



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO

AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

TEMA: DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO DE SENSORES DE POSICIÓN DEL
SISTEMA DE INYECCIÓN EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO.

AUTOR: MAFLA PORTILLA BRANDON SANTIAGO
PULLES QUELAL MARLON JIMMY

DIRECTOR: ING. RAMIRO ANDRÉS ROSERO AÑAZCO. MSc.

Ibarra, 2024

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrando por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniero en Ciencias Aplicables.

CERTIFICO:

Que una vez analizando el plan de grado cuyo título es " **DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO DE SENSORES DE POSICIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO**" presentando por los señores: MAFLA PORTILLA BRANDON SANTIAGO con número de cédula 0402134118 y PULLES QUELAL MARLON JIMMY con número de cédula 0401686811, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 07 días del mes de febrero del 2024.

Atentamente,


Ing. Ramiro Rosero Añazco, Msc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401686811		
APELLIDOS Y NOMBRES:	MAFLA PORTILLA BRANDON SANTIAGO		
DIRECCIÓN:	CALLE ELOY ALFARO Y SUCRE SAN ISIDRO		
EMAIL:	bsmaflap@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062974067	TELÉFONO MÓVIL:	0985234446

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO DE SENSORES DE POSICIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO
AUTOR (ES):	MAFLA PORTILLA BRANDON SANTIAGO PULLES QUELAL MARLON JIMMY
FECHA: DD/MM/AAAA	07/02/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	ING. RAMIRO ROSERO MSC.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

2. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401686811		
APELLIDOS Y NOMBRES:	PULLES QUELAL MARLON JIMMY		
DIRECCIÓN:	Ibarra, los Ceibos, avenida Rio Guayllabamba y Patate 245.		
EMAIL:	mjpullesq@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062977658	TELÉFONO MÓVIL:	0997559731

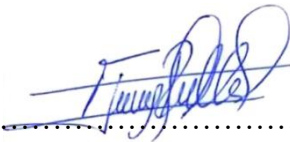
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO DE SENSORES DE POSICIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO
AUTOR (ES):	MAFLA PORTILLA BRANDON SANTIAGO PULLES QUELAL MARLON JIMMY
FECHA: DD/MM/AAAA	07/02/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	ING. RAMIRO ROSERO MSC.

2.- CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de la misa y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días del mes de febrero de 2024

AUTORES:



.....
Pulles Quelal Marlon Jimmy

C.C 0401686811



.....
MAFLA PORTILLA BRANDON SANTIAGO

C.C 0401686811

DEDICATORIA

Este trabajo dedico al sacrificio, apoyo y motivación que me brindaron mis padres, gracias por darme el ejemplo de honradez y perseverancia me ha permitido culminar esta investigación. A mi buen amigo Joaquín quien me acompañó en las largas noches de estudio, y aunque ya no se encuentre en este mundo siempre lo llevaré en mi mente y corazón.

Santiago

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi querida abuelita Emita, cuya sabiduría y amor continúan inspirándome cada día desde el cielo. A mi amada familia, a mi esposa Catherine y a hijos Valentina, Emma y Jhimaho, quienes han sido mi fuente constante de apoyo, amor incondicional y motivación para alcanzar mis metas.

Su presencia en mi vida ha sido mi mayor bendición y todo lo que logro es gracias a su amor y sacrificio. A ustedes dedico este logro con profundo agradecimiento y amor eterno."

Jimmy

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la vida, la salud, la sabiduría, a mis padres Aníbal y Amparito por siempre haber creído en mí, dándome fortaleza en todo momento.

De manera muy especial a nuestro tutor de trabajo de titulación Ing. Ramiro Rosero Msc., de igual manera a nuestro asesor Ing. Carlos Mafla Msc., por guiarnos con sus conocimientos y correcciones para alcanzar a cumplir este trabajo de investigación.

A la Universidad Técnica del Norte por permitir ser parte de esta comunidad y brindarnos una educación de calidad en nuestra formación como profesionales.

De igual forma a mis amigos futuros colegas por su apoyo, motivación y constancia a lo largo de nuestra carrera.

Santiago

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar expresando mi más profundo agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de este viaje académico. A mis amados padres, Jorge y Fabiola, les debo mi eterna gratitud por su apoyo incondicional y por ser mi inspiración constante.

Agradezco de manera especial a mis distinguidos tutores de tesis, el Ing. Ramiro Rosero Msc. y al Ing. Carlos Mafla Msc., por su dedicación, orientación y valiosos aportes que han sido fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

También quiero expresar mi reconocimiento a la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos y experiencias enriquecedoras que han contribuido significativamente a mi formación profesional y personal.

A todos los mencionados y a aquellos que de una u otra manera contribuyeron a este logro, les extiendo mi más sincero agradecimiento. Este trabajo no habría sido posible sin su invaluable apoyo y motivación constante

Jimmy

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 ANTECEDENTES	3
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.6 SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DEL MCI.....	5
1.6.1 Historia de los sistemas de inyección	5
1.6.2 Funcionamiento del sistema de inyección.....	6
1.7 UNIDAD DE CONTROL Y PROCESAMIENTO DE DATOS	8
1.8 SENSORES DE POSICIÓN DE GIRO.....	9
1.8.1 Funcionamiento y tipos	9
1.8.2 Aplicaciones.....	13
1.9 AVANCE DE IGNICIÓN	14

1.10	CONTROL DE INYECCIÓN.....	15
1.10.1	Generalidades del sistema.....	15
1.10.2	Estrategias de inyección.	16
1.11	REDES DE COMUNICACIÓN	17
1.11.1	Aplicaciones.....	18
1.11.2	Funcionamiento.....	19
1.12	SISTEMA DE DIAGNÓSTICO A BORDO OBDII	20
2	MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	21
2.1.1	Vehículos de estudio.....	21
2.2	METODOLOGÍA.....	29
2.2.1	Selección de vehículo de estudio.....	29
2.2.2	Análisis del sistema de gestión electrónica del motor del vehículo de estudio	30
2.2.3	Obtención de curvas de funcionamiento de CKP.....	43
2.2.4	Obtención de curvas de funcionamiento de CMP	45
2.2.5	Obtención de curvas de funcionamiento en sincronía.	47
2.2.6	Análisis y comparación de curvas de funcionamiento de sensores de posición.	49
2.2.7	Análisis del flujo de datos referente a sensores de posición	49
2.2.8	Estudio de repercusión de los sensores de posición en el funcionamiento del MCI	49
2.2.9	Análisis de averías.....	49
2.2.10	Simulación de averías	52
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
3.1	ANÁLISIS DE LOS OSCIOGRAMAS DEL SENSOR DE POSICIÓN DE CIGÜEÑAL.....	53
3.1.1	Análisis de curvas de funcionamiento del sensor CKP inductivo.	53
3.1.2	Análisis de curvas de funcionamiento del CKP de efecto Hall.....	56
3.1.3	Análisis de curvas de funcionamiento del CKP de efecto Hall.....	59

3.2	ANÁLISIS DE LOS OSCILOGRAMAS DEL SENSOR DE POSICIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS.	62
3.2.1	Análisis de curvas de funcionamiento del CMP de efecto Hall	62
3.2.2	Análisis de curvas de funcionamiento del CMP de efecto Hall	65
3.2.3	Análisis de curvas de funcionamiento del CMP de efecto Hall	68
3.3	ANÁLISIS DE SINCRONÍA ENTRE SEÑALES DE SENSORES DE POSICIÓN	75
3.3.1	Análisis de sincronía del Volkswagen Jetta 2008	75
3.3.2	Análisis de sincronía del Hyundai Atos 2008.....	76
3.3.3	Análisis de sincronía del Chevrolet Cruze 2012	78
3.4	SIMULACIÓN DE AVERÍAS.....	80
3.4.1	Prueba de desconexión de sensores.....	80
3.4.2	Prueba de desfase de sincronía	83
3.4.3	Prueba de falta de aislamiento del sensor CKP.....	84
3.5	NIVEL DE INTEGRACIÓN DE LOS SENSORES CON LA ECU	86
3.5.1	Sensores de 1er grado de integración	86
3.5.2	Sensores de 2do grado de integración	86
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
4.1	CONCLUSIONES	87
4.2	RECOMENDACIONES.....	89
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Sistema de gestión electrónico de un MCI.....	7
Figura 1.2. Unidad de control electrónico ECU.....	8
Figura 1.3. Señal del sensor inductivo.....	10
Figura 1.4. Efecto hall	10
Figura 1.5. Sensor CKP de efecto Hall.....	11
Figura 1.6. Sensor óptico.....	12
Figura 1.7. Sensor magnetorresistivo	12
Figura 1.8. Sensor de posición de cigüeñal	13
Figura 1.9. Sensor de posición del árbol de levas	14
Figura 1.10. Diagrama de apertura de válvulas.....	15
Figura 1.11. Comparación entre un sistema convencional y uno con red multiplexada. ...	19
Figura 2.1. Bosch FSA-740	25
Figura 2.2. Banco de pruebas Jaky47	28
Figura 2.3. Interfaz VagCom	28
Figura 2.4. Diagrama de flujo del proceso metodológico del proyecto	29
Figura 2.5. Sensor CKP en vehículo Volkswagen Jetta 2008.....	31
Figura 2.6. Diagrama esquemático del sensor CKP del Volkswagen Jetta.....	32
Figura 2.7. Sensor CMP en vehículo Volkswagen Jetta 2008	32
Figura 2.8. Esquema del sensor CMP del Volkswagen Jetta	33
Figura 2.9. Diagrama de la gestión electrónica del Volkswagen Jetta.....	34
Figura 2.10. Diagrama de la gestión electrónica del Hyundai Atos.	35
Figura 2.11. Sensor CKP del Hyundai Atos 2008.....	36
Figura 2.12. Sensor CMP del Hyundai Atos 2008	37
Figura 2.13. Diagrama esquemático del sensor CKP y CMP del Hyundai Atos	38
Figura 2.14. Sensor CKP del Chevrolet Cruze.....	39
Figura 2.15. Sensores CMP del Chevrolet Cruze.....	40
Figura 2.16. Diagrama esquemático de los sensores CKP Y CMP del Chevrolet Cruze...	41
Figura 2.17. Diagrama de la gestión electrónica del Chevrolet Cruze.	42
Figura 2.18. Conexión de la sonda de medición al sensor CKP del Volkswagen Jetta.	43
Figura 2.19. Conexión de la sonda de medición al sensor CKP del Hyundai Atos	44

Figura 2.20. Conexionado de la sonda de medición al sensor CKP.....	44
Figura 2.21. Conexiones de la sonda de medición del sensor CMP del Volkswagen Jetta.	45
Figura 2.22. Conexiones de la sonda de medición al CMP del Hyundai Atos.....	46
Figura 2.23. Conexionado de las sondas de medición a los sensores CMP del Chevrolet cruze.....	46
Figura 2.24. Conexionado para medición de sincronía entre sensores del Volkswagen Jetta	47
Figura 2.25. Conexionado para medición de sincronía sensores CKP y CMP del Hyundai Atos.....	48
Figura 2.26. Conexionado para medición de sincronía de sensores CKP y CMP del Chevrolet Cruze	48
Figura 2.27. Uso de banco de pruebas Jaky47 para simulación de señal CKP y CMP	52
Figura 3.1. Oscilograma de CKP del Volkswagen Jetta en ralentí	54
Figura 3.2. Oscilograma de CKP a 2000rpm del Volkswagen Jetta 2008.	55
Figura 3.3. Oscilograma del sensor CKP del Volkswagen Jetta a 4000rpm	56
Figura 3.4. Oscilograma del CKP del Hyundai Atos en ralentí	57
Figura 3.5. Oscilograma de CKP del Hyundai Atos a 2000rpm	58
Figura 3.6. Oscilograma del sensor CKP del Hyundai Atos a 4000rpm.	59
Figura 3.7. Oscilograma de CKP del Chevrolet Cruze en ralentí	60
Figura 3.8. Oscilograma de CKP del Chevrolet Cruze a 2000rpm	61
Figura 3.9. Oscilograma de CKP del Chevrolet Cruze a 4000rpm	62
Figura 3.10. Oscilograma de CMP del Volkswagen Jetta en ralentí.....	63
Figura 3.11. Oscilograma de CMP del Volkswagen Jetta a 2000rpm.....	64
Figura 3.12. Oscilograma de CMP del Volkswagen Jetta a 4000rpm.....	65
Figura 3.13. Oscilograma de CMP del Hyundai Atos en ralentí.....	66
Figura 3.14. Oscilograma de CMP del Hyundai Atos a 2000rpm.....	67
Figura 3.15. Oscilograma de CMP a 4000rpm del Hyundai Atos.....	68
Figura 3.16. Oscilograma de CMP de admisión para el Chevrolet Cruze en ralentí	69
Figura 3.17. Oscilograma de CMP de escape para el Chevrolet Cruze en ralentí	70
Figura 3.18. Oscilograma de CMP de admisión del Chevrolet Cruze a 2000rpm.	71
Figura 3.19. Oscilograma de CMP de escape del Chevrolet Cruze a 2000rpm.	72
Figura 3.20. Oscilograma CMP de admisión del Chevrolet Cruze a 4000rpm	73

Figura 3.21. Oscilograma de CMP de escape del Chevrolet Cruze a 4000rpm.	74
Figura 3.22. Oscilograma de referencia de sincronía de CMP y CKP del Volkswagen Jetta.	75
Figura 3.23. Oscilograma de sincronía de CMP y CKP del Volkswagen Jetta.....	76
Figura 3.24. Oscilograma de referencia de sincronía entre CMP y CKP del Hyundai Atos	77
Figura 3.25. Oscilograma de sincronía entre CKP y CMP del Hyundai Atos	78
Figura 3.26. Oscilograma de referencia de sincronía de CKP y CMP del Chevrolet Cruze	79
Figura 3.27. Oscilograma de sincronía del CKP y CMP de admisión del Chevrolet Cruze	79
Figura 3.28. Oscilograma de sincronía de CKP y CMP de escape de Chevrolet Cruze	80
Figura 3.29. DTC con sensor CKP desconectado en Volkswagen Jetta.	82
Figura 3.30. DTC con sensor CMP desconectado en Volkswagen Jetta.....	82
Figura 3.31. DTC por pérdida de sincronía entre CKP y CMP de Volkswagen Jetta.....	83
Figura 3.32. Señal generada de CKP y CMP por el banco de pruebas Jaky47.	84
Figura 3.33. Señal del sensor CKP con aislamiento.....	85
Figura 3.34. Señal del sensor CKP sin aislamiento.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del Volkswagen Jetta 2008	22
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del Hyundai Atos 2008	22
Tabla 2.3. Especificaciones técnicas del Chevrolet Cruze 2012	24
Tabla 2.4 Características técnicas del FSA-740	26
Tabla 2.5. Conexiones del sensor CKP del Volkswagen Jetta	31
Tabla 2.6. Conexiones del sensor CMP del Volkswagen Jetta.....	33
Tabla 2.7. Conexiones del sensor CKP del Hyundai Atos.	36
Tabla 2.8. Conexiones del sensor CMP del Hyundai Atos.....	37
Tabla 2.9. Conexiones del sensor CKP del Chevrolet Cruze.	39
Tabla 2.10. Conexiones del sensor CMP de admisión del Chevrolet Cruze	40
Tabla 2.11. Conexiones del sensor CMP de escape del Chevrolet Cruze	40
Tabla 2.12. Averías en sensores de posición de giro.....	50
Tabla 3.1. Comportamiento del motor de los vehículos en diferentes condiciones de funcionamiento de sensores de posición.	81

RESUMEN

El presente proyecto investigativo propone un análisis del funcionamiento de los sensores de posición de giro de vehículos con encendido provocado, para lo cual se llevó a cabo una investigación bibliográfica que reúna el estado del arte y las generalidades principales de éstos. Posteriormente, se realizó la obtención de oscilogramas de trabajo a diferentes regímenes de giro (ralentí, 2000rpm y 4000rpm) para determinar los parámetros de funcionamiento de los sensores, realizar un cálculo de revoluciones por minuto en base al período de la señal obtenida y obtener un criterio de diagnóstico de cada uno de ellos dependiendo de su tipo y estructura de construcción. Además, se propuso un método de análisis del sistema mecánico de sincronización a través del estudio de los puntos de coincidencia entre sensores de posición de cigüeñal y de árbol de levas que podría permitir al técnico especializado realizar diagnósticos de estado del motor de una manera rápida y eficiente. Para el estudio se emplearon tres vehículos de diferentes procedencias: norteamericano, europeo y asiático, con diferentes tipos de sensores para ser evaluados. El equipo de medición empleado para el análisis es el Analizador de motores Bosch FSA-740, además se simuló fallas referentes a este tipo de componentes y su repercusión en el desempeño del motor de combustión interna. Los resultados principales entregan un criterio de diagnóstico de este tipo de sensores, además de un método de verificación de la sincronización entre cigüeñal y árbol de levas a través de equipos electrónicos de toma de señales. En base al análisis de los oscilogramas de CKP y CMP, se infiere que para realizar un correcto diagnóstico, lo primordial es analizar en primera instancia el tipo de sensor a tratar (inductivo, efecto hall, óptico o magneto resistivo). Para el caso de sensores inductivos, los parámetros a observar será la frecuencia de oscilación, la presencia del diente perdido en la señal y la variación de amplitud respecto al régimen de giro; los sensores efecto, por otro lado, no presentan una variación en la amplitud de voltaje, por lo que el cambio de la frecuencia y la forma de señal serán predominantes en el diagnóstico. Los sensores ópticos y magneto resistivos no son analizados en los vehículos de estudio.

ABSTRACT

This research project proposes an analysis of the operation of the turning position sensors of vehicles with spark ignition, for which a bibliographical investigation was carried out that gathers the state of the art and the main generalities of these. Subsequently, work oscillograms were obtained at different turning mechanisms (idle speed, 2000rpm and 4000rpm) to determine the operating parameters of the sensors, performing a calculation of revolutions per minute based on the period of the signal obtained and obtaining a diagnostic criterion for each one of them. depending on its type and construction structure. In addition, a method of analysis of the contrast mechanical system will be developed through the study of the points of coincidence between the crankshaft and camshaft position sensors that allow the specialized technician to diagnose the state of the engine quickly and efficiently. For the study, three vehicles of different origin were used: North American, European and Asian, with different types of sensors to be evaluated. The measurement equipment used for the combustion analysis is the Bosch FSA-740 Engine Analyzer, in addition, reference failures to this type of component and its impact on the performance of the internal engine were simulated. The main results provide diagnostic criteria for this type of sensor, as well as a verification method for the synchronization between the crankshaft and the camshaft through electronic signal taking equipment. Based on the analysis of the CKP and CMP oscillograms, it is inferred that in order to make a correct diagnosis, the essential thing is to first analyze the type of sensor to be treated (inductive, hall effect, optical or magneto-resistive). In the case of inductive sensors, the parameters to observe will be the oscillation frequency, the presence of the missing tooth in the signal and the amplitude variation with respect to the rotation rate; the effect sensors, on the other hand, do not show a variation in the voltage amplitude, so the change in the frequency and the shape of the signal will be predominant in the diagnosis. Optical and magneto-resistive sensors are not analyzed in the study vehicles.

INTRODUCCIÓN

Los fabricantes de vehículos actuales han buscado incesantemente en los últimos años estrategias que les permitan lograr motor con mayor eficiencia y reducir el impacto global que puedan causar. El sistema de inyección electrónico resulta ser una solución viable para la reducción de niveles contaminantes en los motores de combustión interna, el uso de sensores, unidades de control electrónico y actuadores a través de estrategias y cálculos de carga han logrado disminuir de gran manera estos niveles contaminantes.

En este proyecto de investigación se indaga en uno de los principales componentes del sistema como son los sensores de posición de giro, enfocándose en su funcionamiento, parámetros, proceso de diagnóstico y utilidades de diagnóstico del estado del motor a través de ellos. Se presenta un análisis en tres tipos de vehículos de diferentes procedencias (norteamericano, asiático y europeo) para evidenciar las semejanzas y diferencias en su funcionamiento y cómo afectan estos sensores en el desempeño de sus motores.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de los distintos sensores de posición en un motor de encendido provocado.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar una revisión bibliográfica de las curvas de funcionamiento de los sensores de posición a distintos regímenes de Rpm.
- Analizar los valores de operación y parámetros de funcionamientos de distintos sensores de rotación mediante las curvas de funcionamiento de estos.
- Realizar una guía de funcionamiento y diagnóstico de sensores de posición rotacional.
- Determinar el efecto del mal funcionamiento de los sensores de posición y su repercusión en el desempeño del motor de combustión interna.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Un diagnóstico es una serie de pruebas que se realizan para poder eliminar componentes particulares que hacen parte de un sistema, como lo es el sistema de inyección de combustible o encendido, como los culpables del problema o avería. En otras palabras, un diagnóstico no es solo un proceso de eliminación y nada más. (*Juan Andrés Luna Pezantes - Libre, n.d.*).

Al ir eliminando los componentes dentro del sistema que se esté comprobando, si están funcionando correctamente, se puede llegar al componente en este caso en nuestra investigación enfocarnos en el bobinado de los sensores de posición que posiblemente puedan tener falla en menor tiempo sin tener que especular una cierta avería, se ahorraría mucho tiempo y dinero. Los parámetros de inyección en el automotor de hoy en día se deben a la electrónica de potencia. La diferencia de sensores y actuadores se encargan de efectuar la sincronización de la inyección de combustible y la generación de la chispa, elementos necesarios para la combustión. Para poder sincronizar el movimiento del motor algunos sistemas de inyección se valen de sensores de posición. Se conocerán dos sensores importantes en esta labor: el sensor CKP (Crankshaft Position- Posición del Cigüeñal) y CMP (Camshaft Position-Posición Árbol de levas). Cabe aclarar que no todos los sistemas de inyección adoptan los dos sensores. Entre más pasa el tiempo más sensores encontramos en el vehículo, estos dispositivos tienen la misión de recabar información general sobre las variables que se dan en el funcionamiento normal de un motor o algún otro sistema y convertirlas en algún tipo de señal eléctrica, los sensores pueden medir factores como velocidad, presión o distancia para mencionar algunos de los más comunes al igual que la temperatura, (Moreira Ayala et al., 2017).

La señal de posición del cigüeñal o CKP es probablemente la más importante de cualquier sistema de control del vehículo moderno. Esta señal provee al ECM de la posición del cigüeñal, velocidad y también la referencia del pistón 1. Esta señal ve por varios nombres. Como referenciado del distribuidor CRK signal, CAS, PIP, etc. La forma

de que esta señal llega a la ECM va a determinar el proceso del diagnóstico a seguir,(*Sensores Automotrices y Analisis de Ondas - Mandy Concepcion - Google Libros*, n.d.).

Muchas personas piensan que un diagnóstico se limita únicamente a conectar un escáner de diagnóstico automotriz leer los códigos guardados en la memoria de la unidad de control electrónico, pero el proceso va más allá, pues se establecen una serie de pasos con una secuencia lógica a seguir para realizar un diagnóstico electrónico certero y eficaz. Por eso es de suma importancia el conocer los procedimientos de diagnóstico en detalle, así como el saber manipular adecuadamente los equipos de diagnóstico de uso automotriz, mismos que hoy en día tienen una amplia variedad de aplicaciones, así como versatilidad de uso para vehículos de diferentes marcas.

También haciendo énfasis al plan del buen vivir, nosotros relacionamos nuestra investigación con el objetivo 3 que dice “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”, ya que lo que buscamos con nuestra investigación es disminuir los daños por emisiones contaminantes por parte de los automotores, que gracias a esto las personas que tengan acceso a esta investigación tengan más noción del mal funcionamiento de un vehículo y el efecto contraproducente contra la naturaleza y seres vivos.(Yasuní, n.d.).

La eliminación de fallas en los sensores de posición de un vehículo no solo van dirigidos en el buen funcionamiento del mismo, sino a su vez lo más primordial va enfocado en los seres humanos y en el medio ambiente que vivimos tomando en cuenta que fallas de este tipo puede producir daños en nuestro ecosistema, contaminando con las emisiones de gases que puede producir daños en la salud de las personas y al mundo entero, se contribuye con el buen funcionamiento podemos contribuir a oxigenar en mundo y tener un hábitat más sano para todos los seres vivos.

1.3 ALCANCE

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el funcionamiento y proceso de diagnóstico de sensores de posición rotacional de distinto tipo, para esto, se realiza una investigación bibliográfica de las curvas características de los sensores de posición y el análisis de los

parámetros típicos de operación. Posterior a esto, se obtendrán los oscilogramas de CKP, CMP y sincronía de 3 vehículos de diferente procedencia (americano, asiático y europeo) y con distintos tipos de sensores para determinar sus valores y rangos de trabajo. Los análisis deberán ser realizados a distintos regímenes de giro de motor, lo que permitirá evaluar el funcionamiento de estos sensores en varias condiciones del vehículo. Además, se obtendrán curvas de sincronía para determinar a puesta a punto de la distribución del MCI. Finalmente, se evalúan las fallas concernientes a los sensores de posición y su efecto en la operación normal del motor.

1.4 ANTECEDENTES

El análisis de la señal de rotación en sensores de posición se lo hace con el objeto de disminuir tendencias a fallas y mejorar su eficacia de la sincronización de inyección.

Según (Martí, 2010), el inicio de la inyección electrónica en los motores de encendido por chispa se remonta a los años de la Segunda Guerra Mundial, y su primera aplicación fue en los motores de aviación.

La necesidad de generar mejores tecnologías en lo que compete a motores fue grande ya que se necesitaba motores más pequeños, pero con gran fiabilidad y potencia que los que se tenía en motores a carburador, de igual manera la generación de menor consumo, una mayor autonomía, fue el punto clave para la investigación e invención de sistemas de inyección.

Según (Cisneros, 2013), menciona que la inyección electrónica es un procedimiento de inyección de combustible en motores de combustión interna, tanto a gasolina como a diésel. En caso de los motores a gasolina la mezcla aire-combustible ingresa al motor a través del múltiple de admisión, mientras que en los motores diésel el combustible ingresa separado del aire y se mezcla en los cilindros. Pero, en cualquier caso, se requiere de un sistema o unidad de control, la mezcla sea adecuada y el motor funcione de forma eficiente y minimice las emisiones contaminantes todo esto gracias a la ayuda de los sensores.

Por otra parte (Barreto, 2014), indica que los sensores son dispositivos encargados de monitorear las condiciones de operación del vehículo, y de enviar su información a la computadora para que ésta ordene a los actuadores a operar sobre ciertos parámetros de acuerdo a las condiciones cambiantes de funcionamiento.

También el tema de señales y sensores es un aspecto muy indispensable en vehículos actuales pues según Talledo et. al (2014), define la señal de un sensor de posición CKP es la más importante en sistemas de inyección electrónica porque de esta forma se monitorea el régimen de revoluciones del motor y así como también la cantidad de combustible a inyectarse, este proceso se logra gracias la unidad de control electrónica ya que es la que se encarga de monitorear todos los parámetros de funcionamiento de un motor.

Realizar ciertas investigaciones y mejoras en un vehículo es un procedimiento arduo que se necesita una variedad de pruebas para poder llegar a un final positivo. Cuando nosotros necesitamos modificar o analizar para general un propósito lo tomaremos en cuenta como difícil ya que necesitamos utilizar los sistemas y componentes exactos de esta realización.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es muy frecuente que en los automóviles actuales presenten elementos electrónicos como son los sensores, para observar los parámetros de funcionamiento en régimen de funcionamiento del motor en distintos regímenes de revoluciones.

Para el análisis de las señales de la velocidad de rotación se debe analizar el inicio de la investigación llegando al punto de inicio de la mejora se debe constatar de los elementos necesarios para poder realizarse, mayoría de las herramientas existentes son de uso manual lo cual es un problema.

Específicamente las principales causas de mal funcionamiento son las siguientes la luz MIL se enciende, dándonos como advertencia que existe algún inconveniente relacionado al motor, por consecuente el motor tiende a tener un mal rendimiento en cualquier condición de trabajo, de igual manera el consumo de combustible va a ser elevado, hasta que cualquier tipo de sensor de posición genere señales, ya que si el sensor ya no emite señal el motor ya no va a encender y es aquí donde se debe dar un buen diagnóstico, ya que se suele confundir este tipo de daños a sistema de alimentación de combustible, específicamente a daños de bomba de combustible.

1.6 SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DEL MCI

1.6.1 Historia de los sistemas de inyección

El tema de la carburación se remonta al año 1795 cuando Robert Street efectúa pruebas para lograr la evaporación de la trementina y el aceite de alquitrán de hulla en un motor atmosférico. Sin embargo, no fue hasta 1824 donde Samuel Morey y Erksine Hazard crearon el primer carburador para este tipo de motor incluyendo un precalentado para favorecer la evaporación en su funcionamiento.

Los avances más significativos se dan a partir de 1848 cuando el estadounidense Alfred Drake experimenta utilizando gasolina en lugar de gas para la combustión con el carburador, pero en 1885 se veía a la luz el primer motor que utilizaba un carburador de combustibles líquidos elaborado por Nikolaus August Otto.

Por otro lado, la historia de la inyección se remonta a los años 1900, donde Nicolás Otto y J.J.E Lenoir presentaron motores de combustión interna en la Feria Mundial de París de 1867. En 1937 se realizaron las primeras aplicaciones en serie de inyección de gasolina en motores de aviación y para 1945 éstos fueron aplicados al automóvil. El primer vehículo construido con inyección electrónica nacido en 1949 incluía un sistema de inyección directa en el cual el combustible se inyectaba en el múltiple de admisión justamente delante de la válvula de admisión, era como tener un sistema de inyección regulado para cada cilindro; este sistema podría compararse en la actualidad con el K-Jetronic de Bosch utilizado en vehículos Volkswagen, Audi y Volvo entre otros.

Chevrolet por su parte presentó en 1957 el primer motor con inyección de combustible de producción en masa en el Corvette, este sistema basado en el diseño Hilborn fue utilizado en cantidad masiva entre los años 1957 y 1958 y utilizaba una bomba de alta presión para llevar el combustible desde el tanque hasta los inyectores, que realizaban el rociado frente a la válvula de admisión.

Al mismo tiempo que este sistema se desarrollaba, evolucionó el sistema de inyección electrónico de combustible (EFI) el cual tenía como finalidad la producción en masa. El desarrollo de estos sistemas comenzó en 1952 con la Eclipse Machine División de la

corporación Bendix y en 1961 se patentó como el sistema Bendix Electrojector aunque casi simultáneamente, al EFI se le declaró como un proyecto muerto por la gerencia de Bendix.

Aunque el sistema Electrojector nunca fue producido en masa, fue el antecesor de prácticamente todos los sistemas modernos de inyección de combustible, además, cuando Bendix descartó al EFI en 1961, el interés renació en la empresa Bosch que en 1966 se apoderó de la patente.

