



**Implementación de una Interconexión para Motores Caterpillar con Sistema de
Inyección de Riel Común**

Alejandro Trujillo Castro

21131624302

Juan Diego Amado Salazar

21131616490

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Medellín, Colombia

2021

**Implementación de una Interconexión para Motores Caterpillar con Sistema de
Inyección de Riel Común**

**Alejandro Trujillo Castro
Juan Diego Amado Salazar**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director:

D.Sc. Elkin Iván Gutiérrez Velásquez

Grupo de Investigación:

Research in Energy and Materials (REM)

Línea de Investigación:

Diseño Electromecánico

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Medellín, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado Implementación de una Interconexión para Motores Caterpillar con Sistema de Inyección de Riel Común, Cumple con los requisitos para optar Al título de Ingeniero Electromecánico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Medellín, 03 de diciembre de 2021.

Contenido

	Pág.
1. Antecedentes.....	27
2. Objetivos.....	31
2.1 Objetivo general	31
2.2 Objetivos específicos.....	31
3. Planteamiento del Problema y Justificación	32
3.1 Planteamiento del Problema.....	32
3.2 Pregunta de investigación.....	35
3.3 Justificación.....	36
3.4 Delimitación del problema de investigación	37
4. Marco Teórico.....	38
4.1 Descripción Sistema de Inyección CR	38
4.2 Elementos electrónicos que componen el sistema CR.....	39
4.2.1 Sensores	45
4.3 Estado del Arte	51
5. Diseño Metodológico.....	54
5.1 Tipo de Investigación	54
5.2 Enfoque de la investigación	54

5.3	Fuentes de investigación	55
5.4	Instrumentos	55
5.5	Procedimiento de etapas de la investigación.....	56
6.	Resultados y Discusión	59
6.1	Introducción a los resultados.....	59
6.2	Caracterización de los módulos didácticos relacionados con los motores diésel.	60
6.2.1	Elaboración de una maqueta didáctica del sistema de inyección electrónica Common rail de un motor Mazda bt-50 diésel. Fernández (2015).....	61
6.2.2	Modelación y simulación de los inyectores Heui de un motor CAT C7. Chamorro y Lara (2000)	62
6.2.3	Diseño e implementación de un tablero didáctico para simulación de un sistema de inyección electrónica M.P.F.I. Araújo y Cárdenas (2010)	64
6.2.4	Diseño, construcción e implementación de un sistema Simulador de funcionamiento y fallas didáctico de motor Electrónico Caterpillar c15, para el Centro de Desarrollo Técnico de la empresa ILASA. Cruz (2017)	66
6.2.5	Diseño y construcción de un banco de pruebas de la bomba de inyección rotativa con mandos electrónicos en motores diésel (Chevrolet D-Max 3.0). Alulema, Mena y Cruz (2013).....	68
6.3	Elementos implementados del Sistema CR para la Interconexión.....	70
6.3.1	Descripción sensores de entrada y salida	73
6.4	Módulo de control electrónico (ECM)	80
6.4.1	Control por parte de la ECM	80
6.4.2	La ECM O módulo de control electrónico	81

6.4.3	Variables y datos del sistema.....	82
6.4.4	Descripción del cableado para las conexiones de entrada y salida del ECM del motor.83	
6.4.5	Pautas de seguridad del sistema.....	85
6.4.6	Protocolos de comunicación.....	86
6.5	Procesos de evaluación actuales.....	90
6.6	Cálculos de cantidades y descripción de los elementos	96
6.6.1	Parámetros de trabajo del sistema	96
6.6.2	Elementos utilizados para la fabricación	97
6.6.3	Descripción del sistema y la interconexión	104
6.7	Desarrollo y materialización de la interconexión, construcción y ensamble de la interconexión.....	106
6.7.1	Introducción a la implementación de la interconexión.....	107
6.7.2	Descripción de los pasos de conexión.....	108
6.7.3	Desempeño obtenido con la interconexión desarrollada en este proyecto; presentación de los 3 casos diferentes de conexión.....	111
6.8	Inducción de fallas	117
6.8.1	Alternativas para la inducción de fallas.....	117
6.9	Procesos con la interconexión desarrollada.	122
6.9.1	Datos de funcionamiento del motor y pruebas realización de pruebas	122
7.	Conclusiones y recomendaciones	134
7.1	Conclusiones	134
7.2	Recomendaciones.....	137

8. Anexos.....	139
9. Bibliografía.....	147

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Circuito Sistema de Combustible.....	27
Figura 2: ECM (Modulo de control electrónico).....	39
Figura 3: Motor diésel con sistema Common rail - Gecolsa cat sabaneta Antioquia.....	42
Figura 4: ECM con vista de conectores J1 Yy J2 - Gecolsa cat sabaneta Antioquia.	42
Figura 5: Elementos que interactúan en sistema CR.	44
Figura 6: Sensor Temperatura de la Admisión.	45
Figura 7: Sensor de Presión de Múltiple de Admisión.....	46
Figura 8: Sensor de Temperatura de Refrigerante.	47
Figura 9: Sensor Velocidad/Tiempo.....	48
Figura 10: Sensor de Presión de Aceite de Motor.....	48
Figura 11: Sensor de Presión de combustible.....	49
Figura 12: Inyector	50
Figura 13: Sensor de presión	51
Figura 14: Sensor de temperatura.....	51
Figura 15: Prueba de alimentación del sensor EFT.....	61
Figura 16: Señal de accionamiento simulada mediante Simulink.	63
Figura 17: Apreciación frontal del panel del control.....	65
Figura 18: Instalación y aseguramiento de Harness de motor.....	66

Figura 19: Componentes del Banco de Pruebas.	69
Figura 20: Diagrama del sistema de control del motor con sistema CR	71
Figura 21: Esquema eléctrico del sensor con las líneas de conexión y pines de trabajo con la ECM para sensor de temperatura de la admisión.....	73
Figura 22: Esquema y líneas de conexión con la ECM para sensor de presión de admisión múltiple.	74
Figura 23: Esquema eléctrico del sensor con las líneas de conexión y pines de trabajo con la ECM para sensor de temperatura del refrigerante.	75
Figura 24: Conexiones en el ECM para sensor de velocidad.	76
Figura 25: Esquema eléctrico del sensor con las líneas de conexión y pines de trabajo con la ECM para sensor de presión.	77
Figura 26: Esquema eléctrico del sensor con las líneas de conexión y pines de trabajo con la ECM para el sensor de presión de combustible en el riel.	77
Figura 27: Integración de los sensores de presión en el circuito con la ECM en el puerto j2.	78
Figura 28: Inyector.	79
Figura 29: ECM módulo de control electrónico	80
Figura 30: Puertos de conexión ECM.....	81
Figura 31: Cableado del motor.	84
Figura 32: Manual de remoción e instalación.	85
Figura 33: Vista del adaptador de comunicaciones. Adaptador 3 Caterpillar.	87
Figura 34: Adaptador de comunicaciones CAT	88
Figura 35: Descripción de los puertos de conexión del cable 1 y 3.....	88

Figura 36: Puerto de diagnóstico en la máquina para conectar el adapter.....	91
Figura 37: Proceso de evaluación conexión en la máquina de manera normal en la actualidad.	92
Figura 38: Realización de las pruebas de rendimiento en el dinamómetro.	93
Figura 39: Proceso de conexión en el Banco de Rendimiento del motor.....	95
Figura 40: Fuente de alimentación eléctrica 12V.....	99
Figura 41: Resistencia 120 ohmios tipo conector de tres pines referencia comercial 174-3016.....	99
Figura 42: Conector de diagnóstico.....	101
Figura 43: Conectores y cableado para el circuito y conexiones de la interfaz en el sistema CR.	102
Figura 44: Esquema eléctrico de la interconexión.....	103
Figura 45: Elementos que se requieren para la conexión y diagnóstico.....	104
Figura 46: Elementos individualizados para la interconexión.....	105
Figura 47: Módulo conexión software Caterpillar.	110
Figura 48: Interconexión con Motor removido del equipo o máquina con sistema de combustible CR.....	112
Figura 49: Representación donde intenta detectar comunicación con el ECM.	113
Figura 50: Sistema electrónico CR completo removido del motor.	114
Figura 51: Conexión entre ECM y la interconexión.....	115
Figura 52: ECM del motor independiente del sistema electrónico.	116
Figura 53: Proceso de integración con el circuito de la interconexión conectado el circuito integrado 555 para la inducción de fallas.	117

Figura 54: Fallas generadas.	118
Figura 55: Circuito 555.....	120
Figura 56: Circuito 555 mostrado gráficamente a través del software Cocodrile.	121
Figura 57: Resultados proceso de prueba.	125
Figura 58: Resistencia vs Presión de aceite.....	126
Figura 59: Resistencia vs Temperatura de refrigerante.	128
Figura 60: Resistencia vs Temperatura de refrigerante. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 61: Resistencia vs Presión Riel de Combustible.....	129
Figura 62: Resistencia vs Temperatura de aire de admisión en Kelvin.. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 63: Resistencia vs Presión múltiple de entrada de admisión.....	132

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Horas de evaluación en el taller de cada motor.....	34
Tabla 2: Evaluación del sistema de motor con sistema CR.....	34
Tabla 3: Características del motor CRID MAZDA BT-50 en el que se basó el proyecto para la elaboración de una maqueta didáctica.....	62
Tabla 4: Características del motor utilizado en el proyecto modelación y simulación de los inyectores HEUI de un motor CAT C7.....	64
Tabla 5: Características Motor Vehículo Corsa.....	66
Tabla 6: Características Motor C15.....	68
Tabla 7: Características Motor Chevrolet D-Max 3.0.....	70
Tabla 8: Entrada y salidas de la ECM.....	72
Tabla 9: Elementos integradores del Sistema Electrónico.....	72

Tabla 10: Especificaciones del cableado utilizado según la conducción y capacidades requeridas por el sistema basado en información indicada por capacitancia entre conductores	96
Tabla 11: Materiales comerciales necesarios para la interconexión.	97
Tabla 12: Listado de los elementos que se presentan de forma gráfica.	103
Tabla 13: Listado de los elementos que se presentan en la figura 40.	105
Tabla 14. Elementos requeridos para la conexión.	108
Tabla 15: Elementos requeridos Interconexión con motor removido.	113
Tabla 16: Elementos Circuito 555.	120
Tabla 17: Elementos necesarios para realizar la conexión.	122
Tabla 18: Características principales del motor C.6.6.	122
Tabla 19: Tipos de sensores.	123
Tabla 20: Sensor de presión de aceite.	126
Tabla 21: Sensor de temperatura de refrigerante.	127
Tabla 22: Datos en grados centígrados	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 23: Datos en grados kelvin.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 24: Datos sensor de presión riel de combustible.	129
Tabla 25: Datos sensor de temperatura de aire de admisión en grados Fahrenheit.	131
Tabla 26: Datos sensor de temperatura de aire de admisión en grados centígrados. ..	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 27: Datos sensor de temperatura de aire de admisión en grados Kelvin.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 28: Datos sensor de presión múltiple de entrada de admisión.	132

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviatura	Término
--------------------	----------------

<i>ECM</i>	Electronic control module (Modulo de Control Electrónico).
<i>ET</i>	Electronic Technician.
<i>CR</i>	Común Riel.
<i>PSI</i>	Libra de fuerza por pulgada cuadrada.

Abreviatura Término

Ω	Ohmio
F	Faradio
$^{\circ}C$	Grados Centígrados
K	Grados Kelvin
$^{\circ}F$	Grados Fahrenheit
PWM	Pulso de Ancho Modulado

(Dedicatoria o lema)

A mi madre Romelia Castro por su apoyo incondicional y fundamental en mi formación como persona.

A los profesores de la Universidad Antonio Nariño que estuvieron a lo largo del proceso de la carrera ingeniería Electromecánica.

A la empresa Gecolsa que nos brindó su apoyo para el desarrollo de este proyecto.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por cada una de las oportunidades que me ha brindado a lo largo de la vida y ser un soporte en las adversidades que me he enfrentado.

A mis padres por su apoyo, motivación y compañía en las diferentes etapas de la vida, enseñándome a ser una mejor persona y profesional.

A Gecolsa por los espacios brindados y el acceso a la diferente información utilizada en este estudio.

A los docentes de la Universidad Antonio Nariño por la formación brindada tanto a nivel teórico como práctico.

Resumen

La existencia de maquinaria con motores diésel en la actualidad es cada vez más notable, lo que representa una necesidad en el mercado de personal técnico capacitado para manipular los sistemas de inyección de combustible en motores diésel de manera segura. El presente trabajo se materializó e implementó a partir de la recolección de información de planos electrónicos con puntos de conexión y valores especificados en los manuales de servicio, describiendo un conjunto de elementos electrónicos como sensores, cableado, adaptador de comunicaciones y módulo de control electrónico (ECM) que intervienen entre sí, enlazados a un computador que permite por medio del software ET Caterpillar, realizar funciones de diagnóstico.

Para conocer el funcionamiento, identificación de partes y diagnóstico de fallas en el sistema de inyección Común Riel, se realizan las conexiones y se cumplen las condiciones de comunicación, para visualizar estados, registros y hacer pruebas en condiciones normales y anormales por medio de inducción de fallas que se visualizan en el menú de software de diagnóstico ET. Con el trabajo se logran identificar las variables principales de entrada como son los sensores de temperatura que trabajan en un rango de operación normal de 20°C a 88°C y los sensores de presión que trabajan en un rango de 0 PSI a 80 PSI aproximadamente donde su operación oscila dependiendo de su condición de trabajo; además de las variables de salida para los actuadores que son los inyectores y solenoides donde estos reciben una señal del ECM que se da en miliamperios (mA) y se da dependiendo de los valores obtenidos de las variables de entrada; lo que permitió realizar pruebas inducidas, por medio de la desconexión de sensores, logrando visualizar códigos

de falla por medio de las herramientas de diagnóstico propias de la marca CAT (interconexión, SOFTWARE ET en un computador y adaptador de comunicaciones), teniendo un gran potencial de aprendizaje didáctico tangible para capacitación o entrenamiento del personal.

