



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Recinto Universitario “Simón Bolívar”
Facultad de Electrotecnia y Computación

PROTOTIPO DE INSTRUMENTO
PARA DIAGNOSTICO DE CUERPOS DE ACELERACION
ELECTRONICOS PARA AUTOMOVILES

MONOGRAFIA
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRONICO

PRESENTADO POR:
Br. LESTHER SALOMON BORGE CAMPOS

TUTOR:
M.Sc. DORA INES REYES CHAVEZ.

ASESORES:
ING. BYRON ADOLFO BALMACEDA ESPINOZA.
ING. LEONIDAS RAFAEL LOPEZ HERNANDEZ.

MANAGUA, NICARAGUA
9 DE MARZO DEL AÑO 2020

Dedicatoria

A Alexandra Elbakyan, sin la creación del proyecto Sci-Hub la presente investigación hubiera estado limitada severamente de información.

A familia, y amistades cercanas que me apoyaron en momentos difíciles, y me animaron a perseverar los estudios, sin ellos todo esto no hubiera sido posible.

A mi tutora, y asesores, que creyeron en mi tema de investigación, que con esmero y dedicación apoyaron la culminación de la misma.

Lesther B.

Resumen

El presente trabajo describe un prototipo de instrumento para el diagnóstico de cuerpos de aceleración electrónico que permite obtener los parámetros de mayor incidencia en el funcionamiento. Un proceso investigativo del estado del arte del tema arrojó los diferentes fenómenos que inciden en el óptimo comportamiento de un cuerpo de aceleración; se determinó durante este proceso que el prototipo tiene la flexibilidad de controlar y obtener los valores incidentes en su funcionamiento de diferentes modelos de cuerpo de aceleración, ya sean estos de doble rotación o una sola rotación.

Su capacidad de obtener, procesar los elementos clave de un cuerpo de aceleración electrónico, y habilidad de proveer con una interfaz de un operador se demuestra mediante la implementación de un algoritmo de detección de fallos y sistema de menú desarrollado con la asesoría de Ing. Byron Balmaceda, e Ing. Leonidas López.

Abstract

This thesis describes a prototype instrument for the diagnostic of electronic throttle bodies that allows capturing most important parameters in its functioning. An investigative process in the state of art on the subject revealed the different phenomena that impact the optimal performance of a throttle body; during development it was determined that the prototype has flexibility to control different models of throttle bodies, being with double rotation o single rotation.

It's capabilities of obtaining, processing key elements of an electronic throttle body, and ability of providing with an operator interface are demonstrated with the implementation of a fault detection and diagnosis algorithms, along with a menu system, developed with advisory of Ing. Byron Balmaceda, e Ing. Leónidas López.

Índice

I.	Introducción	1
II.	Objetivos	2
III.	Justificación	3
IV.	Marco Teórico.....	4
1.	Cuerpo de aceleración:	4
1.1.	Clasificación:	4
1.2.	Elementos de un cuerpo de aceleración:	4
1.3.	Construcción del cuerpo de aceleración:	6
2.	Unión del cuerpo de aceleración con el vehículo:	7
3.	Control del cuerpo de aceleración:.....	8
4.	Diagnóstico del cuerpo de aceleración:.....	10
5.	Complejidades del cuerpo de aceleración:.....	12
6.	Señales de control:.....	15
7.	Diagnóstico y aislación de fallos:.....	15
V.	Construcción de prototipo:	17
8.	Alimentación:.....	18
9.	Control de motor:.....	19
10.	Adquisición:.....	20
11.	Control:.....	22
12.	Periféricos:	22
13.	Integración:	22
14.	Programación de software:	23
VI.	Análisis De Resultados.....	24
14.	Análisis de manufactura del prototipo:	27
15.	Implementación de algoritmo de diagnóstico:	28
VII.	Conclusiones y Recomendaciones.....	30
16.	Trabajos futuros:	30
VIII.	Bibliografía.....	31
IX.	Anexos.....	36

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Cuerpo de Aceleración con Enlace Mecánico	4
Ilustración 2. Cuerpo de Aceleración Electrónico	4
Ilustración 3. Sensor de Tipo Potenciométrico	5
Ilustración 4. Sensor de Tipo Hall.....	5
Ilustración 5. Sensor Tipo Inductivo.....	5
Ilustración 6. Válvula mariposa.....	5
Ilustración 7. Esquemático de un Cuerpo de Aceleración	6
Ilustración 8. Señales positivamente correlacionadas	7
Ilustración 9. Señales negativamente correlacionadas.....	7
Ilustración 10. Diagrama simplificado de Control del Motor.....	8
Ilustración 11. Método de Directo	9
Ilustración 12. Control PWM	9
Ilustración 13. Control de Flujo Magnético	9
Ilustración 14. Integración del ETB en sistemas convencionales	12
Ilustración 15. Fricción entre dos superficies.....	13
Ilustración 16. Efecto Stick-Slip bajo diferentes condiciones	13
Ilustración 17. Comportamiento del resorte de seguridad	14
Ilustración 18. Torque aerodinámico basado en el ángulo de apertura	14
Ilustración 19. Elementos no lineales del ETB.....	15
Ilustración 20. Detección de falla, y correspondiente residuo.....	16
Ilustración 21. Prototipo de instrumento de Diagnostico.....	17
Ilustración 22. Diagrama de funcionamiento del prototipo de instrumento	17
Ilustración 23. Control por PWM del motor en el ETB	18
Ilustración 24. Diagrama de interno del DRV8816.....	19
Ilustración 25. Captura del sensor del ETB con una entrada de rampa	20
Ilustración 26. Conexión single-ended del ADS1015.....	20
Ilustración 27. Medición del TPS en Kia Picanto con filtro digital por Picoscope 2206B.	21
Ilustración 28. Filtro RC de 2 etapas utilizado	21
Ilustración 29. Integración de componentes	23
Ilustración 30. Diagrama Esquemático y Diseño Impreso del ST1S41	24
Ilustración 31. Diagrama Esquemático y Diseño Impreso del MIC5504	25
Ilustración 32. Filtro RC dos etapas.....	25
Ilustración 33. Respuesta ante entrada de 1kHz ~2V.....	25
Ilustración 34. Circuito impreso y diagrama esquemático del controlador de motor	26
Ilustración 35. Señal PWM de prueba (azul), respuesta del DRV8816 (rojo)	27
Ilustración 36. Diagrama de Programa Implementado	28
Ilustración 37. Respuesta del ETB a la señal de control sin filtro de datos	29
Ilustración 38. Respuesta del ETB a la señal de control con filtro de datos	29

I. **Introducción**

Tal como lo señala (William, 2003, pág. 2) los automóviles han tenido un gran avance tecnológico durante los últimos diez años al incluir la electrónica en los diferentes sistemas de los automóviles, tales como control electrónico de dirección, sistemas antibloqueo de ruedas, inyección electrónica de combustible, así como la inclusión de sistemas de diagnóstico para disminuir tiempo de puesta en marcha de unidades que necesitan reparación, lo que a su vez incrementa la economía de combustible y confort en los automóviles de pasajeros.

A pesar que la inclusión de la electrónica en los vehículos ha acelerado las mejoras en los diferentes sistemas de los vehículos, también eleva la complejidad del diagnóstico, por lo que se presume que, dado la complejidad del sistema, ellos han desarrollado sus propios métodos de diagnóstico, que no están disponibles en el mercado. Otros interesados han desarrollado herramientas para el diagnóstico del cuerpo de aceleración.

Lo cual deja a centros no autorizados de terceros sin herramientas para realizar dicho diagnóstico, incrementando los tiempos de puesta en marcha de los vehículos. Por lo tanto, en el presente trabajo monográfico se creará un prototipo de herramienta que pueda diagnosticar las fallas del cuerpo de aceleración electrónico, si estas están presentes

II. **Objetivos**

General

Crear un prototipo de instrumento para diagnóstico de cuerpo de aceleración electrónico para automóviles.

Específicos

- Conocer los parámetros/variables de funcionamiento del cuerpo de aceleración con motores DC.
- Seleccionar los sensores apropiados para la lectura de los parámetros/variables del cuerpo de aceleración.
- Diseñar y caracterizar una interfaz analógica-digital para la obtención de datos del cuerpo de aceleración.
- Seleccionar el microcontrolador que permita procesar las variables que inciden en el cuerpo de aceleración.
- Utilizar modelos de circuitos existentes para simular el comportamiento del circuito.
- Ensamblar los circuitos integrados en una tarjeta impresa personalizada.

III. Justificación

En Nicaragua existen al menos cuatro casas comerciales importadoras de automóviles nuevos, es decir, automóviles que traen consigo nuevas tecnologías en su funcionamiento, todas estas casas importadoras y vendedores detallistas de automóvil condicionan la garantía del vehículo, el mantenimiento preventivo y correctivo del vehículo, contando para ello con sus propios talleres de reparación y mantenimiento.

Se presume que estos talleres cuentan de igual manera con la tecnología que viene acompañado a estos nuevos vehículos, por tanto, se considera poco probable que adolezcan de herramientas para la detección de fallos en los vehículos que comercializan.

Muchos propietarios de vehículos al completarse la garantía dejan de efectuar mantenimiento de sus vehículos en los talleres de las casas comerciales por su alto costo; siendo los talleres particulares, negocios individuales quienes continúan con los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo.

Tal como acá se indica, existen desde mecánicos individuales como talleres bien establecidos que dan atención a los propietarios de vehículos. En estos talleres se efectúan de todo tipo de reparaciones, sean mecánicas o eléctricas, sin embargo, cuando las fallas son electrónicas, estos deben buscar a un especialista registrado, que son pocos.

Para los diagnósticos electrónicos existen algunos dispositivos tales como; PlusQuip EQP-115, ELECTROTHROTTLE ETC Tester, sin embargo, no tienen un modelo matemático que analice algunas partes electrónicas de los cuerpos de aceleración del vehículo.

Para diagnosticar el cuerpo de aceleración de un vehículo que presenta fallas es preciso conocer las variables de funcionamiento del mismo y su relación entre ellas, dado que en el mercado no hemos encontrado un dispositivo que efectúe esas lecturas. Se presume que todo diagnóstico está basado en prueba y error.

La inexistencia de dispositivos de diagnóstico nos permite presentar un modelo matemático y un prototipo de instrumento electrónico para la rápida detección de fallos en el cuerpo de aceleración si estos están presentes. Los diagnósticos de fallas en los vehículos modernos se han facilitado gracias a la integración de los métodos de diagnóstico electrónico, no obstante, para realizarlo se necesitan herramientas tecnológicas desarrolladas por los fabricantes de automóviles, por lo que su diagnóstico por talleres no autorizados se limita de forma severa.

IV. Marco Teórico

1. Cuerpo de aceleración:

Un cuerpo de aceleración es un dispositivo electro-mecánico utilizado para regular el flujo de aire hacia la cámara de ignición del motor de combustión interna, y mantener la proporción de aire cercano a proporciones estequiométricas (Autoría propia).

1.1. Clasificación:

Tal como explica Michael G (s.f):

- Mecánico: Es aquel que conecta el pedal del acelerador mediante un alambre metálico para realizar el control de la válvula mariposa, mostrado en la Ilustración 1.
- Fly-by-wire: Utiliza una conexión eléctrica para controlar la apertura de la válvula mariposa, mostrado en la Ilustración 2.



Ilustración 1. Cuerpo de Aceleración con Enlace Mecánico (Howell Engine Developments, Inc., 2015)



Ilustración 2. Cuerpo de Aceleración Electrónico (ricksfreeautorepairadvice.com, 2015).

1.2. Elementos de un cuerpo de aceleración:

- Válvula mariposa: Dispositivo utilizado para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada “mariposa”, que gira sobre un eje, referirse a la ilustración 6.
- Resorte: “Es un elemento de una máquina que utiliza la propiedad de elasticidad de un objeto, que se deforma cuando una fuerza es aplicada y regresa a su estado original cuando se retira la fuerza” (Japan Society of Mechanical Engineers (ed.) 2007, pp. 815, 1042.)