En 1967, se realizó el primer sistema de inyección electrónico de gasolina de la mano de la empresa alemana Bosch denominado D-jetronic y que fue implementado en vehículos Volkswagen tipo 3. En 1973 surge la inyección electrónica L-Jetronic y K-Jetronic. Ya para el año 1981 nace LH-Jetronic cuya principal novedad era el uso de un medidor de caudal de aire por hilo caliente. Seguidamente en 1982 surge la inyección electrónica con módulo de control denominado KEJetronic para finalmente en 1987 aparecer el sistema centralizado de inyección Mono-jetronic que se sería la base para los sistemas de inyección actuales. (de Castro, 2005)

1.6.2 Funcionamiento del sistema de inyección

Al igual que en los sistemas de carburación, el objetivo fundamental del sistema de inyección electrónica es la de proporcionar al motor una mezcla de aire y combustible, con la diferencia que el sistema electrónica busca principalmente mantener una relación estequiométrica que permita que la combustión se realice eficientemente, con un completo quemado del combustible aportado y con la consiguiente liberación de toda la energía calorífica que pueda suministrar la combustión de gasolina y oxígeno. Una mezcla estequiométrica, se refiere a las cantidades precisas en las que la combustión de hidrocarburos (gasolina) y oxígeno tiene como resultado exclusivamente dióxido de carbono y agua; según estudios químicos se concluye que la relación de 14,7 partes de oxígeno por 1 parte de combustible resulta en una mezcla estequiométrica. (Galagovsky & Giudice, 2015)

Un sistema de inyección eficiente debe ser capaz de monitorear todas las variables que podrían afectar a la relación estequiométrica, entre ellas existe: Flujo másico de aire, temperatura de aire, temperatura del motor, presión absoluta en el múltiple de admisión, presión barométrica, posición de la garganta de aceleración, velocidad de giro del motor, etc;

con estos datos, la unidad de control electrónico debe hacer un cálculo basado en su estrategia para determinar lo más exacto posible la cantidad de oxígeno real que ingresa hacia el cilindro y de esta manera emitir la señal hacia los actuadores e inyectar la cantidad de combustible específica que permita mantener la relación de 14,7:1 entre oxígeno y gasolina. (Castro, 2010; Ed, 2015; Halderman, 2012; Halderman & Linder, 2012).

El sistema de gestión electrónico de un MCI está compuesto por 3 subsistemas principales:

- Periféricos de entrada
- Unidad de control y procesamiento de datos.
- Periféricos de salida

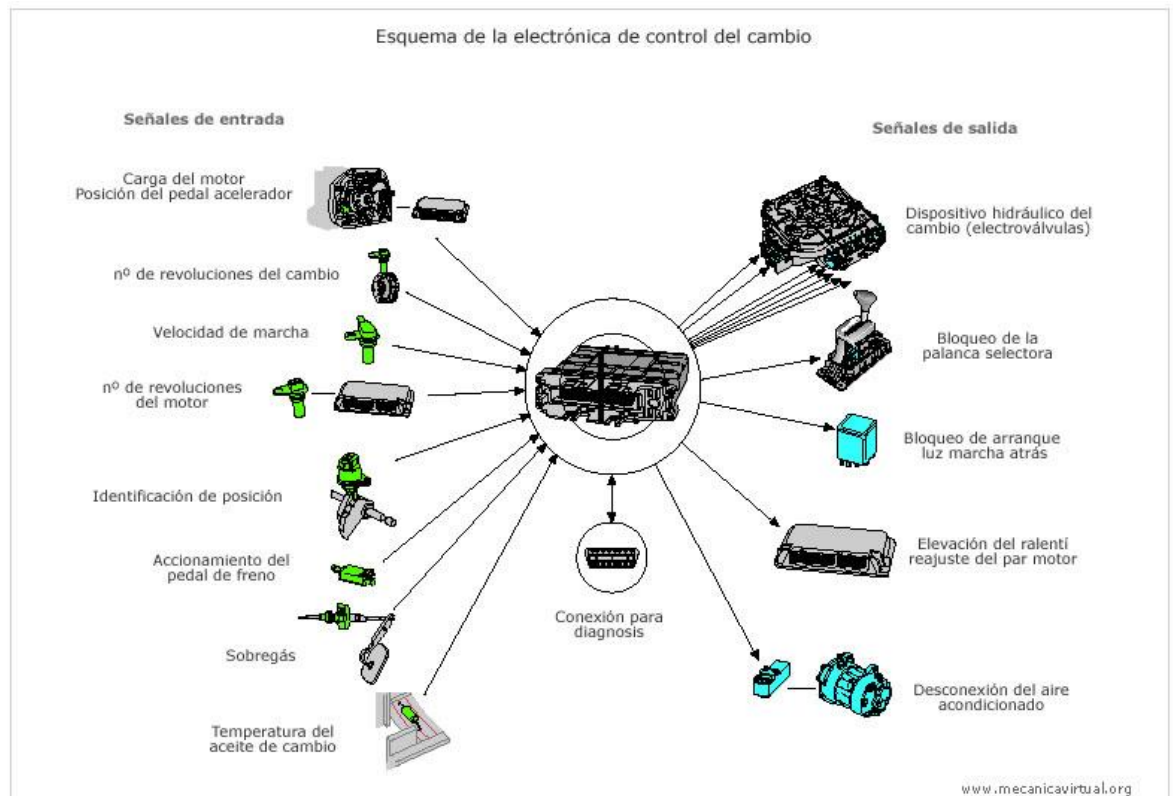


Figura 0.1. Sistema de gestión electrónico de un MCI.

(Medina, 2018)

1.7 UNIDAD DE CONTROL Y PROCESAMIENTO DE DATOS

La unidad de control de motor (por sus siglas en inglés ECU), es un componente electrónico que administra varios aspectos de la operación del MCI. Desde sus inicios, las unidades más simples comandan exclusivamente la cantidad de combustible que es inyectado en cada cilindro a cada ciclo del motor. Las nuevas unidades de control gobiernan, entre otras cosas, el punto de ignición, el tiempo de apertura y cierre de las válvulas, el nivel de impulso mantenido por el turbocompresor y el control de otros periféricos.



Figura 0.2. Unidad de control electrónico ECU.

(Ilton, 2019)

Funciones de la ECU: Las centralitas de control modernas son capaces de cumplir varias funciones, no obstante, son tres los trabajos principales que debe ser capaz de realizar:

- Control de la inyección de combustible
- Control del tiempo de ignición
- Control de la distribución de válvulas

Control de la inyección de combustible: Para un motor con inyección electrónica, la ECU determinará la cantidad de combustible que debe inyectarse en cada ciclo basándose en ciertos parámetros que le permitirán conocer la cantidad de aire que ingresó al motor en determinado momento, a este proceso se le llama cálculo de carga y está basado en la información que le entregan los sensores del MCI.

Control del tiempo de ignición: El MCI utiliza una chispa eléctrica para iniciar la combustión dentro de cada cilindro y la ECU es la encargada de ajustar el tiempo exacto de ese salto de

corriente para proveer la mayor potencia y menos gasto de combustible posible. La chispa debe ocurrir en el momento exacto y al cilindro requerido, evitando retrasos en generación de voltaje, es por esto que la ECU debe generar la orden unos grados antes para compensar este tiempo perdido (a esto se le llama avance de chispa).

Control de distribución de válvulas: Algunos motores poseen un sistema de distribución electrónico de válvulas, la ECU debe controlar el tiempo de apertura y cierre de válvulas para optimizar el flujo de aire que entra al cilindro y de esta manera incrementar la potencia y torque en el motor. (Cisneros, 2010)

1.8 SENSORES DE POSICIÓN DE GIRO

1.8.1 Funcionamiento y tipos

Estos sensores, por su aplicación, miden la velocidad y frecuencia de giro de ejes rotativos.

Existen varios tipos de sensores de régimen de giro, pero los más conocidos son:

- Sensores inductivos
- Sensores de efecto hall
- Sensores ópticos
- Sensores magneto resistivos

Sensores inductivos: Son sensores que trabajan bajo el principio de inducción eléctrica (un flujo magnético cambiante inducirá una fuerza electromotiva en una bobina). Produce una señal alterna cambiante cuya amplitud depende de la frecuencia de cambio de flujo. La ventaja de este tipo de sensores es que producen su propio voltaje, es decir, no necesitan un voltaje de alimentación para entrar en funcionamiento. (Denton, 2016)

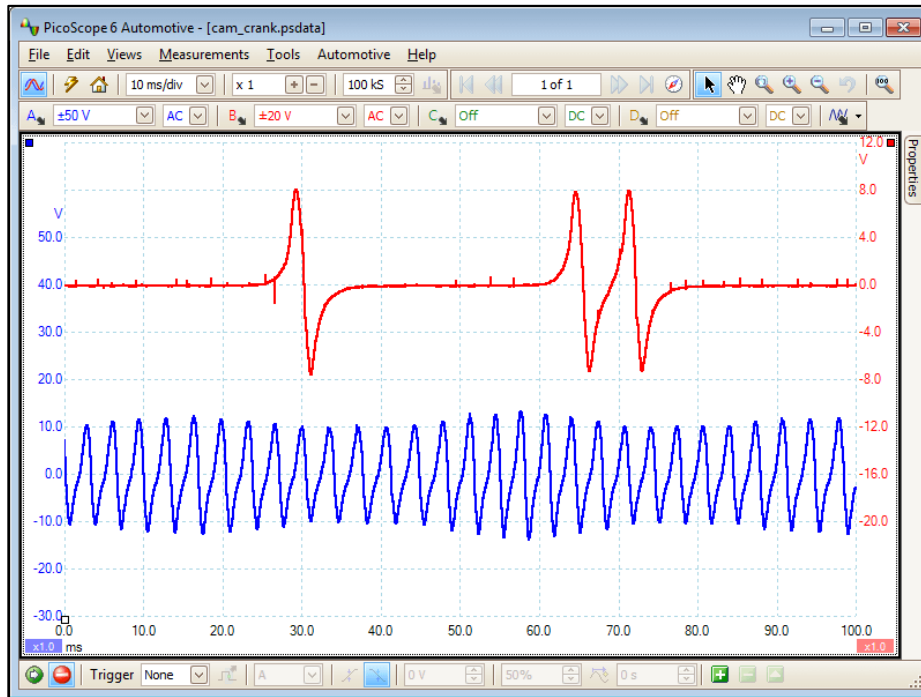


Figura 0.3. Señal del sensor inductivo
(PicoScope, 2020)

Sensores efecto hall: El efecto hall menciona que: “Si un conductor lleva corriente por un campo magnético transverso, se producirá un voltaje en ángulos rector al suministro de corriente, el cual es proporcional al suministro de corriente y a la fuerza del campo magnético”. La figura 1.4 muestra este efecto:

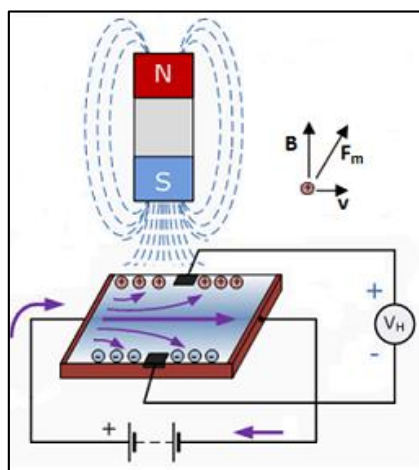


Figura 0.4. Efecto hall
(Denton, 2016)

Los sensores de efecto hall se están volviendo cada vez más populares debido a la gran ventaja de que la señal que emiten es del tipo digital, además dicha señal mantiene un voltaje constante, pero con frecuencia variable. Una desventaja es que este tipo de sensor necesita tensión de alimentación para su funcionamiento.

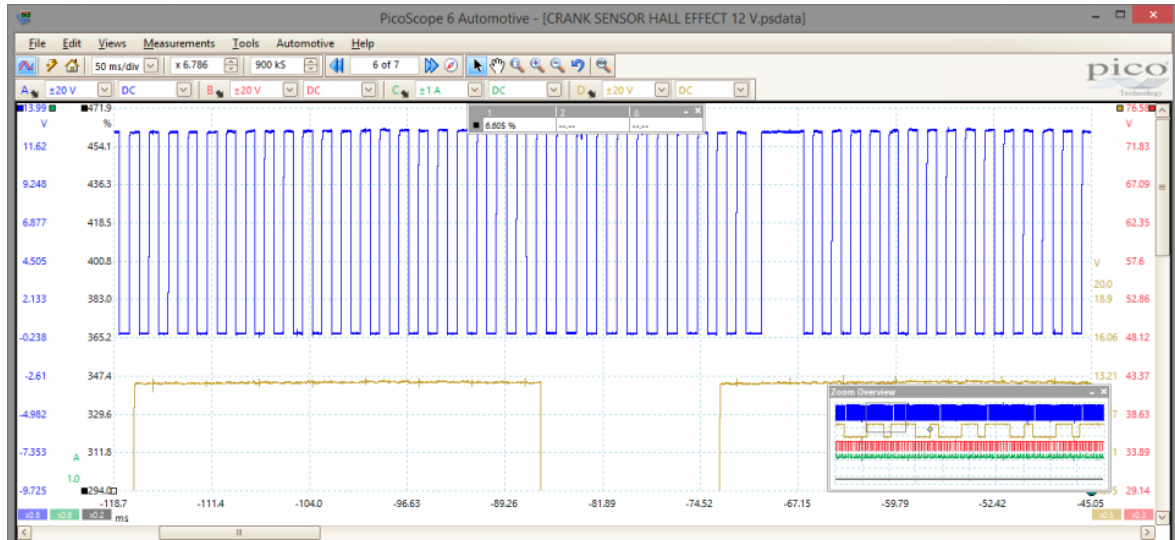


Figura 0.5. Sensor CKP de efecto Hall

(PicoScope, 2020)

Sensores ópticos: Este tipo de sensores están compuestos por un LED óptico y un fototransistor. El volante de motor o eje de giro emite una luz que va a atravesar el orificio de la rueda agujereada. Cuando el fototransistor detecta la luz, este emite una señal de voltaje y cuando la luz es cubierta, emite una señal de 0V, por lo tanto, la señal es de tipo pulsante. (Sensorautomotriz.com, 2022)

Entre los parámetros de funcionamiento a considerar, se busca que los fototransistores sean de alta eficiencia, bajo nivel de ruido, banda ancha, insensibles a los cambios de temperatura y de estructura compacta. (Halderman, 2012)

La figura 1.6 muestra un sensor del tipo óptico.

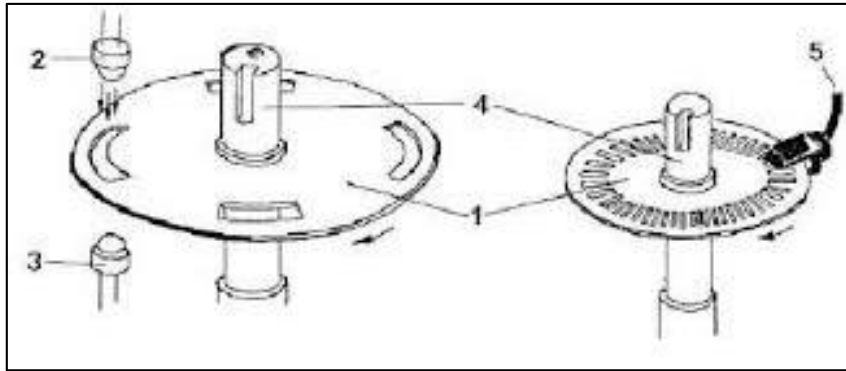


Figura 0.6. Sensor óptico

(CISE Electronics, 2011)

Sensores magneto-resistivos: Un sensor magneto resistivo (figura 1.7) está basado en el principio de funcionamiento de una resistencia eléctrica de aleación de capa fina ferromagnética sometida a un campo magnético exterior, este efecto se denomina AMR (efecto anisótropo magnetorresistivo). La resistencia depende del ángulo de giro entre el flujo de corriente y el campo magnético que es influenciado por magnetos exteriores. Cuando el ángulo es perpendicular, la resistencia es mínima, pero cuando es paralelo llega a ser máxima.

Cuando un objeto con campo magnético propio (cinta magnética del captador) se acerca al sensor, modifica la resistencia eléctrica del mismo, de esta manera puede ser detectado el ángulo del campo magnético exterior con respecto al sensor y al objeto; esto logra que la medición sea mucho más precisa.(Rechner Sensors, 2022)

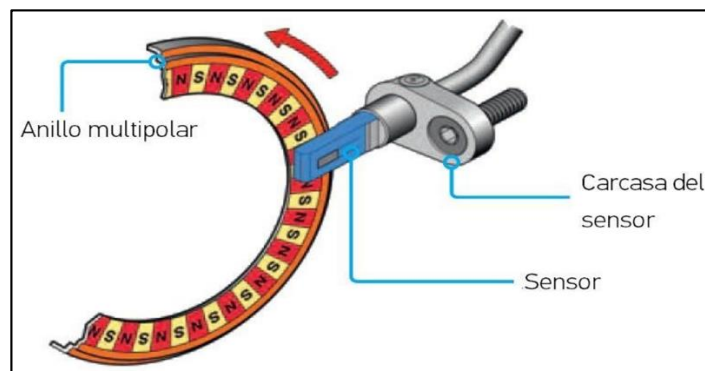


Figura 0.7. Sensor magnetorresistivo

(Guillen, 2020)

1.8.2 Aplicaciones

Los vehículos modernos ocupan sensores de régimen de giro para varias aplicaciones, no obstante, las más comunes son las de posición de cigüeñal, posición de eje de levas, velocidad de rueda y velocidad del vehículo.

Sensor de posición de cigüeñal: Su función principal es la de medir la velocidad de giro y posición del cigüeñal. La ECU utiliza esta información para conocer el momento exacto en el que el pistón número uno se encuentra en el punto muerto superior (PMS). Además, el sensor de posición de cigüeñal (CKP) se encarga de monitorear las revoluciones por minuto a las que gira el MCI. Consta de una rueda dentada de hierro que tiene un diente perdido (o doble diente según sea el caso), esta anomalía en la rueda será detectada por el sensor como una variación en su señal y la ECU lo interpretará como un punto de referencia para la posición del cigüeñal.

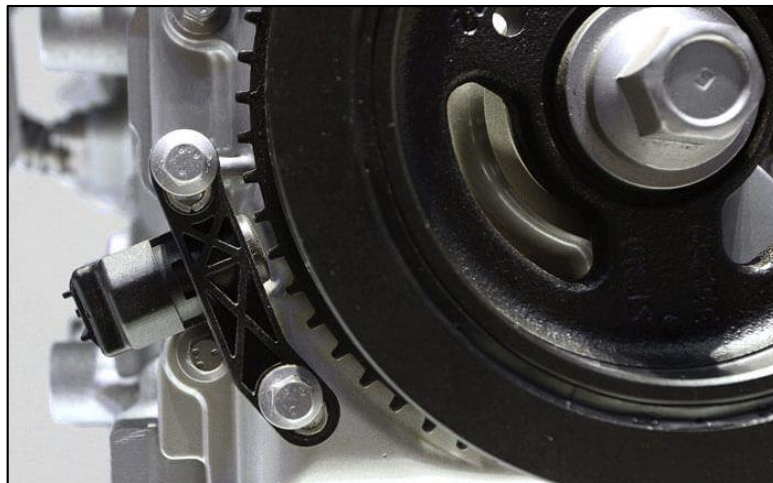


Figura 0.8. Sensor de posición de cigüeñal

(AutoAvance, 2019)

Sensor de posición del eje levas: De igual manera que el sensor CKP, el sensor de posición de eje de levas (CMP) informa a la ECU del motor la posición en la que se encuentra el o los ejes de levas en el motor.

Con esta información, la computadora es capaz de conocer cuándo el pistón número uno se encuentra en carrera de compresión y permite un encendido e inyección completamente secuencial. Otra de las finalidades de este sensor es la de comprobar el funcionamiento del sistema variador de apertura de válvulas. (Bosch, 2002)

La figura 1.9 muestra un sensor de posición del árbol de levas CMP.



Figura 0.9. Sensor de posición del árbol de levas

(AutoAvance, 2019)

1.9 AVANCE DE IGNICIÓN

El avance de la ignición se refiere al momento en el que la bujía de encendido emite chispa en relación con la posición del pistón. Este tiempo cuando la chispa sucede depende de la velocidad de giro del motor y en consecuencia debe ser adelantado a medida que el motor gira más rápido.

La ignición en el cilindro toma un cierto tiempo, aproximadamente 30ms, por lo tanto, para lograr un encendido más eficiente, la secuencia de ignición debe suceder unas milésimas de segundos antes a medida que el régimen de giro incrementa.

Para la máxima eficiencia de la expansión de los gases en la cámara de combustión, esta se debe hacer alrededor de 10 grados antes del punto muerto superior, si la quema de la mezcla se da después de ese punto, la expansión de gases no ejercerá mucha presión sobre debido a que estos estarán persiguiendo al pistón a medida que desciende. El control del avance del encendido lo hace directamente la unidad de control electrónica en base al régimen de giro medido por los sensores de posición. (Denton, 2016)

La figura 1.10 muestra el reglaje de apertura y cierre de válvulas, en relación al avance del encendido. Como se explicó anteriormente, unos grados antes del cierre de la válvula de admisión, se induce el encendido de la bobina para aprovechar la combustión completa de la mezcla.

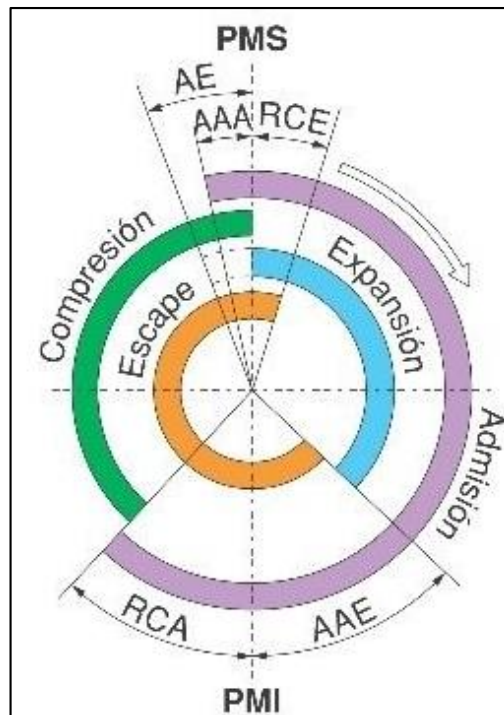


Figura 0.10. Diagrama de apertura de válvulas.

(Berrocal, 2022)

1.10 CONTROL DE INYECCIÓN

1.10.1 Generalidades del sistema

Los sistemas de inyección electrónica son principalmente controlados por la unidad de control electrónica (ECU) que opera directamente sobre los inyectores de combustible y otras funciones basados principalmente en información enviada por varios sensores.

La mayoría de los sistemas electrónicos de combustible utilizan una computadora a bordo para controlar los siguientes aspectos en su operación:

Pulsos de inyección: Mientras mayor tiempo permanezca abierto un inyector, una mayor cantidad de combustible será inyectado en el cilindro.

Operación del circuito del relé de bomba de combustible: Normalmente, la computadora de motor controla la operación de la bomba de combustible eléctrica ubicada en el interior del tanque de combustible. La ECU utiliza las señales del switch de ignición y de las revoluciones por minuto para energizar el circuito del relé de la bomba de combustible.

1.10.2 Estrategias de inyección.

Las unidades de control necesitan un método para medir la cantidad de aire que ingresa al motor y lograr una correcta entrega de combustible, básicamente se emplean 3 métodos.

- Speed density
- MAF
- Alpha-N

Sistema de inyección Speed Density:

El método speed density no requiere un sensor de cantidad de aire sino por el contrario calcula la cantidad de combustible requerido en base a la información obtenida por el sensor MAP y el sensor TP. La medida de presión de aire en el múltiple de admisión es una indicación directa de la carga aplicada al motor y la posición de la mariposa de aceleración se usa como parte de la ecuación para calcular apropiadamente el combustible a inyectar.

Además, se utilizan los sensores de temperatura (temperatura de refrigerante y temperatura de aire de admisión) para calcular la densidad del aire y la necesidad de combustible.

La fórmula para el cálculo de inyección con esta estrategia es la siguiente:

$$\text{Ancho de pulso de inyección} = \text{MAP} \times \text{RPM}.$$

Sin embargo, esta fórmula puede variar en base a otros sensores como:

- Sensor de posición de mariposa
- Sensor de temperatura de refrigerante
- Sensor de temperatura de aire
- Sensor de oxígeno
- Valores adaptativos.

Sistema de inyección MAF:

Para esta estrategia, la computadora de motor utiliza principalmente la información del sensor de flujo de aire para el cálculo de la carga del motor. Es importante acotar que muchos motores de 4 cilindros evitan utilizar este tipo de estrategia debido a que, durante el intervalo de los eventos de admisión, puede existir un cierto flujo de aire inverso en el múltiple de admisión. El sensor MAF puede detectar este flujo y considerarlo como una entrada adicional de aire que proporcionaría una información incorrecta hacia la computadora de motor.

La fórmula para el cálculo del pulso de inyección en esta estrategia es la siguiente:

Ancho de pulso de inyección = Flujo de aire / RPM

Aunque, de igual manera al caso anterior puede ser modificada por valores de los sensores:

- De posición de mariposa
- De temperatura de refrigerante
- De presión atmosférica
- Valores adaptativos.

Sistema de inyección Alpha-N:

Esta estrategia es una de las más anticuadas y ya muy poco utilizada en los fabricantes de vehículos actuales, sin embargo, su simpleza ha sido de gran atractivo para procesos de modificación y programación de centralitas de motor reprogramables. Su funcionamiento se basa en el cálculo de carga a través únicamente del sensor TPS, por lo tanto, su fórmula se resume a:

Ancho de pulso de inyección: TPS / RPM. (Halderman, 2012)

1.11 REDES DE COMUNICACIÓN

Los vehículos en la actualidad están equipados con varias unidades de control que manejan grandes volúmenes de información y datos entre ellos para realizar varias funciones. Convencionalmente, estos módulos solían comunicarse a través de ellos mediante líneas dedicadas, lo que limitaba las capacidades de los mismos además de formar arneses de cables complejos e inmanejables. La solución para este problema consistió en usar un tipo de

sistema de comunicación serial bus entre los módulos denominado red de área controlada, por sus siglas en inglés, red CAN (Controller Area Network). (Bosch, 2002)

1.11.1 Aplicaciones

Existen varias aplicaciones de la red CAN en el automotor y cada una de ellas tiene su propio requerimiento individual.

- Aplicaciones de tiempo real

Muchos sistemas eléctricos utilizan la red CAN para la transmisión de datos en tiempo real como sistemas de gestión electrónica del motor, transmisión, control de cambios, sistemas de control electrónico de estabilidad, entre otros; relacionados principalmente al control dinámico del vehículo. Normalmente, estos sistemas utilizan rangos de transmisión de datos entre 125kbits/s a 1 Mbit/s para garantizar las demandas de comunicación en tiempo real.

- Aplicaciones multiplexadas

Las aplicaciones multiplexadas son utilizadas en situaciones en las que se requiere control y regulación de componente de confort y sistemas de conveniencia como aire acondicionado, cierre centralizado y ajustes de asiento. Los rangos típicos de transmisión de datos oscilan entre 10kbits/s a 125 kbits/s.

- Comunicaciones móviles

Se emplea para comunicaciones y conexiones móviles de componentes como el sistema de navegación, teléfono celular o sistemas de audio con pantalla central. La transmisión de datos generalmente se hace por debajo de los 125kbit/s; por lo cual la transmisión directa de audio o video no es posible.

- Aplicaciones de diagnóstico

Las aplicaciones de diagnóstico apuntan principalmente a la comunicación entre sistemas de diagnóstico de las unidades de control incorporadas a la red. Mediante la aplicación de CAN, el uso de la línea K de diagnóstico (ISO 9141) resultó innecesario. La transmisión de datos para esta aplicación se realiza a velocidades de 500kbit/s. (Bosch, 2002)

1.11.2 Funcionamiento

Cada módulo también llamado nodo, debe comunicarse con otro a una velocidad adecuada y con cierto rango de confiabilidad, esto se logra mediante un bus de comunicación en el que se envían señales eléctricas digitales codificadas bajo un protocolo específico y a un identificador. La unidad de control que necesite la información la receptorá y analizará, las unidades que no necesiten ciertos datos simplemente ignorarán la información.

La figura 1.11 muestra la diferencia entre un sistema convencional de control y uno de red multiplexada, en la que vemos que los módulos toman un papel principal para la lectura de señales de entrada y el control de periféricos de salida. (Halderman & Linder, 2012)

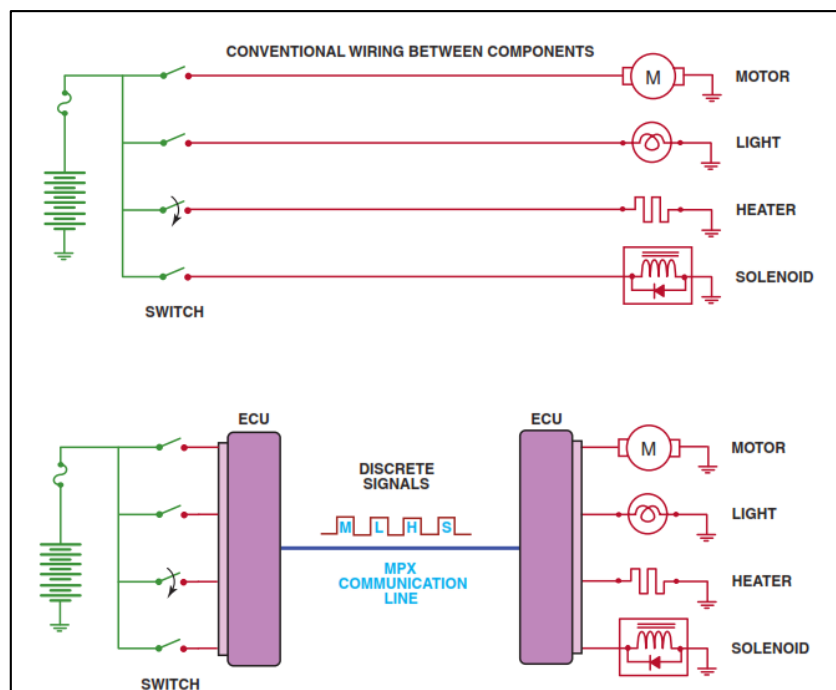


Figura 0.11. Comparación entre un sistema convencional y uno con red multiplexada.

(Halderman & Linder, 2012)

1.12 SISTEMA DE DIAGNÓSTICO A BORDO OBDII

El sistema de diagnóstico a bordo, por sus siglas en inglés OBD (On Board Diagnostics), es una normativa de emisiones creada en 1988 en Estados Unidos y posteriormente seguida por varios países. Su principal requerimiento es que todos los vehículos comercializados en Norteamérica deben incluir un sistema de diagnóstico a bordo que pueda operar para determinar la capacidad de servicio del sistema, subsistemas y componentes del control de emisiones del vehículo.

