.

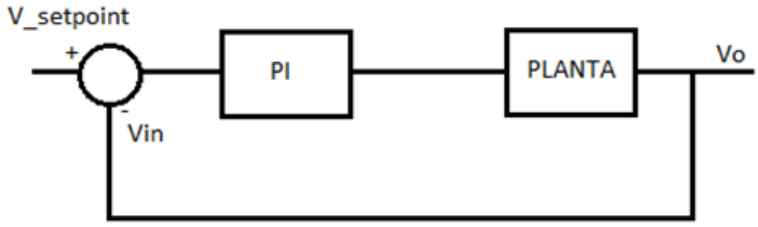


Figura 2.117. Diagrama de bloques del sistema con el controlador PI.

Como se observa en la Figura 2.117 se debe realimentar las señales para poder obtener el error entre el set-point y la salida realimentada. Para las realimentaciones se utilizan las entradas análogas del microcontrolador.

El microcontrolador posee 3 convertidores análogos/digitales (ADC) cada uno con canales multiplexados de hasta 12 bits de resolución. Para este proyecto se utiliza el ADC 1 el cual posee 15 canales multiplexados de los cuales se usarán los siguientes:

- Sensor TPS: señal APP1 se realimenta por el canal 7 del ADC 1.
- Sensor MAP: se realimenta por el canal 3 del ADC 1.
- Sensor IAT: se realimenta por el canal 1 del ADC 1.

- Sensor ECT: se realimenta por el canal 2 del ADC 1.
- Sensor MAF: se realimenta por el canal 11 del ADC 1.

Para poder realimentar estas señales se debe tomar en cuenta que el máximo voltaje que puede ingresar por el ADC es 3 V para el caso del microcontrolador usado en este sistema. Por esta razón, se debe añadir un divisor de voltaje a la salida de cada uno de los amplificadores de estas señales. A continuación, se detalla el diseño de los divisores de voltaje.

Para la señal APP1 del sensor TPS se tiene un voltaje máximo de salida de 3,55 V por lo tanto se debe diseñar un divisor de 3,554 V a 3 V. Partiendo del circuito de la Figura 2.112 (divisor de voltaje) y de la Ecuación 2.31 (pág. 143):

Se asume una resistencia R1 de 1,8 kΩ tomando en cuenta que en cada una de las entradas análogas del microcontrolador existe una impedancia de entrada de elevada de 6 MΩ, aproximadamente.

Por lo tanto:

$$3\ V \frac{R_2}{1{,}8\ k\Omega + R_2} \times 3{,}554\ V$$

La resistencia R2 es:

$$R_2 = 9{,}75\ k\Omega \sim 10\ k\Omega$$

Para las señales de los sensores MAP, IAT, ECT y MAF, se tiene un voltaje máximo de salida de 5 V por lo tanto se debe realizar un divisor de 5 V a 3 V.

Se asume una resistencia R1 de 1,2 kΩ

Por lo tanto:

$$3\ V = \frac{R_2}{1{,}2\ k\Omega + R_2} \times 5\ V$$

La resistencia R2 es:

$$R_2 = 1{,}8\ k\Omega$$

Una vez diseñado el hardware de realimentación se prosiguió a realizar las respectivas configuraciones del software para poder implementar los controladores PI. Primero se

probó la lectura de los convertidores análogos/digitales. Como se había mencionado, los ADC de este microcontrolador tienen una resolución de hasta 12 bits y un voltaje de referencia de 3 V. Al momento que, el ADC recibe un valor de voltaje, este lo convierte de la siguiente manera a un valor de entre 0 a 4095.

$$valor_ADC = 4095 \times \frac{Voltaje_entrada}{Voltaje_referencia}$$

Ecuación 2.32. Fórmula para obtener el valor ADC.

Donde:

- Valor_ADC es el valor de 0 a 4095 que se carga en el registro del respectivo del canal del ADC utilizado (ADC1).
- 4095 es el valor máximo que se obtiene con 3 V.
- Voltaje_entrada es el valor de voltaje que ingresa por el canal ADC.
- Voltaje_referencia es el valor de voltaje de referencia con el cual trabaja el microcontrolador (3 V).

Por ejemplo, a partir de la Ecuación 2.32, si ingresan 1,2 V por el ADC y con un voltaje de referencia de 3 V.

$$valor_{ADC} = 4095 \times \frac{1{,}2\ V}{3\ V} = 1638$$

Ecuación 2.33. Ejemplo de cálculo del valor ADC.

El valor de 1638 (valor entero) se carga en el registro del canal respectivo del ADC seleccionado.

Una vez probado el funcionamiento del ADC del microcontrolador se prosiguió a diseñar los controladores PI para cada una de las señales mencionadas anteriormente.

Primero se identificó la planta que corresponde a un filtro pasa bajos de primer orden como se observa en la Figura 2.118 cuya función de transferencia se muestra en la Ecuación 2.34.

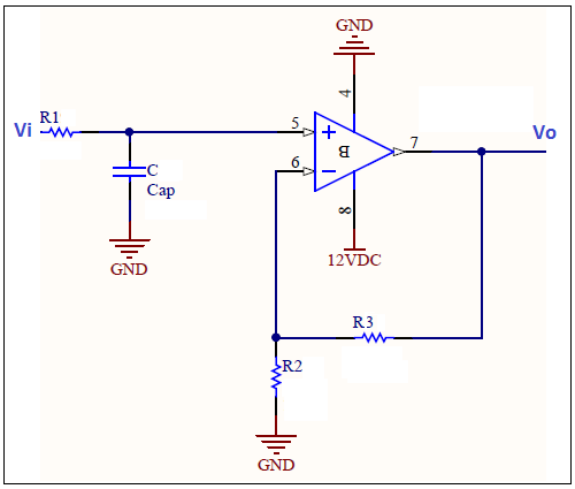


Figura 2.118. Filtro pasa bajos de primer orden.

De la Figura 2.118 se tiene la función de transferencia:

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_3}}{1 + \omega R_1 C s}$$

Ecuación 2.34. Función de transferencia del filtro pasa bajos de primer orden [43].

Donde:

- ω: es igual a 2πfc donde fc es la frecuencia de corte.
- fc: es igual a $\frac{1}{2\pi R_1 C}$.

Para el caso de la señal APP1 del sensor TPS la función de transferencia de la planta es la siguiente:

A partir de la Ecuación 2.34 (pág. 150) y de los valores obtenidos en la subsección (pág. 70):

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1 + \frac{180\ k\Omega}{1\ M\Omega}}{1 + s}$$

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1{,}18}{1 + s}$$

Ecuación 2.35. Función de transferencia de la planta para la señal APP1 del sensor TPS.

Como se puede ver la función de transferencia es de primer orden. Obtenida la función de transferencia de la planta se prosiguió con el diseño del controlador PI el cual corrige el error en estado estable que aproximadamente es de un 1 %.

A continuación, se detalla el diseño del controlador:

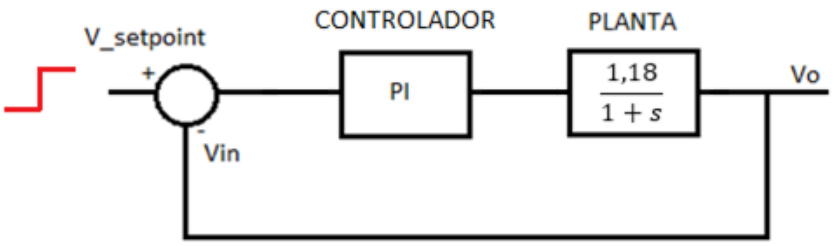


Figura 2.119. Planta para generar la señal APP1 del sensor TPS.

La función de transferencia del controlador PI para la planta en cuestión es la siguiente:

$$PI(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

Ecuación 2.36. Función de transferencia del controlador PI [44].

Por lo tanto, la función de transferencia del sistema con controlador PI es:

$$G(s)_{TOTAL\ APP1} = G(s)_{APP1} \times Pi(s)$$

Ecuación 2.37. Función de transferencia total del sistema (controlador y planta).

A partir de la Ecuación 2.37 se tiene:

$$G(s)_{TOTAL\ APP1} = \frac{1{,}18}{1+s}\left(\frac{sK_p + K_i}{s}\right)$$

Ecuación 2.38. Función de transferencia del sistema para la señal APP1 del sensor TPS en tiempo continuo.

Realimentando:

$$Gr(s)_{APP1} = \frac{1{,}18(K_p s + Ki)}{s^2 + s\left(1 + 1{,}18K_p\right) + 1{,}18K_i}$$

Ecuación 2.39. Realimentación de la función de transferencia total del sistema para la señal APP1 del sensor TPS (H=1).

De [33] se obtienen las siguientes expresiones para obtener los valores de Kp y Ki.

$$P(s) = \frac{b}{s+a} \sim \frac{1{,}18}{s+1} \ (\boldsymbol{función\ de\ transferencia\ de\ la\ planta\ para\ la\ señal\ APP1})$$

Ecuación 2.40. Modelo de la función de transferencia de un sistema de primer orden [44].

Donde:

- "a": es igual a 1.
- "b" es igual a 1,18.

$$K_p = \frac{2\varepsilon\omega_o - a}{b}$$

Ecuación 2.41. Fórmula para obtener el valor de Kp para un sistema de primer orden [44].

Donde:

- "ωo": es la frecuencia natural no amortiguada del sistema [44].
- "ε": es el factor de amortiguamiento [44].

$$K_i = \frac{{\omega_o}^2}{b}$$

Ecuación 2.42. Fórmula para obtener el valor de Ki para un sistema de primer orden [44].

$$M = e^{-\frac{\pi\varepsilon}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}}$$

Ecuación 2.43. Fórmula para obtener el máximo sobre-impulso [44].

Criterios de diseño:

- M= 0,05 (5%).
- ts=0,3 s (tiempo de establecimiento).

Se sabe que:

$$ts = \frac{4}{\varepsilon \times \omega_o}$$

Ecuación 2.44. Fórmula para obtener el tiempo de establecimiento ts.

A partir de la Ecuación 2.43 se obtiene el valor de ε:

$$\varepsilon = 0{,}6048$$

A partir de la Ecuación 2.44 se obtiene el valor de ωo:

$$\omega_o = 22{,}046$$

Con estos valores se obtienen Kp y Ki partiendo de las Ecuaciones 2.41 y 2.42, respectivamente.

$$K_p = 21{,}75$$

$$K_i = 411{,}89$$

A partir de estos valores obtenidos, con Matlab se obtiene la respuesta del sistema ante una entrada paso.

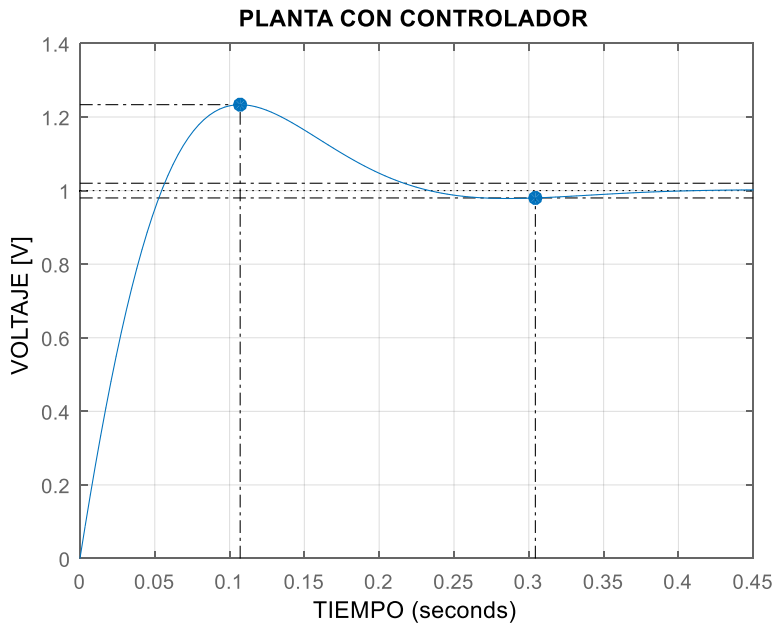


Figura 2.120. Respuesta ante una entrada paso del sistema (señal APP1 sensor TPS).

Como se puede observar en la Figura 2.120, con los parámetros calculados de Kp y Ki siguiendo los criterios de diseño, se tiene un tiempo de establecimiento de 0,3 segundos, aproximadamente y un máximo sobre pico del 20%.

Por lo tanto, se realizaron calibraciones para llegar a los parámetros deseados tanto de máximo sobre-impulso y tiempo de establecimiento y se obtuvo el siguiente resultado.

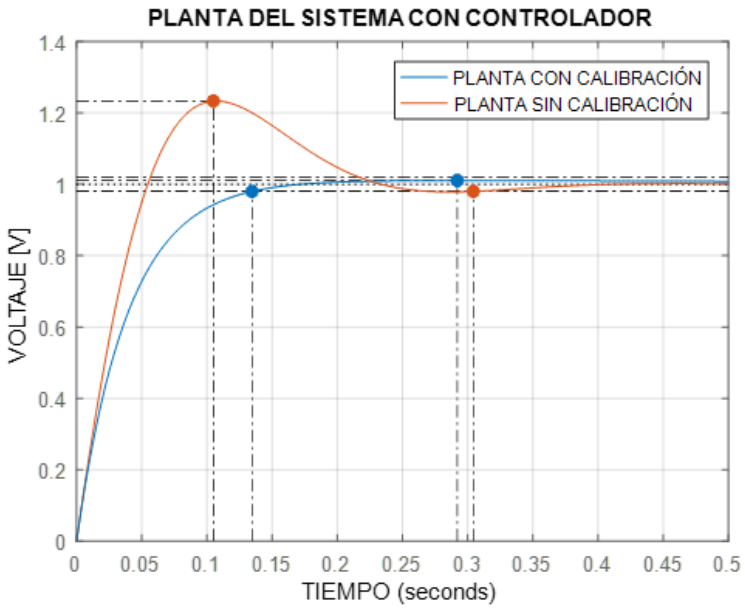


Figura 2.121. Respuesta ante una entrada paso del sistema (señal APP1 del sensor TPS) con controlador realizadas las calibraciones.

En la Figura 2.121 se observan la respuesta del sistema con las calibraciones realizadas de donde se obtuvo un máximo sobre-impulso de 5% y un tiempo de establecimiento de 0,135 segundos.

Con el tiempo de establecimiento de 0,135 segundos se calculó el tiempo de muestreo con la siguiente expresión:

$$Tm = \frac{ts}{30}$$

Ecuación 2.45. Tiempo de muestreo.

Donde:

- “Tm” es el tiempo de muestreo.
- “ts” es el tiempo de establecimiento.

Por lo tanto, se tiene a partir de la Ecuación 2.45:

$$Tm = \frac{0{,}135\ seg}{30} = 4{,}5\ ms$$

Calculado el tiempo de muestreo se prosiguió con la discretización del sistema (lazo cerrado con controlador) para obtener la respectiva ley de control.

Utilizando Matlab se discretizó el sistema por “zoh (zero order hold)” mediante la siguiente función:

$$gz = c2d(gs, Tm, 'zoh')$$

Ecuación 2.46. Función de Matlab para convertir una función de tiempo continuo en tiempo discreto.

Donde:

- “gz” es la función discreta.
- “c2d” es un comando que convierte una función en “s” (en tiempo continuo) a una función en “z” (en tiempo discreto).
- “gs” es la función de transferencia del sistema en tiempo continuo.
- “Tm” es el tiempo de muestreo.
- “zoh” es el tipo de discretización utilizado.

Discretizando el sistema se obtuvo la siguiente función de transferencia:

$$G(z)_{APP1} = \frac{M(z)}{E(z)} = \frac{21{,}75z - 21{,}62}{z - 1}$$

Ecuación 2.47. Función de transferencia del sistema para la señal APP1 del sensor TPS en tiempo discreto.

Ante una entrada paso se tiene:

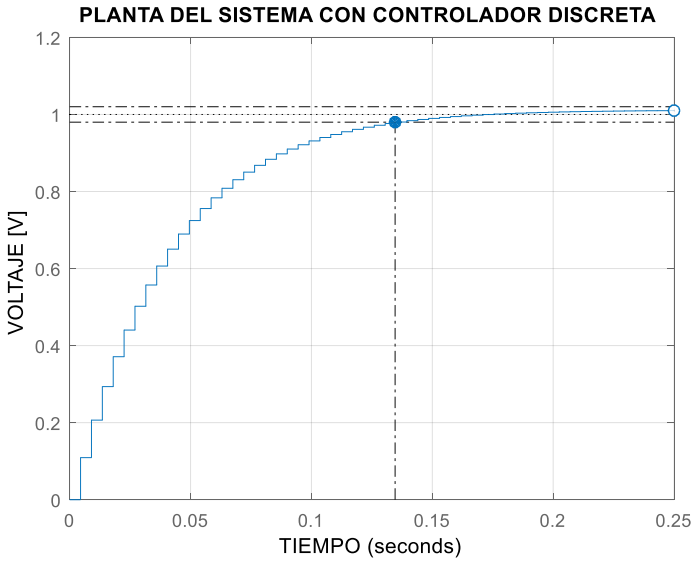


Figura 2.122. Respuesta ante una entrada paso en tiempo discreto para la señal APP1 del sensor TPS.

En la Figura 2.122 se observa la respuesta del sistema ante una entrada paso en tiempo discreto.

De la Ecuación 2.47 se parte para obtener la ley de control de la siguiente manera:

$$\frac{M(z^{-1})}{E(z^{-1})} = \frac{21{,}75 - 21{,}62z^{-1}}{1 - z^{-1}}$$

$$M(z^{-1}) - z^{-1}M(z^{-1}) = 21{,}75 * E(z^{-1}) - 21{,}62\, z^{-1} * E(z^{-1})$$

$$m(k) - m(k-1) = 21{,}75e(k) - 21{,}62\, e(k-1)$$

$$\boldsymbol{m(k) = 21{,}75e(k) - 21{,}62\, e(k-1) + m(k-1)}$$

Ecuación 2.48. Ley de control para la señal APP1 del sensor TPS.

Esta ley de control es utilizada en el algoritmo del software del sistema para la señal APP1 del sensor TPS.

Para el caso de las señales de los sensores MAP, IAT, ECT y MAF la planta es la siguiente:

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1 + \frac{100\ k\Omega}{150\ k\Omega}}{1 + s}$$

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1{,}67}{1 + s}$$

Ecuación 2.49. Función de transferencia de la planta para las señales de los sensores MAP, IAT, ECT y MAF en tiempo continuo.

Obtenida la función de transferencia de la planta se prosiguió con el diseño del controlador PI. A continuación, se detalla el diseño del controlador:

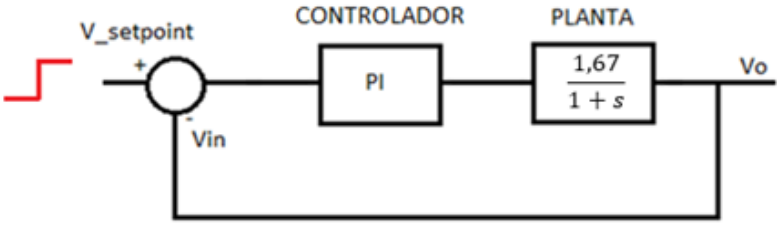


Figura 2.123. Planta para generar las señales de los sensores MAP, IAT, ECT, y MAF.

La función de transferencia del sistema con controlador PI a partir de la Ecuación 2.37:

$$G(s)_{TOTAL\ SENSORES} = \frac{1{,}67}{1 + s}\left(\frac{sK_p + K_i}{s}\right)$$

Ecuación 2.50. Función de transferencia del sistema para las señales de los sensores MAP, IAT, ECT, y MAF en tiempo continuo.

Realimentando:

$$Gr(s)_{APP1} = \frac{1{,}67(K_p s + Ki)}{s^2 + s\left(1 + 1{,}67K_p\right) + 1{,}67K_i}$$

Ecuación 2.51. Realimentación de la función de transferencia total del sistema para las señales de los sensores MAP, IAT, ECT, y MAF en tiempo continuo (H=1).

A partir de la Ecuación 2.40 se tienen los valores de a y b:

- “a”: es igual a 1.
- “b”: es igual a 1,67.

A partir de estos valores se calcula Kp y Ki con las Ecuaciones 2.41 y 2.42, respectivamente, con los mismos criterios de diseño utilizados para la señal APP1 del sensor TPS.

$$K_p = 15{,}37$$

$$K_i = 291{,}03$$

A partir de estos valores obtenidos, con Matlab se obtiene la respuesta ante una entrada paso.

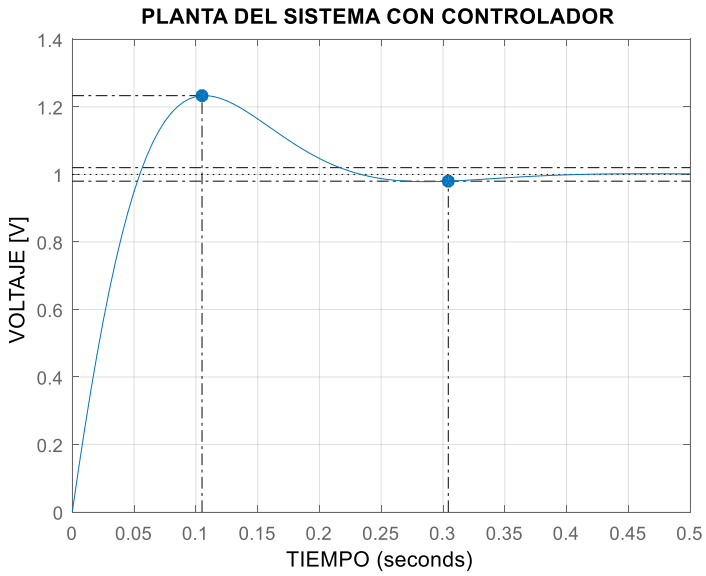


Figura 2.124. Respuesta ante una entrada paso del sistema (señales de los sensores MAP, IAT, ECT, y MAF).

En la Figura 2.124 se observa que, con los parámetros calculados de Kp y Ki siguiendo los criterios de diseño, se tiene un tiempo de establecimiento de 0,3 segundos, y un máximo sobre pico de 23%, aproximadamente.

Por lo tanto, se realizaron calibraciones para llegar a los parámetros deseados tanto de máximo sobre-impulso y tiempo de establecimiento y se obtuvo el siguiente resultado.

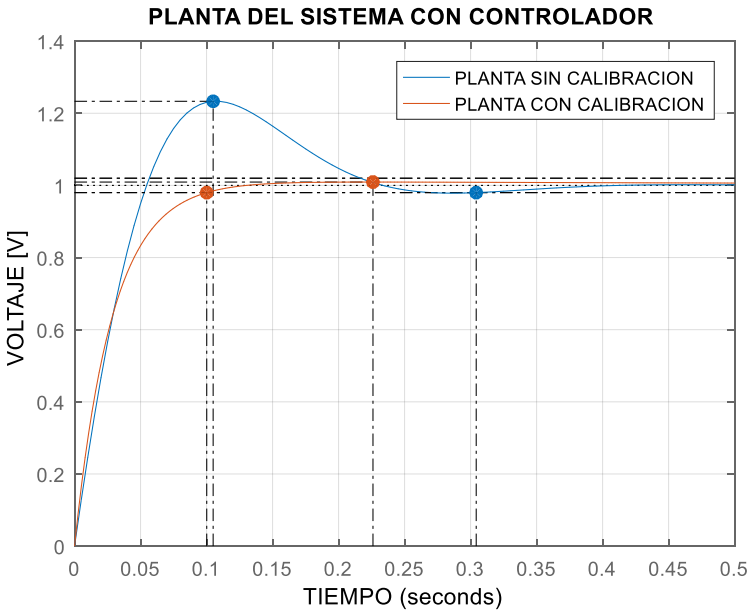


Figura 2.125. Respuesta ante una entrada paso del sistema con controlador realizadas las calibraciones (MAP, IAT, ECT, y MAF).

En la Figura 2.125 se observa la respuesta del sistema con las calibraciones realizadas de donde se obtuvo un máximo sobre-impulso de 0,9% y un tiempo de establecimiento de 0,1 segundos. Con el tiempo de establecimiento de 0,1 segundos se calculó el tiempo de muestreo. A partir de la Ecuación 2.45 se tiene:

$$Tm = \frac{0{,}1\ segundos}{30} = 3{,}33\ ms$$

Calculado el tiempo de muestreo se prosiguió con la discretización del sistema (lazo cerrado con controlador) para obtener la respectiva ley de control. Utilizando Matlab se discretizó el sistema por “zoh (zero order hold)” mediante la función de Matlab de la Ecuación 2.46. Discretizando el sistema se obtuvo la siguiente función:

$$G(z)_{APP1} = \frac{M(z)}{E(z)} = \frac{21z - 20{,}9}{z - 1}$$

Ecuación 2.52. Función de transferencia del sistema para la señal de los sensores MAP, IAT, ECT y MAF en tiempo discreto.

Ante una entrada paso se tiene:

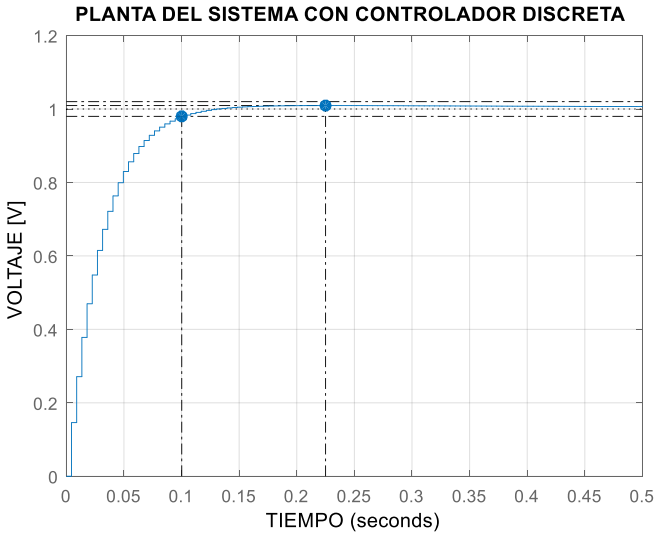


Figura 2.126. Respuesta ante una entrada paso en tiempo discreto para las señales de los sensores MAP, IAT, ECT, y MAF.

En la Figura 2.126 se observa la respuesta ante una entrada paso del sistema en tiempo discreto para las señales de los sensores MAP, IAT, ECT, y MAF. De la Ecuación 2.52 se parte para obtener la ley de control de la siguiente manera:

$$\frac{M(z^{-1})}{E(z^{-1})} = \frac{21 - 20{,}9z^{-1}}{1 - z^{-1}}$$

$$M(z^{-1}) - z^{-1}M(z^{-1}) = 21 * E(z^{-1}) - 20{,}9\, z^{-1} * E(z^{-1})$$

$$m(k) - m(k-1) = 21e(k) - 20{,}9\, e(k-1)$$

$$\boldsymbol{m(k) = 21e(k) - 20{,}9\, e(k-1) + m(k-1)}$$

Ecuación 2.53. Ley de control para las señales de los sensores MAP, IAT, ECT, y MAF.

Esta ley de control es utilizada en el algoritmo del software del sistema para generar las señales de los sensores MAP, IAT, ECT y MAF.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo de la ley de control.

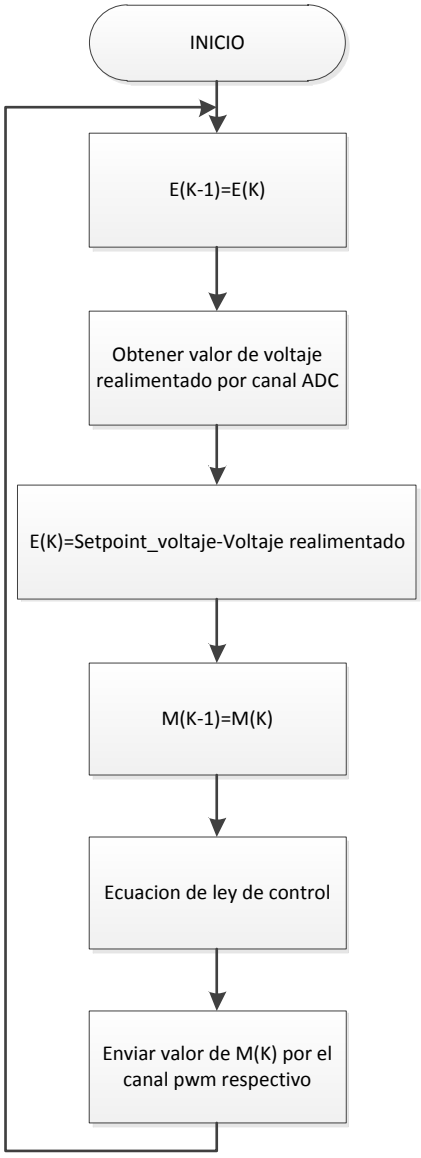


Figura 2.127. Diagrama de flujo de la ley de control.

Este diagrama de flujo es utilizado para cada una de las señales de los sensores (TPS (APP1), MAP, IAT, ECT, y MAF) utilizando la respectiva ley de control. Cuando la emulación de los sensores es habilitada por el usuario, el control PI de la señal del sensor empieza a funcionar. En el siguiente diagrama de flujo se puede observar los explicado.

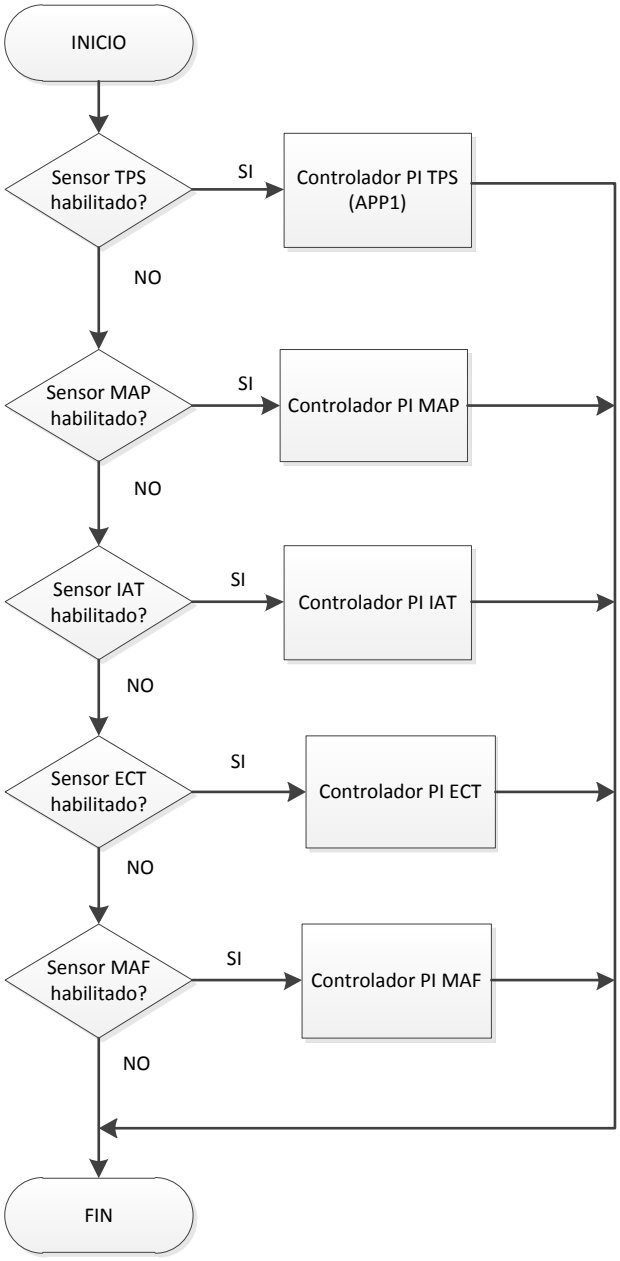


Figura 2.128. Diagrama de flujo para los controladores PI.