Palabras clave: Común Riel, Adaptador de comunicaciones, Interconexión, Cat ET, Harness (cableado), Módulo de Control Electrónico (ECM).

Abstract

The existence of machinery with diesel engines today is increasingly notable, This represents a need in the market for technical personnel trained to manipulate the fuel injection systems in diesel engines in a safe way. The present work was materialized and implemented from the collection of information from electronic drawings with connection points and values specified in the service manuals, describing a set of electronic elements such as sensors, wiring, communications adapter, and electronic control module (ECM) that intervene, linked to a computer that allows, through the Caterpillar ET software, to perform diagnostic functions.

To know the operation, identification of parts and diagnosis of faults in the Common Rail injection system, the connections are made, and the communication conditions are met, to view statuses, records and make tests in normal and abnormal conditions by means of induction of faults displayed in the ET diagnostic software menu. With the work, it is possible to identify the main input and output variables such sensor that work in a normal operating range of 20°C to 84°C and pressure sensor that work in a range of approximately

0 PSI to 80 PSI. Where its operation varies depending on its working condition; in addition to the output variables for the actuators that are the injector and solenoids where they receive a signal from the ECM that is given in milliamps(Ma) and is given depending on the values obtained from the input variables, by disconnecting sensor , managing to visualize fault codes through the diagnostic tools of the CAT brand (interconnection, SOFTWARE ET in a computer and communication adapter), having a great tangible didactic learning potential for training or staff training.

Keywords: Common Rail, Communications Adapter, Interconnect, Cat ET, Harness (wiring), Electronic Control Module (ECM).

Introducción

En el presente estudio se busca identificar a través de la materialización e implementación de una interconexión para sistemas de inyección de riel común, el proceso de conexión de un sistema de combustible CR en un motor diésel, que permita mejorar los procesos de diagnóstico por medio de la interconexión desarrollada, para la interacción con los componentes electrónicos de este sistemas de combustible, facilitando así; los procesos de conexión y comunicación con los protocolos y condiciones operativas de los sistemas electrónicos de un motor diésel Caterpillar facilitando el diagnóstico. Esto se convierte en un reto para las universidades y estudiantes de carreras afines de igual manera de las empresas, ya que los incentiva a incluir en sus procesos de capacitación, inducción y desarrollo profesional este tipo de material para entrenamiento de operadores (técnicos), alumnos y profesores. Además, se encamina a mejorar los procesos tecnológicos y así instruir al personal con información de primera mano sobre los sistemas CR en motores diésel CAT, utilizando la interconexión desarrollada se presentan diferentes procesos de conexión los cuales son detallados por diagramas de flujo que dan muestra de los pasos o etapas de diagnóstico que varían de acuerdo a los elementos que se encuentran conectados y que pueden ser diagnosticados en el sistema CR, estos diagramas se realizan para informar de manera clara en cada uno de los procesos de conexión realizados en este proyecto por medio de la implementación de la interconexión y permitir al participante nivelarse, capacitarse y actualizarse ante cambios tecnológicos y a la renovación de los sistemas que son cada vez más electrónicos ya que por medio de un módulo de control electrónico ECM, se controlan las diferentes variables de

funcionamiento en este caso en un motor Diésel con sistema de combustible CR de la marca Caterpillar.

Se pretende que el estudiante u operador aprenda los principales aspectos y variables de funcionamiento, los cuales se tienen en cuenta para este sistema de control electrónico que es el desarrollo e implementación de una interconexión, debido a que las herramientas de diagnóstico y su información técnica amerita mostrar las principales conexiones y componentes que intervienen en el sistema de combustible CR. Razón por la cual se formuló el proyecto, pensando en el aprendizaje práctico para el logro de los objetivos.

La innovación de los sistemas en los motores diésel va en búsqueda, día a día, de la mejora de las partes y prestaciones con bajos consumos de combustible por medio de avances tecnológicos, esto se evidencia en los cambios que presentan las máquinas, equipos y el motor diésel en sus diferentes sistemas (sistemas de combustible y sistema de control electrónico). Sin embargo, la evolución trae algunos retos, entre ellos: la necesidad de capacitación, la actualización de conocimientos básicos del control electrónico, informar sobre los peligros al intervenir este tipo de sistemas de alta presión y del alto costo de los elementos, equipos y maquinaria Caterpillar que da mayor importancia a la necesidad de personal capacitado, para la intervención en el sistema CR de alta presión de manera segura.

Los avances tecnológicos de estos sistemas de combustible permiten tareas de diagnóstico y tareas operativas de manera electrónica; es acá donde se observa la necesidad de disponer de herramientas para realizar estas actividades de aprendizaje, interacción y diagnóstico con las exigencias tecnológicas y de capacitación que se requieren para intervenir un sistema CR las cuales son múltiples, de ahí la importancia de

informar e instruir acerca de los cambios tecnológicos en los sistemas CR y usarlos para la capacitación; ello implica que el personal estudiantil, aprendiz o técnico tenga unos procesos de conexión claros con material práctico como lo es la interconexión y los elementos electrónicos de un sistema CR siendo necesario en todos los procesos de conexión un módulo de control electrónico del motor con la interconexión .

En el presente estudio se busca identificar a través de una interconexión para sistemas de inyección Común Riel, para el enlace de un sistema de combustible CR en un motor diésel por medio de la interconexión en 3 casos prácticos: 1. Interconexión con Motor removido del equipo o máquina con sistema de combustible CR, 2. Sistema electrónico CR completo removido del motor y 3. ECM del motor independiente del sistema electrónico. los cuales permiten la mejora de los procesos de diagnóstico de los componentes electromecánicos de estos sistemas de combustible, facilitando así los procesos de conexión e interacción cumpliendo los diferentes requerimientos técnicos y operativos de los sistemas electrónicos de un motor diésel Caterpillar con sistema electrónico CR. Utilizando la interconexión por medio de diagramas de flujo, para informar detalladamente y permitir al participante comprender de manera correcta los aspectos básicos del sistema electrónico en cuanto a comunicación y las conexiones requeridas.

En el presente estudio se hará de igual manera la simulación, pero no con el software Simulink, sino con un software Caterpillar (ET) más especializado y estandarizado para el diagnóstico de los motores de la marca. Este software es una herramienta de servicio basada en que el técnico de servicio tiene la capacidad de comunicarse y trabajar con los controles electrónicos de los productos Caterpillar. Se adjunta como anexo D un manual donde se explica su funcionamiento y se dan todas las especificaciones técnicas. En la

simulación se muestran los datos obtenidos de los sensores (presión de combustible, presión de aceite de motor, presión de aire de admisión, presión atmosférica, temperatura de refrigerante de motor, temperatura ambiente y velocidad del motor), ofreciendo gráficos en tiempo real y realizando pruebas de diagnóstico. El software para usar en este proyecto permite tener datos exactos en tiempo real, en tiempos cortos, y por medio de su menú con diferentes opciones de interacción del ET, permite observar fallas registradas actuales y anteriores del sistema CR Caterpillar.

1. Antecedentes

En la industria de maquinaria con motores Diésel se presenta un incremento en la demanda de personal capacitado con conocimientos básicos en sistemas de inyección en este tipo de motores. Por lo tanto, es importante contar con herramientas idóneas para la formación de personal en carreras afines, que permitan adquirir conocimientos funcionales acerca de los sistemas de inyección CR en motores Diésel, permitiendo manipular e intervenir el sistema de manera física, obteniendo conocimientos básicos y reduciendo los riesgos de generar daños a los equipos o lesiones personales.

En los inicios de la industria, la bomba inyectora diseñada por Bosch permitió el uso por primera vez del motor Diésel en vehículos. El primero fue un camión fabricado por MAN. Este llevaba un sistema de inyección directa al cilindro, lo que provocaba que el motor tuviera una mala combustión con excesivas vibraciones y ruidos. Castillejo (2014)

El motor Diésel comprimía por medio de un compresor accionado por el motor, una reducida cantidad de aire a una presión muy superior a la que existía en el cilindro e inyectaba, el carburante con la ayuda de un chorro de aire. Este compresor aumentaba, en forma muy apreciable, el peso del motor. Diesel había intentado, en un principio, inyectar directamente el carburante, pero fracasó en sus propósitos al no conseguir la suficiente pulverización de la mezcla que produjera una rápida combustión. No se disponía entonces de bombas e inyectores apropiados. Blasco (s.f.)

Comercialmente, el motor diésel no comenzó su auge hasta después de la Primera Guerra Mundial, apareciendo los primeros camiones con este tipo de motor sobre el año

1920. Más adelante, se implementó también en trenes y a finales de la década de 1930, un cuarto de los barcos ya funcionaba con este tipo de motor. A pesar del desarrollo de los diversos prototipos desde el 1930, el primer turismo diésel que se comercializó y se produjo en serie fue el Mercedes-Benz 260D en el año 1936. Flórez (2019)

Un motor Diésel es un motor térmico que funciona de manera sincronizada con el fin de producir un trabajo mecánico que incorpora múltiples sistemas entre los cuales se pueden resaltar los sistemas de enfriamiento, lubricación e inyección de combustible, entre otros. Los motores Diésel, son motores de combustión interna de 4 tiempos (admisión, compresión, explosión y escape) que trabajan a relaciones de alta compresión y altas temperaturas, con el fin de producir la autoignición del combustible. Consuegra (2017). Los motores Diésel son mecanismos robustos y pesados, a fin de que puedan resistir las altas relaciones de compresión (presiones) y temperaturas. El aire es comprimido a una relación alta que puede variar según el diseño del motor de 13:1 a 22:1 Islas (2006), lo que produce que el aire en la cámara de combustión, que es hermética, se caliente lo suficiente como para inflamar el combustible en el momento que sea suministrado (pulverizado) por el inyector.

Existe una serie de aplicaciones en las cuales participan los motores Diésel como es campo de la industria y construcción, tales como: maquinaria pesada, medios de transporte de carga y de pasajeros, generadores de energía, motores marinos, estaciones petroleras, etc.

En la actualidad uno de los sistemas más importantes de un motor Diésel es su sistema de inyección, el cual es el encargado de suplir el combustible regulado al motor,

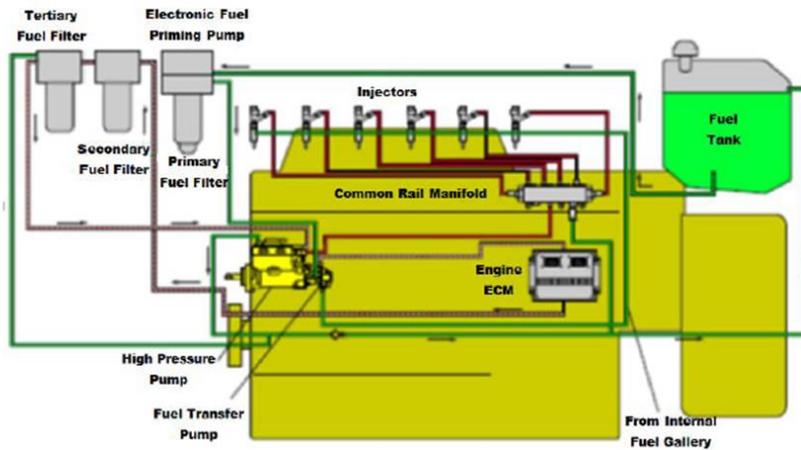
determinando su funcionamiento, rendimiento y operación. Las variables básicas de operación del motor (torque, velocidad, potencia, temperatura, presión de lubricación, presión de combustible, presión de refuerzo o turbo, flujo de agua, presión de agua, entre otros), dependen directa o indirectamente de la regulación adecuada del sistema de inyección

El fin de este sistema de inyección de combustible es lograr una pulverización adecuada y así optimizar el proceso de inflamación de una mezcla que se forma en la cámara (aire a alta temperatura y combustible con alta presión) al inyectar el combustible, Principio básico del ciclo de Encendido por Compresión en los motores Diésel. Para lograr esto, se hacen unos orificios mucho más pequeños en los inyectores porque anteriormente se fabricaban más amplios ubicados radialmente. En sí, este sistema es similar a la inyección multipunto de un motor a gasolina, donde también hay una galería común para los inyectores, pero la única diferencia es que en el motor Diésel se opera a una presión mucho más alta [6].

El combustible almacenado en el tanque es tomado por una bomba de transferencia accionada eléctricamente y enviado a una segunda bomba (bomba de inyección de alta presión), que inyecta el combustible a presiones que pueden variar desde unos 30 MPa (4350 psi) hasta 200 MPa (29000 psi) al cilindro, según las condiciones de funcionamiento. Fernández (2015). La bomba de transferencia se encuentra instalada en la propia bomba de inyección de alta presión, la cual es accionada por el engranaje de distribución. A continuación, es posible visualizar el sistema de combustible en una imagen.

Figura 1

Circuito Sistema de Combustible CR.



Fuente: Flórez (2019)

Cuando se tienen fallas en un sistema de inyección, se genera un bajo rendimiento, alto calentamiento, baja potencia, trabajo irregular, aumento en las vibraciones, sonidos anormales, exceso de humos en el escape, inadecuada relación de aire-combustible, entre otros. Algunas causas comunes de falla suelen ser: entrada de aire al sistema de inyección, filtros de combustible contaminados, tanque de combustible en mal estado, líneas de combustible en mal estado, combustible contaminado, inyectores y bomba defectuosa, inyectores con poca estanqueidad, inyectores con mala pulverización de combustible, bomba de inyección con fugas internas, etc.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Implementar una interconexión para motores Caterpillar con sistema de inyección de riel común.

2.2 Objetivos específicos

- Examinar las características que contienen módulos didácticos relacionados con los motores Diésel.
- Presentar los procedimientos de conexión y comunicación para los sistemas común riel en motores Caterpillar.
- Definir las variables de entrada y salida a controlar para el funcionamiento del módulo de interconexión del sistema de inyección CR atendiendo los protocolos recomendados por el fabricante.
- Desarrollar un sistema de interconexión que permita la comunicación entre el módulo de control electrónico del motor y el software de diagnóstico ET Caterpillar.
- Visualizar los niveles de variación de las señales que permiten identificar una falla con el sistema electrónico CR en motores diésel Caterpillar.