- Transmisión: Máquina rotatoria que tiene engranajes, que se acoplan con otros para transmitir torque.
- Sensor: Dispositivo utilizado transmitir el ángulo de apertura de la válvula mariposa del cuerpo de aceleración hacia la Unidad de Control Electrónico (Engine Control Unit, por sus siglas en inglés), puede ser de tres diferentes tipos: potenciométricos, efecto hall, e inductivos, referirse a la ilustración 3, 4, 5 de forma respectiva.
- Motor DC: Máquina eléctrica rotatoria que convierte la energía eléctrica en energía mecánica.

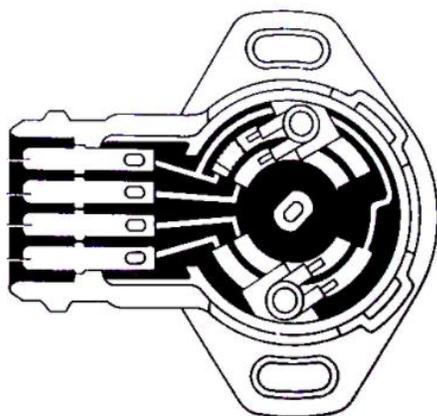


Ilustración 4. Sensor de Tipo Potenciométrico (N. Achari, 2010).



Ilustración 3. Sensor de Tipo Hall (Auto Service Professional, 2011).

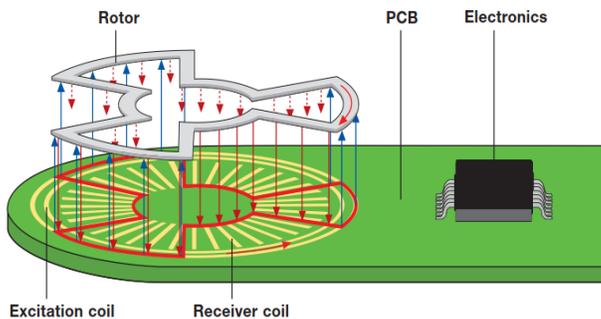


Ilustración 5. Sensor Tipo Inductivo (Hella KGaA Hueck & Co. 2003).



Ilustración 6. Válvula mariposa (H. Smith. 2009).

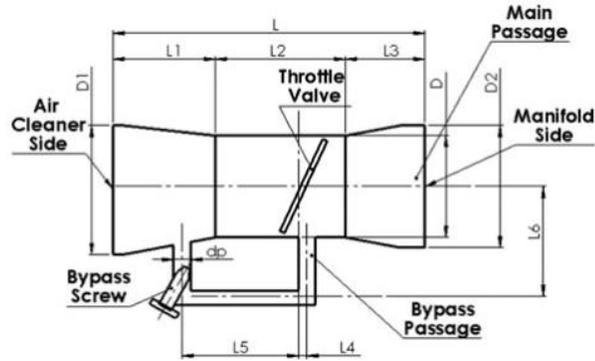


Ilustración 7. Esquemático de un Cuerpo de Aceleración (J Suresh Kumara et al. 2013).

1.3. Construcción del cuerpo de aceleración:

“La valvular mariposa (o válvula del acelerador), restringe la cantidad de flujo de aire hacia el motor basado en la posición del acelerador. Existe un pasaje de desviación que se usa para ajustar el flujo de aire en condiciones de espera.” (J Suresh Kumara, V Ganesana, J M Mallikarjunaa & S Govindarajanb, 2013). Para detalles en su estructura interna, referirse a la ilustración 7.

Los parámetros ‘Bypass’ y ‘Bore’ del cuerpo de aceleración son sus principales parámetros, y obtienen en dependencia de la máxima potencia generada por el motor.

Para calcular la cantidad de aire que debe tener la apertura principal del cuerpo de aceleración se utiliza las siguientes expresiones:

$$V_i = \sqrt{\frac{2p_0}{\rho_0} \left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right) \left[1 - \frac{p_0}{p} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad \dots (1)$$

$$d_p = \frac{4m}{\pi \times \sqrt{2p_0 \rho_0 \frac{\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{\gamma}} \left(1 - \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}}} \quad \dots (2)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times V_{disp} \times \frac{N}{2} \times \eta_{vol}}{C_d \times \pi \times V_i}} \quad \dots (3)$$

Donde C_d es el coeficiente de descarga a través del cuerpo del acelerador, A_t es el área del cuerpo del acelerador, V_t es la velocidad del aire a través del cuerpo del acelerador, η_{vol} es la eficiencia volumétrica del motor, V_{disp} es el volumen de desplazamiento del motor y N es la velocidad del motor.

Presión atmosférica (p_o) y el vacío del motor en la condición de apertura máxima del cuerpo de aceleración (p), densidad del aire al nivel del mar (ρ_o), y la constante adiabática. (J Suresh Kumara et al. 2013)

Ecuación (1), (2), (3), permite obtener el diámetro del cuerpo de aceleración, la velocidad del aire en el conducto, y el diámetro del bypass, respectivamente.

El bypass en el cuerpo de aceleración no constituye todo el aire necesario para que el motor se encuentre en condiciones de espera, una parte del aire necesario se realiza abriendo ligeramente el ducto principal. Sin embargo, el diámetro obtenido por la expresión (3) es en condiciones ideales, el área efectiva dependerá de la construcción de la válvula mariposa y su área proyectada.

$$\text{Effective area of air flow} = \text{Cross-sectional areas of throttle bore} - \text{Projected area of the throttle valve} = \frac{\pi}{4} D^2 - \pi * a * b$$

Referirse a (J Suresh Kumara et al. 2013) para más detalles.

2. Unión del cuerpo de aceleración con el vehículo:

La introducción del ETB (Electronic Throttle Body, por sus siglas en inglés), llevo al desarrollo de control de aceleración electrónico (ETC, por sus siglas en inglés), a como describe (Blaine M. Heisner, 2016):

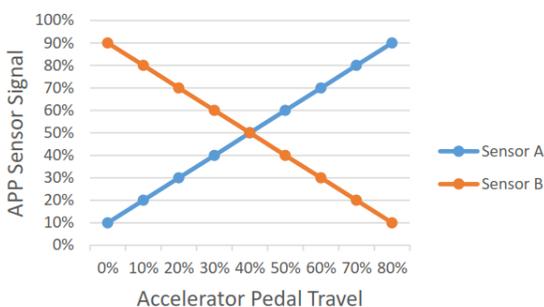


Ilustración 9. Señales negativamente correlacionadas (Blaine M. Heisner, 2016).

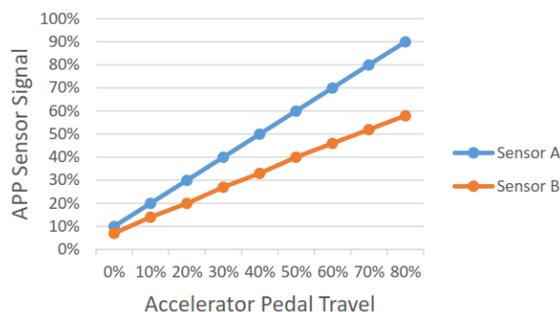


Ilustración 8. Señales positivamente correlacionadas (Blaine M. Heisner, 2016).

ETC utiliza las señales Posición del Pedal de Acelerador (APP) de múltiples sensores en el pedal de acelerador para determinar las órdenes del conductor. Cuando el conductor presiona el pedal del acelerador, la señal de los sensores cambia en relación a la cantidad de aceleración que desee el conductor. En un diseño típico, una señal APP incrementa de bajo a alto voltaje a medida que el pedal del acelerador es presionado y otra señal del sensor decremента (ilustración 8), cruzando caminos en aproximadamente la mitad del viaje. Otros diseños utilizan señales en la que ambos incrementan con el movimiento APP, pero a diferentes proporciones (ilustración 9).

El control de la potencia del motor es realizado por el módulo de tren de potencia (PCM, por sus siglas en inglés), el cual es uno de los subsistemas de control del vehículo. Utiliza información de los diferentes sensores a bordo del vehículo, tales como: Cigüeñal, TPS, válvula IAC, MAF, Pedal de Aceleración, entre otros (referirse a la ilustración 10).

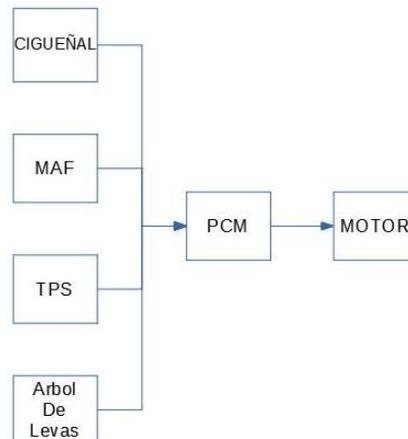


Ilustración 10. Diagrama simplificado de Control del Motor (Autoría propia).

3. Control del cuerpo de aceleración:

Mediante la variación de diferentes parámetros de un motor DC, se puede controlar la velocidad a la que gira, los diferentes métodos son:

- Flujo magnético: Variar la corriente que circula a través del motor (ilustración 13).
- Método de Directo: Controlar del voltaje que recibe el motor (ilustración 11).
- PWM: Se realiza mediante la variación del voltaje promedio que se aplica al motor (ilustración 12).

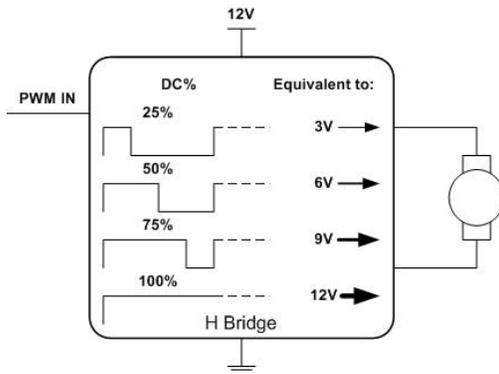


Ilustración 12. Control PWM (avayan, 2009).

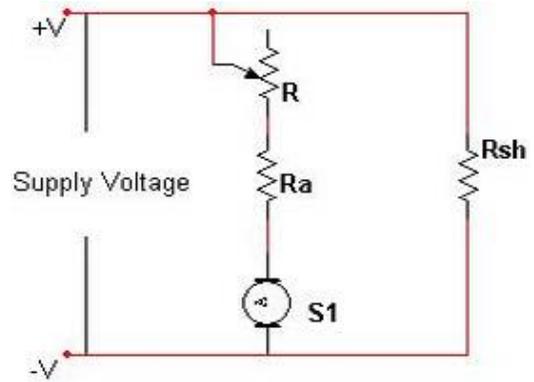


Ilustración 11. Método de Directo (Top Electrical Engineers, 2018).

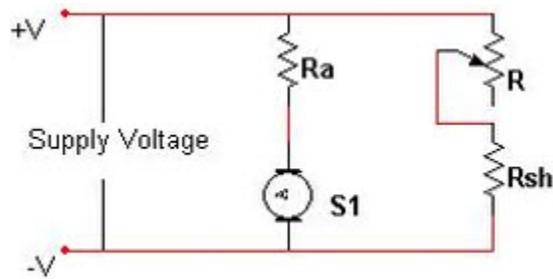


Ilustración 13. Control de Flujo Magnético (Top Electrical Engineers, 2018).

El método de control más utilizado es PWM, ya que incrementa la eficiencia del sistema, y facilita el control electrónico.

Existen diferentes algoritmos para controlar la posición de la válvula mariposa, algunos de ellos son:

- Filtro Kalman.
- Control PID.
- Modelos de Fricción.

No obstante, el método implementado en los vehículos queda a discreción del fabricante.

4. Diagnóstico del cuerpo de aceleración:

La continua evolución de los vehículos aumenta su rendimiento, sin embargo, es un sector que tiene un avance tecnológico conservador, que perfecciona las técnicas existentes, tal es el ejemplo del cuerpo de acelerador electrónico, que hasta tuvo su primera aparición a finales de los 80s, y que aún no cuenta con un método de diagnóstico directo dentro del vehículo.