Una vez completado el diseño del software y hardware y realizado las pruebas de funcionamiento de cada una de las partes del sistema, se prosiguió con el diseño de las placas del sistema.

Nuevamente, cabe indicar que todas las señales emuladas de cada uno de los sensores fueron referenciadas con las curvas teóricas ideales de manuales técnicos y aprobadas por el técnico especialista.

Diseño y elaboración de las placas del sistema

En base al diagrama eléctrico que se encuentra en el Anexo III se diseñaron y construyeron dos placas principales:

La primera placa está conformada por el regulador de voltaje de 12 V a 5 V que alimenta el microcontrolador y la HMI, los filtros de las señales de los sensores TPS (APP1 y APP2), MAP, IAT, ECT y MAF, así como también el divisor de voltaje que sirve para conectar el transmisor de la HMI al receptor del microcontrolador. Los pines de conexión de la HMI (VCC (5 V), GND, RX, TX) se encuentran también en esta placa tal y como se observa en la Figura 2.129.

Figura 2.129. Pines de conexión para la HMI.

En la Figura 2.130 se muestran los 4 cables que conectan la HMI hacia esta placa.

Figura 2.130. Conexión de la HMI con la primera placa.

También se encuentra el diodo (3 A) que corresponde al circuito de protección que evita daños al conectar con la polaridad equivocada, y un fusible (1 A) que protege al sistema contra sobre-corrientes y corto circuitos. A continuación, en la Figura 2.131 se observa la primera placa.

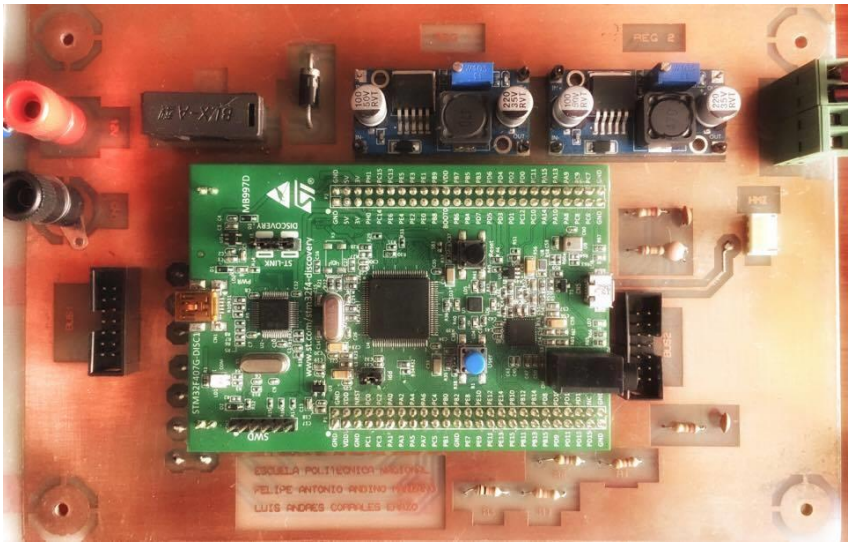


Figura 2.131. Primera placa (Anexo III).

La segunda placa contiene la etapa de acondicionamiento de las señales. Aquí se encuentran los amplificadores, el transistor utilizado para la emulación de la señal del sensor CKP, el trasformador de pulsos para la señal del sensor de detonación. La alimentación de 12 V para los amplificadores proviene de la placa anterior a través de borneras que se observan en la Figura 2.132.

Figura 2.132. Conexión de las borneras.

Los divisores de voltajes para las realimentaciones de las señales de los sensores TPS (APP1), MAP, IAT, ECT, y MAF también se encuentran en esta placa. Tanto las señales que provienen de la placa anterior como las realimentaciones que van hacia el microcontrolador son enviadas a través de buses de cables.

Figura 2.133. Conexión de los buses de cables.

En la Figura 2.133 se observa cómo se realiza la conexión de los buses de cables (BUS 1, y BUS 2) de la primera placa hacia la segunda placa.

Las señales emuladas van hacia las borneras respectivas (Figura 2.134) y a través de estas se conectan a la ECU del vehículo.

Figura 2.134. Borneras por las cuales se envían las señales finales emuladas.

A continuación, en la Figura 2.135 se muestra la placa mencionada.

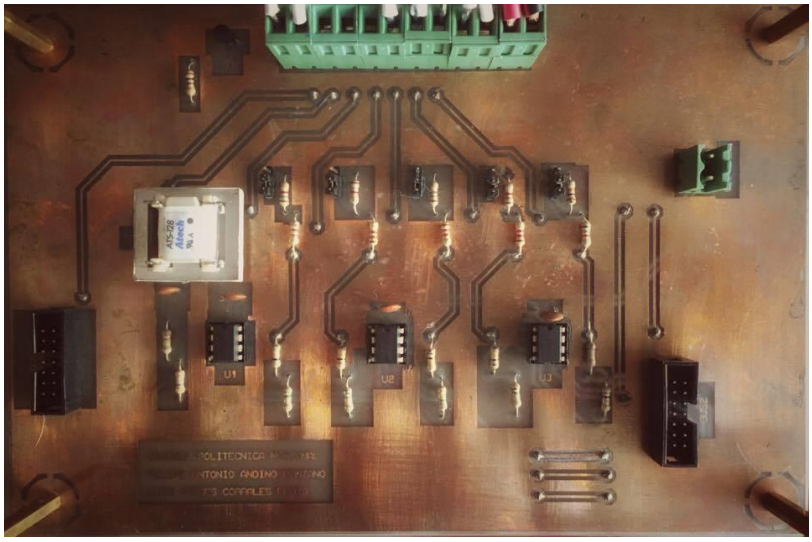


Figura 2.135. Segunda placa (Anexo III).

Una placa auxiliar contiene el circuito de protección contra sobre voltajes y sobre corrientes (Figura 2.136) correspondiente al circuito de la Figura 2.36 (pág. 68).

Figura 2.136. Placa del circuito de protección (Anexo III).

En la Figura 2.137 se observa la conexión de la placa del circuito de protección hacia la primera placa.

Figura 2.137. Conexión del circuito de protección hacia la primera placa.

Una placa adicional se construyó para albergar al circuito del cargador de la batería de 12 V (Figura 2.138).

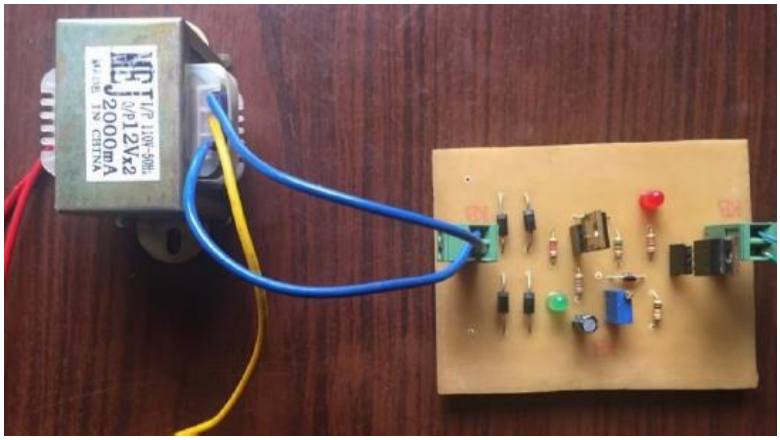


Figura 2.138. Placa del circuito del cargador de la batería de 12 V (Anexo III).

La última placa (Figura 2.139) corresponde al hardware para probar los actuadores (Figura 2.90, pág. 120).

Figura 2.139. Placa para probar actuadores (Anexo III).

Montaje total del sistema

Las dos primeras placas y la placa del circuito de protección se encuentran montadas en una caja metálica, distribuidas como se muestra en las figuras a continuación:

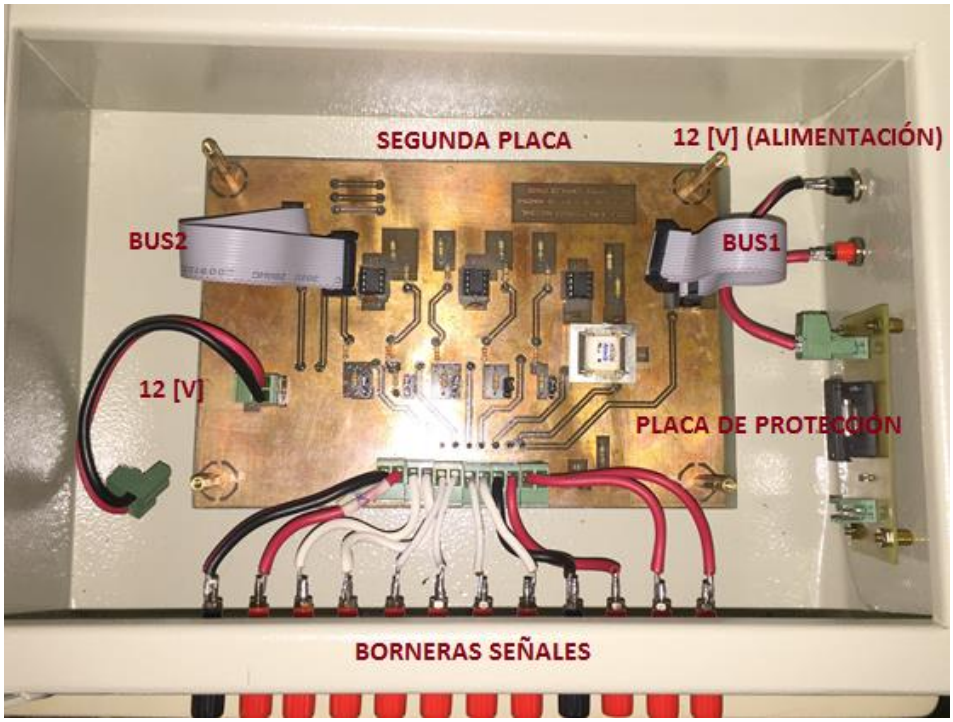


Figura 2.140. Montaje segunda placa y placa de protección.

Las borneras, a través de las cuales se envían las señales emuladas, se conectan por medio de cables hacia conectores “jack” banana hembra, los cuales se encuentran empotrados en la caja (Figura 2.140). También en la caja se encuentra el circuito de protección montado sobre el lado derecho de la caja. La primera placa se coloca sobre la segunda a través de postes metálicos tal y como se observa en la Figura 2.141.

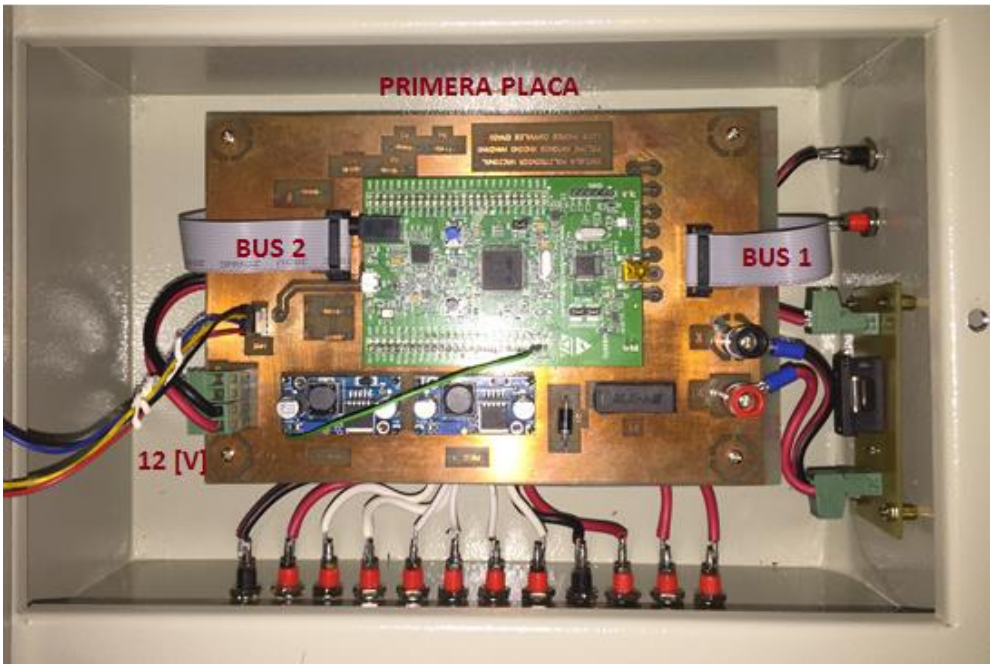


Figura 2.141. Montaje de la primera placa.

Finalmente se conecta la HMI en los respectivos pines de conexión y se la monta sobre la caja.

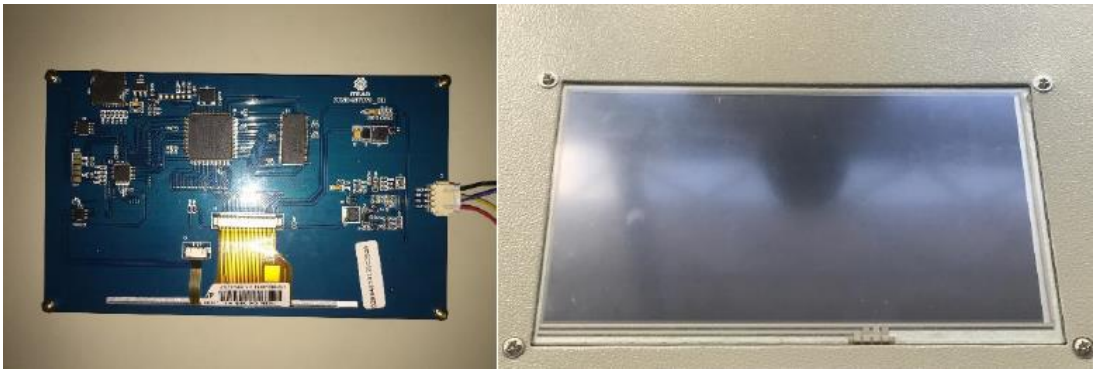


Figura 2.142. Montaje de la HMI sobre la caja.

Cabe mencionar que el sistema se encuentra aterrizado a la caja metálica. En la Figura 2.143 se observa el resultado final del montaje del banco de pruebas en la caja metálica.

Figura 2.143. Banco de pruebas.

La placa correspondiente al circuito del módulo para probar actuadores se lo montó dentro de una caja de plástico atornillada adecuadamente.

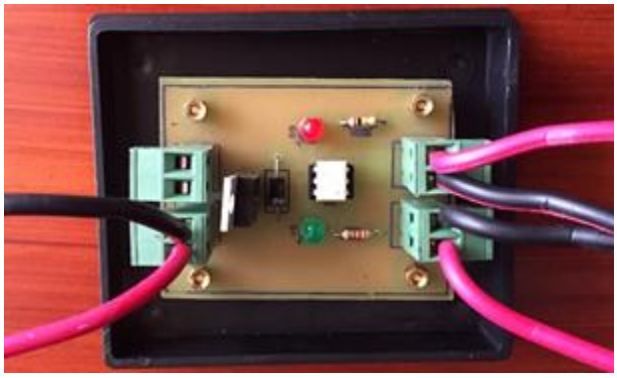


Figura 2.144. Montaje del hardware del módulo para probar actuadores.

En la Figura 2.145. se observa el resultado final del módulo para probar actuadores.

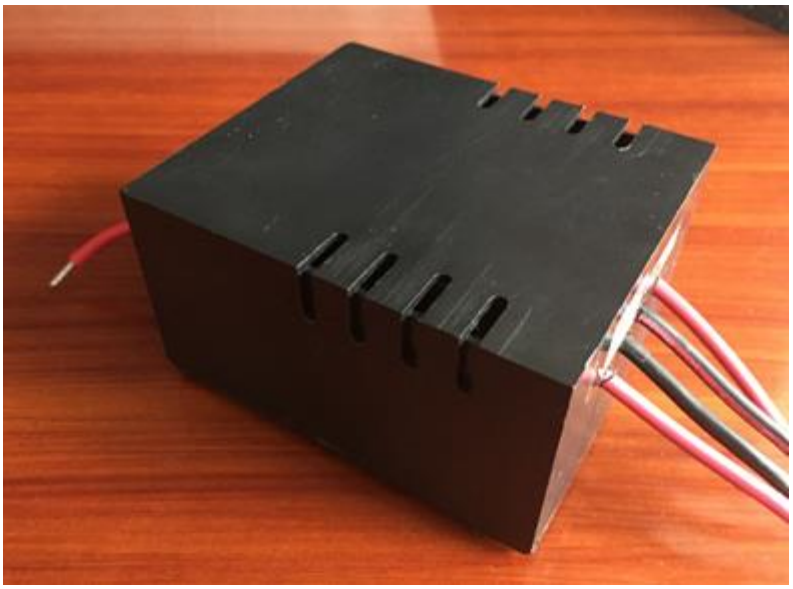


Figura 2.145. Módulo para probar actuadores.

Finalmente, el hardware para cargar la batería de 12 V junto con la misma se montó en una caja de plástico. En la Figura 2.146 se observa el montaje respectivo.

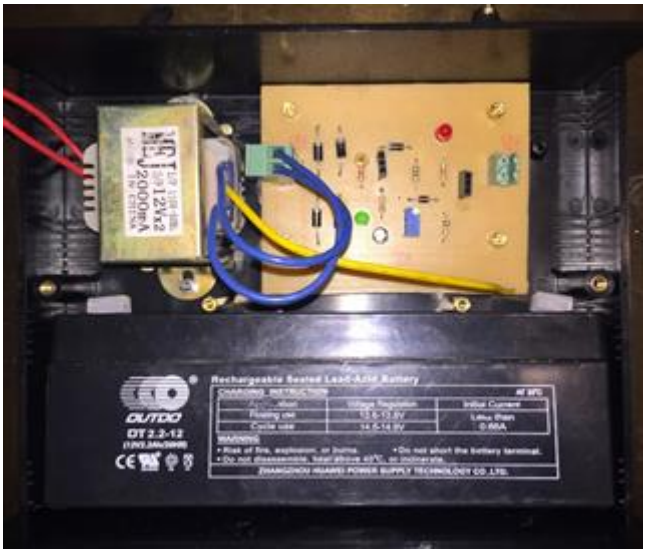


Figura 2.146. Montaje del hardware del cargador de la batería de plomo de 12 V.

En la Figura 2.147 se observa el resultado final de montaje del hardware del cargador de batería donde se muestra el cable de alimentación de 110 V y los conectores “Jack” que proporcionan los 12 V de la batería.

Figura 2.147. Cargador de batería 12 V.

En la Figura 2.148 se observa la conexión del banco de pruebas con el cargador de batería.

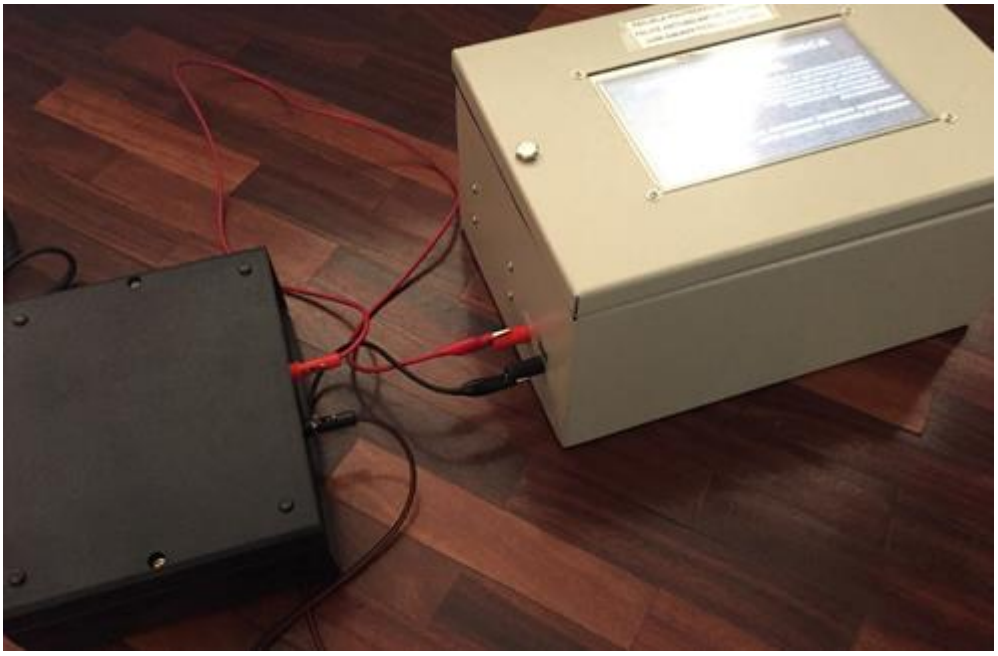


Figura 2.148. Alimentación del banco de pruebas por medio de la batería de 12 V.

Se debe recordar que, por petición del técnico especialista, la batería, junto con su circuito de carga, no se montó dentro de la caja del banco de pruebas de manera que el peso del mismo no afecte su maniobrabilidad cuando se emplee el emulador de forma real en el taller (Anexo V).

En este capítulo se ha explicado todo el proceso de diseño, desarrollo y construcción del banco de pruebas para cumplir con todos los objetivos y alcance propuestos. Se partió desde la obtención de cada una de las señales de los sensores sobre el vehículo de pruebas, luego se procedió a desarrollar y diseñar el software y hardware del sistema. Finalmente se realizó la construcción del mismo para poder iniciar con las pruebas finales sobre el vehículo.

Durante todo este proceso se tuvo el asesoramiento constante por parte del técnico especialista que da soporte a este proyecto, quien además aprobó cada una de las señales emuladas. En el capítulo siguiente se detallan las pruebas realizadas del banco de pruebas sobre el vehículo.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez concluido el diseño, desarrollo y construcción del sistema, concerniente a software y hardware; y realizadas pruebas exhaustivas por separado de cada una de las señales emuladas, con la intervención del técnico especialista que auspicia este proyecto, se realizaron las pruebas de todo el sistema en el motor del vehículo que se seleccionó para la comprobación (Volkswagen Gol 1.6 año 2012).

En el presente capítulo se detallan estas pruebas y los resultados obtenidos durante este proceso.

En la Figura 3.1. se observa el diagrama de conexión para el montaje de pruebas para la emulación de cada una de las señales en el motor del vehículo.

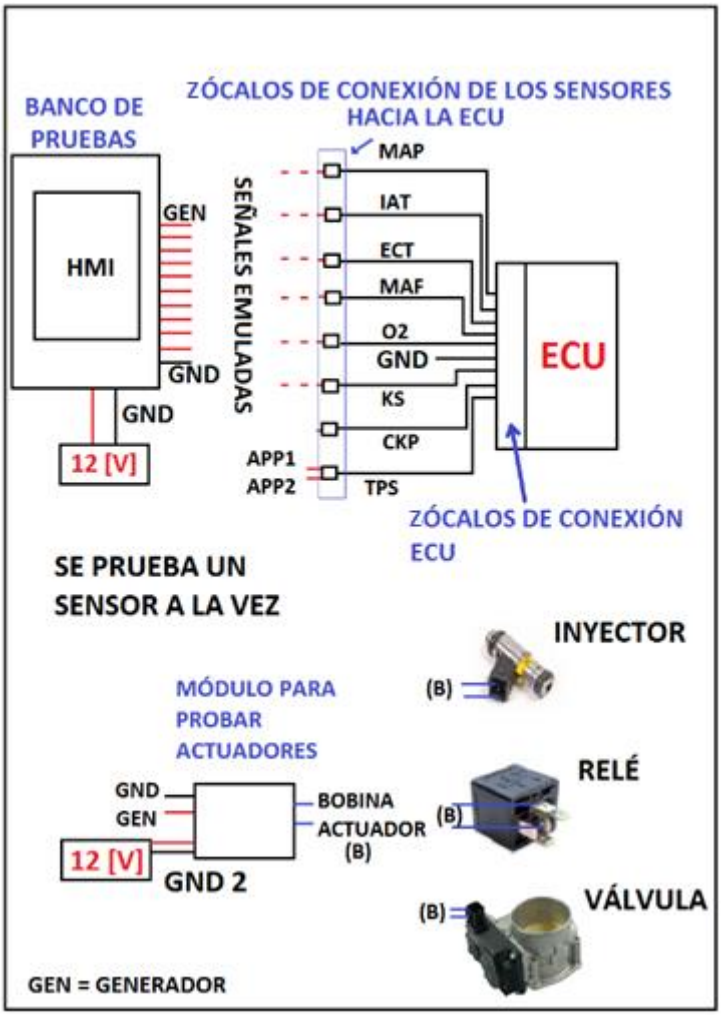


Figura 3.1. Diagrama de conexión de montaje para pruebas finales sobre el motor del vehículo.

3.1 PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Como objetivo de este trabajo se definió que el sistema debía ser alimentado desde una batería, por lo mismo, se optó por dos opciones de alimentación:

1. Una batería pequeña externa, pero de potencia adecuada.
2. La misma batería del vehículo, opción que el asesor automotriz de este proyecto consideró como la más adecuada y práctica.

Por lo mismo, se procedió a probar el equipo alimentándolo desde las dos alternativas.

Cuando se empleó la batería externa pequeña (una batería de 2,2 Amp/Hora) el equipo trabajó de forma consecutiva por aproximadamente 4 horas, demostrando así que la batería fue dimensionada correctamente.

Luego se procedió a alimentar el equipo con la batería del vehículo a probarse (30 Amp/Hora), básicamente para identificar si se presentaba algún tipo de interferencia una vez que el motor del vehículo se ponga en funcionamiento.

Figura 3.2. Batería del vehículo.

Una vez alimentado el sistema se procedió a iniciar el motor del vehículo, verificando la presencia de algún tipo de error al momento de iniciar el motor, sabiendo que durante el arranque se producen sobre-voltajes que son generados por la bobina de encendido. Así mismo, se buscó revisar si el ruido generado cuando el motor se encuentra funcionando, no ocasione un mal funcionamiento en el sistema. Con ambas alternativas de alimentación el equipo funcionó correctamente, lo cual validó el hecho de que durante el diseño se tomó

en cuenta esta probabilidad y se dimensionaron filtros que puedan disminuir el efecto de posibles interferencias o transitorios

A continuación, se procedió a conectar el sistema desarrollado de tal manera que se pueda emular las señales de los sensores del vehículo en prueba. Esto implicó, en términos generales, desconectar el sensor real y reemplazarlo por su respectivo emulador.

3.2 EMULACIÓN DEL SENSOR DE POSICIÓN DEL ACELERADOR (TPS)

En el Capítulo 2 se explicó que para este sensor se emulan dos señales (APP1 y APP2), cuyos voltajes aumentan para incrementar el porcentaje de apertura de la válvula de mariposa y lograr que el motor acelere. Se mencionó también que el aumento de voltaje de la señal APP1 con respecto a la señal APP2 es mayor y es importante que mantengan una cierta relación para que el motor pueda acelerar. De no ser así, la ECU no interpreta correctamente las señales e inmediatamente presenta un código de error. Así mismo, se explicó que el sistema debe entregar ciertos valores de voltaje iniciales emulando la situación cuando el motor está en ralentí.

Luego de desconectar el sensor que se encuentra en la parte posterior del pedal de aceleración, y conectar los pines respectivos del sistema hacia la ECU, tal como se muestra en la Figura 3.4, se procedió con la prueba.

Figura 3.3. Ubicación del sensor TPS.

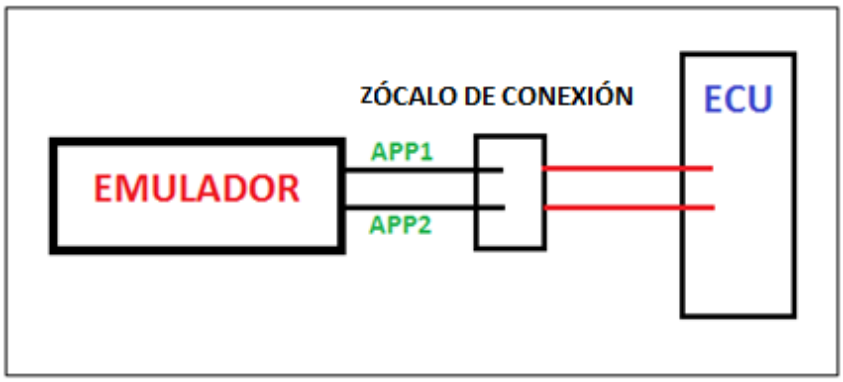


Figura 3.4. Conexión para la emulación de las señales APP1 y APP2.

Se comprobó primero que los voltajes iniciales sean los correctos antes de poner en marcha el motor. Comprobados los valores de voltaje, se procedió a iniciar el motor, emulando una aceleración desde la HMI del sistema. Al momento de incrementar el porcentaje a través de la HMI se pudo ver como la válvula de mariposa se abría y al disminuir el porcentaje se cerraba la válvula.

Figura 3.5. Válvula de mariposa cerrada.

Figura 3.6. Válvula de mariposa semiabierta.

Figura 3.7. Válvula de mariposa totalmente abierta.

Comprobado este paso se procedió a iniciar el motor y verificando si este aceleraba o desaceleraba, pero esta vez, comandado desde la HMI.

Al variar el porcentaje de apertura desde la HMI, el motor efectivamente aceleraba o desaceleraba, por lo tanto, demostrando que las señales emuladas eran correctas. Además, debe indicarse que durante estas pruebas el ruido y transitorios que típicamente se generan cuando un motor está en funcionamiento no alteraron las señales emuladas, corroborando el correcto diseño de las protecciones que se incluyeron al equipo.

Durante este proceso se hicieron también pruebas para ver el comportamiento que tenía el motor cuando se presenta una falla en el sensor. Por ejemplo, se desconectó una de las señales (APP1). Al emular el incremento de porcentaje a través de la HMI el motor no aceleraba, luego se volvió a conectar la señal y el motor volvió a acelerar y desacelerar normalmente. Lo mismo sucedió al desconectar la otra señal (APP2). Debe indicarse que, a pesar de que al volver a conectar de nuevo las señales y que el motor haya seguido funcionando normalmente, la ECU generó código de error.

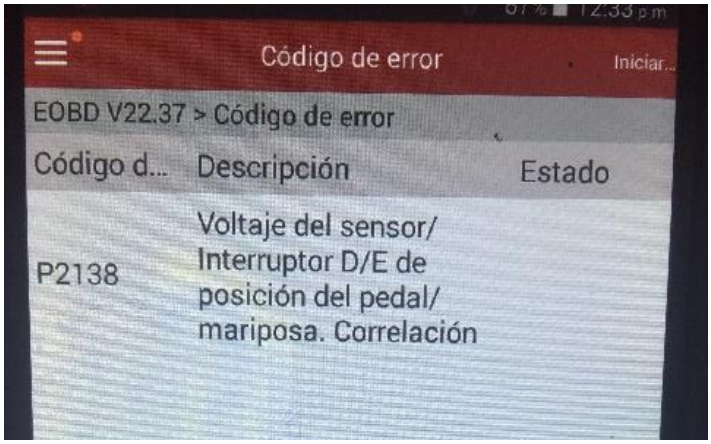


Figura 3.8. Código de error sensor TPS.