3. Planteamiento del Problema y Justificación

3.1 Planteamiento del Problema

Uno de los principales inconvenientes en el personal operativo de motores Diésel, surge debido a que empresas como Gecolsa, no dispone de material de prueba (una interconexión) para la capacitación en el funcionamiento de los sistemas de inyección común riel (CR) en los motores Diésel, debido a la falta de herramientas que permitan la comunicación entre el personal y el sistema eléctrico de un motor con sistema CR en procesos de reparación, inspección o diagnóstico de fallas en diferentes procesos donde solo se cuenta con el módulo o con el sistema electrónico CR removido del equipo. Además, se evidencia una ausencia de elementos que permita conectar el sistema electrónico del motor y a las herramientas de diagnóstico Caterpillar y que a la vez cumpla los protocolos de comunicación y que no solo dependa del sistema de la maquina o del dinamómetro de la empresa Gecolsa para realizar los procesos de evaluación , por lo cual, gran parte del personal demuestra poco conocimiento práctico en los elementos electrónicos del sistema de inyección CR, siendo más evidente en el personal que recién ingresa a la compañía y practicantes .

El propósito es implementar una interconexión para la comunicación entre el módulo electrónico y el sistema de inyección CR en motores Diésel CAT, por medio de procesos de diagnóstico que permita la conexión y visualización del funcionamiento en el sistema de inyección CR de alta presión y diferentes estados de falla que pueden ser registradas e inducidas. Por medio de los componentes principales del sistema y herramientas de diagnóstico de la marca Caterpillar, se busca comprobar el funcionamiento de las partes y

las características de un sistema de inyección CR, en el cual se facilite el aprendizaje de manera práctica; el desarrollo de la interconexión solo es conectada al ECM y al sistema CR para mejorar los procesos de capacitación del personal acerca del funcionamiento y pruebas que se realizan en estos sistemas, y que además permita a estudiantes, técnicos e investigadores interesados en el tema, realizar ejercicios prácticos, análisis de conexiones y desconexiones, para visualizar códigos de falla con el fin de complementar el aprendizaje teórico con estas prácticas, es un aporte importante para los procesos de capacitación y de evaluación teniendo en cuenta los que actualmente se desarrollan en la empresa.

En la actualidad para el desarrollo de los procesos de evaluación y diagnóstico cuando se solicita por parte de un cliente una intervención en la maquina en campo o de un motor en el taller se debe tener en cuenta los tiempos de programación, apertura de orden de trabajo y desplazamiento del técnico disponible al sitio de trabajo; Los procesos de evaluación en campo están sujetos a una disponibilidad en tiempo, estos sistemas tienen variables como la inspección inicial, algo que se puede mejorar en cuanto a tiempos de evaluación por medio de herramientas de evaluación como la interconexión en diferentes aspectos siendo el principal el tiempo y efectividad en la evaluación del sistema de combustible.

En taller cuando se reciben los motores como componente unitario no se realiza el proceso de evaluación del sistema electrónico CR, en ese primer momento es importante realizar el proceso de diagnóstico de este sistema para determinar que fallas y que componentes se requieren anexar para no tener inconvenientes o retrasos por problemas con la ECM o el cableado y que en la actualidad solo se tiene claro hasta el momento de

terminado del armado y pruebas en el dinamómetro ya que en este se realiza el proceso de conexión del sistema electrónico.

Con la interconexión se pueden realizar los procesos de diagnóstico del motor y sistemas electrónicos unitarios mejorando los procesos de reparación y garantizando el funcionamiento de estos sistemas sin necesidad de esperar la disponibilidad de herramienta del dinamómetro.

Tabla 1.

Horas de evaluación en el taller de cada motor.

Motores CR	Horas taller	evaluación CAMPO
C6.6	8	12
C4.4	8	12
C6.4	8	12
C7.1	8	12

Tabla 2.

Evaluación del sistema de motor con sistema CR.

Evaluación del sistema de motor con sistema CR			
	Tiempo evaluación.	Ventaja	Desventaja
Dinamómetro	Disponibilidad de herramienta.	Conexión motor independiente	Mayor tiempo espera.
Máquina	Disponibilidad personal capacitada.	Evaluación motora y equipo general.	Mayor tiempo espera, no permite independizar módulo de motor.
Sistema interconexión	Inmediato.	Disponibilidad inmediata, conexión independiente, interacción con sensores, capacitar y pruebas.	Actualmente solo se cuenta con una interconexión que es la desarrollada en este proyecto en la empresa Gecolsa sede sabaneta

El desarrollo de este proyecto es muy importante ya que el estudio de este tema logrará que como futuros ingenieros electromecánicos, se opte por crear una cultura de investigación en las áreas de electrónica, aplicadas en el área de maquinaria, para obtener experiencia, que luego pondremos en práctica en nuestro desarrollo profesional, a fin de garantizar los diferentes procesos de reparación, construcción, adaptación y optimización de los diferentes sistemas del equipo, específicamente en los parámetros fundamentales de aplicación en los motores diésel como son: mezcla de aire-combustible con resultados de aumento de potencia y torque, reducción del consumo de combustible e incluso la reducción de las emisiones de gases nocivos y contaminantes producto de combustiones defectuosas.

Los valores en tiempo serán medidos de forma diaria y en dos aspectos de la logística o tiempos de trabajo dentro de las instalaciones de Gecolsa

Servicio de evaluación campo: 12 horas aproximadamente para inspección.

3.2 Pregunta de investigación

¿Es viable implementar una interconexión para motores diesel caterpillar con sistemas de inyección CR para el personal de gecolsa, donde se realicen conexiones que permitan visualizar el funcionamiento y diagnóstico de fallas en diferentes procesos de conexión?

3.3 Justificación

Los motores con sistema de inyección CR Caterpillar operan a una alta presión de combustible para un adecuado rendimiento, logrado por su sistema de control electrónico. Estos motores son empleados en diversos equipos de la marca Caterpillar® de maquinaria pesada.

Cuando algún motor o máquina presenta fallas de funcionamiento, es diagnosticado en el taller, para ello se cuenta con áreas específicas, ya sea para la evaluación del sistema, la reparación o el remplazo de este. Para trabajos con sistemas de alta presión, es importante contar con herramientas, protocolos de seguridad y conocimientos básicos adecuados.

Es allí donde se hace necesario la implementación de una interconexión que permita, por medio de los elementos del sistema y las herramientas de diagnóstico, identificar las fallas actuales o cargadas al sistema electrónico del motor almacenadas en el módulo de control electrónico (ECM).

Resulta de gran utilidad materializar e implementar un juego de cables con conectores específicos en sistemas de inyección Arpara instruir al personal sobre el funcionamiento y pruebas que se realizan a los sensores de los motores Diésel Caterpillar. Se podrá mejorar la adquisición de los conocimientos con ayuda de un entrenamiento básico sobre el funcionamiento y diagnóstico de este tipo de sistemas.

Es en este aspecto, se proponen alternativas que faciliten estos procesos, generando mayor facilidad de conexión y confianza al momento de inspeccionar estos sistemas con la interconexión propuesta en un motor con sistema de inyección CR.

El presente desarrollo permitirá mejorar los procesos de diagnóstico de fallas y así mejorar las evaluaciones e intervenciones que se realizan por el personal que no cuenta con una herramienta de conexión para motores Diésel en los casos en que se encuentra el sistema removido de la máquina.

3.4 Delimitación del problema de investigación

La elaboración de la interconexión para un sistema de inyección CR en motores Diésel Caterpillar, por cuestiones de costo, no fue construido en su totalidad con un sistema completo de inyección CR. Por ello, se acondicionó un sistema de inyección CR disponible en las instalaciones de Gecolsa como componentes de práctica y no propios del proyecto, donde se realizarán prácticas de comprobación de los sensores que componen el sistema de inyección en estos motores; En este proyecto se realizó una recopilación de información sobre las características principales de los módulos de aprendizaje relacionados con sistemas de inyección; además se caracterizaron las variables principales involucradas en el funcionamiento de los componentes electrónicos de un sistema de inyección Diésel CR.

4. Marco Teórico

4.1 Descripción Sistema de Inyección CR

El CR es un sistema que cuenta con un múltiple de almacenamiento de combustible de alta presión de donde parte una ramificación de tuberías para cada inyector de cada cilindro. El funcionamiento de la bomba de transferencia se encarga de suministrar una presión de combustible, aproximadamente de 296 a 400 kPa (43 – 58 psi) Fernández (2015). La bomba de alta presión cuenta con un solenoide, el cual se encarga de controlar la presión de salida de la bomba, esto lo realiza permitiendo que parte del exceso de flujo de combustible retorne al tanque. Las partes fundamentales que trabajan en conjunto en el sistema de inyección son:

- Tanque de combustible: depósito para el almacenamiento de combustible.
- Líneas (mangueras o tubería) de baja presión: suplen combustible a las bases de filtros y bomba de inyección a baja presión que oscila entre los 20 a 35 psi de presión.
- Bomba de transferencia: como su nombre lo indica, transfiere combustible al sistema de inyección a una baja presión garantizando un flujo constante de presión a la bomba de inyección.
- Filtros de combustible: son los encargados de filtrar y garantizar una buena calidad del combustible al sistema de inyección.
- Bombas de inyección: es la encargada de aumentar la presión de combustible y mantener una presión alta para así suplir a los inyectores.
- Líneas o tubería de alta presión: transportan el combustible desde la bomba a los inyectores a una alta presión de una forma hermética.
- Inyectores: pulverizan el combustible en la cámara de combustión del motor para generar el auto ignición de este combustible pulverizado por los inyectores. Caterpillar (2007).

En los sistemas CR (Riel Común) tiene aspectos de seguridad, aun así, por más capacitado que se encuentre, no se debe tratar de eliminar el aire de las tuberías de los inyectores, aflojándolos al momento de dar arranque pues se debe tener en cuenta que la

presión del CR de combustible puede alcanzar los 23000 psi y puede ocasionar daños en la piel por penetración de fluidos a alta presión y poner en riesgo su integridad física. Caterpillar Inc (2007). Cuando se interviene o se remueve la tubería del inyector y/o reutilice un inyector, siempre se debe taponar los conductos y líneas inmediatamente para evitar que ingrese contaminación y evite el desgaste prematuro de componentes de este sistema.

4.2 Elementos electrónicos que componen el sistema CR

El ECM es un módulo de control electrónico comúnmente llamada “la computadora” para el sistema de combustible y es quien recibe señales de los sensores para poder controlar parámetros como: consumo de combustible y velocidad del motor. Este módulo se puede observar en la Figura 1.

Figura 1

ECM (Modulo de control electrónico).



Fuente: Propia.

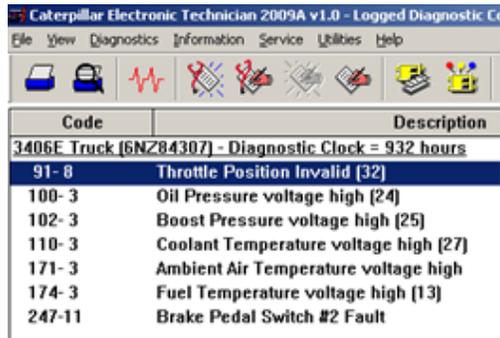
Estos modelos de motores Caterpillar que utilizan sistema CR, están diseñados específicamente para ser controlados de manera electrónica, por medio de un ECM que tiene almacenado los parámetros de funcionamiento normales del motor, estos ya están establecidos por el fabricante en la configuración del módulo, para el funcionamiento óptimo del motor se presentan los parámetros con los rangos de los sensores como son: presión de aceite 30 a 60 psi ,la temperatura del refrigerante de 86°C y la presión de combustible de 44 psi a 80 psi .Las variables de los sensores enviados al ECM son parámetros de funcionamiento actuales del motor, los cuales son comparados con los parámetros almacenados del ECM el cual realiza una comparación entre los datos recibidos o reales y los parámetros almacenados que son los deseados para la respuesta óptima del motor, El control total del motor se realiza por medio del control del sistema de combustible y del sistema de velocidad/sincronización del motor.

El sistema de control electrónico del motor proporciona las siguientes funciones: regulación de la velocidad del motor que varía entre 800 RPM Y 2200 RPM, protección de las altas temperaturas en el sistema de enfriamiento que no supere los 88 °C, presiones en los sistemas de lubricación que no sea inferior a 45 PSI ni superior a 70 PSI y para el sistema de combustible de alta presión del motor no superen los 35000 PSI. La ECM monitorea continuamente todos los datos de los sensores, Cuando se detecta un problema, la ECM genera un código de falla activo y por medio de un indicador de alerta enciende un testigo el cual nos indica que se debe de realizar una verificación del motor. Cada código tiene un número único y se almacena en la memoria. Los códigos que ya no están activos se denominan códigos registrados. En la figura 3 se muestra un código registrado que indica que se ha producido un problema en un elemento indicado con un número para la

identificación del código y una descripción del sistema o sensor que presentan el código de falla.

Figura 2

Visualización de códigos por medio de ET.



The screenshot shows the Caterpillar Electronic Technician 2009A v1.0 software interface. The title bar reads "Caterpillar Electronic Technician 2009A v1.0 - Logged Diagnostic Co". The menu bar includes "File", "View", "Diagnostics", "Information", "Service", "Utilities", and "Help". The main window displays a table of diagnostic codes and their descriptions for a 3406E Truck (6N284307) with a diagnostic clock of 932 hours.

