



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: INTERPRETACIÓN DE SEÑALES DE SENSORES DE  
SINCRONIZACIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO POR  
COMPRESIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FALLAS**

**AUTORES: CANDO MORA JORGE OVIDIO  
COELLO GORDILLO CRISTIAN ANDRÉS**

**DIRECTOR: ING. MAFLA YEPEZ CARLOS NOLASCO, MSC.**

**IBARRA – ECUADOR**

**2023**

## **CERTIFICADO**

### **ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

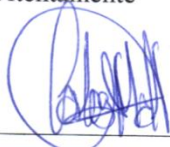
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de ingeniero en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### **CERTIFICO:**

Que una vez analizado el plan de trabajo de grado cuyo título es "INTERPRETACIÓN DE SEÑALES DE SENSORES DE SINCRONIZACIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FALLAS" presentado por los estudiantes: Cando Mora Jorge Ovidio con número de cédula 1003765581 y el señor Coello Gordillo Cristian Andrés con número de cédula 1003776539, doy fe que el siguiente trabajo cumple con 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 24 días del mes de marzo del 2023

Atentamente



Ing. Carlos Mafla, 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:	1003765581		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cando Mora Jorge Ovidio		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Imbabura		
EMAIL:	jocandom@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0987497307

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003776539		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Coello Gordillo Cristian Andrés		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Imbabura		
EMAIL:	cacoello@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0939390668

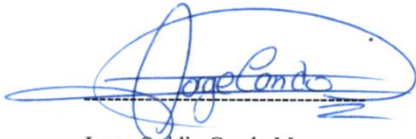
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	INTERPRETACIÓN DE SEÑALES DE SENSORES DE SINCRONIZACIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FALLAS
AUTOR (ES):	Cando Mora Jorge Ovidio, Coello Cristian Andrés
FECHA: DD/MM/AAAA	05/04/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Carlos Mafla Ing.

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

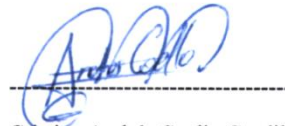
Ibarra, a los 05 días del mes de abril de 2023

### LOS AUTORES:



Jorge Ovidio Cando Mora

C.C: 1003765581



Cristian Andrés Coello Gordillo

C.C: 1003776539

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado es dedicado primero a Dios que siempre ha sabido guiar mi camino y brindarme las fuerzas necesarias para salir adelante en cada una de mis metas propuestas, a mis docentes, a mi mujer Dayana Huera, mi hija Valentina Cando, mi suegra Rosa Rodríguez, a mi madre Sandra Escobar que fueron pilar fundamental en la formación de mis estudios y en mi vida diaria que, gracias a sus consejos y apoyo brindados, permitieron formarme como persona.

### ***CANDO MORA JORGE OVIDIO***

El presente trabajo de grado es dedicado principalmente a Dios ya que, gracias a él me ha dado la capacidad de cumplir cada una de mis metas propuestas, mis padres Ramiro Coello y Rosario Gordillo, mi esposa Alexandra Landázuri siendo ellos la principal fuente de inspiración para lograr culminar mi formación universitaria.

### ***COELLO GORDILLO CRISTIAN ANDRES***

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me acogió en su casona universitaria, brindando conocimientos y experiencias las cuales permitieron formarme en el campo profesional, de igual manera a mis docentes que impartieron su conocimiento durante los años de formación en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, los mismos que me permitirán ejercer mi vida profesional.

***CANDO MORA JORGE OVIDIO***

Agradezco a Dios por darme la capacidad de poder culminar mis estudios universitarios, además quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional. Así como, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, que me han su sabiduría y experiencias en el transcurso del día a día.

***COELLO GORDILLO CRISTIAN ANDRES***

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
1. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Justificación .....	3
1.5. Alcance .....	4
1.6. Motores de encendido por compresión .....	5
1.7. Sensor automotriz .....	6
1.7.1. Definición .....	6
1.8. Sensores de sincronización .....	6
1.8.1. Sensor de posición del cigüeñal (CKP) .....	6
1.8.2. Sensor de posición del árbol de levar (CMP) .....	7
1.9. Sincronización de motores .....	7
1.9.1. Evolución.....	7
1.9.2. Definición .....	8
1.10. Elementos que intervienen en la sincronización de motores.....	9
1.10.1. Cigüeñal.....	9
1.10.2. Árbol de levas .....	10
1.11. Objetivo de la sincronización.....	11
1.12. Clasificación de sensores de sincronización .....	12
1.12.1. Sensor inductivo .....	12
1.12.2. Sensor efecto Hall.....	13
1.12.3. Sensores ópticos .....	14
1.13. Diagnóstico de sensores de sincronización .....	14
1.13.1. Códigos de falla relacionados al sensor CKP .....	14
1.13.2. Diagnóstico de códigos de fallo del sensor CKP tipo inductivo .....	14
1.13.3. Códigos de fallas relacionados al sensor CMP tipo Hall.....	15

1.13.4.	Diagnóstico de códigos de fallo del sensor CMP .....	15
1.13.5.	Falla de sensores de sincronización.....	15
1.13.6.	Fallas sensores CKP .....	16
1.13.7.	Soluciones a posibles fallas del sensor CKP .....	16
1.13.8.	Fallas sensores CMP.....	16
1.13.9.	Soluciones a posibles fallas del sensor CMP.....	17
2.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
2.1.	Metodología de la investigación .....	18
2.1.1.	Enfoque investigativo .....	18
2.1.2.	Tipos de investigación .....	19
2.2.	Materiales y equipos .....	19
2.2.1.	Banco motor Mazda BT50 .....	20
2.2.2.	Equipo de diagnóstico BOSCH FSA 740.....	21
2.2.3.	Multímetro Bosch MMD 540 hibrido .....	22
2.3.	Procesos metodológicos.....	23
2.3.1.	Introducción .....	23
2.4.	Condiciones de prueba.....	24
2.4.1.	Régimen de prueba .....	24
2.4.2.	Temperatura del motor .....	25
2.5.	Sensor de posicionamiento del cigüeñal (CKP) .....	26
2.5.1.	Funcionamiento del sensor CKP .....	26
2.5.2.	Parámetros de funcionamiento .....	26
2.5.3.	Pines del sensor CKP.....	27
2.6.	Sensor de posicionamiento del árbol de levas (CMP) .....	28
2.6.1.	Funcionamiento del sensor CMP.....	28
2.6.2.	Parámetros de funcionamiento .....	28
2.6.3.	Pines del sensor CMP .....	29
2.7.	Simulación de defectología.....	30
2.7.1.	Defectología sensor CKP .....	30
2.7.2.	Código falla obtenido falla sensor CKP .....	31
2.7.3.	Defectología sensor CMP .....	32
2.7.4.	Código de falla obtenido sensor CMP .....	34
2.8.	Proceso de pruebas CKP .....	34
2.8.1.	Multímetro .....	34
2.8.2.	Equipo FSA .....	35



2.8.3.	Escáner.....	36
2.9.	Proceso de prueba CMP.....	37
2.9.1.	Multímetro.....	37
2.9.2.	Equipo FSA.....	38
2.9.3.	Escáner.....	38
3.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	39
3.1.	Introducción.....	39
3.2.	Toma de datos sensor CKP.....	39
3.3.	Toma de datos sensor CKP e inyector del cilindro 1.....	42
3.4.	Toma de datos sensor CKP en fallas.....	44
3.4.1.	Toma de datos sensor CKP en falla 1.....	45
3.4.2.	Toma de datos sensor CKP en falla 2.....	46
3.4.3.	Toma de datos sensor CKP en falla 3 (falla catastrófica).....	47
3.5.	Toma de datos del sensor CKP en falla crítica e inyector del cilindro 1.....	49
3.6.	Análisis de fallas del sensor CKP.....	50
3.7.	Toma de datos sensor CMP.....	52
3.8.	Toma de datos sensor CMP e inyector del cilindro 1.....	54
3.9.	Toma de datos sensor CMP en fallas.....	56
3.9.1.	Toma de datos sensor CMP en falla 1.....	56
3.9.2.	Toma de datos sensor CMP en falla 2.....	57
3.9.3.	Toma de datos sensor CMP en falla 3.....	58
3.9.4.	Toma de datos sensor CMP en falla 4 (falla catastrófica).....	59
3.10.	Toma de datos del sensor CMP en falla catastrófica e inyector del cilindro 1 60	
3.11.	Análisis de fallas del sensor CMP.....	62
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	65
4.1.	Conclusiones.....	65
4.2.	Recomendaciones.....	66
5.	Referencias bibliográficas.....	67
6.	Anexos.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de funcionamiento MEC.....	6
Figura 1.2 Sensor CKP.....	7
Figura 1.3 Sensor CMP tipo Hall .....	7
Figura 1.4 Diagrama sistemático de análisis de sensores CKP, CMP, y sensor de golpeteo. ....	8
Figura 1.5 Diagrama de distribución diésel.....	9
Figura 1.6 Representación gráfica de las partes del cigüeñal.....	10
Figura 1.7 Representación gráfica del accionamiento del árbol de levas sobre las válvulas.....	11
Figura 1.8 Señales CMP, CKP y NOCK SENSOR.....	11
Figura 1.9 Sensor inductivo de sincronización.....	12
Figura 1.10 Diagrama sensor inductivo.....	13
Figura 1.11 Sensor efecto Hall .....	13
Figura 2.1 Banco motor Mazda Bt50 .....	20
Figura 2.2 Equipo Bosch FSA 740.....	21
Figura 2.3 Multímetro Bosch MMD 540 hibrido .....	23
Figura.2.4 Flujograma de proceso metodológico .....	24
Figura 2.5 Clima Ibarra año 2022.....	25
Figura 2.6 Sensor CKP (ubicación).....	26
Figura 2.7 Diagrama sensor CKP .....	27
Figura2.8 Identificación de pines del sensor CKP .....	27
Figura 2.9 Identificación de pines del sensor CMP .....	28
Figura 2.10 Identificación de pines del sensor CKP .....	29
Figura 2.11 Identificación de pines del sensor CKP .....	31
Figura 2.12 Diagrama de instalación de potenciómetro 5 k $\Omega$ .....	32
Figura 2.13 Instalación de potenciómetro a 4.5 k $\Omega$ .....	33
Figura 2.14 Identificación de pines .....	35
Figura 2.15 Diagrama de instalación del equipo de diagnóstico FSA con el sensor CKP 36	
Figura2.16 ESI Tronic 2.0 .....	36
Figura 2.17 Identificación de pines sensor CMP.....	37
Figura2.18 Diagrama de instalación del equipo de diagnóstico FSA con el sensor CMP 38	
Figura 3.1 Oscilograma sensor CKP .....	40

Figura 3.2 Oscilograma sensor CKP voltaje zona dentada .....	40
Figura 3.3 Oscilograma sensor CKP voltaje zona dentada .....	41
Figura 3.4 Oscilograma sensor CKP voltaje zona diente desfazado .....	41
Figura 3.5 Oscilograma sensor CKP 360° del volante de inercia .....	42
Figura 3.6 Oscilograma sensor CKP y oscilograma inyector cilindro 1(primer preinyección) .....	43
Figura 3.7 Oscilograma sensor CKP y oscilograma inyector cilindro 1(segunda preinyección) .....	43
Figura 3.8 Oscilograma sensor CKP y oscilograma inyector cilindro 1(inyección principal).....	44
Figura 3.9 Oscilograma sensor CKP falla 1 (zona diente desfazado) .....	45
Figura 3.10 Oscilograma sensor CKP falla 2 (zona dentada).....	46
Figura 3.11 Oscilograma sensor CKP falla 2 (zona diente desfazado) .....	47
Figura 3.12 Oscilograma sensor CKP falla .....	48
Figura 3.13 Oscilograma sensor CKP falla e inyector del cilindro 1 .....	49
Figura 3.14 Amplitud de señal sensor CKP .....	51
Figura 3.15 Porcentaje de disminución de señal CKP.....	52
Figura 3.16 Señal CMP zonas de estudio .....	53
Figura 3.17 Señal CMP ancho de pulso .....	53
Figura 3.18 Señal CMP 360° árbol de levas.....	54
Figura 3.19 Oscilograma sensor CMP y oscilograma inyector cilindro 1(primer preinyección) .....	55
Figura 3.20 Oscilograma sensor CMP y oscilograma inyector cilindro 1(segunda preinyección) .....	55
Figura 3.21 Oscilograma sensor CMP y oscilograma inyector cilindro 1(inyección principal).....	56
Figura 3.22 Oscilograma sensor CMP falla 1.....	57
Figura 3.23 Oscilograma sensor CMP falla 2.....	58
Figura 3.24 Oscilograma sensor CMP falla 3.....	59
Figura 3.25 Oscilograma sensor CMP falla 1.....	60
Figura 3.26 Oscilograma sensor CMP falla 4 y señal inyector 1 .....	61
Figura 3.27 Oscilograma sensor CMP falla 4 y señal inyector 1 .....	61
Figura 3.28 Amplitud de señal sensor CMP.....	63
Figura 3.29 Porcentaje de disminución de señal del sensor CMP.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Partes del cigüeñal.....	10
Tabla 1.2 Listado de códigos de falla sensor CKP tipo inductivo.....	14
Tabla 1.3 Listado de códigos de falla sensor CMP tipo Hall .....	15
Tabla 2.1 Información banco motor .....	20
Tabla 2.2 Osciloscopio Bosch FSA 740.....	22
Tabla 2.3 Descripción de pines del sensor CKP.....	28
Tabla 2.4 Descripción de pines del sensor CMP .....	29
Tabla 2.5 Determinación de la variable distancia sensor CKP.....	31
Tabla 2.6 Descripción de código falla sensor CKP.....	32
Tabla 2.7 Determinación de la variable resistencia sensor CMP .....	32
Tabla 2.8 Descripción de código falla sensor CMP .....	34
Tabla 3.1 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP .....	42
Tabla 3.2 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP y del inyector del cilindro uno 44	
Tabla 3.3 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla uno.....	46
Tabla 3.4 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla dos .....	47
Tabla 3.5 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla tres.....	48
Tabla 3.6 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP y del inyector del cilindro uno (falla crítica) .....	49
Tabla 3.7 Comparación fallas sensor CKP .....	50
Tabla 3.8 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP .....	54
Tabla 3.9 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CMP y del inyector del cilindro uno 56	
Tabla 3.10 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CMP en falla uno.....	57
Tabla 3.11 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla dos .....	58
Tabla 3.12 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla tres.....	59
Tabla 3.12 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla tres.....	60
Tabla 3.13 Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CMP y del inyector del cilindro uno en falla catastrófica.....	62
Tabla 3.14 Cuadro comparativo simulación de fallas sensor CMP.....	62

## 1. RESUMEN

El presente proyecto de estudio titulado INTERPRETACIÓN DE SEÑALES DE SENSORES DE SINCRONIZACIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FALLAS. Se interpretó las señales captadas por el sensor de posicionamiento del cigüeñal (CKP) y el sensor de posicionamiento del árbol de levas (CMP) encargadas de brindar información a la unidad de control electrónica acerca de la posición exacta del pistón y leva del primer cilindro para que mediante los inyectores pueda realizar el proceso de combustión del motor.

Estos sensores fueron sometidos a cambios según este sea su funcionamiento, alterando las señales captadas en estos sensores, obligando a tener problemas en el encendido del banco motor de la marca Mazda Bt50. Mediante el cambio de variables se procedió a cambiar 1 mm mediante el uso de arandelas calibradas con el fin de distorsionar la distancia de 3 mm existente entre el sensor y la rueda dentada en sensores inductivos hasta llegar a provocar una avería que impida el arranque y encendido del motor, mientras que en sensores de efecto Hall se procedió a instalar una resistencia variable (potenciómetro) de  $5k\Omega$  en la línea de señal entre el sensor y la unidad de control electrónica distorsionando la señal hasta provocar una avería en el encendido del motor.

La aplicación de simulación de fallas crónicas para la combustión del motor permitió realizar un análisis defectológico en los sensores de sincronización permitiendo conocer que el rango de funcionalidad limite en sensores inductivos debe ser menor al 97% de reducción de la amplitud de señal mientras que en sensores tipo Hall debe ser menor al 50% de reducción de la señal.

Palabras clave: CKP, sensor de posicionamiento del cigüeñal, CMP, sensor de posicionamiento del árbol de levas, simulación de averías, amplitud de señal.

## 2. ABSTRACT

This study project is called "INTERPRETACIÓN DE SEÑALES DE SENSORES DE SINCRONIZACIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FALLAS". The signals captured by the crankshaft position sensor (CKP) and the camshaft position sensor (CMP), responsible for providing information to the electronic control unit about the position of the piston and the camshaft of the first cylinder to perform the combustion process of the engine through the injectors, were interpreted.

These sensors were subjected to changes according to their operation, altering the signals captured in these sensors, forcing problems in the ignition of the Mazda Bt50 engine bed. By changing variables, we proceeded to change 1 mm by using calibrated washers to distort the 3 mm distance between the sensor and the gear wheel in the inductive sensors until causing a failure that prevents the starting and ignition of the engine, while in the Hall effect sensors, a variable resistor (potentiometer) of  $5k\Omega$  was installed in the signal line between the sensor and the electronic control unit, distorting the signal until causing a failure in the ignition of the engine.

The simulation of catastrophic fail to engine combustion allowed a defectological analysis of the synchronization sensors, allowing to know that the range of limited functionality in the inductive sensors should be less than 97% reduction of the signal amplitude while in the Hall type sensors it should be less than 50% reduction of the signal.

Keywords: CKP, crankshaft position sensor, CMP, camshaft position sensor, fail simulation, signal amplitude.

### 3. INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión interna de encendido por compresión es la forma más eficaz para producir movimiento para el accionamiento de maquinaria y vehículos pesados. Tomando en cuenta factores económicos, torque y potencia recibida a cambio se puede decir que este tipo de motores son los más utilizados en el campo industrial por lo que estarán en completo funcionamiento durante jornadas de 8 hasta 24 horas según sea el caso.

Al estar sometidos a varias jornadas laborables se tendrá que planificar el mantenimiento adecuado de las piezas móviles del motor como principales actores, el árbol de levas y el cigüeñal de la misma. La forma más eficaz de verificar el correcto funcionamiento de un motor en la actualidad es el constante monitoreo en tiempo de real de los sensores de sincronización y del sistema de inyección, ya que este nos arrojará datos precisos de la sincronización e inyección del motor, y así analizar una posible falla temprana del motor impidiendo un paro total o parcial en el campo industrial o automotriz

En la actualidad en el Ecuador persiste pocos recursos tecnológicos para acceder a un monitoreo en tiempo real referente a motores diésel, para lo cual es la mejor opción el utilizar el equipo Bosch FSA 740 para la visualización en tiempo real de los sensores de sincronización y mediante la comparación de resultados analizar la defectología de dichos sensores

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

## 1.1. Antecedentes

Los motores de encendido por compresión son utilizados en su gran mayoría en el sector industrial sean estos estacionarios o instalados en un automotor, el 99% de transporte de mercancías utiliza este tipo de motores debido a que tiene diferentes aplicaciones sean estas en barcos, buses, maquinaria industrial, maquinaria agrícola y locomotoras como varios de los ejemplos mencionados por el autor, por lo cual son muy importantes para la sociedad y la cadena productiva de la misma (Aceña Navarro, 2017).

En este tipo de vehículos utilizan diésel para su funcionamiento, este combustible se obtiene de la destilación del petróleo que cuentan con un poder calorífico de 10200 kcal/kg además de tener una densidad entre 0.83 y 0.86 g/cm<sup>3</sup> con un punto de congelación de -30°C siendo el más óptimo para este tipo de motores siempre y cuando sea de categoría “A” (De Antonio & Muñoz, 2016).

Por otro lado, los motores de encendido por compresión realizan su proceso de inyección mediante un circuito de baja presión y un circuito de alta presión; El circuito de baja presión se encarga de transportar el diésel desde la toma de combustible pasando por un filtro de impurezas hacia el circuito de “alta” teniendo una presión de 5 bares, mientras que el circuito de alta presión es arrastrado mediante el giro propio del motor propulsado a través de cualquier tipo de bomba diésel que distribuye el combustible hacia los inyectores, además posee una electroválvula en la cual controla electrónicamente la presión del riel, en esta sección tiene alrededor de 1350 bares de presión (Chiavola & Palmieri, 2018).

Todas las unidades de servicio pesado a partir de 1993 tienen una forma de integración electrónica, siendo los sensores los principales componentes de comunicación entre sistemas de los vehículos comandada por la “ECU” ya que los sensores son capaces de detectar fenómenos físicos y químicos presentes en el automotor (Guzmán, 2021).

Los MEC al presenciar fallas en los principales sistemas de alimentación o de sincronización entre el cigüeñal y el árbol de levas actúa el sensor de golpeteo además de tener un sensor principal en la lectura de datos respecto al funcionamiento idóneo del motor MEC (Zibani et al., 2020).



El conjunto de unidades de control electrónica en la que recoge información para luego convertirla mediante el flujo de señales en un determinado tiempo se la denomina como una cadena de medida en la cual sus funciones son: obtener las medidas de presión dentro de la cámara de combustión, sincronización de señales adquiridas durante el proceso de recolección de datos, interpretar las diferentes señales obtenidas de forma digital o analógica dependiendo del sensor, además deberá recibir una gran cantidad de datos en un tiempo determinado (Karthic & Senthil Kumar, 2021).