Este sistema se desarrollado de gran manera durante los últimos años y es implementado ya en la mayoría de los fabricantes de vehículos a nivel mundial garantizando la reducción en gases contaminantes emitidos al medioambiente.

El diagnóstico a bordo está diseñado para autodiagnosticar y reportar cuando se detecte un problema en algún componente, sistema o subsistema relacionado a emisiones de gases para evitar que no les niveles excedan o puedan exceder en un futuro los límites permitidos.

Cuando se presenta un problema, el sistema OBD enciente una luz de advertencia denominado MIL (Malfunction Indicator Lamp) que advierte al conductor sobre un inminente problema en el vehículo que podría afectar la eficiencia de este. Además, se almacena un código en la memoria interna no volátil del computador del vehículo que puede ser utilizado para localizar e identificar la falla. Este sistema también deberá almacenar las condiciones en las que se ocurrió la falla y otros datos importantes que puedan orientar al técnico automotriz hacia la búsqueda de soluciones para el problema suscitado. (Abrigo, 2007; Aranda, 2013; Denton, 2016).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Durante el desarrollo del proyecto se emplean distintos equipos, materiales y herramientas que permitan acceder a los datos y ejecutar varios análisis de interés al proyecto.

En este apartado se presentan todos estos materiales agrupados en: materiales, equipos y herramientas; mostrando sus características más relevantes para la ejecución del proyecto.

2.1.1 Vehículos de estudio

Uno de los principales puntos para el desarrollo del proyecto de tesis es el vehículo de estudio, en este caso se utilizaron tres vehículos:

- Volkswagen Jetta año 2008
- Hyundai Atos 2008
- Chevrolet Cruze 2012

Para la selección de los vehículos se consideraron principalmente tres aspectos:


- Procedencia de fabricación
- Tecnología aplicada a sensores de posición de giro
- Pertinencia y viabilidad con el tema propuesto de estudio

En la tabla 2.1, 2.2 y 2.3 se presentan las especificaciones técnicas de los vehículos, especialmente relacionados a los motores de estudio.

El vehículo Volkswagen Jetta 2008 perteneciente al Grupo Automotor VAG es un vehículo compacto de fabricación mexicana y patente alemán que cuenta con un motor normalmente aspirado de 2.0lt capaz de desarrollar 115hp a 5400rpm y 170Nm a 2400rpm.

El Jetta MK4 es la cuarta generación de vehículos Jetta fabricados desde el 2005 hasta el 2012.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del Volkswagen Jetta 2008

Característica	Especificación
Vehículo	
Marca	Volkswagen
Modelo	Jetta
Generación	Jetta IV
Motor	2.0 lt (115 Hp)
Potencia	115 HP @ 5400 rpm
Posición de motor	Anterior, transversalmente
Cilindraje	1984 cm ³
Torque	170 Nm @ 2400 rpm
Sistema de combustible	Inyección multipunto
Posición de cilindros	En línea
Número de cilindros	4
Diámetro de cilindros	82 mm
Carrera en el cilindro	92.8 mm
Relación de compresión	10:1

Fuente: (Motorgiga, 2022a)

El vehículo Hyundai Atos 2008 perteneciente a Hyundai Motor Company es un vehículo de segmento A de cuatro plazas con motor delantero transversal, tracción delantera y carrocería de 5 plazas elaborado en Colombia, pero con patente coreana. Posee un motor de 4 cilindros en línea con una capacidad volumétrica de 1.1lt capaz de generar una potencia máxima de 59hp a 5450rpm y un torque máximo de 89Nm a 2850rpm.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del Hyundai Atos 2008

Característica	Especificación
Vehículo	
Marca	Hyundai
Modelo	Atos Prime
Generación	Atos Prime GLS
Motor	1.1 lt (59 Hp)
Potencia	59 HP @ 5450 rpm
Posición de motor	Anterior, transversalmente
Cilindraje	1086 cm ³
Torque	89 Nm @ 2850 rpm
Sistema de combustible	Inyección multipunto
Posición de cilindros	En línea
Número de cilindros	4
Diámetro de cilindros	67 mm
Carrera en el cilindro	77 mm
Relación de compresión	9.6:1

Fuente: (Motorgiga, 2022b)

El Chevrolet Cruze 2012 distribuido por el fabricante norteamericano Chevrolet y producido en Korea, es un vehículo de segmento C que cuenta con un motor atmosférico de 4 cilindros con una capacidad de 1.6lt. Posee una carrocería del tipo sedán de 4 puertas, aunque también se comercializó en versión hatchback de 5 puertas. Su motor

de combustión interna genera una potencia máxima de 124hp a 6400 rpm y un par de 154Nm a 4200rpm.

Tabla 2.3. Especificaciones técnicas del Chevrolet Cruze 2012

Característica	Especificación
Vehículo	
Marca	Chevrolet
Modelo	Cruze
Generación	Cruze 4p 16V LS
Motor	1.6 lt (124 Hp)
Potencia	124 HP @ 6400 rpm
Posición de motor	Anterior, transversalmente
Cilindraje	1598 cm ³
Torque	154 Nm @ 4200 rpm
Sistema de combustible	Inyección multipunto
Posición de cilindros	En línea
Número de cilindros	4
Diámetro de cilindros	79 mm
Carrera en el cilindro	81.5 mm
Relación de compresión	10.8:1

Fuente:(Motorgiga, 2022c)

-Bosch FSA-740

El equipo de diagnóstico FSA-740 es un módulo de medición que integra diferentes equipos de diagnóstico para un proceso de detección de fallas rápido y eficiente. Incorpora un escáner multimarca, un osciloscopio de 2 canales de altas prestaciones y de tasa de muestreo de 50MS/s, un generador de señales, analizador de gases y analizador de motores. En la figura 2.1 se observa la estructura del analizador Bosch FSA-740.



Figura 2.1. Bosch FSA-740

(Bosch, 2022)

Las principales características del equipo se presentan a continuación:

- Sistema Premium de medición: Todo lo que un taller necesita para un análisis de sistemas increíblemente eficiente.
- Comprobación de componentes sin necesidad de desmontarlos con 50 pruebas preconfiguradas: El ahorro de tiempo y la localización precisa de problemas en los componentes mejora la productividad del taller.
- Medición de descarga de batería de 24 horas: El extenso equipamiento de medición electrónica es de gran ayuda con los problemas de las baterías difíciles de localizar y diagnosticar.
- Generador de señales para la comprobación de los sensores instalados: Máxima eficiencia para la comprobación de componentes eléctricos y electrónicos
- Estructura clara de los menús en el software SystemSoft[plus]: Los pasos intuitivos permiten una comprobación más rápida y eficiente.

- Concepto modular: Ampliación con el KTS 560, el software de diagnóstico ESI[tronic] 2.0 Online, con módulos de la serie BEA para la medición de gases de escape, o con FSA 050 para un mejor análisis de los vehículos eléctricos e híbridos.
- Conectividad inalámbrica: Conecte con Bosch Connected Repair u otras redes de taller para ayudarle a trabajar con mayor eficiencia. (Bosch, 2022)

Los rangos de operación y las especificaciones técnicas del equipo se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Características técnicas del FSA-740

Característica	Valor
Osciloscopio de 2 canales	Tasa de escaneado 50 MS/s
Generador de señales	10 a 12 V con 4 formas de señal, 1 Hz a 1 kHz
Rango de medición de voltaje	0 a 60 V
Rango de medición de corriente	0 a 1000 A
Rango de medición de resistencia	0 a 1 M Ω
Rango de medición del voltaje de encendido	hasta \pm 50 kV
Rango de medición de la velocidad de rotación	100 a 12 000 1/min
Rango de medición de la temperatura del aceite	-20 °C a 150 °C
Rango de medición de la temperatura del aire	-20 °C a 100 °C
Rango de medición de la presión (atmosférica)	-800 hPa a 1500 hPa
Rango de medición de la presión de líquido	0 a 1000 kPa
Número de pruebas de componentes	50 preconfiguradas
Numero de procedimientos de prueba guiados	18 (con valores establecidos)
Número de señales del sensor visibles simultáneamente	6

Almacenaje de secuencias de señales	Sí
Fuente de alimentación	220 V CC - 240 V AC, 50 / 60 Hz, 700 W
Rango de temperatura de funcionamiento	5 °C a 40 °C
Dimensiones (an x al x pr)	1740 x 860 x 760 mm
Peso	95 kg

Fuente: (Bosch, 2022)

-Banco de pruebas Jaky47 Op2

Es un simulador y banco de pruebas de computadoras y módulos automotrices elaborado por la empresa Jaky47. Este banco permite simular las señales de entrada y salida de un vehículo para comprobar el estado de funcionamiento de la unidad de control y de módulos automotrices.

Sus principales características se enuncian a continuación:

- Único a nivel mundial capaz de simular simultanea y sincronizadamente 3 señales, 1 CKP y 2 CMP
- Posee señales sincronizadas de 47 marcas y 770 modelos diferentes
- Actualizaciones Gratis por Internet
- Es compatible con ECUs que trabajen con sensores hall, inductivos e incluso sistemas mixtos
- Incluye Trazador de Curvas para hacer diagnósticos por Imágenes
- Permite crear tus propias señales de CKP/CMP personalizadas

La figura 2.2 muestra el equipo.

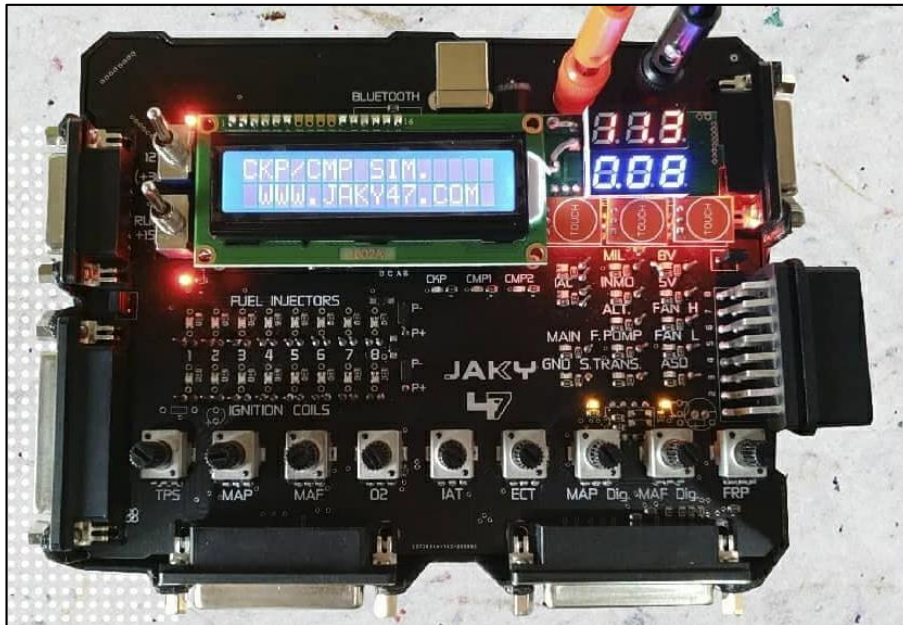


Figura 2.2. Banco de pruebas Jaky47

(Jaky47, 2022)

-Escáner Volkswagen VagCom VCDS

Es una interfaz de diagnóstico especializado para vehículos de grupo VAG (Volkswagen, Audi, Skoda, Seat). Utiliza el software VCDS versión 20.4.1 y la interfaz VagCom Rosstech.

La figura 2.3 muestra la interfaz VagCom.



Figura 2.3. Interfaz VagCom

(Ross-Tech, 2000)

2.2 METODOLOGÍA

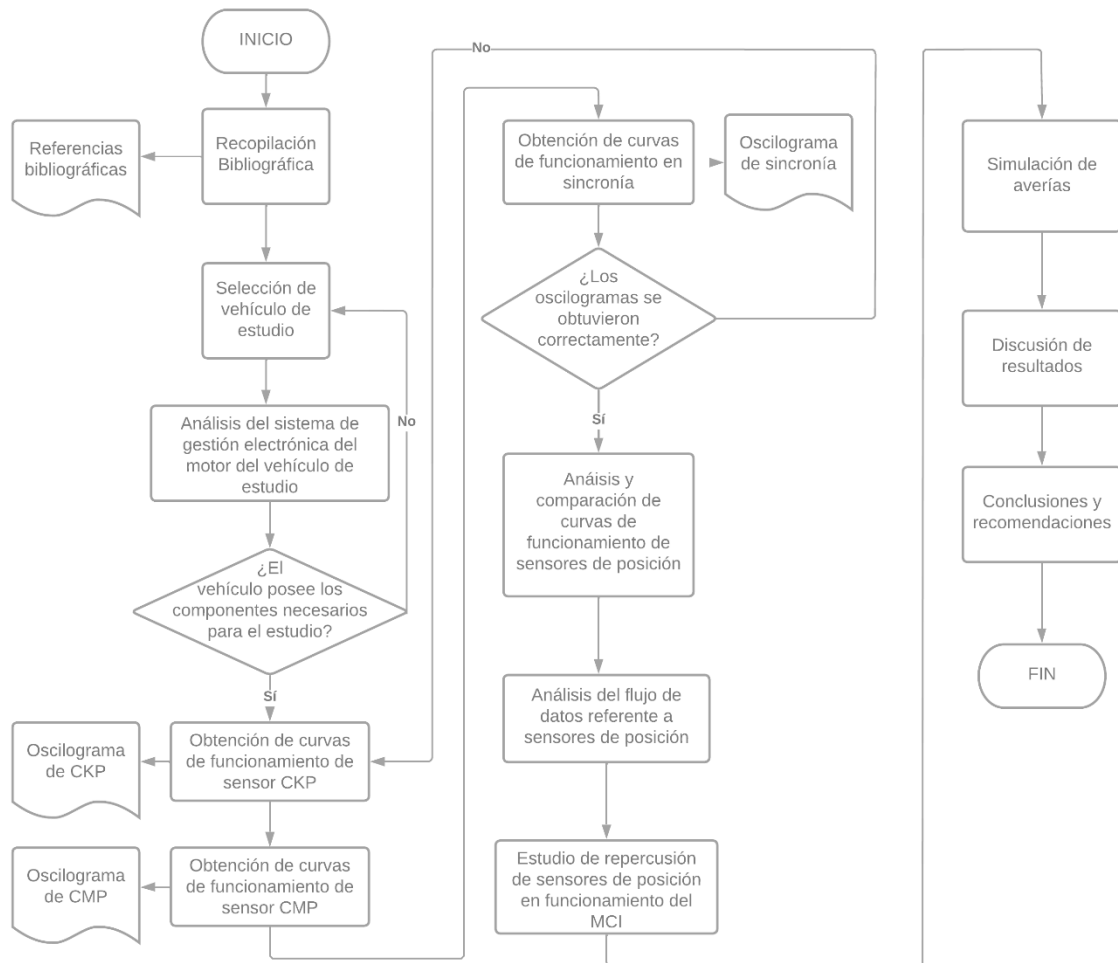


Figura 2.4. Diagrama de flujo del proceso metodológico del proyecto

2.2.1 Selección de vehículo de estudio

La primera instancia del proyecto se basa en la búsqueda del vehículo de estudio, para esto, el vehículo debe cumplir ciertas condiciones específicas y necesarias para el desarrollo del mismo:

- El vehículo debe contener el sistema de diagnóstico a bordo OBDII.
- Debe poseer gestión electrónica del motor de combustión interna.
- Es imprescindible que posea un sensor de detección de giro de cigüeñal (por sus siglas en inglés CKP) y al menos un sensor de detección de giro del árbol de levas (CMP).

En base a los requerimientos anteriormente descritos, se determinó utilizar tres vehículos de diferentes procedencias (europeo, norteamericano y asiático) para contribuir a un análisis más exhaustivo de las diferencias y semejanzas de los sistemas de medición de giro rotacional de cada vehículo. Así, se estableció utilizar los vehículos: Volkswagen Jetta 2008, Hyundai Atos 2008 y Chevrolet Cruze 2012. Las características técnicas de los automotores se detallan en el apartado de materiales.

2.2.2 Análisis del sistema de gestión electrónica del motor del vehículo de estudio

Previo al desarrollo del proyecto, es importante realizar un análisis del funcionamiento del sistema de gestión electrónica del motor para determinar los componentes en los que se realizarán las pruebas correspondientes.

Vehículo Volkswagen Jetta 2.0 2008

El vehículo Volkswagen Jetta 2.0 año 2008 contiene un sistema de inyección electrónica multipunto MPI con tecnología Bosch.

El cálculo de carga se basa en la estrategia MAP en la que emplea los valores obtenidos del sensor MAP vs el sensor TPS y el CKP para la determinación de la cantidad de combustible a inyectar en su sistema multipunto de cuatro inyectores electromecánicos.

El sistema de ignición consta de una bobina individual de sistema DIS chispa perdida con un módulo transistorizado en el cuerpo del bobinado.

Para la detección de rotación y fase del motor de combustión interna se emplean sensores de diferentes características tanto para CKP como CMP. El sensor CKP es de tipo inductivo de dos cables para las fases más un cable extra para blindaje del sensor; la figura 2.5 muestra la distribución de cables y la tabla 2.5 las señales correspondientes a cada uno.

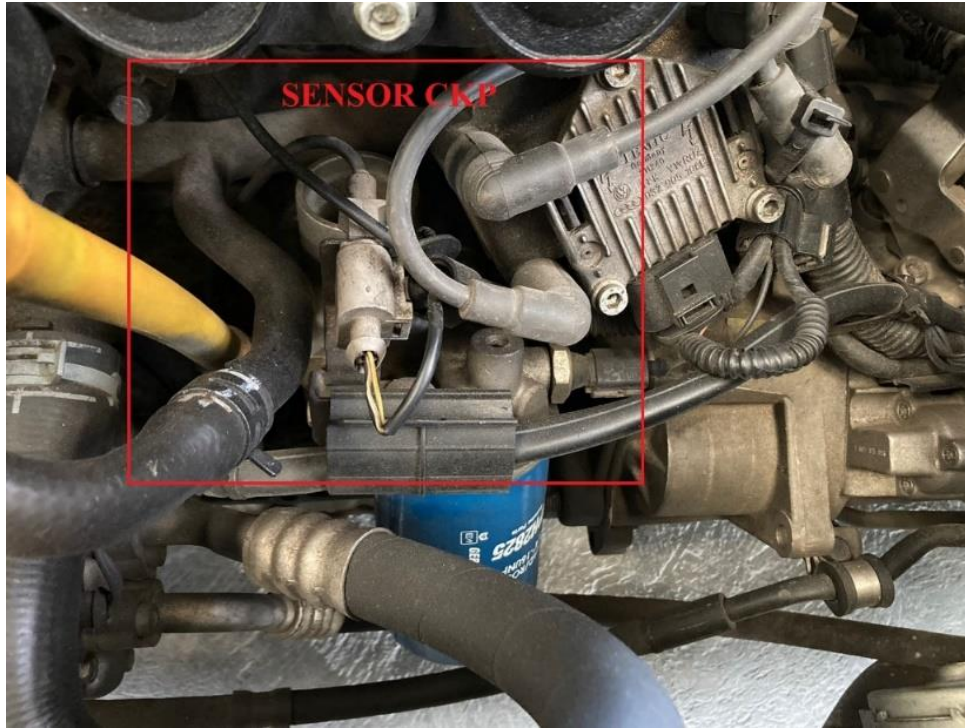


Figura 2.5. Sensor CKP en vehículo Volkswagen Jetta 2008

Tabla 2.5. Conexiones del sensor CKP del Volkswagen Jetta

TABLA DE CONEXIONES DEL SENSOR CKP			
NUMERACIÓN	COLOR	SEÑAL	VOLTAJE
1	Amarillo	Fase 1 del sensor	0.22V
2	Blanco	Fase 2 del sensor	0.17V
3	Negro	Masa de blindaje del sensor	0.002V

En la figura 2.6 se presenta un diagrama esquemático del sensor que está compuesto por un cable bobinado de 2 fases que genera el voltaje inductivo en reacción a un campo magnético generado por un imán en el sensor. Además, posee un blindaje a masa para evitar efectos de ruido electromagnético.

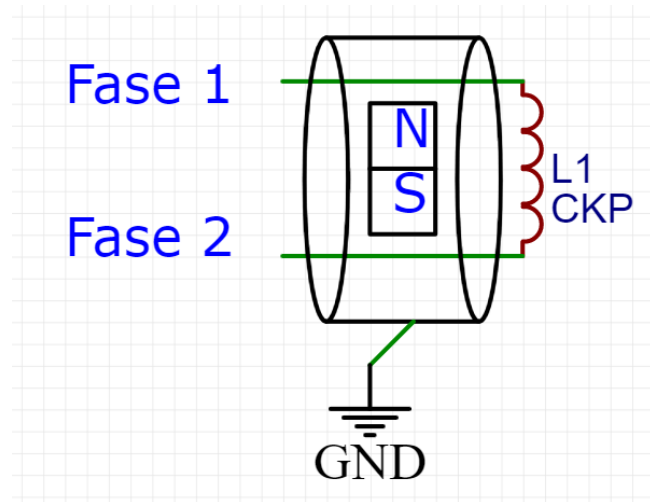


Figura 2.6. Diagrama esquemático del sensor CKP del Volkswagen Jetta

Por otro lado, se posee un sensor de posición de árbol de levas (CMP) de similar número de cables, pero con sistema de funcionamiento de efecto HALL, la figura 2.7 detalla las conexiones de este sensor y la tabla 2.6 las señales de cada cable.



Figura 2.7. Sensor CMP en vehículo Volkswagen Jetta 2008

Tabla 2.6. Conexiones del sensor CMP del Volkswagen Jetta

TABLA DE CONEXIONES DEL SENSOR CMP			
NUMERACIÓN	COLOR	SEÑAL	VOLTAJE
1	Rojo	Voltaje de alimentación 12V (+15)	14.38V
2	Amarillo	Señal digital del sensor	5.06V
3	Rosa	Masa del sensor	0.01V

La figura 2.8 muestra un esquema del sensor, que al ser de tipo Hall tiene una alimentación de 5 voltios y masa. Dentro del sensor se tiene una serie de placas que generan campos magnéticos para mover los electrones de un punto al otro dependiendo de la variación del campo, este efecto se denomina Hall.

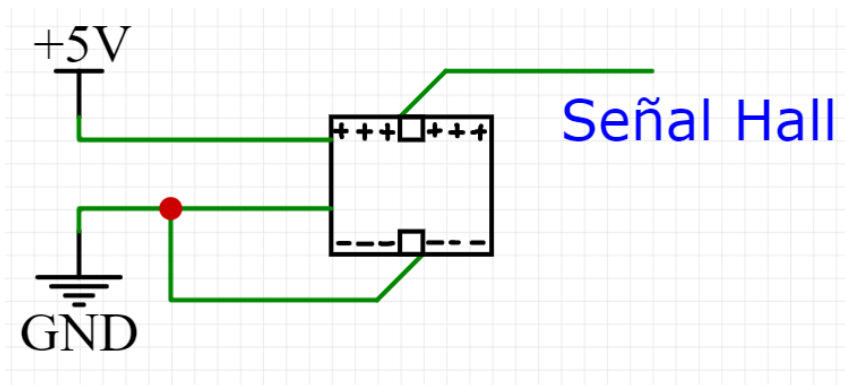


Figura 2.8. Esquema del sensor CMP del Volkswagen Jetta

Para corroborar el conexionado y el análisis del sistema de gestión electrónica del vehículo, se presenta en la figura 2.9 el diagrama del vehículo, en este se observan los sensores, actuadores y demás componentes que se interconectan en la unidad de control electrónico, así como los voltajes de alimentación y masas de este.

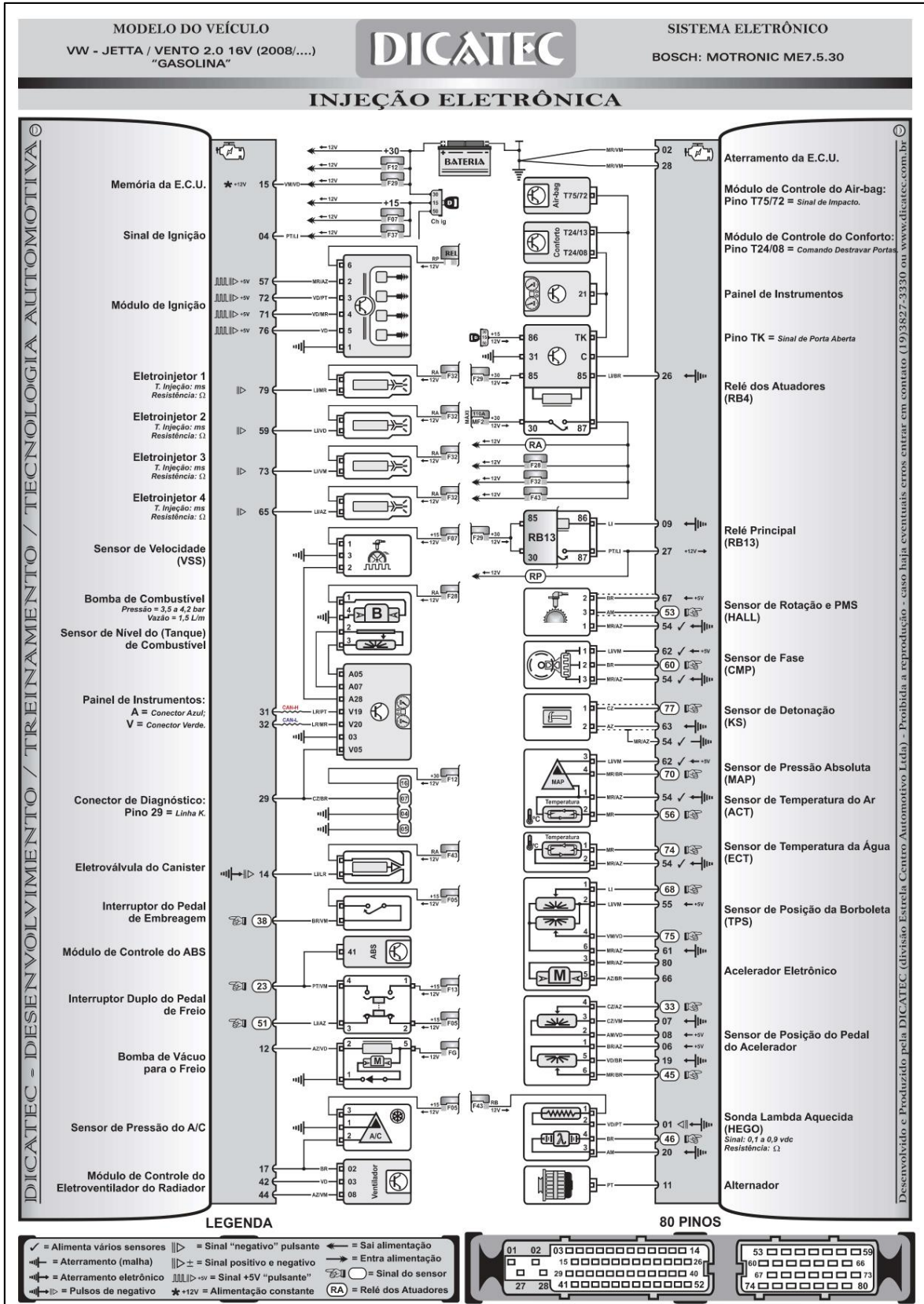


Figura 2.9. Diagrama de la gestión electrónica del Volkswagen Jetta

(JM Sarpa Treinamiento ME, 2022)

Vehículo Hyundai Atos 2008

El Hyundai Atos 2008 posee un sistema de inyección electrónica multipunto con tecnología Kefico. La figura 2.10 muestra el diagrama de conexionado del vehículo.

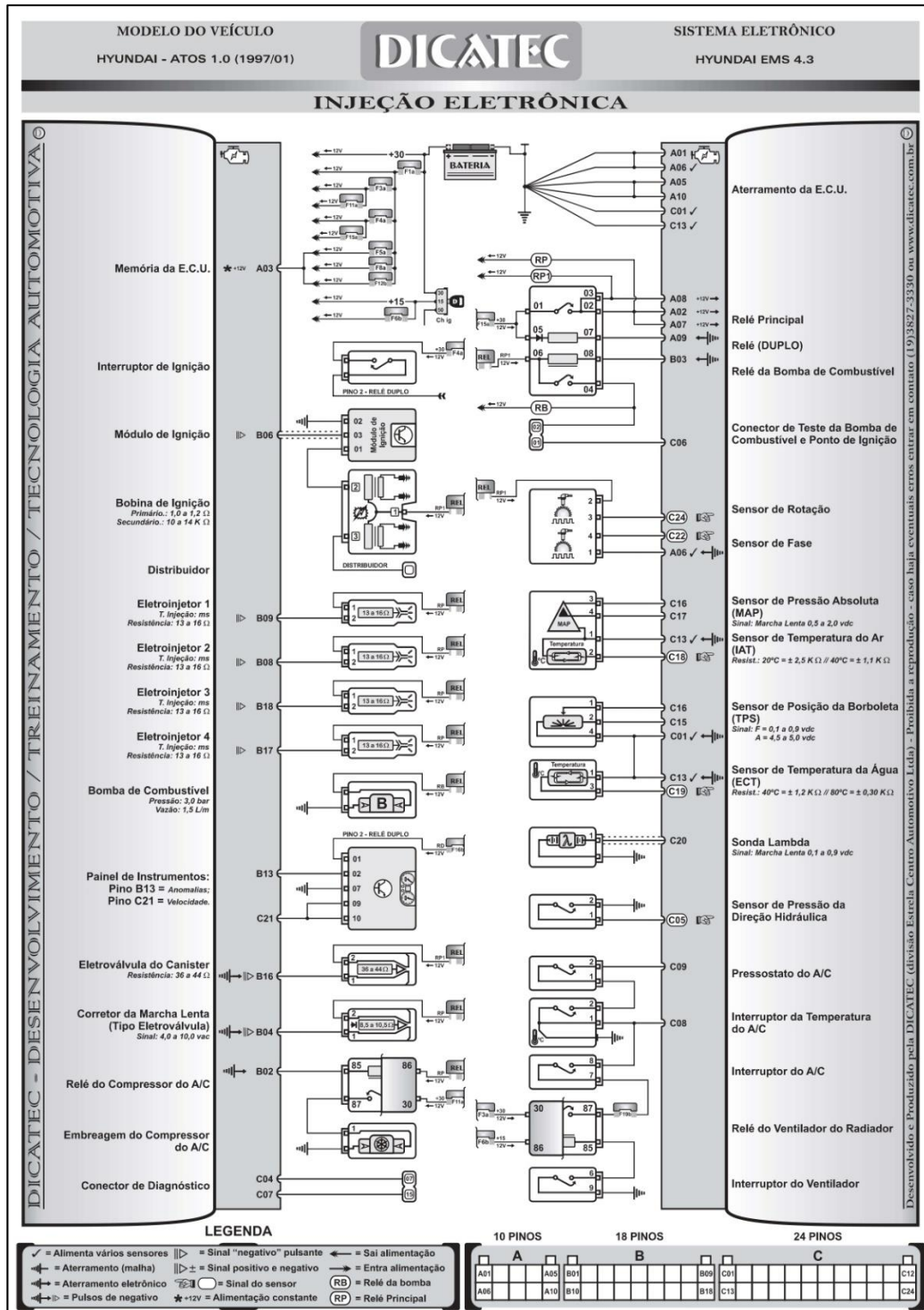


Figura 2.10. Diagrama de la gestión electrónica del Hyundai Atos.