Sin embargo, se han desarrollado diferentes algoritmos y trabajos para el diagnosticar el funcionamiento del cuerpo de aceleración, entre los cuales están:

- Diagnostics for Automotive Electronic Throttle Body Systems publicado por (Q. Ma, 2005), enfatiza el uso de una metodología basada en modelos de deslizamiento, y la poca atención que se le ha brindado a este campo para los el diagnóstico de ETBs a pesar de ser un problema fundamental, provoca degradación en el rendimiento de los sistemas, a su vez costos por garantía de los fabricantes de automóviles.

En el cual propone un esquema de estimación por fricción basado en principios modelos de control deslizantes, utiliza los parámetros: corrientes de la armadura, inercia total en el eje de la válvula, así como su velocidad angular y su ángulo de apertura, torque de fricción, torque del resorte, y torque aerodinámico.

Aplicando un control proporcional-derivativo (PD), y como sistema de retroalimentación estático simple es utilizado para comprobar la teoría. Teniendo como resultado un sistema que puede detectar anomalías en el torque 'stick-slip' con un error razonablemente pequeño, sin embargo, el algoritmo proporcionado deberá ser modificado si los fabricantes desearan implementarlo ya que no cuentan con algunos de los parámetros que se utilizaron en el estudio.

- Diagnosis of automotive electronic throttle control systems presentado por (R. Conatser, 2004) presenta la alternativa de utilizar sistemas de diagnóstico en tiempo real para monitorear del rendimiento de un sistema de control de acelerador electrónico que detecte e identifique una suite de anomalías.

Utiliza una metodología de estimación paramétrica para aislar la naturaleza específica de la causa, y conlleva a los siguientes pasos: detección, aislamiento, estimación, y reconfiguración para operar continuamente.

Recolectando información tal como voltaje, corriente aplicada en la armadura del ETB y la apertura de la válvula mariposa. Con la implementación de un algoritmo que encuentre la relación entre esas variables, se encontró que es posible integrar un sistema de monitoreo del rendimiento de los sistemas ETB.

- An Integrated Diagnostic Development Process for Automotive Engine Control Systems escrito por (J. Luo, 2007) plantea desarrollar una novedosa solución conocida como Hardware-in-the-loop, la que permite tener mayor control sobre los escenarios a los que exponen los algoritmos de control de sistemas dedicados que procesan información en tiempo real.

El cual propone seis etapas, modelación, censo, desarrollo y actualización de procedimientos de prueba, aprendizaje adaptable, inferencia, prognosis, la cual se utilizarán para determinar el funcionamiento del ETB y simular el comportamiento del sistema de control electrónico del vehículo bajo diferentes estímulos.

Determinaron que el método de inclusión de Hardware-in-the-loop es un método efectivo para detectar posibles fallos, sin embargo, recomiendan una tabla de búsqueda cuando tengan que relacionar la información obtenida por el sistema y aislar de forma más efectiva la causa del fallo.

- The Effect of Electronic Throttle Control Systems On Gasoline Internal Combustion Engine Compression Testing Procedures escrito por (B. Heisner, 2006) propone la utilización de pruebas de compresión en el motor para determinar el nivel de apertura de la válvula en el ETB.

Desarrolla una estrategia de diagnóstico indirecta del ETB mediante el nivel de compresión que se encuentra en los pistones del motor, consiste tomar mediciones de presión en determinadas condiciones.

Se encontró que cada fabricante tiene diferentes márgenes de apertura y señales de control hacia el ETB ante la prueba de compresión, ya que el nivel de integración del ETB en los sistemas actuales es alto, se recomienda conocer el comportamiento del sistema y realizar acomodamientos para validar el proceso de diagnóstico, y debido a la pequeña muestra disponible, recomienda tener un mayor número de muestras para validar sus resultados.

Cabe destacar que la técnica implementada por los centros de reparación autorizados, y los fabricantes de ETB queda a su discreción. Los trabajos antes citados ofrecen métodos que son capaces de realizar el diagnóstico del ETB, sin embargo, no son realizados de forma práctica para dicho fin.

Por lo tanto, para efectuar este estudio se tomarán como referencia las investigaciones realizadas por (Q. Ma, 2005), (R. Conatser, 2004), y (J. Luo, 2007), ya que abordan aquellos elementos que inciden en el control del ETB, así como los parámetros que deben ser estudiados para su diagnóstico, complementado con en conjunto con conocimientos adquiridos para presentar el prototipo.

5. Complejidades del cuerpo de aceleración:

Tal y como indica (Mr. Rohit, s.f., pág. 1-4), reforzado por (Carlo Rossi, Andrea Tilli, and Alberto Tonielli, 2012, pág. 993) el sistema electrónico de inyección (EFI, por sus siglas en inglés) está compuesto de tres subsistemas: sistema de inyección de combustible, sistema de inducción de aire, y sistema de control electrónico. La cantidad de aire entrante por el sistema de admisión de aire y colector de admisión es regulada por el ETB, y por consiguiente la potencia generada por el motor tienen una fuerte dependencia de la posición angular de la válvula en el ETB (referirse a ilustración 14 para más detalles).

El correcto desempeño no solo depende del sistema de control sobre el cuerpo de aceleración, sino también del tiempo de respuesta a pequeños cambios. En la ilustración siguiente se aprecia un resumen de la integración del ETB en los sistemas convencionales de manejo del motor.

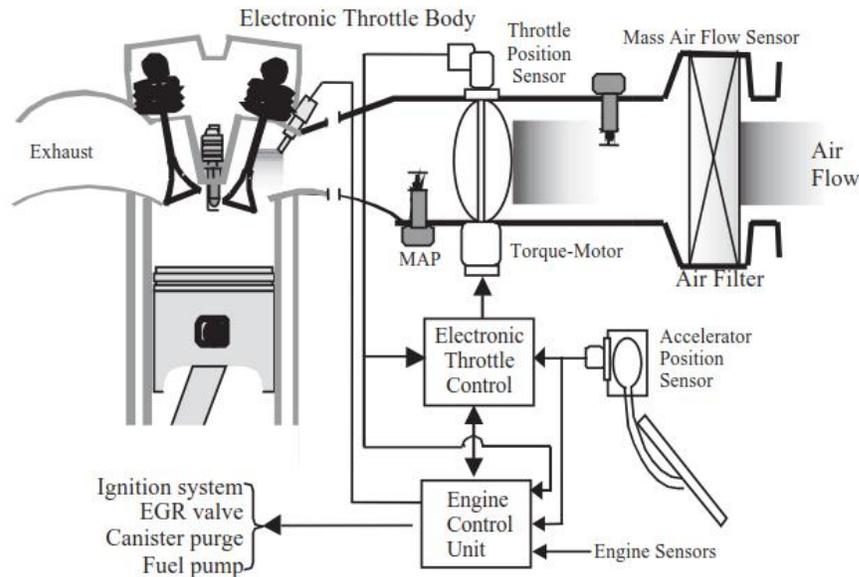


Ilustración 14. Integración del ETB en sistemas convencionales
(Conatser et al, 2004, pág. 24).

“Es una opinión común que el ETB puede garantizar mejor control sobre la toma de admisión de aire, y la potencia suministrada al motor (Bidan et al., 1995, Chang et al., 1995)” (Scattolini et al, 1997, pág. 1253).

A pesar de los beneficios del ETB, (Scattolini et al, 1997, pág. 1253) su mayor obstáculo es su control, debido comportamiento no lineal debido a la inclusión de resortes como medida de seguridad en el caso que ocurra una falla en el sistema de control, por las fuerzas de fricción presentes en la válvula mariposa, sistema de engranaje, y contacto deslizante del sensor potenciométricos.

Siendo explorado en un estudio anterior (Canudas de Wit, Olsson, Astrom & Lischinsky, 1995, pág. 419), se conoce que la fricción (ilustración 15) toma un rol importante en los sistemas de control; ya que puede generar error de posición, ciclos limites, y efecto stick-slip no deseado. Algunas visualizaciones de estos fenómenos son mediante la analogía de cerdas elásticas que se deforman al rozarse dos superficies.

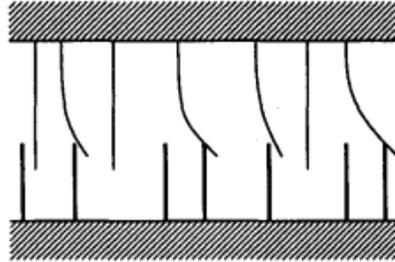


Ilustración 15. Fricción entre dos superficies (Canudas de Wit et al, 2017, pág. 420).

El fenómeno stick-slip (ilustración 16) es causado por el torque del coeficiente de coulomb, y el torque para romper el rozamiento estático (Ma, Shao, & Yurkovich, 2005, pág. 5042), el cual puede variar debido a degradación de los contactos o impurezas en el material; especialmente a bajas velocidades angulares.

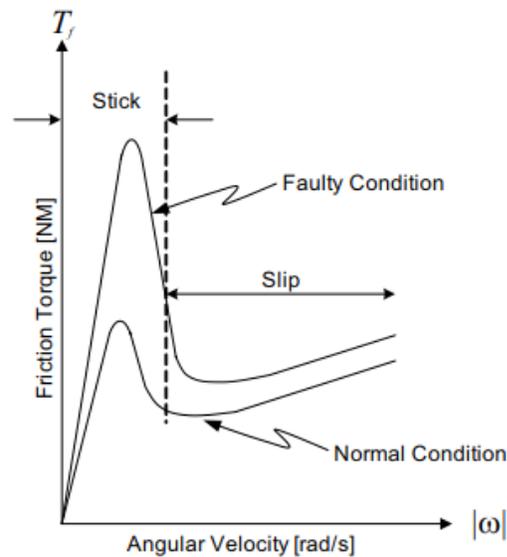


Ilustración 16. Efecto Stick-Slip bajo diferentes condiciones (Ma et al, 2005, pág.5042).

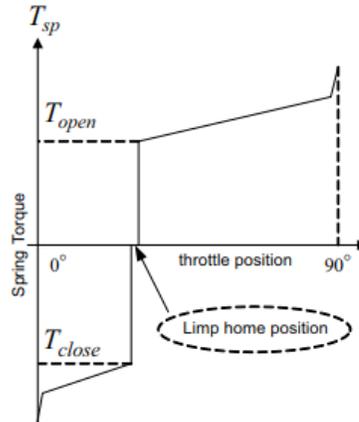


Ilustración 17. Comportamiento del resorte de seguridad (Ma et al, 2005, pág. 5042).

Analizado por (Ma et al, 2005, pág.5042), los resortes integrados en el cuerpo de aceleración cuentan con dos coeficientes de estiramiento diferente; lo cual crea una zona llamada “limp-home”, que tiene por objetivo conceder el paso de aire suficiente que permita al motor generar suficiente potencia para regresar a la estación de servicio más cercana en caso que ocurra una falla en la alimentación del ETC, fenómeno mostrado en ilustración 17.

“Cuando el aire pasa a través de la apertura principal del cuerpo de aceleración crea torque en el eje de la válvula mariposa” (Ma et al, 2005, pág.5043). Tal y como lo detalla (de Witt, Kolmanovsky, & Sun, 2001, pág. 2873) la cantidad de torque aerodinámico generado dependerá no solo de la diferencia de la presión del ambiente y la presión dentro de la cámara de admisión; sino del ángulo de apertura de la válvula mariposa, así como su geometría, no tanto lo es saber el patrón que tendrá el aire al entrar a la cámara de admisión desde el exterior con el número de Reynolds, comportamiento mostrado en la ilustración 18.

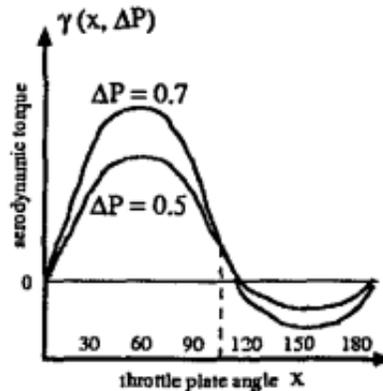


Ilustración 18. Torque aerodinámico basado en el ángulo de apertura (de Witt et al, 2001, pág. 2873).

6. Señales de control:

A como explica Satoshi y Akira (2008, pág. 450), el voltaje que se aplicará en el ETB será determinado por la unidad de control del motor basándose en el ángulo de depresión determinado por el sensor en el pedal de aceleración en conjunto con otras señales provenientes de otros sensores, y regulado por el control electrónico del cuerpo de aceleración, la ilustración 19 muestra su diagrama interno.