Anteriormente la sincronización entre el árbol de levas y el cigüeñal era netamente mecánica en luego se implementaron los sensores CMP Y CKP, el sensor de posición del cigüeñal o crankshaft position sensor por sus siglas en inglés (CKP), se denomina como el sensor más importante para determinar la cantidad y la sincronización de la inyección de combustible básica con el cálculo del rpm del motor y el ángulo del cigüeñal, el sensor CKP detecta la ubicación del volante de inercia. Además, la combustión se detecta cuando este sensor está en funcionamiento y puede ser más precisa junto con el uso de un sensor de posición del árbol de levas o crankshaft position sensor por sus siglas en inglés (CMP) para verificar la detonación en cada cilindro (Kim et al., 2016).

## **1.2. Planteamiento del problema**

Los sensores CMP y CKP de un motor de encendido por compresión presentan fallas como: detonaciones fuera de tiempo, aparición de la luz MIL, ausencia de encendido del motor, entre otros para lo cual se viene usando equipos de diagnóstico que se emplean de manera independiente de acuerdo a la falla; el diagnóstico de los resultados que dan estos equipos resulta en la actualidad complejo ya que al mostrar parámetros independientes se puede pasar por alto algún otro fallo que se presente. Es primordial el uso de equipos de diagnóstico automotriz que permitan la lectura de diferentes parámetros de funcionamiento en tiempo real facilitando el análisis en conjunto de los sensores de sincronización y sistemas auxiliares a la misma.

El problema planteado en este estudio es: ¿Cuáles son los fallos más comunes en los sensores de sincronización? En este contexto, es necesario estudiar este tipo de sensores ya que son indispensables para el funcionamiento de un MEC.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Interpretar las señales de sensores de sincronización de motores de encendido por compresión para la identificación de fallas.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Investigar bibliográficamente acerca de los sensores CMP Y CKP en un motor de encendido por compresión.
2. Conocer el principio de transducción de los sensores CMP Y CKP para verificar los parámetros de funcionamiento.
3. Simular las señales de los sensores CMP Y CKP mediante el equipo Bosch FSA 740 para realizar el diagnóstico con los datos obtenidos.
4. Analizar las gráficas que emiten los sensores CMP y CKP mediante el equipo de diagnóstico automotriz, para verificar las fallas más comunes como detonaciones fuera de tiempo, aparición de la luz MIL y ausencia de encendido del motor.

## **1.4. Justificación**

Desarrollar este estudio es importante para verificar el comportamiento apropiado de los sensores de sincronización de un motor de encendido por compresión, pues existe la necesidad de contar con un generador de señales de pruebas de sensores para la identificación rápida y segura de defectos, comprobando que los sensores se encuentren dentro de los parámetros apropiados de funcionamiento que incluyen magnitudes específicas de voltaje, resistencia, frecuencia e intensidad ya que de esta depende el óptimo funcionamiento de los sensores.

En base a la electrónica y de software informático se tiene la posibilidad de simular señales que requieren la unidad de control electrónica (ECU), por lo tanto, permiten realizar el control del funcionamiento en el MEC por compresión, en este contexto, en el

estudio se analizarán los sensores rotacionales de posición o también conocidos como sensores de sincronización los mismos que son CMP y CKP además de verificar las conexiones correctas del circuito principal ya que esto permitirá tener un correcto y controlado funcionamiento de la (ECU) y de los sistemas adyacentes a la misma.

Para esto se puede contar con un equipo que tiene como objetivo el análisis completo de sistemas vehiculares con una innovadora prueba de sensores como es el equipo Bosch FSA 740, siendo esta una herramienta versátil y didáctica para el análisis de sensores y actuadores en un MEC

Por otro lado, esta investigación se encuentra alineada con el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida respecto a dos ejes muy importantes: 1) Derechos para todos durante toda la vida y 2) Economía al servicio de la sociedad. Dentro del primer eje el estudio se relaciona con el objetivo tres: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones; el literal 3.4 establece lo siguiente: Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global. Con este proyecto se pretende reducir la contaminación generada por los sensores de uso tradicional y contribuir al mejoramiento de la calidad de aire en la ciudad de Ibarra (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

Además, dentro del eje dos, el objetivo cinco señala lo siguiente: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria; en el literal 5.2 establece: Promover la productividad, competitividad y calidad de los productos nacionales, como también la disponibilidad de servicios conexos y otros insumos, para generar valor agregado y procesos de industrialización en los sectores productivos con enfoque a satisfacer la demanda nacional y de exportación. La investigación permitirá mejorar la competitividad de la industria automotriz en el mercado nacional con la innovación constante (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

## **1.5. Alcance**

El estudio de este proyecto permitirá por medio del equipo de diagnóstico Bosch FSA 740 interpretar las diferentes señales de los sensores de sincronización de encendido de un motor de encendido por compresión, siendo estos los sensores CMP y CKP. De igual

manera se podrá conocer el principio de transducción y la clasificación de los mismos; Además, se analizarán e interpretarán las diferentes señales para el buen diagnóstico de fallas.

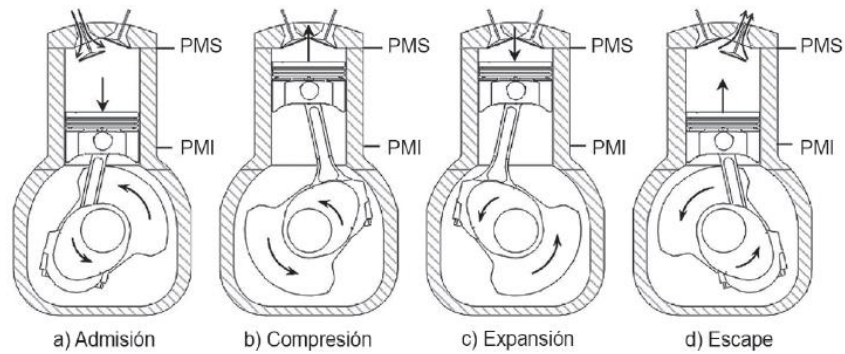
El estudio se basa en la simulación de las señales para verificar el comportamiento de los sensores en buen estado y de aquellos que se encuentren en un estado defectuoso, de esta manera se plantearán las posibles soluciones para ofrecer un correcto diagnóstico de los sensores señalados anteriormente.

Para la realización de este estudio utilizaremos el motor de la marca Mazda modelo Bt50 CRDI del año 2012, el cual someteremos a análisis mediante el equipo de diagnóstico antes mencionado verificando el comportamiento de los sensores CMP y CKP del sistema de sincronización.

## **1.6. Motores de encendido por compresión**

La combustión normal de los MEC es una combustión que se inicia mediante la autoinflamación de parte del combustible, prácticamente recién inyectado y vaporizado, y prosigue con una combustión por difusión en la que el combustible se quema conforme se continúa inyectando en la cámara de combustión (de Antonio & Munoz Dominguez, 2016a).

Con respecto a los combustibles que se pueden emplear, en el caso de los MEC tienen que satisfacer dos condiciones fundamentales. Por un lado, deben tener una cierta tendencia a la autoinflamación, que se debe traducir en cortos tiempos de retraso. Por otro lado, deben poseer ciertas características físicas que faciliten el proceso de inyección y que permitan lubricar, a su vez, el propio sistema de inyección (bombas e inyectores). Los combustibles que satisfacen ambas condiciones son los gasóleos, los fuelóleos y los ésteres de aceite vegetales y grasas. Su viscosidad beneficia a la lubricación del sistema de inyección, pero no es lo excesivamente alta como para impedir una buena atomización (de Antonio & Munoz Dominguez, 2016b).



**Figura 1.1** Esquema de funcionamiento MEC  
(de Antonio & Munoz Dominguez, 2016)

## 1.7. Sensor automotriz

### 1.7.1. Definición

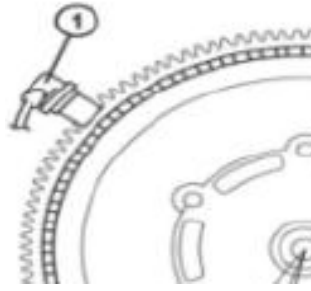
Las ventas cada vez son mayores de automóviles en todo el mundo y la aparición de nuevas tecnologías automotrices. Los sensores automotrices a bordo de los motores de combustión interna proporcionan una mejor experiencia de conducción, para lo que impulsa el crecimiento del mercado automotriz (Mohankumar et al., 2019).

Los vehículos modernos están equipados con numerosos sensores y, por lo tanto, ofrecen un grado cada vez mayor de percepción ambiental, estos sensores emiten señales eléctricas siendo esta analógica o digital en la que la ECU procesa este tipo de señales convirtiéndola en un impulso eléctrico en la que controla un actuador (Beilfuss et al., 2020).

## 1.8. Sensores de sincronización

### 1.8.1. Sensor de posición del cigüeñal (CKP)

Se ubica junto a la polea del cigüeñal, determinando su posición y velocidad de giro al detectar el número de secuencias que tiene la rueda fónica o rueda dentada. La señal obtenida por el sensor es analógica. Sirve para sincronizar la activación de las bobinas de encendido y en general para el funcionamiento del sistema de inyección. Existen tres tipos de sensores de acuerdo a su principio de funcionamiento y son: Captador inductivo, Efecto Hall y óptico tal como se muestra en la figura 1.2 (Rodrigo, 2015).



**Figura 1.2** Sensor CKP  
(Perez & Realpe, 2013)

### 1.8.2. Sensor de posición del árbol de levas (CMP)

Este sensor lee las ranuras hechas en el engrane del eje de levas para que la computadora identifique la posición de los cilindros y sincronice la activación secuencial de los inyectores. La computadora utiliza los datos de los sensores CKP y CMP para determinar la sincronización de la chispa y de los inyectores. Este sensor está ubicado al frente del motor atrás de la tapa de tiempos (AYALA et al., 2017)



**Figura 1.3** Sensor CMP tipo Hall  
(Rodrigo, 2015)

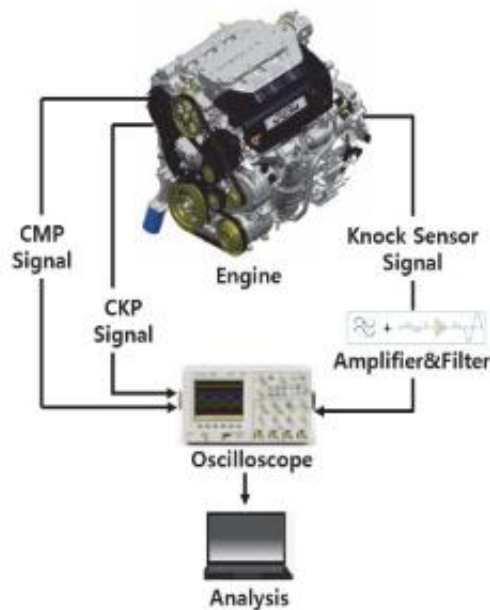
## 1.9. Sincronización de motores

### 1.9.1. Evolución

El desarrollo de nuevas tecnologías de motores y la búsqueda de combustibles alternativos para los vehículos son esenciales para hacer frente al problema de la crisis energética y la contaminación ambiental. En los últimos años, se han desarrollado muchas tecnologías nuevas para los motores de combustión interna (ICE), como la sincronización

variable de válvulas, la relación de compresión variable y la gestión térmica. La tecnología de inyección combinada tiene las ventajas de inyección de combustible en puerto (PFI) e inyección de dirección (DI); mientras tanto, esta tecnología puede optimizar la combustión de la mezcla aire/combustible, y reducir las emisiones de los ICE (Sun et al., 2021).

Las tecnologías de detección tradicionales consisten en dispositivos y potenciómetros de efecto Hall. Los sensores basados en dispositivos de efecto Hall exhiben un desgaste relativamente bajo y excelentes cualidades de señal. Sin embargo, los potenciómetros exhiben una mejor flexibilidad mecánica y también es una tecnología de detección madurada rentable. Las otras tecnologías de detección incluyen la detección inductiva, que combina los beneficios del efecto Hall y las tecnologías de detección potenciométrica (Mohankumar et al., 2019).

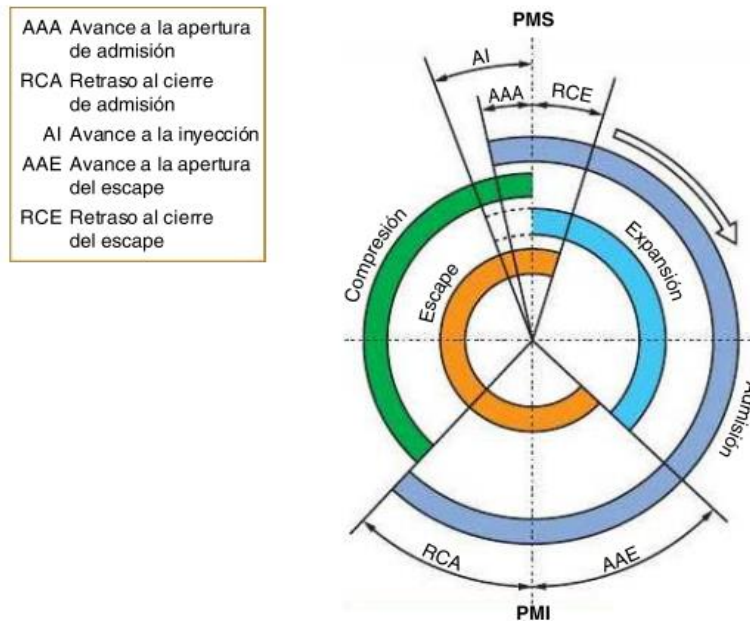


**Figura 1.4** Diagrama sistemático de análisis de sensores CKP, CMP, y sensor de golpeteo.  
(Hyun & Cheol, 2021)

### 1.9.2. Definición

Definir la sincronización de un motor MEP con exactitud es determinar la posición del primer pistón, sincronizándose en conjunto el sensor del árbol de levas con el sensor del

cigüeñal. El trabajo de ambos sensores ofrece una señal combinada a la ECU para que esta identifique el punto muerto superior del cilindro número uno. El sensor de posición del árbol de levas envía una señal a la ECU y esta es usada para sincronizar el instante preciso de activación y la secuencia de los inyectores (Sarmiento et al., 2021).



**Figura 1.5** Diagrama de distribución diésel (Sanz Acebes, 2007)

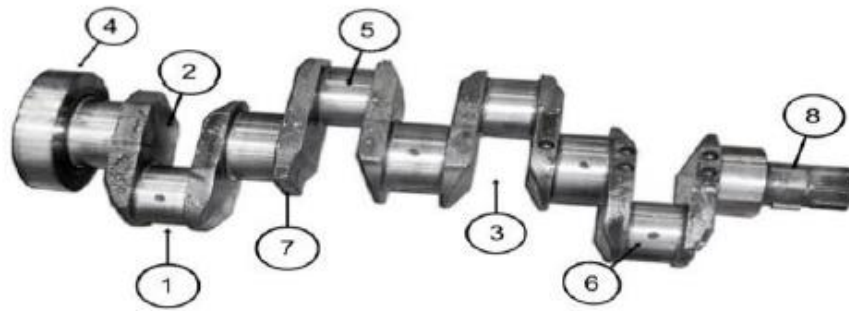
## 1.10. Elementos que intervienen en la sincronización de motores

### 1.10.1. Cigüeñal

El cigüeñal es una de las piezas más importante de un motor de combustión interna, tiene la función de convertir el movimiento lineal alternativo del pistón, producido por la presión de los gases de combustión y por intermedio de la biela en movimiento circular uniforme como se muestra en la figura 1.6 (Ing. Kemipizulu, 2010).

Este se cataloga como receptor final de las características de una combustión progresiva y de gran fuerza a bajo número de vueltas. El cigüeñal es la parte que se encarga de recibir la fuerza que se produce en la cabeza del pistón, fuerza que es transmitida a través de una biela (Otero, 2017).





**Figura 1.6** Representación gráfica de las partes del cigüeñal (Otero, 2017)

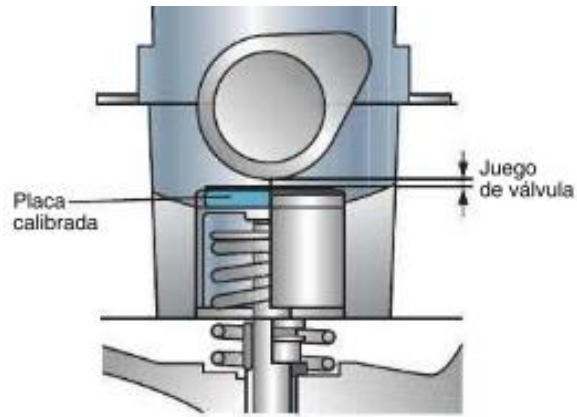
**Tabla 1.1** Partes del cigüeñal

NÚMERO	NOMBRE
1	Muñón de biela
2	Contrapeso
3	Extensión que ocupa la biela acoplada en los muñones
4	Muñones de bancada
5	Agujero de lubricación
6	Muñón de biela
7	Contrapeso
8	Lado del eje que indica el frente del motor

**Fuente:** (Otero, 2017)

### 1.10.2. Árbol de levas

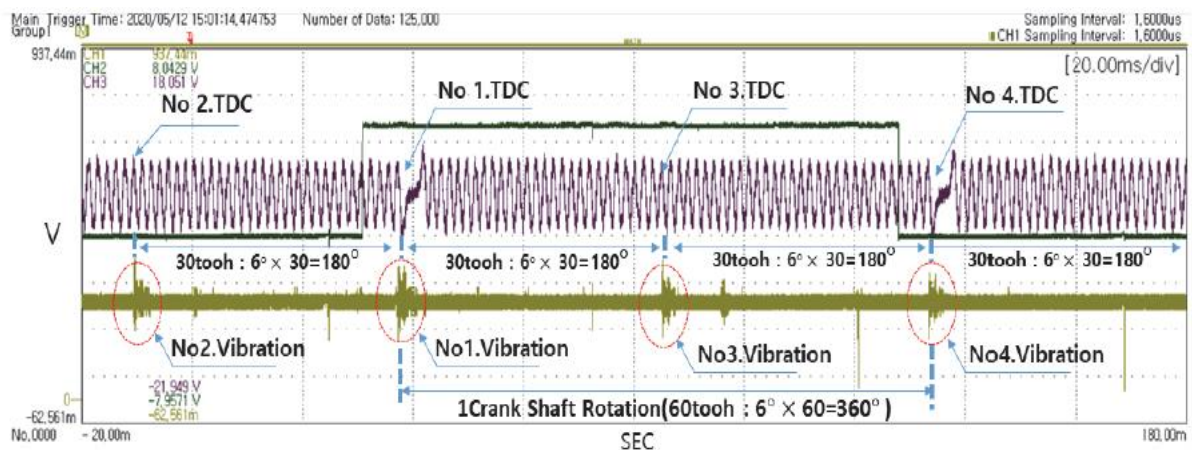
La función principal del mecanismo de levas es el de transformar movimiento rotacional en movimiento de translación. El mecanismo de las levas, aunque simple, ha sido la esencia del movimiento del motor de combustión interna, como se muestra en la figura 1.7. Unidas gracias a la incorporación de un árbol, éstas son capaces de sincronizar el movimiento de apertura y cierre de las válvulas de la manera más precisa para que se genere la mayor potencia posible durante la explosión en la cámara de combustión (Juncá, 2017).



**Figura 1.7** Representación gráfica del accionamiento del árbol de levas sobre las válvulas  
(Sanz Acebes, 2007)

### 1.11. Objetivo de la sincronización

El punto muerto superior (PMS) del cilindro 1 se puede detectar a través de la coincidencia del tiempo que la señal CMP se mantiene alta y el tiempo que la señal CKP se mantiene en el punto de referencia (diente faltante), y a través de la secuencia de encendido (1-3-4-2), Dado que cada pulso de CKP es de  $6^\circ$ , 30 pulsos indican  $180^\circ$ , y de acuerdo con esto, se genera periódicamente la vibración de explosión del motor tal como se muestra en la figura 1.8 (Hyun & Cheol, 2021).

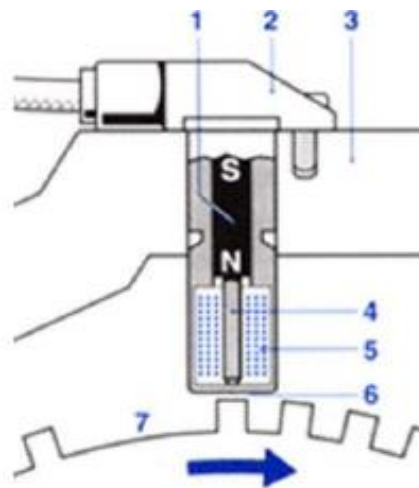


**Figura 1.8** Señales CMP, CKP y NOCK SENSOR  
(Hyun & Cheol, 2021)

## 1.12. Clasificación de sensores de sincronización

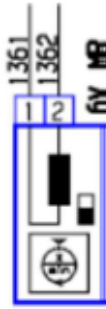
### 1.12.1. Sensor inductivo

Los sensores de sincronización de tipo inductivo se utilizan para determinar la velocidad del motor y la posición TDC. Esta información se transmite a la ECU del motor con el fin de determinar el avance de la chispa, la carga de la bobina y el índice y la cantidad de gasolina que se inyectará, y para controlar la velocidad de ralentí. El principio físico relativo a la producción de una tensión inductiva se basa en la variación del campo magnético a lo largo del tiempo, como se muestra en la figura. Para nuestra aplicación, se crea una variación en el campo magnético cuando una corona dentada ferromagnética gira frente al sensor. Esta variación induce una corriente alterna (señal de onda sinusoidal) en el devanado. La frecuencia y la amplitud de esta señal son proporcionales a la velocidad de rotación del cigüeñal o el árbol de levas (Exxotest, 2017).