El código de error que se observa en la Figura 3.8 se produce cuando una de las dos señales o las dos han sido desconectas. Por lo tanto, se pudo comprobar la importancia de que las dos señales se encuentren conectadas y generando los voltajes apropiados.

El siguiente paso fue comprobar que los valores obtenidos de porcentaje de apertura de la válvula sean los correctos y mediante pruebas y calibraciones realizadas se obtuvieron los siguientes resultados que se observan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Valores de voltaje de las señales APP1 y APP2 del sensor TPS con respecto al porcentaje de apertura de la válvula de mariposa.

VALORES OBTENIDOS SENSOR TPS				
% SISTEMA	**% ESCÁNER**	**APP1 V**	**APP2 V**	**Error %**
5	4,91	1,1	0,61	1,83%
10	9,8	1,71	0,71	2,04%
20	20,6	2,32	1,22	2,91%
30	29,2	2,67	1,4	2,74%
40	39,7	2,92	1,52	0,76%
50	49,8	3,12	1,62	0,40%
60	58,3	3,28	1,7	2,92%
70	68,6	3,41	1,77	2,04%
80	79,2	3,53	1,83	1,01%
90	91,2	3,55	1,84	1,32%
			Error Promedio	1,80%

Con los valores de la Tabla 3.1 se obtuvo un error porcentual promedio de 1,8 %, margen de error aceptado por el técnico especialista.

Esto permitió, por otro lado, resaltar la importancia de contar con un emulador en software en vez de uno totalmente en hardware. Cuando se deben introducir modificaciones, en un sistema basado en software, estas pueden ser realizadas rápidamente. Si se hubiese tenido que modificar una parte del hardware, esto habría tomado más tiempo y aumentado el costo de desarrollo de la solución.

Para la comprobación del resto de sensores, se siguió un procedimiento, similar al descrito.

3.3 EMULACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN ABSOLUTA DEL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN (MAP)

Desconectando el sensor del vehículo se conectó el respectivo cable del sistema que envía la señal emulada a la ECU. El sensor MAP se encuentra en el conducto de admisión del motor.

Figura 3.9. Ubicación del sensor MAP.

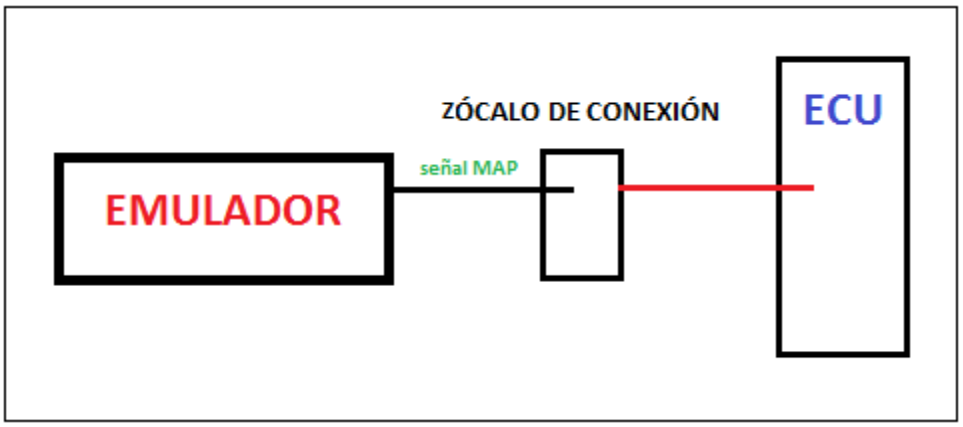


Figura 3.10. Conexión para la emulación de la señal del sensor MAP.

Una vez conectado el sistema, se procedió a iniciar el motor. Recordemos que el sistema envía una señal inicial de 1 V que corresponden a 24 kPa.

Al iniciar el motor, la ECU no interpretó correctamente la señal. Esto se debió a que el sensor MAP (real) envía una señal de voltaje correspondiente a 77 kPa (presión

atmosférica en Quito) al instante de iniciar el motor y luego esta presión baja a 24 kPa debido al vacío generado por los pistones. Como el sistema envía una señal de 1 V (24 kPa), al momento del inicio, la ECU nunca recibió el valor de 77 kPa y, por lo tanto, interpretó lo ocurrido como un error.

Para lograr emular una señal que la ECU interprete la misma como si fuese la señal real que viene desde el sensor, al momento de iniciar el motor el sistema debe enviar el voltaje respectivo a 77 kPa, lo cual se corrigió. Luego, manualmente, por medio de la HMI, se disminuyó la presión hasta un valor de 24 kPa. Realizando este procedimiento la ECU interpretó correctamente la señal y se pudo seguir con el resto de pruebas de este sensor.

Se procedió luego a desconectar la señal del sensor MAP. Al hacerlo, el escáner muestra un código de error debido a que al desconectar el sensor MAP se desconecta también el sensor IAT. En la Figura 3.11 se observa una fotografía del código de error.

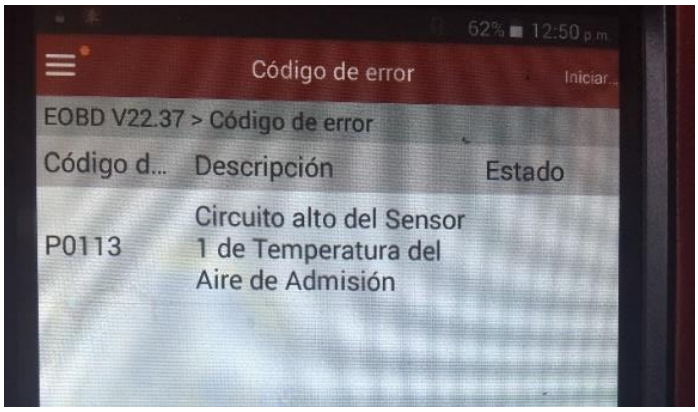


Figura 3.11. Error que se presenta al desconectar el sensor MAP/IAT.

Como se logró que la ECU interprete la señal correctamente, se procedió a verificar si los valores de presión que envía el sistema son los mismos que muestra el escáner automotriz. En la siguiente tabla se observan los valores obtenidos.

Tabla 3.2. Valores de presión obtenidos.

MAP		
EMULADOR	**ESCÁNER**	**ERROR %**
Presión kPa	**Presión kPa**	
20	21	4,76%
30	30	0,00%
40	40	0,00%
50	50	0,00%
60	60	0,00%
70	70	0,00%
80	80	0,00%
90	90	0,00%
100	99	1,01%
110	109	0,92%
	Error Promedio	0,67%

Se obtuvo un error promedio de 0,67%. Por lo tanto, se comprobó que la ecuación utilizada en el software del sistema es correcta sin requerir ningún ajuste adicional. Durante la verificación de estos valores, conforme se iba variando la presión se observó los diferentes comportamientos del vehículo.

Cuando la ECU recibe un voltaje correspondiente a una presión menor a 24 kPa, el motor deja de funcionar por falta de aire en la cámara de combustión. Cuando el emulador provoca el incremento de presión de hasta 80 kPa, el inyector suministra más combustible provocando el ahogo del motor y su detención.

En la segunda y siguientes pruebas se realizaron los mismos procedimientos de verificación de valores, mismos que se mantuvieron, además, se pudo observar que a partir de 60 kPa el motor empieza a vibrar y al seguir aumentando la presión, la vibración aumenta hasta que finalmente se “ahoga” y se detiene el motor. El asesor señaló que ese es exactamente el comportamiento que se espera del motor, con respecto a este sensor.

3.4 EMULACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DEL AIRE DE ADMISIÓN (IAT)

Nuevamente, se desconectó el sensor real y se conectó el cable del emulador respectivo.

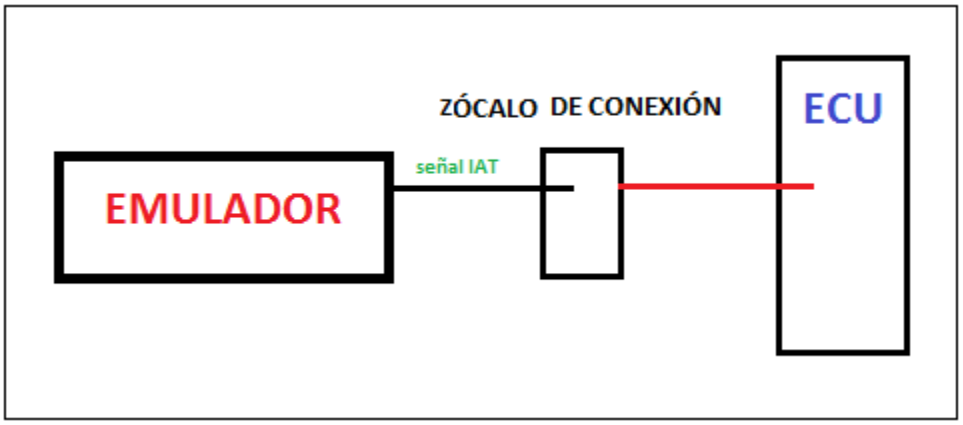


Figura 3.12. Conexión para la emulación de la señal del sensor IAT.

Con el sistema eléctrico del motor <en contacto> se procedió a verificar los valores de temperatura emulados con los del escáner. Se realizaron varias pruebas, y mediante calibraciones se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3.3. Valores de temperatura obtenidos.

IAT		
TEMPERATURA °C		ERROR %
EMULADOR	ESCÁNER	
0	0	0,00%
10	11	9,09%
20	21	4,76%
30	32	6,25%
40	41	2,44%
50	52	3,85%
60	60	0,00%
70	71	1,41%
77	78	1,28%
	Error Promedio	3,23%

Con los valores de la Tabla 3.3 se obtuvo un error promedio de 3,23% el cual fue aprobado y aceptado por el técnico especialista.

También durante las pruebas de este sensor se probó la señal con el motor en marcha para observar su comportamiento. Al variar la temperatura el motor no presentó ningún comportamiento inusual. En la Figura 3.13 se observa la variación de temperatura emulada para este sensor a través del escáner automotriz.

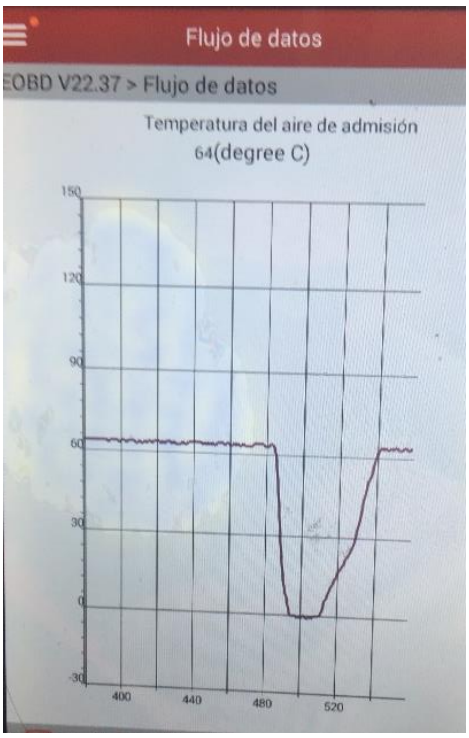


Figura 3.13. Variación de temperatura obtenida a través del emulador.

Con estas pruebas se verificó la correcta emulación para este sensor.

3.5 EMULACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR (ECT)

Igualmente, se desconectó el sensor real y se conectó el cable correspondiente del emulador.

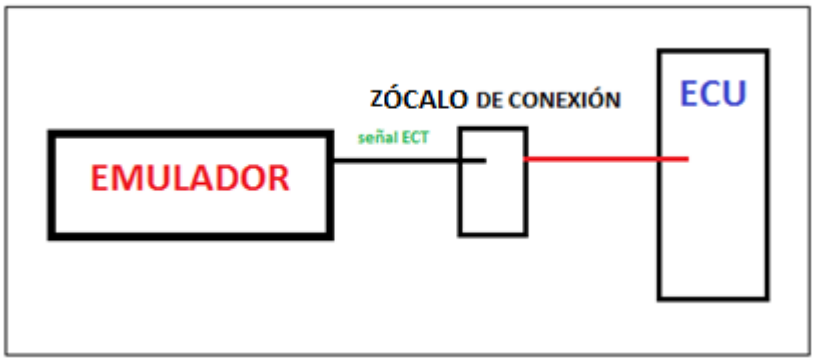


Figura 3.14. Conexión para la emulación de la señal del sensor ECT.

Realizado esto, se procedió a obtener los valores de temperatura del escáner para compararlos con los valores del emulador.

Tabla 3.4. Valores de temperatura obtenidos.

ECT			
TEMPERATURA °C		VOLTAJE V	ERROR %
EMULADOR	ESCÁNER		
0	0	3,27	0,00%
10	11	2,78	9,09%
20	21	2,33	4,76%
30	30	1,92	0,00%
40	39	1,55	2,56%
50	49	1,22	2,04%
60	59	0,94	1,69%
70	70	0,69	0,00%
80	81	0,48	1,23%
90	91	0,31	1,10%
95	95	0,24	0,00%
		Error Promedio	2,04%

Como se puede observar, se obtuvo un error cuantificado de 2,04 %, el cual fue aprobado y aceptado por el técnico especialista.

En una prueba adicional se verificó el funcionamiento del ventilador que debe accionarse a una determinada temperatura. A una temperatura de 90°C se acciona el ventilador. A valores menores de 90 °C se vuelve a apagar el ventilador, tal como se especifica en el manual técnico del vehículo, lo que comprobó la correcta emulación del sensor ECT.

3.6 EMULACIÓN DEL SENSOR DE OXÍGENO, O2

Se desconectó el sensor y se conectó el cable respectivo del emulador. Una vez conectado, se inició el motor.

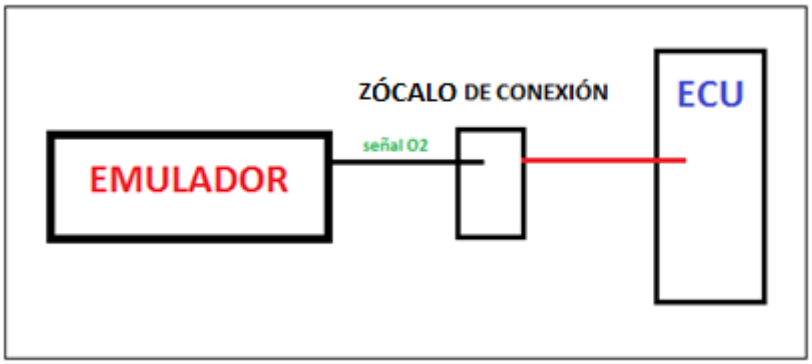


Figura 3.15. Conexión para la emulación del sensor de oxígeno.

Primero se probó la señal en modo automático, la cual, como se había explicado en el Capítulo 2, genera una señal oscilante entre 0,11 V y 0,73 V.

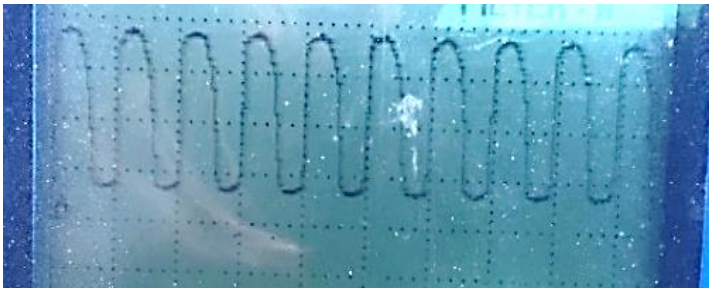


Figura 3.16. Señal oscilante emulada del sensor de oxígeno (modo automático).

Al emular la señal oscilante el motor empezó a vibrar debido a la descompensación de la relación aire-combustible debido al voltaje provocado por el emulador. Cuando el voltaje se incrementa quiere decir que la mezcla de aire-combustible es “rica” por lo tanto la compensación de combustible es menor. Cuando el voltaje disminuye quiere decir que la mezcla de aire-combustible es “pobre” y la compensación de combustible es mayor.

Una vez probada la señal en modo automático se hicieron pruebas con el modo manual. Aquí se tomaron los valores de voltaje que se mostraban en el escáner para compararlos con los del emulador. En la Tabla 3.5 se observan los valores.

Tabla 3.5. Valores de voltaje obtenidos.

SENSOR DE OXÍGENO		
VOLTAJE V		ERROR %
EMULADOR	ESCÁNER	
0,1	0,1	0,00%
0,2	0,21	4,76%
0,3	0,3	0,00%
0,4	0,41	2,44%
0,5	0,51	1,96%
0,6	0,61	1,64%
0,7	0,71	1,41%
0,8	0,8	0,00%
0,9	0,89	1,12%
1	0,99	1,01%
	Error Promedio	1,43%

El error es de 1,43%. Este error fue igualmente aprobado y aceptado por el técnico especialista.

Durante la prueba del modo manual se observó el comportamiento del motor cuando se variaba el voltaje de la señal. Entre los valores de 0,4 V y 0,6 V el motor se mantiene estable y no provoca vibración. Esto quiere decir que la relación aire-combustible se mantiene constante. Cuando se disminuye el voltaje a valores menores a 0,4 V el sistema incrementa la relación combustible, mientras que cuando se aumenta el voltaje a valores mayores a 0,6 V el sistema disminuye la relación combustible. En las siguientes Figuras se observa la relación entre el voltaje emulado y la compensación de combustible del vehículo, demostrando la validez de esta emulación.

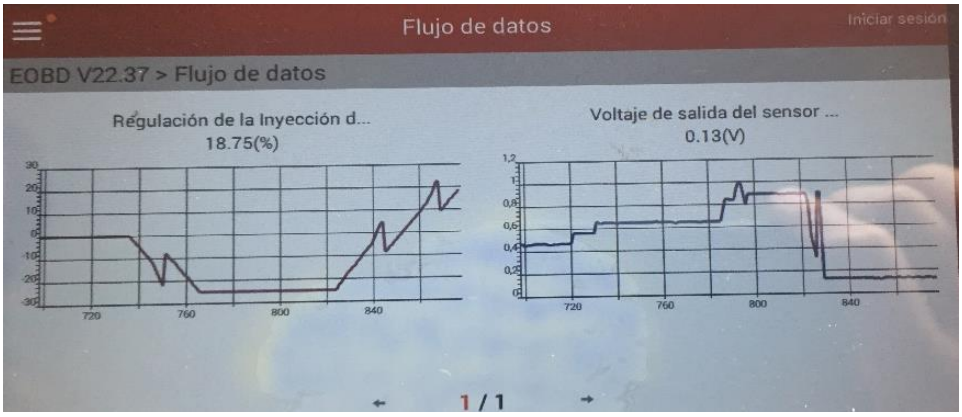


Figura 3.17. Compensación de gasolina con respecto al voltaje emulado del sensor de oxígeno.

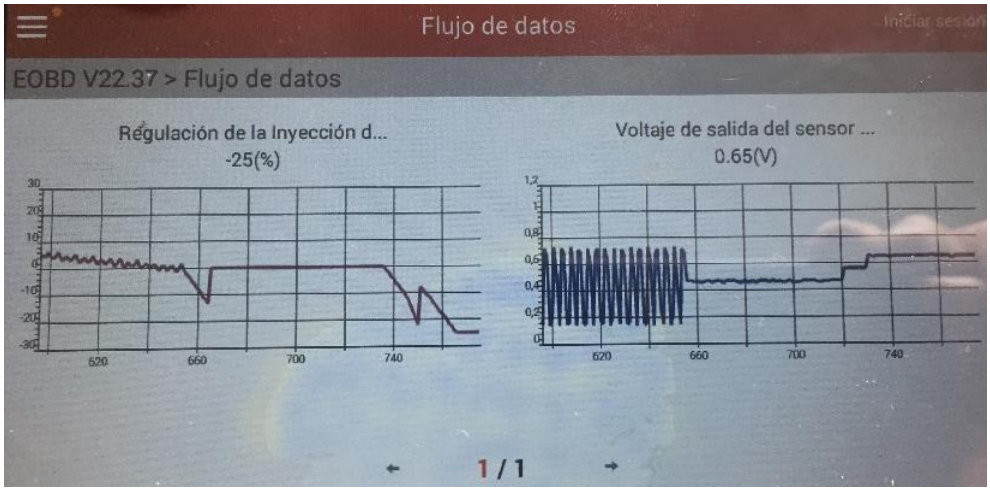


Figura 3.18. Compensación de gasolina con respecto al voltaje emulado del sensor de oxígeno.

3.7 EMULACIÓN DEL SENSOR DE POSICIÓN DEL CIGÜEÑAL (CKP)

Para la emulación de este sensor primero se desconectó el fusible correspondiente al relé que acciona la bomba de combustible, de esta manera, se evita que se inyecte gasolina cuando se emule la señal de este sensor.

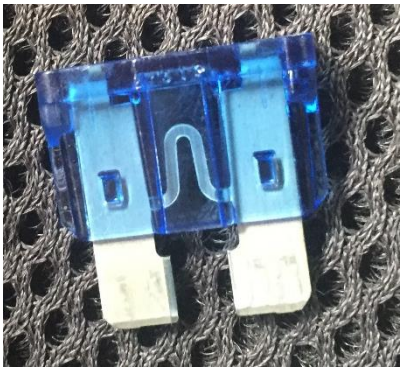


Figura 3.19. Fusible correspondiente al relé de la bomba de combustible.

Luego se prosigue a desconectar el sensor y se conecta el respectivo cable del emulador.

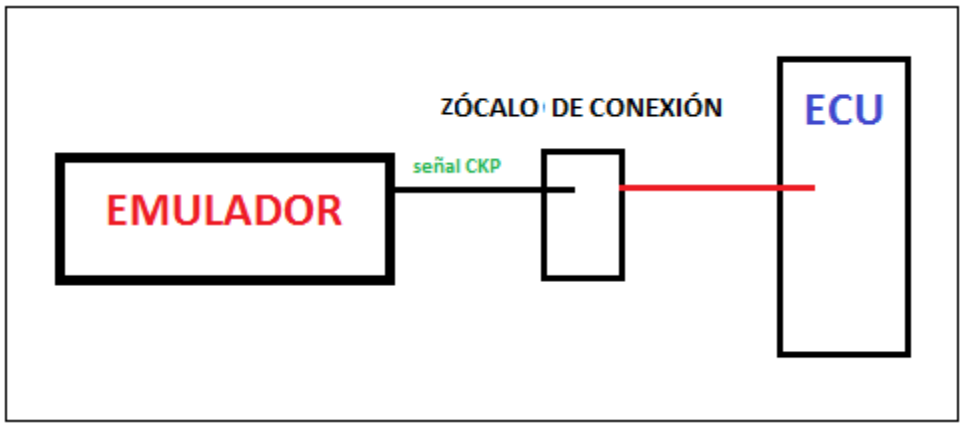


Figura 3.20. Conexión para la emulación del sensor CKP.

Esta vez, se inició la prueba con el sistema eléctrico del motor “<en contacto>”. Cuando la ECU recibió la señal, esta accionó los inyectores, los cuales empezaron a conmutar de forma sincronizada (razón por la cual es importante desconectar el relé de bomba de combustible).

Al aumentar la frecuencia de la señal se pudo observar que los inyectores empiezan a conmutar más rápido, pero al enviar una señal con una frecuencia mayor a 2000 Hz (2000 RPM) la ECU dejó de accionar los inyectores. En este caso, la ECU interpretó como error ya que detecta como si estuviera girando el cigüeñal sin que el resto del sistema mecánico esté funcionando e inmediatamente los inyectores dejan de accionar. De esta manera se comprobó que en un sistema de inyección de combustible es importante la sincronización mecánica de todos sus componentes. La señal de este sensor no puede ser emulada con el vehículo encendido ya que varios componentes mecánicos trabajan en conjunto, como es el caso del cigüeñal, demostrando así la importancia de este sensor.

Los resultados fueron los esperados en cuanto a la emulación de este sensor, pero se requirió de un ajuste por software en cuanto a la relación entre la frecuencia de la señal y las RPM del motor que, en el Capítulo 2, se había mencionado que era de 1,03. Según las pruebas la frecuencia de la señal es igual a las RPM del motor. Esto se pudo comprobar mediante el escáner automotriz.

En la Figura 3.21 y 3.22 se observan fotografías de la señal del sensor CKP emulada durante la primera prueba.

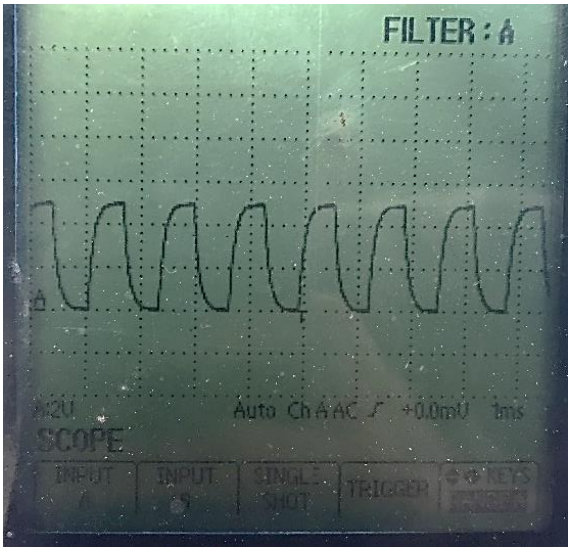


Figura 3.21. Emulación de la señal del sensor CKP conectada en el vehículo.

Figura 3.22. Emulación de la señal del sensor CKP (58 pulsos).

En la Figura 3.22 se puede apreciar los 58 pulsos de la señal emulada y también el espacio correspondiente a los dientes faltantes de la rueda fónica del cigüeñal.

3.8 EMULACIÓN DEL SENSOR DE DETONACIÓN (KNOCK SENSOR)

Al igual que en los otros sensores se debe desconectar este sensor y conectar el respectivo cable del emulador.

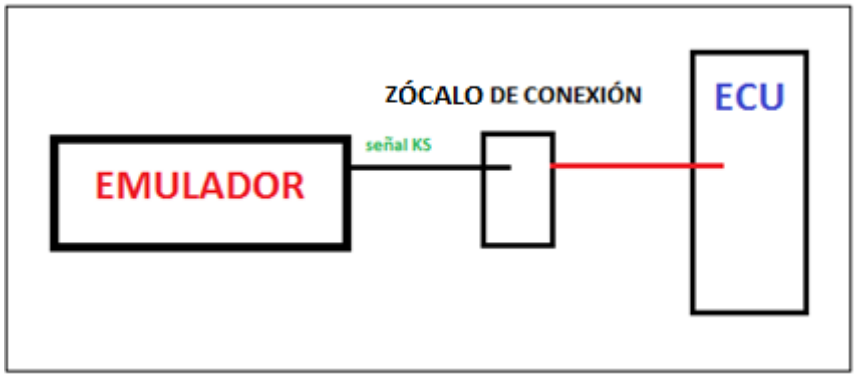


Figura 3.23. Conexión para la emulación del sensor de detonación

Al enviar la señal de este sensor el comportamiento del motor fue normal. Así mismo al emular la perturbación de la señal no hubo ningún comportamiento inusual. Esto quiere decir que la ECU no interpreta ninguna clase de falla al haber una perturbación del motor e incluso el escáner no presentó ningún código de error. Este aspecto ya depende del fabricante del vehículo. Por lo tanto, esta prueba se limitó a verificar que se envíe la señal correcta.

Señal sin perturbación:

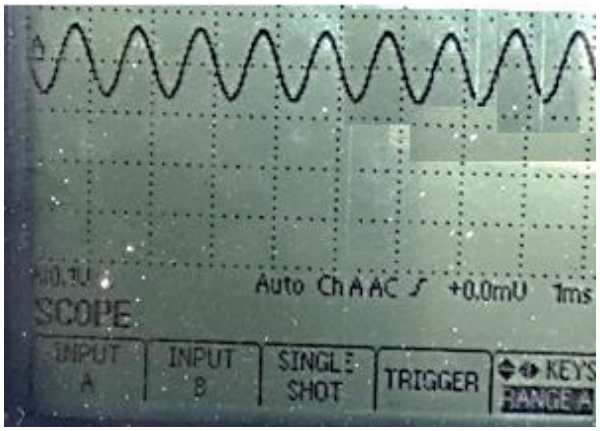


Figura 3.24. Señal emulada para el sensor de detonación conectada al vehículo (sin perturbación).

Señal con perturbación:

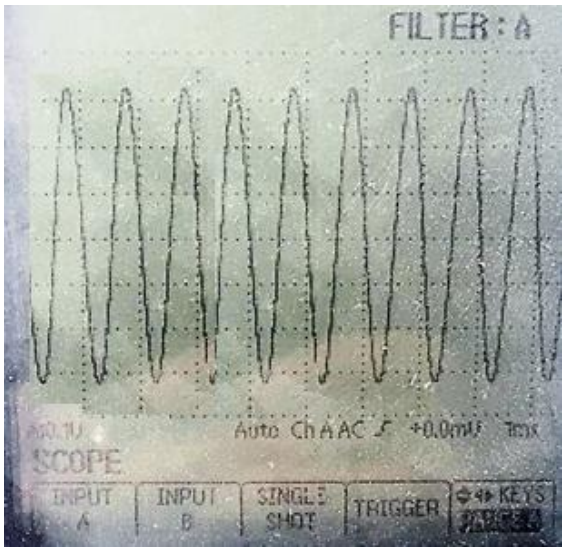


Figura 3.25. Señal emulada para el sensor de detonación conectada al vehículo (con perturbación).

La señal fue analizada y aprobada por el técnico especialista.

3.9 EMULACIÓN DEL SENSOR DE MASA DE AIRE (MAF)

El vehículo de pruebas de este proyecto no posee este sensor como se había explicado, sin embargo, el técnico especialista aprobó la señal emulada la cual puede ser utilizada en otros vehículos que posean este sensor. En la Figura 3.26 se muestra un ejemplo de esta señal.

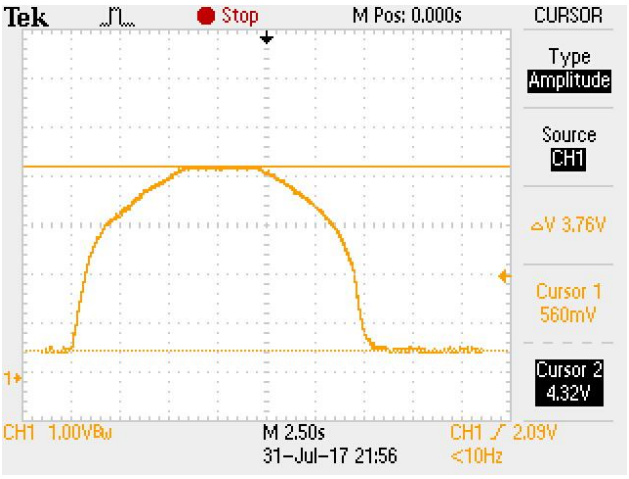


Figura 3.26. Señal emulada del sensor MAF.

3.10 EMULACIÓN DEL GENERADOR DE PULSOS PARA PROBAR ACTUADORES

El objetivo de estas pruebas fue probar el correcto funcionamiento de diferentes actuadores mediante los pulsos enviados por el emulador y el circuito de soporte diseñado y construido para llegar a los niveles de voltaje y corriente que necesitan los actuadores.

Los actuadores probados fueron:

- Inyectores.
- Relés.
- Válvulas de mariposa del cuerpo de aceleración.