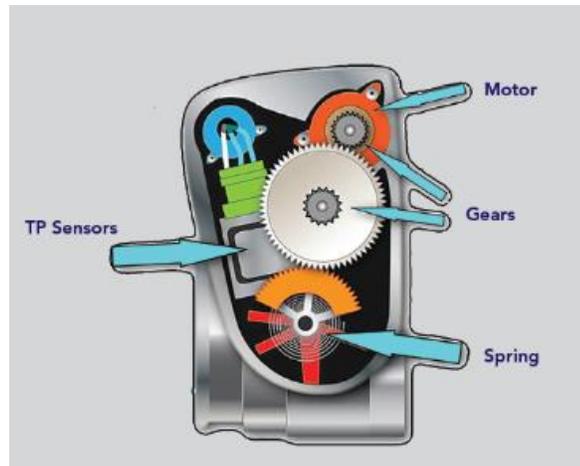
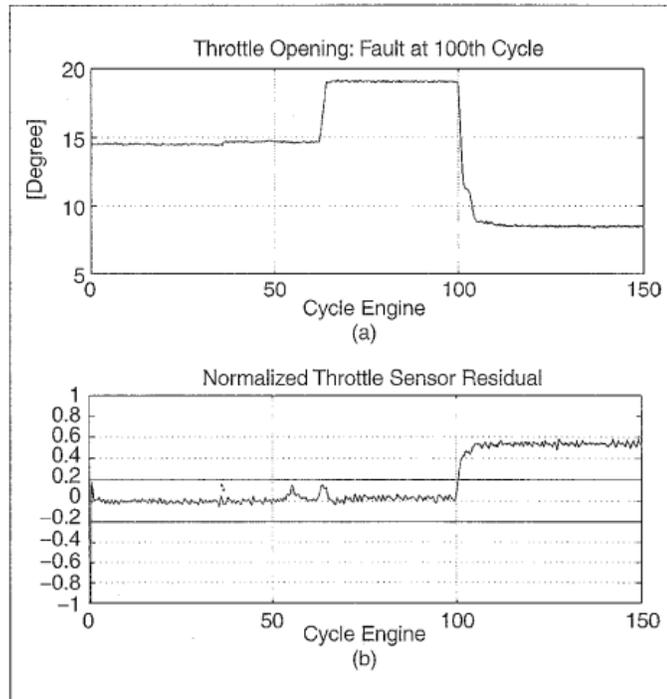


Ilustración 19. Elementos no lineales del ETB (Kooiman, 2016).

7. Diagnóstico y aislación de fallos:

Existen cuatro etapas para el diagnóstico de un sistema tal y como explica (Conatser et al, 2004, pág. 26), es la detección, aislación, estimación y reconfiguración. No obstante; los pasos asociados al cuerpo de aceleración son la detección y estimación.

En los estudios de Conatser et al (2004), Young et al (1998), Nyberg, & Nielsen (1997), y Qin, Ge, & Li (2004) utilizan una estrategia de comparación de residuos, (Isermann, 2006, pág. 198) la cual consiste comparar el comportamiento de un proceso con un modelo del comportamiento nominal del mismo, si el residuo supera cierto umbral, se considera que el proceso tiene una falla, ver ilustración 20 como ejemplo.



*Ilustración 20. Detección de falla, y correspondiente residuo
(Kim et al, 1998, pág. 94).*

A pesar del método de diagnóstico empleado (Conatser et al, 2004, pág. 27), la estrategia de detección de falla deriva en la información del fallo y comparar la entrada y salida del sistema medido a los del sistema modelado. No obstante, la metodología para la detección y diagnóstico empleada por los fabricantes queda a su discreción.

Habiendo efectuado un exhaustivo estudio sobre el estado del arte de la detección y diagnóstico del cuerpo de aceleración, se encontró que los trabajos realizados por otros investigadores y expertos concluyeron a nivel de simulación, no se encontró en ninguna investigación que la estrategia haya sido implementada en un dispositivo.

Por lo tanto, mediante el análisis de los modelos físicos que describen el comportamiento del cuerpo de aceleración, a su vez como las estrategias utilizadas por los investigadores se presenta el siguiente modelo físico en respuesta a esa inexistencia carencia de modelo físico:

V. Construcción de prototipo:

Una vez estudiados los diferentes fenómenos que gobiernan el comportamiento del cuerpo de aceleración electrónico, se desarrolló el hardware necesario que tenga la habilidad de capturar, analizar, y procesar de forma eficiente los datos arrojados por los elementos que lo conforman, el cual se presenta en la ilustración 21:

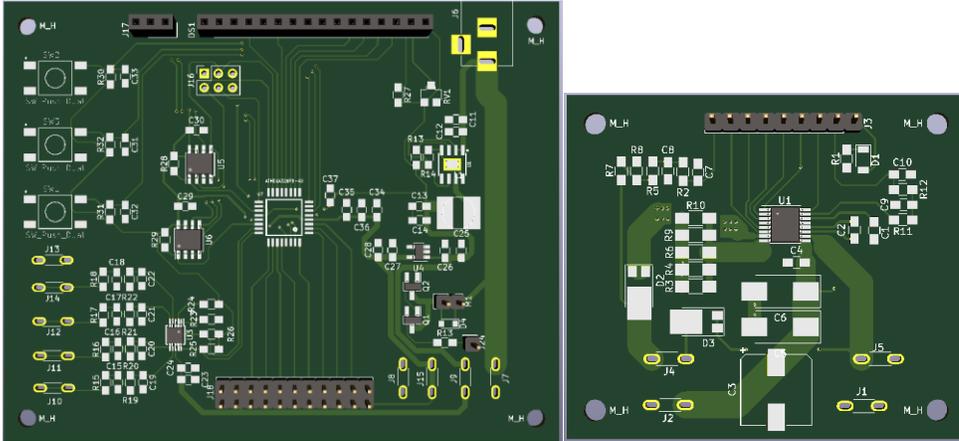


Ilustración 21. Prototipo de instrumento de Diagnostico (Autoría propia).

El cual, su funcionamiento interno se encuentra descrito en la ilustración 22:

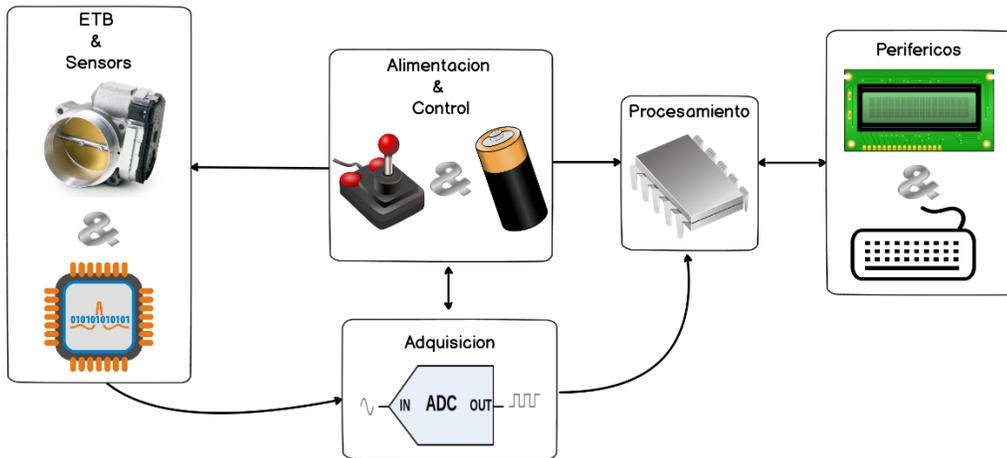


Ilustración 22. Diagrama de funcionamiento del prototipo de instrumento (Autoría propia).

8. Alimentación:

Observando las capturas de las ondas de un típico cuerpo de aceleración, se observó una señal PWM.

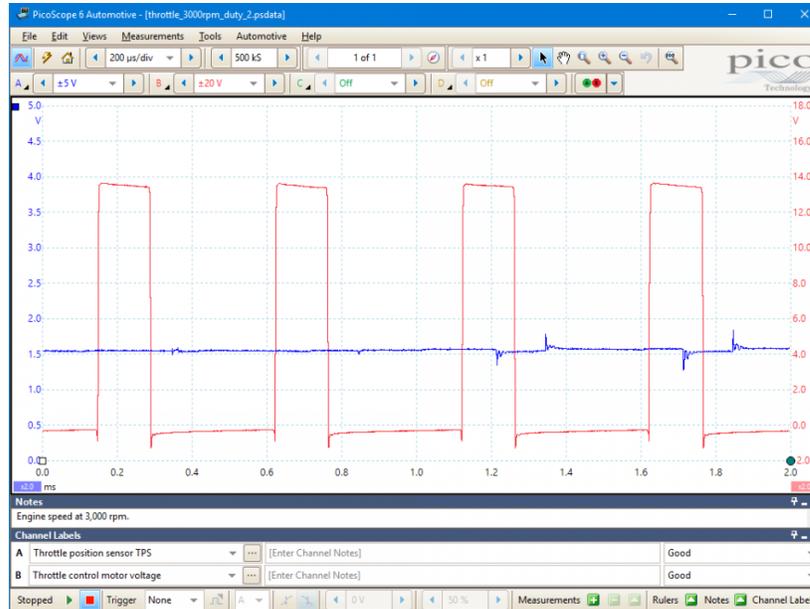


Ilustración 23. Control por PWM del motor en el ETB (Pico Technology, s.f.).

Analizada las capturas realizadas por Pico Technology (ilustración 23), se determinó que el motor del ETB tiene un máximo de 14.1V, por lo que alimentación necesaria para el equipo de manera externa no deberá exceder los 14.1, y no será menor a 12V.

Realizando una caracterización del ETB de un Lada Kalina 1118 Cranberry Heck, se encontró que la alimentación para su correcta apertura es de 1.5 amperios.

En la caracterización del cuerpo de aceleración del Lada Kalina 1118 se encontró que el voltaje suministrado es de 5V, no obstante, puede que en otros modelos de vehículos existan otros niveles de voltaje de suministro, por lo cual se generaran dos niveles diferentes 5V y 3.3V. El diseño de ambas salidas fue alrededor de los circuitos integrados ST1S41PHR, convertidor DC-DC, y LDO MIC5504-3.3YM5 respectivamente, lo que permitió una eficiencia en la disminución de voltaje para los subsecuentes dispositivos.

9. Control de motor:

Habiendo estudiado los diferentes elementos que componen el cuerpo de aceleración, y analizado su teoría de operación el elemento de control principal es un motor de corriente directa.

El control será mediante PWM ya que posee una eficiencia mayor que métodos analógicos, a través del circuito integrado DRV8816 integra características necesarias para su eficiente implementación, ilustración 24 demuestra su diagrama interno.

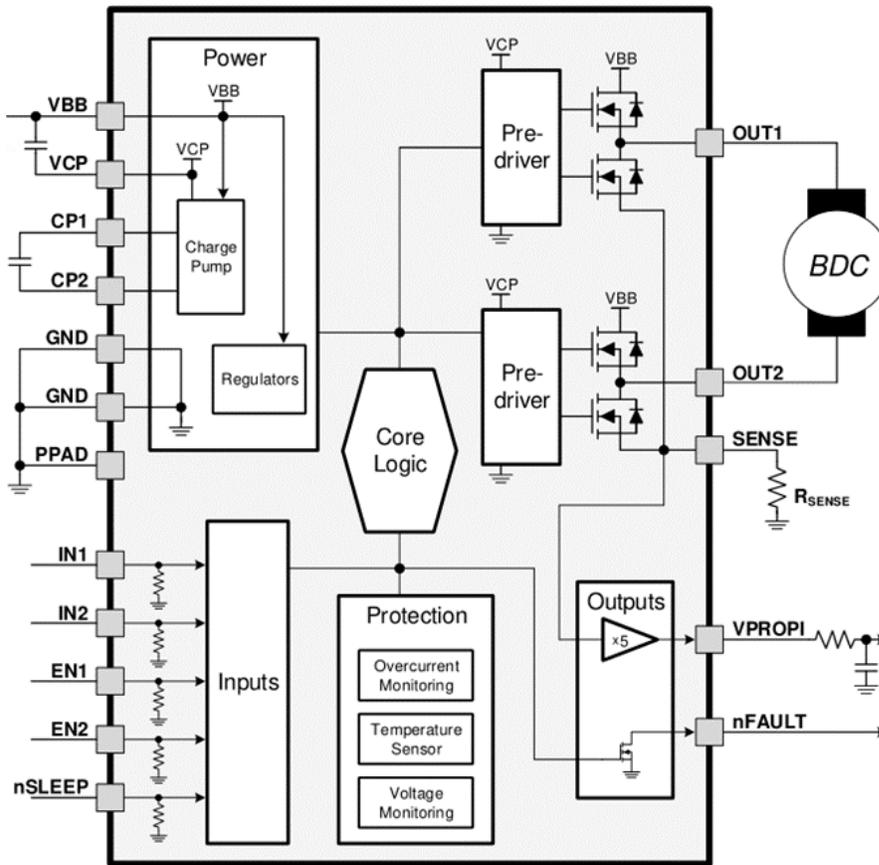


Ilustración 24. Diagrama de interno del DRV8816 (Texas Instrument, 2013).