**Figura 1.9** Sensor inductivo de sincronización  
(Exxotest, 2017)

Los sensores magnéticos de posición de cigüeñal generan una señal senoidal hacia el módulo de control del motor, al contrario de los sensores de efecto hall los magnéticos no necesitan de corriente para funcionar, ellos generan corriente por si solos, en la gran mayoría podemos diferenciar los magnéticos de los de efecto Hall por la cantidad de líneas que salen de ellos, los magnéticos tienen 2 líneas como se muestra en la figura 1.10 y los de efecto hall tienen 3, aun así no debemos confiarnos pues también existen magnéticos que poseen 3 líneas (De La Ossa & Zapata, 2017).

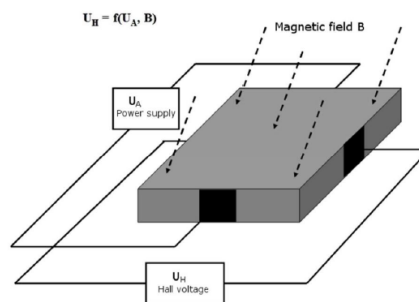


**Figura 1.10** Diagrama sensor inductivo  
(Exxotest, 2017)

### 1.12.2. Sensor efecto Hall

El Efecto Hall se genera por medio de una delgada placa metálica a la que se le aplica una tensión de alimentación ( $U_A$ ). Cuando esta placa se somete a un campo magnético  $B$ , una parte de la corriente de suministro se desvía, lo que da como resultado un voltaje Hall ( $U_H$ ) como se muestra en la figura 1.11 (Exxotest, 2017).

Esta placa, a la que el circuito aplica tensión, es atravesada por el campo magnético en dirección perpendicular. Cuando aparece un diente delante de la placa, el flujo de electrones es desviado por la variación del campo magnético, creando una diferencia de potencial del orden de unos pocos milivoltios. El circuito amplifica y convierte esta señal en una señal de "onda cuadrada" que puede ser procesada directamente por la ECU(Exxotest, 2017).



**Figura 1.11** Sensor efecto Hall  
(Exxotest, 2017)

### 1.12.3. Sensores ópticos

Por lo general estos sensores de posición ópticos van montados dentro de los distribuidores y utilizan un diodo LED, una foto diodo y una placa con ranuras para determinar la posición y velocidad del cigüeñal (De La Ossa & Zapata, 2017).

## 1.13. Diagnóstico de sensores de sincronización

### 1.13.1. Códigos de falla relacionados al sensor CKP

El sensor de tipo inductivo CKP por lo general está situado en la parte posterior, sobre el volante de inercia. El pulso rueda se instala en la masa primaria del volante, y tiene 58 proyecciones con un espacio de 6 ° de ángulo del cigüeñal entre cada proyección. Un espacio de 18 ° define una determinada posición del cigüeñal (Perez & Realpe, 2013).

**Tabla 1.2** Listado de códigos de falla sensor CKP tipo inductivo

<b>CÓDIGO</b>	<b>FALLA</b>
<b>P0335</b>	Circuito sensor de posición del cigüeñal
<b>P0339</b>	Circuito intermitente del sensor de posición del cigüeñal

**Fuente:** (Perez & Realpe, 2013)

### 1.13.2. Diagnóstico de códigos de fallo del sensor CKP tipo inductivo

- Cortos en el circuito por conexión incorrecta.
- Calibración entre el diente y el sensor incorrecta (entre 0.05mm y 1.5mm)
- Presencia de elementos ferrosos en el imán del sensor.  
Volante de inercia flojo.

### 1.13.3. Códigos de fallas relacionados al sensor CMP tipo Hall

El sensor CMP trabaja bajo las condiciones de efecto hall el cual actúa mediante un diente magnético u discos metálicos que al momento de pasar por ellos la acción magnética los desvía en ángulo recto causando la primera señal determinando que el pistón está la fase de compresión (Perez & Realpe, 2013).

**Tabla 1.3** Listado de códigos de falla sensor CMP tipo Hall

<b>CÓDIGO</b>	<b>FALLA</b>
<b>P0335</b>	Circuito del sensor de posición del cigüeñal
<b>P0339</b>	Circuito intermitente del sensor “A” del cigüeñal
<b>P0340</b>	Circuito del sensor de posición del árbol de levas banco “1” o sensor sencillo

**Fuente:** (Perez & Realpe, 2013)

### 1.13.4. Diagnóstico de códigos de fallo del sensor CMP

Según (Perez & Realpe, 2013), denota los diagnósticos puestos a continuación:

- Cortos en el circuito por conexión incorrecta.
- Eje de levas torcido.
- Presencia de elementos ferrosos en el imán del sensor.
- Desajuste en las bancadas del eje de levas.

### 1.13.5. Falla de sensores de sincronización

Al presentar códigos de fallas relacionados a los sensores de sincronización enfrentará diferentes síntomas principalmente en el encendido del motor en la cual se detallará a continuación

### **1.13.6. Fallas sensores CKP**

Según (Perez & Realpe, 2013), denota las fallas más comunes del sensor CKP, puestos a continuación:

- Detonaciones incorrectas en la cámara de combustión.
- El motor no arranca.
- Tirones repentinos del motor.
- Corte de encendido del motor (se apaga).
- Señal de falla.

### **1.13.7. Soluciones a posibles fallas del sensor CKP**

Según (Perez & Realpe, 2013), denota las posibles soluciones a las fallas del sensor CKP, que son:

- Limpiar la zona del sensor.
- Calibrar el taque entre el sensor y un diente de la cinta.
- Comprobar continuidad.
- Limpiar terminales y realizar el apriete correcto.
- Revisar que el volante de inercia tenga el apriete adecuado.

### **1.13.8. Fallas sensores CMP**

Según (Perez & Realpe, 2013), denota las fallas más comunes del sensor CMP, puestos a continuación:

- Detonaciones.
- Cascabeleo
- Retraso o adelanto de la combustión
- Señal de falla.

### **1.13.9. Soluciones a posibles fallas del sensor CMP**

Según (Perez & Realpe, 2013), denota las posibles soluciones a las fallas del sensor CMP, que son:

- Limpiar la zona del sensor.
- Comprobar el voltaje de señal.
- Comprobar continuidad de cables.
- Limpiar terminales y realizar el apriete correcto.
- Revisar que el eje de levas tenga el apriete adecuado.
- Revisar apriete de taque de válvulas.



## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Metodología de la investigación**

En el siguiente capítulo se explica la metodología de investigación utilizada para desarrollar el tema propuesto, sobre la sincronización en motores diésel, tomando en cuenta que se necesita de dos señales importantes como es la del sensor CMP en el árbol de levas y el sensor CKP en la rueda dentada del cigüeñal para el encendido del motor, y así cumplir con los parámetros establecidos en los objetivos del tema. A través de la investigación bibliográfica se recopila información certificada sobre temas relevantes que contribuyen al tema propuesto.

Mediante la elaboración de un diagrama de flujo, con los procesos a realizar, se pueden lograr los resultados, siguiendo un proceso secuencial ordenado con ayuda del método experimental. Con el fin de proporcionar una explicación detallada mediante la interpretación analítica al final de cada proceso.

La presente investigación necesita varios tipos de investigación, ya que esta cuenta con información bibliográfica, en la que recoge diferente información certificada acerca de la sincronización en motores a diésel, además cuenta con proceso práctico para la obtención de datos acerca de los sensores encargados de brindar información acerca de la sincronización entre árbol de levas y cigüeñal, finalmente obtener información acerca de estos procesos para un análisis posterior a la misma. Los procesos se definirán mediante un flujograma garantizado que este sea la forma más eficaz de llegar a los resultados requeridos.

#### **2.1.1. Enfoque investigativo**

El enfoque de la presente investigación es explicar las posibles fallas de encendido en motores diésel a la hora de arrancar el mismo, tomando como referencia a la sincronización de encendido del motor, por lo tanto, es necesario tener conocimiento e información sobre los sensores que actúan directamente en los puntos de sincronización de los motores y así poder emulará posibles fallas que afecten al mismo. Mediante el equipo de diagnóstico Bosch FSA-740 se obtendrá diferentes oscilogramas que permitirá

analizar el comportamiento del motor y los sensores de sincronización durante el encendido.

### **2.1.2. Tipos de investigación**

El siguiente trabajo de estudio utilizó una investigación documental, ya que esta cuenta con libros, revista, folletos y artículos con certificación científica o académica asegurando una fuente confiable para concluir con el proyecto.

Para la realización de los procesos técnicos se realizó una investigación tecnológica experimental, en la que mediante la información obtenida en el marco lógico acerca del funcionamiento de los sensores de sincronización se pudo definir la instalación de elementos externos a los sensores, modificando variables de distancia y resistencia hasta obtener una distorsión en la señal. El uso del equipo de diagnóstico FSA 740 permitirá observar los cambios de los oscilogramas según el parámetro establecido en cada una de las pruebas experimentales del proyecto. Una vez obtenido los datos deseados mediante una investigación analítica explicativa se debe comparar resultados obtenidos después de una simulación de falla catastrófica en la que impide la combustión del motor, explicando de él porque existe este tipo de problemática en los sensores de sincronización de un motor MEC.

## **2.2. Materiales y equipos**

A continuación, se da a conocer los materiales y equipos para el desarrollo del presente proyecto, con la finalidad de obtener información e interpretar las señales de los sensores de sincronización de motores de encendido por compresión para la identificación de fallas los mismos que son:

- Banco motor (Mazda BT50)
- Equipo de diagnóstico BOSH FSA 7-40
- Multímetro Bosch MMD 540 híbrido

### 2.2.1. Banco motor Mazda BT50

A continuación, se muestra la ficha técnica general del banco de pruebas de un MEC de la marca Mazda modelo BT50, especificando información importante sobre las características del motor para la interpretación de señales de los sensores de sincronización, misma información que será usada para desarrollar las diferentes pruebas establecidas en el proyecto.



**Figura 2.1** Banco motor Mazda Bt50

**Tabla 2.1** Información banco motor

#### BANCO MOTOR

<b>MARCA</b>	Mazda
<b>MODELO</b>	BT50
<b>Nº CILINDROS</b>	4
<b>CILINDRADA</b>	2499 cm <sup>3</sup>
<b>TIPO DE INYECCIÓN</b>	CRDi
<b>TIPO DE ENCENDIDO</b>	MEC
<b>AÑO DE FABRICACIÓN</b>	2012

### **2.2.2. Equipo de diagnóstico BOSCH FSA 740**

El analizador de sistemas de vehículo FSA 740 es un equipo de comprobación de estructura modular para la técnica de comprobación en los talleres de automóviles, el equipo de diagnóstico registra las señales específicas del vehículo y las transfiere a un PC basado en Windows, a través de la interfaz USB, el software de sistema FSA contiene las siguientes funciones:

- Pasos de prueba (comprobación de motores Otto y motores diésel).
- URI.
- Generador de señales (p. ej. para la comprobación de sensores).
- Prueba de componentes (comprobación de componentes de vehículo).
- Inscriptor de características.
- Osciloscopio universal.



**Figura 2.2** Equipo Bosch FSA 740

### 2.2.2.1. Datos técnicos osciloscopio

**Tabla 2.2** Osciloscopio Bosch FSA 740

<b>FUNCIONES DE MEDICIÓN</b>	<b>ÁREAS DE MEDICIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
------------------------------	--------------------------	--------------------

<b>TENSIÓN SECUNDARIA</b>	5kV – 50kV	Transmisor de valor de medición secundario
<b>TENSIÓN PRIMARIA</b>	5V – 500V	Cable de conexión primario
<b>TENSIÓN</b>	200 mV – 200V 5V – 500V	Cable de medición multi CH1 / CH2 Cable de medición con divisor de tensión
<b>ACOPLAMIENTO CA</b>	200 mV – 5V	Cable conexión B+/B-
<b>CORRIENTE</b>	2A 5A 10A 20A 30 <sup>a</sup>	Pinzas de corriente 30A
<b>CORRIENTE</b>	50A 100A 200A 1000 <sup>a</sup>	Pinzas de corriente 1000A

Fuente: (Bosch, 2018)

### 2.2.3. Multímetro Bosch MMD 540 híbrido

#### 2.2.3.1. Especificaciones generales

El instrumento cumple con la norma IEC 1010-1 EN61010-1, cuenta con aislamiento clase 2, es decir doble aislamiento. La categoría para sobrevoltaje es CATIII1000V/CATIV600V, tiene una pantalla LCD de 4000 puntos con indicación de función, polaridad automática con indicación de polaridad negativa (-). Además, cuenta con aviso sobre límite en la cual es una indicación con símbolo “OL”, indicación de batería baja esta muestra “BAT” cuando el voltaje de la batería está por debajo del nivel

de operación. Su tasa de lectura promedio es de 2 veces por segundo nominal. El multímetro se apaga automáticamente después de aproximadamente 30 minutos de inactividad, su medio de operación es de 0° C a 50° C (32° F a 122° F) con <70% de humedad relativa. Mientras que su temperatura de almacenamiento es de -20° C a 60° C (-4° F a 140° F) con <80% de humedad relativa. Su tamaño es de 182 mm (alto) x 82 mm (ancho) x 55 mm (profundidad) y un peso aproximado de 375 g. Tiene un grado de contaminación de calificación 2, ya que este usa una batería de 9 V, NEDA 1604, IEC 6F22 (Bosch, 2010).



**Figura 2.3** Multímetro Bosch MMD 540 híbrido  
(Bosch, 2010)

## **2.3. Procesos metodológicos**

### **2.3.1. Introducción**

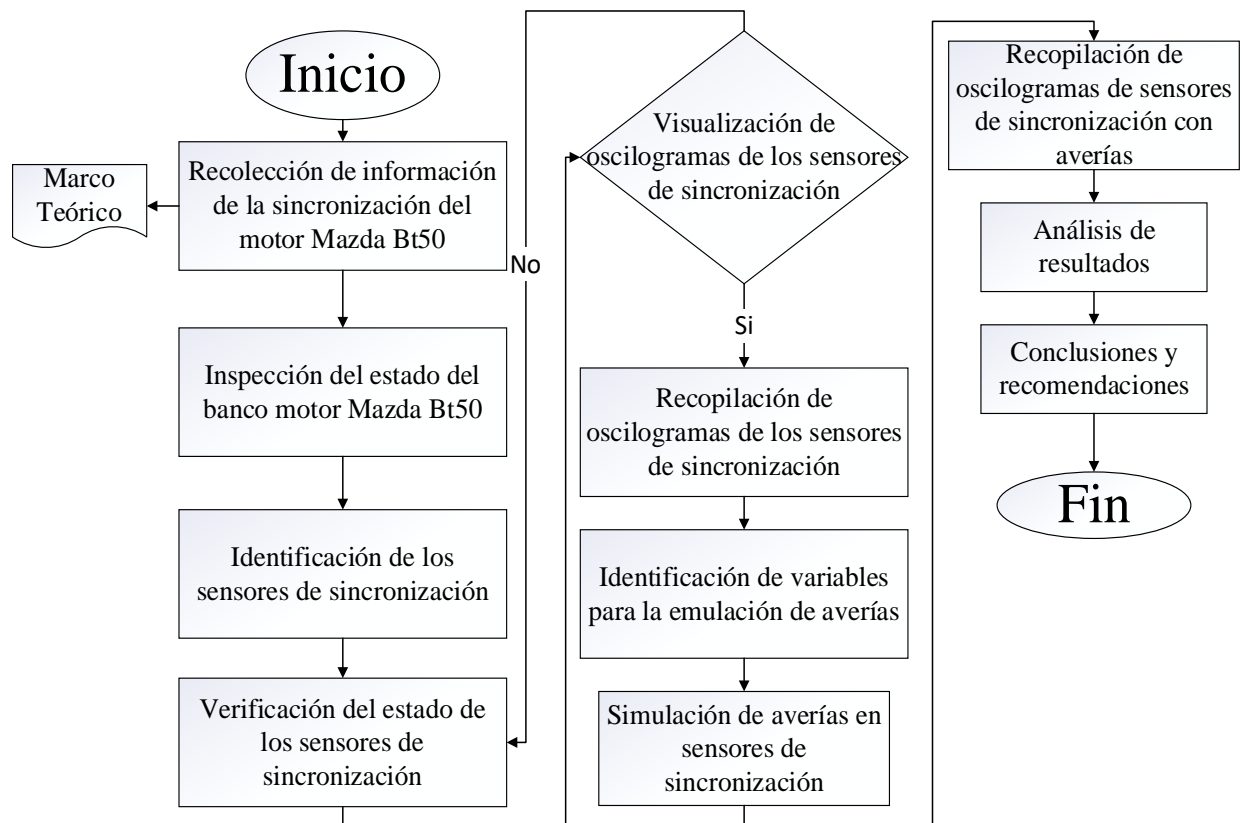
El proceso metodológico utilizado se detalla en la figura 2.7, dando a entender que es el proceso adecuado para llegar a la interpretación de las señales emitidas por los sensores de sincronización con el fin de identificar fallas y lograr recopilar información acorde a los procesos planteados para sustentar las variables establecidas durante el diagnóstico con fallas en los sensores de sincronización.

La investigación se manejará de manera experimental ya que se cambiará algunas variables sobre el correcto funcionamiento, simulando posibles fallas de los sensores de sincronización del motor Mazda Bt50, con la finalidad de ver los cambios que extiende en los oscilogramas de cada uno de los sensores y analizar la permanencia de las fallas.

Este tendrá como objetivo principal recolectar datos acerca de posibles fallas de los sensores CMP y CKP existentes en el banco motor de la Mazda Bt50 para su respectivo análisis de funcionamiento, aplicando diferentes variables para la simulación de fallas y

verificar los cambios que tiene a la hora de encender el motor, logrando así analizar el límite que nos permite para que el motor encienda.

Para la recolección de datos utilizaremos el equipo de diagnóstico de la empresa Bosch que mediante su hardware y software FSA 740, permitirá recolectar información en tiempo real de los sensores CMP y CKP los mismos que se analizarán durante el presente proyecto.



**Figura.2.4** Flujograma de proceso metodológico

## 2.4. Condiciones de prueba

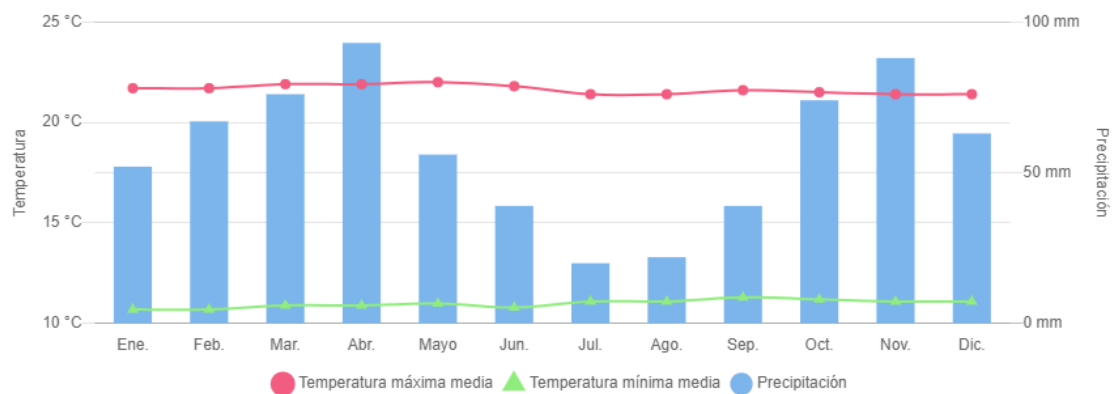
### 2.4.1. Régimen de prueba

Los sensores de sincronización emiten señales que son esenciales en el arranque del motor MEC, ya que este marca en qué punto se encuentran los elementos de sincronización que son el cigüeñal y el árbol de levas, para lo cual para realizar las pruebas de obtención de señales de estos sensores, el motor debe mantener un ralentí estable (800 RPM) en

pruebas con el sensor en buen estado, de igual manera se lo debe realizar en emulaciones de fallas no catastrófica o que impidan el arranque de la misma mientras que en pruebas con sensor en simulación de falla catastrófica de debe de realizar las pruebas a la velocidad máxima obtenida por el motor de arranque que estará rodeando las 800 RPM.

### 2.4.2. Temperatura del motor

Las pruebas de obtención de oscilogramas de las señales emitidas de los sensores de sincronización del motor Mazda Bt50 son realizadas en la provincia de Imbabura cantón Ibarra, en las que se trabajó bajo condiciones de presión atmosférica de 569 mmHg, este cuenta con una altitud de 2207 m s. n. m. y una temperatura promedio de 18° C. todas las pruebas son realizadas cuando el líquido refrigerante se encuentra en temperatura ambiente.