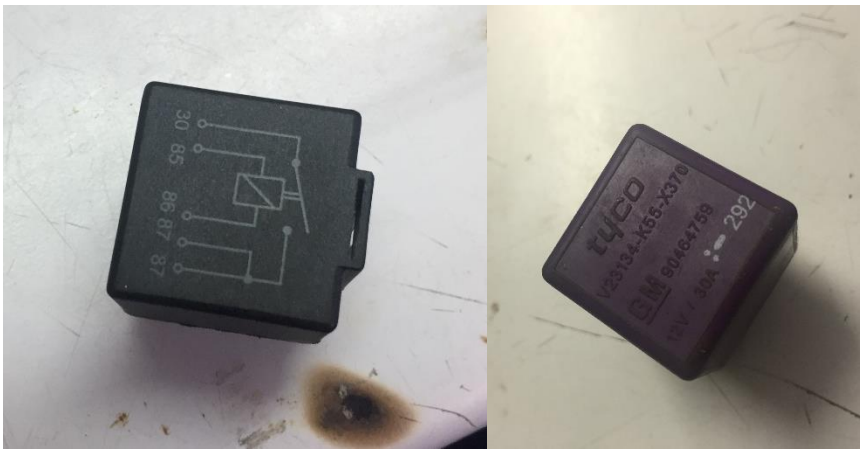


Figura 3.27. Relés automotrices.

Figura 3.28. Inyectores.

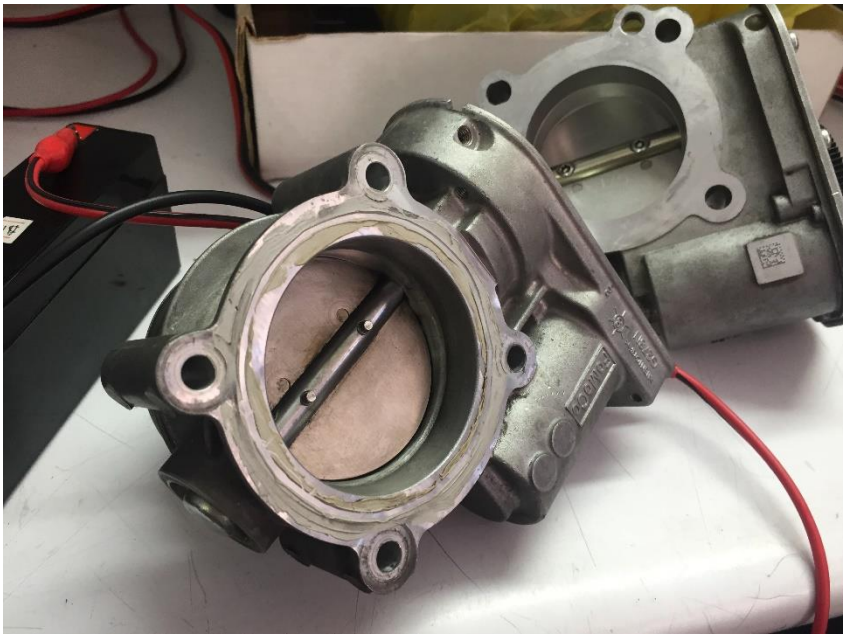


Figura 3.29. Válvulas de mariposa del cuerpo de aceleración.

La mayoría de actuadores están compuestos de bobinas que, al circular corriente por las mismas, conmutan para así realizar una función específica en el motor.

En la Figura 3.30 se muestra la conexión del módulo para probar los actuadores con el banco de pruebas.

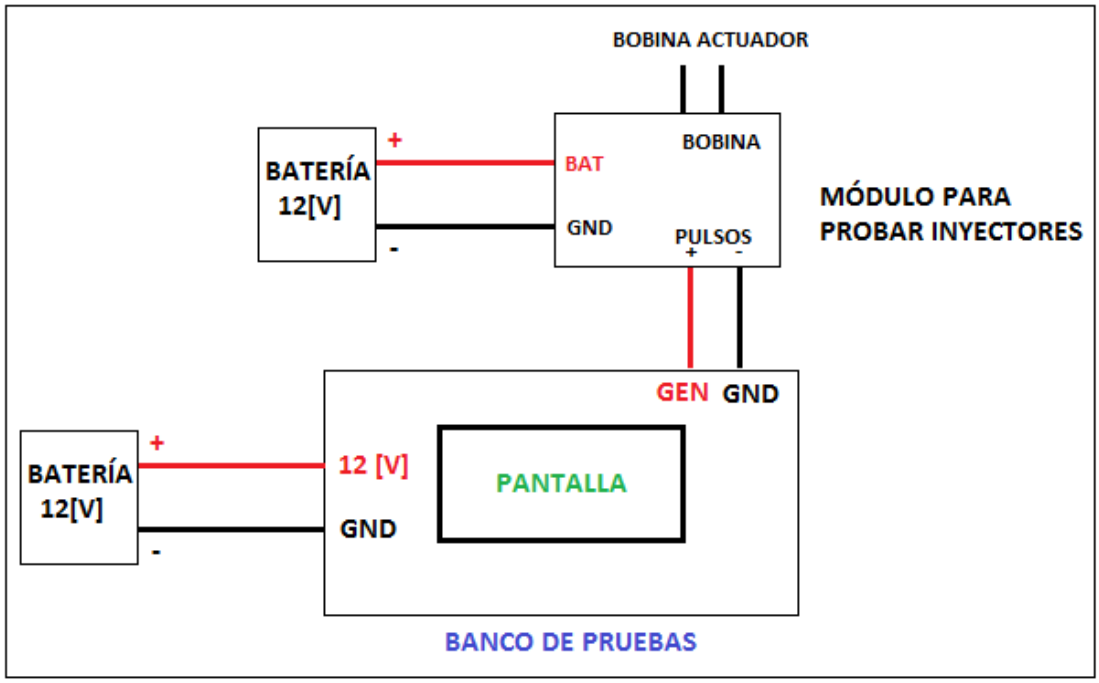


Figura 3.30. Conexión del sistema emulador para probar los actuadores.

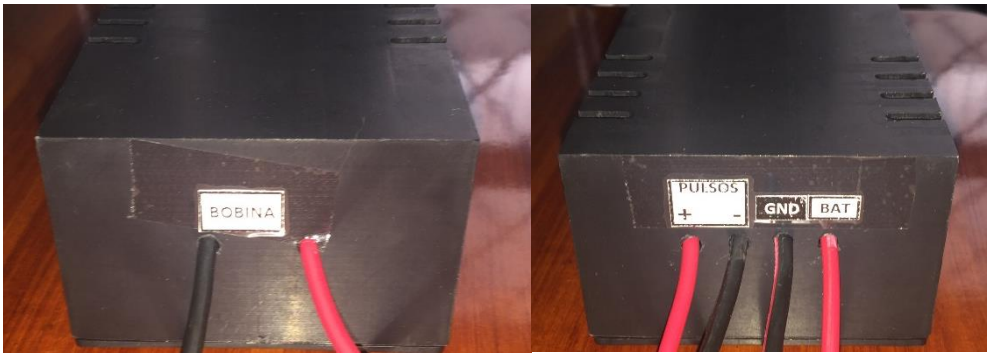


Figura 3.31. Módulo para probar actuadores.

A continuación, se muestra las señales de voltaje obtenidas entre los extremos de la bobina de cada actuador.

Inyectores:

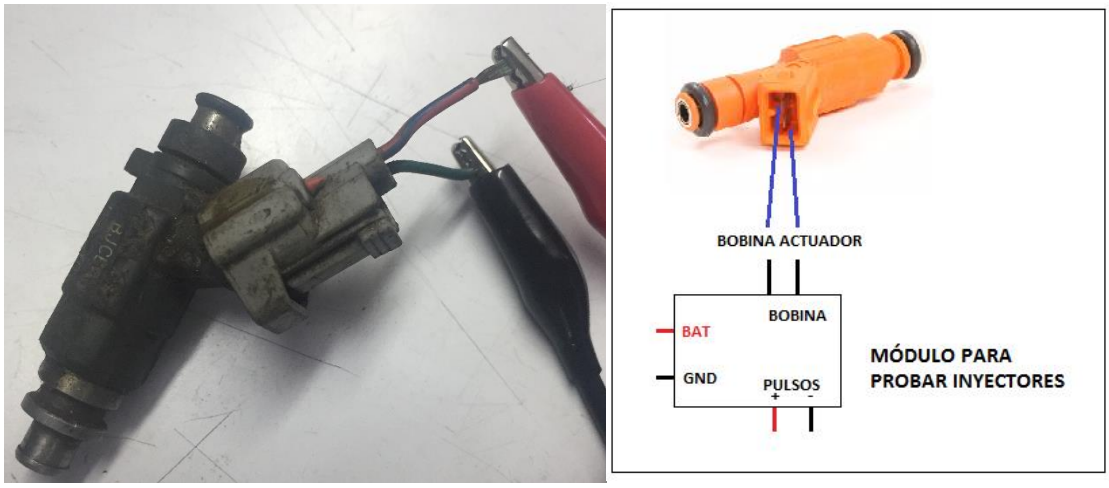


Figura 3.32. Conexión del inyector con el módulo.

En la Figura 3.32 se observa la forma de conexión del inyector con el módulo.

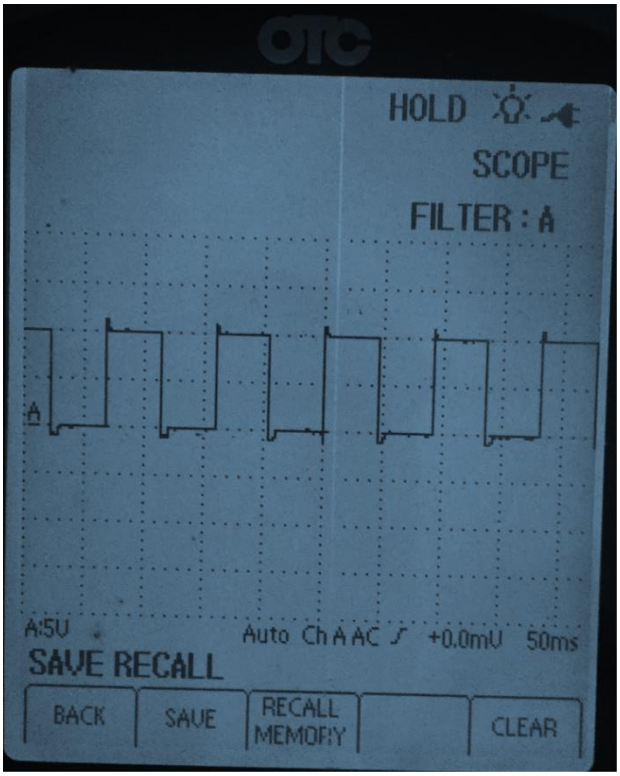


Figura 3.33. Señal en los extremos de la bobina del inyector.

En la Figura 3.33 se observa la señal de voltaje medida en los extremos de la bobina del inyector.

Relé automotriz:

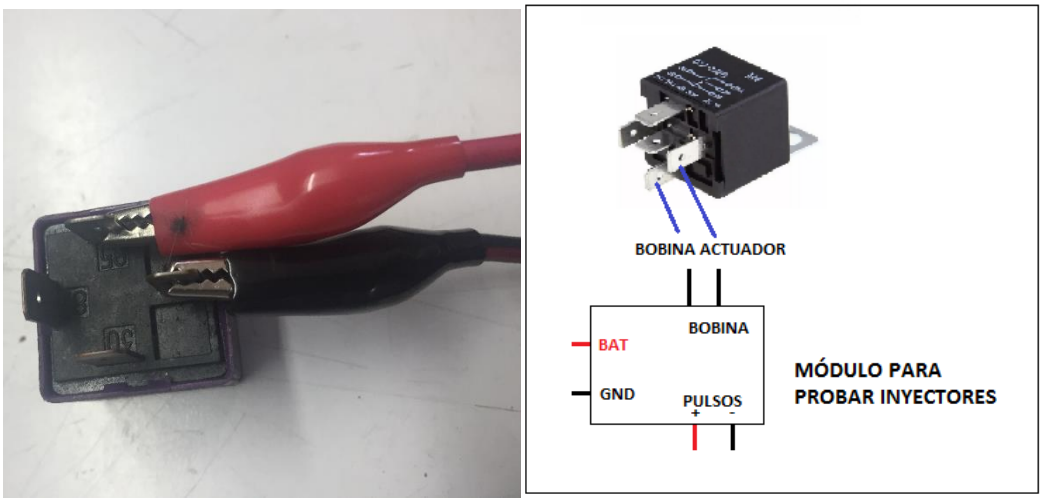


Figura 3.34. Conexión del relé automotriz con el módulo.

En la Figura 3.34 se observa la conexión de la bobina del relé automotriz con el módulo.

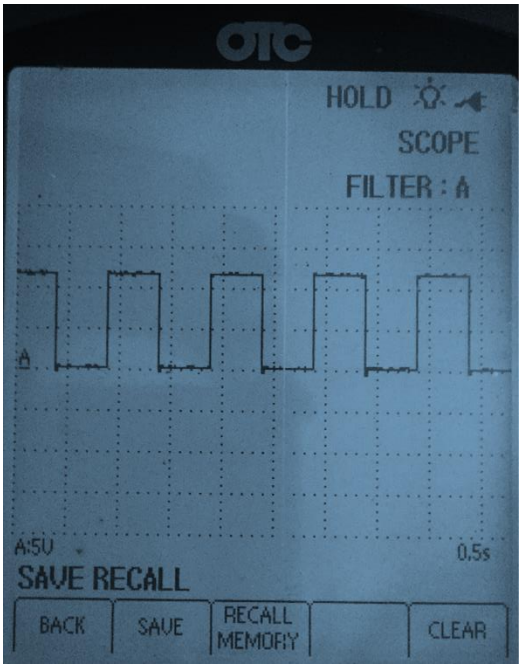


Figura 3.35. Señal en los extremos de la bobina del relé automotriz.

En la Figura 3.35 se observa la señal de voltaje obtenida entre los extremos de la bobina del relé.

Válvula de mariposa del cuerpo de aceleración:

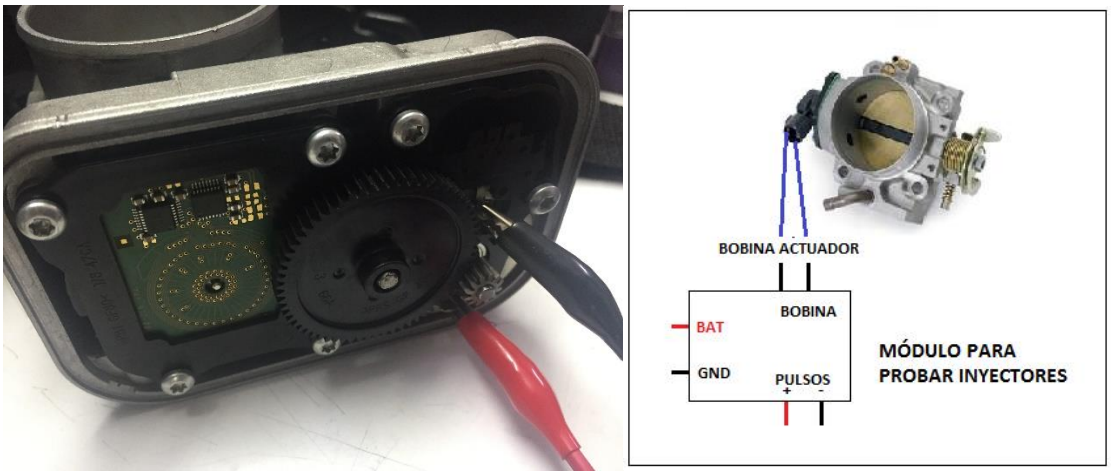


Figura 3.36. Conexión de la válvula de mariposa con el módulo.

En la Figura 3.36 se observa la conexión de la válvula del cuerpo de aceleración con el módulo.

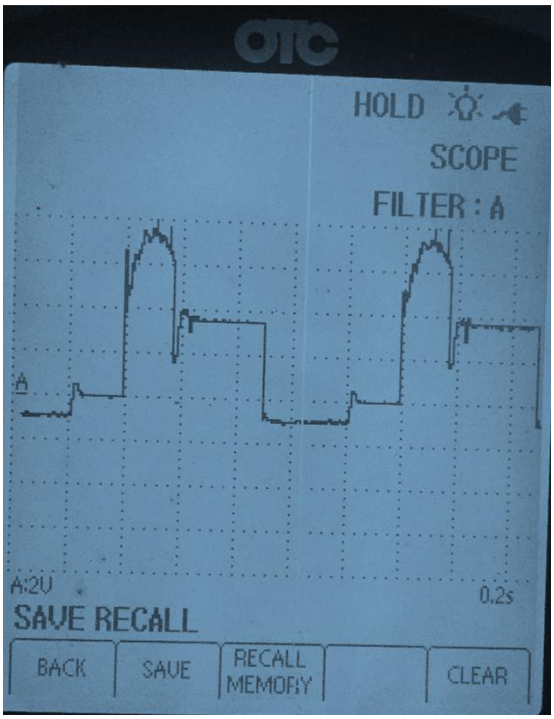


Figura 3.37. Señal en los extremos de la bobina del motor DC de la válvula de mariposa.

En la Figura 3.37 se observa la señal medida en los extremos de la bobina del motor de DC que acciona la válvula de mariposa del cuerpo de aceleración. Por lo tanto, durante estas pruebas se pudo comprobar el correcto funcionamiento del circuito diseñado, puesto que manejó con solvencia los actuadores siguientes: inyectores, relés, y las válvulas de mariposa del cuerpo de aceleración.

En resumen, las pruebas realizadas y aquí descritas permitieron comprobar el correcto funcionamiento del banco de pruebas, el cual también mostró su robustez ante los transitorios y ruido que se presentan durante el funcionamiento del motor. Se pudo comprobar cada una de las señales emuladas en el motor de lo cual se resumen los siguientes resultados:

- Sensor de posición del acelerador (TPS, throotle position sensor, o APP, accelerator pedal position): la emulación de las señales de este sensor demostró

poder abrir y cerrar la válvula de mariposa con el sistema eléctrico del motor <en contacto>. Con el motor en marcha se lo pudo acelerar y desacelerar.

- Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP, manifold absolute pressure): al probar la emulación de este sensor se observó que al emular la variación de presión el motor varía la cantidad de combustible por inyectar.

- Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT, intake air temperature): durante las pruebas de la emulación de la señal de este sensor se verificó que los valores emulados de temperatura eran correctos comparándolos con los del escáner automotriz, comprobándose así la correcta emulación de este sensor.

- Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT, engine coolant temperature): respecto a este sensor se comprobó su correcta emulación a través del escáner y también al poder accionar y detener el ventilador del motor.

- Sensor de oxígeno: la emulación de la señal de este sensor permitió verificar que, dependiendo del voltaje de la señal, el sistema aumenta o disminuye la compensación de combustible, comprobando así la correcta emulación de esta señal.

- Sensor de posición del cigüeñal (CKP, crankshaft position sensor): al ingresar a la ECU la señal emulada de este sensor se pudo comprobar el funcionamiento de los inyectores, los cuales se accionaron al momento de enviar la señal emulada. Las pruebas de este sensor se realizaron con el sistema eléctrico del motor <en contacto> desconectando previamente la bomba de combustible.

- Sensor de detonación (KS, knock sensor): la emulación de esta señal no provocó ningún comportamiento inusual en el vehículo, según el asesor automotriz, por cuestiones del fabricante, por lo tanto, se limitó a verificar que la señal sinusoidal emulada para este sensor sea correcta, lo cual se verificó durante las pruebas.

- Sensor de masa de aire (MAF, mass air flow): el vehículo de pruebas no posee este sensor, por lo tanto, se verificó que la señal emulada, sea la predeterminada.

- Finalmente, se pudo comprobar el correcto funcionamiento del generador de pulsos y su respectivo módulo para probar actuadores como: inyectores, relés automotrices, y válvulas del cuerpo de aceleración.

Concluidas las pruebas del sistema emulador, a satisfacción del experto automotriz, y respaldados en los valores obtenidos, a continuación, en el siguiente Capítulo, se detallan las diferentes conclusiones a partir del desarrollo del sistema y de los resultados obtenidos durante las pruebas.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo principal de este proyecto fue diseñar y construir un banco de pruebas para emular las señales de los sensores que intervienen en el sistema de inyección electrónica de combustible del motor de un vehículo, para poder acoplarlas a la unidad electrónica de control (ECU) y agilizar el diagnóstico ayudando a determinar si el problema está en los sensores, la ECU o los actuadores, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero. Una vez comprobado el funcionamiento del sistema del presente proyecto y realizadas las pruebas pertinentes, se obtienen las conclusiones siguientes.

4.1 CONCLUSIONES

Para la obtención de las señales de cada sensor involucrado en el sistema de inyección electrónica de combustible se realizaron análisis de los componentes que actúan en dicho sistema como son: sensores, unidad electrónica de control (ECU) y actuadores, para establecer sus principios de funcionamiento y obtener las magnitudes eléctricas que generan los sensores. Los resultados de las pruebas realizadas demostraron que se cumplió con este objetivo.

El banco de pruebas se propuso que sería diseñado sobre la base de un sistema microprocesado, que es el componente principal de todo el sistema, ya que mediante el mismo se logró la emulación de cada señal. Los resultados de las pruebas demostraron que la alternativa de usar software para la emulación resultó acertada, sobre todo cuando se tuvo que realizar ajustes a los algoritmos que se desarrollaron. Por lo dicho se puede afirmar que se cumplió con este objetivo.

Se diseñaron y construyeron circuitos de acondicionamiento para cada señal emulada, para que, de esta manera, la ECU del vehículo pueda interpretar correctamente las señales emuladas por el banco de pruebas. Los resultados de las pruebas con el hardware permiten aseverar que se cumplió con este objetivo.

El banco de pruebas debía poseer una HMI que permita seleccionar, controlar, visualizar la señal emulada y/o sus variables más importantes. Con este propósito se seleccionó una HMI táctil que, en las pruebas demostró ser la solución correcta, pues le permitió al mecánico manipular con facilidad los parámetros de los sensores emulados.

Se diseñaron y construyeron circuitos de protección para proteger al sistema contra las interferencias, transitorios, ruido que se conoce genera el motor de un vehículo cuando se encuentra en funcionamiento. Se diseñó y añadió, además circuitos para proteger al

sistema contra sobre-voltajes o cortocircuitos. Durante las pruebas reales hechas en el motor del vehículo no se tuvo inconvenientes derivados de las interferencias o ruido, por lo tanto, se puede afirmar que se logró cumplir con el objetivo de proteger adecuadamente al emulador.

Se realizaron pruebas con el vehículo Volkswagen Gol 1.6 que se había indicado era otro objetivo por cumplir. Los resultados exitosos de estas pruebas, donde se emuló correctamente cada sensor, y comprobadas con la ayuda de herramientas como: multímetros, osciloscopio, escáner automotriz y el criterio conocedor y experimentado de él técnico especialista permiten corroborar que se cumplió con este objetivo.

Se demostró durante las pruebas la importancia de contar con un banco de pruebas emulador de sensores para ayudar en la detección de fallas en el sistema de inyección electrónica de combustible. La herramienta desarrollada ya ha sido presentada a un grupo selecto de mecánicos quienes, no solo han mostrado interés, sino que están a la expectativa de una potencial producción, por el gran potencial del emulador para acelerar la entrega de vehículos ingresados con fallas en el sistema de inyección.

En resumen, evaluando los resultados de todas las pruebas y la aprobación de las mismas por parte del asesor técnico, se concluye que el sistema diseñado, desarrollado y construido, logró cumplir con todos los objetivos planteados.

Cabe mencionar que el técnico especialista se ha mostrado muy satisfecho con el proyecto realizado, luego de haber empleado el emulador en pruebas reales y así haber comprobado que su anhelo de contar con una herramienta de diagnóstico que agilice su trabajo se ha cristalizado con éxito.

Otro aspecto importante que se pudo comprobar durante la realización de este proyecto es la importancia e incidencia cada vez mayor de la electrónica en el área automotriz, de hecho, existen varios proyectos que han sido identificados en esta área y que podrían ser desarrollados con tecnología local, sumando al país y a la Escuela Politécnica Nacional dentro de esta nueva revolución tecnológica que se avecina.

4.2 RECOMENDACIONES

De la experiencia invalorable obtenida durante el desarrollo teórico y experimental de este trabajo, totalmente ajeno a lo que se recibe en las aulas y laboratorios de la Carrera es posible emitir las recomendaciones siguientes:

El emulador desarrollado debe ser de uso exclusivo de personal especializado que tenga conocimiento del funcionamiento del sistema de inyección de combustible y entienda las características de las señales que emiten los sensores. Solo así se puede obtener el máximo provecho del sistema aquí creado.

Es importante seguir los protocolos que se detallan en el manual de usuario para el uso del emulador, caso contrario la ECU del vehículo puede interpretar fallas, y generar códigos de error inhabilitando en ocasiones el motor del vehículo bajo prueba.

Finalmente, se recomienda que se continúe trabajando en otros proyectos para el área automotriz, y así lograr la transferencia tecnológica que el país tanto necesita, sobre todo ahora que la misma añade cada vez más componentes electrónicos. De hecho, hay interés por disminuir el peso del emulador, protegiéndolo con una carcasa de plástico con interior metalizado, por las interferencias. También hay demanda de unidades personalizadas. Por otro lado, no hay que perder de vista que el vehículo de accionamiento electromecánico (conocido como: vehículo eléctrico) es ya una realidad presente en el país, por lo mismo es imprescindible que la universidad continúe trabajando en la generación de tecnología local.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] S. Yerera *y otros.,* “Sistemas de Inyección Electrónica”, Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina, [En línea]. Disponible en: http://goo.gl/4CLeMp. [Accedido: 06-ene-2017].

[2] Consejo Nacional de Educación para la Vida y el Trabajo, “Sensor de Flujo de Masa de Aire”, México D.F., México, 2010, [En línea]. Disponible en: https://goo.gl/Hnkkuj. [Accedido: 06-ene-2017].

[3] Bosch, *Inyección Electrónica,* México D.F., México, 2015, [En línea]. Disponible en: https://goo.gl/RX3CRA. [Accedido: 06-ene-2017].

[4] “Air Flow Sensors”, Toyota Motor Sales, USA, 2015 [En línea]. Disponible en: https://goo.gl/YPKy71. [Accedido: 06-ene-2017].

[5] B. Booster, “Curso de Sensores TPS”, 2012, [En línea]. Disponible en: http://automecanico.com/auto2027/bbooster06.pdf. [Accedido: 06-ene-2017].

[6] V. Johnston, “How Long Does a Throttle/Accelerator Pedal Position Sensor Last”, *Your Mechanic,* 2016. [En línea]. Disponible en: goo.gl/tJJmt4.

[7] “ECT (Engine Coolant Temperature) Sensor”, *OBD-CODES*, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.obd-codes.com/faq/ect-sensor.php. [Accedido: 06-ene-2017].

[8] Consejo Nacional de Educación para la Vida y el Trabajo, “Sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT)”, México D.F., México, 2010, [En línea]. Disponible en: https://goo.gl/U3R6hM. [Accedido: 09-ene-2017].

[9] B. Booster, “Curso de Sensores de Temperatura”, 2012, [En línea]. Disponible en: http://automecanico.com/auto2027/bbooster04.pdf. [Accedido: 09-ene-2017].

[10] Mustang, “Engine Coolant Temperature (ECT) Sensor”, 2010, [En línea]. Disponible en: http://juchems.com/ServiceManuals/viewfile5f42.pdf. [Accedido: 09-ene-2017].

[11] “Sensor de Detonación (Knock Sensor)”, Equipo Automotriz Javaz, México, [En línea]. Disponible en: https://goo.gl/ycX6sn. [Accedido: 09-ene-2017].

[12] “Knock Sensor”, Siemens VDO Trading GmbH, Frankfurt, [En línea]. Disponible en: https://www.kienzle.de/uploads/media/Klopfsensor.pdf.

[13] B. Booster, “Curso de Sensores de Detonación”, 2012 [En línea]. Disponible en: http://automecanico.com/auto2027/bbooster02.pdf. [Accedido: 09-ene-2017].

[14] B. Booster, “Curso de Sensores MAP”, 2012 [En línea]. Disponible en: http://automecanico.com/auto2027/bbooster05.pdf. [Accedido: 09-ene-2017].

[15] “Delphi Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature (MAP/AIT) Sensors”, Delphi Technologies, USA, 2017 [En línea]. Disponible en: goo.gl/6xUiNP.

[16] A. Creus, *Instrumentación Industrial*, 6th ed. Barcelona, España: Alfaomega, Marcombo, 1998, ch. 3: Medidas de Presión, pp. 72,73.

[17] Consejo Nacional de Educación para la Vida y el Trabajo, “Sensor de Temperatura del Aire de Admisión”, México D.F., México, 2010, [En línea]. Disponible en: goo.gl/hQGQAr. [Accedido: 09-ene-2017].

[18] B. Booster, “Curso de Sensores Oxígeno”, 2012, [En línea]. Disponible en: http://automecanico.com/auto2027/bbooster12.pdf. [Accedido: 10-ene-2017].

[19] Volkswagen, “Sensor de Oxígeno Golf”, Repuestos Volkswagen, México, 2016, [En línea]. Disponible en: http://www.repuestosvolkswagen.com/tienda/index.php?id_product=684&controller=product&id_lang=3.

[20] “Crankshaft Position Sensors”, *Bosch Auto Parts*, Bosch, 2015, [En línea]. Disponible en: https://www.boschautoparts.com/en/auto/engine-position-sensors/crankshaft-position-sensors?partID=0261210104.

[21] D. Avalos, R. Brito, “Diseño y Construcción de una Unidad Electrónica para Controlar los Tiempos de Inyección de Combustibles en un Simulador de Motor de Combustión Interna,” Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Control, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, Mayo 2014.

[22] K. Vidal, M. Moreira, “Diseño y Construcción de un Banco de Entrenamiento para Diagnóstico de Sensores Automotrices,” Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz, Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador, Octubre 2014.

[23] *Crankshaft Position (CKP) Sensor*, SSANGYONG Y200, 2011, [En línea]. Disponible en: http://neon.lofis.net/SsangYong/Service_Manuals/Rexton/RextonA1F204001.pdf. [Accedido: 10-ene-2017].

[24] “Inyección Electrónica Gasolina”, *Aficionados a la Mecánica,* 2014, [En línea]. Disponible en: http://www.aficionadosalamecanica.net/inyeccion_gasolina1.htm.

[25] Consejo Nacional de Educación para la Vida y el Trabajo, “Inyectores”, México D.F., México, 2010, [En línea]. Disponible en: https://goo.gl/AXxQZ7. [Accedido: 10-ene-2017].

[26] J. Jiménez, “Comprobación de las Señales Emitidas por los Inyectores en Determinados Regímenes del Motor Utilizando el Osciloscopio en un Vehículo Chevrolet Sail 1.4L,” Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de

Ingeniero en Mecánica Automotriz, Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, Ecuador, Noviembre 2016.

[27] R. Hidrobo, W. Morán, “Diseño y Construcción de un Equipo de Simulación para la Investigación del Fenómeno de Inyección Electrónica de Combustible,” Tesis Previa a la Obtención del Título de Magister en Sistemas Automotrices, Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, Mayo 2014.

[28] “Relés Mecánicos”, Eneka, Montevideo, Uruguay, 2014, [En línea]. Disponible en: goo.gl/b5yRSF.

[29] “Cuerpo de Aceleración Chevrolet Spark (Main Throttle Idle Actuator MTIA)”, *AutoDaewooSpark,* 2017, [En línea]. Disponible en: goo.gl/xvwjDb.