Se utilizó la funcionalidad de overcurrent del dispositivo, la cual está determinada en el pin 'SENSE', en el que 500mV detecta dicha condición, por lo que se determinó una resistencia de:

$$R = \frac{V(\text{trip})}{2.5A} = 200m\Omega$$

10. Adquisición:

Ya que las señales provistas por los diferentes parámetros proporcionados por el ETB son de naturaleza analógica (ejemplo en ilustración 25), capturar su forma de onda con una mayor resolución permite un mejor análisis de sus características eléctricas.

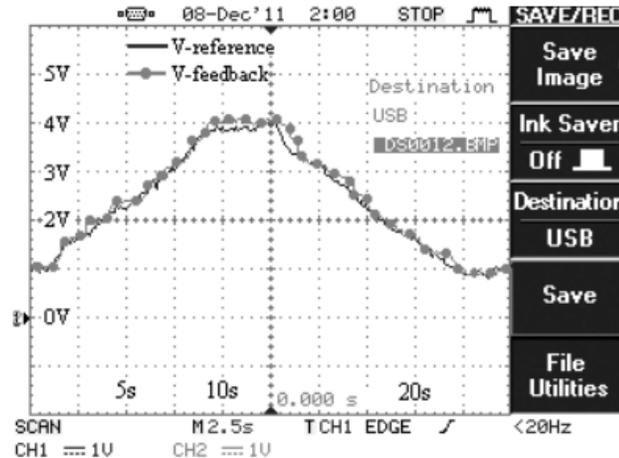


Ilustración 25. Captura del sensor del ETB con una entrada de rampa (Jansri, Pongsuttiyakorn & Sooraksa, 2012).

Para obtener mayor resolución se necesita mayor cantidad de bits en la conversión de la señal por lo que el circuito integrado ADS1015 proveía la resolución necesaria, a su vez una arquitectura $\Delta\Sigma$ que permitirá obtener una mejor fidelidad de la señal proveniente de los elementos a medir.

La configuración del ADS1015 fue en single-ended (ilustración 26), ya que permitía la flexibilidad de capturar dos o más señales de retorno del sensor ubicado en el cuerpo de aceleración.

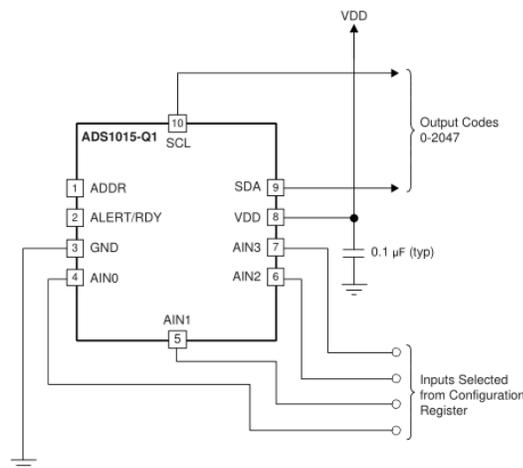


Ilustración 26. Conexión single-ended del ADS1015 (Texas Instruments, 2010).

Cuando se realizó una medición de referencia con el osciloscopio Picoscope 2206B (Ilustración 27) se pudo notar que existe presencia de ruido de hasta 52.22 hasta 61.99 mV RMS, lo cual puede impactar de forma significativa la lectura a la salida del sensor. Por lo que filtrar las componentes de alta frecuencia de la respuesta es necesario.

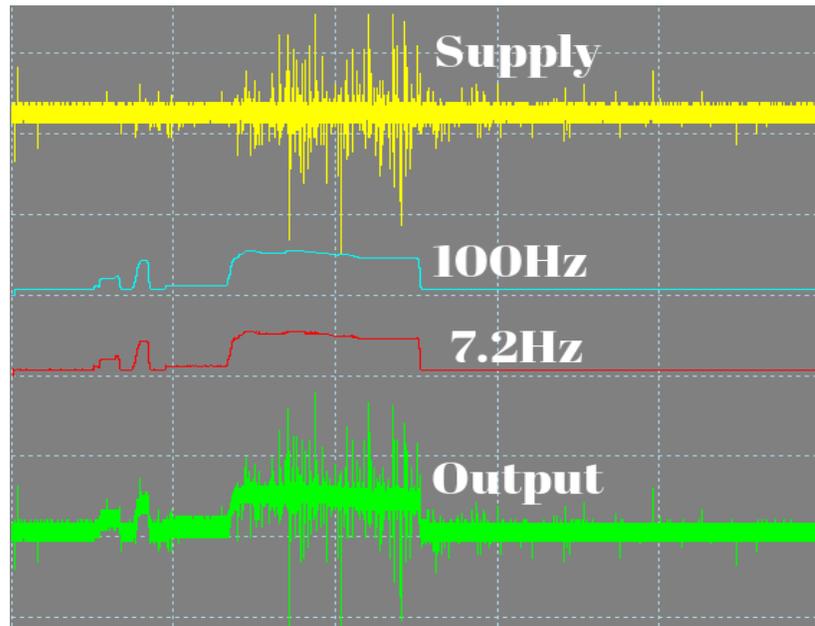


Ilustración 27. Medición del TPS en Kia Picanto con filtro digital por Picoscope 2206B, base de tiempo 5 segundos y amplitud 5 volts (Autoría propia).

El diseño del filtro corresponde necesidad del tiempo de respuesta del filtro tal y como lo señala (Metivier, R. 2013, pág. 2). Con la finalidad de tener un tiempo de respuesta a los cambios apropiados dado los métodos de diagnósticos a desarrollados; el filtro diseñado fue de dos etapas con las siguientes características:

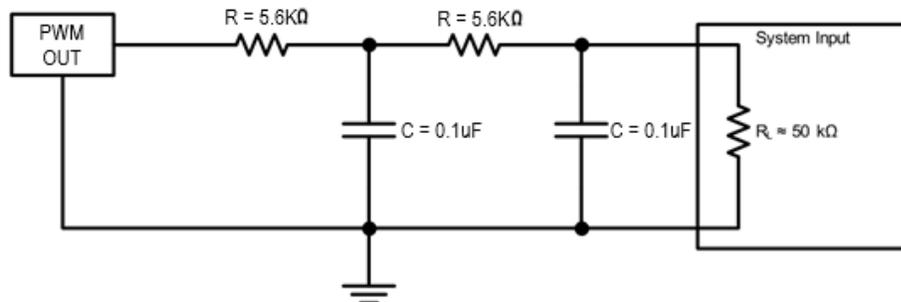


Ilustración 28. Filtro RC de 2 etapas utilizado (Autoría propia).

Frecuencia de corte de:

$$f_{3db} = \frac{1}{2\pi * R * C} \approx 284Hz$$

El filtro se utilizó a lo largo de los diferentes componentes donde filtrado fue requerido debido a que presentaba balance entre los componentes utilizados a lo largo del proyecto y tiempo de respuesta del mismo, referirse a ilustración 28 para referencia.

11. **Control:**

El elemento de procesamiento de la información recopilada por la etapa de adquisición, que implementa el algoritmo de detección de fallo, censo de parámetros eléctricos del cuerpo de aceleración, control de periféricos, interfaz de usuario, y control del motor del ETB es el Atmega328PB – AU.

Su elección fue debido a que proporciona un balance entre sus capacidades técnicas tales como memoria RAM, FLASH, EEPROM, periféricos tales como SPI, I2C, etc. Y también dado que existe una extensa documentación entorno a su funcionamiento y rendimiento.

12. **Periféricos:**

Ya que se pretendió el uso del dispositivo por un operador, se colocó una serie de elementos para ser la vía de comunicación con el usuario final; y a su vez necesarios para la operación del sistema.

La interfaz del usuario estará compuesta por 3 botones, y una pantalla LCD; no obstante, su implementación requirió de ciertas consideraciones para evitar meta-estabilidad.

Tal es el caso de los botones, tal como explica Wettroth (2000, pág. 1), los botones realizan múltiples transiciones durante milésimas de segundos debido a su construcción, inercia, y condición de la superficie del mismo.

Se implemento una forma de filtrar esas transiciones no deseadas mediante un filtro RC, por ser de ágil implementación.

13. **Integración:**

La fuente de alimentación conecta con el ST1S41PHR y el DRV8816, encargado de generar 5V, y controlar el motor del ETB respectivamente. Los 5V generados serán la entrada para el ADS1015 que realizara la adquisición de información proveniente del sensor del ETB; a su vez será la entrada al LDO MIC5504-3.3YM5 que alimentara el microcontrolador, y demás componentes.

El DRV8816 estará conectado con el controlador, el cual podrá enviar las instrucciones correspondientes para realizar la apertura de la válvula mariposa. El

cual a su vez podrá recibir la información enviada por el sensor en el cuerpo de aceleración a través de la etapa de adquisición.

Este también podrá obtener comandos de los botones que estarán disponibles al usuario; y mostrar tales en la pantalla LCD.

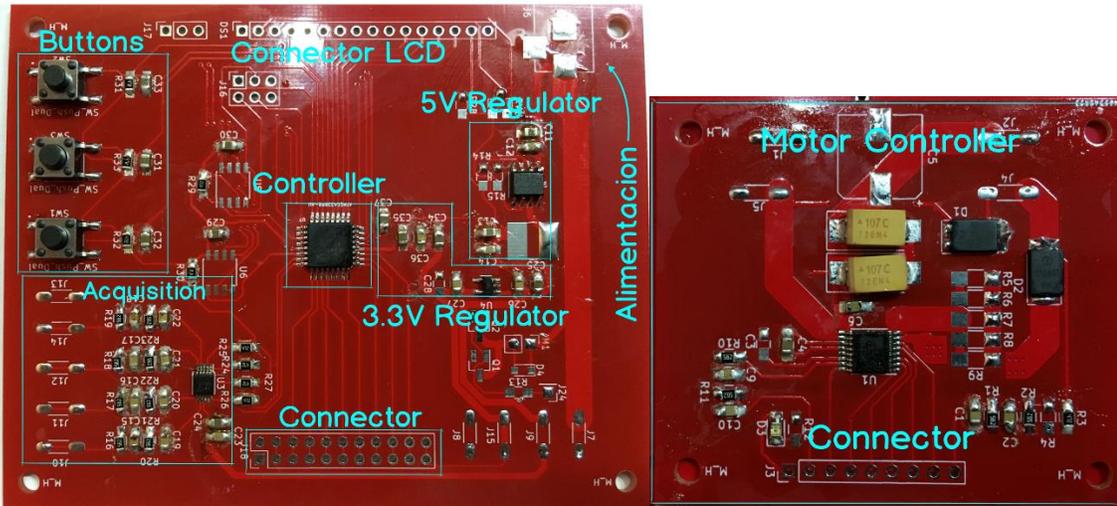


Ilustración 29. Integración de componentes (Autoría propia).