**Figura 2.5** Clima Ibarra año 2022

Fuente: [www.meteoprog.com/es/weather/Ibarra/](http://www.meteoprog.com/es/weather/Ibarra/)

### 2.4.3. Combustible

El combustible utilizado en el MEC utilizado en el presente estudio usó diésel 1 suministrado localmente según normas INEN en la que estipulan un punto de inflamación de 40° C según la norma INEN 1493, este tiene el 0.05% de agua y sedimentos según la norma INEN 1494, su temperatura de destilación del 90% es a los 288° C según la norma INEN 926, finalmente tiene un porcentaje de azufre del 0.3% según la norma INEN 1490 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).



#### **2.4.4. Aceite motor**

El aceite usado en el motor de estudio es un aceite de la marca VALVOLINE de SAE 15w40, este cuenta con una densidad de  $0.85 \text{ g/cm}^3$ , además tiene zinc con un valor de 1250 ppm, y el índice de fosforo de 1140 ppm (VALVOLINE, 2021).

### **2.5. Sensor de posicionamiento del cigüeñal (CKP)**

#### **2.5.1. Funcionamiento del sensor CKP**

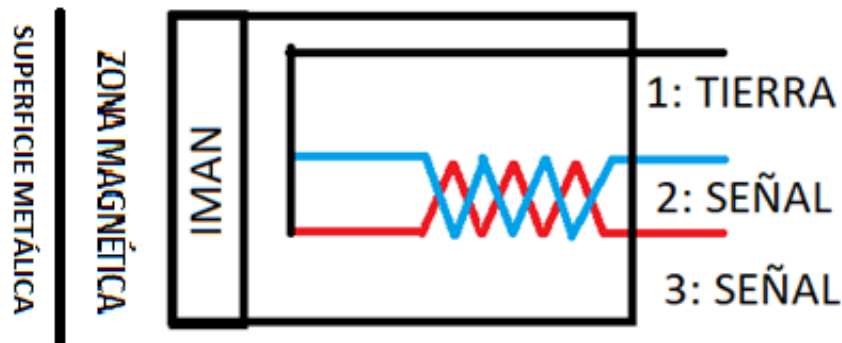
El sensor CKP se encuentra ubicado a un costado del volante de inercia del cigüeñal en la que cuenta con una superficie metálica separada en segmentos, un de estas tendrá una superficie de mayor magnitud que las demás siendo el punto exacto en la que advierte que el pistón del cilindro uno llega al punto muerto superior y comenzar la combustión de este cilindro.



**Figura 2.6** Sensor CKP (ubicación)

#### **2.5.2. Parámetros de funcionamiento**

El sensor CKP permite tener datos de posición del cigüeñal para que la unidad de control electrónica o ECU procese y envíe señales de activación hacia los actuadores de inyección de combustible teniendo como referencia el primer cilindro. El sensor CKP es un sensor magnético en la que absorbe el campo magnético de una superficie metálica y esta es enviada mediante un pin de señal hacia la ECU como se muestra en la figura, la señal emitida por este sensor es una señal análoga en la que depende la altura y tiempo de paso para emitir una señal.



**Figura 2.7** Diagrama sensor CKP

### 2.5.3. Pines del sensor CKP

El sensor de sincronización del cigüeñal de la marca Mazda modelo Bt50 cuenta con tres pines de conexión, en la que mediante el uso del multímetro automotriz se determinará la función de cada pin, ya que como se muestra en el literal 2.5.2. este cuenta con tres pines a identificar, dos pines de señal que son receptadas por la ECU y un pin que se comunica a la tierra del motor.

Para fines de investigación se determinó un número para cada pin, siendo el cable de color café y amarillo con el pin número 1, el cable azul con el pin número 2, el cable verde con el pin número 3, como se indica en la figura 2.8.



**Figura2.8** Identificación de pines del sensor CKP

Una vez identificado la funcionalidad de cada pin observado en el diagrama del banco motor Mazda Bt50, se procederá mediante el uso de la función continuidad se verificará que el cable de tierra del pin 1 procede a conectar con el pin 94 de la ECU, además que el pin azul de señal procede a conectar con el pin 93 y finalmente el pin 92 se conecta al pin 3 del sensor como indica la tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Descripción de pines del sensor CKP

PIN CKP	COLOR CABLE	PIN ECU	DESCRIPCIÓN
1	Café – amarillo	94	Tierra
2	Azul	93	Señal
3	Verde	92	Señal

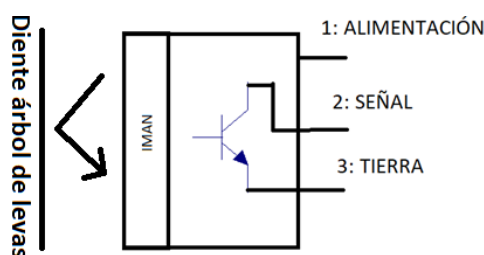
## 2.6. Sensor de posicionamiento del árbol de levas (CMP)

### 2.6.1. Funcionamiento del sensor CMP

El sensor CMP se encuentra ubicado a un costado del piñón del árbol de levas en la que igual al CKP cuenta con una zona dentada, pero a diferencia cuenta con un diente que tiene una magnitud considerable el resto es de superficie plana, el voltaje en el pin de señal tiene un voltaje que es conmutada por medio de una transistor hacia el pin de tierra, este se activa por medio de rebote de señal magnética que esta constante en el pin de alimentación, esta señal rebotará siempre y cuando haya un superficie frente al imantado que en el caso del árbol de levas es el diente existen en la piñón, por esta razón la señal resultante es una señal cuadrada.

### 2.6.2. Parámetros de funcionamiento

El sensor CMP permite tener datos de posición del árbol de levas para que la unidad de control electrónica o ECU procese y envíe señales de activación hacia los actuadores de inyección de combustible teniendo como referencia el primer cilindro. El sensor CMP es un sensor efecto Hall teniendo una señal digital en el pin de señal, la ECU procesa la señal obtenida mediante código binario es decir 1 significa paso del diente del piñón del árbol de levas y 0 la ausencia de la misma como se puede ver en la figura 2.9.

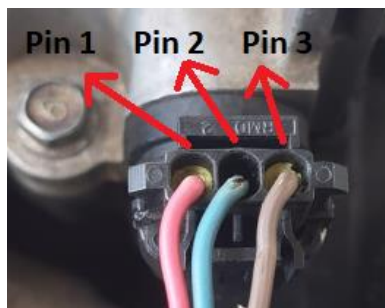


**Figura 2.9** Identificación de pines del sensor CMP

### 2.6.3. Pines del sensor CMP

El sensor de sincronización del árbol de levas de la marca Mazda modelo Bt50 cuenta con tres pines de conexión, en la que mediante el uso del multímetro automotriz se determinará la función de cada pin, ya que como se muestra en el literal 2.6.2 de esta investigación cuenta con tres pines a identificar, un pin de señal que es receptada por la ECU, un pin de alimentación y un pin de tierra del motor.

Para fines de investigación se determinó un número para cada pin, siendo el cable de color rojo el pin número 1, el cable azul con el pin número 2, el cable café con el pin número 3, como se indica en la figura 2.10.



**Figura 2.10** Identificación de pines del sensor CKP

Una vez identificado la funcionalidad de cada pin observado en el diagrama del banco motor Mazda Bt50, procedemos mediante el uso de la función continuidad verificamos que el pin 14 de la ECU, además que el pin 2 de señal procede a conectar con el pin 60 y finalmente el pin 29 se conecta al pin 3 del sensor como indica la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Descripción de pines del sensor CMP

<b>PIN CKP</b>	<b>COLOR CABLE</b>	<b>PIN ECU</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>1</b>	Rojo	14	Tierra
<b>2</b>	Azul	60	Señal
<b>3</b>	Café	29	Alimentación

## **2.7. Simulación de defectología**

Para la simulación de fallas de los sensores es necesario dictaminar que pin del sensor será modificado hasta llegar a una falla crónica en la cual impida el encendido del motor, por lo que será necesario realizar una tabla estipulando los rangos de la variable a modificar, esta variable será puesto de acuerdo con el tipo de sensor a analizar.

### **2.7.1. Defectología sensor CKP**

Para el análisis de la defectología del sensor CKP se debe de partir en que magnitud afecta directamente para tener un cambio en la señal del sensor, mediante una inspección visual de puede observar que el sensor CKP y la rueda dentada existe una distancia 3 mm, esta medida fue obtenida midiendo con un calibrador pie de rey por lo que se dictamina un aumento en la magnitud de esta distancia detallado en la tabla 2.5.

Para la obtención de datos del sensor CKP en la simulación de falla uno, se procede a instalar una rodela con calibración de 1 mm en la base del sensor, así dando como resultado un distancia de 4 mm a la distancia existente entre sensor y la zona dentada, después se debe realizar el mismo proceso de la obtención datos sin fallas, precedentemente se debe de enlazar el sensor con el equipo de diagnóstico se procede a realizar un arranque al motor esperando a tener una falla en la señal resultante mediante la comparación de señales con el sensor en buen estado.

Para la obtención de datos del sensor CKP en la simulación de falla dos, se procede a instalar dos rodela con calibración de 1 mm en la base del sensor, así aumentando 2mm a la distancia existente entre sensor y la zona dentada, después se debe realizar el mismo proceso de la obtención datos sin fallas, después de enlazar el sensor con el equipo de diagnóstico se procede a realizar un arranque al motor esperando a tener una falla en la señal resultante mediante la comparación de señales con el sensor en buen estado.

Para la obtención de datos del sensor CKP en la simulación de falla tres, se procede a instalar tres rodela con calibración de 1 mm en la base del sensor, así aumentando 3 mm a la distancia existente entre sensor y la zona dentada, después se debe realizar el mismo proceso de la obtención datos sin fallas estipuladas en el inciso anterior, después de enlazar el sensor con el equipo de diagnóstico se procede a realizar un arranque al motor

esperando a tener una falla en la señal resultante mediante la comparación de señales con el sensor en buen estado.

**Tabla 2.5** Determinación de la variable distancia sensor CKP

PARÁMETROS	DISTANCIA (MM)
ESTÁNDAR	3
FALLA 1	4
FALLA 2	5
FALLA 3	6 (falla catastrófica)

Para la simulación de fallas del sensor CKP se considera la variable de distancia entre el sensor y de la zona dentada del volante de inercia del cigüeñal del motor para lo cual mediante alzas puestas en el sensor con una calibración de 1mm por cada prueba hasta el punto en la cual el motor no encenderá por la presencia de una simulación de falla catastrófica en el sensor como se observa en la figura 2.11.



**Figura 2.11** Identificación de pines del sensor CKP

### 2.7.2. Código falla obtenido falla sensor CKP

Durante la simulación de fallas en los sensores no existió un código hasta llegar a la falla 2 en donde se obtuvo el código P0339 en la que indica un fallo en la señal del sensor por obstrucción en el sensor, o conexión deficiente en el socket del sensor, dando a entender que la variable aplicada en el sensor es exitosa para el análisis en este tipo de fallas y estipular un rango mínimo de funcionamiento como se observa en la tabla 2.6. Durante la simulación de falla número 3 también se pudo observar la presencia de la luz MIL entendiéndose que el motor tiene una falla catastrófica impidiendo el arranque.

**Tabla 2.6** Descripción de código falla sensor CKP  
**CÓDIGO DESCRIPCIÓN**

<b>P0339</b>	Voltaje errático o intermitente de sensor de sincronización
--------------	---

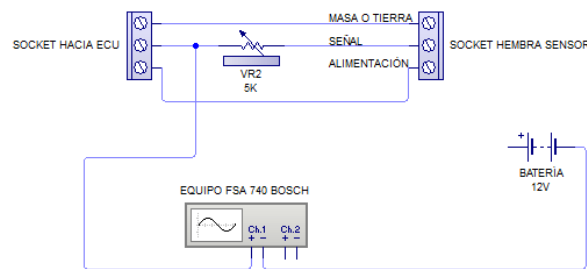
### 2.7.3. Defectología sensor CMP

Para el análisis de la defectología del sensor CMP se debe de partir en que magnitud afecta directamente para tener un cambio en la señal del sensor, mediante un análisis en el diagrama de funcionamiento de la figura 2.7 se dictamino una distorsión directa en la línea de señal entre el sensor y la ECU del motor optando por instalar un potenciómetro de 5 kΩ interfiriendo la señal emitida por el sensor para lo cual se establece los rangos de aumento de señal estipulado en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7** Determinación de la variable resistencia sensor CMP

<b>Parámetros</b>	<b>Resistencia (kΩ)</b>
Falla 1	2
Falla 2	3
Falla 3	4 (falla catastrófica)

Para la simulación de fallas del sensor CMP se considera la variable de manipulación de señal del sensor mediante la instalación de un potenciómetro, esta aplicara una resistencia de 1 kΩ por cada falla provocada, empezando una aplicación de 2 kΩ hasta llegar a una falla catastrófica en la simulación de falla número 3 impidiendo el encendido del motor. Para la instalación del potenciómetro es necesario realizar un diagrama de conexión indicada en la figura 2.12.



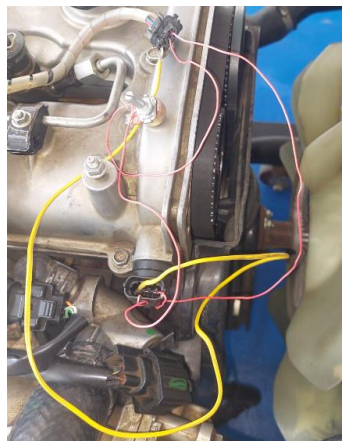
**Figura 2.12** Diagrama de instalación de potenciómetro 5 kΩ

Para la obtención de datos del sensor CMP en la simulación de falla uno, se procede a instalar el potenciómetro de 5 k $\Omega$  como indica la figura 2.13, mediante el uso del multímetro se procede a manipular el potenciómetro hasta obtener 2 k $\Omega$  como se muestra en la figura 2.14, después se debe realizar el mismo proceso de la obtención datos sin fallas para obtener el oscilograma.

Para la obtención de datos del sensor CMP en la simulación de falla dos, se procede a instalar el potenciómetro de 5 k $\Omega$  como indica la figura 2.13, mediante el uso del multímetro se procede a manipular el potenciómetro hasta obtener 3 k $\Omega$  como se muestra en la figura 2,14, después se debe realizar el mismo proceso de la obtención datos sin fallas para obtener el oscilograma.

Para la obtención de datos del sensor CMP en la simulación de falla tres, se procede a instalar el potenciómetro de 5 k $\Omega$  como indica la figura 2.13, mediante el uso del multímetro se procede a manipular el potenciómetro hasta obtener 4 k $\Omega$  como se muestra en la figura 2,14, después se debe realizar el mismo proceso de la obtención datos sin fallas para obtener el oscilograma

Para la obtención de datos del sensor CMP en la simulación de falla cuatro, se procede a instalar el potenciómetro de 5 k $\Omega$  como indica la figura 2.13, mediante el uso del multímetro se procede a manipular el potenciómetro hasta obtener 2 k $\Omega$  como se muestra en la figura 2,14, después se debe realizar el mismo proceso de la obtención datos sin fallas para obtener el oscilograma.



**Figura 2.13** Instalación de potenciómetro a 4.5 k $\Omega$



#### 2.7.4. Código de falla obtenido sensor CMP

Durante la simulación de fallas en los sensores no existió un código hasta llegar a la simulación de falla 3 en donde se obtuvo el código P0341 en la que especifica que la señal del sensor CMP no coincide con la sincronización, dando a entender que la variable aplicada en el sensor es exitosa para el análisis en este tipo de fallas y estipular un rango mínimo de funcionamiento como se observa en la tabla 2.8. Durante la simulación de falla número 4 también se pudo observar la presencia de la luz MIL entendiendo que el motor tiene una falla catastrófica impidiendo el arranque del mismo.

**Tabla 2.8** Descripción de código falla sensor CMP  
**CÓDIGO**      **DESCRIPCIÓN**

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
P0341	Fallo circuito sensor CMP

### 2.8. Proceso de pruebas CKP

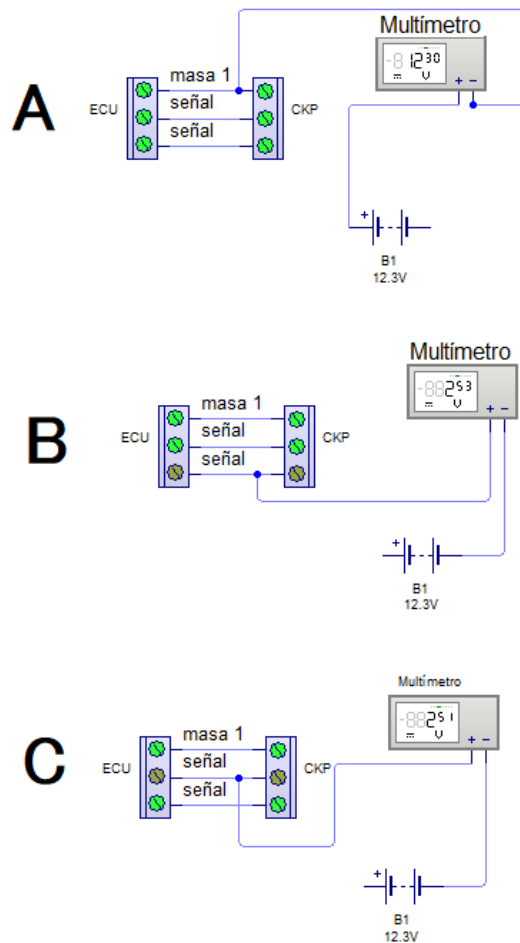
El proceso a realizar las pruebas de obtención correcta de oscilogramas del sensor CKP deben estipularse mediante la manipulación del equipo de multímetro automotriz con las características detalladas en el inciso 2.2.3., luego se debe obtener las gráficas mediante el uso del equipo FSA 740 con características estipuladas en el inciso 3.2.4., y finalmente hacer el uso del escáner automotriz del equipo antes mencionado.

#### 2.8.1. Multímetro

Para sacar el valor de los voltajes de cada pin se procede a poner el banco motor en contacto en donde el valor del pin 1 con positivo de batería se pudo denotar que marcó 12.3 V siendo este el voltaje real de batería, asumiendo el bueno estado de los cables existentes en el sensor como se observa en el diagrama A de la figura 2.14.

Una vez obtenido el cable de tierra del sensor se procede a medir los voltajes del pin 2 y 3 con el pin 1 en la que se obtuvo un valor menor a 5 V determinando junto al diagrama interno del sensor podemos denotar que estos pines son de señal del sensor como se observa en el diagrama B y C de la figura 2.14.

Para realizar la prueba de resistencia entre los pines de señal se procederá realizar con el motor apagado. Entre el pin 3 y el pin 2 existe un rango de funcionamiento optimo del sensor CKP, este es de 10000 15000 Ohm, el sensor del banco motor marcó 15870 Ohm, dando a entender que está fuera del rango de funcionamiento, sin embargo, al no sobrepasar los 1000 Ohm de puede asumir que el sensor sigue siendo funcional y más en un motor con 9 años de funcionamiento.

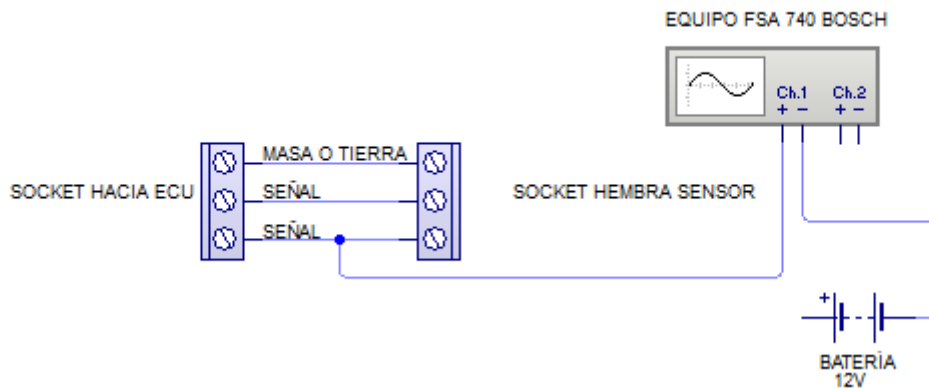


**Figura 2.14** Identificación de pines

## 2.8.2. Equipo FSA

Para visualizar los diferentes oscilogramas se procede a realizar un acoplamiento entre el equipo de diagnóstico y el sensor CKP, este se dará después de conectar el cable positivo del canal a utilizar en el pin de señal del sensor aplicando el uso de agujas en el socket de conexión, mientras que el cable negativo del canal será puesto directamente en el borne

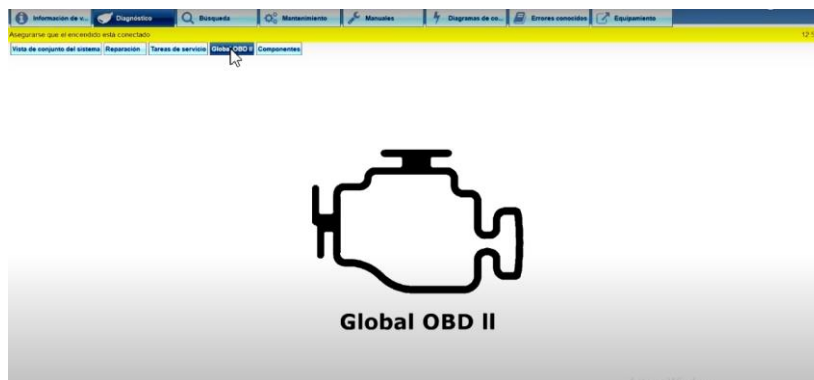
negativo de la batería para evitar falsos contactos tal como se muestra en la figura 2.15. Una vez enlazado el equipo de diagnóstico y el sensor se procederá a escoger dentro del menú del software del equipo FSA la opción de prueba de sensores de ruedas inductivas, siendo esta la opción más adecuada en la obtención de datos del sensor CKP a estudiar, para obtener los datos se deberá encender el motor manteniendo un ralentí estable dentro de las 800 RPM.