(JM Sarpa Treinamiento ME, 2022)

Este vehículo emplea una estrategia MAP basada en los datos de presión absoluta del múltiple de admisión, posición de la mariposa de aceleración y sensores de posición para el cálculo de carga del motor.

El sistema de inyección es de tipo multipunto secuencial de cuatro inyectores electromecánicos, el sistema de ignición por otro lado es de tipo DIS chispa perdida sin módulo transistorizado en la bobina.

Para la medición de posición de giro del cigüeñal utiliza un sensor de efecto hall de 3 cables alimentado con 8V y que genera una señal oscilante cuadrada entre 0 y 8V. La figura 2.11 muestra el sensor CKP en este vehículo. La tabla 2.7 presenta la denominación de cables y señales de este sensor.

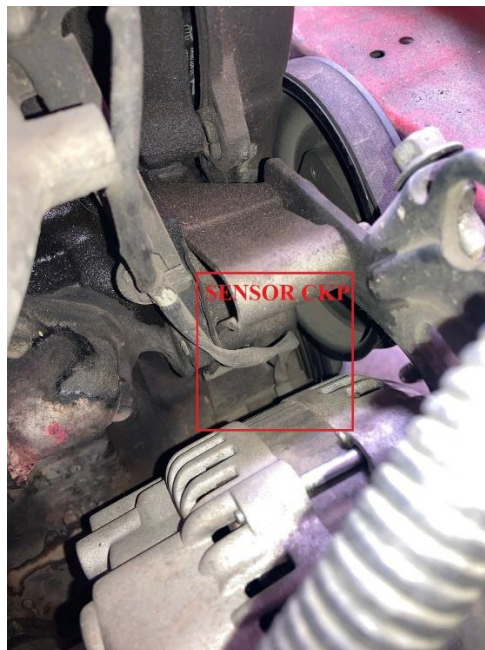


Figura 2.11. Sensor CKP del Hyundai Atos 2008

Tabla 2.7. Conexiones del sensor CKP del Hyundai Atos.

TABLA DE CONEXIONES DEL SENSOR CKP			
NUMERACIÓN	COLOR	SEÑAL	VOLTAJE
1	Rojo	Voltaje de alimentación 12V (+15)	12.32V
2	Amarillo	Señal digital del sensor	8.25V
3	Negro	Masa del sensor	0.1V

El sensor CMP de posición del árbol de levas es de tipo efecto Hall con señal de salida entre 0 y 12V. La figura 2.12 presenta el sensor CMP del vehículo y en la tabla 2.8 se puede observar las denominaciones de cables y señales del sensor.

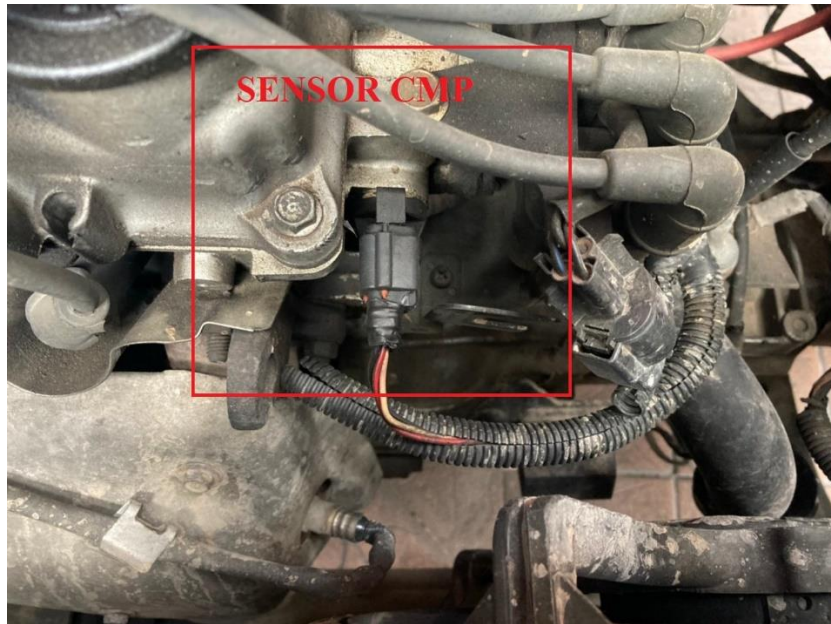


Figura 2.12. Sensor CMP del Hyundai Atos 2008

Tabla 2.8. Conexiones del sensor CMP del Hyundai Atos

TABLA DE CONEXIONES DEL SENSOR CMP			
NUMERACIÓN	COLOR	SEÑAL	VOLTAJE
1	Amarillo	Voltaje de alimentación 12V (+15)	12.40V
2	Rojo	Señal digital del sensor	11.41V
3	Negro con Azul	Masa del sensor	0.1V

Para el caso del Hyundai Atos, tanto el sensor CKP y CMP son de tipo efecto hall, que funcionan de igual manera que el del Volkswagen Jetta. La figura 2.13 representa esquemáticamente este sensor.

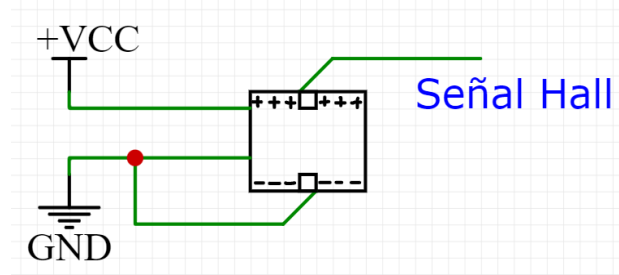


Figura 2.13. Diagrama esquemático del sensor CKP y CMP del Hyundai Atos

Vehículo Chevrolet Cruze 2012

Por el lado del Chevrolet Cruze, este posee un sistema de inyección electrónica multipunto basado en tecnología Continental.

Para el cálculo de carga se emplea la estrategia de speed density que utiliza la información de los sensores MAF, MAP, TPS y CKP y los compara en base a la tabla de speed density para determinar el valor exacto del pulso de inyección en cada régimen de funcionamiento del motor.

Posee un sistema de inyección secuencial MPI con inyectores electromecánicos controlados con pulso negativo y un sistema de ignición DIS de chispa perdida con módulo transistorizado en su interior.

La medición de la posición de giro y fase del motor de combustión interna se basa en un sensor CKP de efecto hall con oscilación de 0 a 5V y frecuencia variable; la figura 2.14 muestra el sensor CKP y la tabla 2.9 las señales y denominaciones de cada uno de los cables del conector.

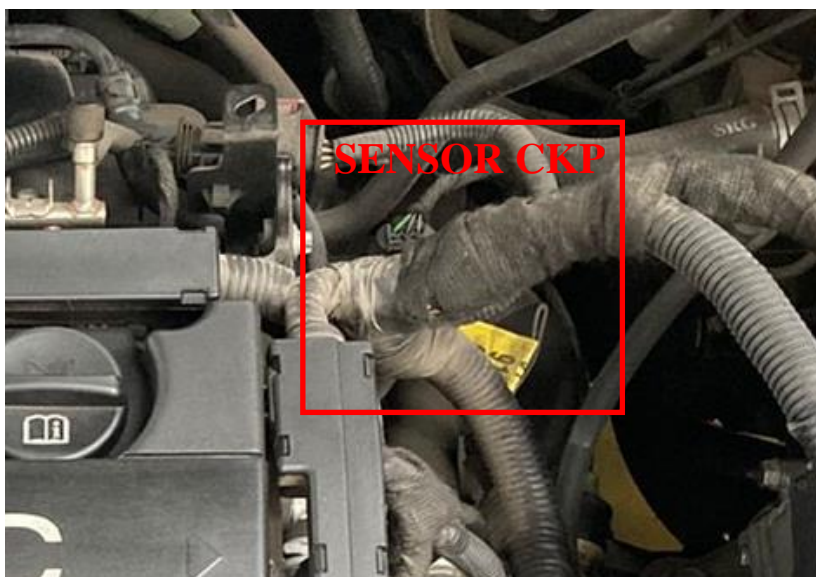


Figura 2.14. Sensor CKP del Chevrolet Cruze.

Tabla 2.9. Conexiones del sensor CKP del Chevrolet Cruze.

TABLA DE CONEXIONES DEL SENSOR CKP			
NUMERACIÓN	COLOR	SEÑAL	VOLTAJE
1	Amarillo	Voltaje de alimentación 12V (+15)	5.03V
2	Rojo	Señal digital del sensor	5.01V
3	Negro con Azul	Masa del sensor	0.01V

Para la determinación de posición de los árboles de levas, el Chevrolet Cruze utiliza dos sensores CMP de tipo hall con señal entre 0 y 5v, uno para el eje de admisión y otro para el de escape. La figura 2.15 muestra los sensores, las tablas 2.10 y 2.11 representa los cables y señales de cada uno de ellos.

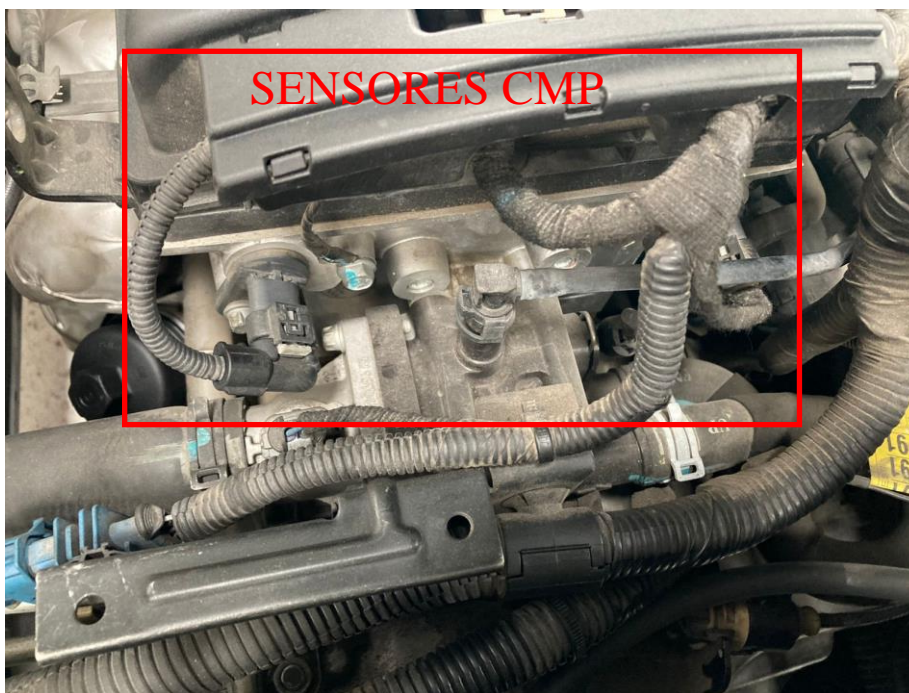


Figura 2.15. Sensores CMP del Chevrolet Cruze.

Tabla 2.10. Conexiones del sensor CMP de admisión del Chevrolet Cruze

TABLA DE CONEXIONES DEL SENSOR CMP DE ADMISIÓN			
NUMERACIÓN	COLOR	SEÑAL	VOLTAJE
1	Blanco con azul	Voltaje de alimentación 12V (+15)	5.04V
2	Amarillo con morado	Señal digital del sensor	5.03V
3	Negro con verde	Masa del sensor	0.01V

Tabla 2.11. Conexiones del sensor CMP de escape del Chevrolet Cruze

TABLA DE CONEXIONES DEL SENSOR CMP DE ESCAPE			
NUMERACIÓN	COLOR	SEÑAL	VOLTAJE
1	Verde	Voltaje de alimentación 12V (+15)	5.04V
2	Blanco con negro	Señal digital del sensor	5.03V
3	Negro con morado	Masa del sensor	0.01V

Los sensores CKP Y CMP de este vehículo son de tipo hall de funcionamiento exactamente igual a los anteriormente descritos, por lo que el diagrama esquemático será muy similar a los anteriores.

La figura 2.16 muestra este diagrama.

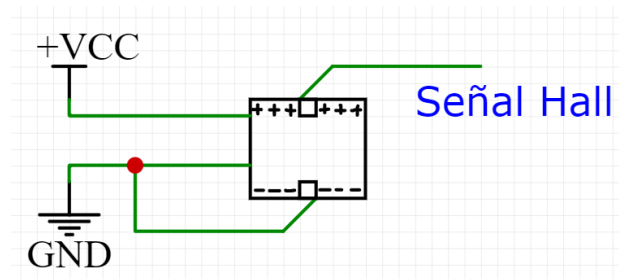


Figura 2.16. Diagrama esquemático de los sensores CKP Y CMP del Chevrolet Cruze

La estructura, componentes y conexionado de la gestión electrónica del vehículo se presenta en el diagrama mostrado en la figura 2.17.

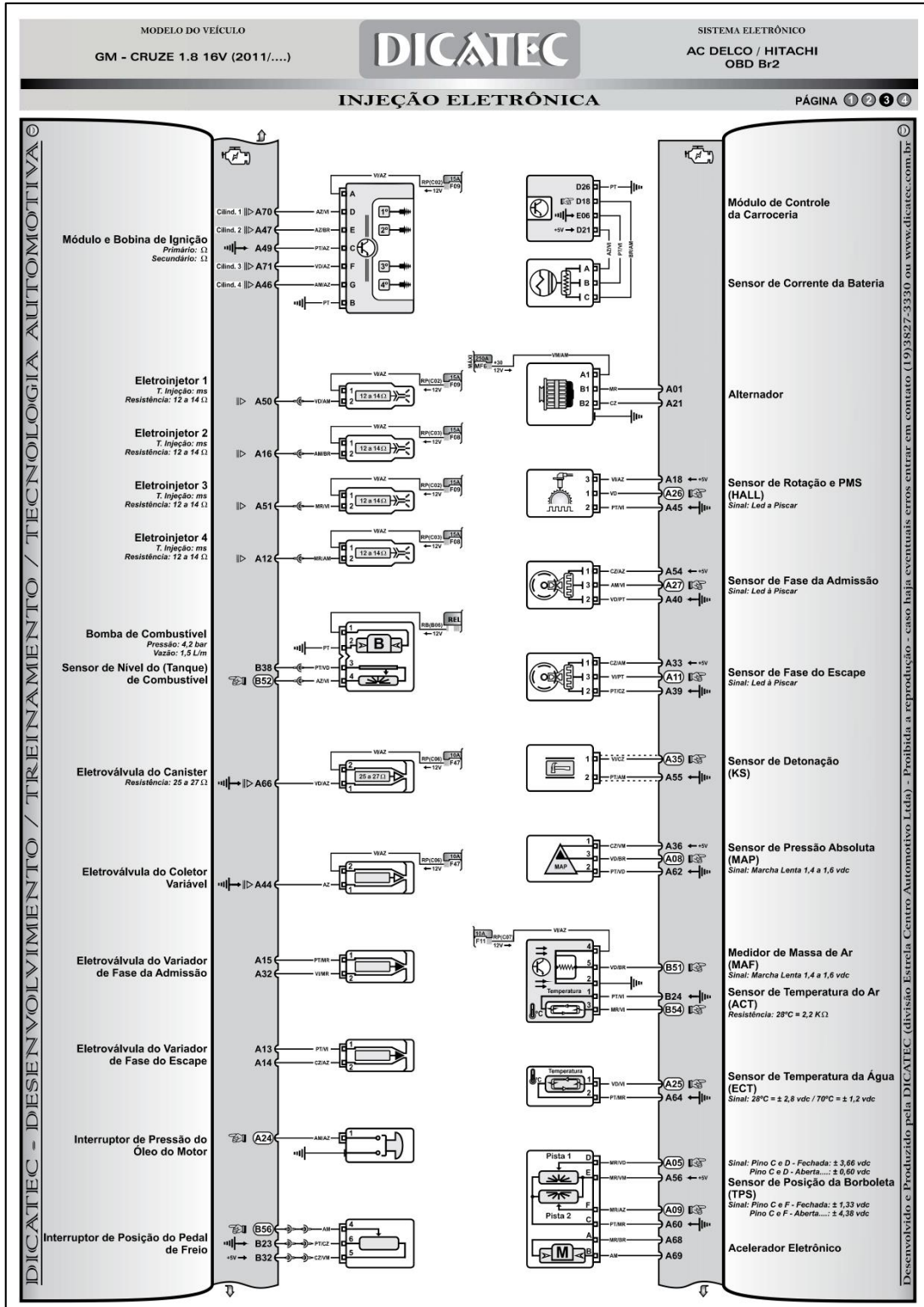


Figura 2.17. Diagrama de la gestión electrónica del Chevrolet Cruze.

(JM Sarpa Treinamiento ME, 2022)

2.2.3 Obtención de curvas de funcionamiento de CKP

Volkswagen Jetta 2008

Para la obtención de curvas de funcionamiento del sensor de posición de cigüeñal, se usó el equipo Bosch FSA-740 en su función de osciloscopio. Se conectó el canal 1 en el cable de señal del sensor para obtener los oscilogramas de funcionamiento en régimen de ralentí, media carga y carga completa. La figura 2.18 muestra el conexionado del equipo al sensor CKP. La sonda de medición se coloca por la parte posterior del conector en el pin 1 de señal y el otro cable a masa de chasis, mediante esta conexión el equipo FSA 740 será capaz de medir en tiempo real las variaciones de voltaje del sensor CKP para ser analizadas.

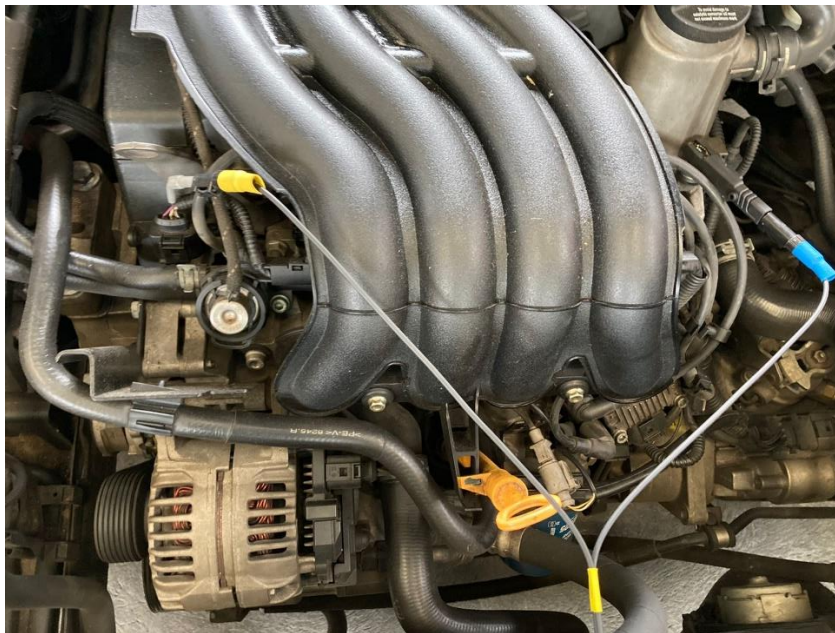


Figura 2.18. Conexión de la sonda de medición al sensor CKP del Volkswagen Jetta.

Hyundai Atos 2008

De manera similar al caso del Volkswagen, se utilizó el equipo FSA-740 para las mediciones de la señal, con el canal 1 del osciloscopio integrado se conectó en el cable de señal del sensor de efecto hall del CKP y se tomaron mediciones en 3 regímenes de giro. La figura 2.19 muestra el conexionado.

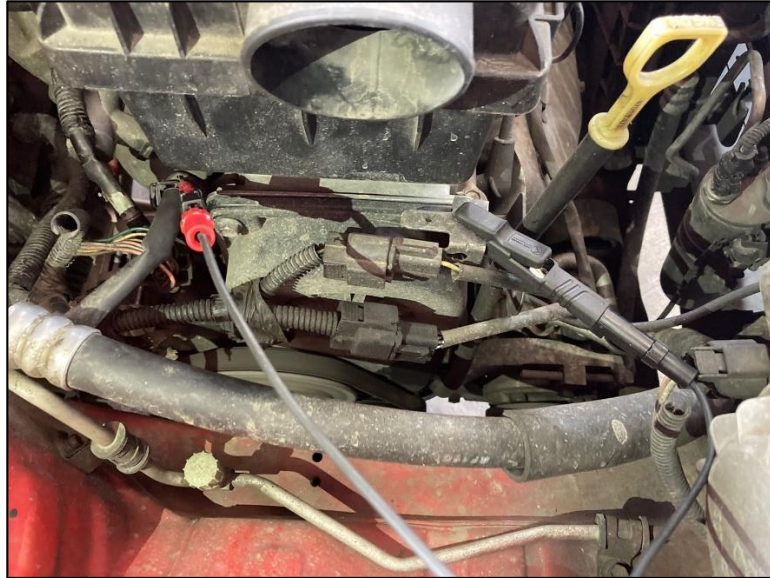


Figura 2.19. Conexión de la sonda de medición al sensor CKP del Hyundai Atos

Chevrolet Cruze 2012

Para la obtención de la señal de posición del cigüeñal se utilizó de igual manera la sonda de medición del equipo FSA-740 conectado al cable de señal del sensor CKP. La figura 2.20 presenta el conexionado.



Figura 2.20. Conexionado de la sonda de medición al sensor CKP.

2.2.4 Obtención de curvas de funcionamiento de CMP

Volkswagen Jetta 2008

Consecuentemente al proceso anterior, se obtienen ahora las curvas de funcionamiento del sensor de posición de árbol de levas CMP. Para este efecto, se empleó el equipo Bosch FSA-740 en su función de osciloscopio. La medición se realizó con el canal 2 colocado mediante una sonda de prueba en el cable de señal hall del sensor y se evaluó su funcionamiento a diferentes regímenes de giro. En la figura 2.21 se observa el método de conexión del equipo, de igual manera que con el sensor CKP, la sonda debe ser conectada en el terminal de señal, que para el caso de este sensor es en el pin 2.

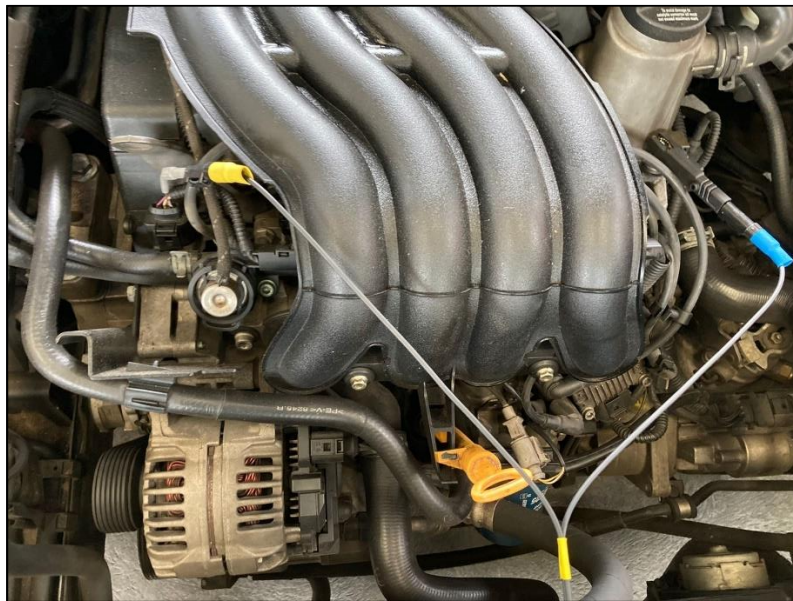


Figura 2.21. Conexiones de la sonda de medición del sensor CMP del Volkswagen Jetta.

Hyundai Atos 2008

De igual manera que con el sensor CKP, para la obtención del oscilograma del sensor CMP se utiliza la sonda de medición del equipo Bosch en su función de osciloscopio. La figura 2.22 muestra el conexionado de este vehículo.



Figura 2.22. Conexiones de la sonda de medición al CMP del Hyundai Atos.

Chevrolet Cruze 2012

Para el caso del Chevrolet Cruze se debe considerar que son dos sensores CMP, uno para admisión y otro para escape. En este caso la obtención de las señales se realizó de manera individual utilizando la misma sonda de medición y obteniéndose oscilogramas en ralentí, a 2000rpm y 4000rpm. (Figura 2.23)



Figura 2.23. Conexión de las sondas de medición a los sensores CMP del Chevrolet Cruze

2.2.5 Obtención de curvas de funcionamiento en sincronía.

Una de las partes más importantes del proyecto consiste en el análisis de sincronía del cigüeñal y el árbol de levas, para realizar este proceso es imprescindible obtener las señales proporcionadas por los sensores correspondiente a cada uno de estos componentes y analizar su sincronización. El equipo Bosch FSA-740 a través de los dos canales de medición de su osciloscopio permite obtener los oscilogramas de las señales de cada uno de estos sensores. Para este efecto se conectó el canal 1 en el sensor CKP y el canal 2 en el sensor CMP, al medirse en el mismo tiempo de muestro se obtiene una gráfica para un posterior análisis de sincronía.

La figura 2.24 muestra el conexionado del osciloscopio del equipo FSA-740 en el sensor de posición del árbol de levas del Volkswagen Jetta.

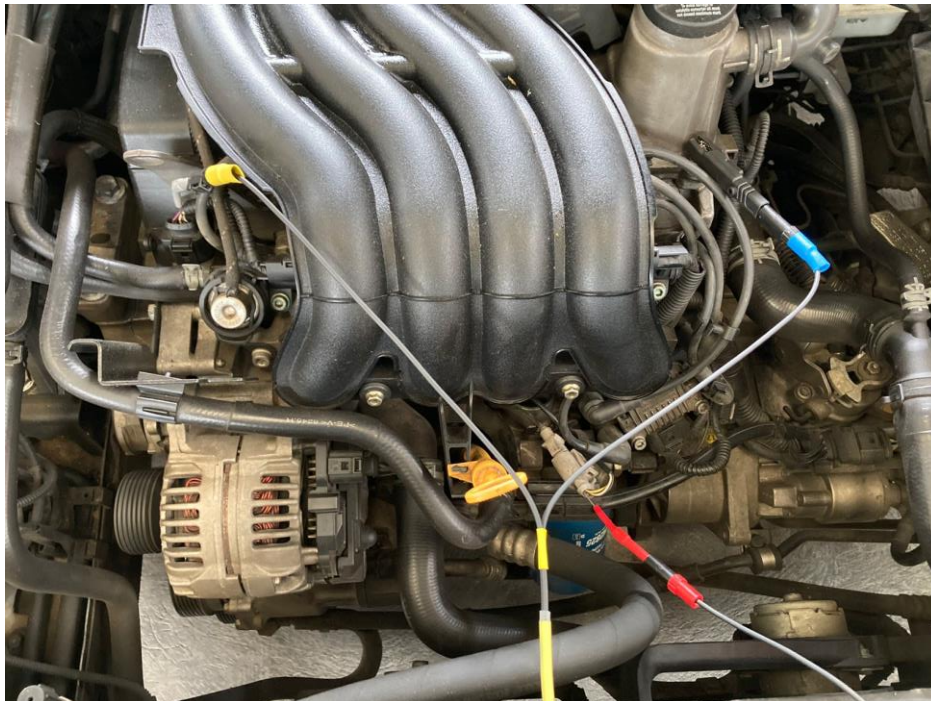


Figura 2.24. Conexionado para medición de sincronía entre sensores del Volkswagen Jetta

La figura 2.25 por otro lado, presenta el conexionado del equipo para el caso del CMP del Hyundai Atos, el cual para este vehículo se encuentra junto a la bobina de encendido.



Figura 2.25. Conexionado para medición de sincronía sensores CKP y CMP del Hyundai Atos.

Un punto para considerar es que para el caso del Chevrolet cruze que posee dos sensores CMP y un sensor CKP, se obtuvieron sincronía de CKP vs CMP admisión, CKP vs CMP escape y CMP admisión vs CMP escape.



Figura 2.26. Conexionado para medición de sincronía de sensores CKP y CMP del Chevrolet Cruze

2.2.6 Análisis y comparación de curvas de funcionamiento de sensores de posición.

Una vez obtenidos los oscilogramas de funcionamiento de cada uno de los sensores de posición y de sincronía, se realizó el respectivo análisis de las curvas características en búsqueda de la variación de frecuencia y amplitud de cada uno de los sensores. Se analizó además la concordancia entre la señal medida y los componentes mecánicos relacionados al funcionamiento del mismo.

En base a la sincronía, se analizan las posiciones del sensor CKP vs el sensor CMP y se realiza una comparación con un oscilograma de referencia para estudiar los puntos de sincronía y elaborar conclusiones referentes al estado de la puesta a punto de la distribución del motor estudiado.

2.2.7 Análisis del flujo de datos referente a sensores de posición

Para complementar el análisis de los oscilogramas de los sensores de posición, se realiza un análisis de los PID (identificación de parámetros) del sistema de diagnóstico a bordo del vehículo para encontrar la relación entre los valores obtenidos en las curvas de funcionamiento y los otorgados por la unidad electrónica de control de motor. El escáner incluido en el equipo Bosch FSA-740, permite acceder al modo 1 de diagnóstico para analizar el flujo de datos y realizar el estudio de los parámetros de interés en este apartado.

2.2.8 Estudio de repercusión de los sensores de posición en el funcionamiento del MCI

Otro punto sobresaliente del presente proyecto de investigación es el análisis de la repercusión de los sensores de posición en el funcionamiento del motor de combustión interna. Para esto se simuló fallas desconectando los sensores de posición tanto de cigüeñal como de árbol de levas para observar su comportamiento en el desempeño del motor, los puntos más sobresalientes de estas pruebas se detallan en el apartado de resultados.

2.2.9 Análisis de averías

Previo a la simulación de averías, se realizó un análisis de averías, sus características, naturaleza y consecuencia que se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 2.12. Averías en sensores de posición de giro.