14. Programación de software:

Existen diferentes métodos o procesos para el desarrollo de software para un microcontrolador entre los cuales están:

- Ensamblador: Utiliza el grupo de instrucciones definida por el fabricante.
- C embebido: Grupo de extensiones del Lenguaje C que integra las habilidades de acceso a registro del controlador, periféricos, espacio de memoria, etc.
- C++ embebido: Recopilación del Lenguaje C++, que tiene la filosofía de programación orientada a objetos.

Para esta aplicación se eligió C embebido ya que facilita el desarrollo del software sin los lastres o sobrecoste de software incluidos en otras soluciones, para tal efecto se utilizó ambiente de desarrollo integrado Atmel Studio 7, en conjunto con el compilador avr-gcc.

VI. Análisis De Resultados

Basado en las recomendaciones de diseño por parte de (STMicroelectronics, 2013) y analizando los requerimientos del sistema, el integrado ST1S41 al utilizar la siguiente fórmula nos permite calcular el voltaje deseado de 5V, por lo que se seleccionó $R_1:68K\Omega$, $R_2:13K\Omega$ para igualar el voltaje de interno de referencia en el pin FB.

$$V_{fb} = V_{set} * \frac{R_2}{R_1+R_2} \approx 0.8V$$

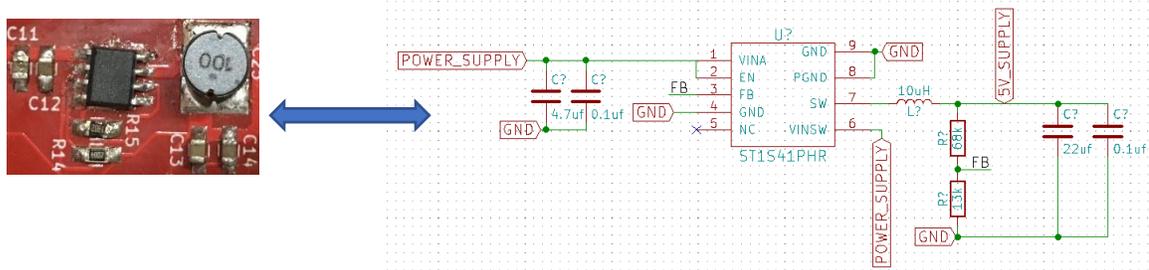


Ilustración 30. Diagrama Esquemático y Diseño Impreso del ST1S41 (Autoría propia).

A como se observa en los resultados obtenidos del diseño en la ilustración 30, el valor promedio se desvía 0.5% al valor esperado, lo que nos demuestra que la selección de componentes fue exitosa.

Parámetro	Min	Max	Promedio
Voltaje DC	4.964V	4.981V	4.974V
True RMS	16.85mV	19.98mV	18.33mV
Pico a Pico	183.2mV	256.1mV	210.1mV

Implementado el MIC5504-3.3YM5 (ilustración 31), basado en los requerimientos del sistema y también las recomendaciones de (Micrel, 2015), se obtuvo una desviación de 0.8% mayor del valor esperado.

Parámetro	Min	Max	Promedio
Voltaje DC	3.317V	3.339V	3.327V
True RMS	50.57mV	35.32mV	46.03mV
Pico a Pico	466.3mV	653mV	507.4mV

Se denota mediante los resultados obtenidos en la ilustración 33, que la implementación del filtro RC de forma exitosa logro remover de forma considerable la señal entrante.

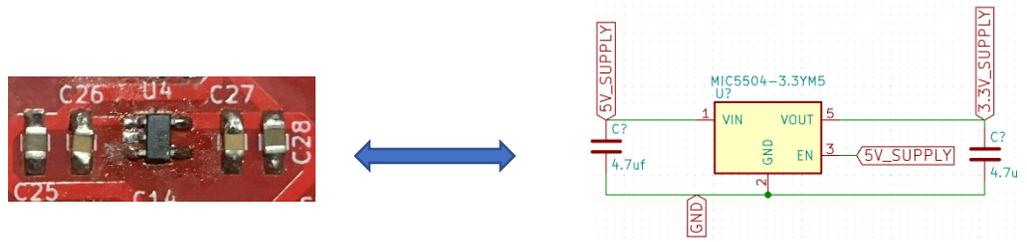


Ilustración 31. Diagrama Esquemático y Diseño Impreso del MIC5504 (Autoría propia).



Ilustración 32. Filtro RC dos etapas (Autoría propia).

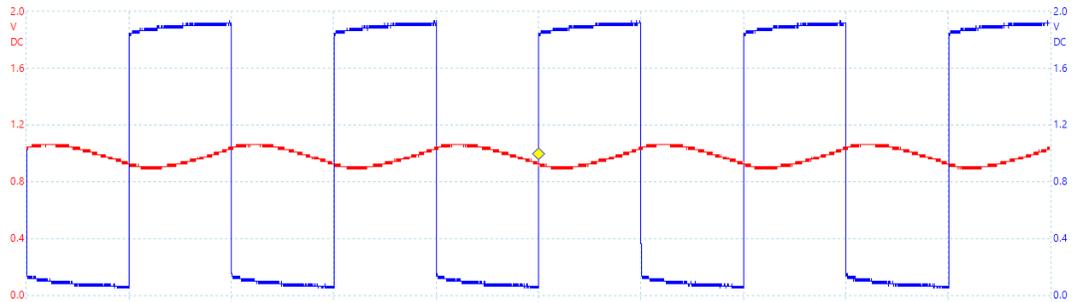


Ilustración 33. Respuesta ante entrada de 1kHz ~2V (Autoría propia).

Los resultados obtenidos basados en la implementación del filtro en la ilustración 32 se observan en la siguiente tabla:

Parámetro	Min	Max	Promedio
Voltaje DC	-1.526mV	27.5μV	205.4mV
True RMS	62.17mV	62.25mV	62.21mV
Pico a Pico	192.2mV	209.8mV	205.4mV

Aunque la señal insertada al filtro es mucho mayor a la frecuencia de corte del filtro, se observa parte una oscilación proveniente de la señal original, debido a los elementos armónicos de la señal.

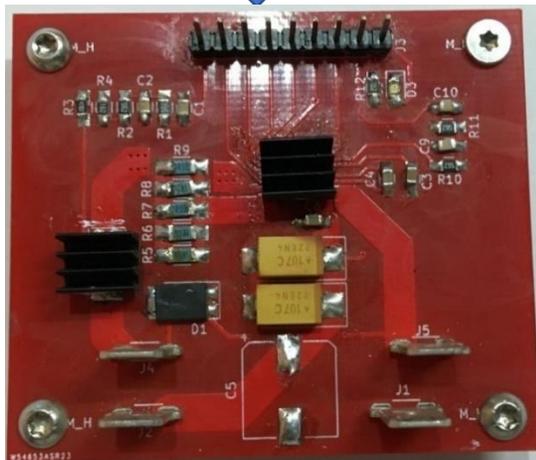
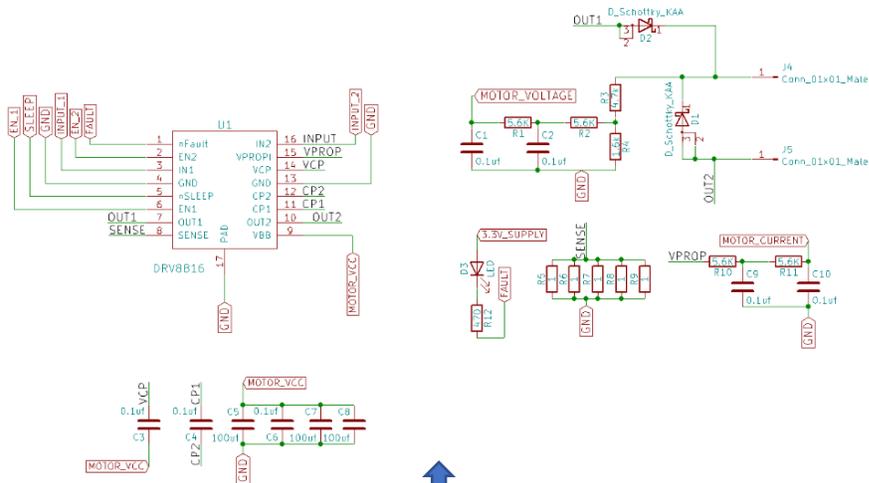


Ilustración 34. Circuito impreso y diagrama esquemático del controlador de motor (Autoría propia).

Inyectando una señal de prueba (ilustración 35) a la implementación del controlador del motor (ilustración 34) con una amplitud aproximada de 3.3V, ciclo de trabajo de 76%, y frecuencia de 26.74 kHz, se obtiene a la salida del circuito una señal que asemeja la señal entrante, con una amplitud de 13.81V, voltaje promedio de 11.18V.

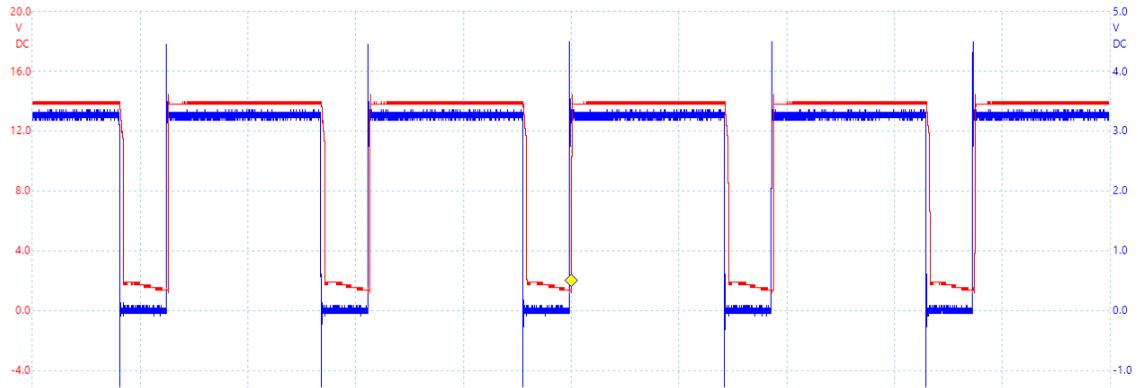


Ilustración 35. Señal PWM de prueba (azul), respuesta del DRV8816 (rojo)
(Autoría propia).

Al conectarle un motor con las siguientes características: 33.74Ω , $698.7\mu\text{H}$ a frecuencia de 10kHz . Se midió una corriente de 188.4mA a la salida del filtro, con una desviación menor del 8% de la corriente real.

14. Análisis de manufactura del prototipo:

En la industria del hardware, el costo de manufactura es dependiente no solo de los materiales utilizados (capacitores, resistores, circuitos integrados, etc.), sino también de las partes únicas del producto, tecnología utilizada, entre otros.

Concepto	Costo
Componentes	\$34.17
Transporte	\$75
Fabricación	\$140
Impuestos	\$82.38
Total aproximado	\$331.55

Analizando los estimados obtenidos para la fabricación del prototipo, se obtiene un costo de fabricación de una única unidad, no obstante, a medida que la cantidad de unidades incrementa, los costos por unidad disminuyen, ya que los componentes individuales decrecen substancialmente si se ordena una mayor cantidad de partes, para una lista de materiales detallada, referirse a los anexos.

Por lo tanto, se demuestra el dispositivo tiene un alto potencial de ser económicamente factible, y la viabilidad del dispositivo dependerá del respaldo dado por la universidad.

15. Implementación de algoritmo de diagnóstico:

Basado en el presente trabajo, se elaboró un algoritmo de diagnóstico, el cual fue aplicado alrededor del cuerpo de aceleración electrónico de un BMW E46 año 2003 325I Sedan.

El programa que implementa el algoritmo desarrollado, sigue la ejecución mostrada en la ilustración 36. En el paso 1) se captura el fabricante y modelo que pertenece que se desea diagnosticar.