**Figura 2.15** Diagrama de instalación del equipo de diagnóstico FSA con el sensor CKP

### 2.8.3. Escáner

Luego de identificar la falla en la que anula el procedimiento de encendido del motor procedemos a realizar una lectura de códigos de fallas mediante el equipo de diagnóstico, conectando el puerto de diagnóstico en el puerto DLC del banco motor, se debe de ingresar los datos descritos en la tabla 2.1 en software ESI TRONIC, escogiendo la opción de diagnóstico, finalmente obteniendo los códigos de fallas en la opción de global OBD II como se observa en la figura 2.16.



**Figura2.16** ESI Tronic 2.0

## 2.9. Proceso de prueba CMP

### 2.9.1. Multímetro

Para sacar el valor de los voltajes de cada pin se procede a poner el banco motor en contacto en donde el valor del pin 1 con el borne positivo de batería en la que se pudo denotar que marca 12.3 V siendo este el voltaje real de batería, asumiendo el bueno estado de los cables existentes en el sensor como se observa en el diagrama A de la figura 2.17.

Una vez obtenido el cable de tierra del sensor, se procede a encender el motor para determinar el cable de señal picando en el pin 2, pin 3 con el pin 1 así detectar que pin tiene una señal fluctuante para esto debemos tener en cuenta que la velocidad de procesamiento de datos del multímetro es baja por lo que observaremos pequeños cambios en el voltaje siendo menores a 5 V, determinando que pin de señal es el pin 2. Mientras que la lectura del pin 3 mantiene 5 V constantes determinando que es el cable de alimentación a 5V como se muestra en la figura como se observa en el diagrama B y C de la figura 2.17

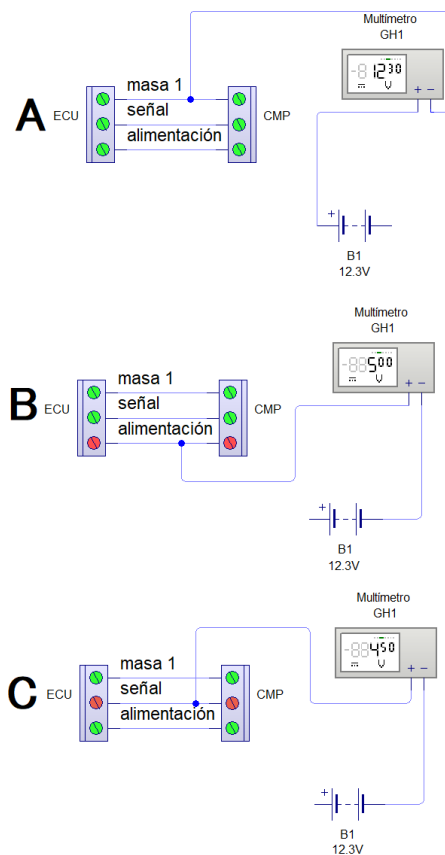
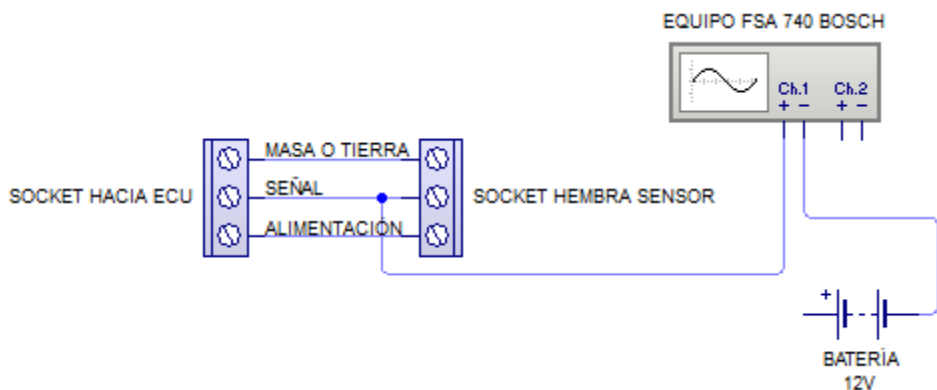


Figura 2.17 Identificación de pines sensor CMP

### 2.9.2. Equipo FSA

Para visualizar los diferentes oscilogramas se procede a realizar un acoplamiento entre el equipo de diagnóstico y el sensor CMP, este se dará después de conectar el cable positivo del canal a utilizar en el pin de señal del sensor aplicando el uso de agujas en el socket de conexión, mientras que el cable negativo del canal será puesto directamente en el borne negativo de la batería para evitar falsos contactos tal como se muestra en la figura 2.18. Una vez enlazado el equipo de diagnóstico y el sensor se procederá a escoger dentro del menú del software del equipo FSA la opción de transductor del eje de levas, siendo esta la opción más adecuada en la obtención de datos del sensor CMP a estudiar.



**Figura2.18** Diagrama de instalación del equipo de diagnóstico FSA con el sensor CMP

### 2.9.3. Escáner

Luego de identificar la falla en la que anula el procedimiento de encendido del motor procedemos a realizar una lectura de códigos de fallas mediante el equipo de diagnóstico, conectando el puerto de diagnóstico en el puerto DLC del banco motor, se debe de ingresar los datos descritos en la tabla 2.1 en software ESI TRONIC, escogiendo la opción de diagnóstico, finalmente obteniendo los códigos de fallas en la opción de global OBD II como muestra la figura 2.16.

## **3. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

### **3.1. Introducción**

En el presente capítulo se realizará un profundo análisis de los resultados obtenidos en la investigación de la defectología de los sensores CKP y CMP, en la que desglosará los valores obtenidos en las diferentes pruebas modificando variables preestablecidas de funcionamiento en los sensores de sincronización detallada en el capítulo anterior con el objetivo de identificar fallas comunes en este tipo de sensores.

Una vez obtenidos los oscilogramas en tiempo real de los sensores de sincronización se procederá a obtener capturas, para poder ser aprovechadas en el análisis de defectología de este tipo de sensores, los parámetros a seguir para la captación de señales son:

- Tiempo de ciclo
- Tiempo de paso de diente desfazado
- Voltaje máximo de señal
- Voltaje mínimo de señal
- Tiempo activación del inyector después del diente desfazado

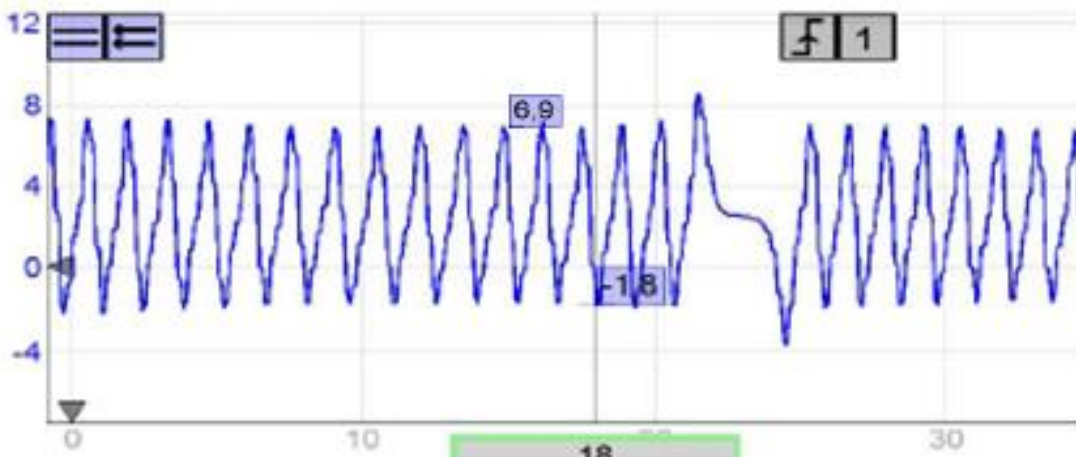
### **3.2. Toma de datos sensor CKP**

Para la recolección de toma de datos del sensor CKP se toma la señal del sensor pinchando en el cable que lleva la señal del sensor hacia la ECU con el equipo de diagnóstico FSA tal como se detalla en el inciso 2.8.2, las pruebas realizadas del sensor antes mencionado se realizaron con el motor encendido manteniendo un ralentí estable a 800 RPM. La señal obtenida del sensor CKP se puede denotar que esta cuenta con 2 secciones de señal que se repite cíclicamente, estas secciones son: la señal obtenida de la lectura de la zona dentada del volante de inercia y la señal obtenida del diente desfazado de la zona dentada del volante de inercia tal como se muestra en la figura 3.1.

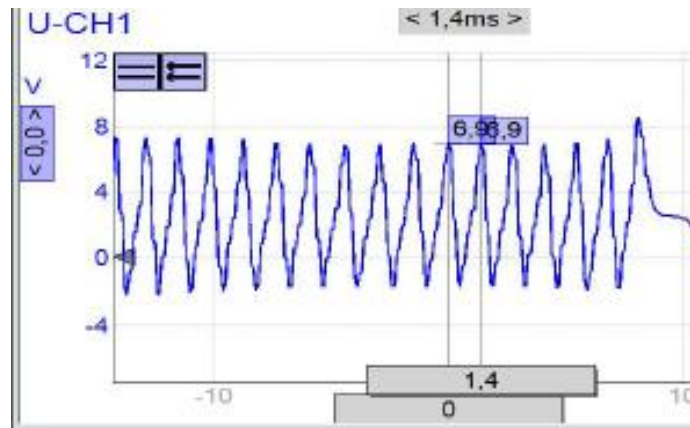


**Figura 3.1** Oscilograma sensor CKP

Una vez identificado las zonas de estudio se procede a realizar una captura o paro de señal para extraer datos de la señal siguiendo los parámetros antes estipulados, en la que se puede denotar un voltaje máximo de 6.9 V y un voltaje mínimo de -1.8 V en la zona dentada dando como resultado una amplitud de 8.7 V en esta zona tal como se muestra en la figura 3.2, además el tiempo que se demora en desplazarse desde un punto máximo a otro es de 1.4 ms estimando el tiempo que se demora en desplazarse un diente de la zona dentada tal como se muestra en la figura 3.3.

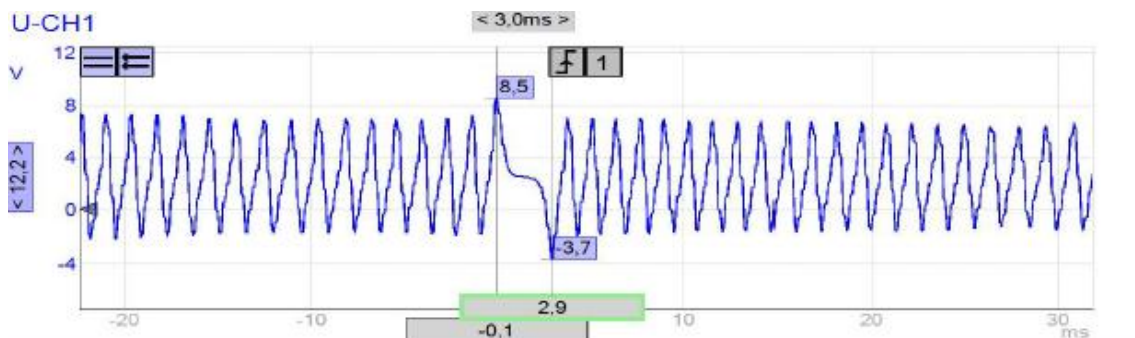


**Figura 3.2** Oscilograma sensor CKP voltaje zona dentada



**Figura 3.3** Oscilograma sensor CKP voltaje zona dentada

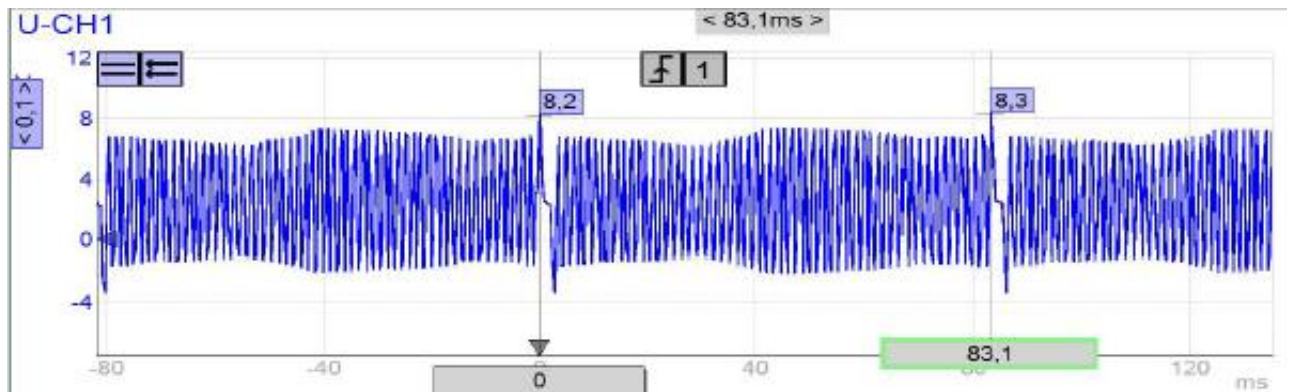
Para obtener el voltaje máximo y mínimo de la zona del diente desfazado procedemos a señalar el punto más alto en la imagen dentro de la zona dentada, siendo el voltaje máximo que tiene un valor de 8.5 V, de la misma manera se procede a señalar el punto más bajo, siendo este el voltaje mínimo de la señal emitida con un valor de -3.7 V, teniendo una amplitud de señal de 12.2 V. siendo este la amplitud de la señal del diente teniendo un resultado de 3 ms tal como se muestra en la figura 3.4.



**Figura 3.4** Oscilograma sensor CKP voltaje zona diente desfazado

Como todas las pruebas realizadas en la toma de datos del sensor CKP denotamos que los rpm estipulados es la de mantener un ralentí estable dentro de los 800 RPM, siendo esto un punto de partida en la que podemos decir que se demora 83.1 ms en recorrer 360° el cigüeñal del motor ya que se toma en cuenta el punto máximo del diente desfazado capturada de una forma cíclica como se muestra en la figura 3.5. Debido a la relación de transmisión de 2:1 existente entre el cigüeñal y el árbol de levas se afirma que se demora 166.2 ms en completar un ciclo de funcionamiento en motores de combustión interna, es decir que al completar un ciclo de funcionamiento del motor el diente desfazado pasa por el sensor por segunda vez o haya recorrido el cigüeñal 720°.





**Figura 3.5** Oscilograma sensor CKP 360° del volante de inercia

Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CKP que se encuentra en un estado optimo y funcional para el procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio como se muestra en la tabla 3.1.

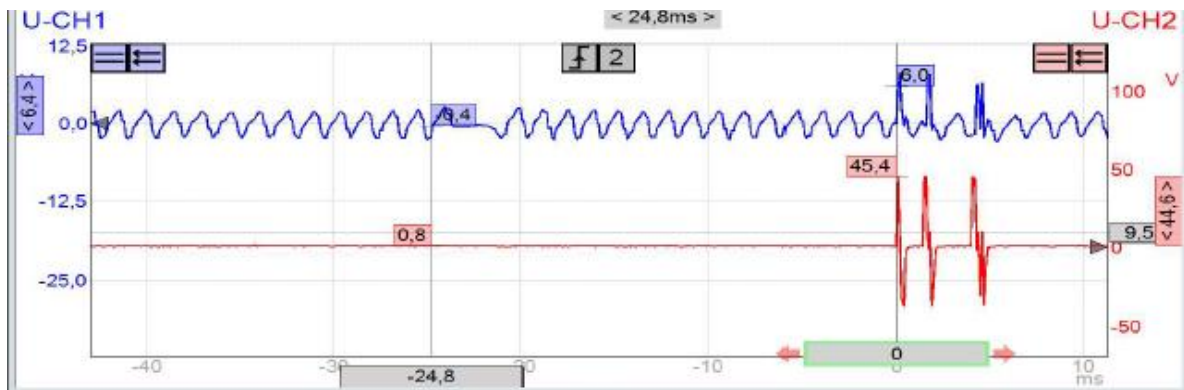
**Tabla 3.1** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>VOLTAJE MÁXIMO DIENTE CIGÜEÑAL</b>	6.9	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO DIENTE CIGÜEÑAL</b>	-1.8	V
<b>VOLTAJE MÁXIMO DIENTE DESFAZADO CIGÜEÑAL</b>	8.5	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO DIENTE DESFAZADO CIGÜEÑAL</b>	-3.7	V
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE</b>	1.4	ms
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE DESFAZADO</b>	3	ms
<b>TIEMPO CICLO</b>	83.1	ms

### 3.3. Toma de datos sensor CKP e inyector del cilindro 1

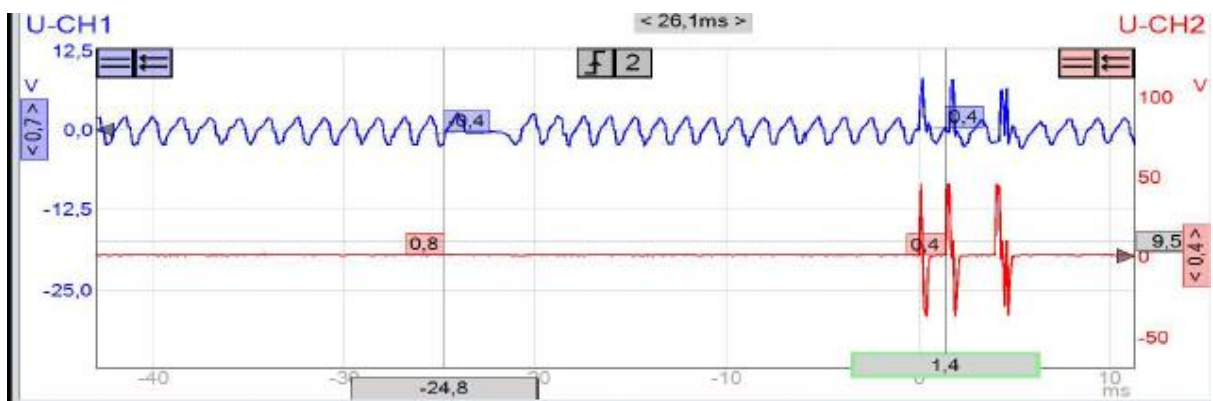
Para obtener un análisis de que sucede después de que la ECU recepte la señal de sincronización por parte del sensor CKP, se procede a obtener un oscilograma de doble canal en la que en el canal 1 proyecta la señal emitida del sensor CKP, mientras que en el canal 2 proyecta la señal emitida por parte de la ECU hacia el inyector del cilindro 1, en la que se puede denotar que el oscilograma obtenido del segundo canal cuenta con el ciclo de funcionamiento de del inyector, este denota 3 picos de señal, siendo los dos primeros la preinyecciones y el tercer pico la señal de la inyección principal, sucediendo la primera

preinyección a los 24.8 ms después de obtener la señal del diente desfazado del volante de inercia, además se deduce que esta se activa en el 16vo diente, es decir se activa luego de recorrer  $107^\circ$  tal como se muestra en el oscilograma de la figura 3.6.



**Figura 3.6** Oscilograma sensor CKP y oscilograma inyector cilindro 1(primera preinyección)

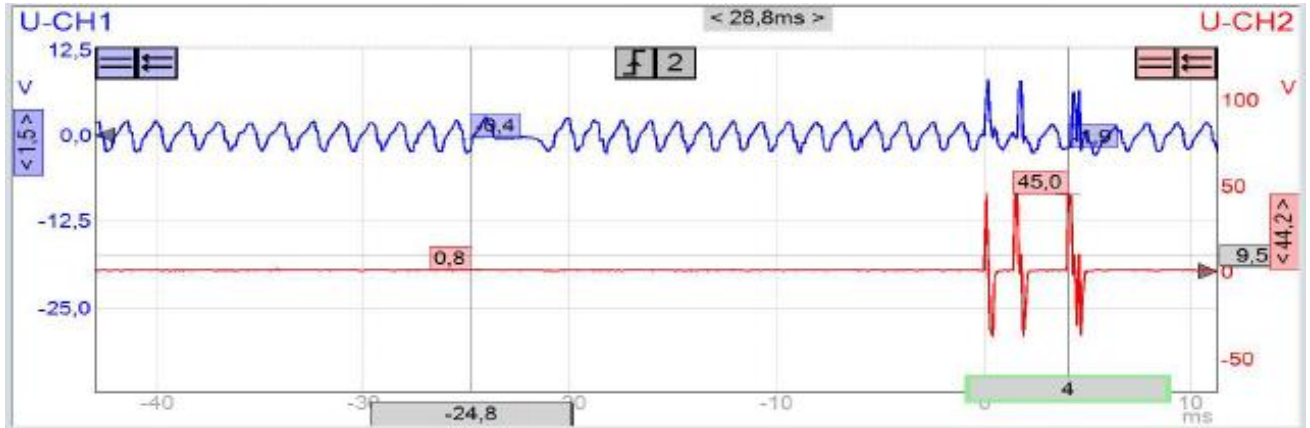
Como consecuentemente después de realizar la primera preinyección denota que luego de 1.3 ms realiza el inyector se segunda preinyección, teniendo un total de 26.1ms que la ECU se tarda en comandar la segunda preinyección después de detectar el diente desfazado del volante de inercia del cigüeñal, además se deduce que esta se activa en el 17vo diente, es decir se activa luego de recorrer  $113^\circ$  tal como se muestra en el oscilograma de la figura 3.7.