AVERÍAS DE SENSORES DE POSICIÓN DE GIRO			
Tipo	Avería	Descripción	Consecuencia
Averías eléctricas	Pérdida de continuidad del cableado del sensor	Se refiere a un daño en el cableado desde el sensor hacia el conector de la ECU, principalmente ocurrido por un circuito abierto (cables rotos)	El vehículo no enciende. Se presenta luz MIL encendida. Pérdida de pulso de inyección y control a bobinas. DTC presente: P0345, P0335, P0385.
	Falta de alimentación positiva al sensor	En sensores de posición que tienen alimentación de voltaje (5V), se presenta la falla de falta de este voltaje de referencia.	No existe señal del sensor. Se presenta luz MIL encendida. No hay medida de rpm. No enciende el vehículo. Pérdida de pulso de inyección y control a bobinas. DTC presente: P0337, P0342
	Falta de masa al sensor	Se refiere a falta de masa en sensores de tipo Hall.	Voltaje elevado de la señal del sensor. Se presenta luz MIL encendida. No existe medición de rpm. No enciende el vehículo. Pérdida de pulso de inyección y control a bobinas. DTC presente: P0338, P0343.
	Falla de aislamiento del sensor	Se refiere a la pérdida de aislamiento a masa para protección de ruido electromagnético en el sensor.	Se presenta luz MIL encendida. DTC presente: P0336, P0341, P0346, P0366.

Continúa.

		La señal de distorsiona por efecto del ruido electromagnético.	
	Falla de medición del sensor	Se refiere a un sensor defectuoso con mediciones incorrectas. La sintomatología será similar a la de falta de aislamiento.	Se presenta luz MIL encendida. DTC presente: P0336, P0341, P0346, P0366.
	Conexión intercambiada del sensor	Es una falla común de los sensores inductivos, en el que el conexionado se invierte entre fase 1 y fase 2 lo que ocasiona que no se mida correctamente la señal.	El vehículo no enciende. Se presenta luz MIL encendida. Pérdida de pulso de inyección y control a bobinas. DTC presente: P0336, P0341, P0346, P0366.
Averías mecánicas	Sensor sucio	Es común en sensores expuestos al exterior que se llenen de polvo y suciedad lo que ocasiona fallas en la medición.	Se presenta luz MIL encendida. DTC presente: P0336, P0341, P0346, P0366.
	Rueda fónica con diente roto	Se describe como una falla en la que uno o más dientes de la rueda fónica sufren desperfectos o roturas.	Fallas de encendido. Detonaciones Encendidos a destiempo. DTC presente: P0371, P0372, P0373.
	Motor fuera de tiempo (dientes saltados)	Se refiere a la falla en la que se desfasa la sincronía entre el cigüeñal y el o los árboles de levas.	Fallas de encendido. Detonaciones Encendidos a destiempo o no encendido del motor. DTC presente: P0371, P0372, P0373.
	Mala separación del sensor	Es referente a la falla en la que el sensor se encuentra demasiado alejado de la rueda fónica y no es capaz de captar señales.	Motor no enciende DTC presente: P0374.

2.2.10 Simulación de averías

Para evaluar el funcionamiento de los sensores de posición y su efecto en el desempeño del motor de combustión interna, se realizaron tres pruebas de simulación de averías referentes hacia fallos electrónicos y fallos mecánicos. Las pruebas realizadas se detallan a continuación:

- *Prueba de desconexión:* Mostrado en el apartado anterior, la primera prueba realizada es la del desempeño del motor de combustión interna con la desconexión de los sensores de posición.
- *Prueba de desfase de sincronía:* Mediante el uso del banco de pruebas Jaky47 Op2, se generó una señal de CKP y CMP aleatoria la cual simuló un desfase de sincronía entre los sensores, esta señal se conectó directamente en los cables de medición de la computadora del vehículo para evaluar su comportamiento.

La figura 2.27 representa el uso del banco de pruebas y el conexionado del mismo para la simulación de las señales.



Figura 2.27. Uso de banco de pruebas Jaky47 para simulación de señal CKP y CMP

- *Prueba de pérdida de aislamiento:* Con la finalidad de comprobar el efecto de los campos electromagnéticos y la inducción de voltaje en sensores de posición.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE LOS OSCILOGRAMAS DEL SENSOR DE POSICIÓN DE CIGÜEÑAL.

3.1.1 Análisis de curvas de funcionamiento del sensor CKP inductivo.

Una vez obtenidos los oscilogramas de señal del sensor CKP a diferentes regímenes de giro, se procede al análisis de funcionamiento y discusión de resultados.

-Señal de CKP a ralentí

La figura 3.1 representa el oscilograma de funcionamiento del CKP en régimen de ralentí (850rpm). En primera instancia lo que se observa es la señal típica de un sensor inductivo con rueda fónica de 60 dientes menos 2 perdidos sin entrada flotante. Su amplitud en ralentí es de 13.1 V y presenta una señal oscilante de flanco positivo. El período de la señal oscilante es de 70ms, lo cual representa 857.14rpm según en cálculo a continuación representado.

$$\eta = \frac{60000}{T}$$

donde: η = Régimen de giro del motor en rpm

T= Período de la señal

$$\eta = \frac{60000}{70} = 857.14rpm$$

En base a la imagen, se puede determinar que el oscilograma tiene un comportamiento normal, los picos inductivos de cada diente de la rueda fónica alcanzas la misma amplitud de voltaje, se observa una sola marca diferencial que denomina los dientes perdidos del tipo valle, lo que demuestra que no existen daños en el maquinado de la rueda fónica.

Por otro lado, los niveles de voltaje alcanzados en ralentí demuestran que el bobinado y el campo magnético del sensor CKP se encuentra en buen estado.

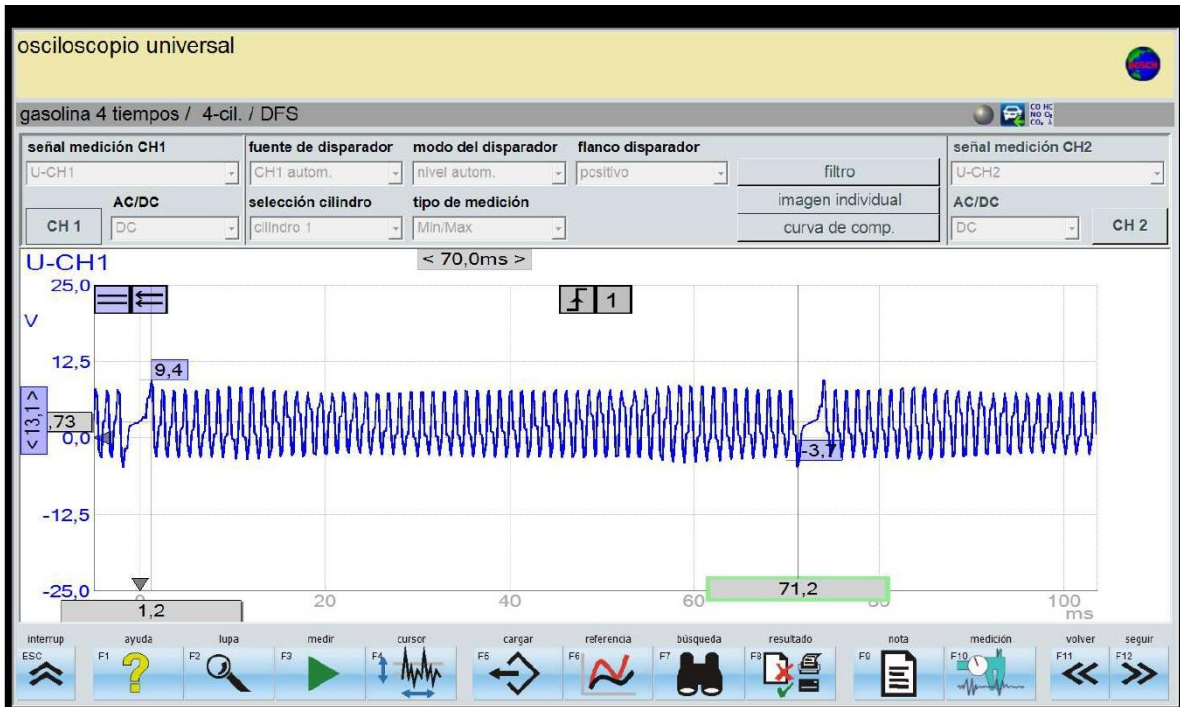


Figura 3.1. Oscilograma de CKP del Volkswagen Jetta en ralentí

-Señal de CKP a 2000rpm

Un comportamiento esperado en la señal del oscilograma del sensor CKP al aumentar el régimen de giro es el incremento de la amplitud de voltaje y la disminución del período al crecer la frecuencia de giro de la rueda fónica, este efecto se observa con claridad en la figura 3.2 que muestra el oscilograma del sensor. Se puede observar que la amplitud a 2000rpm es de 28.9V y el período ha disminuido a 29.5ms. En base a la fórmula anteriormente presentada, se realiza el nuevo cálculo de revoluciones por minuto obteniéndose el valor de 2033.89rpm.

$$\eta = \frac{60000}{29.5} = 2033.89rpm$$

Mediante esta señal y el cálculo se puede inferir que el comportamiento del sensor es normal y acorde a lo esperado. Es importante señalar que el número de dientes no incrementará debido a corresponden a componentes mecánicos del vehículo.

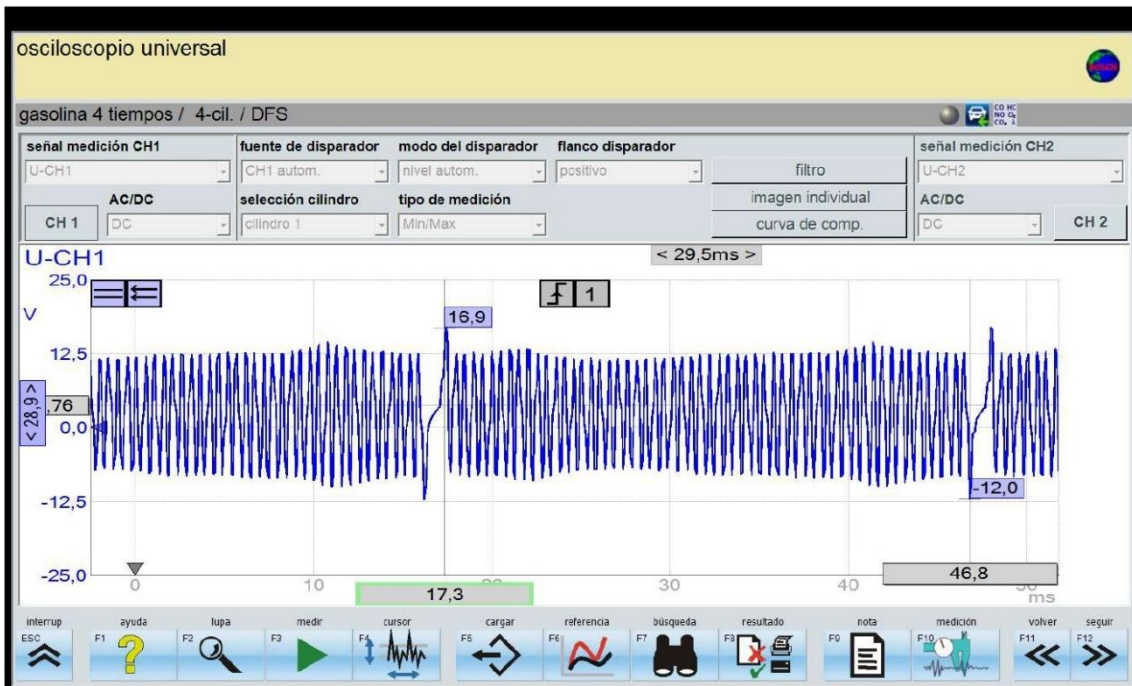


Figura 3.2. Oscilograma de CKP a 2000rpm del Volkswagen Jetta 2008.

-Señal de CKP a 4000rpm

En correlación al oscilograma anterior, se observa que el comportamiento es acorde a lo mencionado, al incrementarse las rpm, se incrementa de igual manera la amplitud de la señal, llegando ser esta de 44V, esta conducta se da debido a que la fuerza electromagnética generada en el sensor es más frecuente y por lo tanto tiene menor tiempo a disminuir el voltaje inducido. Por otro lado, se puede demostrar que la frecuencia aumenta al haber una disminución del período, que para el caso de análisis es de 14.5ms lo que corresponde a 4137,93rpm. La figura 3.3 muestra el comportamiento de este sensor.

$$\eta = \frac{60000}{14.5} = 4137.93rpm$$

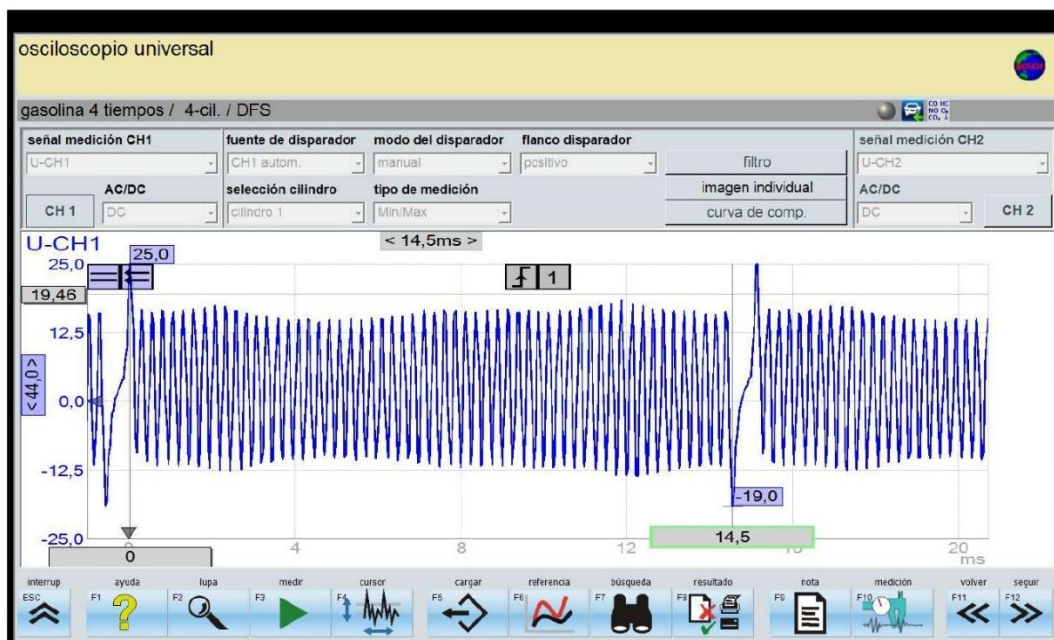


Figura 3.3. Oscilograma del sensor CKP del Volkswagen Jetta a 4000rpm

3.1.2 Análisis de curvas de funcionamiento del CKP de efecto Hall

-Señal de CKP a ralentí

La figura 3.4 representa el oscilograma del sensor CKP del vehículo Hyundai Atos 2008. En principio se observa que es una señal del tipo cuadrada digital oscilante típica del sensor de tipo Hall con una amplitud de 8V. La rueda fónica ligada a la medición del sensor cuenta de 28 dientes completos y 2 dientes perdidos que generan una señal diferenciada para la detección del punto muerto superior. En la imagen se observa un período de 71.4ms lo que corresponde a 840.33rpm, régimen de ralentí.

$$\eta = \frac{60000}{71.4} = 840.33rpm$$

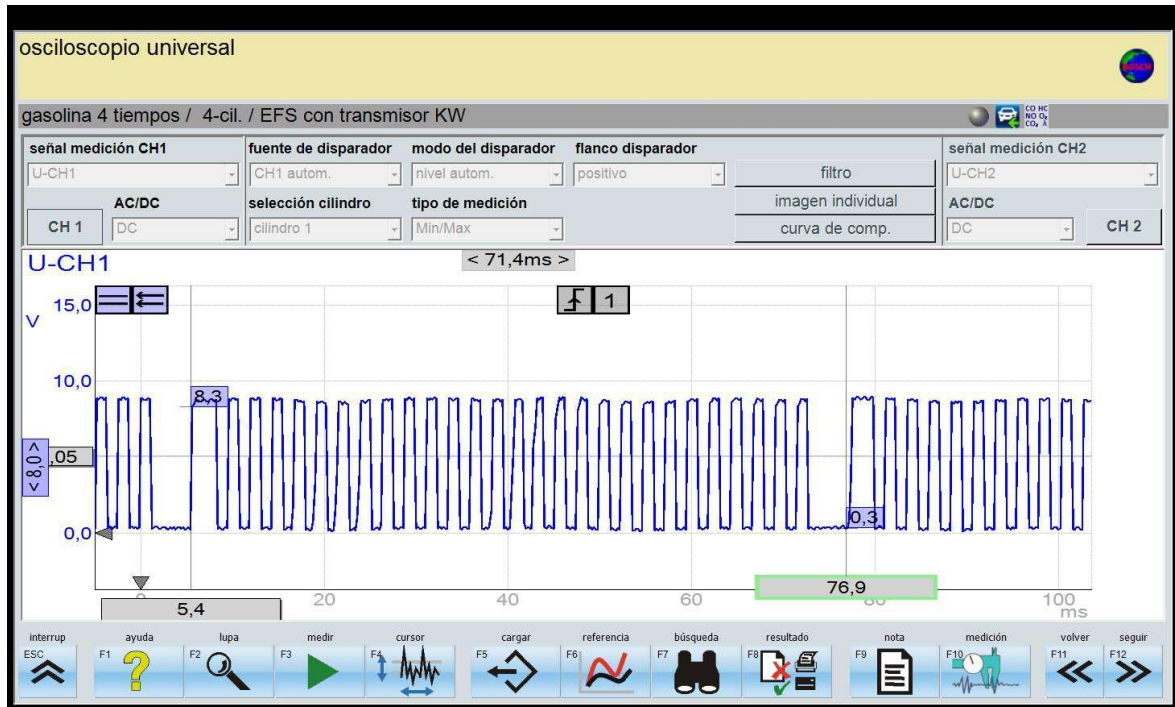


Figura 3.4. Oscilograma del CKP del Hyundai Atos en ralentí

-Señal de CKP a 2000rpm

Para el régimen de 2000rpm la primera observación es que, a diferencia del sensor inductivo, la amplitud del sensor hall no se ve afectada por el incremento de la velocidad de giro, lo que no sucede con la frecuencia la cual aumenta lógicamente con la ampliación del régimen. Esto se observa principalmente en la disminución del período de la señal, la cual ahora tiene un valor de 25.3 ms correspondientes a 2371.54rpm. La figura 3.5 contiene la señal de CKP a 2000rpm.

$$\eta = \frac{60000}{25.3} = 2371.54rpm$$

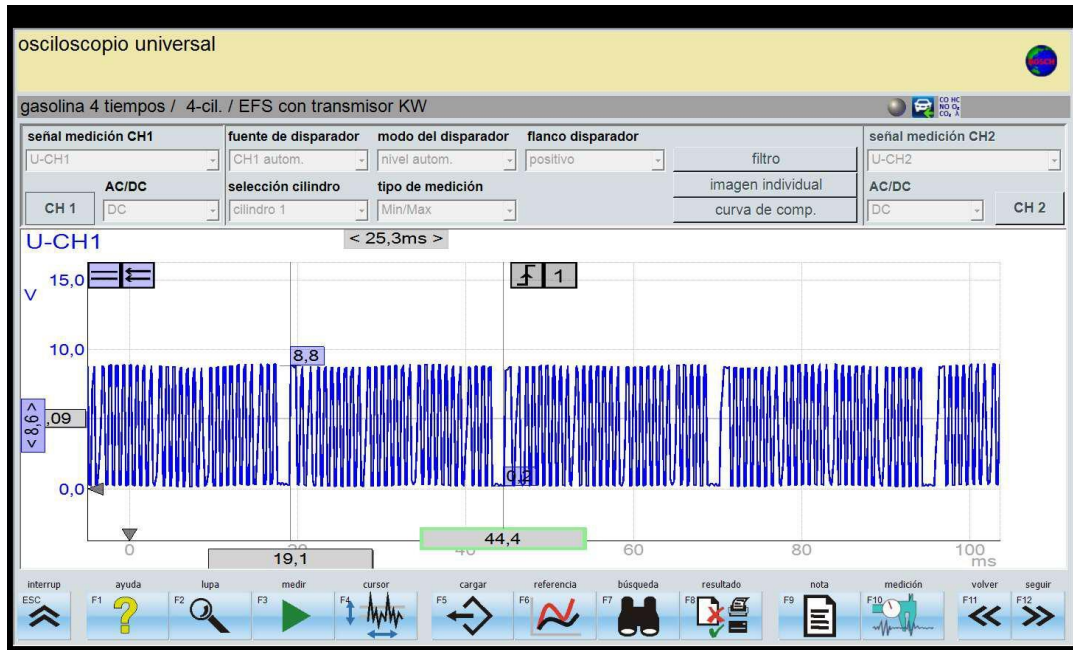


Figura 3.5. Oscilograma de CKP del Hyundai Atos a 2000rpm

-Señal de CKP a 4000rpm

En la figura 3.6 se observa el oscilograma correspondiente al sensor CKP del Hyundai Atos a un régimen de 4000rpm. La principal característica es la disminución del período debido al incremento de la frecuencia de giro de la rueda fónica, además de que, como se señaló en el punto anterior, la amplitud no tiene variación. Para este caso, se obtiene un período de 14.2ms que concierne a un régimen de 4225.35rpm.

$$\eta = \frac{60000}{25.3} = 2371.54rpm$$

En base a lo descrito en este análisis y al comportamiento de las señales a diferentes regímenes (incremento de frecuencia y conservación de amplitud de voltaje), se puede inferir que el sensor CKP emite una señal correcta y su funcionamiento está dentro de los parámetros normales. Además, visualmente se puede observar que en todos los regímenes, la gráfica no sufre variación lo que representa que el estado mecánico de la rueda fónica es correcto.

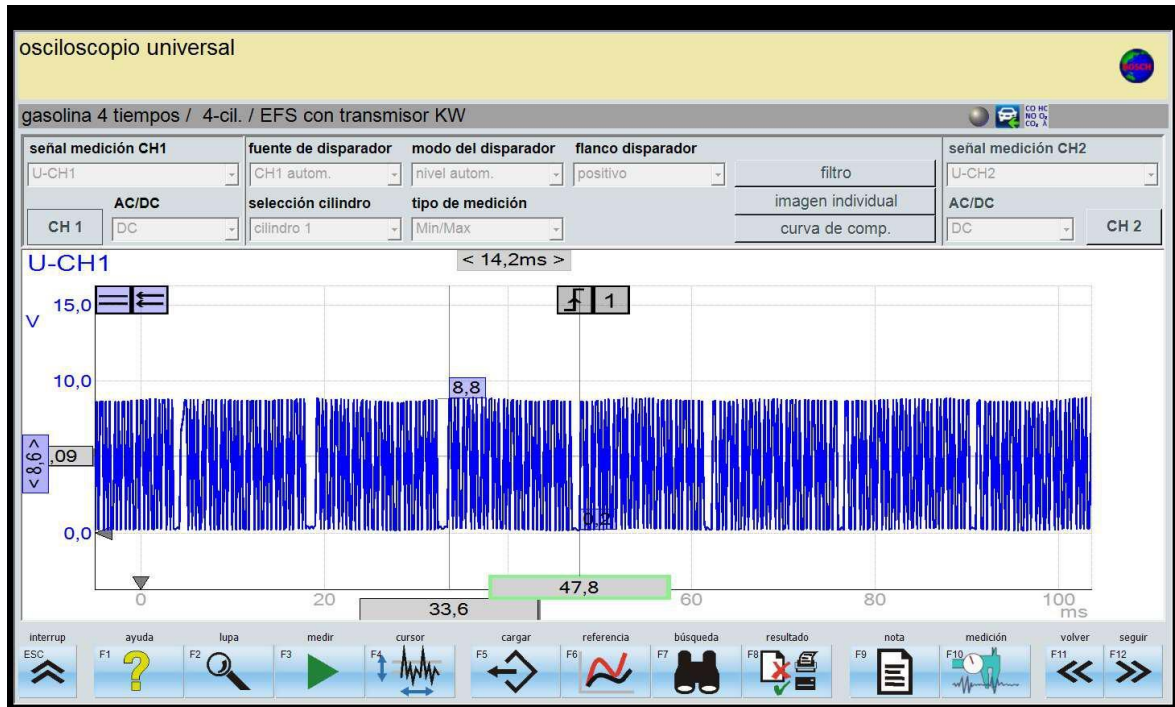


Figura 3.6. Oscilograma del sensor CKP del Hyundai Atos a 4000rpm.

3.1.3 Análisis de curvas de funcionamiento del CKP de efecto Hall

-Señal de CKP a ralentí

Para el vehículo Chevrolet Cruze, se observa un oscilograma con señales digitales de tipo cuadrada (figura 3.7) que se relacionan correctamente con el sensor de tipo hall que posee este vehículo. La principal diferencia con el vehículo anteriormente analizado es que este sensor emite una señal entre 0 y 5V, una connotación importante es que existen pequeñas variaciones en la amplitud de la señal que no deben ser consideradas debido a que es un comportamiento típico del sensor a bajos voltajes.

En base a la rueda fónica, se puede inferir que posee 60 dientes menos 2 perdidos del tipo valle, para el régimen de ralentí se observa un período de 76.4ms que corresponde a 785.34rpm.

$$\eta = \frac{60000}{76.4} = 785.34rpm$$

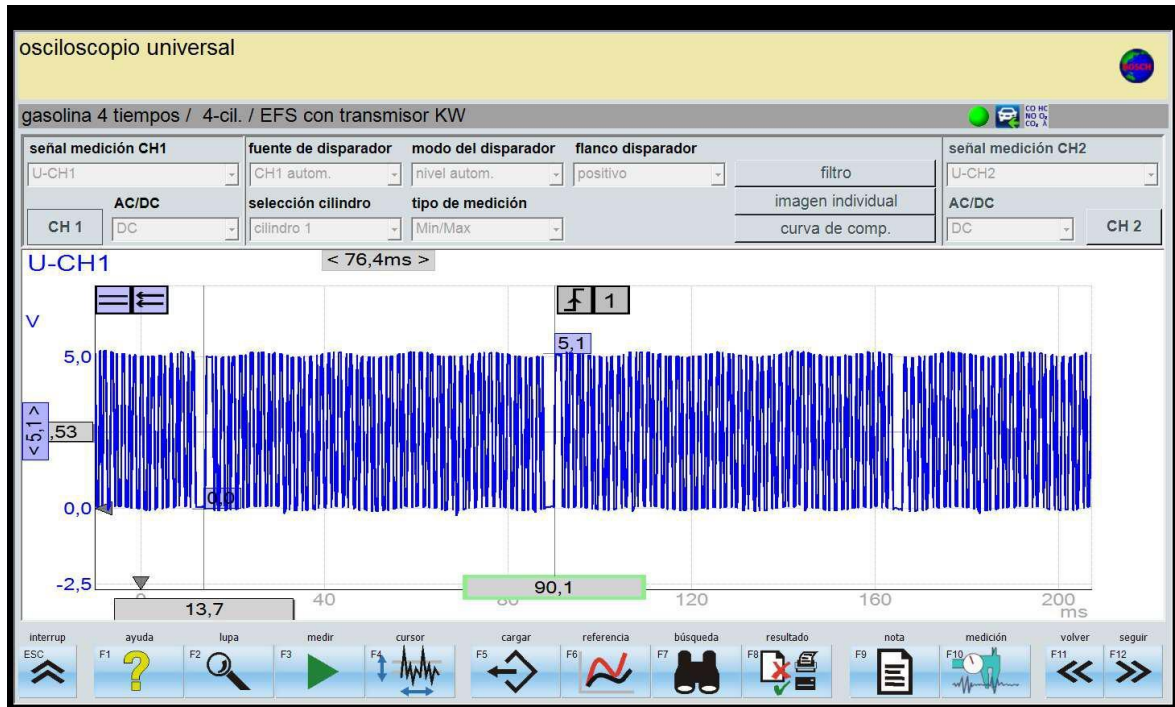


Figura 3.7. Oscilograma de CKP del Chevrolet Cruze en ralentí

-Señal de CKP a 2000rpm

A 2000 rpm se puede observar el incremento de la frecuencia de las señales con un período de 31.6ms correspondientes a 1898.73 rpm. La amplitud de la señal se mantiene constante en 5V debido al comportamiento habitual de las señales digitales. La figura 3.8 evidencia el oscilograma de esta señal.

$$\eta = \frac{60000}{31.6} = 1898.73rpm$$

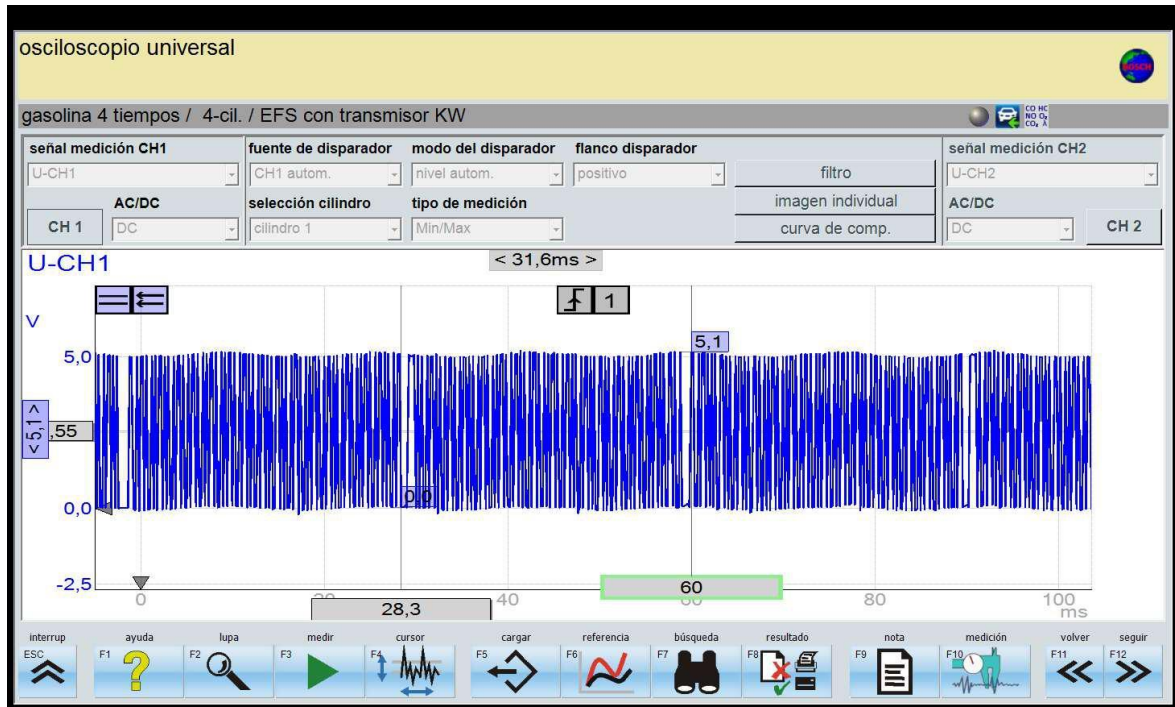


Figura 3.8. Oscilograma de CKP del Chevrolet Cruze a 2000rpm

-Señal de CKP a 4000rpm

Consecuentemente a los anteriores análisis se puede observar en la figura 3.9 que el comportamiento de la señal emitida por el sensor hall es consecuente, a 4000rpm se disminuye aún más el período llegando a 15.2ms, lo que según la fórmula de cálculo de rpm corresponde a 3947.37rpm.

$$\eta = \frac{60000}{15.2} = 3974.37rpm$$

En base a esto se puede determinar que el sensor trabaja de una manera normal, mantiene su voltaje de señal y modifica la frecuencia a medida que incrementa o disminuye el régimen. El componente mecánico del sensado (rueda fónica) se encuentra en buen estado debido a que la señal no sufre variaciones geométricas durante su funcionamiento.