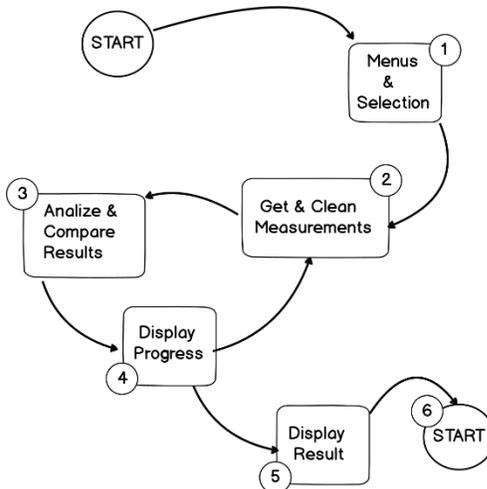


Ilustración 36. Diagrama de Programa Implementado (Autoría propia).

Del paso 2 al 4 se realiza el filtrado de las mediciones, se analiza, y compara con los datos obtenidos con los referenciales, y se muestra el progreso en pantalla. Dada la naturaleza no lineal de los elementos de seguridad, se utilizó la herramienta Matlab para obtener el comportamiento del sistema, y obtener los valores de las ganancias del controlador PID utilizado. La ilustración 37 demuestra la respuesta del cuerpo de aceleración utilizado sin una filtración de los datos obtenidos.

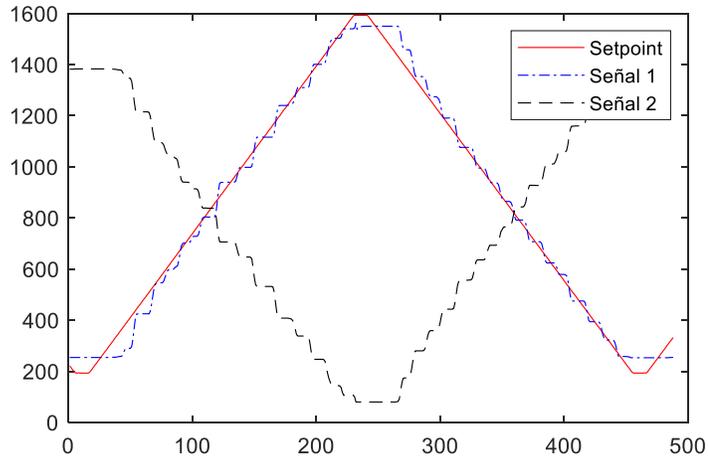


Ilustración 37. Respuesta del ETB a la señal de control sin filtro de datos (Autoría propia).

Analizando los resultados de las referenciales y las mediciones realizadas por el prototipo, se puede observar que, aplicando simples técnicas de filtrado, se logra una mayor resolución de la señal, menor diferencia entre los de referencia, y los medidos. Los resultados y análisis de los pasos 2, y 3 se demuestra en la ilustración 38.

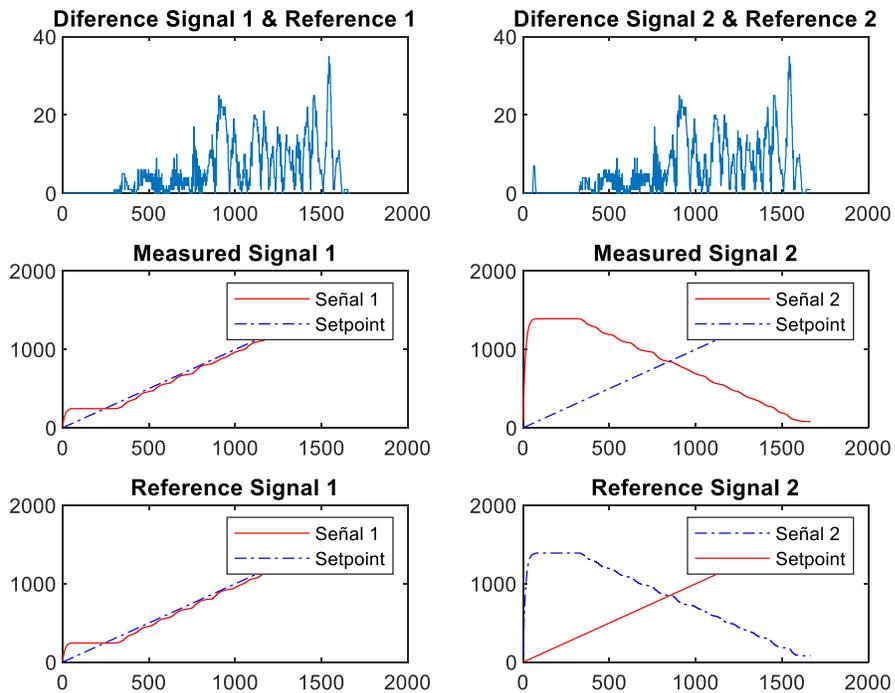


Ilustración 38. Respuesta del ETB a la señal de control con filtro de datos (Autoría propia).

VII. Conclusiones y Recomendaciones

Al haber estudiado los resultados obtenidos, se concluye que la selección de los circuitos integrados, la modelación de los circuitos eléctricos diseñados alrededor de los mismos posee la habilidad de obtener y procesar las variables clave que inciden en el funcionamiento del ETB, todo esto debido al estudio del estado del arte del comportamiento y diagnóstico de cuerpos de aceleración electrónico.

El algoritmo de diagnóstico implementado demuestra que los elementos seleccionados son capaces de capturar con alta confiabilidad las señales provistas por el ETB y reducir las incertidumbres introducidas por la naturaleza no lineal de los elementos de seguridad del cuerpo de aceleración.

Por lo tanto, los elementos que conforman el prototipo de diagnóstico descrito en el presente trabajo proveen las herramientas necesarias para realizar una evaluación de todos los parámetros clave de un cuerpo de aceleración electrónico de forma satisfactoria, en contraste con otras soluciones comerciales disponibles en el mercado de herramientas de diagnóstico automotriz no ofrecen tal capacidad.

Se recomienda realizar calibraciones periódicas para evitar desviación de los valores obtenidos, en conjunto con una revisión de los valores referenciales para evitar falsos positivos, así como la validación con una mayor cantidad de ETBs. A su vez en futuras mejoras se sugiere utilizar dispositivos ajustables para el tratamiento del ruido proveniente del cuerpo de aceleración, todo esto en conjunto con un manual para un operador.

16. Trabajos futuros:

Durante el desarrollo de esta tesis han surgido algunas líneas de desarrollo futuras que se han dejado abiertas, las cuales no han podido ser exploradas con suficiente profundidad, por exceder el alcance de esta tesis, y que se esperan abordar en un futuro:

- Realizar un control del voltaje de alimentación del dispositivo, aunque la alimentación provista por el usuario tiene poco efecto en el controlador, puede impactar sustancialmente la rapidez de apertura de la válvula mariposa, y por consecuente presentar desafíos adicionales para el sistema de apertura del mismo.
- Diseñar módulos adicionales que permitan la inclusión de una batería, para permitir independencia de fuentes externas.

VIII. Bibliografía

- William B. Ribbens. (2003). *Understanding Automotive Electronics* (6th ed.). United States: Elsevier Science.
- Banerjee, N., Kumar, A., Mohan, N., Ashok, B., Kavitha, C., & Ashok, S. D. (2017, April). Estimation of position of electromechanical actuator valve using Kalman filter. In *Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), 2017 Innovations in* (pp. 1-6). IEEE.
- Honek, M., Wojnar, S., Simoncic, P., & Rohar-Hkiv, B. (2010). Control of electronic throttle valve position of SI engine. In *International Conference February* (Vol. 10, p. 13).
- Ma, Q., Shao, L., & Yurkovich, S. (2005, June). Diagnostics for automotive electronic throttle body systems. In *American Control Conference, 2005. Proceedings of the 2005* (pp. 5041-5045). IEEE.
- Conatser, R., Wagner, J., Ganta, S., & Walker, I. (2004). Diagnosis of automotive electronic throttle control systems. *Control Engineering Practice*, 12(1), 23-30.
- Luo, J., Pattipati, K. R., Qiao, L., & Chigusa, S. (2007). An integrated diagnostic development process for automotive engine control systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1163-1173.
- Heisner, B. M. (2016). The Effect of Electronic Throttle Control Systems On Gasoline Internal Combustion Engine Compression Testing Procedures. *Journal of Applied Sciences and Arts*, 1(2), 6.
- Kumar, J. S., Ganesan, V., Mallikarjuna, J. M., & Govindarajan, S. (2013). Design and optimization of a throttle body assembly by CFD analysis.
- Infineon Technologies AG. (2008). Throttle Position Sensing with Linear Hall Sensors. Am Campeon 1-12, 85579 Neubiberg, Germany: Author.
- Vishay Intertechnology, Inc. (2017). Model 981 HE Throttle Position Sensor in Hall Effect Technology Hollow and D-Shaft Versions, Malvern, Pennsylvania, United States: Author.
- Kumar, J. S., Ganesan, V., Mallikarjuna, J. M., & Govindarajan, S. (2013). Design and optimization of a throttle body assembly by CFD analysis.
- Michael G. (s.f.). What is a Fuel System 'Throttle Body'? Obtenido de <https://www.carid.com/articles/what-is-fuel-system-throttle-body.html>
- Mr. Rohit Patil. (s.f). Electronic Fuel Injection System. Dombivli(w).

- Rossi, C., Tilli, A., & Tonielli, A. (2000). Robust control of a throttle body for drive by wire operation of automotive engines. *IEEE Transactions on control systems technology*, 8(6), 993-1002.
- Hiratsuka, S., & Fusaoka, A. (2008, October). An on-board diagnosis hardware for embedded systems. In *Mechronic and Embedded Systems and Applications, 2008. MESA 2008. IEEE/ASME International Conference on* (pp. 449-454). IEEE.
- Scattolini, R., Siviero, C., Mazzucco, M., Ricci, S., Poggio, L., & Rossi, C. (1997). Modeling and identification of an electromechanical internal combustion engine throttle body. *Control Engineering Practice*, 5(9), 1253-1259.
- Snow, D. (2004, August). EXTRAORDINARY EFFICIENCY GROWTH IN RESPONSE TO NEW TECHNOLOGY ENTRIES: THE CARBURETOR'S" LAST GASP". In *Academy of Management Proceedings* (Vol. 2004, No. 1, pp. K1-K6). Briarcliff Manor, NY 10510: Academy of Management.
- De Wit, C. C., Olsson, H., Astrom, K. J., & Lischinsky, P. (1995). A new model for control of systems with friction. *IEEE Transactions on automatic control*, 40(3), 419-425.
- Ma, Q., Shao, L., & Yurkovich, S. (2005, June). Diagnostics for automotive electronic throttle body systems. In *Proceedings of the 2005, American Control Conference, 2005.* (pp. 5041-5045). IEEE.
- de Witt, C. C., Kolmanovsky, I., & Sun, J. (2001). Adaptive pulse control of electronic throttle. In *Proceedings of the 2001 American Control Conference. (Cat. No. 01CH37148)* (Vol. 4, pp. 2872-2877). IEEE.
- Kim, Y. W., Rizzoni, G., & Utkin, V. (1998). Automotive engine diagnosis and control via nonlinear estimation. *IEEE Control Systems Magazine*, 18(5), 84-99.
- Youssef, B., & Alamir, M. (2005). Diagnosis and on-line parametric estimation of automotive electronic throttle control systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1), 152-157.
- Nyberg, M., & Nielsen, L. (1997). Model based diagnosis for the air intake system of the SI-engine (No. 970209). *SAE Technical Paper*.
- Qin, G., Ge, A., & Li, H. (2004). On-board fault diagnosis of automated manual transmission control system. *IEEE transactions on control systems technology*, 12(4), 564-568.