**Figura 3.7** Oscilograma sensor CKP y oscilograma inyector cilindro 1(segunda preinyección)

Un motor MEC necesita compresión de la cámara de combustión, y combustible para realizar la combustión siendo un proceso vital para la encender el motor antes mencionado, para ello la ECU comanda la inyección principal al inyector 2.7 ms después de realizar la segunda preinyección, es decir que el inyector activa su inyección principal

28.8 ms después que el sensor CKP haya detectado el diente desfazado del volante de inercia, además se deduce que esta se activa en el 19vo diente, es decir se activa luego de recorrer 124° como se muestra en la figura 3.8, dando como finalizado el proceso de inyección del cilindro 1, esto sucederá de nuevo después de que el cigüeñal haya recorrido 720°.



**Figura 3.8** Oscilograma sensor CKP y oscilograma inyector cilindro 1 (inyección principal)

Una vez obtenido los valores correspondientes a los tiempos de accionamiento del ciclo completo de funcionamiento del inyector del cilindro se procede a realizar una tabla, reuniendo la información antes preestablecida para su posterior análisis con fallas en el sensor CKP, como se muestra en la tabla 3.2

**Tabla 3.2** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP y del inyector del cilindro uno

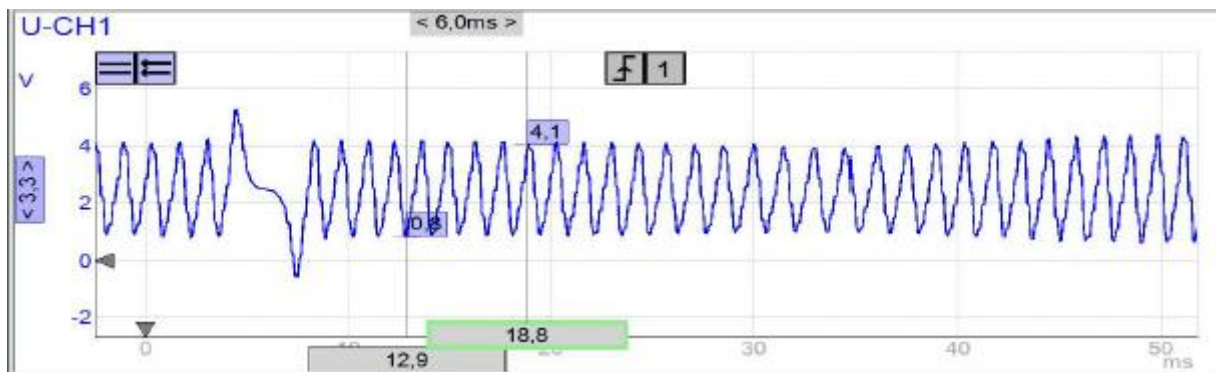
CICLOS DE INYECCIÓN	TIEMPO	DIENTES	GRADOS
PREINYECCIÓN 1	24.8	16	107°
PREINYECCIÓN 2	26.1	17	113°
INYECCIÓN	28.8	19	124°

### 3.4. Toma de datos sensor CKP en fallas

Después de establecer el rango apropiado en la que se manipula la variable previamente estipulados en el inciso 2.7.1, en la que se instalará en la base del sensor arandelas calibradas a 1 mm cada una hasta llegar a una falla en la que impida el arranque del motor.

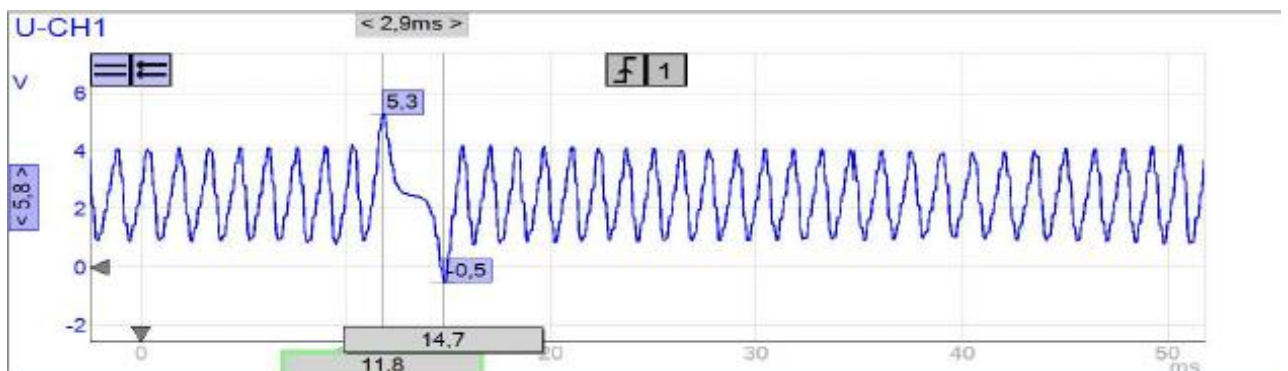
### 3.4.1. Toma de datos sensor CKP en falla 1

Para la toma de los datos del sensor CKP en falla uno se procederá a instalar una arandela de espesor de 1mm en la que aumenta la distancia entre el sensor y la rueda dentada pasando de 3 mm a 4 mm, en la que se obtiene un voltaje máximo de 4.1 V y un voltaje mínimo de 0.8 V de la zona dentada del volante de inercia, dando como resultado una amplitud de señal de 3.3 V además este cuenta con un tiempo de 1.4 ms en el paso de un diente de la zona dentada como se muestra en la figura 3.8.



**Figura 3.7** oscilograma sensor CKP falla 1 (zona dentada)

Para obtener el voltaje máximo y mínimo de la zona del diente desfazado procedemos a señalar el punto más alto en la imagen dentro de la zona dentada, siendo el voltaje máximo que tiene un valor de 5.3, de la misma manera se procede a señalar el punto más bajo, siendo este el voltaje mínimo de la señal emitida con un valor de -0.5, teniendo una amplitud de señal de 5.8 V. siendo este la amplitud de la señal del diente teniendo un resultado de 3 ms tal como se muestra en la figura 3.9.



**Figura 3.9** Oscilograma sensor CKP falla 1 (zona diente desfazado)

Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CKP con simulación de falla uno que se encuentra en un estado funcional para el procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio, todos los datos fueron obtenido

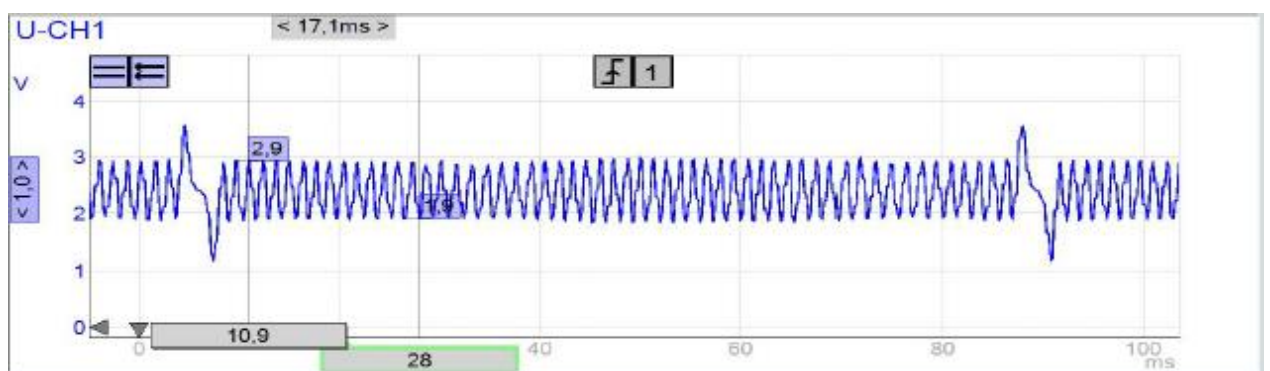
durante pruebas en motor con ralentí estable dentro de los 800 RPM como se muestra en la tabla 3.3, además este no posee códigos de falla ni aparición de luz MIL.

**Tabla 3.3** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla uno

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
VOLTAJE MÁXIMO DIENTE CIGÜEÑAL	4.1	V
VOLTAJE MÍNIMO DIENTE CIGÜEÑAL	0.8	V
VOLTAJE MÁXIMO DIENTE DESFAZADO CIGÜEÑAL	5.3	V
VOLTAJE MÍNIMO DIENTE DESFAZADO CIGÜEÑAL	-0.5	V
TIEMPO DE PASO DIENTE	1.3	ms
TIEMPO DE PASO DIENTE DESFAZADO	2.9	ms

### 3.4.2. Toma de datos sensor CKP en falla 2

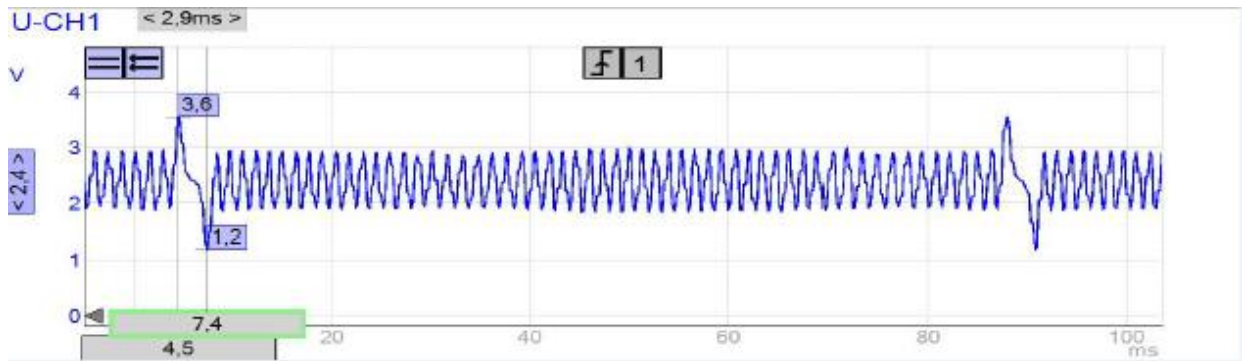
Para la toma de los datos del sensor CKP en falla uno se procederá a instalar dos arandelas de espesor de 1mm en la que aumenta la distancia entre el sensor y la rueda dentada pasando de 3 mm a 5 mm, en la que se obtiene un voltaje máximo de 2.9 V y un voltaje mínimo de 1.9 V de la zona dentada del volante de inercia, dando como resultado una amplitud de señal de 1 V además este cuenta con un tiempo de 1.4 ms en el paso de un diente de la zona dentada como se muestra en la figura 3.10.



**Figura 3.10** Oscilograma sensor CKP falla 2 (zona dentada)

Para obtener el voltaje máximo y mínimo de la zona del diente desfasado procedemos a señalar el punto más alto en la imagen dentro de la zona dentada, siendo este el voltaje máximo que tiene un valor de 3.6 V, de la misma manera se procede a señalar el punto más bajo, siendo este el voltaje mínimo de la señal emitida con un valor de -1.2 V,

teniendo una amplitud de señal de 2.4 V. siendo este la amplitud de la señal del diente teniendo un resultado de 3 ms tal como se muestra en la figura 3.11.



**Figura 3.11** Oscilograma sensor CKP falla 2 (zona diente desfazado)

Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CKP con simulación de falla dos que presenta ruido en la señal resultante pero este se encuentra en un estado funcional para el procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio, todos los datos fueron obtenidos durante pruebas en motor con ralentí estable dentro de los 800 RPM como se muestra en la tabla 3.4, además este no posee códigos de falla ni aparición de luz MIL.

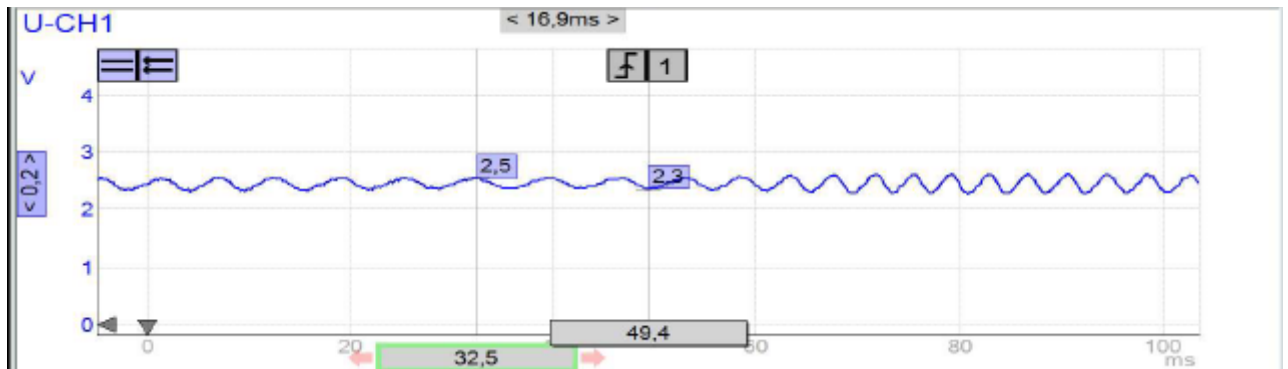
**Tabla 3.4** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla dos

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>VOLTAJE MÁXIMO DIENTE CIGÜEÑAL</b>	2.9	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO DIENTE CIGÜEÑAL</b>	1.9	V
<b>VOLTAJE MÁXIMO DIENTE DESFAZADO CIGÜEÑAL</b>	3.6	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO DIENTE DESFAZADO CIGÜEÑAL</b>	1.2	V
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE</b>	1.4	ms
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE DESFAZADO</b>	3	ms

### 3.4.3. Toma de datos sensor CKP en falla 3 (falla catastrófica)

Para la toma de los datos del sensor CKP en falla uno se procederá a instalar tres arandelas de espesor de 1mm en la que aumenta la distancia entre el sensor y la rueda dentada pasando de 3 mm a 6 mm, en la que se obtiene un voltaje máximo de 2.5 V y un voltaje

mínimo de 2.3 V de la zona dentada del volante de inercia, dando como resultado una amplitud de señal de 0.2 V además este no se puede distinguir la señal del diente desfasado del volante de inercia como se muestra en la figura 3.12.



**Figura 3.12** Oscilograma sensor CKP falla

Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CKP con simulación de falla tres que presenta ruido en la señal resultante, además el motor no puede realizar el encendido siendo un sensor no funcional para el procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio, todos los datos fueron obtenidos durante pruebas en motor con ralentí estable dentro de los 800 RPM como se muestra en la tabla 3.4, además este posee un código de falla P0339 en la que estipula que existe una obstrucción de señal presencia de material pegado en el sensor o presencia de fluidos en el socket de conexión, además existe la aparición de luz MIL.

**Tabla 3.5** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla tres

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>VOLTAJE MÁXIMO DIENTE CIGÜEÑAL</b>	2.5	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO DIENTE CIGÜEÑAL</b>	2.3	V
<b>VOLTAJE MÁXIMO DIENTE DESFAZADO CIGÜEÑAL</b>	--	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO DIENTE DESFAZADO CIGÜEÑAL</b>	--	V
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE</b>	--	ms
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE DESFAZADO</b>	--	ms

### 3.5. Toma de datos del sensor CKP en falla crítica e inyector del cilindro 1

Para obtener un análisis de que sucede después de que la ECU recepte la señal de sincronización por parte del sensor CKP, se procede a obtener un oscilograma de doble canal en la que en el canal 1 proyecta la señal emitida del sensor CKP, mientras que en el canal 2 proyecta la señal emitida por parte de la ECU hacia el inyector del cilindro 1, en la que se puede denotar que no existe ninguna señal del ciclo de funcionamiento del inyector tal como se muestra en la figura 3.13.



**Figura 3.13** Oscilograma sensor CKP falla e inyector del cilindro 1

Una vez obtenido los valores correspondientes a los tiempos de accionamiento del ciclo completo de funcionamiento del inyector del cilindro se procede a realizar una tabla, reuniendo la información antes prestablecida para su posterior análisis con fallas en el sensor CKP, como se muestra en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP y del inyector del cilindro uno (falla crítica)

**CICLOS DE INYECCIÓN**

**DESCRIPCIÓN**

	Valor (ms)	Dientes	Grados
PREINYECCIÓN 1	---	---	---
PREINYECCIÓN 2	---	---	---
INYECCIÓN	---	---	---



### 3.6. Análisis de fallas del sensor CKP

En sensor CKP en las emulaciones de falla 1 y 2 no presento complicaciones en el encendido del banco por lo que podemos ver en la tabla 3.7 el paso de diente del volante de inercia y del diente desfazado de la misma no presentan cambios en estos valores, a pesar de que ha sido disminuido el ancho de señal emitida por la zona dentada del volante de inercia y del diente desfazado.

**Tabla 3.7** Comparación fallas sensor CKP

	<b>Sensor buen estado</b>	<b>Falla 1</b>	<b>Falla 2</b>	<b>Falla 3</b>
<b>Voltaje Máximo zona dentada</b>	6.9 V	4.1 V	2.9 V	2.5 V
<b>Voltaje mínimo zona dentada</b>	-1.8 V	0.8 V	1.9 V	2.3 V
<b>Voltaje máximo diente desfazado</b>	8.5 V	5.3 V	3.6 V	---
<b>Voltaje mínimo diente desfazado</b>	-3.7 V	-0.5 V	1.2 V	---
<b>Tiempo paso diente volante de inercia</b>	1.4 ms	1.3 ms	1.4 ms	---
<b>Tiempo paso diente desfazado volante de inercia</b>	3 ms	2.9 ms	3 ms	---

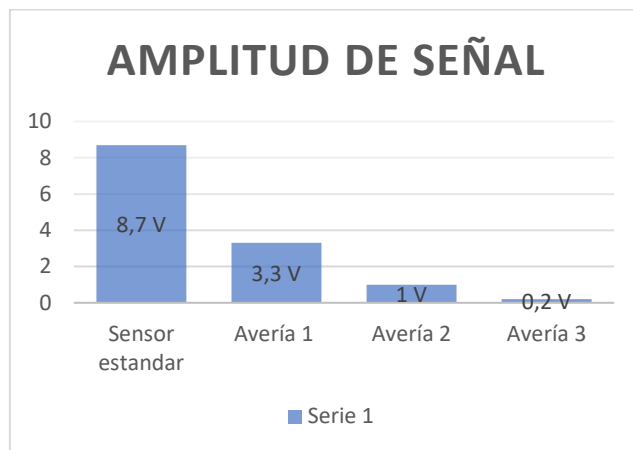
En caso de la simulación de falla 1 en la zona dentada del volante de inercia tiene una reducción de la amplitud de señal de 5.4 V a comparación de del sensor estándar, mientras que en el diente desfazado tiene una reducción de señal de 6.4 a comparación de la señal obtenida sin emular fallo alguno.

Mientras que en la simulación de falla 2 en la zona dentada del volante de inercia tiene una reducción de la amplitud de señal de 7.7 V a comparación de del sensor estándar, mientras que en el diente desfazado tiene una reducción de la amplitud de señal de 9.8 V a comparación de la señal obtenida con el sensor en estándar, a pesar de todo esto la ECU recibe la señal emitida por el sensor CKP entendiendo la presencia del diente desfazado y activar el inyector del cilindro “1” 16.6 ms después con sus respectivas preinyecciones.

El banco motor no logra encenderse al emular la falla numero 3 debido que tiene una amplitud de señal de 0.2 V disminuyendo 8.5 V, es decir tiene una reducción del 97.71 % de la señal estándar. A este punto de la falla se puede notar en el oscilograma de la figura 3.29 que es imposible distinguir la señal de la zona dentada del volante de inercia con el diente desfasado de la misma.

En la figura 3.14 se muestra la disminución de la amplitud de señal en cada caso de simulación de fallas en la que el sensor CKP sin simulación de falla tiene una amplitud de señal de la rueda dentada de volante del cigüeñal de 8.7 con el sensor a 3mm de distancia, mientras en que la falla 1

se obtiene una amplitud de señal de 3.3 V, el banco motor no presentó fallas en su encendido, mientras que la falla número 2 con una amplitud de señal de 1 V también no presentó fallas en su encendido y finalmente en la falla número 3 se aprecia una amplitud de señal de 0.2V siendo imposible encender el motor de estudio ya que al tener una amplitud de señal muy pequeña, esta no se puede distinguir entre las señales de la zona dentada y la señal del diente desfasado.