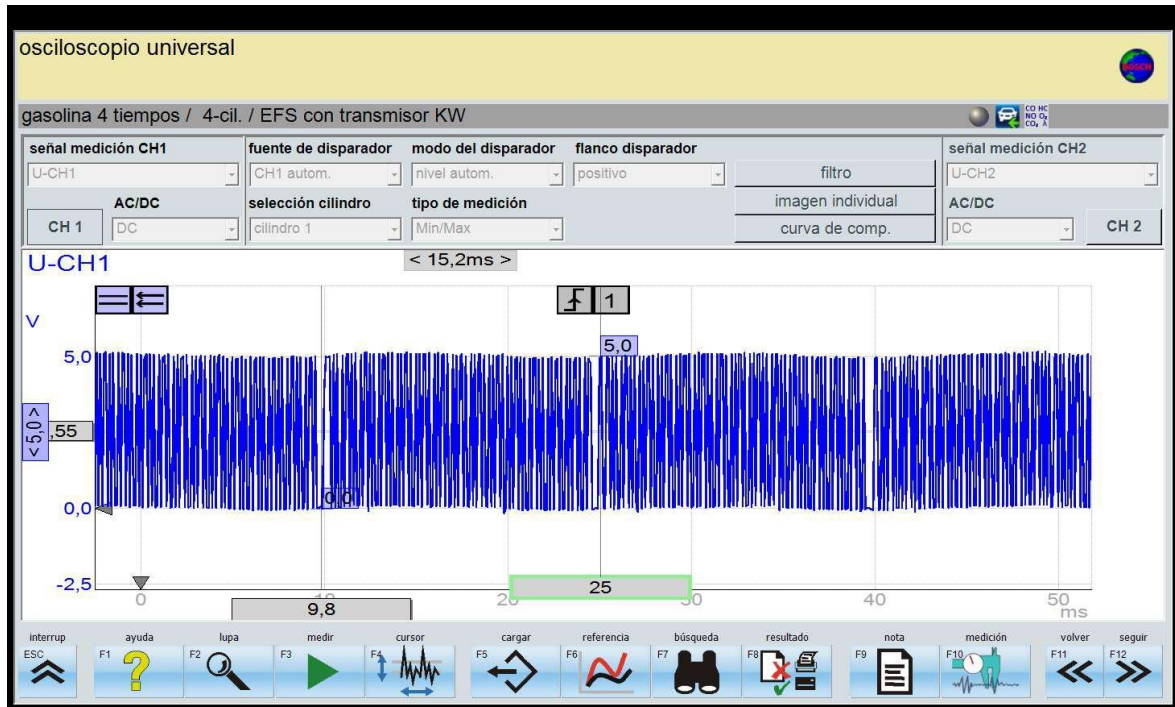


Figura 3.9. Oscilograma de CKP del Chevrolet Cruze a 4000rpm

3.2 ANÁLISIS DE LOS OSCIOGRAMAS DEL SENSOR DE POSICIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS.

3.2.1 Análisis de curvas de funcionamiento del CMP de efecto Hall

En este apartado se realiza el análisis de los oscilogramas del CMP del vehículo Volkswagen Jetta 2008.

-Señal de CMP en ralentí

Para el caso del vehículo Jetta, el sensor CMP es del tipo efecto hall, por lo que la figura 3.10 muestra una señal del tipo cuadrada digital con una amplitud de 12V. Se puede observar que la forma de onda es alternativa entre dos señales de un período menor y dos de un período mayor, esto se da debido a la forma en la que está construida la rueda fónica del árbol de levas.

El período total de la señal es de 153.4ms, lo que corresponde a 710rpm según el cálculo de rpm para el árbol de levas; es importante considerar que la fórmula ajusta las rpm debido a que dos vueltas del cigüeñal corresponden a una vuelta del árbol de levas.

La fórmula del cálculo de revoluciones por minuto para el CMP en este caso quedaría de la siguiente manera:

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{T} \right)$$

donde: η = Régimen de giro del motor en rpm

T= Período de la señal

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{153.4} \right) = 782.27rpm$$

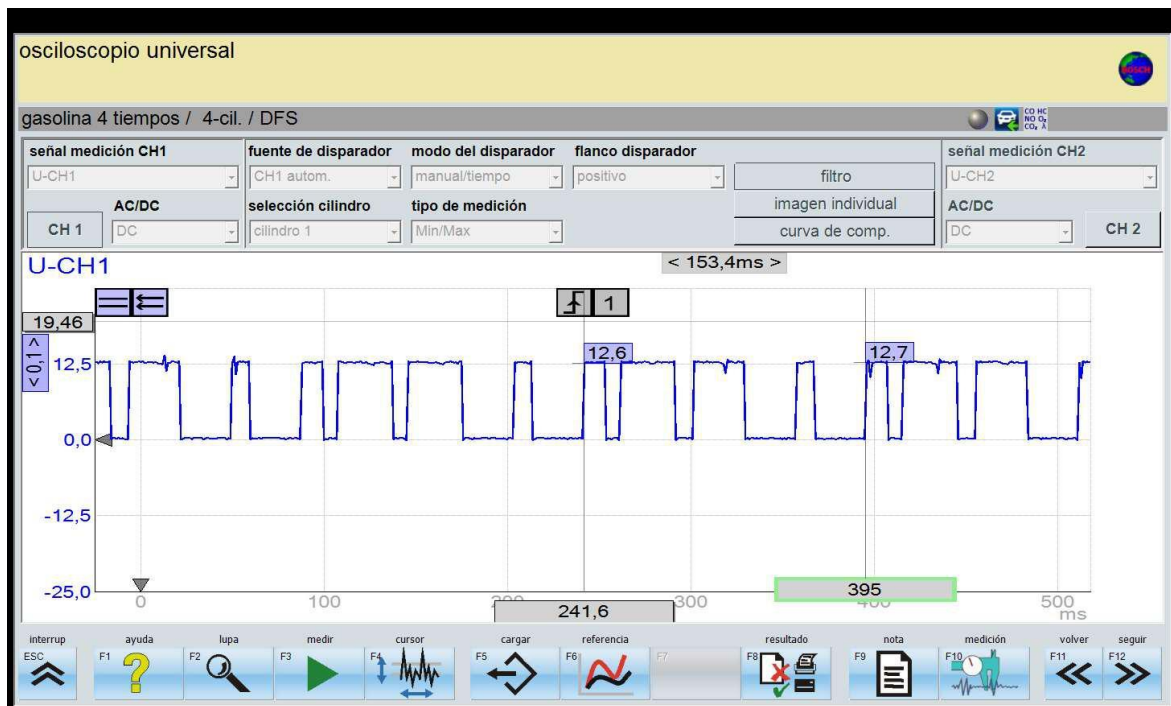


Figura 3.10. Oscilograma de CMP del Volkswagen Jetta en ralentí

-Señal CMP a 2000 rpm.

Con la variación del régimen de giro, se observa un comportamiento esperado el cual es la disminución del período de la señal debido al incremento de la frecuencia, además de que la amplitud y la forma de onda se mantiene constante. Para este régimen, se obtiene un período

de 59.9ms que corresponde a 2003.34rpm. La figura 3.11 presenta el oscilograma de esta señal.

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{59.9} \right) = 2003.34rpm$$

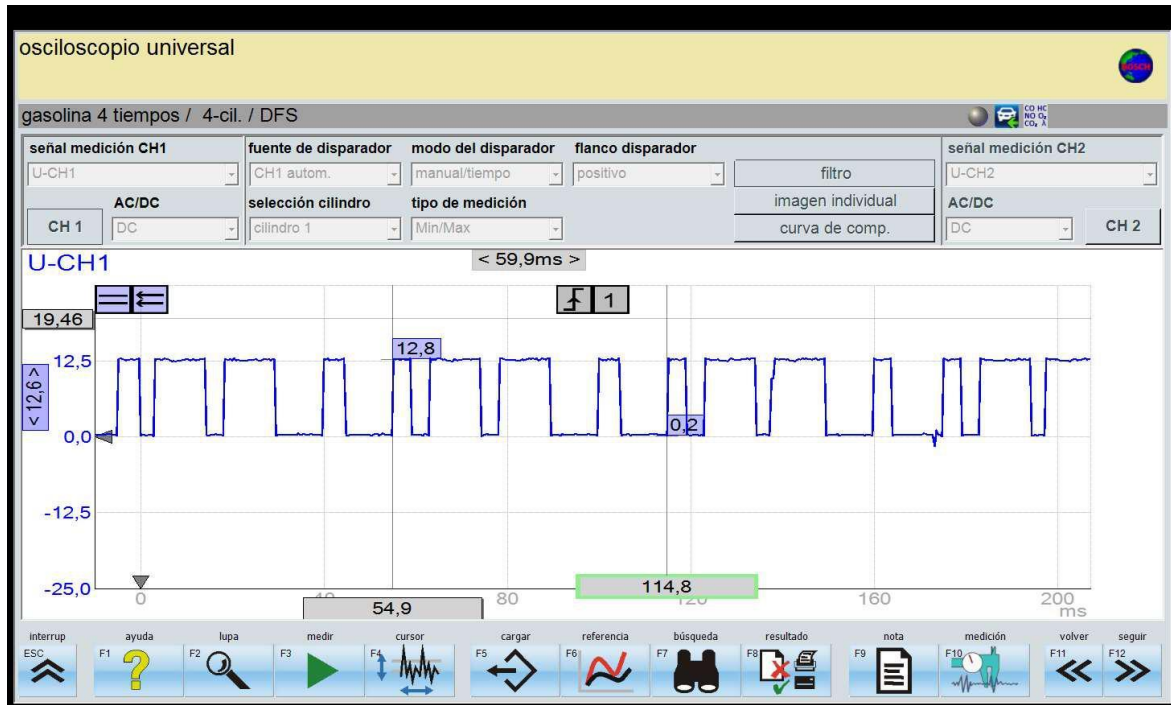


Figura 3.11. Oscilograma de CMP del Volkswagen Jetta a 2000rpm

-Señal CMP a 4000 rpm.

La figura 3.12 demuestra que el comportamiento anterior se mantiene en 4000rpm, se incrementa la frecuencia de la señal obteniéndose ahora un período de 30.7ms correspondientes a 3908.79rpm, la señal de voltaje se mantiene entre 0 y 12.6V, mientras la forma de onda no ha cambiado.

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{30.7} \right) = 3908.79rpm$$

En base a este comportamiento, se puede deducir que la señal y funcionamiento del CMP es correcto en todo régimen de giro del motor.

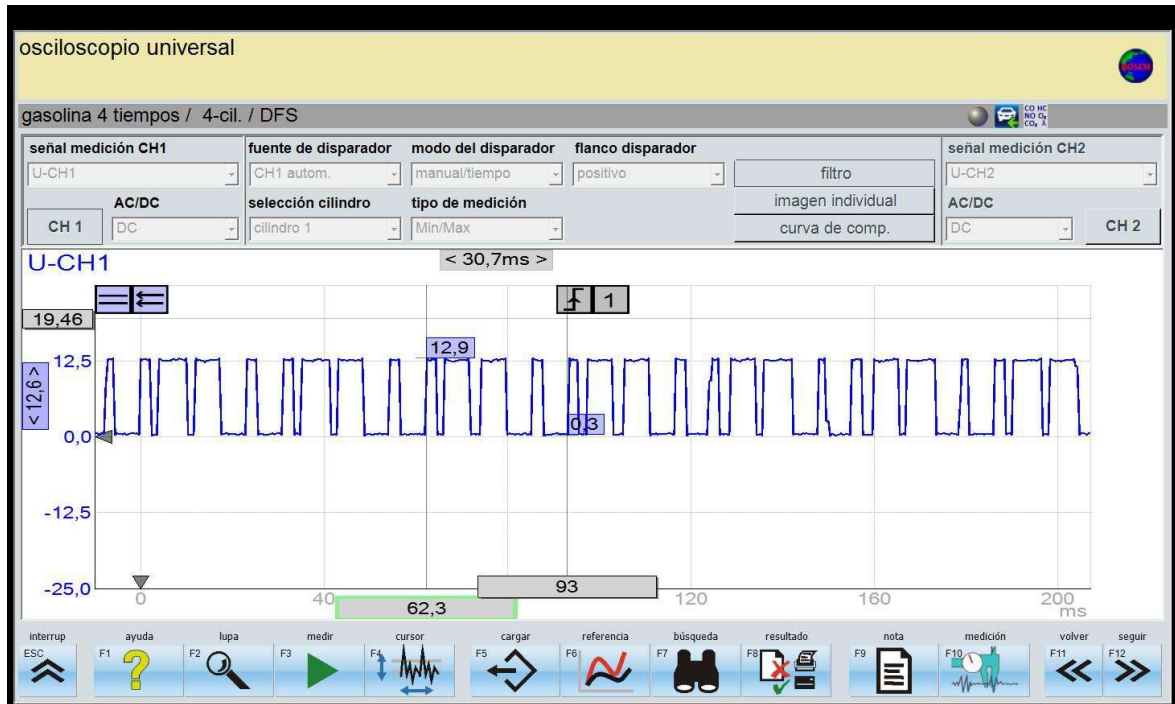


Figura 3.12. Oscilograma de CMP del Volkswagen Jetta a 4000rpm

3.2.2 Análisis de curvas de funcionamiento del CMP de efecto Hall

-Señal de CMP en ralentí

Para el caso del Hyundai Atos 2008, se debe considerar que la señal de CMP es de referencia de velocidad de giro del árbol de levas mas no de posición de este, es por esto que para este vehículo se tiene la peculiaridad de que la señal es totalmente uniforme en todo su segmento, lo que significa que la rueda fónica no tiene dientes perdidos ni diferenciados.

En la figura 3.13 se puede observar el diagrama de la señal del sensor CMP que representa una señal del tipo cuadrada típica de los sensores efecto hall con amplitud de 12V. En análisis posteriores se observará que la señal no contiene puntos diferenciados en todo su funcionamiento.

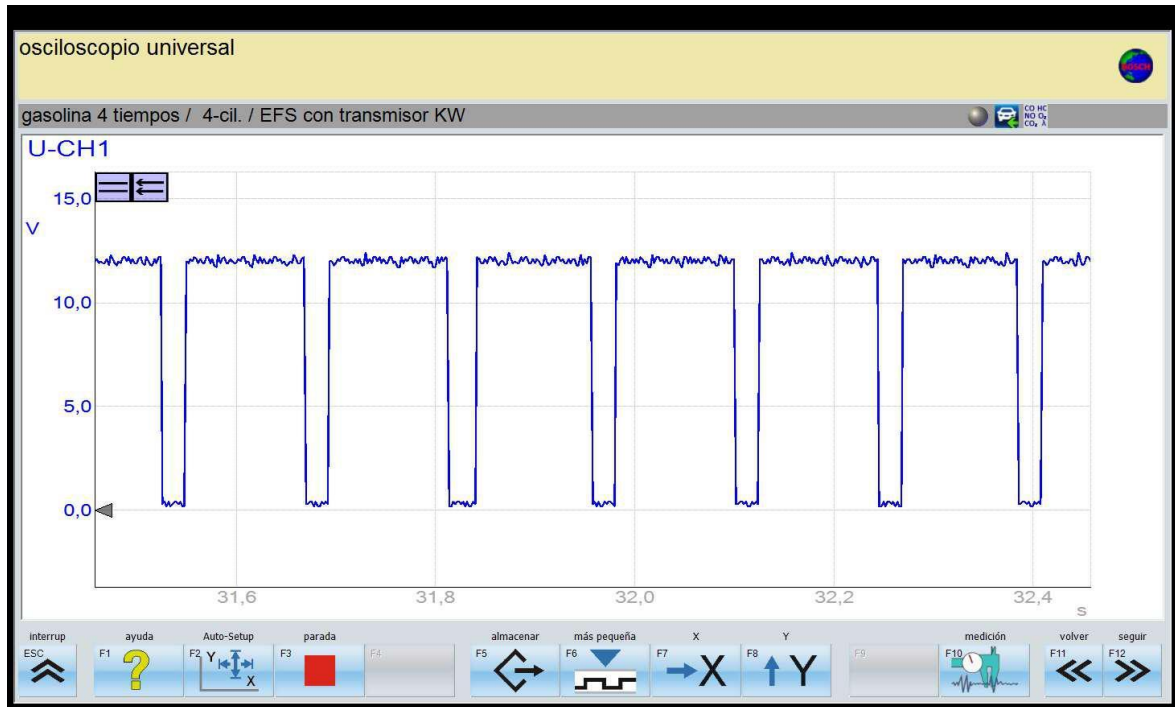


Figura 3.13. Oscilograma de CMP del Hyundai Atos en ralentí.

-Señal de CMP a 2000rpm

Al incrementar el régimen de giro, la señal emitida por el sensor CMP mantiene su comportamiento, siendo una señal digital de 12V sin marca diferenciada. El incremento de frecuencia es notable debido al incremento de revoluciones por minuto. La figura 3.14 muestra esta señal.

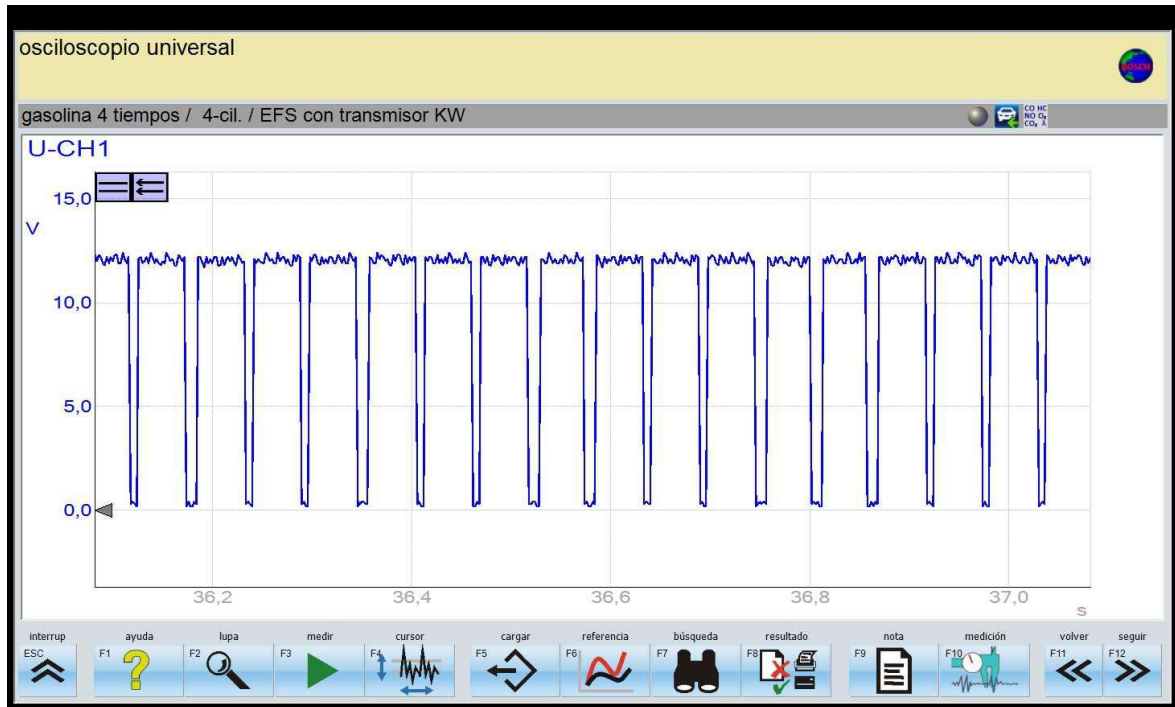


Figura 3.14. Oscilograma de CMP del Hyundai Atos a 2000rpm

-Señal de CMP a 4000rpm

Finalmente, como se observa en la figura 3.15, en el régimen de 4000rpm el comportamiento del sensor CMP del vehículo Hyundai Atos es el mismo, se puede ver la señal de tipo digital cuadrada del sensor hall y se evidencia con mayor claridad que no existe diente perdido en la señal.

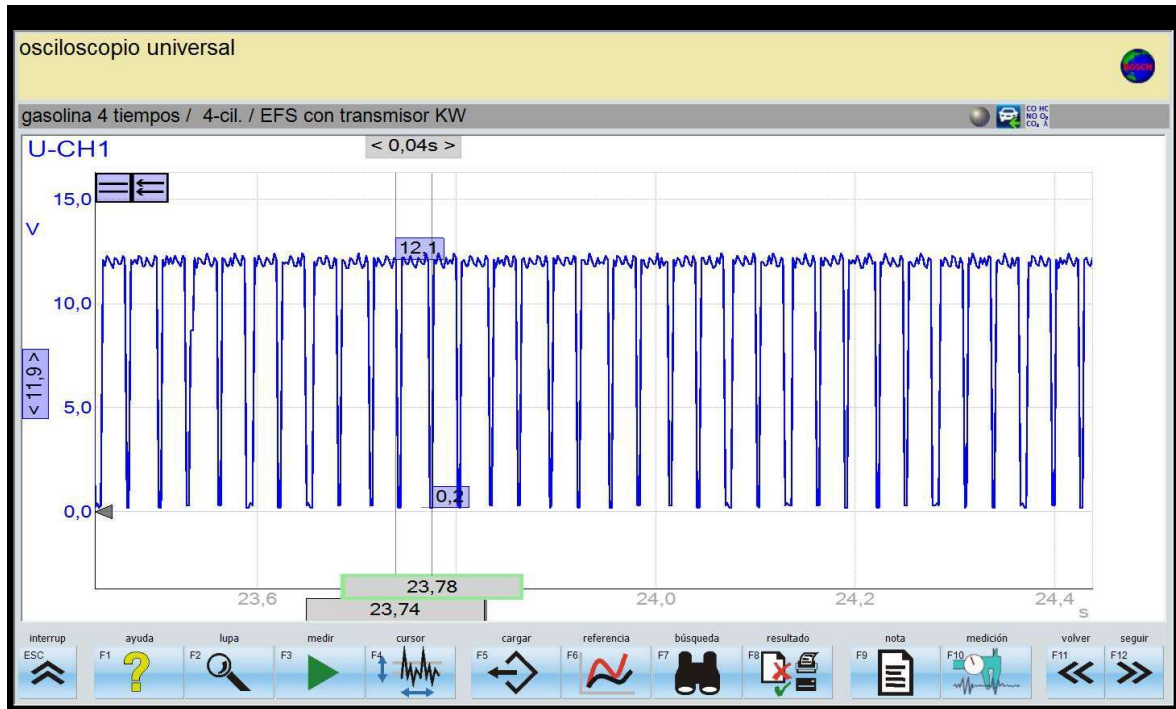


Figura 3.15. Oscilograma de CMP a 4000rpm del Hyundai Atos

3.2.3 Análisis de curvas de funcionamiento del CMP de efecto Hall

El vehículo Chevrolet Cruze 2012 presenta una característica peculiar que para la medición de posición de los árboles de levas dispone de dos sensores, uno para admisión y uno para escape. En este apartado se analizará el funcionamiento de cada uno de ellos.

-Sensores CMP en ralentí

Para el análisis de los sensores CMP en ralentí, se observa que la señal del sensor del árbol de levas de admisión y del de escape son iguales en forma y amplitud, los dos generan señales de tipo cuadrada con una amplitud de 4.6V. La forma de onda corresponde a una señal oscilante alternativa de dos pulsos cuadrados de período menor y dos de período mayor, esto debido a la forma de la rueda fónica.

El período de la señal del CMP de admisión (figura 3.16) es de 157.9ms que corresponde a 759.97rpm.

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{157.9} \right) = 759.97rpm$$

Para el sensor CMP de escape (figura 3.17) se tiene un período de 153.7ms que resulta 780.74rpm. Esta variación se da por la diferencia de tiempo en la medición de cada uno de los sensores.

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{153.7} \right) = 780.74rpm$$

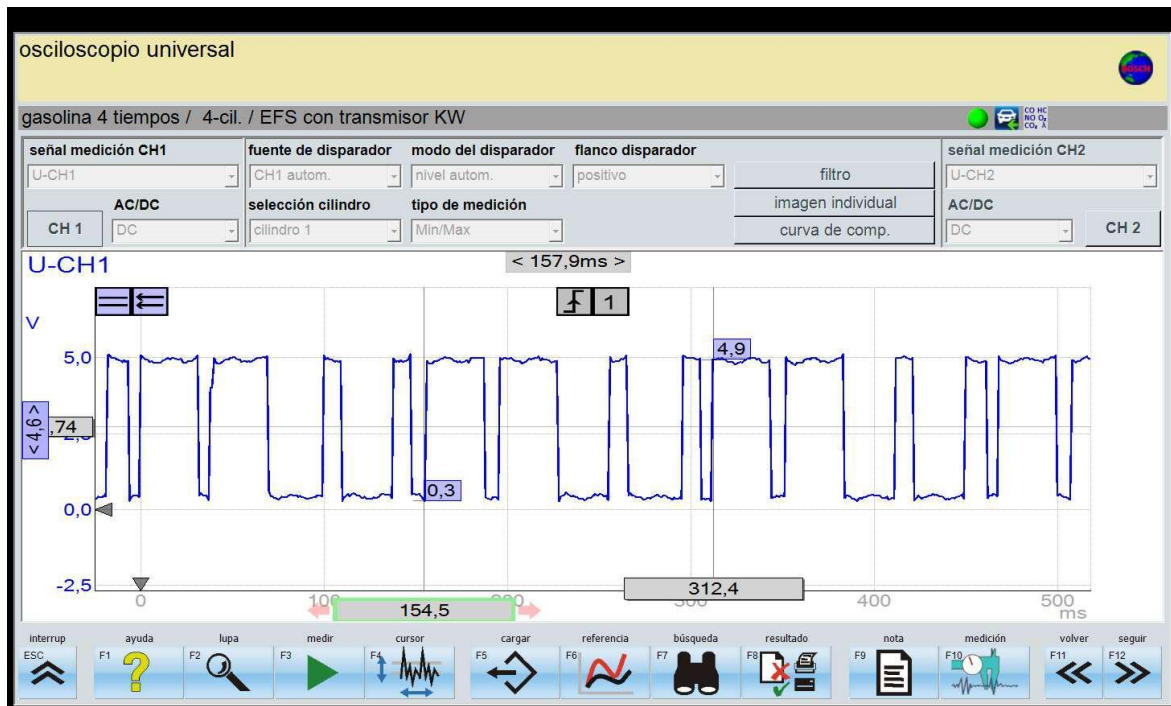


Figura 3.16. Oscilograma de CMP de admisión para el Chevrolet Cruze en ralentí

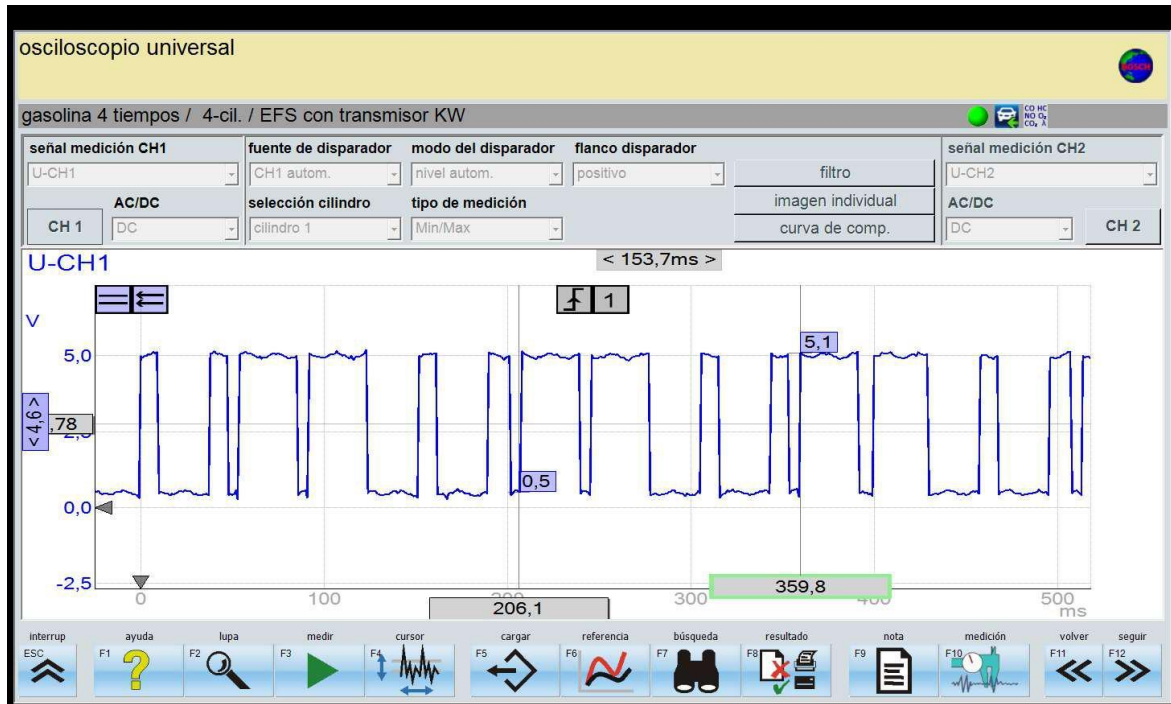


Figura 3.17. Oscilograma de CMP de escape para el Chevrolet Cruze en ralentí

-Señal CMP a 2000rpm

Al incrementar el régimen de giro del motor, se observa el comportamiento típico de los sensores efecto hall analizado de igual maneras en los anteriores vehículos. Como se espera, la amplitud del voltaje no varía al incrementarse las revoluciones por minuto, tampoco la forma de onda debido a que pertenece al componente mecánico del eje de levas, sin embargo, la frecuencia si aumenta.

La figura 3.18 muestra el oscilograma del sensor CMP de admisión el cual tiene un período de 73.5ms que corresponden a 1632.65rpm.