- Isermann, R. (2006). *Fault-diagnosis systems: an introduction from fault detection to fault tolerance*. Springer Science & Business Media.
- Metivier, R. (2013). Method for converting a PWM output to an analog output when using Hall-effect sensor ICs. Allegro Microsyst., LLC, Worcester, MA, USA, Appl. Note.
- Wettröth, J. (2000). Switch Bounce and Other Dirty Little Secrets. Application Note 287: Sep 01.
- STMicroelectronics. (2013). ST1S41: 4 A step-down switching regulator. Obtenido de <https://www.st.com/resource/en/datasheet/st1s41.pdf>
- Micrel. (2015). MIC5501/2/3/4: Single 300mA LDO in 1.0mm x 1.0mm DFN Package. Obtenido de <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/mic550x.pdf>
- Aainsqatsi, K. (2007). *Cross-sectional schematic of a downdraft carburetor* [Fotografía]. Wikipedia, Wikimedia Foundation. Obtenida de en.wikipedia.org/wiki/Carburetor#/media/File:Carburetor.svg.
- Howell Engine Developments, Inc. (2015). *Cable Operated Mechanical Throttle Body* [Fotografía]. Obtenida de https://i2.wp.com/howellefi.com/wp-content/uploads/2015/04/p-332-d_16308_1.jpg?fit=350%2C303&ssl=1
- ricksfreeautorepairadvice.com. (2015). *Ford throttle body relearn procedure* [Fotografía]. Obtenida de <http://cyoum84abk-flywheel.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/06/ford-electronic-throttle-body-300x254.jpg>
- N. Achari. (2010). *Throttle Position Sensor (Potentiometer Type)* [Fotografía]. Obtenida de <http://4826neilachari.blogspot.com/2010/08/4826-off-car.html>
- Auto Service Professional. (2011). *Airtex debuts non-contact throttle position sensors* [Fotografía]. Obtenida de <https://images.autoserviceprofessional.com/post/M-AirtexTPS.jpg>
- Hella KGaA Hueck & Co. (2003). Inductive measuring principle [Fotografía]. En *Technical Information Electronics – Contactless Sensors for X-By-Wire Systems* (p. 3). Germany.
- H. Smith. (2009). Cast iron butterfly valve [Fotografía]. Obtenida de https://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_valve#/media/File:Butterfly-valve--The-Alloy-Valve-Stockist.JPG
- Kumar, J. S., Ganesan, V., Mallikarjuna, J. M., & Govindarajan, S. (2013). Schematic view of assembly of throttle body [Fotografía]. En *Design and optimization of a throttle body assembly by CFD analysis* (p.352), India.

Heisner, B. M. (2016). Example of a typical negatively correlated APP sensor signal pattern [Fotografía]. En The Effect of Electronic Throttle Control Systems On Gasoline Internal Combustion Engine Compression Testing Procedures (p.3), Southern Illinois, United States.

Heisner, B. M. (2016). Example of a typical positively correlated APP sensor signal pattern [Fotografía]. En The Effect of Electronic Throttle Control Systems On Gasoline Internal Combustion Engine Compression Testing Procedures (p.3), Southern Illinois, United States.

Avayan. (2009). Speed vs PWM DC % [Fotografía]. Obtenido de https://ebldc.com/wp-content/uploads/2009/08/pwm_speed.jpg

Top Electrical Engineers. (2018). Armature Control [Fotografía]. Obtenido de <https://www.top-ee.com/wp-content/uploads/2018/01/armature-control-Copy-400x304.jpg>

Top Electrical Engineers. (2018). Flux Control [Fotografía]. Obtenido de <https://www.top-ee.com/wp-content/uploads/2018/01/flux-control-Copy-400x304.jpg>

E-Auto Partes (2015). Acelerador Electrónico [Fotografía]. Obtenido de https://e-auto.com.mx/enew/images/boletines/acelerador/acelerador_electronico-22.png

Ryan Kooiman (2016). Cutaway of an electronic throttle body. [Fotografía] de https://www.motor.com/wp-content/uploads/2016/04/5_Throttle-Bodies_0416-2.png

Texas Instrument (2013) [Revised Sept. 2016]. Functional Block Diagram. [Fotografía]. DRV8816 DMOS Dual 1/2-H-Bridge Motor Drivers (p.8), Dallas, Texas, United States.

Pico Technology (s.f.). Engine speed at 3,000 rpm, duty at 70%. [Fotografía]. Obtenido de https://www.picoauto.com/images/uploads/agt/_sml/GT076-example-waveform-loaded.png

Texas Instrument (2012) [Revised Sept. 2019]. Functional Block Diagram. [Fotografía]. TPS55340 Integrated 5-A Wide Input Range Boost/SEPIC/Flyback DC/DC Regulator (p.9), Dallas, Texas, United States.

Crane, L. (2005). Selecting the Best Inductor for Your DC-DC Converter. Retrieved October, 4, 2007.

Jansri, A., Pongsuttiyakorn, T., & Sooraksa, P. (2012, May). Ramp acceleration input [Fotografía]. On practical control of electronic throttle body. In 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (p.351), Ladkrabang, Thailand.

Texas Instrument (2010) [Revised Jan. 2018]. Measuring Single-Ended Inputs. [Fotografía]. ADS101x-Q1 Automotive, Low-Power, I 2 C-Compatible, 3.3-kSPS, 12-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator (p.28), Dallas, Texas, United States.

IX. Anexos

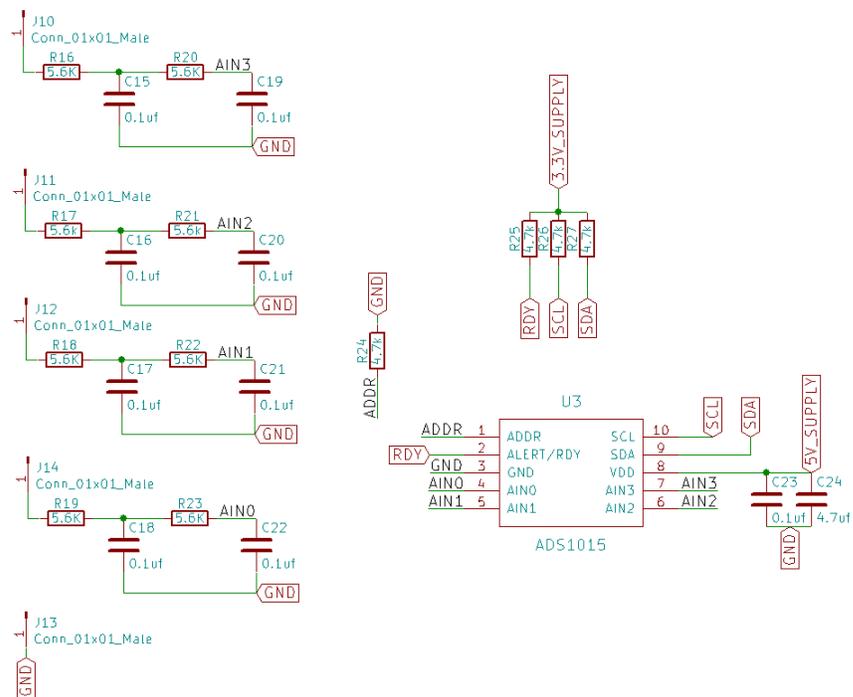
a. Materiales

Cantidad	Numero de Parte del Fabricante	Fabricante	Precio
13	190030071	Molex	\$0.38
1	ADS1015IDGSR	Texas Instruments	\$2.75
1	AP2012EC	Kingbright	\$0.18
1	ATMEGA328PB-AU	Microchip Technology	\$1.34
18	C0805C104K3RACTU	KEMET	\$0.11
3	CGA4J2X7R1H104M125AE	TDK	\$0.31
11	CL21A475KOCLRNC	Samsung Electro-Mechanics	\$0.21
1	DRV8816PWPR	Texas Instruments	\$2.56
1	ERJ6ENF6802V	Panasonic	\$0.10
2	GRM21BR61A226ME51K	Murata Manufacturing	\$0.35
1	GSGC1045S	Good-Ark Semiconductor	\$0.03
1	MIC5504-3.3YM5-TR	Microchip Technology	\$0.11
1	NRC-AS10F1302TRF	NIC Components	\$0.0036
10	RC0805FR-134K7L	Yageo	\$0.03
1	RC0805JR-071K6L	Yageo	\$0.11
1	RC0805JR-073KL	Yageo	\$0.11
1	RC0805JR-07470RL	Yageo	\$0.11
12	RC0805JR-075K6L	Yageo	\$0.03
5	RK73H2BTTDD1R00F	KOA Speer Electronics	\$0.14
1	S2A	ONSEMI	\$0.34
1	SDR0604-100ML	Bourns	\$0.47
1	ST1S41PHR	STMicroelectronics	\$2.03
2	TAJD107M016R	AVX	\$0.83
1	TC33X-1-103E	Bourns	\$0.25
1	UUA1H101MNL1GS	Nichicon	\$0.79
1	Circuito Impreso	PCBWAY	\$0.5
NA	Componentes varios	Incluye componentes varios y costos de construcción	\$30
1	ATATMEL-ICE	Microchip	\$90
		Transporte	\$75
		Impuestos	\$76.25
		Total	\$330.42

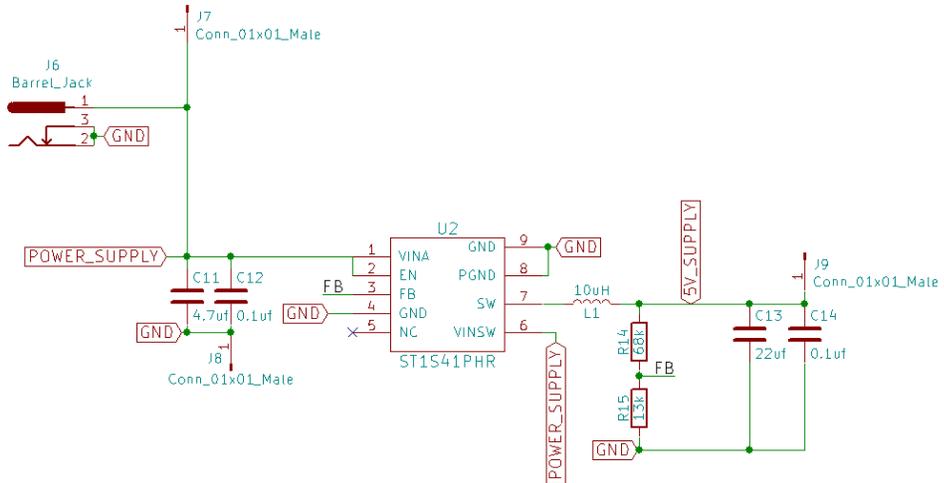
b. Dispositivos y programas utilizados:

- Atmel Studio (7.0.2389).
- Kicad (5.1.4).
- Picoscope 6 (6.14.5.4585).
- Matlab 2019A (9.6.0.1072779).
- Balsamiq Wireframes (4.0.14).
- Termite (3.4).
- Adafruit CP2104 Friend - USB to Serial Converter.
- Atmel ICE.

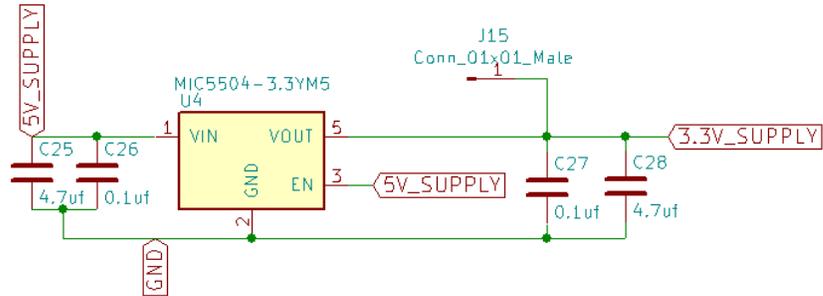
c. Diagrama esquemático del dispositivo:



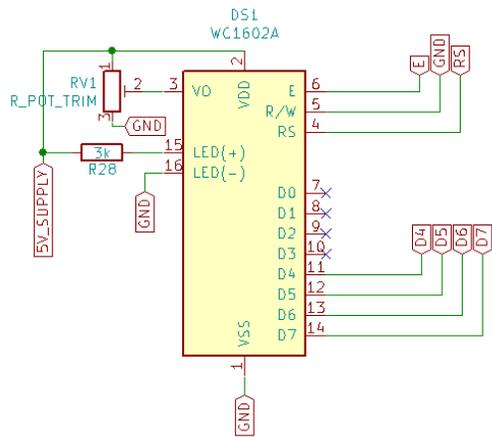
Etapa de Adquisición (Autoría propia).



Etapa de regulación de 5 voltios (Autoría propia).



Etapa de regulación de 3.3 voltios (Autoría propia).



Etapa de conexión de pantalla (Autoría propia).