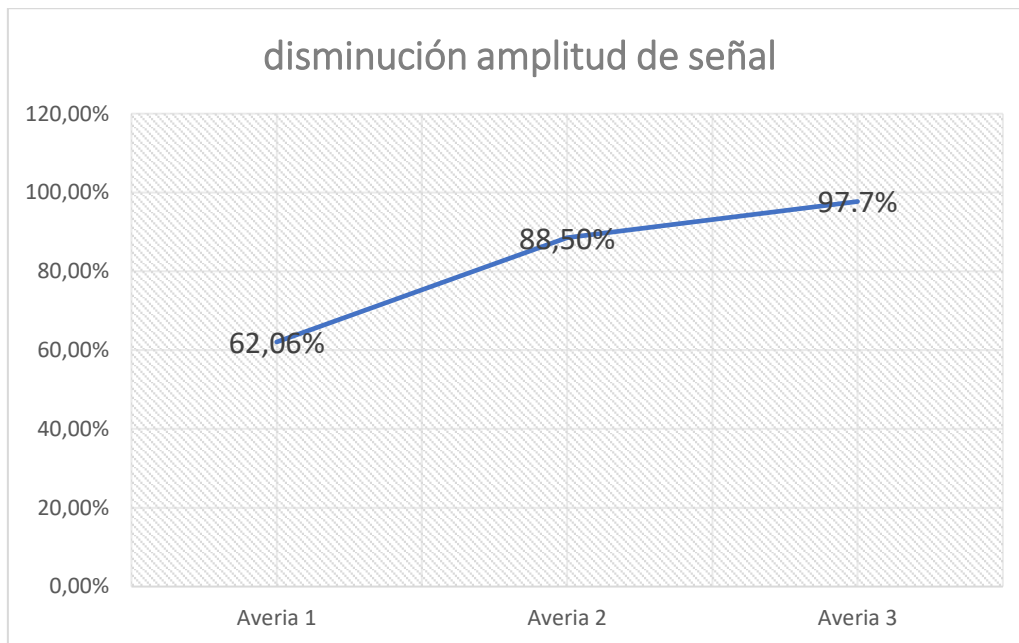


**Figura 3.14** Amplitud de señal sensor CKP

El banco motor al estar sometido a emulaciones de fallas del sensor CKP sufre una disminución de la amplitud de señal para la cual en la falla 1 al estar separado a 4 mm del CKP a la zona dentada del volante de inercia presenta un 62.06% de disminución siendo una señal aceptable para tener un funcionamiento óptimo del sensor tal como nos muestran los oscilogramas obtenidos, mientras que en la falla 2 al estar separado 5mm entre el sensor CKP y la zona dentada tiene un 88.50% de disminución de señal, a pesar

de esto el banco motor no tuvo problemas de encendido ya que la ECU pudo captar la señal del diente desfasado y descifrar la sincronización de la misma, sin embargo no es nada recomendable esta señal ya puede ser muy inestable a problemas de suciedad.

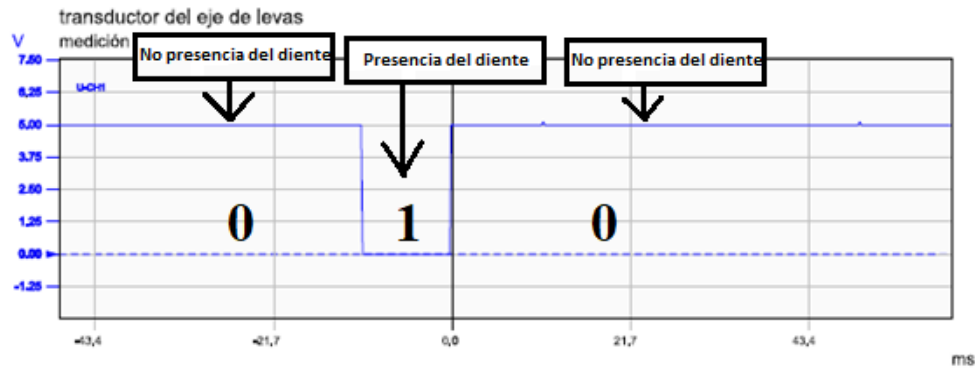
La falla número 3 en la que sensor CKP este separado 6 mm de la zona dentada teniendo una disminución del 97.7% de señal prácticamente siendo ilegible para la ECU tal como muestras los oscilogramas obtenidos esta no se puede distinguir entre la señal de la zona dentada y la señal del diente desfazado.



**Figura 3.15** Porcentaje de disminución de señal CKP

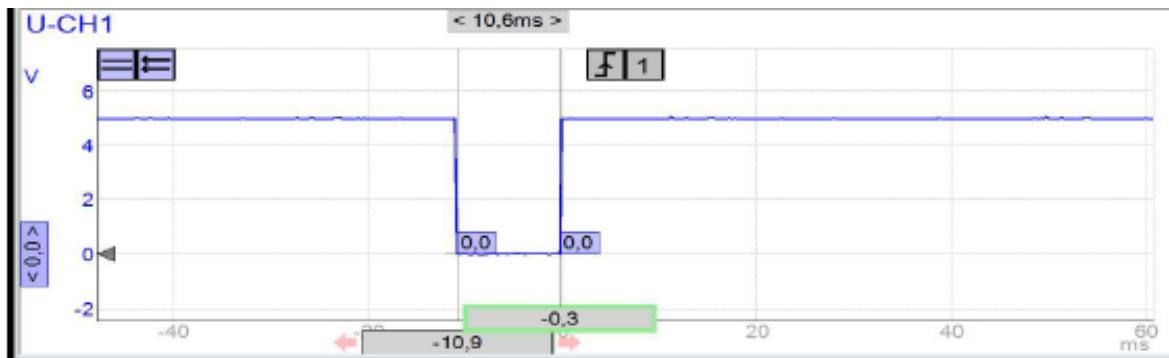
### **3.7. Toma de datos sensor CMP**

Para la recolección de toma de datos del sensor CMP, se toma la señal del sensor pinchando en el cable que lleva la señal del sensor hacia la ECU con el equipo de diagnóstico FSA tal como se detalla en el inciso 2.8.2, las pruebas realizadas del sensor antes mencionado se realizaron con el motor encendido manteniendo un ralentí estable a 800 RPM. La señal obtenida del sensor CMP se puede denotar que al ser un sensor que emite una señal digital se puede mencionar que la ECU del motor procesa esta información de manera binaria en la que “0” significa que no existe la presencia del diente existente en el árbol de levas, mientras que “1” significa que existe la presencia del diente del árbol de levas tal como se muestra en la figura 3.16.



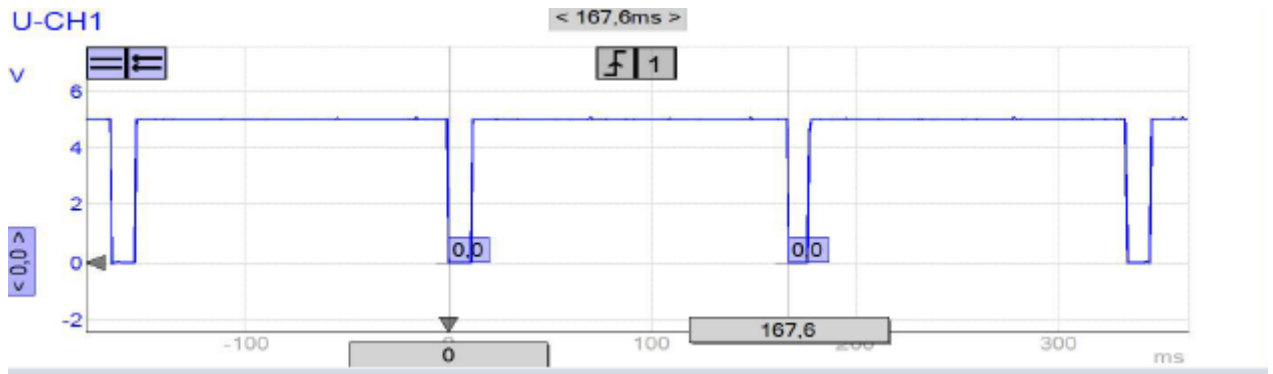
**Figura 3.16** Señal CMP zonas de estudio

Una vez identificado las zonas de estudio se procede a realizar una captura o paro de señal para extraer datos de la señal siguiendo los parámetros antes estipulados, en la que se puede denotar un voltaje máximo de 5 V y un voltaje mínimo de 0 V con una amplitud de señal de 5 V como se muestra en la figura 3.17, además el tiempo que se demora en desplazarse un diente de la zona dentada es de 10.6 ms.



**Figura 3.17** Señal CMP ancho de pulso

Como todas las pruebas realizadas en la toma de datos del sensor CMP denotamos que los rpm estipulados es la de mantener un ralentí estable dentro de los 800 RPM, siendo esto un punto de partida en la que podemos decir que se demora 167 ms en recorrer 360° el árbol de levas del motor ya que se toma en cuenta el punto mínimo del diente desfazado capturada de una forma cíclica como se muestra en la figura 3.18. Debido a la relación de transmisión de 2:1 existente entre el cigüeñal y el árbol de levas se afirma que cada 360° del árbol de levas completa un ciclo de funcionamiento en motores de combustión interna, es decir que completa un ciclo de funcionamiento cada que se tenga la señal del diente del árbol de levas.



**Figura 3.18** Señal CMP 360° árbol de levas

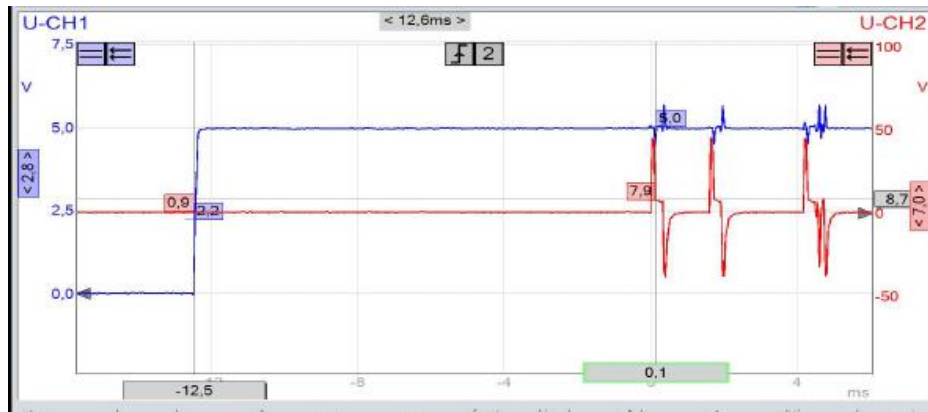
Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CMP que se encuentra en un estado óptimo y funcional para el procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio como se muestra en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>VOLTAJE MÁXIMO</b>	5	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO</b>	0	V
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE</b>	11.7	ms
<b>TIEMPO CICLO</b>	167.6	ms

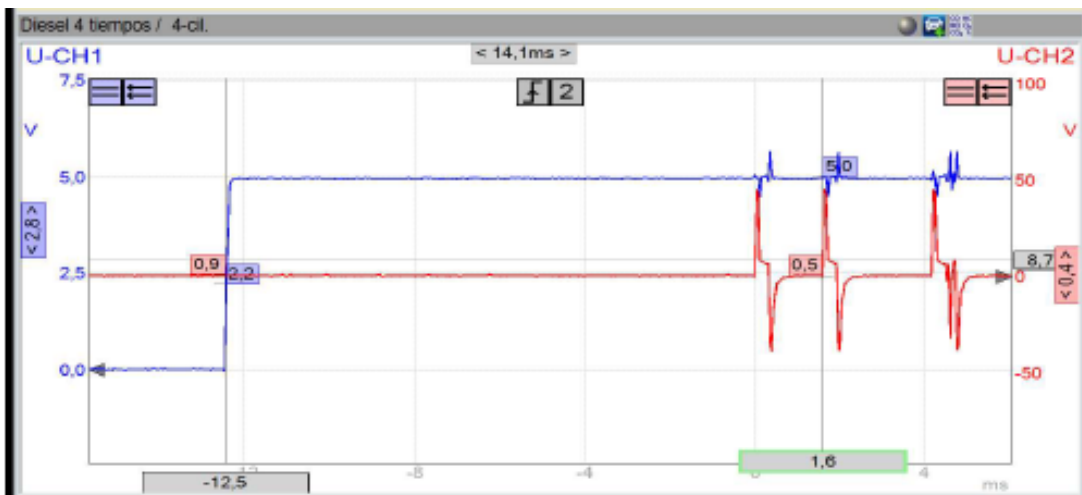
### 3.8. Toma de datos sensor CMP e inyector del cilindro 1

Para obtener un análisis de que sucede después de que la ECU reciba la señal de sincronización por parte del sensor CKP, se procede a obtener un oscilograma de doble canal en la que en el canal 1 proyecta la señal emitida del sensor CMP, mientras que en el canal 2 proyecta la señal emitida por parte de la ECU hacia el inyector del cilindro 1, en la que se puede observar que el oscilograma obtenido del segundo canal cuenta con el ciclo de funcionamiento de del inyector, este tiene 3 picos en la señal, siendo los dos primeros la preinyecciones y el tercer pico la señal de la inyección principal, sucediendo la primera preinyección a los 12.6 ms después de obtener la señal del diente del árbol de levas, además se deduce que esta se activa luego de recorrer 27°, como se mira en la figura 3.19.



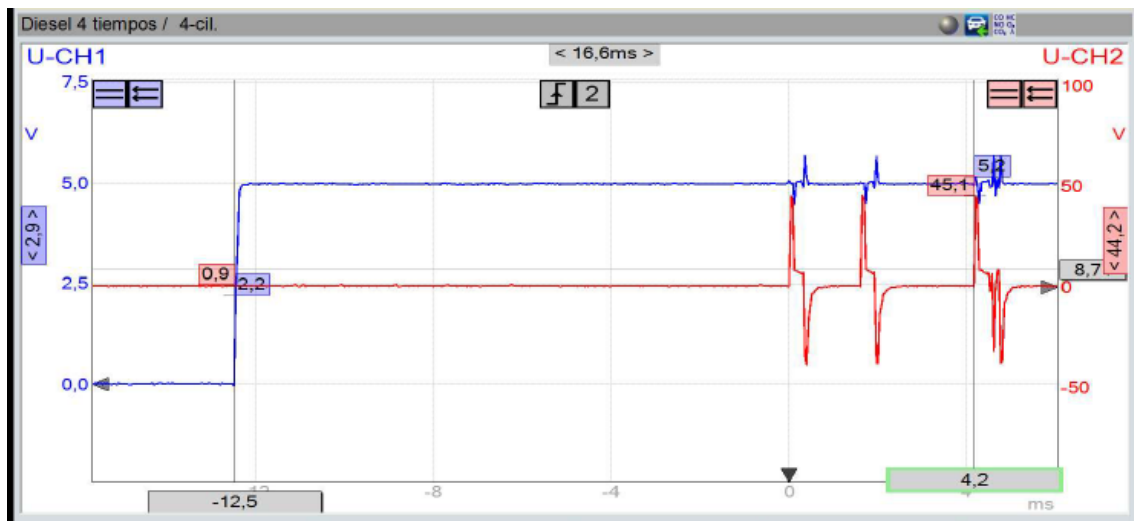
**Figura 3.19** Oscilograma sensor CMP y oscilograma inyector cilindro 1(primera preinyección)

Como consecuentemente después de realizar la primera preinyección se mira que luego de 1.5 ms realiza el inyector su segunda preinyección, teniendo un total de 14.1ms que la ECU se tarda en comandar la segunda preinyección después de detectar el diente desfazado del árbol de levas, además se deduce que esta se activa luego de recorrer 30° tal como se muestra en el oscilograma de la figura 3.20.



**Figura 3.20** Oscilograma sensor CMP y oscilograma inyector cilindro 1(segunda preinyección)

La ECU comanda la inyección principal al inyector 2.5 ms después de realizar la segunda preinyección, es decir que el inyector activa su inyección principal 16.6 ms después que el sensor CMP haya detectado el diente desfazado del árbol de levas, además se deduce que esta se activa luego de recorrer 35° como se muestra en la figura 3.21, dando como finalizado el proceso de inyección del cilindro 1, esto sucederá de nuevo después de que el árbol de levas haya recorrido 360°.



**Figura 3.21** Oscilograma sensor CMP y oscilograma inyector cilindro 1 (inyección principal)

Una vez obtenido los valores correspondientes a los tiempos de accionamiento del ciclo completo de funcionamiento del inyector del cilindro se procede a realizar una tabla, reuniendo la información antes preestablecida para su posterior análisis con fallas en el sensor CKP, como se muestra en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CMP y del inyector del cilindro uno

CICLOS DE INYECCIÓN	TIEMPO	GRADOS
PREINYECCIÓN 1	12.6 ms	27°
PREINYECCIÓN 2	14.1 ms	30°
INYECCIÓN	16.6 ms	35°

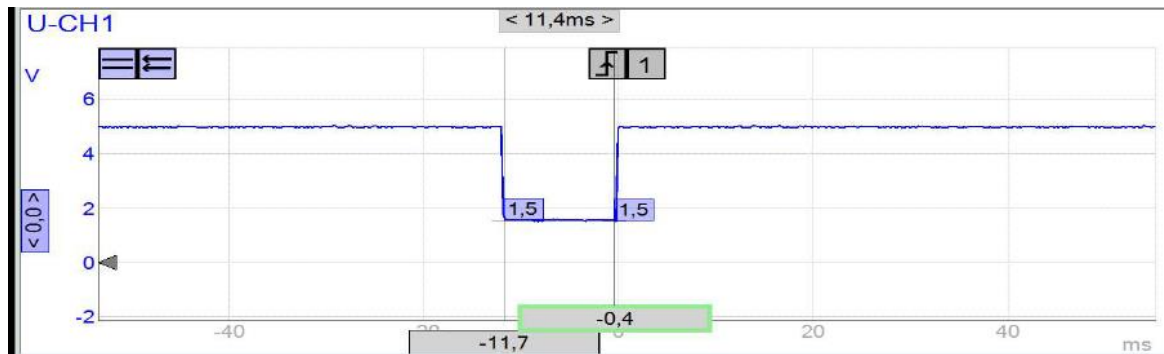
### 3.9. Toma de datos sensor CMP en fallas

Después de establecer el rango apropiado en la que se manipula la variable previamente estipulados en el inciso 2.7.3, en la que se instalará un potenciómetro de 5 kΩ en la que modifica la señal emitida por el sensor y captada por la ECU del motor.

#### 3.9.1. Toma de datos sensor CMP en falla 1

Para la toma de los datos del sensor CMP en falla uno se procederá a instalar un potenciómetro de 5 kΩ y mediante un multímetro establecer 2 kΩ de resistencia en la

línea de la señal del sensor, en la que voltaje máximo de 5 V mientras que su voltaje mínimo es de 1.5 V, dando como resultado una amplitud de señal de 3.4 V además este cuenta con un tiempo de 11.4 ms en el paso del diente del árbol de levas como se muestra en la figura 3.22.



**Figura 3.22** Oscilograma sensor CMP falla 1

Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CMP con simulación de falla uno que se encuentra en un estado funcional para el procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio, todos los datos fueron obtenidos durante pruebas en motor con ralentí estable dentro de los 800 RPM como se muestra en la tabla 3.10, además este no posee códigos de falla ni aparición de luz MIL.

**Tabla 3.10** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CMP en falla uno

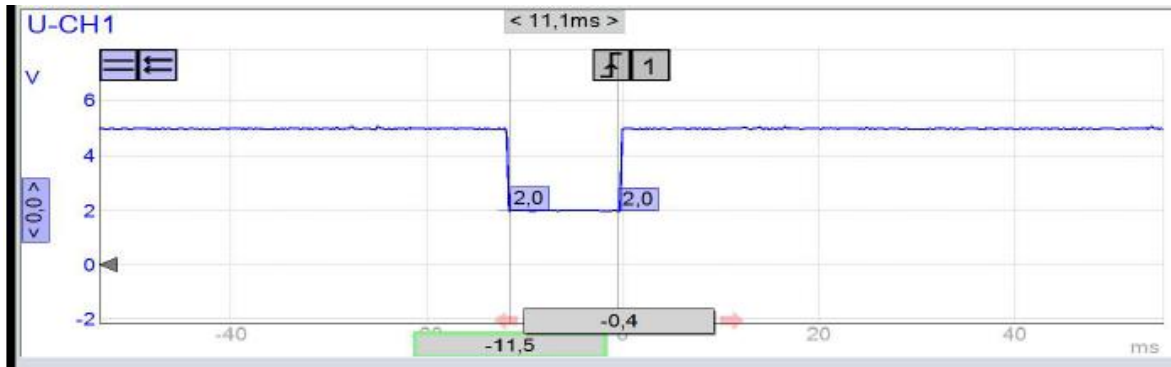
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>VOLTAJE MÁXIMO</b>	5	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO</b>	1.5	V
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE</b>	11.4	ms

### 3.9.2. Toma de datos sensor CMP en falla 2

Para la toma de los datos del sensor CMP en falla dos se procederá a instalar un potenciómetro de 5 k $\Omega$  y mediante un multímetro establecer 3 k $\Omega$  de resistencia en la línea de la señal del sensor, en la que voltaje máximo de 5 V mientras que su voltaje mínimo es de 2 V, dando como resultado una amplitud de señal de 3 V además este cuenta



con un tiempo de 11.1 ms en el paso del diente del árbol de levas como se muestra en la figura 3.23.



**Figura 3.23** Oscilograma sensor CMP falla 2

Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CMP con simulación de falla dos que se encuentra en un estado funcional para el procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio, todos los datos fueron obtenido durante pruebas en motor con ralentí estable dentro de los 800 RPM como se muestra en la tabla 3.11, además este no posee códigos de falla ni aparición de luz MIL.