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{73.5} \right) = 1632.65rpm$$

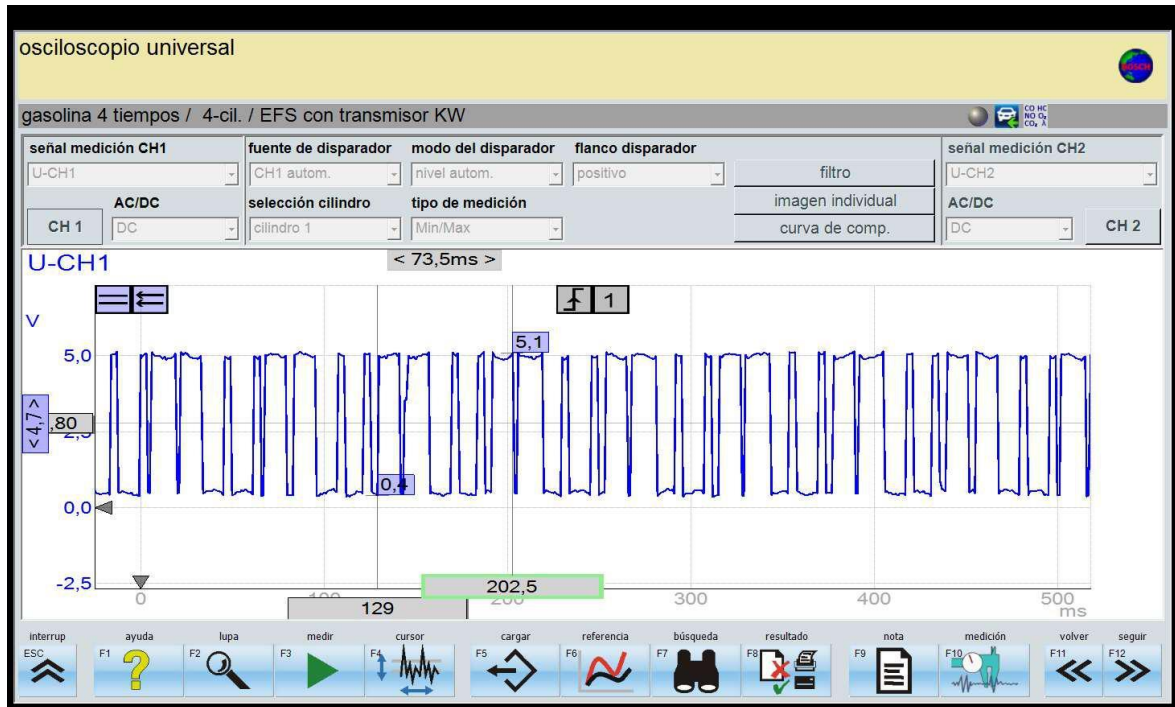


Figura 3.18. Oscilograma de CMP de admisión del Chevrolet Cruze a 2000rpm.

Por otro lado, la figura 3.19 representa el oscilograma del sensor CMP de escape, el cual tiene exactamente la misma forma de onda, pero a diferente frecuencia. Para este caso se obtiene un período de 61.6ms que conforman 1948.05rpm.

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{61.6} \right) = 1948.05rpm$$

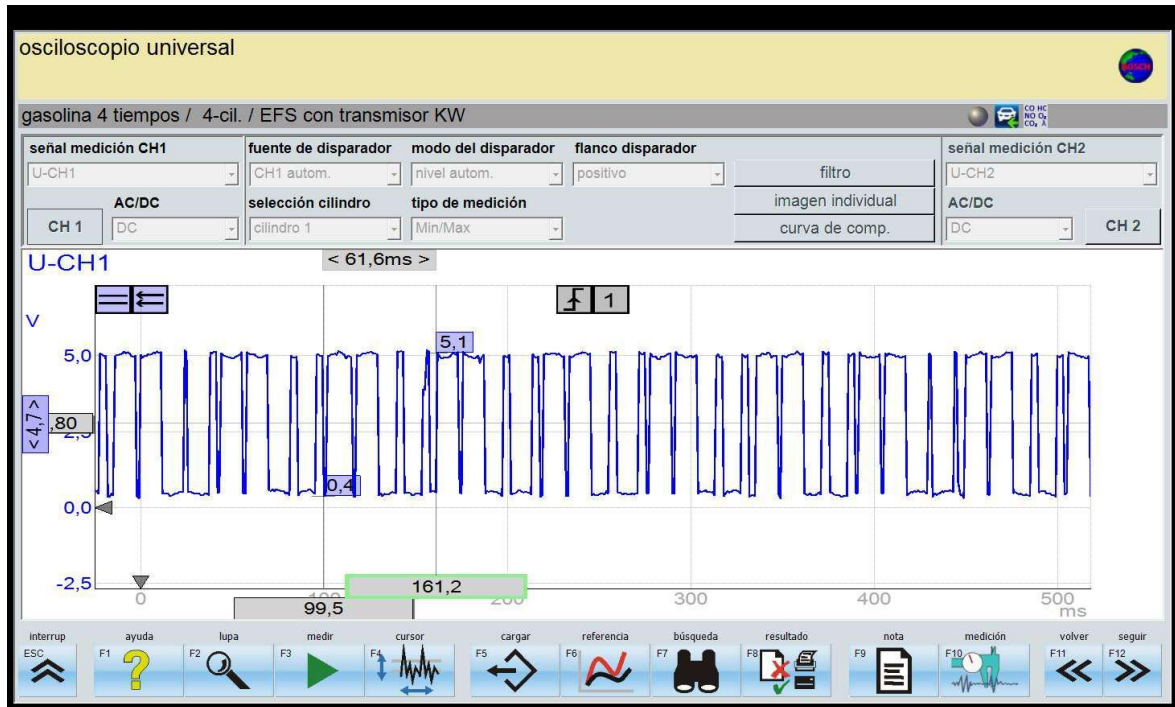


Figura 3.19. Oscilograma de CMP de escape del Chevrolet Cruze a 2000rpm.

-Señal CMP a 4000rpm

A 4000rpm se observa el comportamiento esperado de incremento de frecuencia de señal. Esto permite concluir que los sensores CMP se encuentran en buen estado debido a que envían correctamente la señal y detectan de manera eficiente la variación del régimen de giro.

Para la figura 3.20 que corresponde al sensor CMP de admisión se obtiene un período de 32.5ms que resultan en 3692.31rpm.

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{32.5} \right) = 3692.31rpm$$

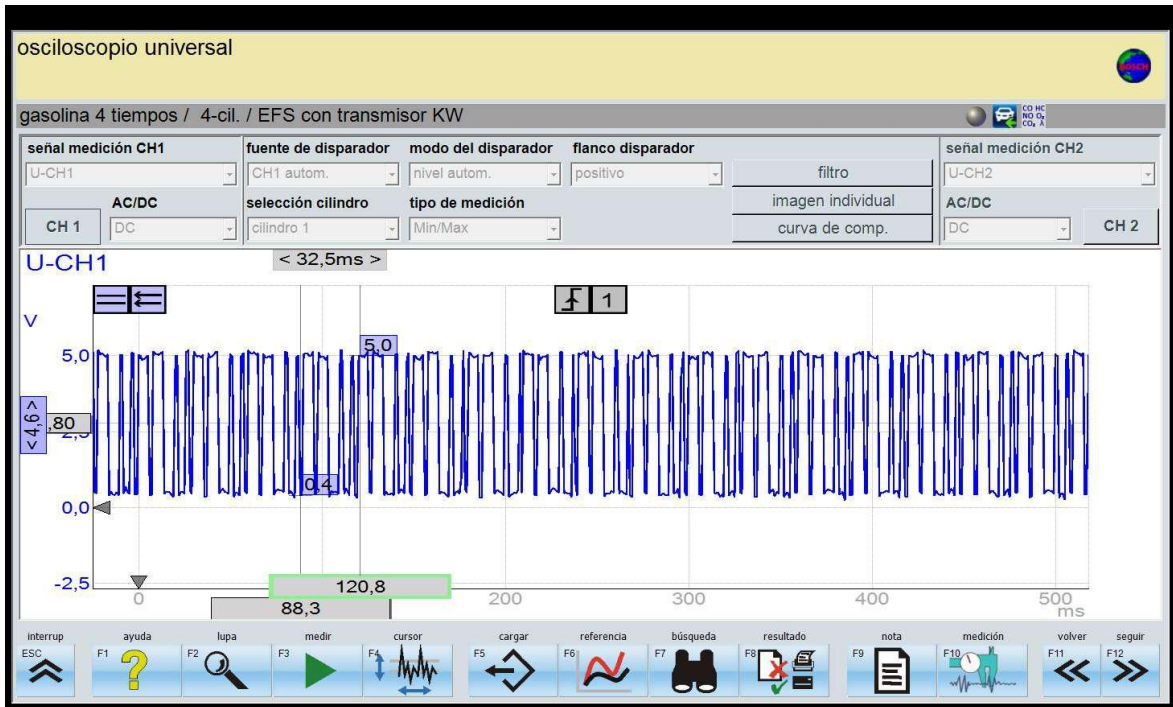


Figura 3.20. Oscilograma CMP de admisión del Chevrolet Cruze a 4000rpm

En la figura 3.21 se puede observar la señal del CMP de escape a 4000rpm el cual mantiene una forma de onda similar a la de admisión, con la diferencia de la frecuencia. El período de esta onda es de 31.9ms o 3761.76rpm.

$$\eta = 2 \left(\frac{60000}{31.9} \right) = 3761.76rpm$$

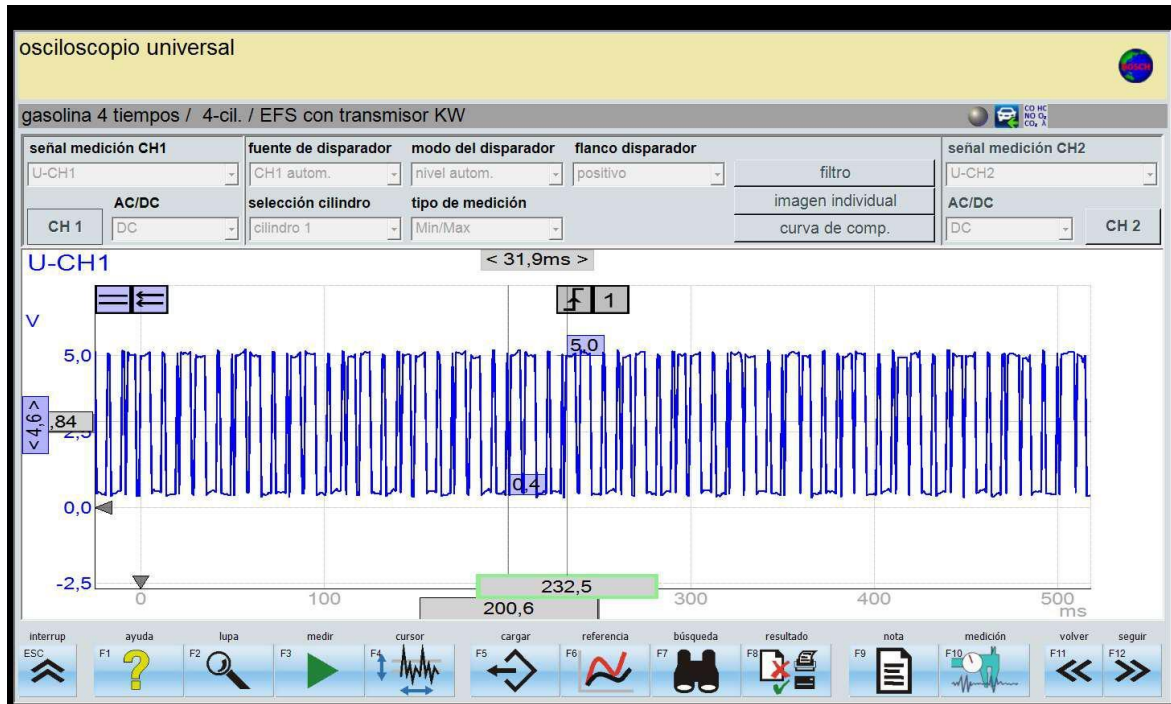


Figura 3.21. Oscilograma de CMP de escape del Chevrolet Cruze a 4000rpm.

En referencia a los resultados presentados en esta sección, se puede inferir las siguientes aseveraciones:

- El tipo de sensor de posición influye en los valores de medición y el objetivo de diagnóstico, por ejemplo; en un sensor del tipo inductivo, se debe observar la amplitud de voltaje la cual debe variar al incrementarse o disminuirse las revoluciones por minuto del motor, pero, en sensores de efecto hall la amplitud es irrelevante a distintos regímenes de giro.
- Para todo tipo de sensor, la frecuencia juega un papel preponderante en el diagnóstico, esta debe variar en relación con las revoluciones de giro del motor.
- Cuando ocurre un cambio de tensión en la alimentación, normalmente no afecta considerablemente el voltaje se señal generado, esto debido al circuito de filtrado de voltaje que contiene la unidad de control electrónico; sin embargo, los sensores cuyo voltaje provenga de fuentes directas (switch de encendido, relés, etc) si tendrán variación en el voltaje de señal.

- Otro punto para considerar en el diagnóstico es la forma de la onda, debido a que debe existir un punto de inflexión con una señal diferente que demuestre la presencia del diente perdido en la rueda fónica del captador.

3.3 ANÁLISIS DE SINCRONÍA ENTRE SEÑALES DE SENSORES DE POSICIÓN

Uno de los puntos clave del diagnóstico con sensores de posición es la determinación de sincronía entre ellos. Con la señal del CMP y CKP se puede determinar si la puesta a punto de la sincronización de la distribución del cigüeñal y el árbol de levas es correcta, de una manera rápida y evitando desarmar componentes del motor.

Para efectuar este proceso, se obtiene un oscilograma conjunto de CKP y CMP y se compara las posiciones y coincidencias de puntos clave con una imagen de referencia; para cada vehículo de estudio se realiza este proceso obteniéndose los siguientes resultados.

3.3.1 Análisis de sincronía del Volkswagen Jetta 2008

La figura 3.22 representa el oscilograma de CKP vs CMP de referencia del vehículo Volkswagen Jetta con motor 2.0 serie CBP. En la imagen se observan dos puntos notables definidos como el punto A y el punto B. Para el caso del punto A, se observa que el flanco de subida de uno de los dientes del sensor CMP coincide exactamente con el onceavo diente de la rueda fónica del sensor CKP, para el punto B se puede distinguir que el flanco de bajada del diente de la rueda del CMP coincide veinteavo diente de la rueda del CKP.

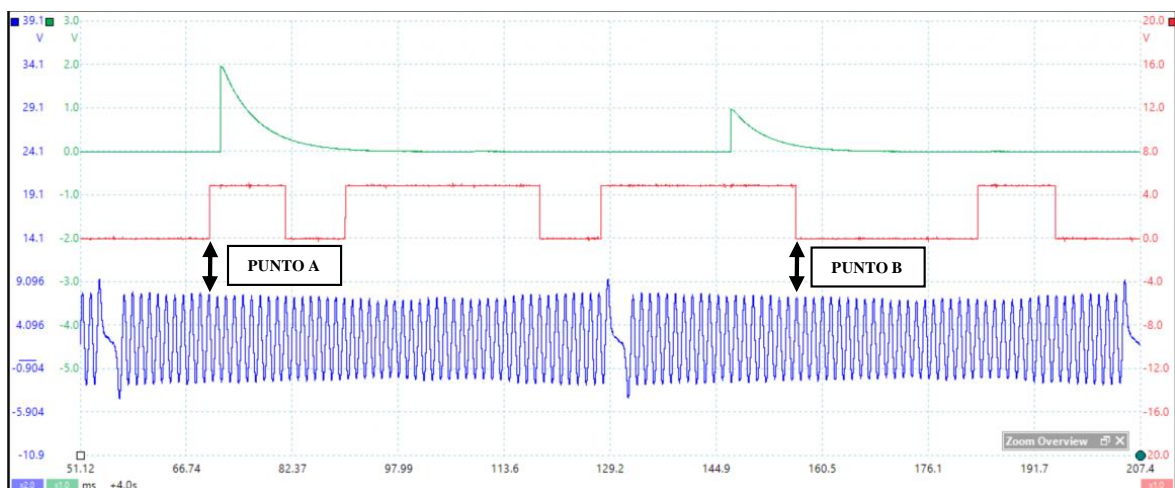


Figura 3.22. Oscilograma de referencia de sincronía de CMP y CKP del Volkswagen Jetta.

En el oscilograma de sincronía obtenido del vehículo de estudio, se identificaron estos puntos para compararlos con la imagen de referencia. En el punto A, el flanco de subida de la señal de CMP coincide con el décimo pico inductivo de la rueda del CKP y en el punto B el flanco de baja de la señal del CMP coincide con el décimo noveno diente de la señal del CKP. Mediante esto se pudo observar que el vehículo tiene un desfase de 1 diente en la sincronía lo que se puede inferir que tiene un problema de puesta a punto de la sincronización de la distribución.

La figura 3.23 representa esta información.

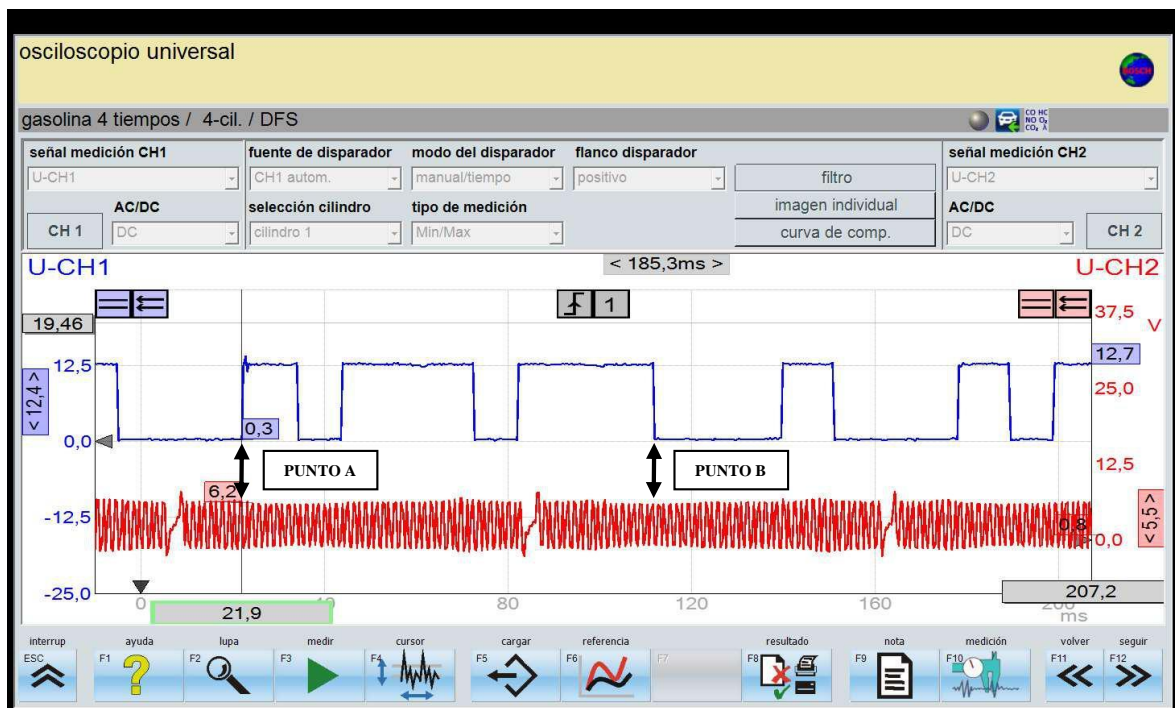


Figura 3.23. Oscilograma de sincronía de CMP y CKP del Volkswagen Jetta.

(Rotkee, 2019)

3.3.2 Análisis de sincronía del Hyundai Atos 2008

De igual manera que con el vehículo anterior, en este se utiliza una imagen de referencia para la comparación y detección de error de sincronía. La figura 3.24 representa una imagen de referencia de una sincronía en buen estado para el Hyundai Atos con motor 1.1lt serie G4HG; en esta imagen se resalta el punto A que corresponde al punto de sincronía entre el flanco de bajada de la señal de CMP y que coincide con el inicio de la marca del diente

perdido de la señal del CKP. Además, en el punto B, el flanco de subida de la señal del CMP coincide con el octavo diente de la rueda fónica del CKP.

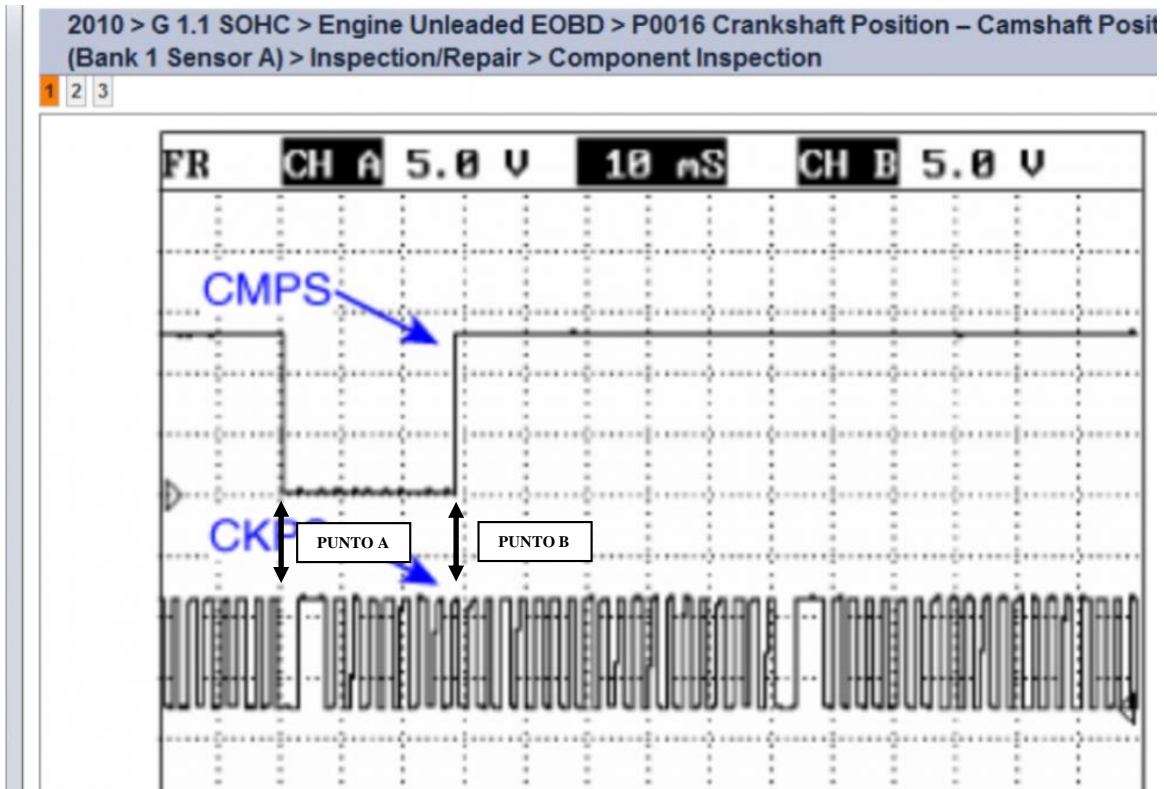


Figura 3.24. Oscilograma de referencia de sincronía entre CMP y CKP del Hyundai Atos

(Rotkee, 2019)

Comparando con el oscilograma de sincronía del vehículo de estudio presentado en la figura 3.25, al comparar con la gráfica de referencia mostrada en la figura 3.24 se observa que el punto A coincide exactamente en el inicio de la señal del diente perdido de la rueda fónica del CKP y el punto B de la señal del CMP coincide con el octavo diente representado en la señal del CKP, por lo tanto se puede concluir que en este vehículo la sincronización de la distribución es correcta.

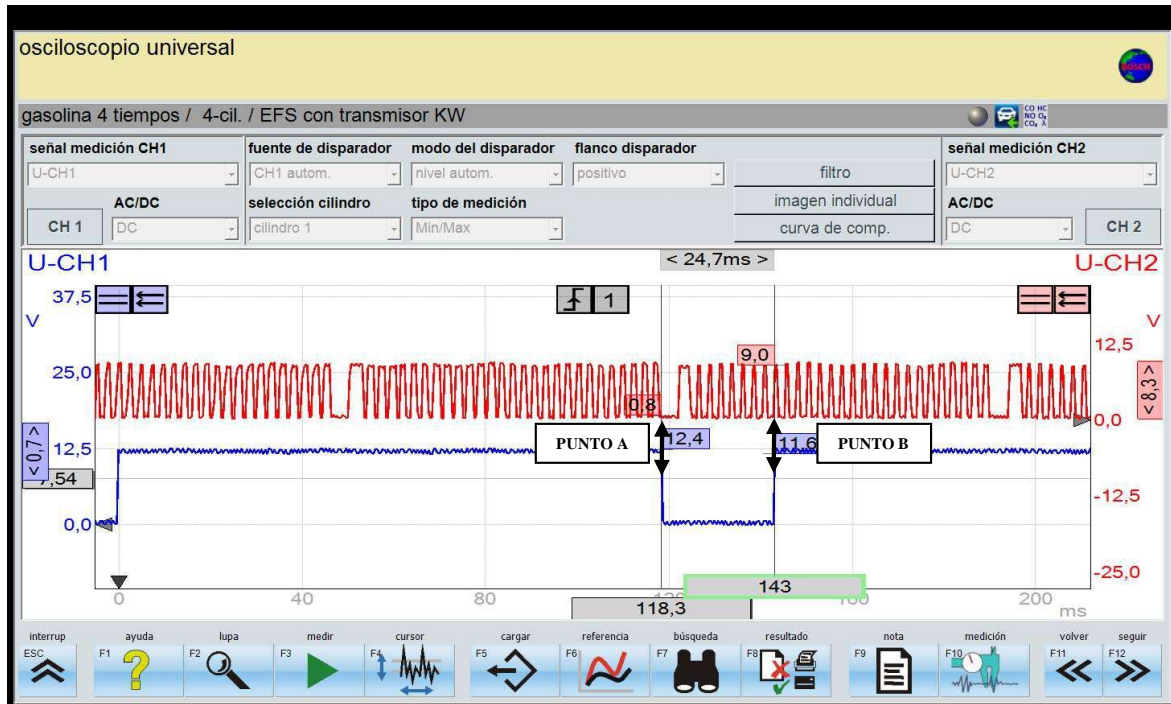


Figura 3.25. Oscilograma de sincronía entre CKP y CMP del Hyundai Atos

3.3.3 Análisis de sincronía del Chevrolet Cruze 2012

Para el vehículo Chevrolet Cruze, se realiza un análisis similar comparando una señal de referencia de sincronía entre CKP y CMP con el oscilograma obtenido en el vehículo, en este caso en particular se realizaron dos análisis, uno de CKP con CMP de admisión y otro de CKP con CMP de escape.

La figura 3.26 contiene el oscilograma de referencia entre la señal de CKP y los CMP de admisión y escape. El punto A muestra una referencia del onceavo diente de la señal del CKP con el flanco de subida de la señal del CMP de admisión. Por otro lado, comparando la señal del CMP de escape, se observa el punto B que coincide con el octavo diente de la señal de CKP.

Estos puntos son comparados con la señal obtenida del vehículo de estudio para evaluar el estado de la sincronía de distribución de este.

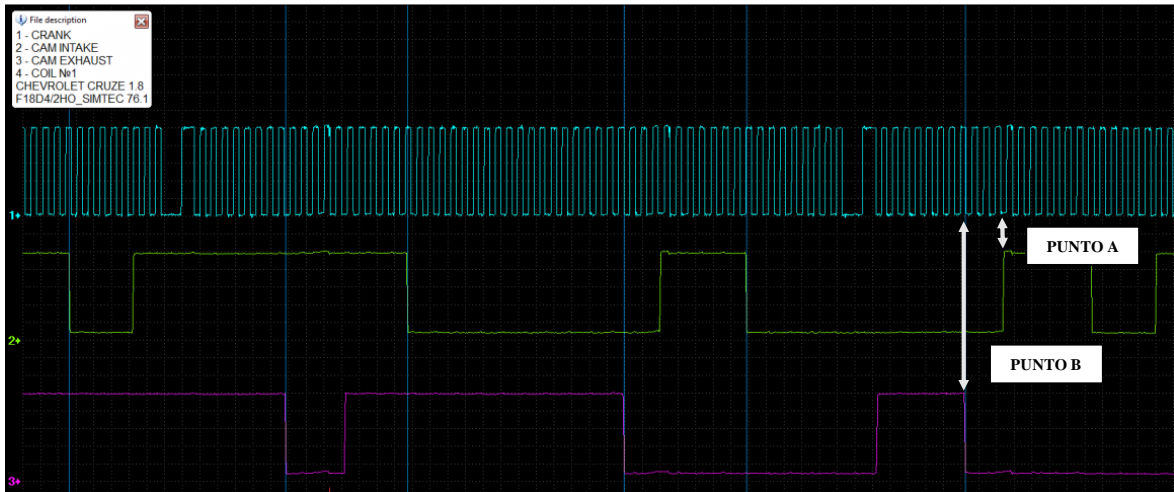


Figura 3.26. Oscilograma de referencia de sincronía de CKP y CMP del Chevrolet Cruze (Rotkee, 2019)

Analizando el oscilograma de CKP con el CMP de admisión mostrado en la figura 3.27, se observa que el punto A que coincide exactamente con la imagen de referencia en el onceavo diente de la rueda fónica del CKP.

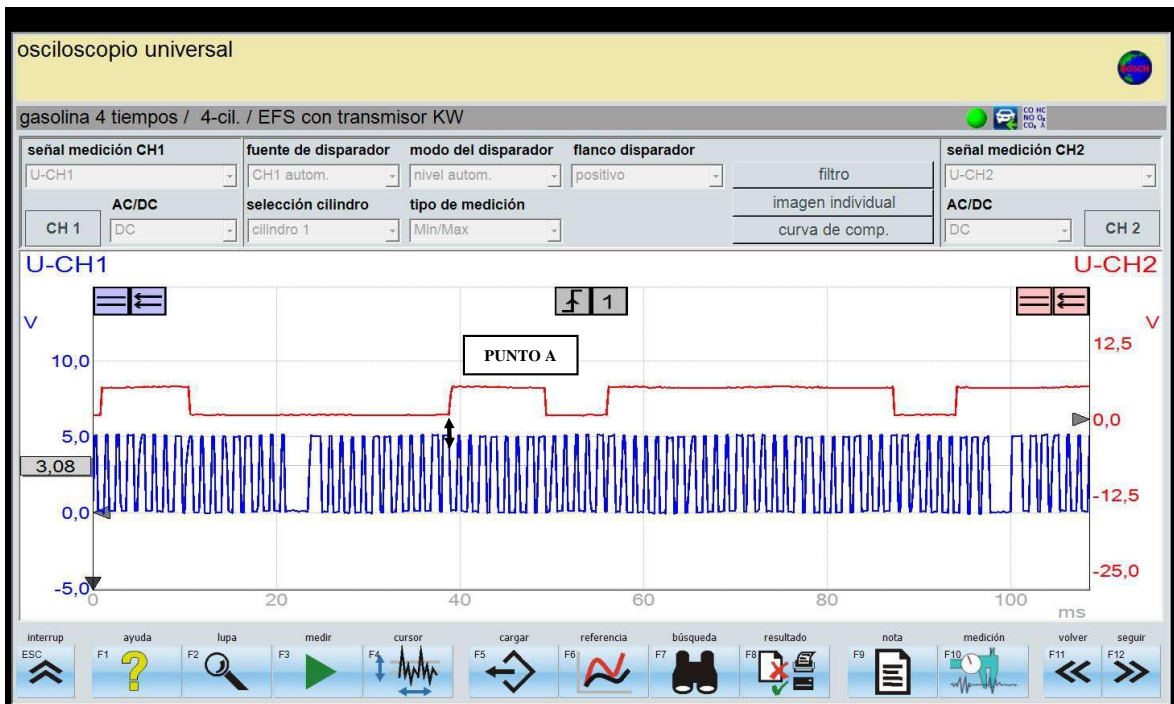


Figura 3.27. Oscilograma de sincronía del CKP y CMP de admisión del Chevrolet Cruze

El oscilograma del CMP de escape (figura 3.28) muestra de igual manera un punto de coincidencia B que encaja justamente con el octavo diente de la señal de CKP, siendo exactamente igual a la imagen de referencia. En base a este análisis se puede inferir que la sincronización del cigüeñal y el árbol de levas de este vehículo es correcta.