[30] “Diagnóstico y Fallas en el Sistema de Aceleración Electrónico”, *Tu Taller Mecánico*, cap. 1: Estructura y Funcionamiento del Sistema de Aceleración Electrónico, [En línea]. Disponible en: https://goo.gl/1EJZ6d.

[31] F. Alaniz, “Unidad de Control Electrónica”, [En línea]. Disponible en: https://goo.gl/njQVqA. [Accedido: 12-ene-2017].

[32] “Launch X431 Pro 2 year package”, *Launch Tech,* Reino Unido, [En línea]. Disponible en: http://www.launchtech.co.uk/oem-level-diagnostics/launch-x431-pro.

[33] “Hall Effect Sensing and Application”, Honeywell, Illinois, USA, [En línea]. Disponible en: https://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf. [Accedido: 14-jun-2017].

[34] *User Manual Discovery Kit with STM32F407VG MCU*, STMicroelectronics NV, 2016.

[35] *RM900 Reference Manual,* STMicroelectronics NV, Septiembre 2016.

[36] “CooCox, Frre/open ARM Cortex-M Development Tool-chain”, CooCox, 2015, [En línea]. Disponible en: http://www.coocox.org/software/coide.php. [Accedido: 23-mar-2017].

[37] “Amplificador opracional LM358P Precisión”, *RS*, Madrid, [En línea]. Disponible en: http://es.rs-online.com/web/p/amplificadores-operacionales/0810194/.

[38] L. Llamas, “Salida Analógica Mediante PWM y Filtro Paso Bajo”, *Luis Llamas Ingeniería, Informática y diseño,* 2015, [En línea]. Disponible en: https://www.luisllamas.es/salida-analogica-mediante-pwm-y-filtro-paso-bajo/.

[39] *AN4566 Extending the DAC performance of STM32 microcontrollers,* STMicroelectronics NV, 2015.

[40] “Nextion NX8048T070 7 pulg. HMI TFT LCD Touch Display”, ITEAD, 2017, [En línea]. Disponible en: https://www.itead.cc/nextion-nx8048t070.html. [Accedido: 01-may-2017].

[41] *Nextion Instruction Set*, ITEAD, 2017, [En línea]. Disponible en: https://www.itead.cc/wiki/Nextion_Instruction_Set. [Accedido: 01-may-2017].

[42] N. Sevatopoulos *y otros.*,*Voltage Regulator Handbook*, National Semiconductor, USA, 1980.

[43] "Active Filter Design Techniques", en *Op Amps for Everyone,* Texas Instruments, Dallas, Texas, USA, 2008, [En línea]. Disponible en: https://focus.ti.com/lit/ml/sloa088/sloa088.pdf.

[44] K. Âström, *Control System Design*, Santa Barbara, California: University of California, 2002, cap. 4: Simple Control Systems, [En línea]. Disponible en: https://www.cds.caltech.edu/~murray/courses/cds101/fa02/caltech/astrom-ch4.pdf.

6 ANEXOS

ANEXO I. MANUAL DE USUARIO

ANEXO II. DIAGRAMA ELÉCTRICO TOTAL DE CONEXIÓN

ANEXO III. DISEÑO ESTRUCTURAL Y CIRCUITOS IMPRESOS DEL PROYECTO

ANEXO IV. PROGRAMA DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

ANEXO V. SOLICITUD USO BATERÍA

ANEXO VI. MICROCONTROLLER STM32F407

ANEXO VII. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS TIMERS DE CONTROL AVANZADO STM32F4XX

ANEXO VIII. ÁRBOL DE RÉLOJ STM32F4XX

ANEXO IX. HOJAS DE DATOS

ANEXO X. SENSORES (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TÍPICAS)

ANEXO I

MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO

BANCO DE PRUEBAS PARA LA EMULACIÓN DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE AUTOMOTRIZ

ÍNDICE DE CONTENIDO

I DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO 1

II PRECAUCIONES 2

III CONEXIÓN DEL EMULADOR 2

IV FUNCIONAMIENTO 4

A MENÚ 5

B SENSOR TPS (THROTLE POSITION SENSOR) 7

C SENSOR MAP (MANIFOLD ABSOLUTE PRESSURE) 9

D SENSOR IAT (INTAKE AIR TEMPERATURE) 11

E SENSOR ECT (ENGINE COOLANT TEMPERATURE) 12

F SENSOR MAF (MASS AIR FLOW) 14

G SENSOR CKP (CRANKSHAFT POSITION SENSOR) 15

H SENSOR DE OXÍGENO O2 17

I SENSOR DE DETONACIÓN (KNOCK SENSOR) 19

J GENERADOR DE PULSOS 21

K MANTENIMIENTO 25

I DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo es un banco de pruebas del sistema de inyección electrónica de combustible que emula las señales de los sensores: TPS, MAP, IAT, ECT, MAF, de oxígeno, de detonación y CKP.

También, este emulador posee un generador de pulsos que permite verificar el funcionamiento de actuadores como inyectores, relés automotrices, y válvulas de mariposa.

El emulador posee una pantalla Táctil de 7 pulgadas que permite realizar todas sus funciones, y borneras para conectar el emulador a la ECU del motor.

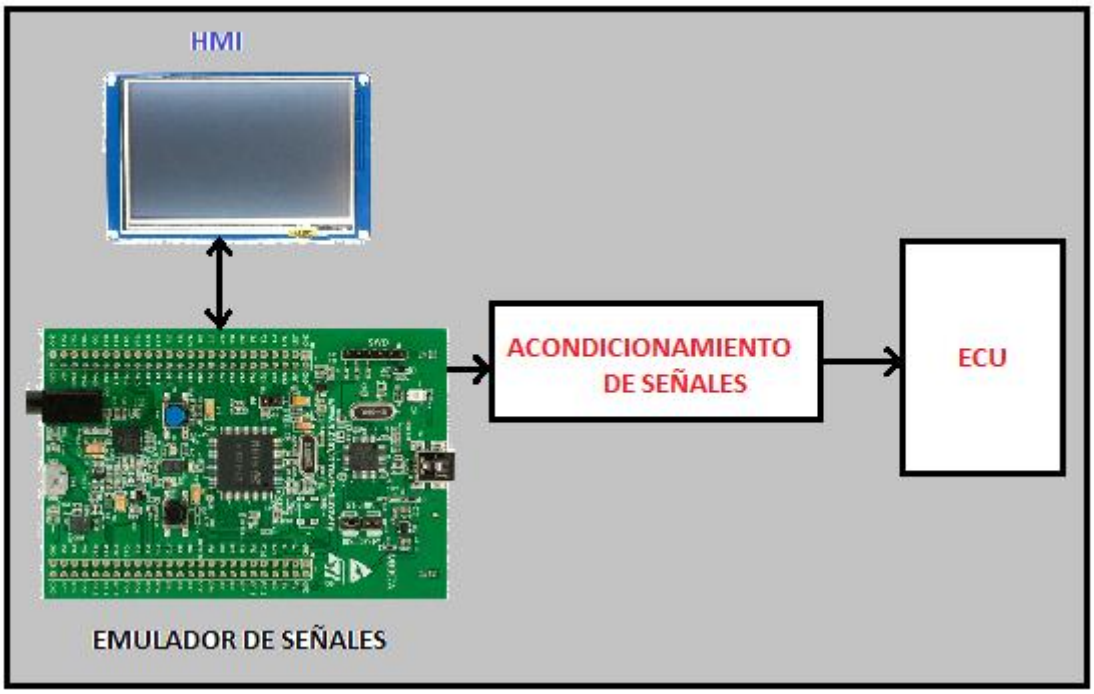


Figura I.1. Banco de Pruebas.

II PRECAUCIONES

Seguir todos los procedimientos, las advertencias, y precauciones indicados tanto en este manual como en cada pantalla para el correcto funcionamiento del equipo y prolongación de su vida útil.

Se sugiere que este equipo sea manejado por personal especializado o que ha sido debidamente entrenado en el uso del mismo.

III CONEXIÓN DEL EMULADOR

Antes de conectar el equipo a cualquier fuente de energía, asegúrese de que el equipo se encuentre apagado.

En el caso de conexión directa a la batería del vehículo, se proporcionan 2 cables (Rojo y negro) para la respectiva conexión.

De no conectarse a la batería del vehículo, asegúrese de conectar el equipo a una fuente de C.C. de 12[V] DC 2 [A] fija.

Para su alimentación, el equipo posee dos borneras laterales de conexión (positivo (12 [V] y negativo (tierra/GND)).

Figura III.1. Entradas de conexión para la alimentación del Banco de Pruebas.

Para enviar las señales del emulador hasta la ECU, se debe desconectar el respectivo sensor a emular.

Cada sensor emulado tiene su propia bornera de conexión como se muestra en la Figura III.2.

Figura III.2. Borneras de conexión para cada una de las señales emuladas de los sensores.

Los cables para las respectivas conexiones son del tipo banana – banana y siempre se debe emplear un par: uno para la señal y otro para tierra.

Se pueden realizar múltiples conexiones al mismo tiempo, sin embargo, la pantalla el emulador solo puede mostrar la emulación de un sensor a la vez.

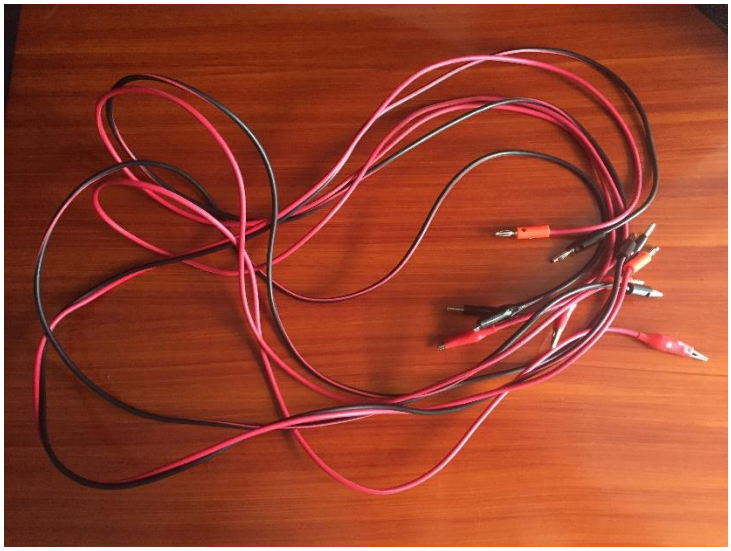


Figura III.3. Cables de conexión.

IV FUNCIONAMIENTO

NOTA IMPORTANTE: Tener siempre en cuenta que el emulador siempre entregará una señal que corresponde a un sensor funcionando correctamente; es decir, si durante las pruebas, el motor del vehículo no responde correctamente, el problema no es el emulador sino otra parte del vehículo, o una conexión equivocada.

Con el motor apagado; localizar el sensor a ser emulado, desconectarlo y en su lugar conectar apropiadamente los cables del emulador de ese sensor.

Encender el emulador para que cuando se inicie el motor del vehículo bajo prueba, el emulador proporcione a la ECU una señal igual a la del sensor original. Caso contrario, la ECU interpretará un daño en el sensor y generará el código de error pertinente, incluso impidiendo el inicio de la marcha del motor en algunos casos.

Finalmente, se procede a iniciar el motor del vehículo en régimen de prueba. Este debería iniciar normalmente. De no ser este el caso, se debe apagar inmediatamente primero el motor y después el emulador. Luego, con ayuda del escáner automotriz, se procederá a diagnosticar la causa de la falla a partir del código de error generado.

Si el escáner apunta como posible causante al sensor emulado, entonces se debe proceder a revisar la conexión desde el emulador hasta la ECU.

Si el motor inició bien, entonces se procede con las pruebas del sensor emulado, mediante la HMI desarrollada en la pantalla del emulador.

A MENÚ

- TPS
  - BACK
  - ON
  - OFF
- MAP
  - BACK
  - ON
  - OFF
- IAT
  - BACK
  - ON
  - OFF
- ECT
  - BACK
  - ON
  - OFF
- MAF
  - BACK
  - ON
  - OFF
- CKP
  - BACK
  - ON
  - OFF
  - RALENTI
  - +100
  - -100
  - +1000
  - -1000
- O2
  - BACK
  - ON
  - OFF
  - ACELERAR
  - DESACELERAR
  - HOLD
  - MANUAL
  - AUTO
  - -0.1V
  - +0.1V
- KNOCK
  - BACK
  - ON
  - OFF
  - ENCENDER PERTURBACION
- GENERADOR
  - BACK
  - ON
  - OFF

El sistema tiene un menú principal en el cual se encuentran los botones correspondientes a cada sensor.

Figura A.1. Menú Principal.

Al presionar cualquiera de los botones se despliega una ventana con un mensaje advirtiendo al usuario realizar las conexiones respectivas del sensor a emular.

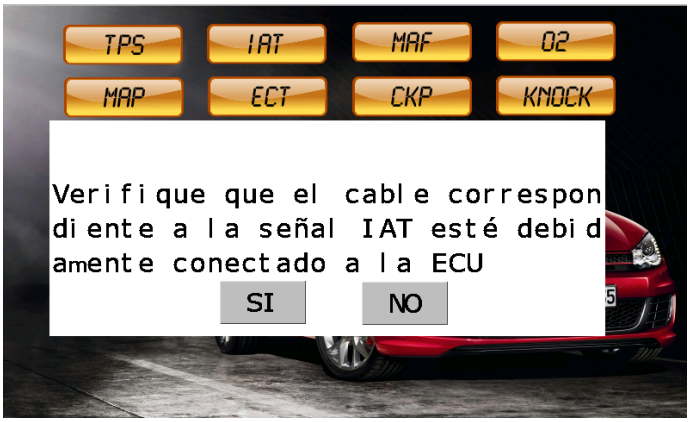


Figura A.2. Mensaje de Advertencia.

B SENSOR TPS (THROTLE POSITION SENSOR)

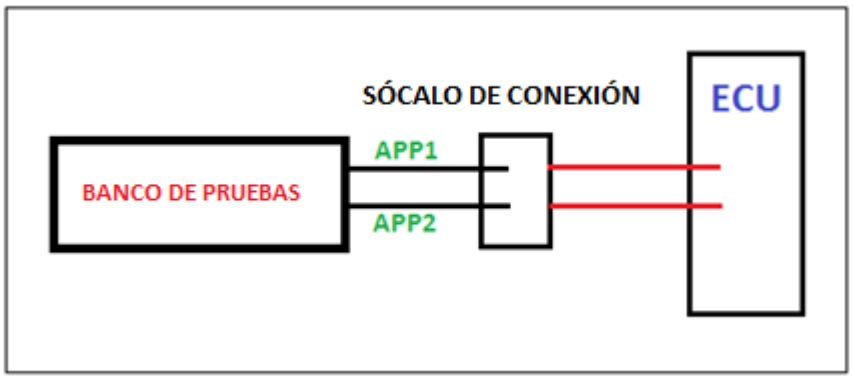


Figura B.1. Diagrama de conexión TPS.

Al presionar el botón “TPS”, aparece una ventana de advertencia con las indicaciones sobre la conexión para la emulación de este sensor.

“**Verifique que los 2 cables correspondientes a las señales APP1 y APP2 estén conectados a la ECU”**

Este sensor genera dos señales: APP1 y APP2. Inicialmente, este sensor entrega un valor predeterminado de voltaje para cada señal (APP1: 0,75 [V], APP2: 0,37 [V]).

A continuación, se modifica el comportamiento del sensor emulado; por medio de la barra de desplazamiento se varía el porcentaje de aceleración enviado a la ECU.

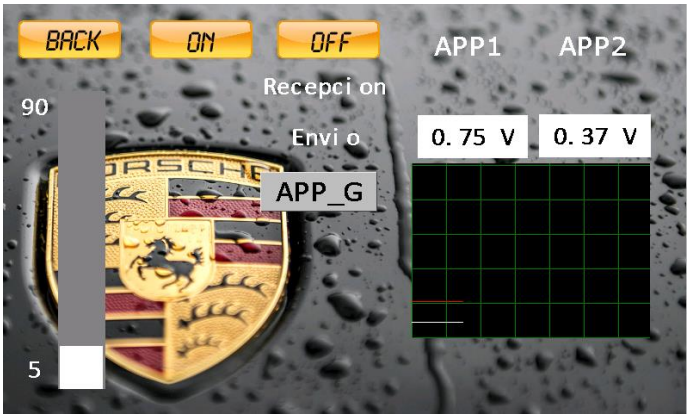


Figura B.2. Pantalla del sensor TPS.

Al desplazar la barra horizontal el motor debe responder acelerándose o ralentizándose. De no ocurrir así, esto significa que la causa del problema del motor no está en este sensor y deberá proceder a revisar otras causas posibles. El visualizador en la pantalla grafica las señales APP1 y APP2.

Para volver a los valores iniciales del sensor, se debe presionar el botón “OFF”, éste además impide que el desplazamiento de la barra varíe el porcentaje de aceleración enviado al sistema.

Para la reactivación de la emulación de este sensor presionar el botón “ON”. Éste permite que la barra de desplazamiento varíe el porcentaje de aceleración (voltaje) enviado por el sistema.

Por último, si se desea regresar al menú principal basta con presionar el botón “BACK”. Al presionar este botón el sistema despliega un mensaje de confirmación para salir del sensor en cuestión.

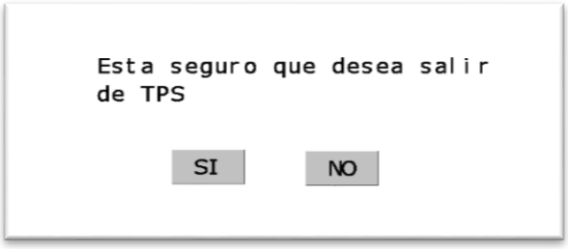


Figura B.3. Mensaje de confirmación.

Al confirmarse la salida, el motor debe volver al régimen en ralentí.

C SENSOR MAP (MANIFOLD ABSOLUTE PRESSURE)

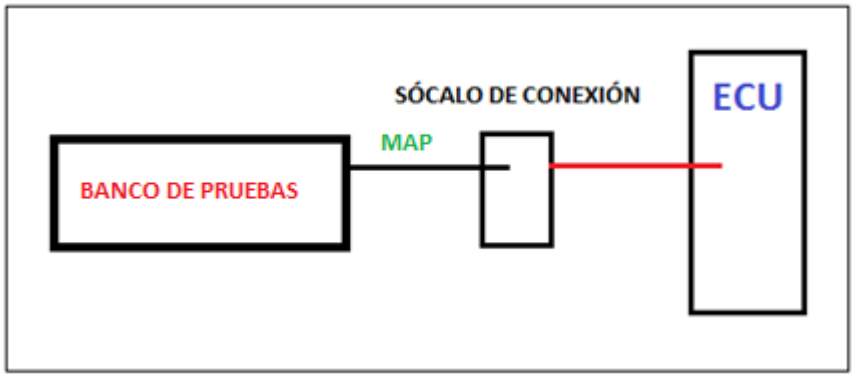


Figura C.1. Diagrama de conexión MAP.

Al presionar el botón “MAP”, aparece una ventana de advertencia con las indicaciones sobre la conexión para la emulación de este sensor.

“**Verifique que el cable correspondiente a la señal MAP esté debidamente conectado a la ECU”**

El emulador genera un valor predeterminado de voltaje de (1[V]) que envía a la ECU y que equivale a 24 KPa. Mediante de la barra de desplazamiento se puede variar el valor de la presión del múltiple enviado por el emulador a la ECU, con lo cual se simula si el motor

está sometido a poca o elevada carga. Puesto que el motor está en ralentí, al desplazar la barra se provocará detonaciones y ahogo en el motor.

Figura C.2. Pantalla del sensor MAP.

Para volver al valor inicial de este sensor, se debe presionar el botón “OFF”. Éste además impide que el desplazamiento de la barra varíe la presión del múltiple (voltaje) que se envía a la ECU.

Para la reactivación de la emulación de este sensor se debe presionar el botón “ON”. Éste permite que la barra de desplazamiento varíe la presión del múltiple (voltaje).

Finalmente, si se desea regresar al menú principal, presionar el botón “BACK”. Debe aparecer un mensaje de confirmación para salir del sensor en cuestión (Figura B.3).

Por defecto el valor especificado para el sistema es 24 KPa que equivale a 1[V].

D SENSOR IAT (INTAKE AIR TEMPERATURE)

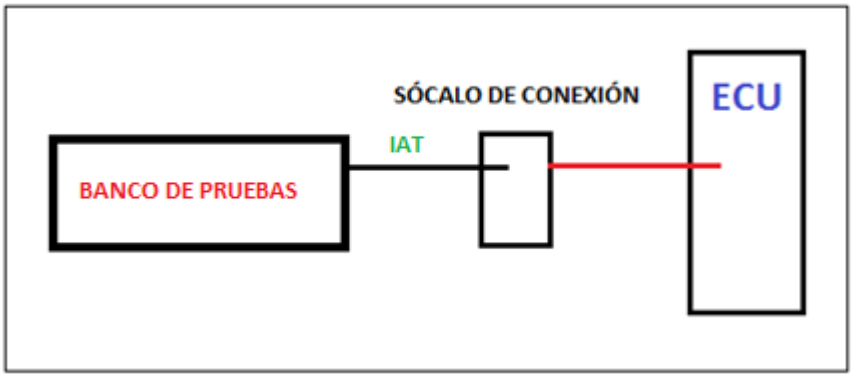


Figura D.1. Diagrama de conexión IAT.

Al presionar el botón “IAT”, aparece una ventana de advertencia sobre la conexión para la emulación de este sensor con las siguientes indicaciones:

“**Verifique que el cable correspondiente a la señal IAT esté debidamente conectado a la ECU”**

En la ventana de este sensor se tienen dos barras de desplazamiento. Con ambas se puede emular la variación de temperatura. Con la primera barra se tiene un rango de 0°C a 77°C específico para VW Gol (3,41 [V] a 0,83 [V]). Con la segunda barra se tiene un rango de 20° C a 90°C para otros vehículos (4 [V] hasta 0,5 [V]). Inicialmente el emulador genera un valor de temperatura predeterminado de 8 ° C (2,8 [V]). Mientras no se exceda de ciertos valores (mínimo y máximo) el motor debe trabajar correctamente al emular las variaciones de temperatura, pues la ECU debe responder inyectando la cantidad correcta de combustible.

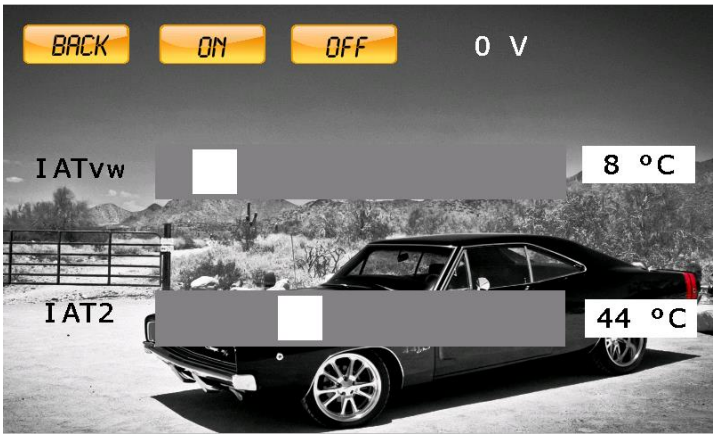


Figura D.2. Pantalla del sensor IAT.

Para volver al valor inicial de temperatura se debe presionar el botón “OFF”. Éste además impide que el desplazamiento de las barras varíe la temperatura (voltaje) enviada al sistema.

Para reactivar la emulación de este sensor se debe presionar el botón “ON”. Éste permite que las barras de desplazamiento varíen la temperatura (voltaje) enviada a la ECU.

Finalmente, para regresar al menú principal presionar el botón “BACK”. Éste envía un mensaje de confirmación para salir del emulador en del sensor en cuestión (Figura B.3).

E SENSOR ECT (ENGINE COOLANT TEMPERATURE)

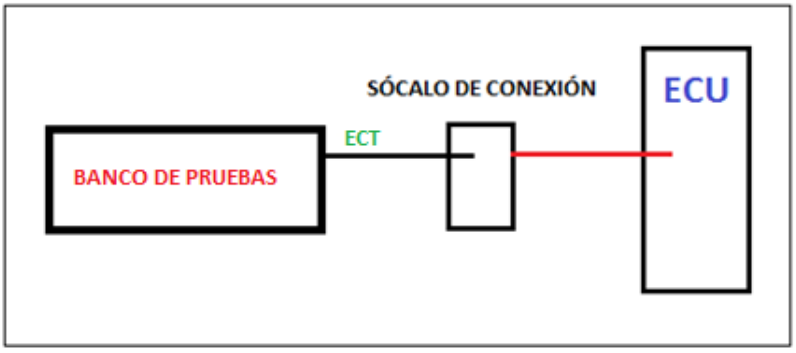


Figura E.1. Diagrama de conexión ECT.

Al presionar el botón “ECT”, aparece una ventana de advertencia sobre la conexión para la emulación de este sensor con las siguientes indicaciones:

“**Verifique que el cable correspondiente a la señal ECT esté debidamente conectado a la ECU”**

En la ventana de este sensor se tienen dos barras de desplazamiento. Con ambas se puede emular la variación de temperatura. Con la primera barra se tiene un rango de 0°C a 92°C específico para VW Gol (3,27 [V] y 0,24 [V]). Con la segunda barra se tiene un rango de 20° C a 90°C para otros vehículos (4 [V] y 0,5 [V]). Inicialmente el emulador genera un valor predeterminado de temperatura de 10 °C (2,8 [V]). Mientras no se rebasen los valores de temperatura especificados, la ECU debe responder corrigiendo los tiempos de ignición e inyección para compensar los supuestos cambios de temperatura que se están emulando.

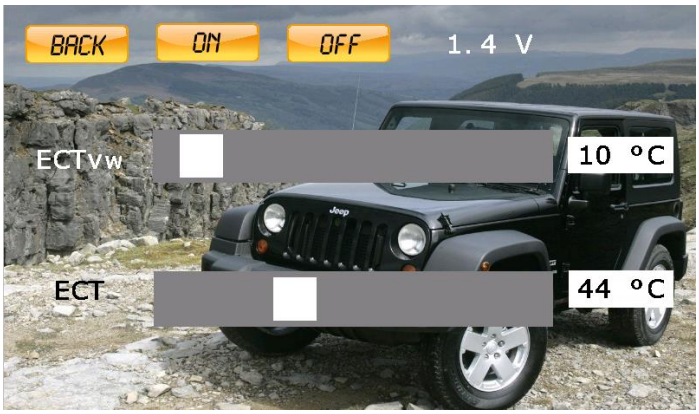


Figura E.2. Pantalla del sensor ECT.

Para volver al valor inicial de temperatura del sistema, se debe presionar el botón “OFF”. Éste además impide que el desplazamiento de las barras varíe la temperatura (voltaje) enviada a la ECU.

Para la reactivación de la emulación de este sensor se debe presionar el botón “ON”. Éste permite que las barras de desplazamiento varíen la temperatura (voltaje) enviada hacia la ECU.

Por último, para regresar al menú principal presionar el botón “BACK”. Éste envía un mensaje de confirmación para salir del sensor en cuestión (Figura B.3).

F SENSOR MAF (MASS AIR FLOW)

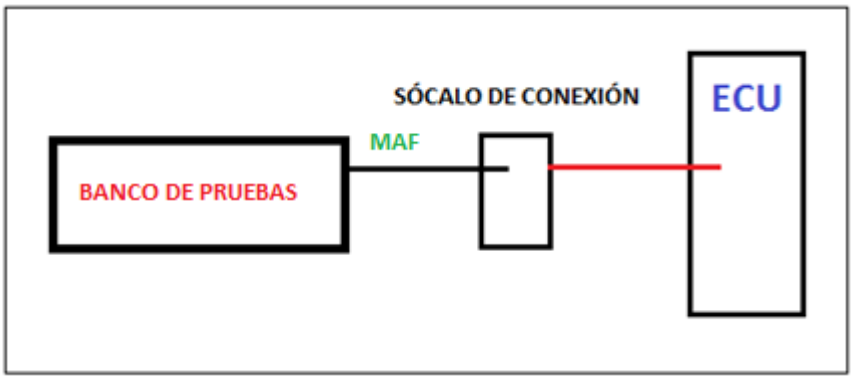


Figura F.1. Diagrama de conexión MAF.

Al presionar el botón “MAF”, aparece una ventana de advertencia sobre la conexión para la emulación de este sensor con las siguientes indicaciones:

“**Verifique que el cable correspondiente a la señal MAF esté debidamente conectado a la ECU”**

Inicialmente, el emulador genera un valor predeterminado de voltaje de (1[V]) que corresponde a la cantidad de masa de aire (10 [gr/seg]) que la ECU espera detectar después del inicio del motor. A través de la barra de desplazamiento se puede emular la variación de masa de aire que ingresa al motor, y la ECU debe variar el tiempo de inyección de combustible al motor.

Figura F.2. Pantalla sensor MAF.

Para volver al valor inicial de masa de aire (voltaje) del sistema que ingresa a la ECU, se debe presionar el botón “OFF”. Éste además impide que el desplazamiento de la barra varíe la masa de aire (voltaje) que envía el equipo.

Para reactivar la emulación de este sensor se debe presionar el botón “ON”. Éste permite que la barra de desplazamiento varíe la masa de aire (voltaje) enviado hacia la ECU.

Para regresar al menú principal, presionar el botón “BACK”. Éste envía un mensaje de confirmación para salir del sensor en cuestión (Figura B.3).

G SENSOR CKP (CRANKSHAFT POSITION SENSOR)

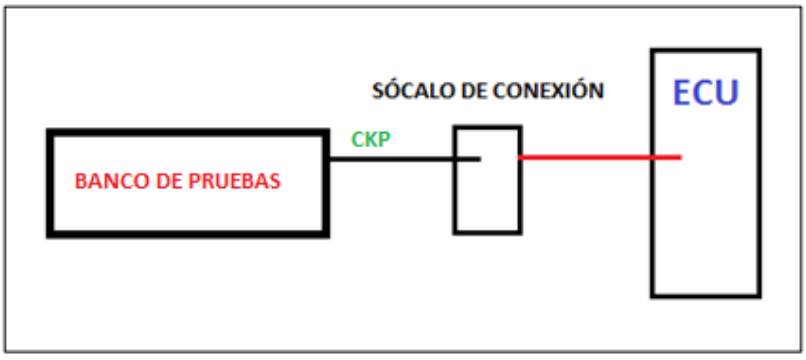


Figura G.1. Diagrama de conexión CKP.

Al presionar el botón “CKP”, aparece una ventana de advertencia sobre la conexión para la emulación de este sensor con las siguientes indicaciones:

“**Verifique que el cable correspondiente a la señal CKP esté debidamente conectado a la ECU y desactivar el Relé de Bomba”**

- **Recuerde desactivar el relé de la bomba de los inyectores desconectando el fusible respectivo.**

Inicialmente, este emulador no genera un valor predeterminado, pero, al presionar el botón de RALENTI se envía un valor de 800 RPM hacia la ECU.