**Tabla 3.11** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla dos

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>VOLTAJE MÁXIMO</b>	5	V
<b>VOLTAJE MÍNIMO</b>	2	V
<b>TIEMPO DE PASO DIENTE</b>	11.1	ms

### 3.9.3. Toma de datos sensor CMP en falla 3

Para la toma de los datos del sensor CMP en falla tres se procederá a instalar un potenciómetro de 5 k $\Omega$  y mediante un multímetro establecer 4 k $\Omega$  de resistencia en la línea de la señal del sensor, en la que voltaje máximo de 5 V mientras que su voltaje mínimo es de 2.2 V, dando como resultado una amplitud de señal de 2.8 V además este cuenta con un tiempo de 11.4 ms en el paso del diente del árbol de levas como se muestra en la figura 3.24.



**Figura 3.24** Oscilograma sensor CMP falla 3

Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CMP con simulación de falla uno que se encuentra en un estado funcional para el procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio, todos los datos fueron obtenidos durante pruebas en motor con ralentí estable dentro de los 800 RPM como se muestra en la tabla 3.12, además este posee el código de falla P0339 en la que estipula que existe una obstrucción de señal presencia de material pegado en el sensor o presencia de fluidos en el socket de conexión, en esta falla no existe la aparición de la luz MIL.

**Tabla 3.12** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla tres

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
VOLTAJE MÁXIMO	5	V
VOLTAJE MÍNIMO	2.2	V
TIEMPO DE PASO DIENTE	11.8	ms

### 3.9.4. Toma de datos sensor CMP en falla 4 (falla catastrófica)

Para la toma de los datos del sensor CMP en falla cuatro se procederá a instalar un potenciómetro de 5 k $\Omega$  y mediante un multímetro establecer 4.5 k $\Omega$  de resistencia en la línea de la señal del sensor, en la que voltaje máximo de 5 V mientras que su voltaje mínimo es de 2.5 V, dando como resultado una amplitud de señal de 2.5 V además este cuenta con un tiempo de 11.4 ms en el paso del diente del árbol de levas como se muestra en la figura 3.25.



**Figura 3.25** Oscilograma sensor CMP falla 1

Una vez obtenido los datos estipulados anteriormente, se procede a realizar un cuadro con la recopilación de información obtenida del sensor CMP con simulación de falla cuatro que se encuentra en un estado en el que el motor no logra encender a pesar de los varios procesos de arranque es decir que tiene un mal procesamiento de información de la sincronización por parte de la ECU del motor de estudio, todos los datos fueron obtenido durante pruebas en motor de arranque a fondo dentro de los 800 RPM como se muestra en la tabla 3.12, además este posee códigos de falla como P0339 en la que estipula que existe una obstrucción de señal presencia de material pegado en el sensor o presencia de fluidos en el socket de conexión, y el código P0341 en la que estipula que la señal emitida por el sensor no coincide con la sincronización, progresivamente existe la aparición de luz MIL.

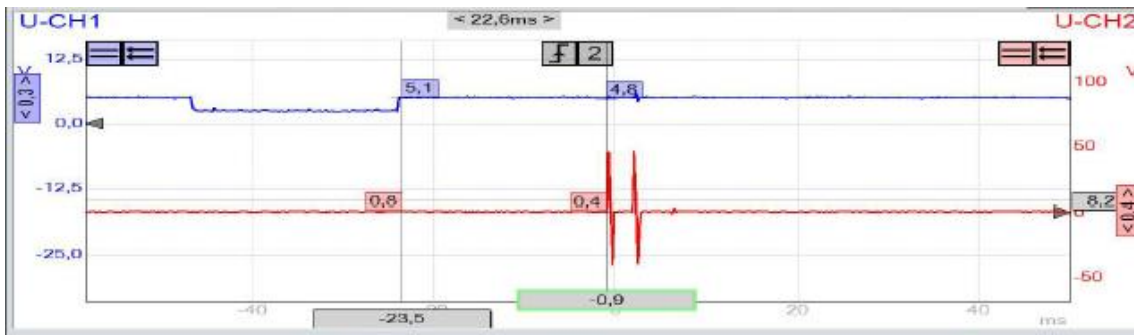
**Tabla 3.12** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CKP en falla tres

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
VOLTAJE MÁXIMO	5	V
VOLTAJE MÍNIMO	2.5	V
TIEMPO DE PASO DIENTE	11.4	ms
TIEMPO CICLO	----	ms

### 3.10. Toma de datos del sensor CMP en falla catastrófica e inyector del cilindro 1

Para obtener un análisis de que sucede después de que la ECU reciba la señal de sincronización por parte del sensor CKP en falla catastrófica, se procede a obtener un oscilograma de doble canal en la que en el canal 1 proyecta la señal emitida del sensor

CMP, mientras que en el canal 2 proyecta la señal emitida por parte de la ECU hacia el inyector del cilindro 1, en la que se puede denotar que el oscilograma obtenido del segundo canal cuenta con el ciclo de funcionamiento de del inyector, este denota 2 picos de señal, siendo los dos primeros la preinyecciones y, sucediendo la primera preinyección a los 22.6 ms después de obtener la señal del diente del árbol de levas como se mira en la figura 3.26.



**Figura 3.26** Oscilograma sensor CMP falla 4 y señal inyector 1

Como consecuentemente después de realizar la primera preinyección denotamos que luego de 0.2 ms realiza el inyector su segunda preinyección, teniendo un total de 22.8 ms que la ECU se tarda en comandar la segunda preinyección después de detectar el diente desfazado del árbol de levas tal como se muestra en el oscilograma de la figura 3.27.



**Figura 3.27** Oscilograma sensor CMP falla 4 y señal inyector 1

Un motor MEC necesita compresión de la cámara de combustión, y combustible para realizar la combustión siendo un proceso vital para la encender el motor antes mencionado, para ello la ECU comanda la inyección principal al inyector, la ausencia de esta es la causa de que el motor no encienda en la cuarta falla, existiendo varios torpedeos en el proceso de arranque causadas por la presencia de preinyección.

**Tabla 3.13** Datos obtenidos de oscilogramas del sensor CMP y del inyector del cilindro uno en falla catastrófica

Ciclos de inyección	Valor (ms)	Ángulo
Preinyección 1	22.6 ms	27
Preinyección 2	22.8 ms	28
Inyección	---	--

### 3.11. Análisis de fallas del sensor CMP

El sensor CMP al ser un sensor de señal digital se puede observar que el voltaje máximo de señal de 5 V no fue afectado por la instalación del potenciómetro de 5 k $\Omega$  para la simulación de fallas ya que este voltaje indica el 0 en código binario, es decir señal de diente del árbol de levas no detectado mientras que la señal mínima se modificó de acuerdo a la resistencia dispuesta por el potenciómetro antes mencionado, por lo tanto el voltaje mínimo cuenta como 1 en código binario o presencia del diente del árbol de levas como se muestra en la tabla 3.14.

**Tabla 3.14** Cuadro comparativo simulación de fallas sensor CMP

PARÁMETROS	VARIABLE	VOLTAJE MÁXIMO	VOLTAJE MÍNIMO	TIEMPO ACCIONAMIENTO DIENTE ÁRBOL DE LEVAS
BUEN ESTADO	--	5V	0V	11.7 ms
FALLA 1	2 k $\Omega$	5 V	1.5 V	11.4 ms
FALLA 2	3 k $\Omega$	5 V	2 V	11.1 ms
FALLA 3	4 k $\Omega$	5 V	2.5 V	11.8 ms
FALLA 4	4.5 k $\Omega$	5 V	2.3 V	11.4 ms

El tiempo de accionamiento del árbol de levas es de alrededor de los 11 ms en ralentí del banco motor es decir rodea los 800 RPM de funcionamiento, mientras que en la cuarta falla fue realizada a la velocidad dispuesta por el arranque del motor debido a la falla el motor realiza la combustión.

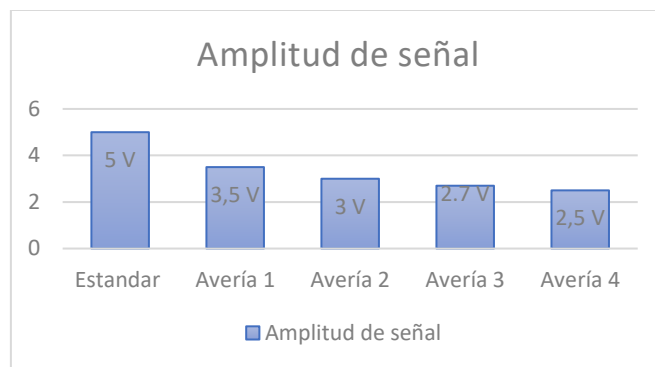
La amplitud de señal en el sensor CMP sin simulación de fallas tiene una amplitud de señal de 5 V, en la falla 1 la amplitud de señal es de 3.5 V teniendo una reducción de 1.5

V en su amplitud de señal, la resistencia estipulada en el potenciómetro es de 2 k $\Omega$ ; Sin embargo, no presentó fallas en el encendido del motor.

En la falla 2 tiene una amplitud de señal de 3 V con una resistencia estipulada en el potenciómetro de 3 k $\Omega$ , existiendo una reducción de 2V a la señal inicial o estándar, al igual que la falla anterior esta no presentó fallas en el encendido.

La falla 3 se puede observar una amplitud de señal de 2.7 V con una resistencia estipulada en el potenciómetro de 4 k $\Omega$ ; por ende, esta falla tiene una reducción de 2.3 V sin afectar el encendido del motor sin embargo en esta falla aparece ruido en la señal emitida del sensor.

En la falla 4 se puede observar la amplitud de señal es de 2.5 V teniendo una reducción de 2.5 V del sensor sin simulación de fallas, la resistencia estipulada en esta falla es de 4.5 k $\Omega$ , en esta falla el motor no logra encender.



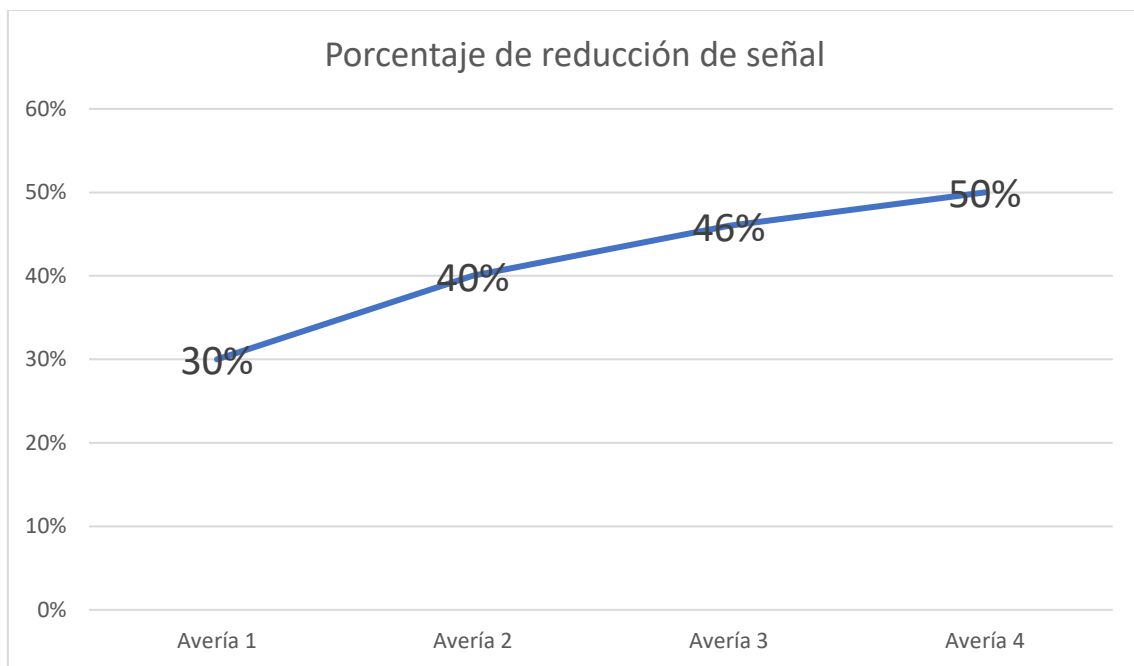
**Figura 3.28** Amplitud de señal sensor CMP

En la falla 1 del sensor CMP tiene una reducción de 30% de la señal inicial, esta reducción de la amplitud de señal no afectó en el encendido del motor, la ECU recibió la señal del diente del árbol de levas enviando sin ningún problema la orden de accionamiento del inyector del cilindro 1, mientras que en el segundo caso se puede observar que tenemos una reducción del 40 % de la señal inicial, sin embargo igual al caso anterior no obtuvo ningún inconveniente en el encendido del motor dando apertura a la inyección por parte de la ECU.

En la falla 3 se observa una reducción del 46% de la señal inicial, esta no presenta inconvenientes en el encendido del motor, sin embargo, no es aconsejable esta amplitud

de señal ya que esta presenta ruido en la señal y al ser un sensor digital la ECU tendrá posibles fallas de lectura del sensor.

En la falla 4 se puede denotar que existe una reducción de señal un 50 % a comparación de la señal estándar, durante esta simulación el banco motor no logró encender debido a que la señal tiene mucho ruido habiendo picos que se cruzan entre la señal mínima y máxima, es decir la ECU no reconoce donde se encuentra el diente del árbol de levas, sin embargo, al ruido existente en la señal hay momentos en donde envía preinyecciones provocando torpedeos en la combustión del motor como se observa en la figura 3.29.



**Figura 3.29** Porcentaje de disminución de señal del sensor CMP

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1. Conclusiones

La distancia entre el sensor CKP y el volante de inercia del cigüeñal no debe ser mayor a 5 mm, ya que a partir de esta distancia la señal disminuye un 88.5% haciendo que la ECU tenga problemas de reconocimiento de la señal del diente desfasado del volante de inercia, y además desconociendo el punto exacto del pistón en el cilindro número uno provocando de esta manera arranques fallidos durante el encendido del motor. Mientras que la resistencia del sensor CMP de la línea de señal hacia la ECU no debe ser mayor a 4 k $\Omega$ , debido que a partir de esta resistencia el sensor disminuye un 48% de la amplitud de señal, haciendo que la ECU tenga problemas de reconocimiento del diente del piñón del árbol de levas desconociendo el punto exacto de la posición de la leva del cilindro número uno y provocando arranques fallidos durante el encendido del motor.

A partir de la simulación de la segunda falla en el sensor CKP, en la que través de la manipulación de la distancia del sensor y el volante de inercia, provoca la aparición del código de falla P0339 siendo un código genérico que indica que existe un circuito intermitente del sensor de posición del cigüeñal, determinando que: existe un mal estado del cableado del sensor, presencia de corrosión en el conector del sensor, presencia de fluidos en el conector del sensor y sensor en mal estado; dando a entender que la simulación de fallas es exitosa para el análisis de las averías relacionadas al sensor CKP. Mientras que a partir de la simulación de la tercera falla en el sensor CMP en la que, mediante la distorsión de la resistencia instalada en la línea de señal hacia la ECU, provoca la aparición del código de falla P0341 que señala una avería en el rendimiento del sensor de posición del árbol de levas, determinando que: existe la presencia de ruido en la señal, cables de conexión en mal estado y sensor en mal estado; dando a entender que la simulación de fallas es exitosa para el análisis de las averías relacionadas al sensor CMP.

Mediante el uso del equipo de diagnóstico también se pudo obtener datos de la señal de inyección principal del cilindro número uno, se determinó que el tiempo de activación del inyector del cilindro antes mencionado es de 24.8 ms después de que el sensor CKP detecte el diente desfasado del volante de inercia del cigüeñal, es decir que recorre 124° o 19 dientes hasta la activación del inyector uno. Mientras que por parte del sensor CMP



demuestra que la inyección principal sucede 16.6 ms después de pasar el diente del piñón del árbol de levas por el sensor, es decir recorre  $35^\circ$  hasta la activación del inyector uno.

## **4.2. Recomendaciones**

En el momento en que se realiza las pruebas de osciloscopio con el equipo de diagnóstico, se recomienda utilizar el polo negativo de batería y no el pin de masa del sensor, ya que este podría haber contacto entre las dos agujas y tener falsas lecturas.

Se recomienda grabar las señales emitidas en tiempo real de los sensores de sincronización, ya que se podrá emitir un criterio de funcionalidad de los sensores de sincronización mediante la observación de los oscilogramas emitidos durante varios ciclos de funcionamiento.

Previo al análisis, se recomienda realizar una revisión del estado de los cables de los sensores de sincronización, para de esta manera evitar ruido y falsas lecturas de la señal emitida por estos sensores.

La presente investigación se centra en el estudio de los sensores de sincronización con regímenes de motor a 800 RPM en ralentí estable para la identificación de fallas de encendido en motores MEC; se recomienda realizar una futura investigación acerca del análisis de defectología de los sensores de sincronización a diferentes regímenes de funcionamiento.

## 5. Referencias bibliográficas

- Kim, H. S., Jang, S. J., & Jang, J. W. (2016). Development of the knocking and the defective cylinder decision system of industrial CRDI diesel engine through the CKP sensor signal analysis. *International Journal of Vehicle Design*, 72(3), 193–207. <https://doi.org/10.1504/IJVD.2016.080562>
- Aceña Navarro, M. (2017). Gestión y control de flotas y servicios de transporte por carretera: UF0925. Editorial CEP, S.L. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/51200>
- Zibani, I., Marumo, R., Chuma, J., Ngebani, I., & Tsamaase, K. (2020). Variable Valve Timing for a Camless Stepping Valve Engine. *Procedia Manufacturing*, 43, 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.154>
- De Antonio, A. R. y Muñoz Domínguez, M. (2016). Motores de combustión interna. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/48846>
- Zibani, I., Marumo, R., Chuma, J., Ngebani, I., & Tsamaase, K. (2020). Variable Valve Timing for a Camless Stepping Valve Engine. *Procedia Manufacturing*, 43, 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.154>
- Cunalata, W., & Laica, M. (2012). “Implementación De Un Banco De Pruebas Para La Unidad De Control Electrónico De Vehículos Con Sistemas De Inyección Electrónica Para La Escuela De Ingeniería Automotriz.” In *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*. <https://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3867/1/65T00033.pdf>
- Chiavola, O., & Palmieri, F. (2018). ScienceDirect Chakola ScienceDirect Investigating the Fuel Type Influence on Diesel CR Pump Investigating the Fuel Type Influence on Diesel Pump Performance Performance Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor Palmieri heat temperature function for a district demand forecast. *Energy Procedia*, 148, 908–915. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.095>
- Calle, C., & Vicuña, D. (2015). Identificación y análisis de eventos transitorios en motores de combustión interna mediante la posición del cigüeñal y árbol de levas, utilizando procesamientos de semanales. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7753/1/UPS-CT004599.pdf>
- Lema, F., & López, S. (2016). Simulación del sistema common rail en un tablero de ingeniero en mantenimiento automotriz. Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7462/1/04MAUT007TrabajodeGrado.pdf>
- AYALA, O., SUQUILLO, N., & MEZA, M. (2017). Estudio comparativo de las variables en sensores de posición. *Universidad Internacional Del Ecuador*, 87(1,2), 149–200. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2189/1/T-UIDE->

1598.pdf

Bosch. (2010). *MMD 540H Hybrid Multimeter Instruction Manual*.

Bosch. (2018). *FSA 740 Edition*.

de Antonio, A. R., & Muñoz Domínguez, M. (2016). *Motores de combustión interna*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.  
<https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/48846>

De La Ossa, R., & Zapata, V. (2017). DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÓDULO SIMULADOR DE SENSORES ELECTRONICOS AUTOMOTRICES. *INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO*, 6–18.

Exxotest. (2017). *Measuring Engine Speed and Crankshaft position*. 00308622.

Hyun, Y., & Cheol, D. (2021). *32275.pdf*. indicar está cita

Ing. Kemipizulu. (2010). *Eje Cigüeñal, Construcción, Características Y Empleo En Los Buques Mercantes*. <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/a-eje-ciguenal-construccion-caracteristicas-y-empleo-buques-mercantes/a-eje-ciguenal-construccion-caracteristicas-y-empleo-buques-mercantes.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1489:2011. Productos derivados del petróleo. Diésel. Requisitos*.

Juncá, Ó. (2017). *MODELO NUMÉRICO DE UN ÁRBOL DE LEVAS*.

Otero, S. A. (2017). *Manual básico Acerca Del Automovil Y Su Motor* (Issue April 2017).  
[https://www.researchgate.net/publication/324210587\\_MANUAL\\_BASICO\\_ACE\\_RCA\\_DEL\\_AUTOMOVIL\\_Y\\_SU\\_MOTOR](https://www.researchgate.net/publication/324210587_MANUAL_BASICO_ACE_RCA_DEL_AUTOMOVIL_Y_SU_MOTOR)

Perez, L., & Realpe, M. (2013). *MÓDULO DIDÁCTICO DE LA UNIDAD DE CONTROL DEL SISTEMA COMMON RAIL DEL MOTOR MAZDA BT 50 WL-C 2.5 CRDi*.

Rodrigo, M. C. A. (2015). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. *Tesis*, 1–100.  
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>

Sanz Acebes, S. (2007). *Motores*. Editex.

Sarmiento, D., Ch, J., & Avila, F. (2021). Análisis de oscilogramas de los sensores y actuadores del sistema de inyección de un motor N04C. *Incitec*, 1(VOL 1 NO 2), 53–62. <https://doi.org/10.53632/incitec.v1i2.102>

VALVOLINE. (2021). *VALVOLINE™ PREMIUM BLUE™ 7800 PLUS SAE 15W-40. 7800.*

## 6. Anexos