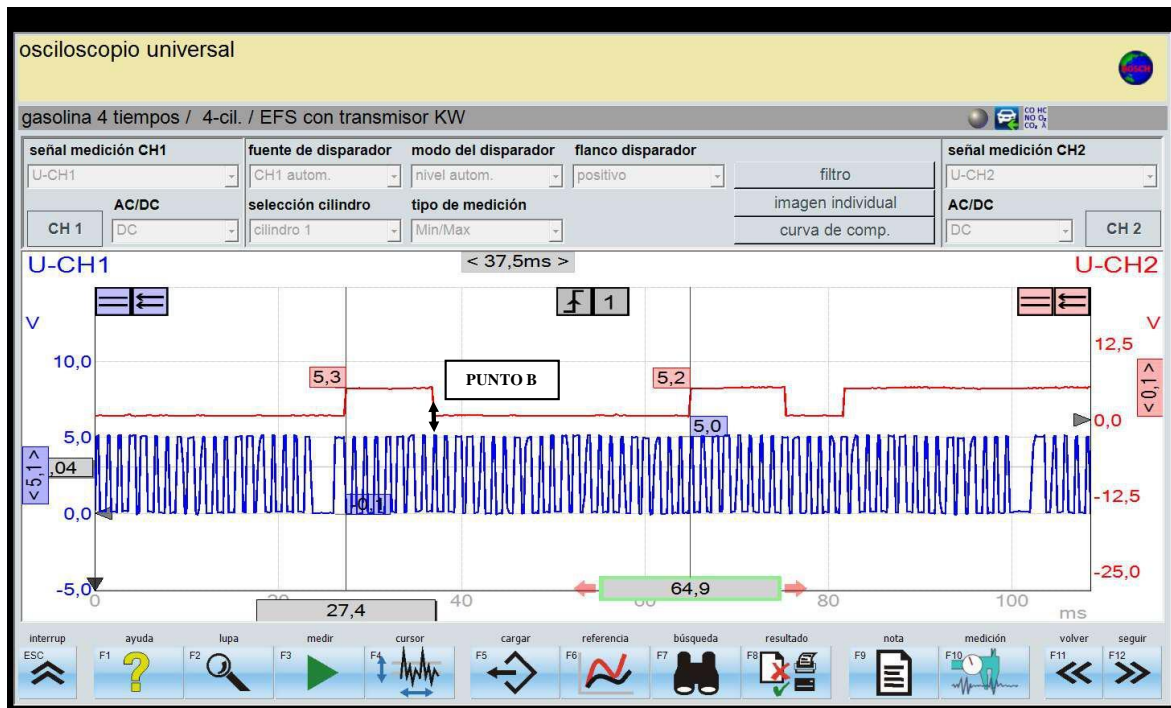


Figura 3.28. Oscilograma de sincronía de CKP y CMP de escape de Chevrolet Cruze

3.4 SIMULACIÓN DE AVERÍAS

3.4.1 Prueba de desconexión de sensores

Como se expresó en el capítulo de metodología, se realizó una simulación de fallas de sensores de posición a través de la conexión de cada uno de estos. La tabla 3.1 resume lo observado en el desempeño del motor al realizar este procedimiento en cada vehículo.

Tabla 3.1. Comportamiento del motor de los vehículos en diferentes condiciones de funcionamiento de sensores de posición.

VEHÍCULO	ESTADO	COMPORTAMIENTO
Volkswagen Jetta 2008	Desconectado CKP	Motor no enciende, no se presentan revoluciones por minuto en el escáner y no hay pulso de inyección ni chispa.
	Desconectado CMP	Motor enciende, no se modifica el tipo de encendido.
Hyundai Atos 2005	Desconectado CKP	El motor no enciende, no hay revoluciones por minuto en el escáner y no hay pulso de inyección ni chispa.
	Desconectado CMP	Motor enciende normalmente.
Chevrolet Cruze 2012	Desconectado CKP	El motor no enciende, no hay revoluciones por minuto en el escáner y no hay pulso de inyección ni chispa.
	Desconectado CMP Admisión	El motor no enciende, no hay revoluciones por minuto en el escáner y no hay pulso de inyección ni chispa.
	Desconectado CMP Escape	El motor no enciende, no hay revoluciones por minuto en el escáner y no hay pulso de inyección ni chispa.

En base a lo mostrado en la tabla 3.1 se puede inferir que el denominador común del efecto de los sensores de posición en el desempeño del motor es que el sensor principal para su funcionamiento es el sensor CKP, sin este, el motor no encuentra el punto de sincronización para efectuar de manera correcta el pulso de inyección y el comando de ejecución de chispa en la o las bobinas. Se puede comprobar que mediante el sensor CMP ajusta el tiempo de inyección e ignición, sin embargo, en la mayoría de los casos no es esencial para la puesta en marcha del motor de combustión interna. Esta aseveración difiere en el caso del vehículo Chevrolet Cruze, el cual utiliza los sensores de posición del árbol de levas para coordinar el punto de funcionamiento del motor y sin esta señal el vehículo no enciende.

En base a la prueba de desconexión de sensores realizada en el Volkswagen Jetta, se obtuvo que dependiendo del sensor que se desconecte, se genera un diferente tipo de código de falla. Para el primer caso, cuando se aísla el sensor CKP, se obtiene un código de falla genérico P0322 (Código de fabricante 16706) referente a la pérdida de señal del sensor de velocidad de motor (componente G28). La figura 3.29 evidencia este comportamiento.

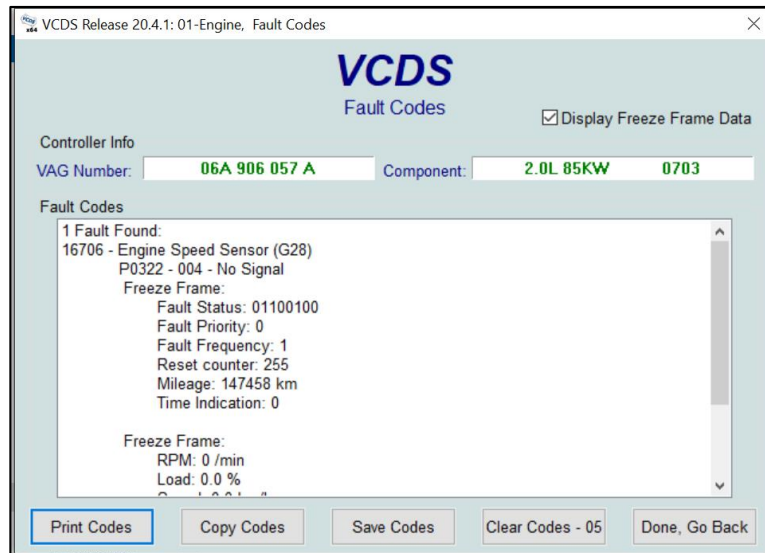


Figura 3.29. DTC con sensor CKP desconectado en Volkswagen Jetta.

Cuando el sensor que se ha desconectado es el sensor CMP se obtiene un código de falla P0343 (DTC de fabricante 16727) referencia a circuito alto de sensor de posición de árbol de levas (componente G40) mostrado en la figura 3.30.

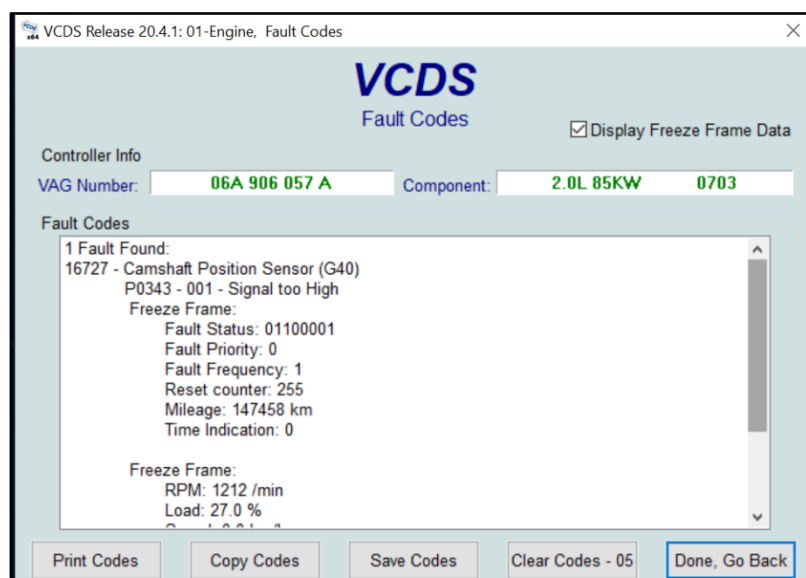


Figura 3.30. DTC con sensor CMP desconectado en Volkswagen Jetta

3.4.2 Prueba de desfase de sincronía

La prueba de desfase de sincronía realizada en el vehículo Volkswagen Jetta 2008 demuestra el funcionamiento errático de un motor de combustión interna al ser sometido a una señal aleatoria de CKP y CMP. Las primeras observaciones son que al generar la señal, la unidad de control electrónico de motor intenta percibir las como señal correcta y activa los actuadores como bobinas e inyectores, sin embargo debido a la pérdida de sincronía no enciende el motor y se observa detonaciones en el escape.

En el sistema de diagnóstico se almacena un código de falla P0106 o si similar en código de fabricante 16490 referente a falla del sensor de presión de múltiple de admisión. Es un punto importante considerar que la unidad de control no es capaz de detectar una falla de sincronía, pero si detecta una anomalía en el funcionamiento para lo que asume que el problema está en la falta de relación entre la cantidad de aire medida y el régimen de giro del motor (lo que genera un código de falla en el sensor encargado de la medición de aire y carga). La figura 3.31 revela en código de falla obtenido. Es importante señalar que para este vehículo en particular, el código indica que existe una señal implausible, es decir, incoherente; explicando que el motivo de error no es falta de señal, sino que ésta es fuera del rango y comportamiento que debería tener para el correcto funcionamiento del motor.

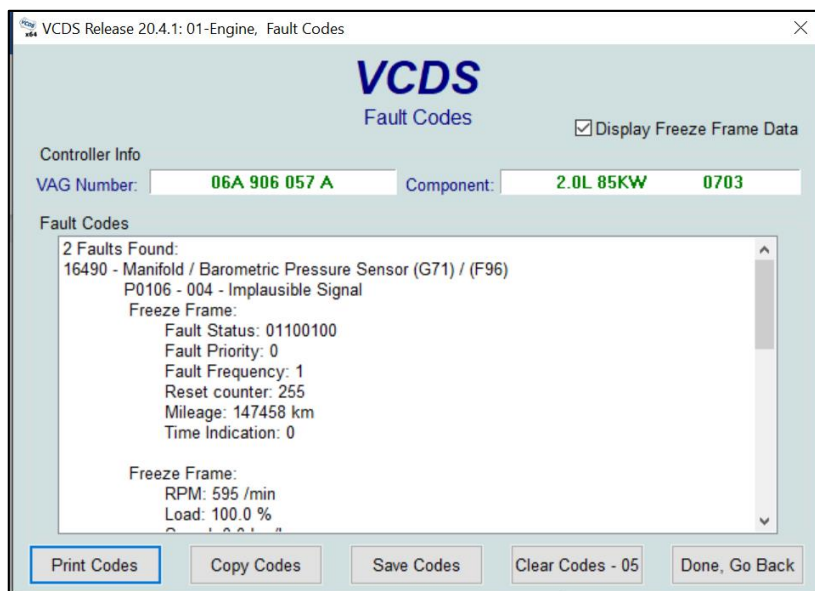


Figura 3.31. DTC por pérdida de sincronía entre CKP y CMP de Volkswagen Jetta.

La figura 3.32 muestra la señal errática generada con el banco de pruebas Jaky47 en la que se simula una señal desincronizada de CKP y CMP.

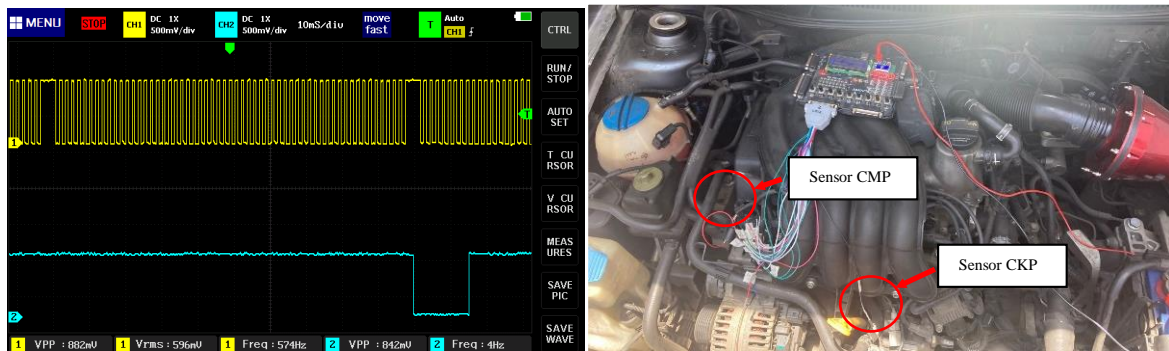


Figura 3.32. Señal generada de CKP y CMP por el banco de pruebas Jaky47.

En la imagen se observa que el banco de pruebas genera una señal del tipo digital de un sensor CKP genérico de 60 dientes con 2 perdidos, y un CMP digital genérico de similares características.

3.4.3 Prueba de falta de aislamiento del sensor CKP

Los resultados más relevantes de la prueba de falta de aislamiento se pueden dividir en dos: resultados notados en el vehículos y resultados en señal generada por el sensor.

-Resultados en el vehículo

Lo primero a resaltar en el uso de un sensor en el aislamiento es que el vehículo presenta mayor dificultad para el arranque, se tarda una mayor cantidad de tiempo en encender el motor debido a que la señal es más errática y se pierde el pulso de bobinas e inyectores.

Una vez encendido el motor, este presenta cierta inestabilidad y cascabeleo debido a la falta de precisión de la señal del sensor.

-Resultados en señal generada por el sensor.

Un punto importante es analizar la señal que genera un sensor con aislamiento versus uno sin la presencia de esta protección.

La figura 3.33 muestra el oscilograma del sensor CKP en buen estado y con el aislamiento, en este se observa que la señal tiene bastante definición y se alcanza una amplitud de cerca de 10V en ralentí.

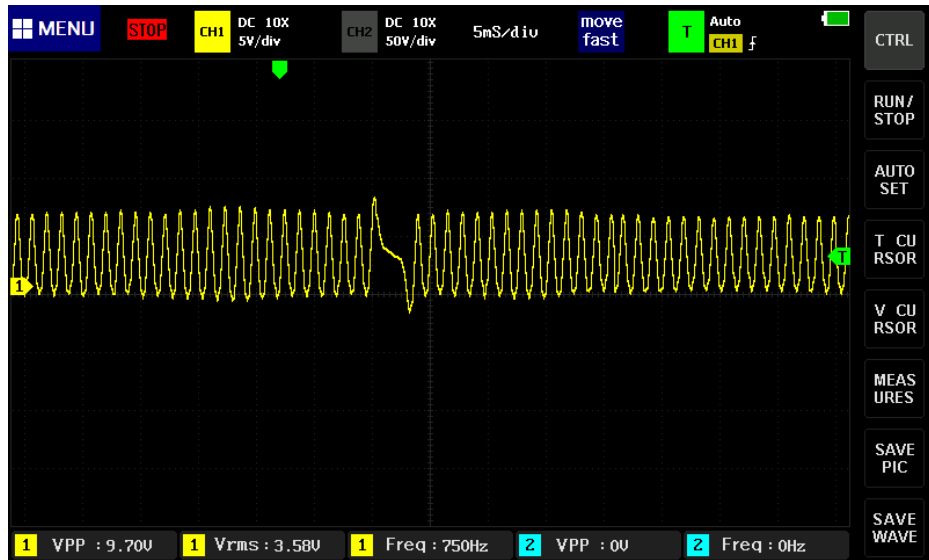


Figura 3.33. Señal del sensor CKP con aislamiento.

Por otro lado, al no tener aislamiento el sensor, se observa una mayor presencia de voltajes parásitos además de que la amplitud se reduce a 7V. Esto impide que la unidad de control pueda detectar correctamente la señal y por tanto se ocasiona desperfectos en el funcionamiento del motor de combustión interna. La figura 3.34 muestra el oscilograma de la señal del sensor CKP sin aislamiento.

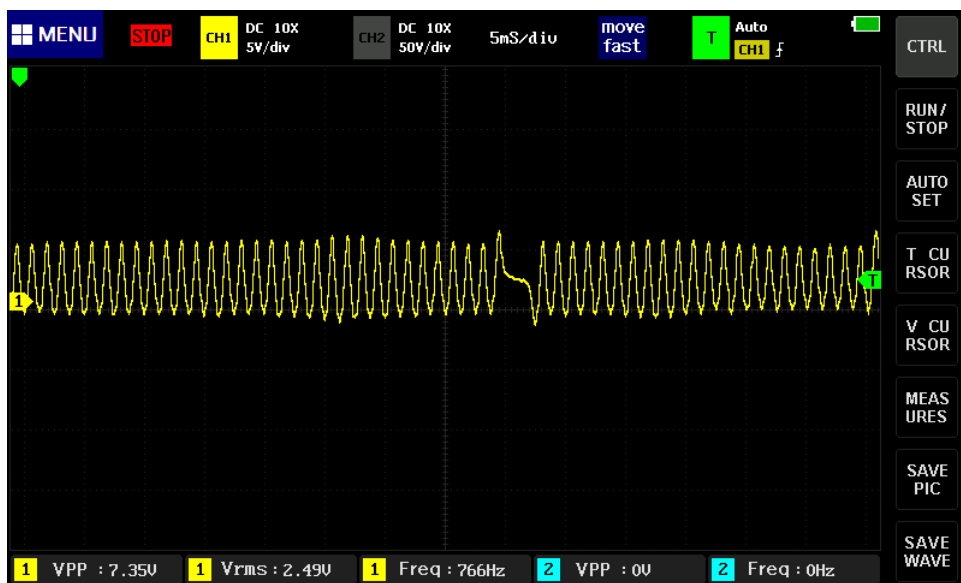


Figura 3.34. Señal del sensor CKP sin aislamiento.

3.5 NIVEL DE INTEGRACIÓN DE LOS SENSORES CON LA ECU

En base a lo anteriormente descrito, se recapitula que en los vehículos señalados existen dos tipos principales de sensores de posición, los sensores inductivos y los de efecto Hall. Para el análisis del nivel de integración se examina la naturaleza de cada uno de estos captadores de señales y se los describe según su tipo.

3.5.1 Sensores de 1er grado de integración

Corresponden a sensores que en su constitución tienen un sistema de medición del tipo análogo con preparación analógica de señales. Una característica principal es que el convertidor análogo digital se encuentra dentro de la unidad de control, por lo que el sensor como tal es de tipo simple. El sensor inductivo es un ejemplo de este tipo de sensores.

3.5.2 Sensores de 2do grado de integración

Son sensores con mayor complejidad electrónica que los de 1er grado y son aquellos que presentan una señal digital de salida. El sensor de efecto Hall corresponde a uno de 2do grado de integración, debido a que genera señales discretas directamente como respuesta del sensor. Es importante señalar que a pesar que se considera que los sensores de 2do grado son los que incluyen un convertidor análogo digital en su constitución, el sensor de efecto Hall no contiene un convertidor de este tipo, sino que su propio modo de operación (el efecto Hall) genera ya una señal digital.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- En base a la recopilación bibliográfica se concluye que los sensores de posición de giro del cigüeñal y del árbol de levas informan a la unidad de control de motor la posición exacta de los pistones dentro de cada cilindro del motor, con esta información, la ECU es capaz de determinar el momento exacto y el cilindro adecuado al que le corresponde la inyección de combustible y la ignición mediante la chispa. Esto depende del tipo de inyección y sistema de encendido del vehículo y la estrategia de cálculo de carga que disponga la gestión electrónica del motor.
- Los sensores de posición de giro habitualmente se encuentran de cuatro tipos: ópticos, inductivos, efecto hall y magneto resistivos. No existe una condición o normativa que obligue a utilizar cierto tipo en cada motor, esto quedará abierto a la disposición de cada fabricante de vehículos en utilizar el más adecuado en su automotor; sin embargo, la mayor predisposición es la utilización de sensores de tipo hall para la medición del giro del árbol de levas y de tipo inductivos o efecto hall para el cigüeñal, los sensores ópticos ya no son muy empleados en los vehículos actuales los cuales en los últimos años han tendido a la utilización de sensores magneto resistivos.
- Para comprobar el funcionamiento de los sensores de posición de giro, se debe evaluar la señal emitida por ellos dinámicamente, es decir, en funcionamiento del motor. Una prueba válida es observar en un régimen bajo la frecuencia de la señal y la amplitud de voltaje que genera, al aumentar el régimen, la frecuencia debe aumentar consecuentemente a las revoluciones por minuto evidenciando un correcto funcionamiento del sensor; mediante las pruebas realizadas se puede inferir que en marcha mínima, el sensor CKP tendrá una frecuencia de giro de aproximadamente 14Hz, a 2000 rpm de observa una frecuencia de 34Hz y a 4000 rpm una de 67Hz. Para el caso del sensor CMP, los valores se reducen obteniéndose 7Hz en ralentí, 17Hz a 2000rpm y 32Hz a 4000 rpm aproximadamente, esto ocurre debido a que el árbol de levas da una sola vuelta por cada dos vueltas del cigüeñal. En base a la amplitud, dependerá del tipo de sensor para que el comportamiento del voltaje sea

un punto de análisis en el diagnóstico; además, como punto final del diagnóstico, se debe medir el período de la señal y este debe coincidir con las revoluciones por minuto en las que se tomó la medición. Los valores típicos de funcionamiento de la amplitud de un sensor del tipo inductivo oscilan entre 13.1V aproximadamente en ralentí hasta 44V a plena carga (4000rpm); sin embargo, estos valores dependerán del tipo de construcción del sensor y el régimen de giro; es importante señalar que los sensores de tipo hall no varían su amplitud (generalmente de 5V) con el cambio de revoluciones por minutos. Un oscilograma adecuado será imprescindible para este análisis.

- La obtención de los oscilogramas de sincronía permite realizar un diagnóstico de estado de sincronización mecánica del cigüeñal respecto al (o los) árbol de levas. Para efectuar este proceso, se debe extraer un oscilograma que contenga la señal emitida por el sensor CKP y los sensores CMP presentes, esta imagen se compara con un oscilograma de referencia bibliográfico evaluando puntos de coincidencia entre las señales lo que permitirá efectuar un criterio del estado de la puesta a punto de la distribución del motor de combustión interna.
- En los vehículos observados se puede inferir que la señal otorgada por el sensor CKP es primordial para que la unidad de control pueda generar pulsos de inyección y el control a las bobinas de encendido. En dos de tres vehículos se observa que aunque se desconecte el sensor CMP, el vehículo va a seguir trabajando con la señal del sensor CKP; sin embargo, esto no se puede sentenciar para todos los automotores debido a que hay algunos en los que la señal del CMP tiene un significativo valor y sin esta el motor no va a funcionar, en el caso de estudio se pudo evidenciar este comportamiento en el vehículo Chevrolet Cruze.
- Cuando un motor tiene una pérdida de sincronización entre CMP y CKP, la computadora entra en un punto de confusión debido a que no se pierde totalmente la señal, sino que esta es errática. Como la unidad de control no es capaz de determinar este problema a ciencia cierta, se pueden generar códigos de falla equivocados en el sistema de diagnóstico a bordo; en el caso específico del vehículo probado, al simular una señal falsa de CKP y CMP sincronizados entre ellos, la ECU generó el código P0106 referente al sensor MAP debido a que determinó una pérdida de relación entre la cantidad de aire (presión en el múltiple de admisión) y las revoluciones de giro del motor.

- El análisis del nivel de integración de los sensores de posición de giro permite conocer la naturaleza de funcionamiento y comunicación entre el sensor y la unidad de control para determinar el proceso adecuado de diagnóstico de cada uno de ellos. En sensores de posición de giro predominan dos tipos de integración, los de 1er grado y los de 2do grado; los de 1er grado constituyen a ser sensores del tipo analógico como lo son sensores CKP y CMP inductivos que generan una señal continua y cuya unidad de control debe incorporar un convertidor análogo digital para el tratamiento de señales. Por otro lado, los sensores CKP y CMP de efecto hall corresponden a una integración de 2do grado debido a la generación de una señal digital en su salida, normalmente se considera que este tipo de integración posee un convertidor análogo digital en la construcción del sensor para la generación de la señal, pero esto no aplica para el sensor de efecto hall debido a que es la interacción de las fuerzas eléctricas y magnéticas las que generan la señal discreta.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para realizar un correcto proceso de diagnóstico de sensores de posición se recomienda en primera instancia evaluar el efecto de los sensores en el desempeño del MCI para identificar si la falla es consecuencia de un mal funcionamiento de estos componentes, posteriormente se analiza con el equipo de diagnóstico adecuado las señales emitidas por los sensores para evaluar su correcto comportamiento.
- Es importante previo al diagnóstico que se analice el nivel de integración que posee el sensor, esto permitirá determinar la forma en la que el sensor opera en conjunto con una unidad de control y el método adecuado a implementar para la detección de fallas.
- Se recomienda para trabajos futuros la elaboración de una base de datos digital de señales de referencia que permita acceder al proceso de análisis de sincronía mediante oscilogramas y brindaría una fuente importante de información para técnicos automotrices.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrigo, J. (2007). *Compendio del sistema OBDII* [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1142>.
- Aranda, D. (2013). *Electrónica del automóvil* (USERS, Ed.; 1st ed.). Pocket Users.
- AutoAvance. (2019). *Sensor de Posición del Cigüeñal CKP*. Wwww.Autoavance.Co. <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/135-sensor-de-posicion-del-cigueenal-ckp/>.
- Berrocal, J. (2022). *Intercambio de gases- Tema2*. <Https://Www.Goconqr.Com/Ficha/15854655/Intercambio-de-Gases-Tema-2>.
- Bosch. (2022). *Bosch Automotive Aftermarket en España*. <Https://Www.Boschaftermarket.Com/Es/Es/Equipos-y-Diagnosis/Analisis/Analisis-de-Sistemas-Del-Veh%C3%ADculo/Fsa-740-Sin-Kts-560/>.
- Bosch, R. (2002). *Electronic Automotive Handbook*.
- Castro, M. de. (2010). *Inyección de gasolina* (6th ed.). Ediciones CEAC.
- CISE Electronics. (2011). *Sensor de giro de cigüeñal CKP*. CISE Electronics.
- Cisneros, I. (2010). Los sensores en el automóvil. In *Los Sensores Automotrices en la Práctica* (pp. 1–10). Tu Taller Mecánico. www.tutallermecanico.com.mx
- de Castro, M. (2005). *Inyección de gasolina* (CEAC, Ed.; 5th ed.). Puresa.
- Denton, T. (2016). *Diagnóstico Avanzado de Fallas Autom* (3rd ed.). Alfaomega Grupo Editor.
- Ed, K. R. (2015). *Gasoline Engine Management*. Springer Vieweg.
- Galagovsky, L., & Giudice, J. (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa : una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21(1), 85–99. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150010006>.
- Guillen, J. A. (2020, August 12). *Tips de diagnóstico para los sensores de revoluciones*. <Https://Cnta.Ec/Tips-de-Diagnostico-Para-Los-Sensores-de-Revoluciones/>.

- Halderman, J. D. (2012). *Diagnosis and Troubleshooting of automotive electrical, electronic and computer systems*. (P. Hall, Ed.; 6th ed.). Prentice Hall.
- Halderman, J. D., & Linder, J. (2012). *Automotive fuel and emissions control systems* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Ilton, J. (2019). *What is an Engine Control Unit and how does it work?* AutoGuru. <https://www.autoguru.com.au/car-advice/articles/what-is-an-engine-control-unit-and-how-does-it-work>.
- Jaky47. (2022). *Manual técnico OP2*. <https://www.jaky47.com/>.
- JM Sarpa Treinamiento ME. (2022). *Dicatec* (3.3.0).
- Medina, S. (2018). *Sensores Automotrices*. *INAOE*, November. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11558.98883>.
- Motorgiga. (2022a, June 29). *MOTORGIGA*. <https://motorgiga.com/volkswagen/jetta/jetta-trendline-16-102-cv2/2006/precio-ficha-tecnica>.
- Motorgiga. (2022b, August 16). *MOTORGIGA*. <https://motorgiga.com/hyundai/atos-prime/atos-prime-11-gls2/2003/precio-ficha-tecnica>.
- Motorgiga. (2022c, August 21). *MOTORGIGA*. <https://motorgiga.com/chevrolet/cruze/cruze-4p-16-16v-ls/2009/precio-ficha-tecnica>.
- PicoScope. (2020). *PicoScope Technology*. <https://www.picoauto.com/es/library/automotive-guided-tests/doble-trazo-sensor-de-posicion-del-arbol-de-levas-y-sensor-de-posicion-del/>.
- Rechner Sensors. (2022). *Sensor magnetorresistivo: Para mediciones especialmente precisas*. <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/sensor-magnetorresistivo>.
- Ross-Tech. (2000). *VCDS HEX-V2 Enthusiast*. https://store.ross-tech.com/shop/vchv2_ent/.
- Rotkee. (2019). *Waveform Library*. <https://rotkee.com/en/waveform-library>.

Sensorautomotriz.com. (2022). *Sensor de posición de cigüeñal-Sensor CKP*.
Sensorautomotriz.Com.