Code	Description
3406E Truck (6N284307) - Diagnostic Clock = 932 hours	
91-8	Throttle Position Invalid [32]
100-3	Oil Pressure voltage high [24]
102-3	Boost Pressure voltage high [25]
110-3	Coolant Temperature voltage high [27]
171-3	Ambient Air Temperature voltage high
174-3	Fuel Temperature voltage high [13]
247-11	Brake Pedal Switch #2 Fault

Fuente: Propia

Un componente de salida es un actuador en los sistemas de inyección electrónica CR, como son los solenoides de los inyectores y el solenoide de la bomba de alta presión de combustible, estos actuadores son comandados por el módulo de control electrónico del motor ECM, el componente de salida recibe una señal eléctrica del módulo y utiliza la señal eléctrica para realizar el trabajo requerido por medio de los actuadores.

Figura 3

Motor diésel con sistema común riel- Gecolsa Cat sabaneta Antioquia.



Fuente: Propia.

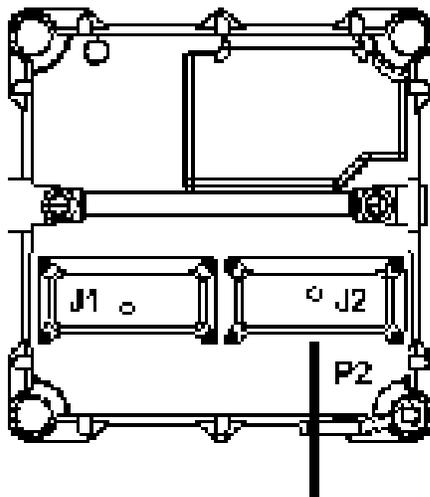
La ECM (módulo de control electrónico) compara las lecturas de los sensores de velocidad primario (la volante de motor) y del sensor de velocidad secundario (bomba de alta presión), Si la ECM no recibe señal del sensor de velocidad secundario el motor no arranca; sin embargo, si el sensor de velocidad secundario o el cableado fallará mientras el motor está funcionando; la ECM no apagará el motor, la ECM se basará en la última información que le llega desde el sensor de velocidad primario (del último arranque). Las condiciones (estatus) de los sensores de velocidad pueden ser monitoreadas por medio de un software (ET) desarrollado por la marca para los procesos de diagnóstico e interacción con el sistema. Caterpillar (2007)

Este ECM (módulo electrónico) dispone de 2 conectores que es donde contiene sus pines de conexión como se observa en la figura 4. Estos conectores se clasifican como J1 y J2. El conector J1 es utilizado para las entradas, salidas y para la alimentación del ECM

con la máquina o equipo. El componente J2 se enlaza por medio de la conexión del cableado a los componentes del motor como switches, sensores y actuadores.

Figura 4

ECM con vista de conectores J1 y J2.



Fuente: Propia.

Las principales funciones del sistema electrónico y de control son:

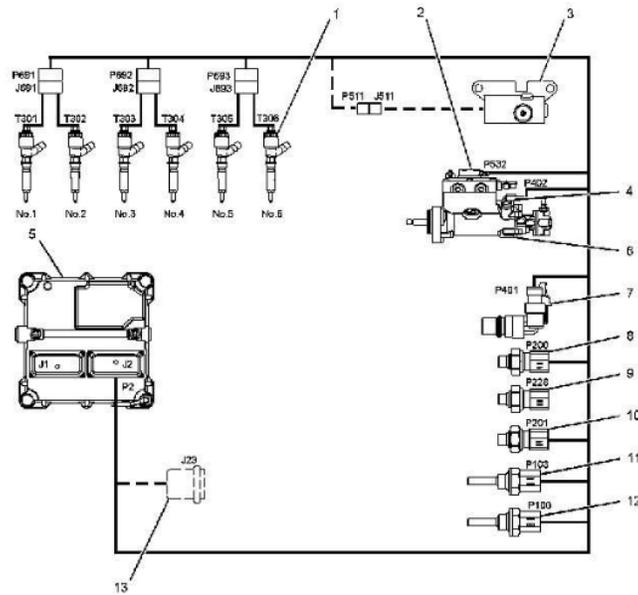
- Determinar el tiempo y la cantidad de combustible a ser inyectado en el inyector de combustible.
- Utilizar la entrada de los sensores en el motor, como los sensores de velocidad, sincronización o tiempo y los sensores de presión.
- Controlar la presión de combustible aumentando o disminuyendo el flujo de combustible entregado desde la bomba mediante el control del tiempo y el flujo de combustible por medio del accionamiento del solenoide del inyector.

La cantidad de combustible es proporcional a la duración de la señal que se envía al solenoide del inyector Caterpillar Inc., (2007).

En el sistema interactúan los elementos que se observan en la figura 6 y que posteriormente se describen:

Figura 5

Elementos que interactúan en sistema CR.



Fuente: Caterpillar Inc, (2007).

- (1) Inyector unitario electrónico.
- (2) Solenoide para la bomba de inyección de combustible.
- (3) Sensor secundario de velocidad y tiempo.
- (4) Bomba de inyección de combustible.
- (5) Módulo de control electrónico.
- (6) Sensor secundario de velocidad y tiempo.
- (7) Sensor de presión de múltiple de admisión.
- (8) Sensor de presión de múltiple de combustible.
- (9) Sensor de presión de aceite de motor.

- (10) Sensor de temperatura de refrigerante.
- (11) Sensor de temperatura de múltiple de admisión.
- (12) Sensor de temperatura de enfriador.
- (13) Conector de diagnóstico.

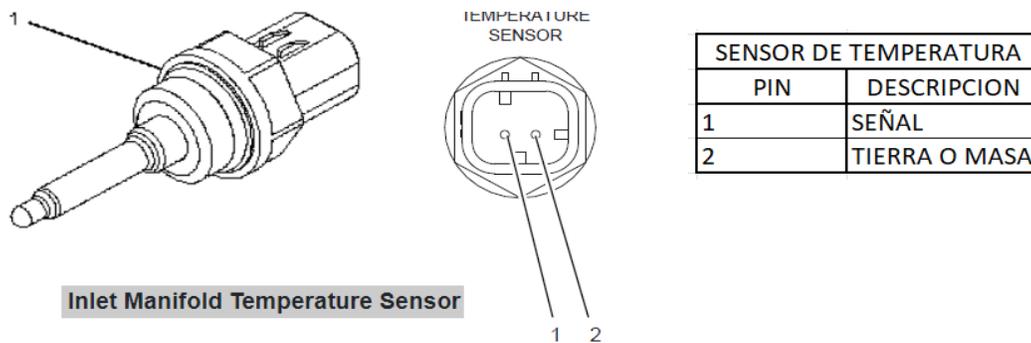
4.2.1 Sensores

- **Sensor Temperatura de la Admisión**

El sensor de temperatura del aire de admisión mide la temperatura del aire de admisión y envía la señal al Módulo de Control Electrónico (ECM) para que vigile dicha señal. El ECM puede indicar el aumento de temperatura del aire de admisión por medio de un suceso reflejado en el ET por medio del sensor de temperatura del aire de admisión. El ECM al indicar la alta temperatura del aire de admisión no hará que el motor se detenga ni que se produzca un cambio de potencia.

Figura 6

Sensor Temperatura de la Admisión.



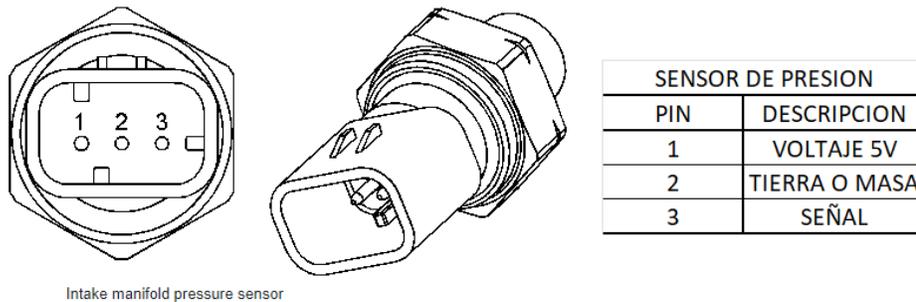
Fuente: Caterpillar Inc. (2015)

- **Sensor de Presión de Múltiple de Admisión**

El sensor de presión de múltiple de admisión es el encargado de medir la presión de aire de admisión, el ECM procesa la información y controla la inyección de acuerdo con los requerimientos. El ECM puede indicar una baja presión a través de código de falla y disminuyendo la potencia del motor.

Figura 7

Sensor de Presión de Múltiple de Admisión.



Fuente: Caterpillar Inc (2015)

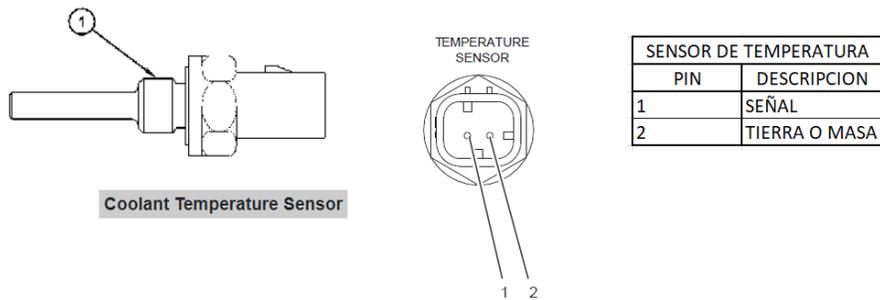
- **Sensor de Temperatura de Refrigerante.**

El sensor de temperatura del refrigerante mide, y en ocasiones, controla la temperatura del refrigerante del motor. Esta función se utiliza para realizar el diagnóstico de los sistemas del motor que tienen una salida proveniente del ECM. Aunque se produzca una

falla en el sensor de temperatura del refrigerante, el motor no se detendrá, pero si puede ratear y sufrir una reducción de velocidad (rpm) o baja potencia.

Figura 8

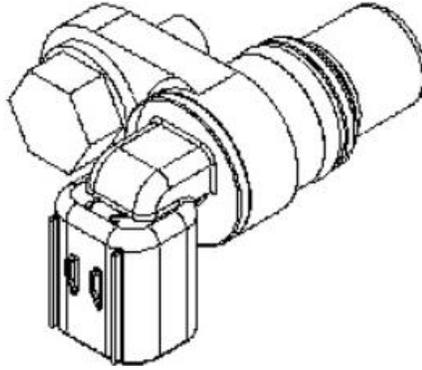
Sensor de Temperatura de Refrigerante.



Fuente: Caterpillar Inc (2015)

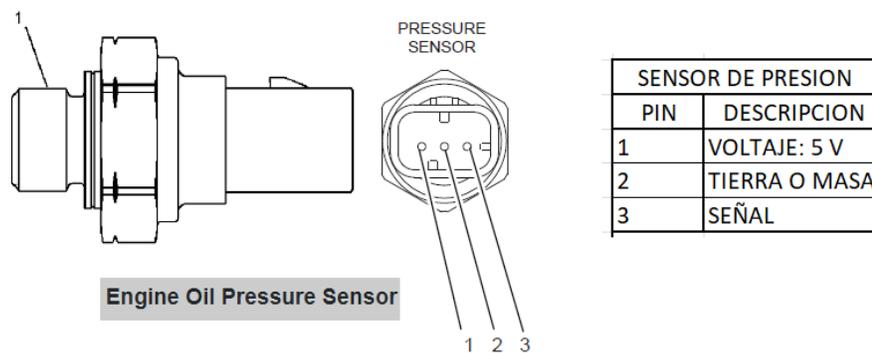
- **Sensor Velocidad/Tiempo**

La sincronización y velocidad del motor es controlado por el ECM a través del circuito de velocidad/sincronización que consta de dos sensores de velocidad/sincronización. La falla intermitente de los sensores puede producir el control irregular del motor.

Figura 9*Sensor Velocidad/Tiempo***Fuente:** Caterpillar Inc (2015)

- **Sensor de Presión de Aceite de Motor**

El sensor de Presión de Aceite se encarga de monitorear la presión de funcionamiento del sistema de lubricación del motor.

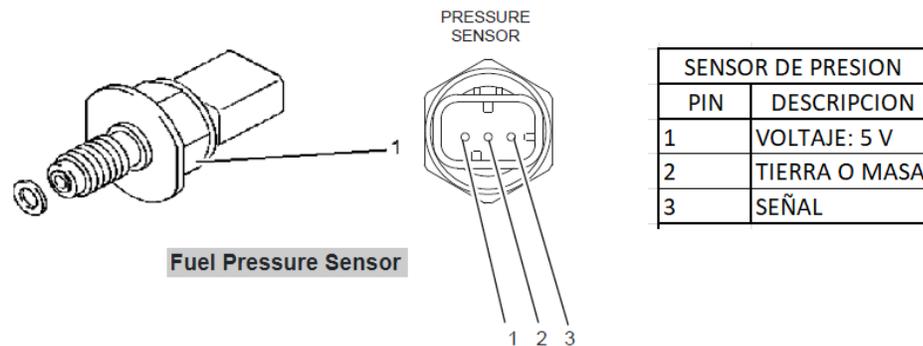
Figura 10*Sensor de Presión de Aceite de Motor***Fuente:** Caterpillar Inc (2015)

- **Sensor de Presión de Combustible**

La presión del sistema de combustible está controlada por este sensor, si se presenta una falla en su funcionamiento el ECM registrará el código de diagnóstico. Si existe una posible falla el motor no se detendrá, pero si puede generar un derrateo del motor y sufrir una reducción de velocidad (rpm) o baja potencia.