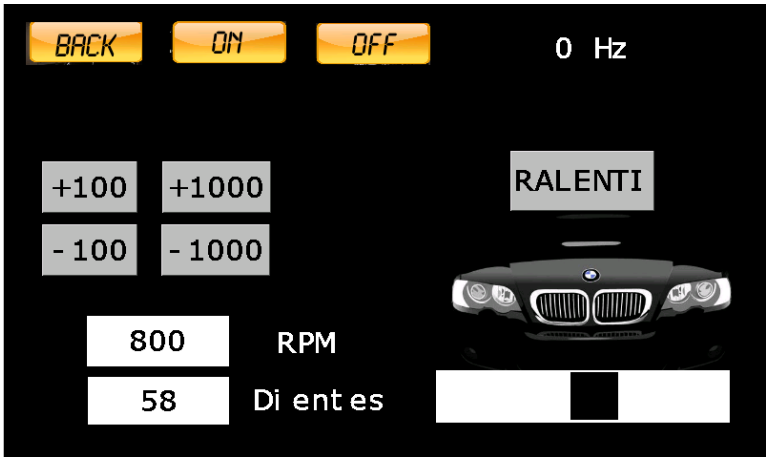


Figura G.2. Pantalla sensor CKP.

Los botones de +100, +1000, -100, -1000 sirven para cambiar en esas cantidades el valor de frecuencia que envía el emulador, y esto debe ser compensado por la ECU variando los tiempos de inyección.

Para volver al valor inicial de frecuencia del emulador, presionar nuevamente el botón RALENTI.

El emulador por defecto asume que la rueda dentada es de 60-2 dientes, pero se puede cambiar la cantidad de dientes por medio de la barra de desplazamiento, los valores de dientes varían desde 30 hasta 80 dientes.

Para desactivar la emulación del sensor CKP presionar el botón “OFF”, con esto se envía un valor de 0 RPM hacia a la ECU, más no retorna a 60-2 el número de dientes.

Para reactivar la emulación de este sensor presionar el botón “ON”.

Para regresar al menú principal presionar el botón “BACK”.

No existe un mensaje de confirmación para este sensor.

H SENSOR DE OXÍGENO O2

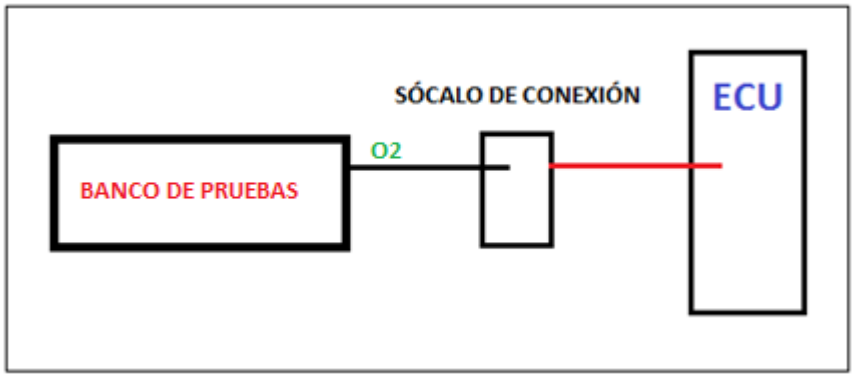


Figura H.1. Diagrama de conexión O2.

Al presionar el botón “O2”, aparece una ventana de advertencia sobre la conexión para la emulación de este sensor con las siguientes indicaciones:

“**Verifique que el cable correspondiente a la señal O2 esté debidamente conectado a la ECU”**

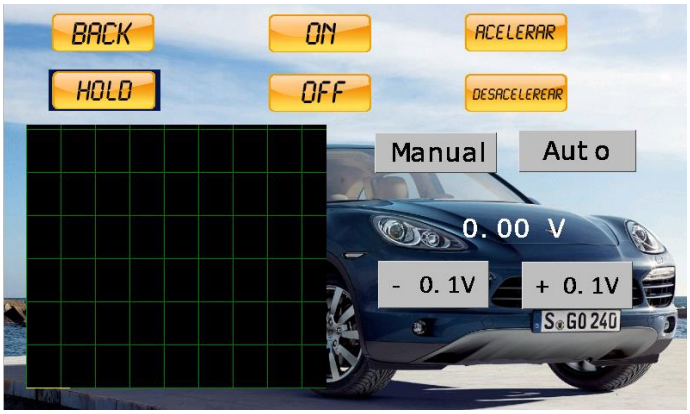


Figura H.2. Pantalla sensor de oxígeno.

El emulador genera un valor predeterminado de voltaje de 0,45 [V].

Al presionar el botón “AUTO” se activa el emulador en modo automático y genera una señal de voltaje que varía entre 0,1 [V] y 0,7 [V].

Al presionar el botón “ACELERAR” el emulador genera un voltaje de 0,8 [V] durante aproximadamente 3 segundos y luego vuelve a generar la señal que varía entre 0,1 V y 0,7 V. El motor debe responder normalizando su funcionamiento (pequeño incremento de la aceleración).

Al presionar el botón “DESACELERAR” el emulador genera un voltaje de 0 V durante aproximadamente 3 segundos y luego vuelve a generar la señal que varía entre 0,1 V y 0,7 V. El motor debe responder normalizando su funcionamiento (pequeño decremento de la aceleración).

Los botones “ACELERAR” y “DESACELERAR” únicamente funcionan si se ha activado el modo automático previamente.

Por medio de la activación del botón “MANUAL” se puede variar manualmente el valor de la relación de la mezcla (voltaje). Al presionar los botones “+0.1V, -0.1V” el emulador varía el voltaje entre 0,1 [V] y 0,9 [V].

El emulador consta de un botón “HOLD” que retiene la imagen de la señal generada por el sistema. Para reactivar la pantalla de visualización se debe presionar de nuevo el botón “HOLD”.

Para desactivar la emulación del sensor se debe presionar el botón “OFF”. Este botón hace que el banco de pruebas genere un valor de 0,45 [V] e impide la activación manual o automática.

Para reactivar la emulación de este sensor, presionar el botón “ON”.

Para regresar al menú principal presionar el botón “BACK”. Éste envía un mensaje de confirmación para salir del sensor en cuestión (Figura B.3).

I SENSOR DE DETONACIÓN (KNOCK SENSOR)

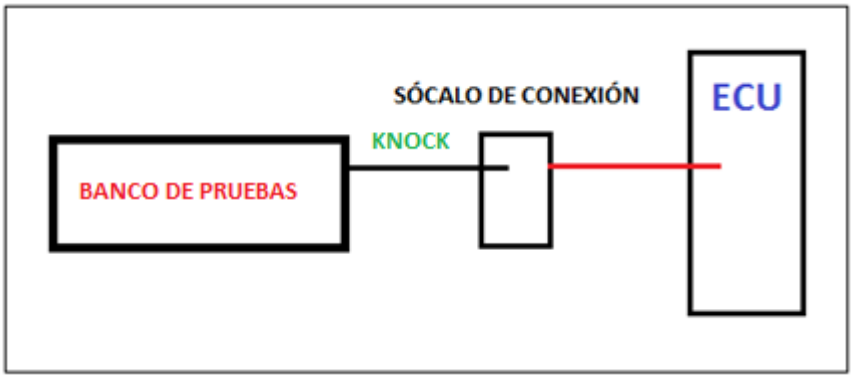


Figura I.1. Diagrama de conexión KNOCK.

Al presionar el botón “KNOCK”, aparece una ventana de advertencia sobre la conexión para la emulación de este sensor con las siguientes indicaciones:

“**Verifique que el cable correspondiente a la señal KNOCK esté debidamente conectado a la ECU”**

Al inicio este sensor genera una señal (sinusoidal de 1 [KHz] con una amplitud de 0,5[V]) que corresponde a las vibraciones que normalmente genera un motor.

Figura I.2. Pantalla sensor de detonación.

Al presionar el botón “PERTURBACIÓN” el sistema genera una señal (sinusoidal, pero con una amplitud de 2,5 [V]) que simula un incremento de vibraciones en el vehículo bajo prueba. Al presionar nuevamente este botón la señal vuelve a simular que el motor regresó a su estado normal sin vibraciones (se vuelve a generar una amplitud de 0,5 [V]).

Para desactivar la emulación de este sensor se presiona el botón “OFF”. Al presionar este botón el sistema simula una condición normal sin vibraciones enviando 0 [V].

Para reactivar la emulación de este sensor, presionar el botón “ON”.

Para regresar al menú principal presionar el botón “BACK”. Éste envía un mensaje de confirmación para salir del sensor en cuestión (Figura B.3).

J GENERADOR DE PULSOS

El banco de pruebas consta de un generador de pulsos de 1 Hz a 100 Hz de frecuencia que sirve para probar inyectores, relés automotrices y válvulas del cuerpo de aceleración.

Al presionar el botón “GENERADOR” el sistema es dirigido a una pantalla con una barra de desplazamiento.

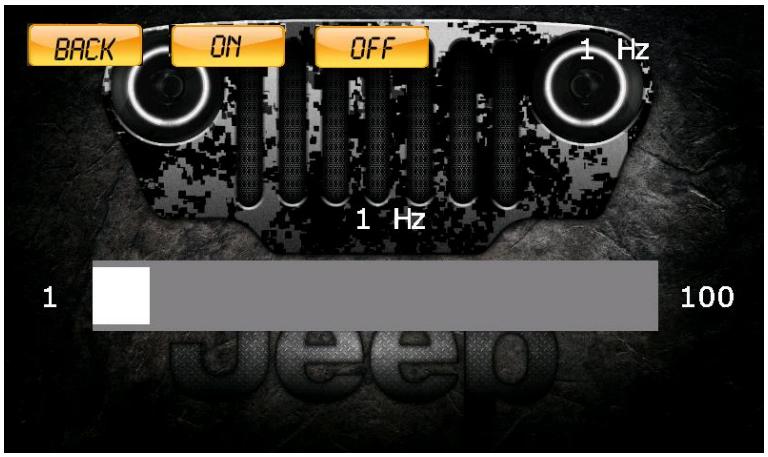


Figura J.1. Pantalla del generador de pulsos.

Inicialmente se genera como valor predeterminado un pulso por segundo (una frecuencia 1Hz) que se puede modificar por medio de la barra de desplazamiento.

Al presionar el botón “OFF” se impide que el desplazamiento de la barra varíe la frecuencia enviada hacia la ECU.

Para reactivar la emulación de los pulsos se debe presionar el botón “ON”. Éste permite que la barra de desplazamiento varíe el número de pulsos (frecuencia) emitidos por el sistema.

Para regresar al menú principal presionar el botón “BACK”. Éste envía un mensaje de confirmación para salir de la pantalla en cuestión y desactivar el generador.

El módulo para probar el funcionamiento de los actuadores se muestra a continuación.

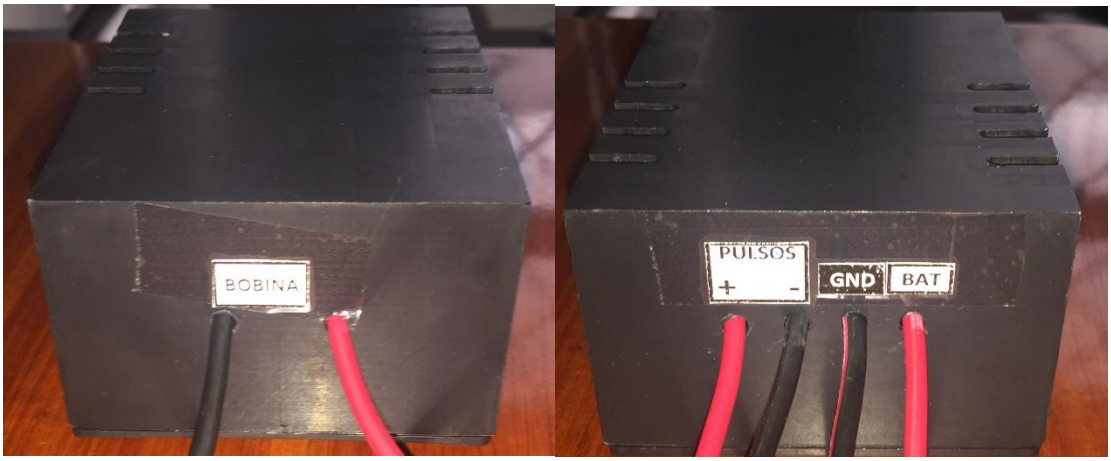


Figura J.2. Módulo para probar actuadores.

Para conectar el banco de pruebas hacia el módulo y comprobar los diferentes actuadores seguir los siguientes pasos.

- Conectar las salidas del banco de pruebas “GND” y “GEN” a las entradas “PULSOS” del módulo generador. El cable de salida “GND” conectar a la entrada “—“del módulo mientras que el cable de salida “GEN” conectar a la entrada “+”.

Figura J.3. Salidas GND y GEN.

Figura J.4. Entradas de conexión (PULSOS: “+” y “-“).

Figura J.5. Conexión del banco de pruebas hacia el módulo.

- Conectar los cables identificados como “BOBINA” a la bobina del actuador.

Figura J.6. Terminales de conexión para conectar la bobina del actuador.

- Conectar los terminales “GND” y “BAT”, a la batería que alimenta los actuadores. **La batería debe ser de 12 [V], 2 [A] y no debe ser la misma con la que se alimenta el banco de pruebas.**

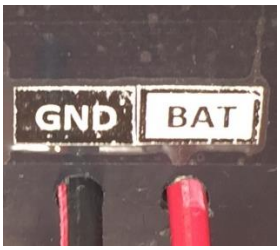


Figura J.7. Terminales de conexión para la batería del módulo.

- Conectar el terminal “BAT” al positivo “+” de la batería y el terminal “GND” conectar al negativo “-“.

Una vez realizada las conexiones y con el actuador conectado se procede activar el generador para enviar el tren de pulsos del emulador hacia el dispositivo bajo prueba.

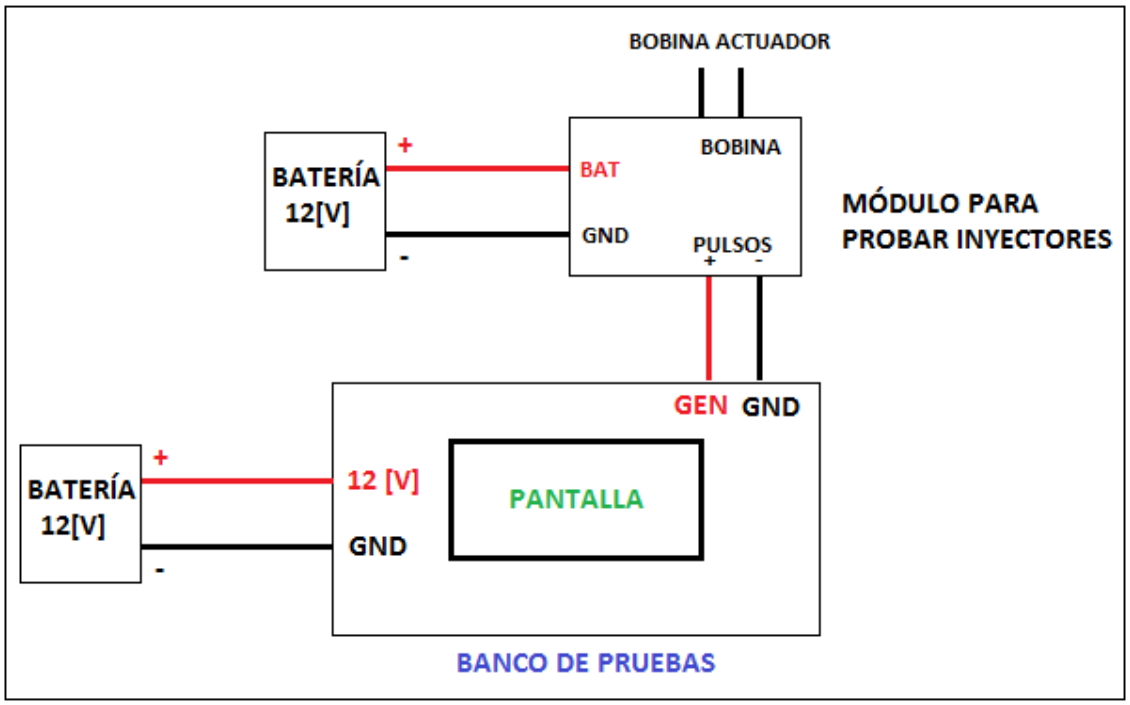


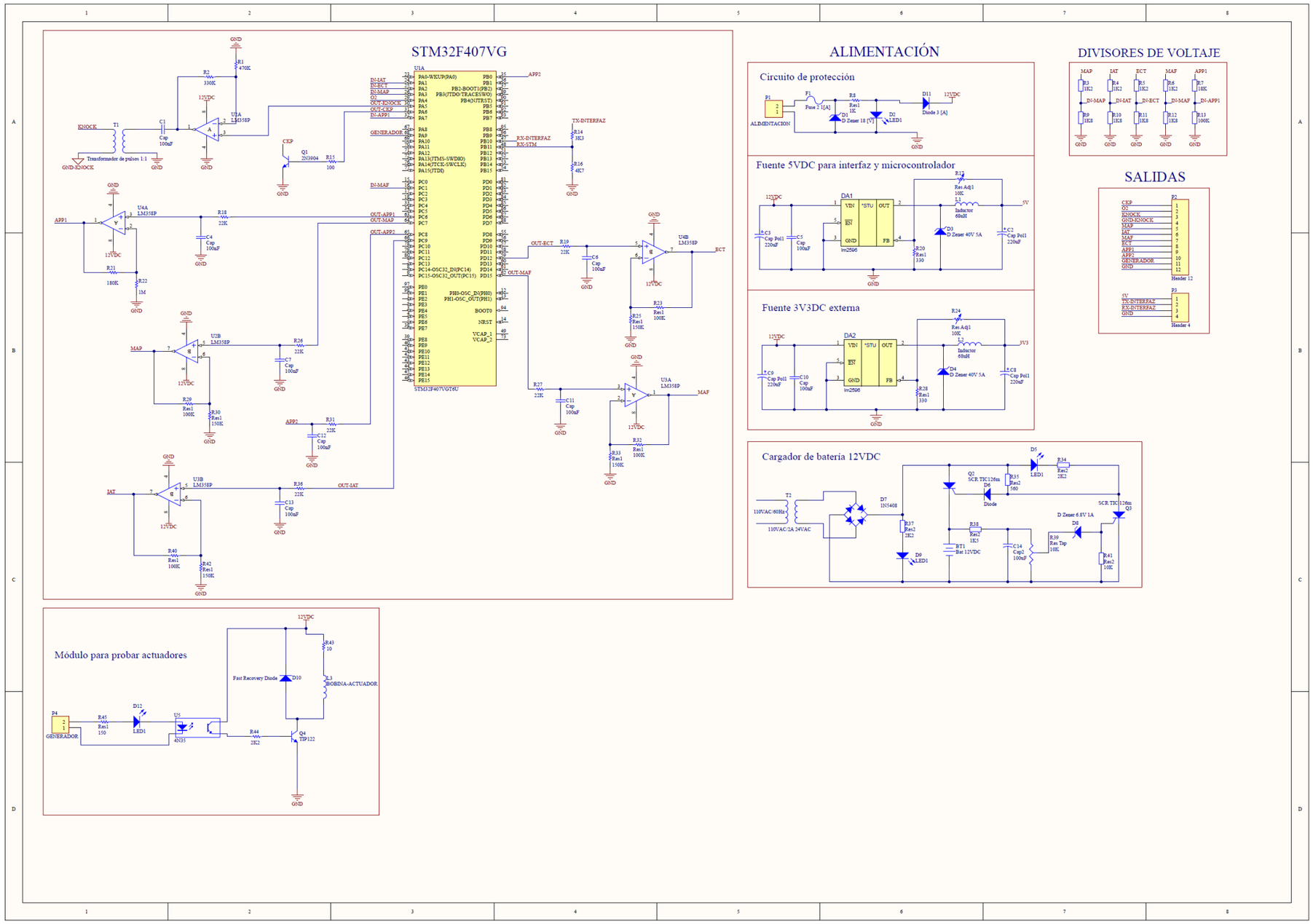
Figura J.8. Diagrama de conexión de probador de actuadores.

K MANTENIMIENTO

Debido a que se trata de un equipo electrónico sin partes móviles, o intercambiables y que no requiere ajustes periódicos, lavado y/o lubricación se recomienda:

1. Mantener el equipo limpio externamente.
2. Verificar que los contactos eléctricos se encuentren libres de contaminación externa como polvo o grasas.
3. Verificar el estado general del equipo.
4. El equipo, bajo condiciones normales de uso, está diseñado para un periodo de duración prácticamente ilimitado, sin embargo, si eventualmente se produjera algún tipo de falla electrónica, deberá ser enviado a un taller de servicio apropiado con personal capacitado para su reparación y/o arreglo.

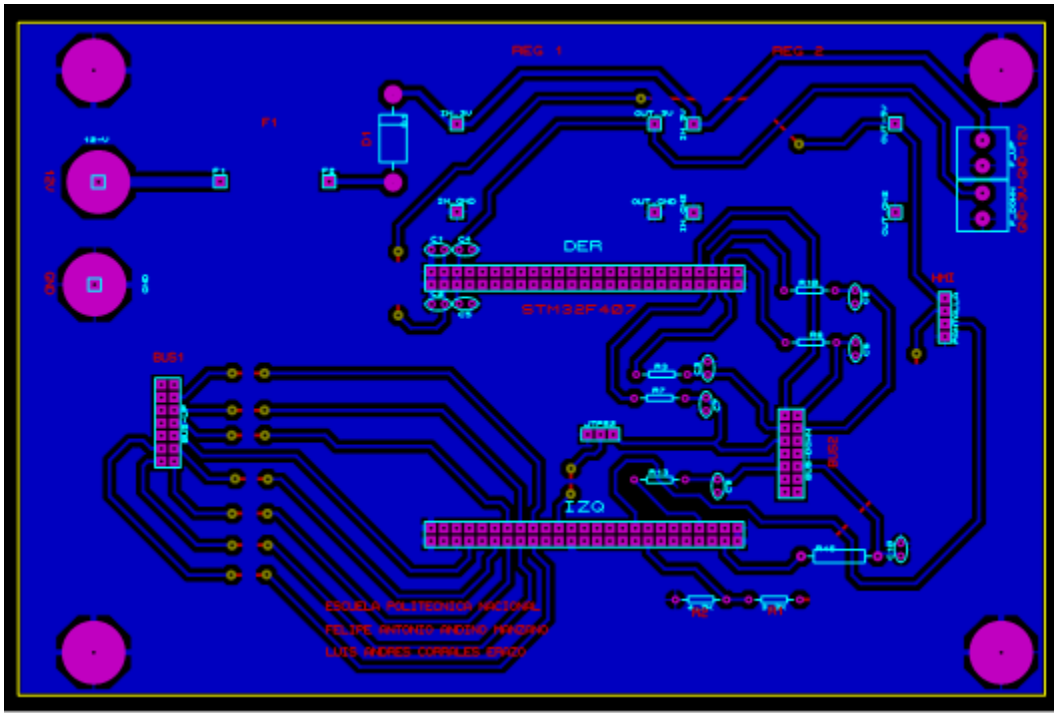
ANEXO II (DIAGRAMA ELÉCTRICO TOTAL DE CONEXIÓN)

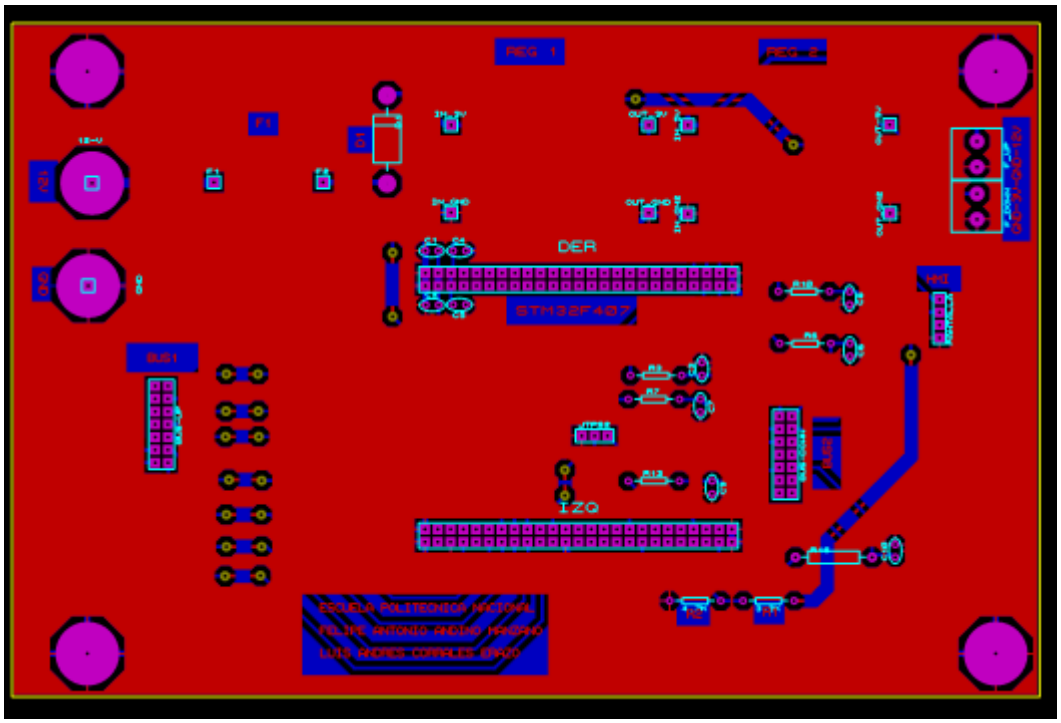


ANEXO III

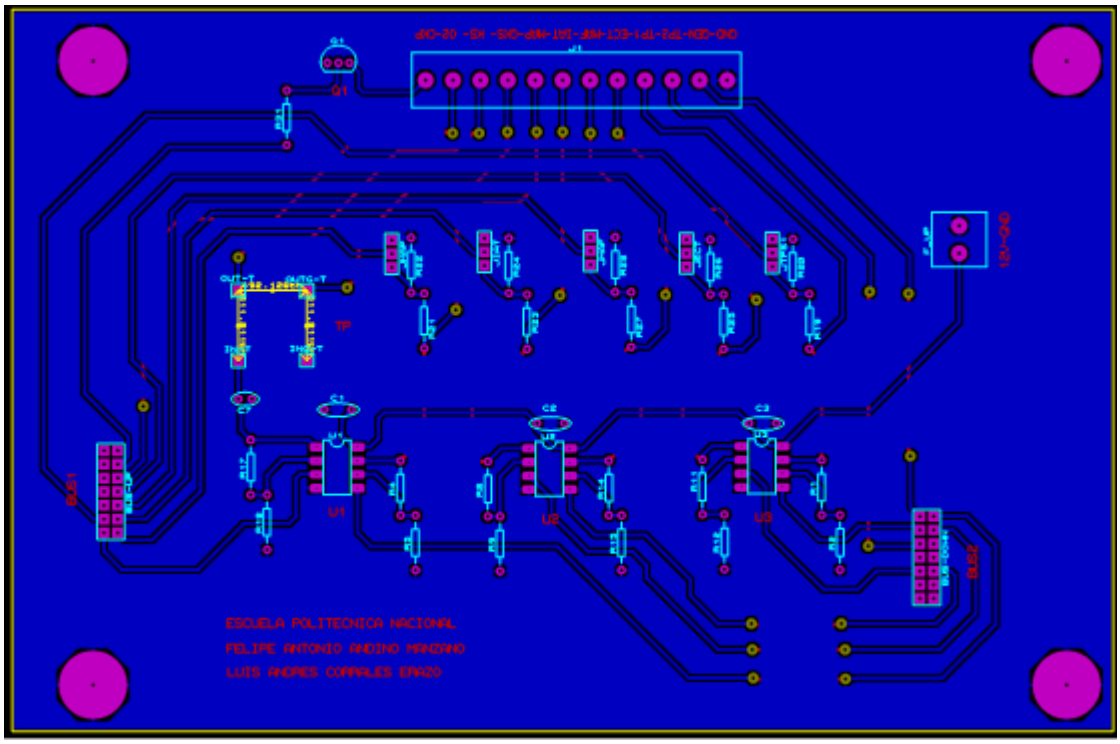
DISEÑO ESTRUCTURAL Y CIRCUITOS IMPRESOS DEL PROYECTO

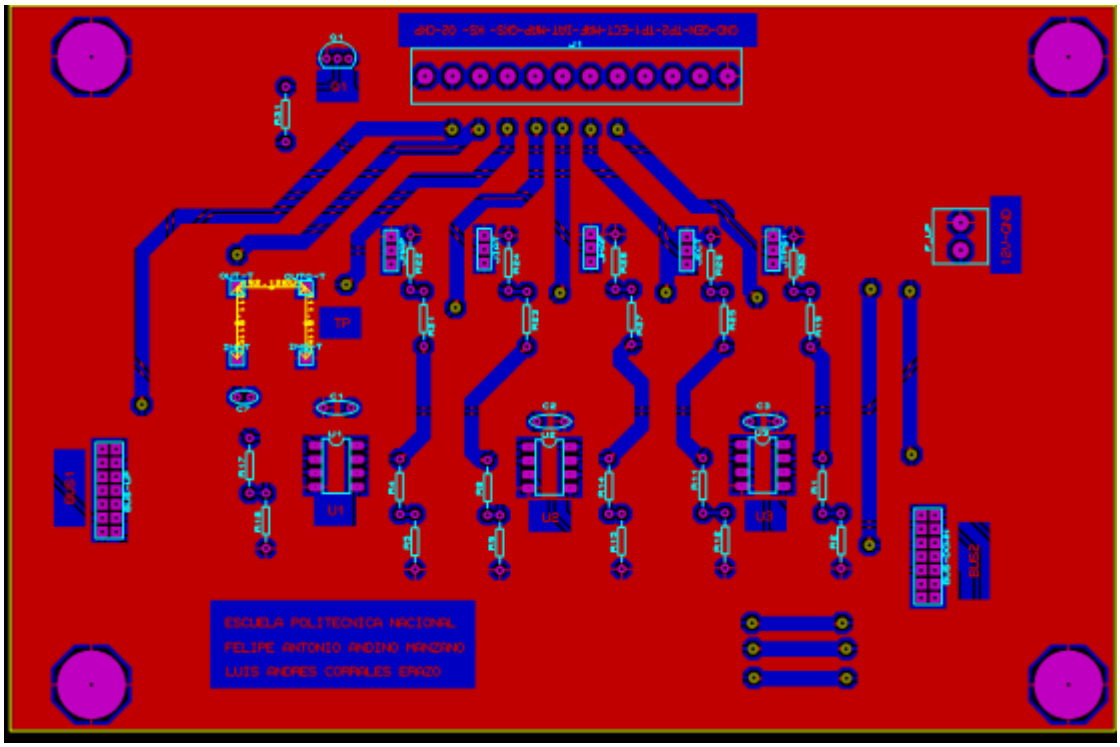
PRIMERA PLACA:



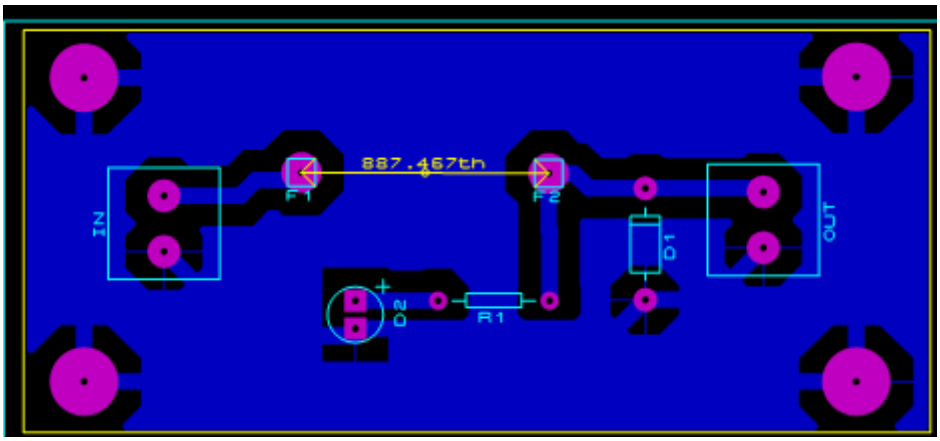


SEGUNDA PLACA:

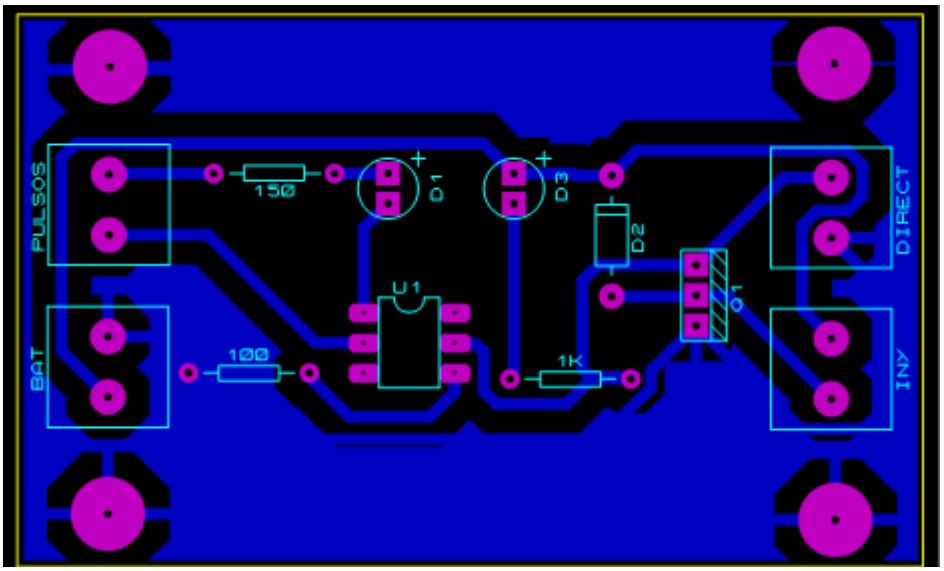




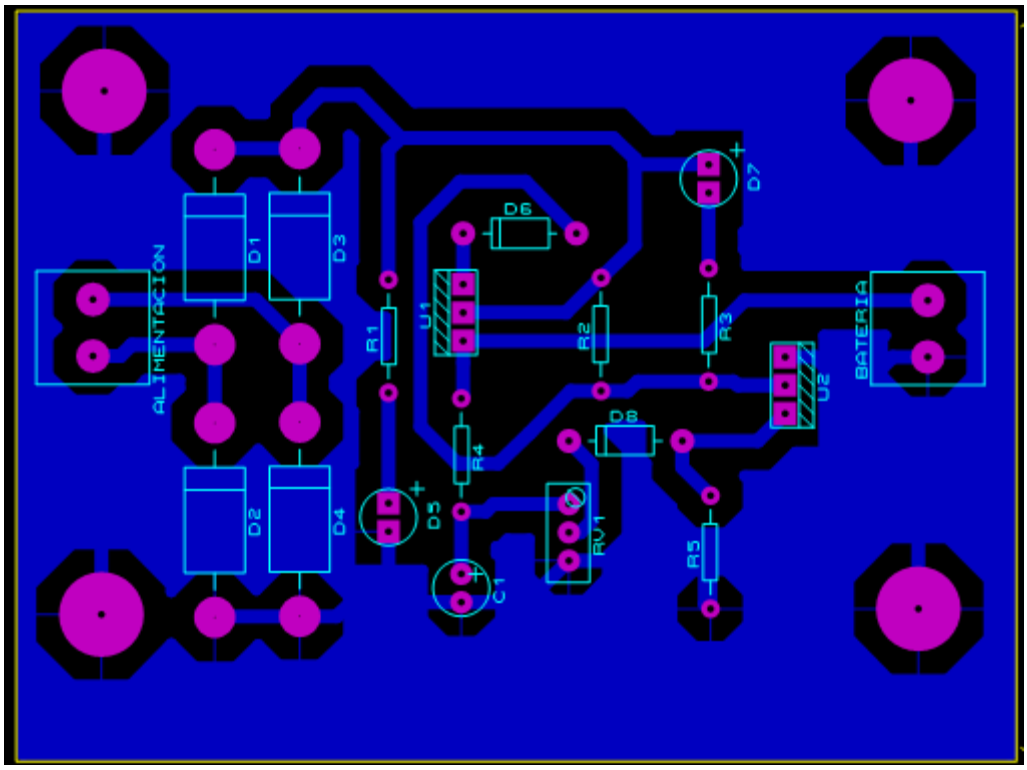
PLACA DEL CIRCUITO DE PROTECCIÓN:



PLACA DEL CIRCUITO DEL MÓDULO PARA PROBAR ACTUADORES:



PLACA DEL CIRCUITO PARA EL CARGADOR DE LA BATERÍA:



ANEXO V

SOLICITUD USO BATERÍA

Quito DM, 02 de octubre de 2017

Señores.
Felipe Andino
Luis Corrales
Presente

De mi consideración:

Referente al proyecto: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA EMULACIÓN DE LAS SEÑALES GENERADAS POR LOS SENSORES EMPLEADOS EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA AUTOMOTRIZ**; en razón de que dicho "banco de pruebas" será utilizado para pruebas estáticas en el auto, es necesario que éste trabaje siendo alimentado eléctricamente con la misma batería del vehículo que está bajo prueba, para mantener la referencia real, por lo cual, solicito que no se haga la inclusión de una batería interna ya que además aumentaría el peso del equipo dificultando su manejo.

Es importante que el equipo tenga una buena etapa de filtración al ingreso de alimentación de la batería para evitar distorsiones por ruido eléctrico.

Atentamente,

MECÁNICA EXPRESS
Ing. Raúl Hidrobo
GERENTE TÉCNICO

Ing. Raúl Hidrobo MSc
Gerente Mecánica Express

www.mecanica-express.com

pón N37-96 y Naciones Unidas
nail: rhidrobo@mecanica-express.com
Telefax: 2439 600 - 2279 628
Quito - Ecuador

ANEXO VI

MICROCONTROLLER STM32F407

life.augmented

UM1472
User manual

Discovery kit with STM32F407VG MCU

Introduction

The STM32F4DISCOVERY Discovery kit allows users to easily develop applications with the STM32F407 high performance microcontroller with ARM® Cortex®-M4 32-bit core. It includes everything required either for beginners or for experienced users to get quickly started.

Based on the STM32F407VGT6, it includes an ST-LINK/V2 or ST-LINK/V2-A embedded debug tool, two ST MEMS digital accelerometers, a digital microphone, one audio DAC with integrated class D speaker driver, LEDs and push buttons and an USB OTG micro-AB connector. To expand the functionality of the STM32F4DISCOVERY Discovery kit with the Ethernet connectivity, LCD display and more, visit the www.st.com/stm32f4dis-expansion webpage. The STM32F4DISCOVERY Discovery kit comes with the STM32 comprehensive software HAL library, together with various packaged software examples, as well as a direct access to the ARM® mbed™ on-line resources at http://mbed.org.

Figure 1. STM32F4DISCOVERY

1. Picture not contractual

1 Features

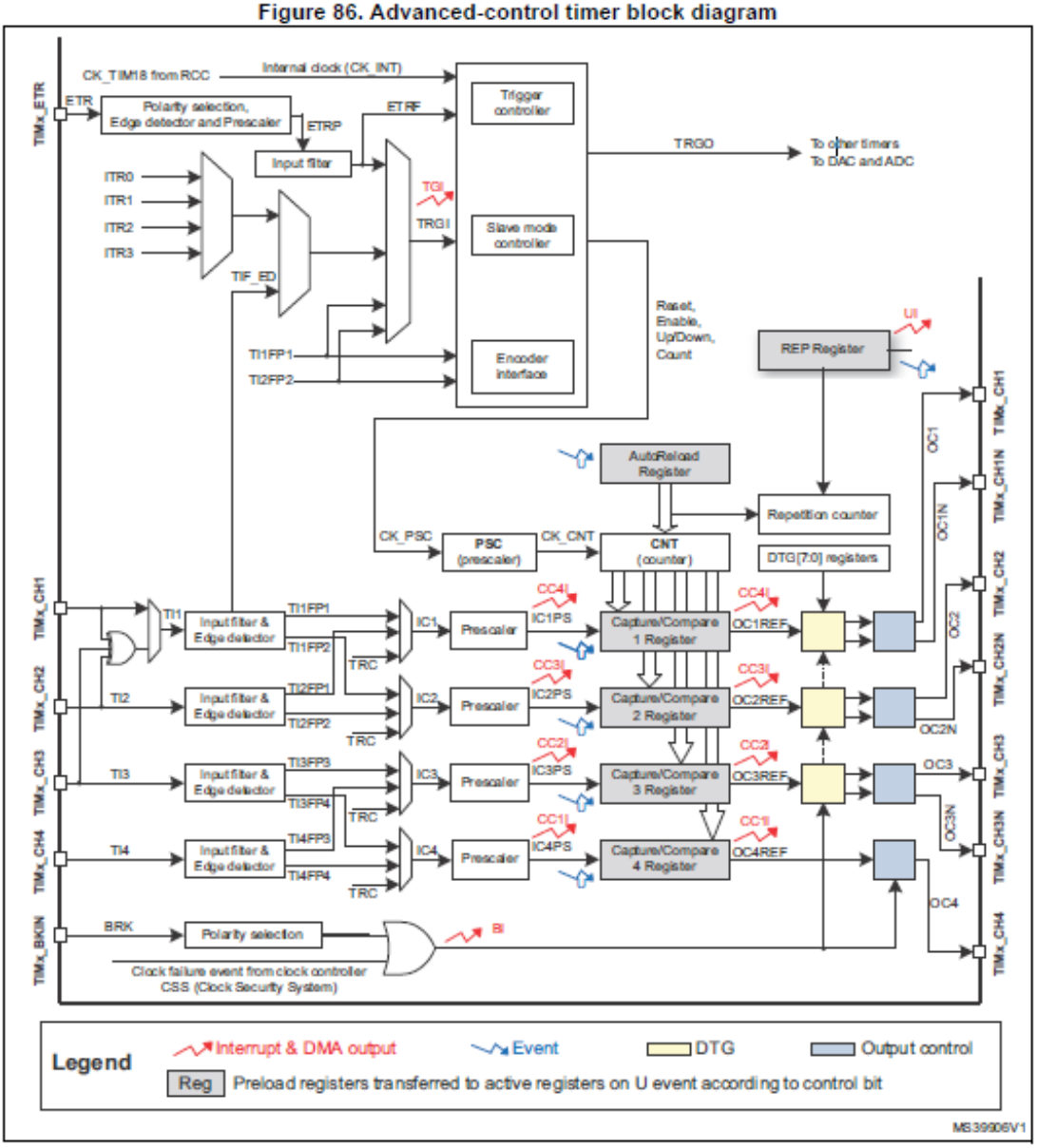
The STM32F4DISCOVERY offers the following features:

- STM32F407VGT6 microcontroller featuring 32-bit ARM Cortex® -M4 with FPU core, 1-Mbyte Flash memory, 192-Kbyte RAM in an LQFP100 package
- On-board ST-LINK/V2 on STM32F4DISCOVERY or ST-LINK/V2-A on STM32F407G-DISC1
- ARM® mbed™ -enabled (http://mbed.org) with ST-LINK/V2-A only
- USB ST-LINK with re-enumeration capability and three different interfaces:
  - virtual com port (with ST-LINK/V2-A only)
  - mass storage (with ST-LINK/V2-A only)
  - debug port
- Board power supply:
  - Through USB bus
  - External power sources:
    3 V and 5 V
- LIS302DL or LIS3DSH ST MEMS 3-axis accelerometer
- MP45DT02 ST MEMS audio sensor omni-directional digital microphone
- CS43L22 audio DAC with integrated class D speaker driver
- Eight LEDs:
  - LD1 (red/green) for USB communication
  - LD2 (red) for 3.3 V power on
  - Four user LEDs, LD3 (orange), LD4 (green), LD5 (red) and LD6 (blue)
  - 2 USB OTG LEDs LD7 (green) VBUS and LD8 (red) over-current
- Two push buttons (user and reset)
- USB OTG FS with micro-AB connector
- Extension header for all LQFP100 I/Os for quick connection to prototyping board and easy probing
- Comprehensive free software including a variety of examples, part of STM32CubeF4 package or STSW-STM32068 for legacy standard libraries usage

ANEXO VII

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS TIMERS DE CONTROL AVANZADO STM32F4XX

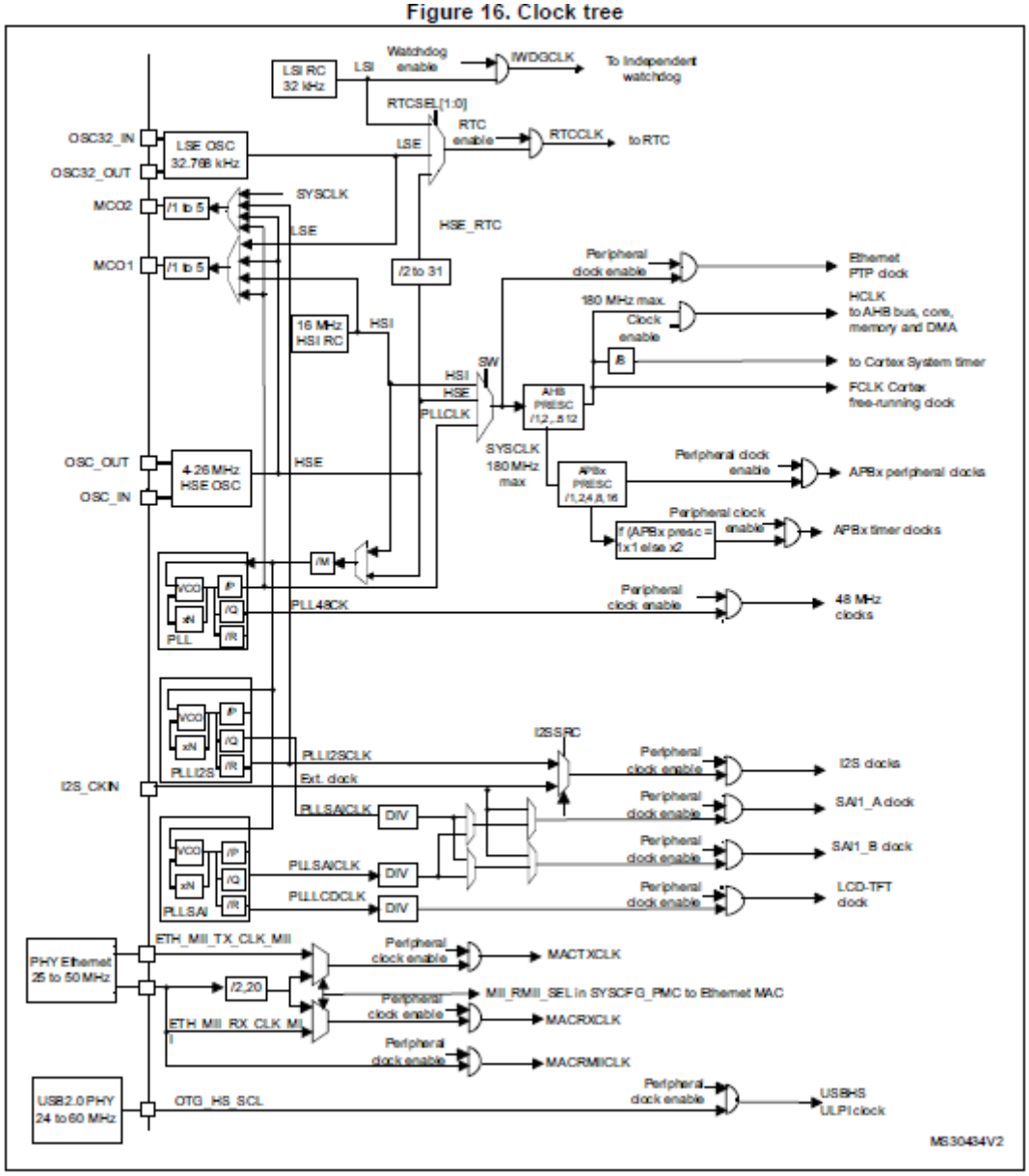
Figure 86. Advanced-control timer block diagram



ANEXO VIII

ÁRBOL DE RÉLOJ STM32F4XX

Figure 16. Clock tree



ANEXO IX

HOJAS DE DATOS

VOLTAGE REGULATOR LM2596

TEXAS INSTRUMENTS

LM2596

SNVS124D – NOVEMBER 1999 – REVISED MAY 2016

LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator

1 Features

- 3.3-V, 5-V, 12-V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range: 1.2-V to 37-V ± 4% Maximum Over Line and Load Conditions
- Available in TO-220 and TO-263 Packages
- 3-A Output Load Current
- Input Voltage Range Up to 40 V
- Requires Only 4 External Components
- Excellent Line and Load Regulation Specifications
- 150-kHz Fixed-Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode, I_Q, Typically 80 μA
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current-Limit Protection
- Create a Custom Design Using the LM2596 with the WEBENCH Power Designer

2 Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter

3 Description

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3-A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

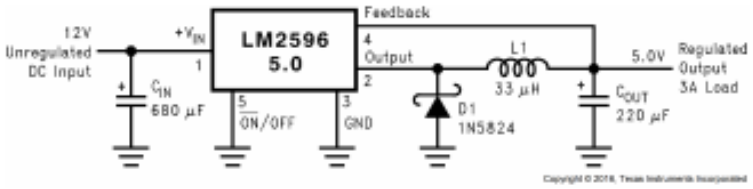
The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz, thus allowing smaller sized filter components than what would be required with lower frequency switching regulators. Available in a standard 7-pin TO-220 package with several different lead bend options, and a 7-pin TO-263 surface mount package.

Device Information(1)

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM2596	TO-220 (7)	14.986 mm × 10.16 mm
	TO-263 (7)	10.10 mm × 8.89 mm

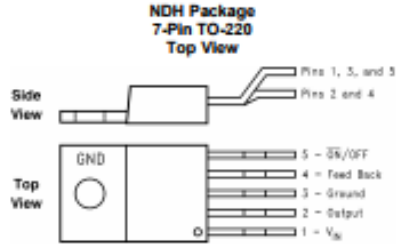
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

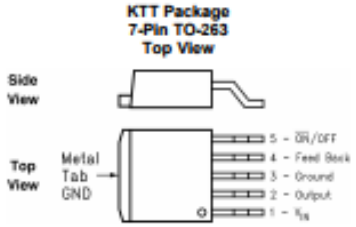
Typical Application



(Fixed Output Voltage Versions)

6 Pin Configuration and Functions





Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	V_{IN}	I	This is the positive input supply for the IC switching regulator. A suitable input bypass capacitor must be present at this pin to minimize voltage transients and to supply the switching currents required by the regulator.
2	Output	O	Internal switch. The voltage at this pin switches between approximately ($+V_{IN} - V_{SAT}$) and approximately −0.5 V, with a duty cycle of V_{OUT} / V_{IN}. To minimize coupling to sensitive circuitry, the PCB copper area connected to this pin must be kept to a minimum.
3	Ground	—	Circuit ground.
4	Feedback	I	Senses the regulated output voltage to complete the feedback loop.
5	$\overline{ON}$/OFF	I	Allows the switching regulator circuit to be shut down using logic signals thus dropping the total input supply current to approximately 80 µA. Pulling this pin below a threshold voltage of approximately 1.3 V turns the regulator on, and pulling this pin above 1.3 V (up to a maximum of 25 V) shuts the regulator down. If this shutdown feature is not required, the $\overline{ON}$/OFF pin can be wired to the ground pin or it can be left open. In either case, the regulator will be in the ON condition.

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[1][2]

			MIN	MAX	UNIT
Maximum supply voltage (V_{IN})				45	V
$\overline{SD}$/SS pin input voltage[3]				6	V
Delay pin voltage[3]				1.5	V
Flag pin voltage			−0.3	45	V
Feedback pin voltage			−0.3	25	V
Output voltage to ground, steady-state				−1	V
Power dissipation			Internally limited		
Lead temperature	KTW package	Vapor phase (60 s)		215	°C
		Infrared (10 s)		245	
	NDZ package, soldering (10 s)			260	
Maximum junction temperature				150	°C
Storage temperature, T_{stg}			−65	150	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
(2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
(3) Voltage internally clamped. If clamp voltage is exceeded, limit current to a maximum of 1 mA.

7.2 ESD Ratings

			VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001[1]	±2000	V

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

7.3 Operating Conditions

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	4.5	40	V
Temperature	–40	125	°C

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC[1]			LM2596		UNIT
			KTW (TO-263)	NDZ (TO-220)	
			7 PINS	7 PINS	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance[2][3][4]	See[4]	—	50	°C/W
		See[5]	50	—	
		See[6]	30	—	
		See[7]	20	—	
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance		2	2	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.
(2) The package thermal impedance is calculated in accordance to JESD 51-7.
(3) Thermal Resistances were simulated on a 4-layer, JEDEC board.
(4) Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the package mounted TO-220 package mounted vertically, with the leads soldered to a printed circuit board with (1 oz.) copper area of approximately 1 in^2.
(5) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 0.5 in^2 of 1-oz copper area.
(6) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 2.5 in^2 of 1-oz copper area.
(7) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a double sided printed circuit board with 3 in^2 of 1-oz copper area on the LM2596S side of the board, and approximately 16 in^2 of copper on the other side of the PCB.

Copyright © 1999–2016, Texas Instruments Incorporated

7.5 Electrical Characteristics – 3.3-V Version

Specifications are for T_J = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN[1]	TYP[2]	MAX[1]	UNIT
SYSTEM PARAMETERS[3] (see Figure 35 for test circuit)							
V_{OUT}	Output voltage	4.75 V ≤ V_{IN} ≤ 40 V, 0.2 A ≤ I_{LOAD} ≤ 3 A	T_J = 25°C	3.168	3.3	3.432	V
			–40°C ≤ T_J ≤ 125°C	3.135		3.465	
η	Efficiency	V_{IN} = 12 V, I_{LOAD} = 3 A			73%		

(1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
(2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
(3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 35, system performance is shown in the test conditions column.

7.6 Electrical Characteristics – 5-V Version

Specifications are for T_J = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN[1]	TYP[2]	MAX[1]	UNIT
SYSTEM PARAMETERS[3] (see Figure 35 for test circuit)							
V_{OUT}	Output voltage	7 V ≤ V_{IN} ≤ 40 V, 0.2 A ≤ I_{LOAD} ≤ 3 A	T_J = 25°C	4.8	5	5.2	V
			–40°C ≤ T_J ≤ 125°C	4.75		5.25	
η	Efficiency	V_{IN} = 12 V, I_{LOAD} = 3 A			80%		

(1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
(2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
(3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 35, system performance is shown in the test conditions column.

7.7 Electrical Characteristics – 12-V Version

Specifications are for T_J = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN(1)	TYP(2)	MAX(1)	UNIT
SYSTEM PARAMETERS(3) (see Figure 35 for test circuit)							
V_{OUT}	Output voltage	15 V ≤ V_{IN} ≤ 40 V, 0.2 A ≤ I_{LOAD} ≤ 3 A	T_J = 25°C	11.52	12	12.48	V
			−40°C ≤ T_J ≤ 125°C	11.4		12.6	
η	Efficiency	V_{IN} = 25 V, I_{LOAD} = 3 A			90%		

(1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
(2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
(3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 35, system performance is shown in the test conditions column.

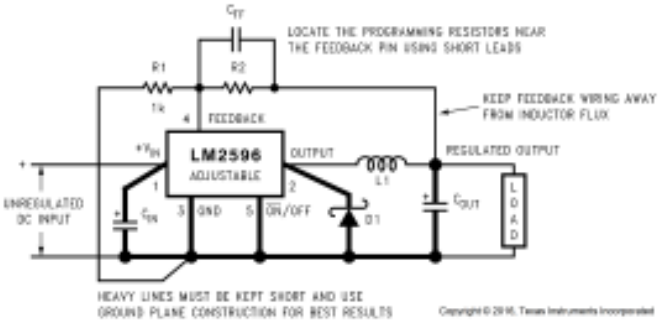
7.8 Electrical Characteristics – Adjustable Voltage Version

Specifications are for T_J = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN(1)	TYP(2)	MAX(1)	UNIT
SYSTEM PARAMETERS(3) (see Figure 35 for test circuit)							
V_{FB}	Feedback voltage	4.5 V ≤ V_{IN} ≤ 40 V, 0.2 A ≤ I_{LOAD} ≤ 3 A			1.23		V
		V_{OUT} programmed for 3 V (see Figure 35 for test circuit)	T_J = 25°C	1.193		1.267	
			−40°C ≤ T_J ≤ 125°C	1.18		1.28	
η	Efficiency	V_{IN} = 12 V, V_{OUT} = 3 V, I_{LOAD} = 3 A			73%		

(1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
(2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
(3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 35, system performance is shown in the test conditions column.

9.2.2 LM2596 Adjustable Output Series Buck Regulator



$$V_{OUT} = V_{REF}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

where V_{REF} = 1.23 V

$$R_2 = R_1\left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1\right)$$

Select R_1 to be approximately 1 kΩ, use a 1% resistor for best stability.
C_{IN} — 470-µF, 50-V, Aluminum Electrolytic Nichicon *PL Series*
C_{OUT} — 220-µF, 35-V Aluminum Electrolytic, Nichicon *PL Series*
D1 — 5-A, 40-V Schottky Rectifier, 1N5825
L1 — 68 µH, L38
R1 — 1 kΩ, 1%
C_{FF} — See *Feedforward Capacitor (C_{FF})*

Figure 35. Adjustable Output Voltage Version

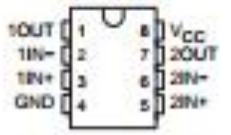
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIER LM358p

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

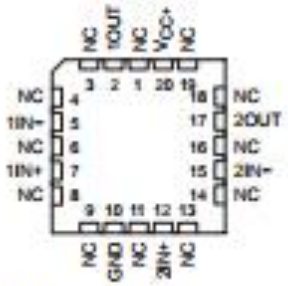
SLOS068P – JUNE 1976 – REVISED SEPTEMBER 2004

- Wide Supply Range:
  - Single Supply . . . 3 V to 32 V (26 V for LM2904)
  - or Dual Supplies . . . ±1.5 V to ±16 V (±13 V for LM2904)
- Low Supply-Current Drain, Independent of Supply Voltage . . . 0.7 mA Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground
- Low Input Bias and Offset Parameters:
  - Input Offset Voltage . . . 3 mV Typ
    A Versions . . . 2 mV Typ
  - Input Offset Current . . . 2 nA Typ
  - Input Bias Current . . . 20 nA Typ
    A Versions . . . 15 nA Typ
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . . 32 V (26 V for LM2904)
- Open-Loop Differential Voltage Amplification . . . 100 V/mV Typ
- Internal Frequency Compensation

LM158, LM158A . . . JG PACKAGE
LM258, LM258A . . . D, DGK, OR P PACKAGE
LM358 . . . D, DGK, P, PS, OR PW PACKAGE
LM358A . . . D, DGK, P, OR PW PACKAGE
LM2904 . . . D, DGK, P, PS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



LM158, LM158A . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC = No internal connection

description/ordering information

These devices consist of two independent, high-gain, frequency-compensated operational amplifiers designed to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible if the difference between the two supplies is 3 V to 32 V (3 V to 26 V for the LM2904), and V_{CC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be implemented more easily in single-supply-voltage systems. For example, these devices can be operated directly from the standard 5-V supply used in digital systems and easily can provide the required interface electronics without additional ±5-V supplies.

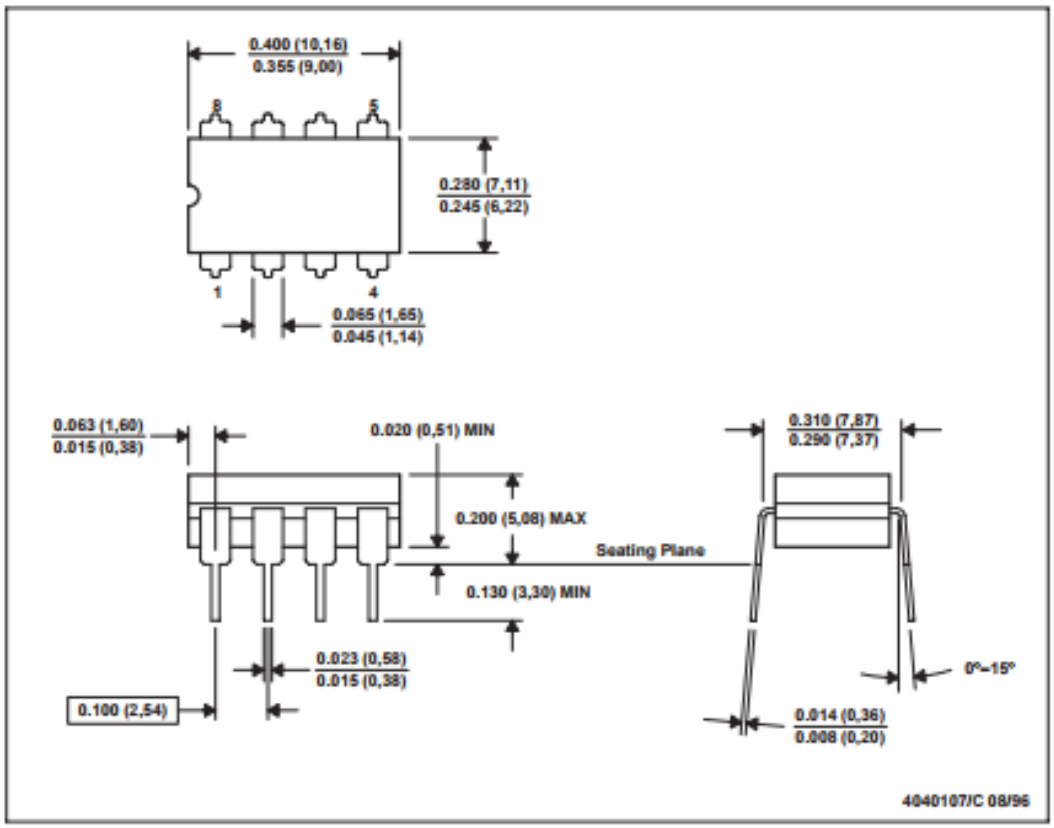
Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

JG (R-GDIP-T8) CERAMIC DUAL-IN-LINE



NOTES:
A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. This package can be hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
D. Index point is provided on cap for terminal identification.
E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T8

TRANSISTOR NPN 2N3904

2N3903, 2N3904

2N3903 is a Preferred Device

General Purpose Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb−Free Package May be Available. The G−Suffix Denotes a Pb−Free Lead Finish

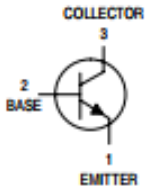
MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector−Emitter Voltage	V_{CEO}	40	Vdc
Collector−Base Voltage	V_{CBO}	60	Vdc
Emitter−Base Voltage	V_{EBO}	6.0	Vdc
Collector Current − Continuous	I_C	200	mAdc
Total Device Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	−55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction−to−Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction−to−Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

1. Indicates Data in addition to JEDEC Requirements.



STYLE 1

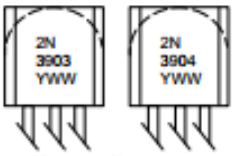
*For additional information on our Pb−Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

TO−92
CASE 29
STYLE 1

MARKING DIAGRAMS



Y = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
2N3903	TO−92	5000 Units/Box
2N3903RLRM	TO−92	2000/Ammo Pack
2N3904	TO−92	5000 Units/Box
2N3904RLRA	TO−92	2000/Tape & Reel
2N3904RLRE	TO−92	2000/Tape & Reel
2N3904RLRM	TO−92	**2000/Ammo Pack**
2N3904RLRMG	TO−92	2000/Ammo Pack
2N3904RLRP	TO−92	2000/Ammo Pack
2N3904RL1	TO−92	2000/Tape & Reel
2N3904ZL1	TO−92	2000/Ammo Pack

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

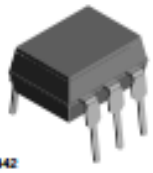
OPTOCOUPLER 4N35

VISHAY

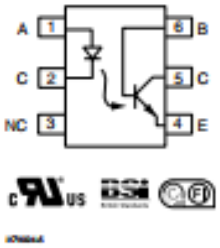
4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

DESCRIPTION

Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

AGENCY APPROVALS

- Underwriters laboratory file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO; EN 60065, EN 60335, EN 60950 certificate no. 25156

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N35	CTR > 100 %, DIP-6
4N36	CTR > 100 %, DIP-6
4N37	CTR > 100 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V_R	6	V
Forward current		I_F	50	mA
Surge current	t ≤ 10 µs	I_{FSM}	1	A
Power dissipation		P_{diss}	70	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V_{EBO}	7	V
Collector current		I_C	50	mA
	t ≤ 1 ms	I_C	100	mA
Power dissipation		P_{diss}	70	mW
COUPLER				
Isolation test voltage		V_{ISO}	5000	V_{RMS}
Creepage			≥ 7	mm
Clearance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm

TRANSISTOR DE POTENCIA TIP122

TIP120, TIP121, TIP122 (NPN); TIP125, TIP126, TIP127 (PNP)

Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors

Designed for general–purpose amplifier and low–speed switching applications.