Figura 11

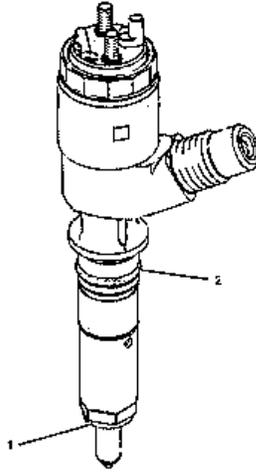
Sensor de Presión de combustible



Fuente: Caterpillar Inc (2015)

- **Inyector.**

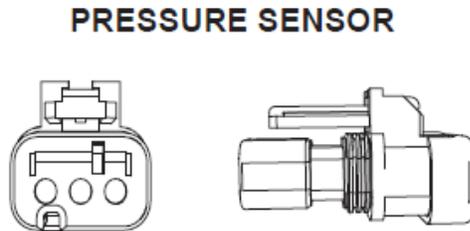
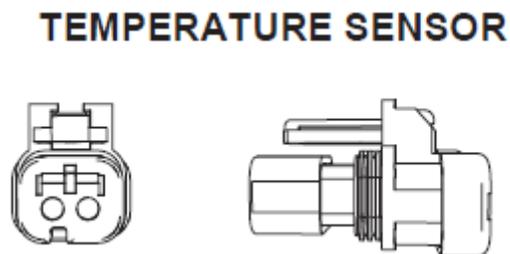
El inyector unitario es comandado electrónicamente y es quien presuriza el combustible cuando recibe la orden del módulo de control electrónico; este inyecta el combustible presurizado en la cámara de combustión.

Figura 12*Inyector*

Fuente: Caterpillar Inc (2015)

Por otro lado, dentro de los elementos necesarios para llevar a cabo el trabajo se tenían los conectores eléctricos, que como su nombre lo indica, los conectores cumplen la función de conectar los diferentes componentes electrónicos del sistema, los conectores deben reunir ciertas condiciones como, la de permitir una conexión impermeable que no permita el ingreso de humedad, aire o polvo a los pines o sockets que son metálicos y podrían ocasionar corrosión de estos y por lo tanto aislamiento.

Los conectores deben soportar las vibraciones y no permitir desconexiones entre sus elementos, además de asegurar una conexión respectiva a cada una de las diferentes señales, asegurando que no haya intercambio en las mismas.

Figura 13*Sensor de presión***Fuente:** Caterpillar Inc (2015)**Figura 14***Sensor de temperatura***Fuente:** Caterpillar Inc (2015)**4.3 Estado del Arte**

Considerando la importancia de los sistemas de inyección en los motores Diésel, ya se han diseñado varios módulos didácticos. A continuación, se relacionan algunas investigaciones, en la cuales se han implementado módulos didácticos para diferentes sistemas de combustible.

Araujo y Cárdenas (2002) propusieron unos pasos en el sistema de funcionamiento y código de averías; los pasos para diagnosticar una falla en el módulo didáctico son:

- Verificar que la batería posea una buena carga, es decir, que no esté por debajo de 12,4 V. Ese mismo voltaje es el que servirá para poder enlazar los módulos.
- Verificar que el nivel de combustible sea el apropiado en el tanque, ya que, de lo contrario, la bomba no succionará lo suficiente para proveer el caudal necesario para el funcionamiento del sistema.
- Garantizar la fuente de alimentación de 110 V, del motor eléctrico (taladro), ya que éste proporciona el giro a la polea del cigüeñal siendo la fuente de alimentación que energiza y pone en marcha todo el módulo didáctico.

El módulo diseñado posee un sistema de retorno de combustible hacia el tanque, el cual es el reservorio para una próxima prueba. Contando con el sistema eléctrico y mientras que el módulo didáctico se encuentra en funcionamiento, se pueden manipular algunos de los sensores que comprenden este sistema por medio del cual se varían parámetros de funcionamiento.

Cruz (2017) hizo una descripción de cada una de las partes, sistemas, fallas y módulo del motor; cada una está definida de manera individual y su forma de trabajo en conjunto en el sistema. Además de esto, cuenta con un apartado en el que se da una explicación clara del módulo de aprendizaje y su diseño.

Chamorro y Lara (2000) presentaron un trabajo basado en el desarrollo de una modelación y simulación para identificar el funcionamiento de cada uno de los componentes internos que conforman un inyector HEUI de un motor Caterpillar C7, a través de señales que fueron representadas en un software gráfico como Matlab/Simulink.

La utilización del scanner ayudó a verificar los parámetros de funcionamiento del motor a diferentes revoluciones, como por ejemplo en motor a bajas revoluciones sin carga. Un osciloscopio obtiene el voltaje que ingresa al solenoide del inyector y el tipo de curva que éste tiene a diferentes revoluciones del motor. En estado de revoluciones bajas, el osciloscopio marca marcó un voltaje de 40 V y a un régimen de giro de 2000 rpm (velocidades altas) indicó un voltaje de 70 V.

Troya y Vásquez (2014) abordaron tópicos acerca de composición y funcionamiento de los inyectores. Asimismo, expusieron pruebas del caudal a determinadas revoluciones, de igual manera que pruebas del simulador de la bomba del inyector. Mostrando el recorrido que hace el combustible para completar el circuito en el sistema de alta presión, controlado electrónicamente de manera viable y segura siguiendo ciertos lineamientos y advertencias para su manipulación.

Alulema, Mena y Cruz (2013) representaron el funcionamiento del sistema de combustible de un vehículo mediante un banco de pruebas, con el cual se indicaba la variación de caudal entregado por la bomba mediante las variaciones de revoluciones por minuto que generaba el motor utilizado. En el desarrollo se aplicaron procedimientos, técnicas, métodos de investigación, diseño y construcción y normas de seguridad, que dieron como resultado una manipulación exitosa del banco de pruebas.

5. Diseño Metodológico

5.1 Tipo de Investigación

La investigación que se realizó es descriptiva ya que con este tipo de investigación “se seleccionan una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas. Estos estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno” Cazau (2018).

La investigación que se realizó debido a su finalidad es de tipo descriptivo, ya que por medio de este proyecto se recopila información donde se puede evaluar, determinar y conocer diferentes módulos que permiten describir el funcionamiento e interacción de un sistema de inyección CR, teniendo esto, el propósito del diseño de este módulo es que el personal con pocos conocimientos prácticos mejore su nivel para conocer más a fondo las afectaciones de los componentes que hacen parte del sistema de inyección CR.

5.2 Enfoque de la investigación

Según el proyecto realizado se determina que el enfoque de esta investigación va dirigida a un estudio cualitativo, ya que se utilizó una estrategia de bola de nieve que son los criterios que recomienda el documento "Investigar sin angustia, claves estratégicas para desarrollar/orientar proyectos de investigación" Orejuela (2019). En este proyecto se agrupó información de trabajos previamente realizados y lograr dar respuesta a la pregunta de investigación.

5.3 Fuentes de investigación

Los trabajos de grado elegidos son destacados por las características de funcionamiento e implementaciones didácticas para el aprendizaje de los sistemas de alimentación de combustible que permiten adquirir conocimientos teóricos que se complementan con la práctica por medio de procedimientos descriptivos y detallados para verificar el funcionamiento del sistema de control electrónico de combustible en diferentes ramas de la industria de los motores como es el vehicular e industrial todos dirigidos al aprendizaje y capacitación. Las informaciones recopiladas de los principales trabajos de apoyo fueron: (Cazau et al., 2018), (Cayetano, 2014), (Alejandro Castillejo Calle, 2014), (Araujo & Cardenas., 2010)

5.4 Instrumentos

A partir de las siguientes categorías de rastreo de la información, esta propuesta investigativa busca responder la siguiente pregunta:

¿Es viable diseñar e implementar una interconexión en motores diesel caterpillar con sistemas de inyección CR para el personal de Gecolsa, donde se visualiza el funcionamiento y diagnóstico de fallas; para la obtención de conocimientos para la correcta interacción de este sistema?

5.5 Procedimiento de etapas de la investigación.

Diagnóstico del proceso actual: En esta etapa se analizó como es el desempeño en que se viene desarrollando en los procesos para análisis de diagnóstico en sistemas CR y análisis de los recursos actuales y de la poca capacitación que se tiene, al momento de intervenir estos sistemas de las posibles maneras descritas en el apartado de los resultados.

Identificación de problemas: Esta etapa ayudo analizar la problemática que viven los clientes cuando se encuentran con fallas técnicas en el sistema CR de sus equipos , donde directamente se ven afectados con los tiempos cesantes o maquina inoperativa, debido a la espera de personal capacitado o disponible para dirigirse a sus equipos para realizar una evaluación y definir cuál es el problema con el sistema electrónico del motor ; además, por parte económica donde hay gastos de viáticos, rodamiento, paradas de equipos y posiblemente necesario un segundo servicio de campo para definir la falla correcta .

Desarrollo del esquema eléctrico: Con el desarrollo desde el diseño de la interconexión se identificaron los diferentes componentes que son necesarios y que conformarían la interconexión se plantean de un sistema eléctrico propio de esta herramienta de aprendizaje y diagnóstico.

Construcción y materialización: Esta etapa da respuesta al ensamble de la interconexión en la cual se realiza la conexión del esquema eléctrico de manera física

respetando puntos de conexión, materiales a utilizar y las herramientas necesarias para la materialización de la interconexión.

Alternativas de solución: Con el desarrollo de la interconexión permiten una atención más rápida en menor tiempo y a menos costo ya que la herramienta es portátil y así evitar desplazamientos y demoras en el diagnóstico efectivo del sistema.

Con esta interconexión es más efectivo el diagnóstico, porque permite independizar el ECM del motor de las ECM que compone una máquina como es la de la transmisión, etc.; y garantizar el diagnóstico de fallas en el sistema CR únicamente conectados con el módulo del motor con la ayuda de la herramienta de diagnóstico: adaptador de comunicaciones (ET) y los conocimientos de los procesos de esta conexión detallados en este trabajo.

Diseño preliminar de análisis de módulo: Debido a que esta interconexión es una herramienta portátil; la hace versátil y adecuada para las evaluaciones por la facilidad de comunicación e interacción.

Con esta herramienta en cualquier equipo que requiera de una evaluación de su sistema de inyección CR se hace más simple; ya que es posible interactuar solo con el ECM para verificar su funcionamiento del sistema y de cada uno de sus sensores, evitando así; el transporte de personal en vehículos de motores y/o espera de personal capacitado con la probabilidad de un segundo servicio. Además, se hace más amigable la interacción sin el temor de cometer errores que ocasionen daños los elementos del sistema o lesiones personales.

Evaluación de desempeño: Analizando cada una de las etapas anterior descritas, con un diseño detallado e implementando o desarrollando esta interconexión, se realizan una serie de pruebas donde se evidencian y se pueden interactuar con el sistema electrónico de inyección CR, quedando una tabla con especificaciones sobre la interconexión desarrollada.

Visualización de los niveles de variación: Por medio de las etapas anteriores se realizan pruebas con la interconexión y la herramienta de diagnóstico ET que permiten modificar las variables de entrada y así visualizar las variaciones por procesos de conexión y desconexión de los sensores que son visualizados por medio de un código con el software de diagnóstico.

6. Resultados y Discusión

6.1 Introducción a los resultados

En la actualidad los motores diésel con sistemas común riel Caterpillar se encuentran instalados en la maquinaria Caterpillar que hace presencia en nuestro país, el sistema electrónico incorpora un módulo de control (ECM), cableado con sus conectores, actuadores y sensores para monitorear las condiciones de trabajo del motor y controlar la entrega del combustible, reduciendo en las emisiones contaminantes del escape un gran porcentaje y mejorando así el rendimiento del motor, el diagnóstico en estos sistemas se realiza con ayuda de herramientas propias de la marca y la interconexión implementada, además de estos elementos es importante los conocimientos básicos de diagnóstico y del manejo básico software cat.

En este apartado se presentan los resultados de la investigación, en el que se muestra el desarrollo del trabajo realizado, a partir de la pregunta investigativa: ¿Es viable diseñar e implementar una interconexión en motores Diesel Caterpillar con sistemas de inyección CR, donde se visualiza el funcionamiento y diagnóstico de fallas; para facilitar la conexión e interacción con control electrónico del motor?, diseñando una interconexión para los motores diésel Caterpillar con sistemas de combustible CR, por medio del cual se realizan diferentes casos de conexión con las herramientas de diagnóstico electrónicas de la marca, la interconexión desarrollada y los elementos a evaluar del sistema CR .

Una vez se obtiene toda la información de los manuales eléctricos y esquemas de las conexiones necesarias para comunicación con el módulo de control electrónico del motor

ECM, sin la necesidad de estar instalado en la máquina, se procede a definir los parámetros de funcionamiento y agrupar los materiales para hacer posible la materialización de la interconexión que enlace los componentes electrónicos del sistema CR en diferentes procesos de conexión y las herramientas de diagnóstico CAT.

En la figura 2, se tiene un motor con sistema CR, el cual se encuentra removido de la máquina y ubicado en las instalaciones de Gecolsa para su reparación, el cual es utilizado para las pruebas de conexión. El motor cuenta los elementos de combustible y electrónico del sistema de inyección de combustible.

6.2 Caracterización de los módulos didácticos relacionados con los motores diésel.

En la actualidad la importancia de los sistemas la inyección de combustible para los motores diésel es alta y de gran demanda por lo tanto de igual manera de personal capacitado para ello en diferentes universidades se han desarrollado proyectos didácticos relacionados con los sistemas inyección de combustible destinados a la capacitación , entrenamiento y visualización del funcionamiento de diferentes componentes del sistema que facilitan la comprensión de conceptos de manera práctica para el personal estudiantil u operativo de motores diésel.

Se presentan los nombres de los proyectos de grado con las características relacionados con los motores diésel.

6.2.1 Elaboración de una maqueta didáctica del sistema de inyección electrónica Common rail de un motor Mazda bt-50 diésel. Fernández (2015)

Este proyecto resalta el crecimiento del parque automotor y se enfoca en los vehículos diésel a nivel vehicular no solo para trabajo pesado en este caso son las camionetas utilizando en su proyecto el motor diésel del vehículo modelo BT50 diésel de la marca MAZDA, centrándose en la problemática en que se debe de contar con personal preparado para realizar el mantenimiento y diagnóstico del sistema electrónico y sus componentes por medio de la maqueta didáctica elaborada y diferentes herramientas de diagnóstico automotriz como es el multímetro, osciloscopio y escáner.

Figura 15

Prueba de alimentación del sensor EFT.



Fuente: Fernández (2015)

Figura tomada de los resultados del trabajo del autor donde se realiza la medición en el motor de manera física para realizar la comparación con los valores de funcionamiento indicados por el fabricante.

Este trabajo utiliza el motor diésel con herramientas de diagnóstico como maqueta didáctica del sistema electrónico de alimentación de combustible de tipo riel común donde

se realiza un análisis de los valores de funcionamiento obtenido por medio de las mediciones con herramientas de diagnóstico comparándolos con parámetros de f teóricos del manual del fabricante MAZDA para este modelo en específico camioneta BT-50 y plasmando las lecturas medidas en tablas para su comprensión.

Tabla 3.

Características del motor CRID MAZDA BT-50 en el que se basó el proyecto para la elaboración de una maqueta didáctica.

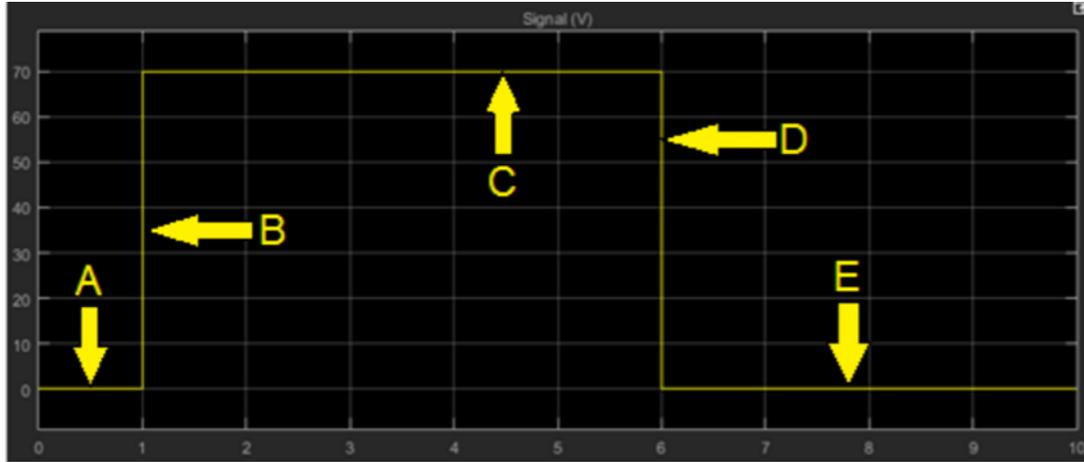
Nº CILINDROS	4
VALVULAS POR CILINDRO	4
TIPO DE SISTEMA DE COMBUSTIBLE	INYECCION DIRECTA, COMMON RAIL.
CILINDRAJE	2.499 cc
ELEMENTOS DEL SISTEMA	MODULO DE CONTROL ELECTRONICO, BOMBA DE INYECCION E INYECTORES
SENSTIDO DE ROTACION DEL MOTOR	SENTIDO AGUJAS DEL RELOJ
POTENCIA	140.9 HP / 3500 RPM

6.2.2 Modelación y simulación de los inyectores Heui de un motor CAT C7. Chamorro y Lara (2000)

Este proyecto implementó el sistema de inyección electrónica de un motor diésel Caterpillar c7 en el software Simulink para la simulación de cada una de las partes del modelo diseñado que consta de cuatro partes principales: solenoide, HDV, intensificador y la aguja, Para la visualización de cada una de las partes del modelo se realizó un proceso de conexión a un monitor con la salida de cada bloque, de igual manera para observar todo el sistema junto, están conectadas todas las salidas de cada uno de los bloques a un solo monitor.

Figura 16

Señal de accionamiento simulada mediante Simulink.



Fuente: Chamorro y Lara (2000)

En esta imagen se evidencia la utilización de software Simulink para la simulación de la señal de accionamiento enviada por el módulo de control electrónico del motor indicando el tiempo en el que permanece el solenoide accionado, este proceso de simulación se presenta y se describe de acuerdo a una variación de accionamiento y se compara con la misma medición de la señal de accionamiento, pero con la herramienta de diagnóstico osciloscopio.

La figura 17 muestra la señal del control al momento al que ECM envía un correspondiente voltaje, se logra visualizar durante diferentes comportamientos los parámetros obtenidos:

- A: Tiempo en que el solenoide no está energizado
- B: Voltaje máximo del solenoide
- C: Tiempo de permanencia del solenoide energizado
- D: Reducción del nivel de la corriente

E: Al igual que el parámetro A, este representa el tiempo en que el solenoide no vuelve a estar energizado

La tabla 4 presenta las características de diseño y rendimiento del motor utilizado en este proyecto además indicando los elementos más importantes del sistema de inyección electrónica.

Tabla 4.

Características del motor utilizado en el proyecto modelación y simulación de los inyectores HEUI de un motor CAT C7.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES MOTOR C 7 CAT	
N° CILINDROS	6
VALVULAS POR CILINDRO	4
TIPO DE SISTEMA DE COMBUSTIBLE	INYECCION DIRECTA, HEUI
CILINDRAJE	7.2 L
ELEMENTOS DEL SISTEMA	MODULO DE CONTROL ELECTRONICO, BOMBA DE ACTUACION E INYECTORES
ORDEN DE ENCENDIDO	1-5-3-6-2-4
SENSTIDO DE ROTACION DEL MOTOR	SENTIDO AGUJAS DEL RELOJ
POTENCIA	197 HP / 1800 RPM

6.2.3 Diseño e implementación de un tablero didáctico para simulación de un sistema de inyección electrónica M.P.F.I. Araujo y Cárdenas (2010)

Este proyecto presenta un tablero didáctico con el sistema electrónico de inyección de combustible y el sistema de combustible con los inyectores para la explicación del funcionamiento del sistema por medio del panel de control del módulo didáctico cuando se encuentra en funcionamiento se pueden manipular sensores que se encuentran instalado en el sistema para la variación del sistema de combustible.

Figura 17

Apreciación frontal del panel del control.



Fuente: Araujo y Cárdenas (2010)

La siguiente tabla presenta las características de diseño y rendimiento del motor utilizado en este proyecto además indicando los elementos más importantes del sistema de inyección electrónica.

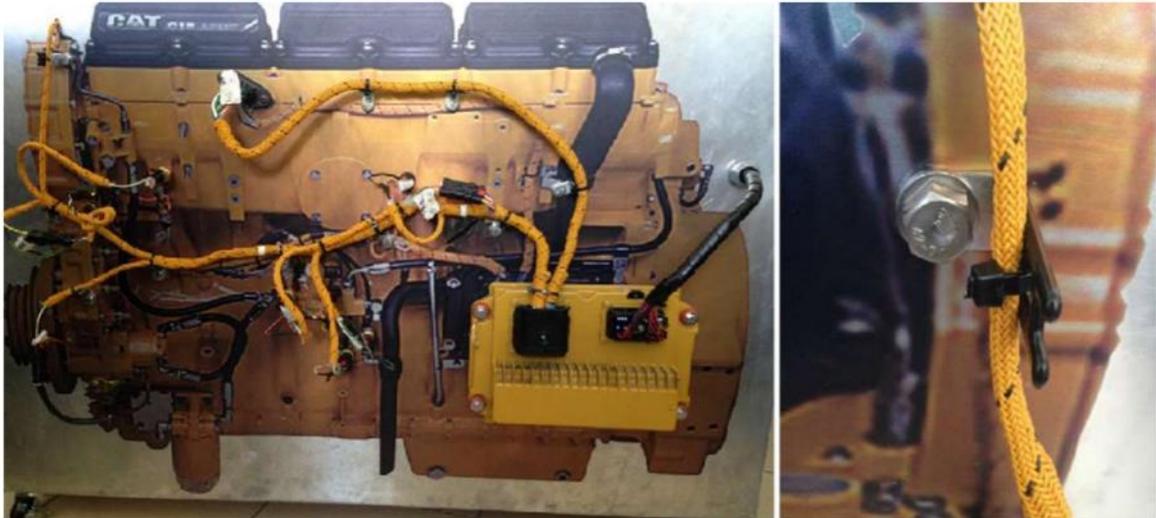
Tabla 5.**Características Motor Vehículo Corsa.**

CARACTERISTICAS PRINCIPALES MOTOR PARA VEHICULO CORSA	
Nº CILINDROS	4
VALVULAS POR CILINDRO	2
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	inyección multipunto
CILINDRAJE	1686 cc
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	MODULO DE CONTROL ELECTRONICO SENSORES Y INYECTORES
ORDEN DE ENCENDIDO	1-3-4-2
SENTIDO DE ROTACION DEL MOTOR	SENTIDO AGUJAS DEL RELOJ
POTENCIA	197 HP / 2600 RPM

6.2.4 Diseño, construcción e implementación de un sistema Simulador de funcionamiento y fallas didáctico de motor Electrónico Caterpillar c15, para el Centro de Desarrollo Técnico de la empresa ILASA. Cruz (2017)

Este proyecto realizó una descripción detallada del sistema electrónico del motor C15 CAT y da muestra de todo el proceso de desarrollo de este módulo de aprendizaje en el que se utilizan partes originales y se fijan en una estructura elaborada con medidas proporcionales al motor real y con la ubicación de todo el sistema electrónico de combustible en la ubicación real del motor para cada componente como se muestra en la siguiente figura.

Figura 18

Instalación y aseguramiento de Harness de motor.

Fuente: Cruz (2017)

Para la implementación de este proyecto se tomó en cuenta los parámetros de funcionamiento y los planos eléctricos de un motor diésel CATERPILLAR modelo C15 industrial recopilando información para la conexión de los diferentes pines eléctricos que son necesarios para el funcionamiento del circuito, en este módulo, se realiza el montaje de la fuente principal de alimentación, los cables de comunicación entre los componentes electrónicos del sistema, los cables de señal entre el control del simulador y los sensores del motor todo esto fijado en la estructura diseñada e implementada del simulador didáctico de fallas.

En la tabla 6 presenta las características de diseño y rendimiento del motor utilizado en este proyecto además indicando los elementos más importantes del sistema de inyección electrónica.

Tabla 6.**Características Motor C15**

CARACTERISTICAS PRINCIPALES MOTOR C15	
N° CILINDROS	6
VALVULAS POR CILINDRO	4
TIPO DE SISTEA DE COMBUSTIBLE	INYECCION DIRECTA, HEUI
CILINDRAJE	15.8 L
ELEMENTOS DEL SISETEMA DE COMBUSTIBLE	MODULO DE CONTROL ELECTRONICO, SENSORES, BOMBA DE ACTUACION E INYECTORES
ORDEN DE ENCENDIDO	1-5-3-6-2-4
SENSTIDO DE ROTACION DEL MOTOR	SENTIDO AGUJAS DEL RELOJ
POTENCIA	580 HP / 2200 RPM

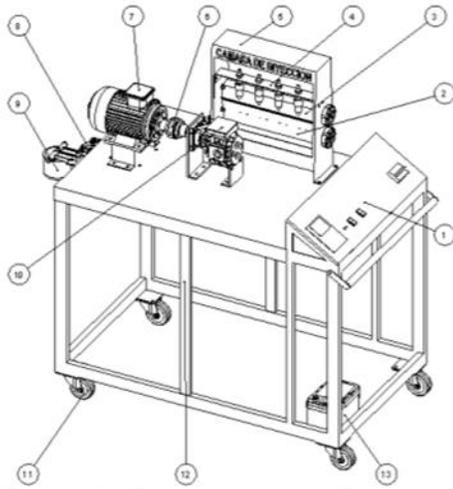
Fuente: Propia.

6.2.5 Diseño y construcción de un banco de pruebas de la bomba de inyección rotativa con mandos electrónicos en motores diésel (Chevrolet D-Max 3.0). Alulema, Mena y Cruz (2013)

En el proyecto manipulan el suministro de caudal que envía la bomba interviniendo las RPM del motor del banco, donde así logran apreciar el buen funcionamiento del sistema de combustible de la camioneta CHEVROLET D-MAX 3.0.

Figura 19

Componentes del Banco de Pruebas.



Fuente: Alulema, Mena y Cruz (2013)

Durante el proceso del proyecto realizan diferentes pruebas siguiendo procedimientos seguros, técnicas según fabricante, métodos de investigación, diseño y construcción y normas de seguridad, culminando este banco de pruebas satisfactorio donde se vieron involucrados y aplicando un engrane entre 2 ramas (diseño mecánico y diseño eléctrico) apoyados de la energía hidráulica, donde así simularon el funcionamiento de la BOMBA ELECTRÓNICA VP44

En la tabla 7 se presenta las características de diseño y rendimiento del motor utilizado en este proyecto además indicando los elementos más importantes del sistema de inyección electrónica.