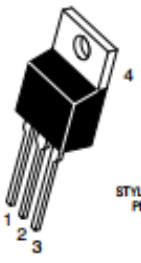
Features

- High DC Current Gain –
  h_{FE} = 2500 (Typ) @ I_C = 4.0 Adc
- Collector–Emitter Sustaining Voltage – @ 100 mAdc
  $V_{CEO(sus)}$ = 60 Vdc (Min) – TIP120, TIP125
  = 80 Vdc (Min) – TIP121, TIP126
  = 100 Vdc (Min) – TIP122, TIP127
- Low Collector–Emitter Saturation Voltage –
  $V_{CE(sat)}$ = 2.0 Vdc (Max) @ I_C = 3.0 Adc
  = 4.0 Vdc (Max) @ I_C = 5.0 Adc
- Monolithic Construction with Built–In Base–Emitter Shunt Resistors
- Pb–Free Packages are Available*

ON Semiconductor®

www.onsemi.com

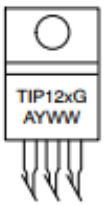
DARLINGTON
5 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60–80–100 VOLTS, 65 WATTS



TO–220AB
CASE 221A
STYLE 1

STYLE 1:
PIN 1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER
4. COLLECTOR

MARKING DIAGRAM



TIP12x	= Device Code
x	= 0, 1, 2, 5, 6, or 7
A	= Assembly Location
Y	= Year
WW	= Work Week
G	= Pb–Free Package

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP120, TIP125	TIP121, TIP126	TIP122, TIP127	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB}		5.0		Vdc
Collector Current – Continuous – Peak	I_C		5.0 8.0		Adc
Base Current	I_B		120		mAdc
Total Power Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D		65 0.52		W W/°C
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D		2.0 0.016		W W/°C
Unclamped Inductive Load Energy (Note 1)	E		50		mJ
Operating and Storage Junction, Temperature Range	T_J, T_{stg}		–65 to +150		°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction–to–Case	$R_{\theta JC}$	1.92	°C/W
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	°C/W

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

1. I_C = 1 A, L = 100 mH, P.R.F. = 10 Hz, V_{CC} = 20 V, R_{BE} = 100 Ω

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector–Emitter Sustaining Voltage (Note 2) (I_C = 100 mAdc, I_B = 0)	 TIP120, TIP125 TIP121, TIP126 TIP122, TIP127	$V_{CEO(sus)}$	 60 80 100	 – – –	Vdc
Collector Cutoff Current (V_{CE} = 30 Vdc, I_B = 0) (V_{CE} = 40 Vdc, I_B = 0) (V_{CE} = 50 Vdc, I_B = 0)	 TIP120, TIP125 TIP121, TIP126 TIP122, TIP127	I_{CEO}	 – – –	 0.5 0.5 0.5	mAdc
Collector Cutoff Current (V_{CB} = 60 Vdc, I_E = 0) (V_{CB} = 80 Vdc, I_E = 0) (V_{CB} = 100 Vdc, I_E = 0)	 TIP120, TIP125 TIP121, TIP126 TIP122, TIP127	I_{CBO}	 – – –	 0.2 0.2 0.2	mAdc
Emitter Cutoff Current (V_{BE} = 5.0 Vdc, I_C = 0)		I_{EBO}	–	2.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS (Note 2)					
DC Current Gain (I_C = 0.5 Adc, V_{CE} = 3.0 Vdc) (I_C = 3.0 Adc, V_{CE} = 3.0 Vdc)		h_{FE}	1000 1000	– –	–
Collector–Emitter Saturation Voltage (I_C = 3.0 Adc, I_B = 12 mAdc) (I_C = 5.0 Adc, I_B = 20 mAdc)		$V_{CE(sat)}$	 – –	 2.0 4.0	Vdc
Base–Emitter On Voltage (I_C = 3.0 Adc, V_{CE} = 3.0 Vdc)		$V_{BE(on)}$	–	2.5	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Small–Signal Current Gain (I_C = 3.0 Adc, V_{CE} = 4.0 Vdc, f = 1.0 MHz)		h_{fe}	4.0	–	–
Output Capacitance (V_{CB} = 10 Vdc, I_E = 0, f = 0.1 MHz	TIP125, TIP126, TIP127 TIP120, TIP121, TIP122	C_{ob}	– –	300 200	pF

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

2. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2%

SCR TIC126M

New Jersey Semi-Conductor Products, Inc.

20 STERN AVE.
SPRINGFIELD, NEW JERSEY 07081
U.S.A.

TELEPHONE: (973) 376-2922
(212) 227-6005
FAX: (973) 376-8960

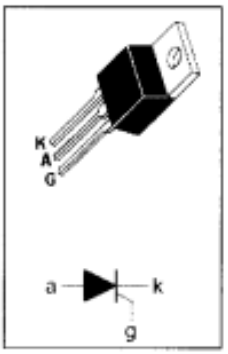
Thyristors **TIC126M**

APPLICATIONS

- 12A continunous on-state current
- 100A surge-current
- Glass passivated
- Max I_{GT} of 20mA

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(T_a=25℃)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	UNIT
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltage	600	V
V_{RRM}	Repetitive peak reverse voltage	600	V
$I_{T(AV)}$	On-state current Tc=80℃	7.5	A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current Tc=80℃	12	A
I_{TM}	Surge peak on-state current	100	A
P_{GM}	Peak gate power $P_W \leq 300\,\mu s$	5	W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	1	W
T_j	Operating Junction temperature	110	℃
T_{stg}	Storage temperature	-40 ~+125	℃
$R_{th(j-c)}$	Thermal resistance, junction to case	2.4	℃/W
$R_{th(j-a)}$	Thermal resistance, junction to ambient	62.5	℃/W



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C=25℃ unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP.	MAX	UNIT
I_{RRM}	Repetitive peak reverse current	V_{RM}=V_{RRM}, Tj=110℃			2.0	mA
I_{DRM}	Repetitive peak off-state current	V_{RM}=V_{RRM}, Tj=110℃			2.0	mA
V_{TM}	On-state voltage	I_{TM}= 12A			1.4	V
I_{GT}	Gate-trigger current	V_{AA}=6V; R_L=100Ω			20	mA
V_{GT}	Gate-trigger voltage	V_{AA}=6V; R_L=100Ω			1.5	V
I_H	Holding current	V_{AA}=6V; R_{GK}=1kΩ ,I_T=100mA			40	mA

NJ Semi-Conductors reserves the right to change test conditions, parameter limits and package dimensions without notice. Information furnished by NJ Semi-Conductors is believed to be both accurate and reliable at the time of going to press. However, NJ Semi-Conductors assumes no responsibility for any errors or omissions discovered in its use. NJ Semi-Conductors encourages customers to verify that datasheets are current before placing orders.

Quality Semi-Conductors

ANEXO X

SENSORES (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TÍPICAS)

THROTTLE POSITION SENSOR (TPS, TÍPICO):

WILLIAMS CONTROLS

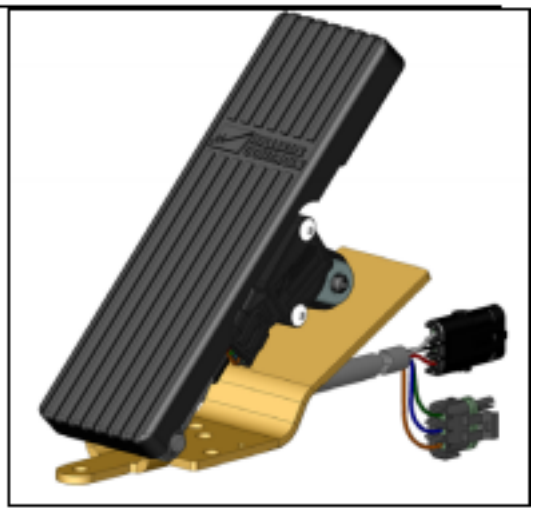
WCS-351571

Original Release: 03/25/2009
Original Project: 1429

Williams Customer Specification

Features:

- 45° ± 2° Pedal Angle
- 17° ± 2° Angular Rotation
- FMVSS 124 and 302 compliant
- -40°C to + 85°C Operation
- +5V Operation
- Non-Contact Sensor
- Ratiometric APS output
- Integral Metripack 150 Series Connector
- Protected against Electrical Misconnection



Connector Pin Configuration

PACKARD ELECTRIC "WEATHER PACK" CONNECTOR
CONNECTOR, KEY INDEX P/N 12010717
TERMINAL PIN (MALE) P/N 12089040
WIRE SEAL P/N 12015323

PIN A---WHITE---APS GROUND 1
PIN B---BLACK---APS SIGNAL 1
PIN C---RED------APS SUPPLY (5V) 1

PACKARD ELECTRIC "WEATHER PACK" CONNECTOR
CONNECTOR, KEY INDEX P/N 12015793
TERMINAL PIN (MALE) P/N 12089188
WIRE SEAL P/N 12015323

PIN C---GREEN------APS SUPPLY (5V) 2
PIN B---BLUE--------APS GROUND 2
PIN A---ORANGE---APS SIGNAL 2

Applications:

- Truck Throttle with Position Sensor
- Used with 2007/2010 Cummins engine applications
- Meets Cummins Specification AEB 15.67

Description:

The Electronic Floor Pedal Assembly (EFPA) is designed to provide a signal to the engine fuel control system in response to the driver's request for engine power. A sensor is employed which provides a linear output voltage proportional to the angular displacement of the treadle.

Absolute Maximum Electrical/Mechanical Ratings

Supply Voltage	+ 5.5 VDC
Output Current	± 10 mA
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Storage Temperature	-40°C to +85°C
Static Load Limit	1500N normal to treadle at 200mm from pivot

Operation of this device beyond absolute maximum ratings may result in permanent damage.

WILLIAMS CONTROLS

WCS-351571

Design Verification Testing (Regulatory, Mechanical, Environmental)

Regulatory Validation

- **FMVSS-124 RTI Certification**
  Per Federal regulations
- **FMVSS-302 Flammability**
  Per Federal regulations
- **Engine Manufacturer Specification**
  Per Cummins Standard AEB 15.67

Mechanical Validation

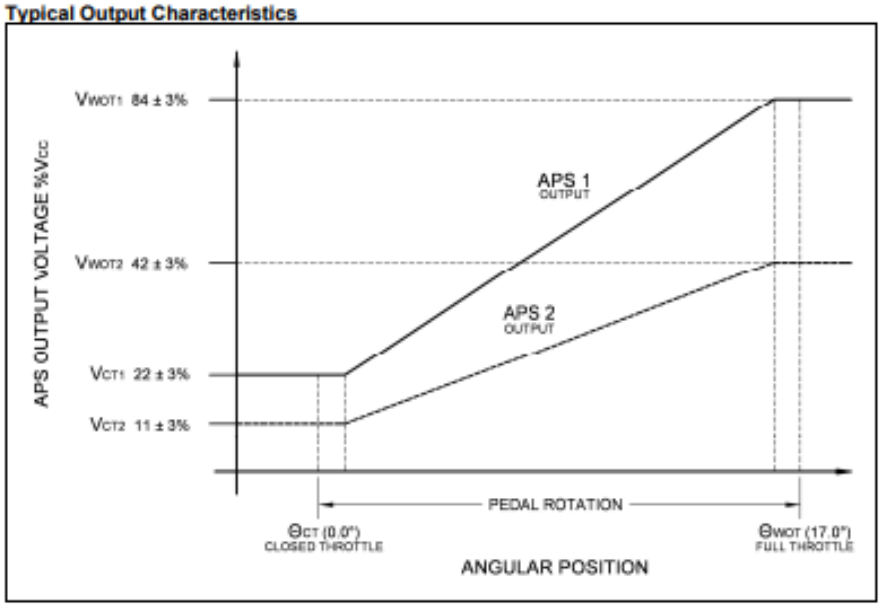
- **Full Stroke Endurance/Durability**
  With periodically monitored electrical output
- **Ultimate Strength**
  With force vs displacement plots
- **Side Load Deflection**
  With Force vs Displacement Plots

Full Stroke Cycles:	3 x 10^6 Cycles
Cycle Rate:	1 Hz

Pedal Environmental Validation:

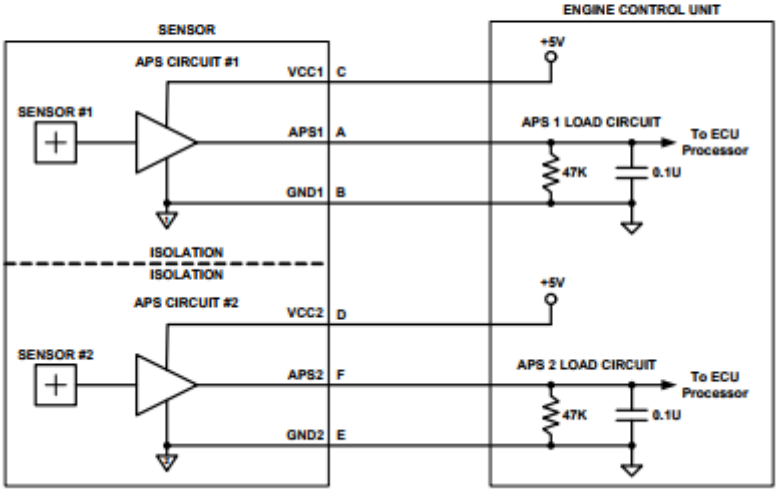
Thermal Cycle:	**Refer to Williams Spec WDS-010**
Thermal Stress:	
Thermal Shock:	
Humidity:	
Vibration:	
Salt Spray:	
Dust Exposure:	
Chemical Immersion:	
Pressure Wash:	
Mechanical Shock:	

Typical Output Characteristics



Applications Information:

Load Circuit



MANIFOLD ABSOLUTE PRESSURE/INTAKE AIR TEMPERATURE SENSOR (MAP/IAT, TÍPICO):

DELPHI

SENSORS

Delphi Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature (MAP/MAT) Sensors

The Delphi Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature (MAP/MAT) Sensors provide precise measurements of manifold absolute pressure, manifold air temperature, and other high output gasoline and diesel engine performance characteristics, in the following operating pressure ranges:

- 15 kPa to 102 kPa
- 12.5 kPa to 115 kPa
- 20 kPa to 250 kPa
- 10 kPa to 350 kPa

Delphi Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature Sensors are designed to perform in harsh environments such as extreme temperatures and vibration, thermal and mechanical shock, and chemical contamination. They provide two separate outputs critical to air/fuel ratio optimization:

- One voltage output proportional to engine intake manifold pressure
- Thermistor output proportional to manifold air temperature

Delphi Small Profile Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature (MAP/MAT) Sensor

Benefits

- Two-in-one design yields cost and space savings, with one less component, wire and connector
- Electronic compensation for precise measurements in a variety of environments
- Reliable and robust:
  - Low part count
  - Automotive grade
  - ISO/TS 16949 certified
- Mounting flexibility
- Designed for under-hood environments
- Appropriate for a wide range of automotive and non-automotive applications
- All-silicon, solid-state microelectronic technology
- Temperature compensation
- Electromagnetic interference (EMI) protection
- Air temperature output
- Electronically programmable trim to customer specifications
- MAP sensor precision with reliable thermistor output

Delphi Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature (MAP/MAT) Sensor

Typical Applications

Delphi Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature Sensors can be used for manifold absolute pressure, barometric pressure, and exhaust gas recirculation (EGR) pressure applications in gasoline and diesel engine programs.

Delphi Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature (MAP/MAT) Sensors

Delphi MAP/MAT Sensors can be used in other non-automotive gaseous pressure applications within appropriate ranges.

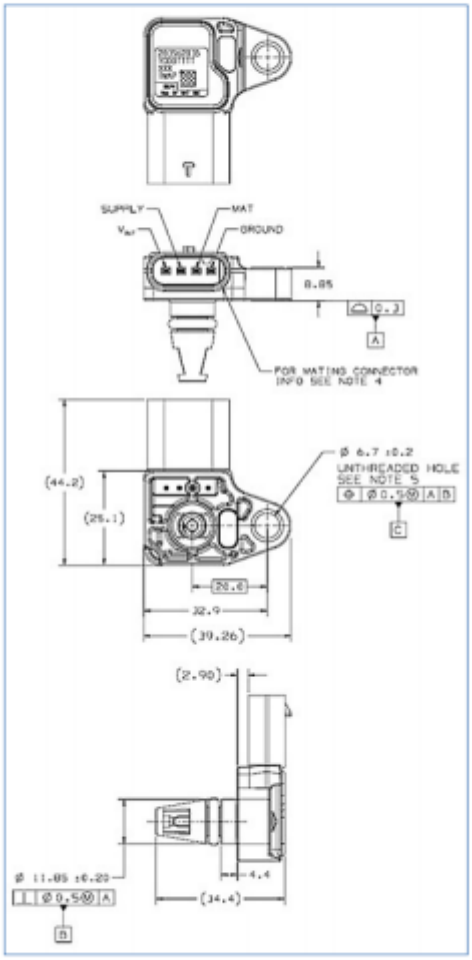
Performance Data for Standard Calibration

Pressure Range	
Operating	15 kPa to 102 kPa 12.5 kPa to 115 kPa 20 kPa to 250 kPa 10 kPa to 350 kPa
Maximum	667 kPa
Full scale accuracy	1.8%

Temperature Range	
Operating	-40°C to 125°C
Measurement accuracy	±1°C at 25°C
Storage	-50°C to 150°C

Electrical Characteristics	
Supply voltage	5.0 ± 0.1 VDC
Supply current	<10 mA_{DC}
Maximum output current	Sink 1 mA_{DC} Source 0.1 mA_{DC}
Output impedance	<50 Ω
Output voltage	0.25 to 4.85 V_{DC}
Diagnostic clamp regions on output	Low <5% of supply High >95% of supply

Note: Custom calibrations are available upon request.



Delphi Manifold Absolute Pressure/Manifold Air Temperature Sensors offer compact size to help meet packaging objectives. They also feature a direct mounting capability to eliminate the need for separate mounting brackets.

ENGINE COOLANT TEMPERATURE SENSOR (ECT, TÍPICO)

DELPHI
Packard Electric Systems

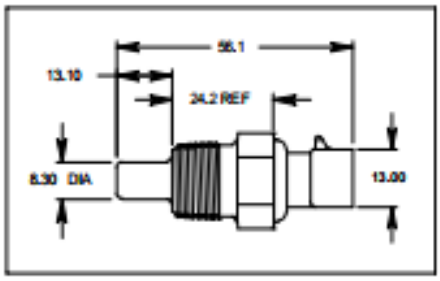
TEMPERATURE SENSOR
PRODUCT DATA

COOLANT TEMPERATURE SENSOR

PART NUMBER 12146312

FEATURES

- Design for Manufacturability
- Cost Effective
- Robust Design
- Few Components & Assembly Processes
- Thermistor Technology
- 100% Calibration Certified



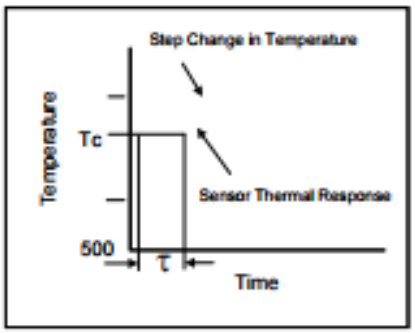
Thermal & Electrical Properties

Typical Voltage Supply		5V dc
Operating Temperature		-40°C to 135°C
Resistive Range(Ω)		See Table
Dissipation Constant	‡	24 mW/°C
Thermal Time Constant	‡‡	20 to 30 seconds
Accuracy		See Table

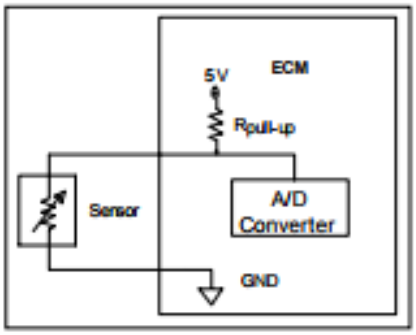
Mechanical Characteristics

Sensor Body Material		Brass Housing
Connector		PBT 30% GF
Hex Size		18.90mm (3/4")
Thread Size		3/8" - 18 NPTF
Thread Sealant		GM09985473
Validated Sealing Pressu	‡‡‡	145 kPa
Mating Connector & Seal		12162193
Installation Torque		20 N•m, dynamic
Overall Weight		39.5g

Thermal Time Constant ‡‡



Circuit Schematic



‡ The ratio, at a specified ambient temperature, of the change in the power dissipation of the sensor to the resultant temperature change of the thermistor. Test medium: silicone oil.

‡‡ The time required for the sensor to achieve 63.2% of its steady state value when subjected to a step change in ambient temperature [Tc=(Tf-Ti)*63.2%+Ti]. Test medium: silicone oil.

‡‡‡ Test fixture fitted with 3/8"-18 NPSF Internal Threads.

6312 Data Sheet/05.14.97

MASS AIR FLOW SENSOR (MAF, TÍPICO)

Honeywell

Mass Airflow Sensors

AWM720P1 Airflow

AWM700 Series

FEATURES

- Flow tubes for ranges up to 200 SLPM
- Highly stable null and full-scale
- Compact package design
- Extremely low hysteresis and repeatability errors, less than 0.35% of reading
- Fast response time, 6 ms typical
- Low power consumption, less than 60 mW

TYPICAL APPLICATIONS

- Oxygen concentrators
- Oxygen conservers
- Respirators and ventilators
- Nebulizers
- Continuous positive airway pressure (CPAP) equipment
- Anesthesia delivery
- Leak detection
- Spectroscopy
- Mass flow controllers
- Telecommunication systems
- Environmental climate controls
- Fuel cell controls

⚠WARNING

PERSONAL INJURY

- DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

AWM700 Series microbridge mass airflow sensors provide in-line flow measurement with a specially designed bypass flow housing. The sensors measure flow as high as 200 standard liters per minute (SLPM) while inducing a pressure drop of 1 inch H_2O, typically. The AWM700 has a high flow range capability in a small package.

The AWM700 has a 6 millisecond response time, requires a 10 Vdc supply, but consumes only 60 mW of power. The compact plastic package withstands overpressures of 25 psi without compromising performance. The snap-in AMP compatible connector provides reliable connection. The sensor is also well suited for use in portable devices and battery-powered applications.

The AWM700 Series provides a combination of time proven reliability, high accuracy, and precision operating characteristics. This inherent accuracy over life reduces need for recalibration. AWM700 sensor circuitry performs amplification and temperature compensation.

The AWM720P1 200 LPM Mass Airflow Sensor, developed primarily for the medical ventilation market, meets the high performance requirements of many medical and analytical instrumentation applications.

⚠WARNING

MISUSE OF DOCUMENTATION

- The information presented in this product sheet is for reference only. Do not use this document as product installation information.
- Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

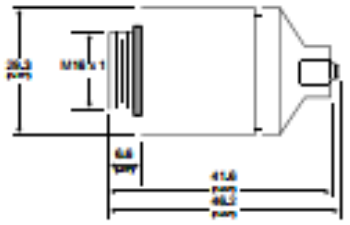
SENSOR DE OXÍGENO (TÍPICO)

Automotive Oxygen Sensors

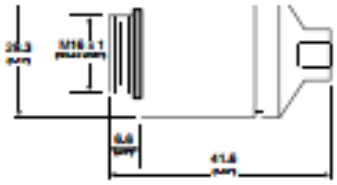
SPECIFICATIONS

Sensor models:	R17A, R21A & R22A
Output range:	7 - 13 mV in air at 25° C, sea level (standard); other ranges optional
Range:	0 to 100% O2
Resolution:	Better than 0.1% O2
Linearity:	±1% of full scale at constant temperature and pressure
Expected life:	36 months at 20.9% oxygen, 25° C, 50% RH
Response time:	30 seconds or less 20.9% O2 to 0.1% O2: (actual response of sensor is < 6 seconds 0 to 90% O2)
Humidity:	0 to 99% RH, non-condensing
Operating temperature range:	0° to 50° C
Temperature compensation:	±5% of reading over the operating range (at thermal equilibrium)
Cross interference:	Less than 0.1% O2 response to:
	15% CO2, balance N2
	7% CO, balance N2
	3000 ppm NO, balance N2
	3000 ppm HC (Hexane), balance N2
Connectors:	3 Pin Molex (R21A & R22A)
	Switchcraft mini phone jack (R17A)
Approvals:	PTB, BAR97, BAR90, CE

R17A



R21A & R22A



TELEDYNE
ANALYTICAL INSTRUMENTS
A Teledyne Technologies Company
16830 Chestnut Street
City of Industry, California 91748, USA

TEL: 626-934-1500 or 888-789-8168
FAX: 626-934-1651 EMAIL: ask_tai@teledyne.com
www.teledyne-ai.com

© 2008 Teledyne Analytical Instruments, A Teledyne Technologies Company.
All rights reserved. Printed in the USA.

Warranty

Instrument is warranted for 1 year from date of shipment against defects in material or workmanship.

NOTE: Specifications and features will vary with application. The above are established and validated during design, but are not to be construed as test criteria for every product. All specifications and features are subject to change without notice.

CRANKSHAFT POSITION SENSOR (CKP, TÍPICO)

Solid State Sensors

GT1 Series

Hall Effect Gear Tooth Sensors

TYPICAL APPLICATIONS

Automotive and Heavy Duty Vehicles:

- Camshaft and crankshaft speed/ position
- Transmission speed
- Tachometers
- Anti-skid/traction control

Industrial:

- Sprocket speed
- Chain link conveyor speed and distance
- Stop motion detector
- High speed low cost proximity
- Tachometers, Counters

FEATURES

- Senses ferrous metal targets
- Digital current sinking output (open collector)
- Better signal-to-noise ratio than variable reluctance sensors, excellent low speed performance, output amplitude not dependent on RPM
- Sensor electronically *self-adjusts* to slight variations in runout and variations in temperature, simplifying installation and maintenance
- Fast operating speed – over 100 kHz
- EMI resistant
- Reverse polarity protection and transient protection (integrated into Hall I.C.)
- Wide continuous operating temperature range (–40° to 150°C), short term to 160°C

GENERAL INFORMATION

1GT1 Series Gear Tooth Sensors use a magnetically biased Hall effect integrated circuit to accurately sense movement of ferrous metal targets. This specially designed I.C., with discrete capacitor and bias magnet, is sealed in a probe type package for physical protection and cost effective installation.

Units will function from a 4.5 to 24 VDC power supply. Output is digital, current sinking (open collector). Reverse polarity protection is standard. If power is inadvertently wired backwards, the sensor will not be damaged. Built-in protection against pulsed transients to +60V, –40V is also included.

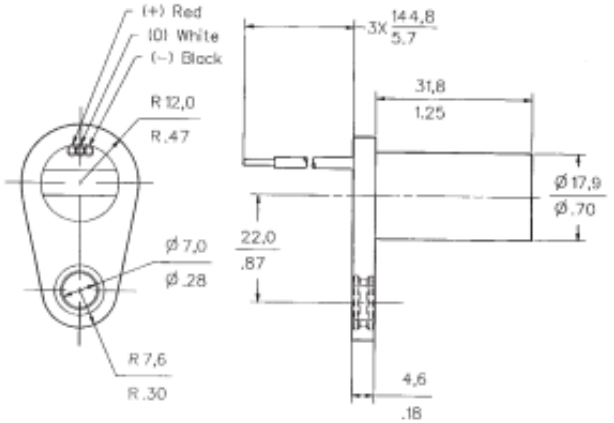
Optimum sensor performance is dependent on the following variables which must be considered in combination:

- Target material, geometry, and speed
- Sensor/target gap
- Ambient temperature
- Magnetic material in close proximity

GT1 ORDER GUIDE

Catalog Listing	Description
1GT101DC	Gear Tooth Sensor

MOUNTING DIMENSIONS (For reference only)



KNOCK SENSOR (KS, TÍPICO)

Bosch Motorsport | Knock Sensor KS4-P

Knock Sensor KS4-P

www.bosch-motorsport.com

BOSCH
Invented for life

- Engine vibration measurements
- Measurement range 3 to 25 kHz
- Robust design
- Integrated series connector

This sensor is used for detecting structural born vibrations in spark ignition engines due to uncontrolled combustion. This sensor is suitable for operation in extreme conditions.
Due to the inertia of the seismic mass, the sensor moves in correlation to the engine block vibration; this motion results in a compressive force which is converted into a voltage signal via a piezoceramic sensor element. As a result, upper and lower voltage thresholds can be defined directly correlating to an acceleration magnitude.
The main benefits of this sensor are its robust mechanical design, compact housing and precise determination of structure-related noise. The small packaging is accomplished by integrating the connector directly to the sensor.

Application	
Application	3 to 25 kHz
Operating temperature range	-40 to 150°C
Storage temperature range	-30 to 60°C
Max. vibration	≤ 800 m/s²

Technical Specifications	
Mechanical Data	
Male thread (for cast)	M8x25
Male thread (for Al)	M8x30
Installation torque	20±5 Nm
Weight w/o wire	48 g
Protection	IP X9K
Electrical Data	
Range of frequency	3 to 25 kHz
Sensitivity at 5 kHz	26 ± 8 mV/g
Max. sensitivity changing (lifetime)	-17 %
Linearity between 5 to 15 kHz (from 5 kHz value)	-10 to 10 %
Linearity between 15 to 20 kHz (linear increasing with freq)	20 to 50 %
Main resonance frequency	30 kHz
Impedance	> 1 MOhm