Tabla 7.**Características Motor Chevrolet D-Max 3.0**

CARACTERISTICAS PRINCIPALES MOTOR D-MAX 3.0	
N° CILINDROS	4
VALVULAS POR CILINDRO	2
TIPO DE SISTEA DE COMBUSTIBLE	INYECCION DIRECTA, RIEL COMUN
CILINDRAJE	2.5 L
ELEMENTOS DEL SISETEMA DE COMBUSTIBLE	MODULO DE CONTROL ELECTRONICO, SENSORES, BOMBA DE ACTUACION E INYECTORES
ORDEN DE ENCENDIDO	1-3-4-2
SENSTIDO DE ROTACION DEL MOTOR	SENTIDO AGUJAS DEL RELOJ
POTENCIA	130 HP / 2800 RPM

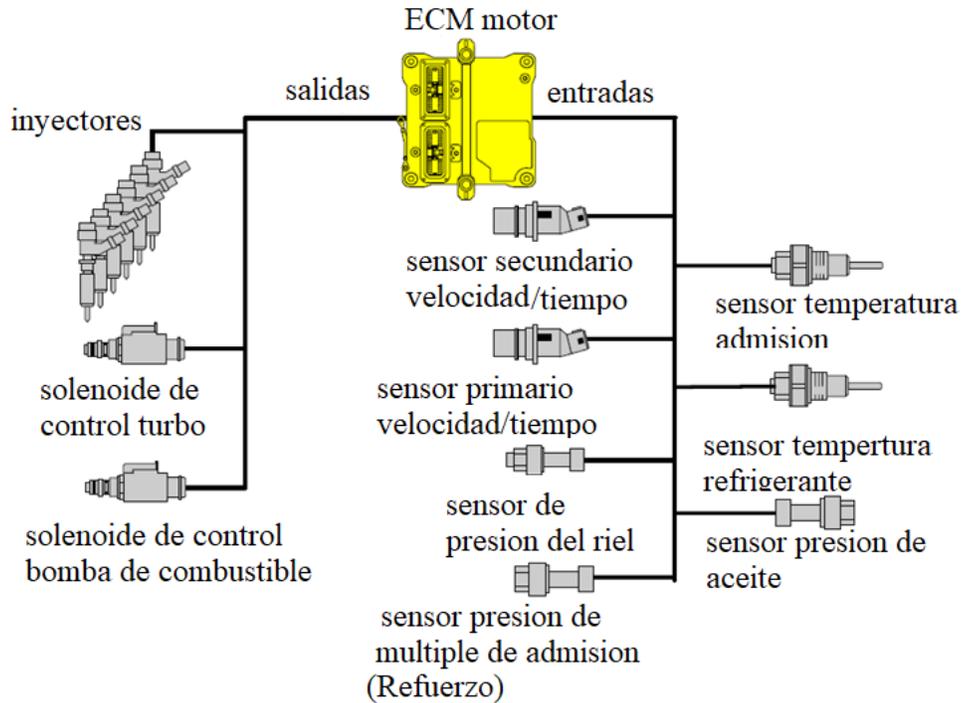
Figura:Propia.

6.3 Elementos implementados del Sistema CR para la Interconexión

En este apartado se presenta la descripción del sistema eléctrico con sus características necesarias y contempladas para el desarrollo e implementación de la interconexión, fue necesario describir los componentes con rangos de trabajo, alimentación eléctrica y ubicación en el circuito para dar a conocer los datos de cada uno de estos elementos y como se integran en el circuito electrónico de control de manera normal en su funcionamiento.

Figura 20

Diagrama del sistema de control del motor con sistema CR



Fuente: propia

En la figura 21, se muestran las entradas de los sensores y salidas del ECM para los actuadores observados en donde se muestra el ECM en funcionamiento para la recolección de datos, en el cual se puede definir la señal de corriente que requieren las salidas o actuadores para el control de la bomba el turbo y los inyectores.

Tabla 8.**Entrada y salidas de la ECM.**

Salidas del ECM (actuadores)	Entrada del ECM (sensores)
Inyectores	Sensor primario velocidad y tiempo
Solenoides de control de válvula del turbo	Sensor secundario velocidad y tiempo
Solenoides bomba de combustible	Sensor de temperatura de admisión
	Sensor temperatura refrigerante
	Sensor de presión de aceite
	Sensor múltiple de admisión(refuerzo)
	Sensor de presión del riel de combustible

Fuente:Propia

En la tabla 9 se muestran los elementos que integran el sistema con el número de parte comercial Cat y la cantidad necesaria para el posible desarrollo de la interconexión.

Tabla 9: Elementos integradores del Sistema Electrónico

Cantidad	Descripción	Número de parte comercial
1	ECM módulo de control electrónico	239-0152
1	Cableado entre ECM y sensores (cableado motor).	366-9315
1	Sensor de presión de aceite.	238-0118
1	Sensor presión múltiple de admisión (refuerzo).	274-6720
1	Sensor de presión de combustible.	274-6721
1	Sensor de temperatura de refrigerante.	238-0112
1*	Solenoides de la bomba de combustible.	312-5620

1	Sensor de temperatura de aire de admisión.	238-0112
1	Sensor de temperatura de combustible.	238-0112
6	Inyectores.	295-9130

NOTA: La bomba de inyección tiene incorporado el solenoide, este no lo suministran por separado; si se requiere reemplazar se debe de comprar la bomba de inyección de combustible completa.

En la tabla 9 se encuentran los elementos principales del sistema electrónico de inyección de combustible que están ubicados en el motor, también se adjuntan los números de parte o de identificación de estos elementos para este tipo de motores CAT, los cuales se contemplaron para la realización de pruebas y diagnósticos en el sistema con la interconexión

6.3.1 Descripción sensores de entrada y salida

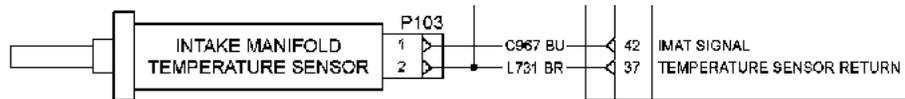
- **Sensor Temperatura de la Admisión**

Tipo de sensor: pasivo, de dos cables.

Rangos de trabajo: mínimo-40° C (-104° F), máxima temperatura 150° C (302° F).

Figura 21

Esquema eléctrico del sensor con las líneas de conexión y pines de trabajo con la ECM para sensor de temperatura de la admisión.



- **Sensor de Presión de Múltiple de Admisión**

Sensor de presión Múltiple de admisión aire

Tipo de sensor: activo

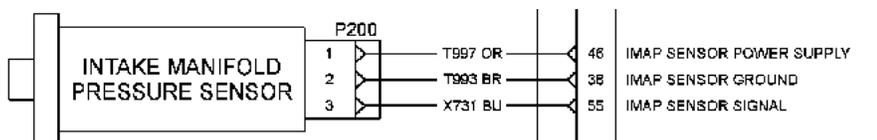
Voltaje de trabajo: 5 voltios

Numero de cables: 3 cables

Máximo valor: 49.2 psi

Figura 22

Esquema y líneas de conexión con la ECM para sensor de presión de admisión múltiple.



El sensor de presión de entrada de aire es un sensor activo de 3 hilos. El ECM del motor utilizará la señal de este sensor para determinar las presiones de sobrealimentación suministradas por el turbocompresor.

El sensor de presión de entrada de aire se utiliza con el ECM del motor para controlar electrónicamente la relación aire/combustible. Esta característica permite un control de humo muy preciso, lo que no era posible con motores gobernados mecánicamente.

NOTA: El sensor de presión de entrada de aire también actúa como un sensor de presión atmosférica.

- **Sensor de Temperatura de Refrigerante**

Sensor de temperatura de refrigerante

Tipo de sensor: pasivo

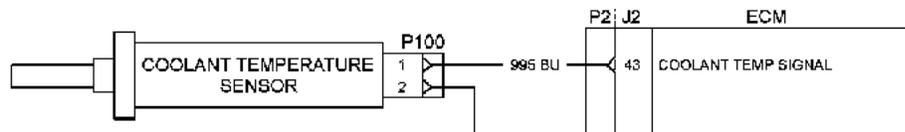
Numero de cables: 2 cables

Máximo valor:

Rangos de trabajo: mínimo-40° C (-104° F), máxima temperatura 150° C (302° F)

Figura 23

Esquema eléctrico del sensor con las líneas de conexión y pines de trabajo con la ECM para sensor de temperatura del refrigerante.



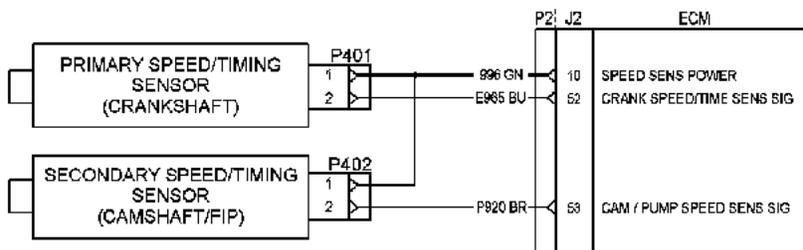
El sensor de temperatura del aire de entrada es un sensor pasivo de 2 cables y una es entrada para el ECM del motor. Las señales del sensor de temperatura del aire de entrada y el sensor de temperatura del refrigerante se utilizan para determinar los requisitos de ayuda al arranque del motor y para recortar (ajustar) el ancho de pulso del inyector a medida que cambian las temperaturas de funcionamiento del motor.

- **Sensor de velocidad primario y secundario**

Tipo de sensor: de efecto hall, de dos cables

Figura 24

Conexiones en el ECM para sensor de velocidad.



Fuente: SIS WEB (Manual de servicio)

- **Sensor de presión de aceite**

Tipo de sensor: activo

Voltaje de trabajo: 5 voltios

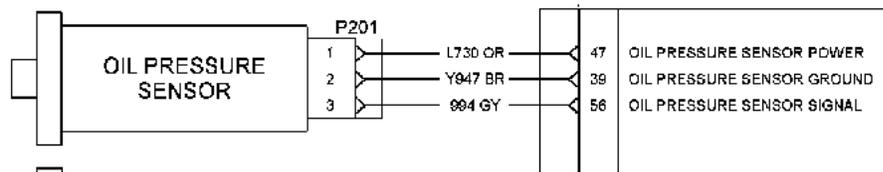
Numero de cables: 3 cables

Máximo valor: 882 KPa ABSOLUTE (KPa) (128 psi)

Rango de trabajo del sensor de presión de aceite : 55 kPa to 339 kPa (8 psi to 50 psi)

Figura 25

Esquema eléctrico del sensor con las líneas de conexión y pines de trabajo con la ECM para sensor de presión.



- **Sensor de Presión de Combustible en el riel**

Tipo de sensor: activo

Voltaje de trabajo: 5 voltios

Numero de cables: 3 cables

Máximo valor: 270 MPa (31,908 psi)

Fuel Rail Pressure Sensor - active 5V supply; 3-wire.

Figura 26

Esquema eléctrico del sensor con las líneas de conexión y pines de trabajo con la ECM para el sensor de presión de combustible en el riel.

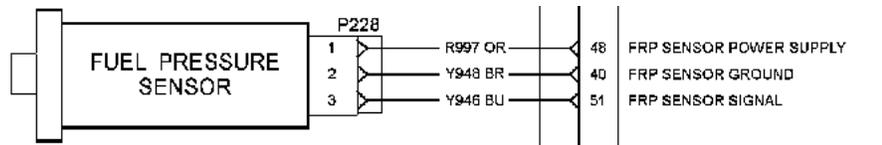
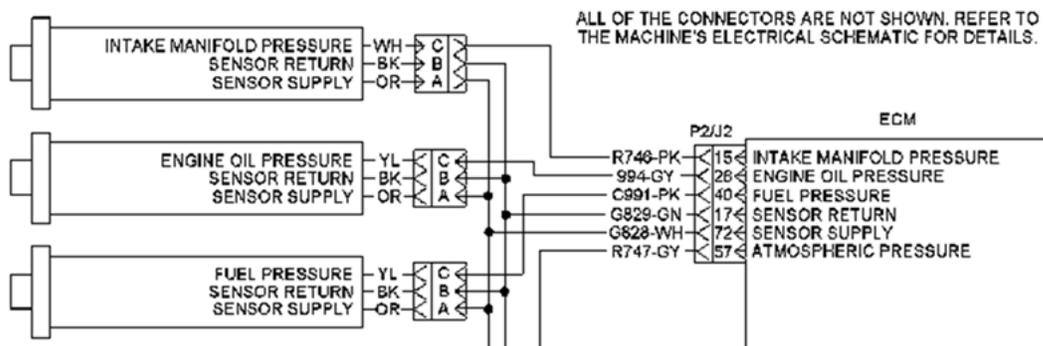


Figura 27

Integración de los sensores de presión en el circuito con la ECM en el puerto j2.

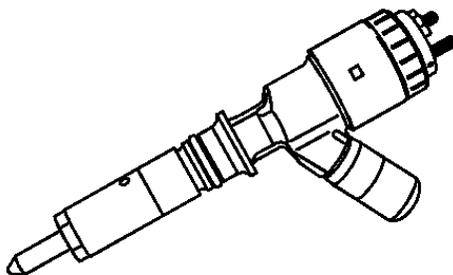


La grafica anterior nos muestra la conexión de los sensores de presión que compone el motor con sistema de inyección CR, los cuales son componentes de entrada al ECM y van comunicados por medio del puerto J2.

- **Inyector.**

Figura 28

Inyector.



El inyector es un actuador controlado por la ECM por medio de la duración del voltaje señal de activación de la bobina en el tiempo correspondiente en relación con las entradas recibidas de los sensores para determinar con eficiencia la correcta entrega de combustible que es definida por el tiempo de activación por parte de la ECM a la bobina de activación que tienen cada inyector.

Cuando termina la señal al inyector, la válvula se cierra. El combustible en el inyector cambia a baja presión. Cuando la presión cae, la válvula de aguja se cierra y el ciclo de inyección se detiene. Cuando se abre la válvula de aguja, el combustible a alta presión fluirá a través de los orificios de la boquilla hacia el cilindro. El combustible se inyecta en el cilindro a través de los orificios de la boquilla como una pulverización muy fina.

6.4 Módulo de control electrónico (ECM)

6.4.1 Control por parte de la ECM

Un motor o maquinas controlados electrónicamente no pueden funcionar sin el módulo de control electrónico, todos los aspectos del sistema de combustible están controlados por el módulo ECM.

La ECM es sellada, esta no permite reparación, por lo que es importante saber sus funciones y como usarlas por medio de las herramientas de diagnóstico para identificar y solucionar un problema en el circuito eléctrico

Figura 29

ECM módulo de control electrónico

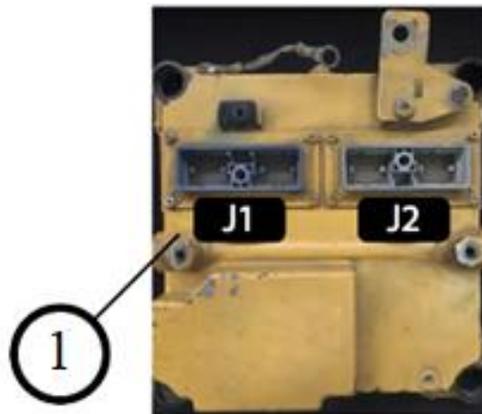


Figura: propia

La ECM son computadoras que contienen internamente fuentes de alimentación electrónicas, unidades centrales de procesamiento, memoria, circuitos de entrada de sensores y circuitos controlados para las salidas de los actuadores.

Se comunica con otros controles electrónicos a través de un enlace de datos bidireccional. Estos módulos de control electrónico utilizan tres tipos de entradas, donde se realiza una breve descripción:

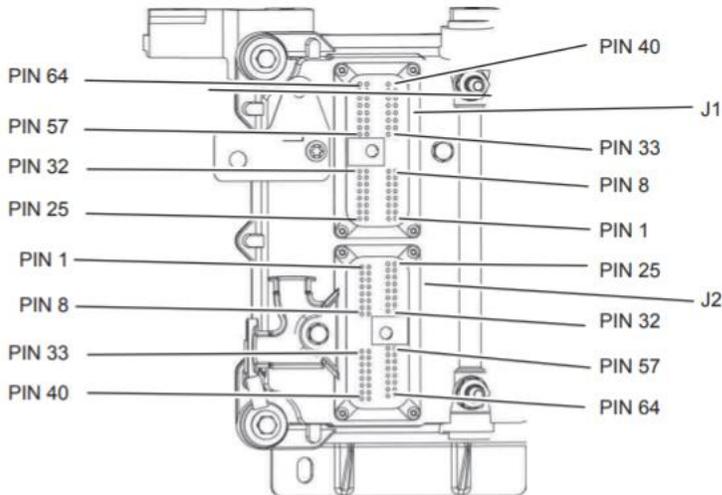
- Tipo interruptor o switch: para desviar el flujo de corriente (abierto o puesto a tierra).
- Tipo analógico: Mide la amplitud de una señal (generalmente entre 0 y 5 voltios).
- Mientras las señales analógicas se envían filtrada, amplificada y convertida a una señal digital antes de ser enviada al procesador de la ECM.
- Tipo digital: mide una frecuencia (velocidad) o el ancho de pulso de una señal periódica
- Las señales de entrada digital se envían al procesador de la ECM.

6.4.2 La ECM O módulo de control electrónico

Descripción de los puertos en el módulo de control electrónico ECM.

Figura 30

Puertos de conexión ECM.



En la figura 31 se muestra la descripción de los puertos en los cuales se evidencia la numeración y el orden de los pines, esta es la base para realizar las conexiones en el sistema ya que en el plano se realiza la búsqueda del cable correspondiente y la posición de cada uno de ellos por medio de una numeración en el conector.

6.4.3 Variables y datos del sistema

Las variables de salida fueron basadas en el modelo de motor Diésel C6.6 Cat con sistema CR: Rango de velocidad del motor de 800 RPM a 2200 RPM, potencia máxima 252 Hp, temperatura de 20°C a 84°C, presión de lubricación, de combustible y de refuerzo del turbo. Se detallan a continuación:

Para la interacción con el sistema de inyección diésel CR Caterpillar, las variables físicas que se tuvieron en cuenta para la implementación fueron: temperaturas, presiones, y velocidad en los rangos de trabajo del sistema CR. Estas son las principales variables que cambian el posible efecto en el funcionamiento del motor por medio de la ECM y cada uno de los sensores. Posteriormente, se identificaron las partes electrónicas y de diagnóstico

que fueron adaptadas al sistema de inyección CR existente, para controlar las variables de entrada y salida principales.

Son los elementos que informan, mediante la transformación de diversas magnitudes físicas en señales eléctricas, a la unidad de control sobre los parámetros indicados. De forma general, el sistema de gestión electrónica tiene sensores que miden en cada intervalo de tiempo las revoluciones por minuto (rpm) y la temperatura del motor, la presión y temperatura del aire en el múltiple de admisión, la posición del árbol de levas, y la posición del acelerador, entre otras variables. Estas señales son enviadas al ECM, donde son digitalizadas, de este modo pueden ser manipuladas y procesadas en intervalos de tiempo muy pequeños. El resultado de esto es una orden emitida a los actuadores.

La interacción de las variables con el módulo se generó de manera electrónica por medio de un cableado, sensores de presión y temperatura, inyectores y software de comunicación que se conectó con la ECM (Modulo de Control Electrónico) del motor, el cual es el encargado de recibir las señales de entrada y generar señales de salida y es quien tiene la potestad en el sistema de combustible en un sistema CR.

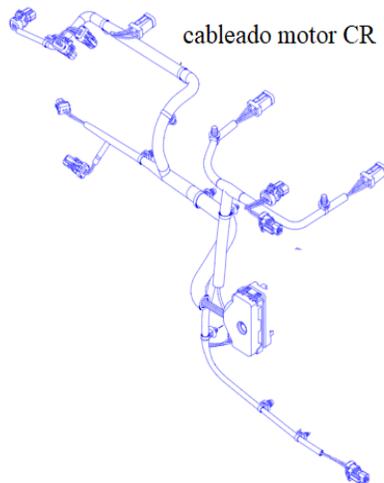
6.4.4 Descripción del cableado para las conexiones de entrada y salida del ECM del motor.

El cableado de motor es un conjunto de cables del sistema eléctrico que proporciona el enlace entre la ECM y los sensores y actuadores, Este cableado cuenta con características de trabajo pesado ya que cuenta con un blindaje de color amarillo y externo para la protección de los diferentes efectos físicos a los que está expuesto el sistema eléctrico en el motor en las diferentes condiciones de trabajo además trae en

cada uno de sus extremos un conector con características específicas y propias de los motores de común riel Cat.

Figura 31

Cableado del motor.



NOTA: A. Esquema de cableado de motor CR.

B. Cableado de motor CR.

El cableado es el encargado de conectar la ECM con los actuadores y sensores con el fin de recibir y enviar las señales requeridas para el control y monitoreo del sistema por medio del conector J2.

Los cableados se componen de diferentes conectores tanto para la ECM como para los sensores de presión de 3 líneas o cables, los de temperatura con dos cables y un conector especial para el cableado de los inyectores.

El cableado del motor de una máquina Caterpillar está expuesto a diferentes condiciones de trabajo entre las más importantes la temperatura y el rozamiento con elementos metálicos del sistema para evitar su deterioro se requiere de un blindaje.

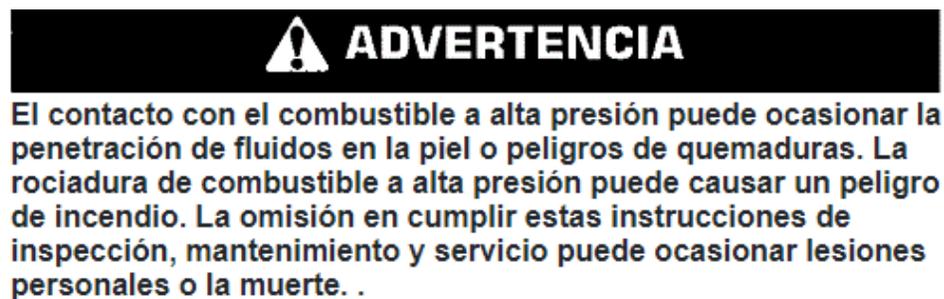
6.4.5 Pautas de seguridad del sistema

- **Pautas de funcionamiento y observaciones de seguridad**

Por medio de la información obtenida del manual de servicio (figura 28) se indican advertencias claras para la intervención con este tipo de sistemas de alta presión, para evitar lesiones personales cuando se encuentra el sistema de líneas y CR presurizados.

Figura 32

Manual de remoción e instalación.



Fuente: Caterpillar Inc, (2007).

En la figura 33 se presenta una de las advertencias como primeros aspectos claves que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de las guías que ayudaron a intervenir el sistema de forma segura en los sistemas CR.

Esta información indica que es un sistema de alta presión y no se debe tratar de eliminar el aire de las tuberías de los inyectores como se hace en los motores convencionales; aflojándolos al momento de dar arranque pues se debe tener en cuenta que la presión del CR de combustible puede alcanzar los 23000 psi y puede ocasionar daños en la piel por penetración de fluidos a alta presión y poner en riesgo la integridad física. Caterpillar (2007)

6.4.6 Protocolos de comunicación

Caterpillar usa tres tipos de enlace de datos:

- **CAT DATA LINK (CDL).** el Cat Data Link (CDL) se utiliza en todos los Cat de forma electrónica sistemas de máquinas controladas.
- **CAN (SAE J1939).** el enlace de datos de la red de área del controlador (can) (saej1939) se utiliza en todas las máquinas y motores Cat controlados electrónicamente.
- **ATA.** Los enlaces de datos de la American Trucking Association (ATA) (SAE J1587) se utilizan en algunos sistemas de control electrónico del motor; es poco utilizado actualmente.

El CAT Data Link es un medio de comunicación patentado que está disponible en todos los motores electrónicos producidos por Caterpillar. Se utiliza el CAT Data Link se utiliza para las comunicaciones entre los elementos del motor y los módulos. Se debe instalar una resistencia de terminación de 120 ohmios en el arnés de cableado para que el enlace de datos CAN funcione correctamente y así evitar fallas en el envío de datos y los ruidos. La longitud total de los cables de enlace de datos NO debe exceder los 30 m (100 pies).

- **Descripción de la comunicación**

En el presente capítulo se muestra como por medio de los elementos que interactúan en el sistema CR, interconexión, elementos de conexión y diagnóstico como el adaptador de comunicaciones, que se puede observar en la figura 34, generando un proceso de comunicación que permitió identificar los diferentes componentes con las conexiones establecidas por el fabricante (ver anexo B) y cómo interactúan de manera real en sus componentes, lográndose conectar en el módulo de control electrónico ECM por medio de las herramientas de diagnóstico y software Caterpillar.

Figura 33

Vista del adaptador de comunicaciones. Adaptador 3 Caterpillar.



Fuente: Propia.

Descripción de indicadores:

- USB: muestra conexión al computador.

- J1939: Protocolo de comunicación con los equipos CR.
- CDL: Cat Data Link.
- J1708: Protocolo de conexión para camiones.
- POWER: alimentación del ECM y adaptador de comunicaciones (ET)

En la figura 35 se muestran las partes con las que se compone el adaptador de comunicaciones CAT el cual cuenta con los diferentes puertos de conexión para la conexión del adapter.

Figura 34

Adaptador de comunicaciones CAT



Fuente: propia.

La figura 36 indica los puertos de conexión para cada uno de los elementos del adaptador de comunicaciones CAT mostrando:

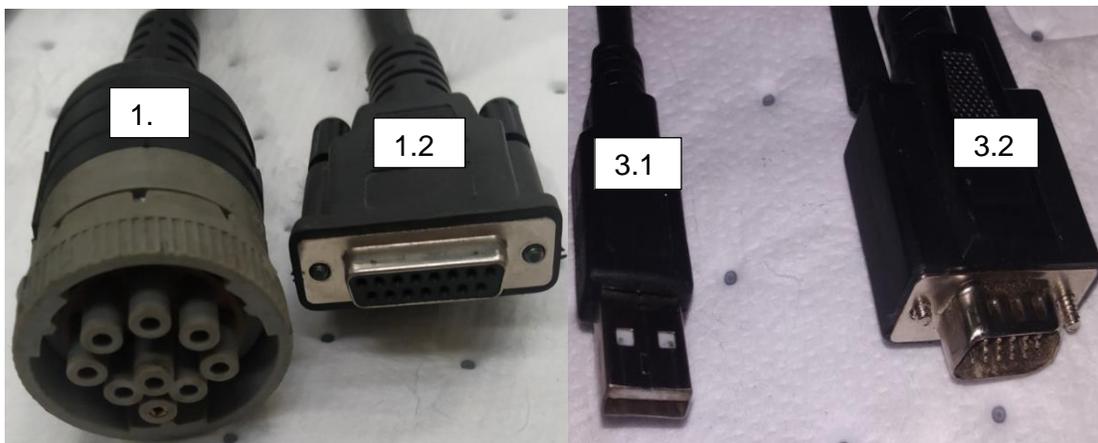
1. puerto de diagnóstico macho el cual es conectado en el sistema CR a evaluar ya que el sistema tiene un conector de diagnóstico hembra para su conexión

3.1: puerto tipo USB el cual es conectado al computador con software ET CAT para generar comunicación entre el sistema CR Y el software se requiere de la identificación y conexión de las conexiones acá nombradas del adaptador de comunicaciones.

En la figura 36 se muestran los diferentes tipos de puertos que tienen los dos tipos de cables que trabajan con el adaptador de comunicaciones los cuales indican la forma correcta para su conexión ya que los 4 puertos son diferentes y no se tiene la posibilidad de fallar en la conexión o de realizar un proceso de conexión incorrecto para estas conexiones del adaptador de comunicaciones que en un extremo trabaja con el puerto de diagnóstico y en el otro se conecta al computador.

Figura 35

Descripción de los puertos de conexión del cable 1 y 3



Fuente: propia.

6.5 Procesos de evaluación actuales

En este apartado se pretende mostrar los procesos de evaluación para los motores con sistema CR Caterpillar, además se presentan los pasos para el diagnóstico en maquinaria pesada actualmente en la compañía por medio de diagramas de flujo, imágenes que dieron a conocer los procesos de evaluación y diagnóstico que tienen en la compañía actualmente.

En este apartado se muestran los siguientes dos casos:

Caso 1: Con la conexión de las herramientas de diagnóstico Caterpillar en una máquina que tiene todos los requerimientos necesarios y protocolos ya definidos en el sistema electrónicos del equipo para realizar las conexiones de manera directa en un puerto ya destinado en la cabina del operador.

Descripción del proceso de conexión en la máquina: el técnico con sus herramienta de diagnóstico Cat ET y el computador con software; realiza la conexión a un puerto de diagnóstico destinado en el circuito por el fabricante para este fin; que se encuentra en la cabina del operador , el cual cuenta con un conector únicamente para el diagnóstico que permite este enlace directo entre el adaptador de comunicaciones, software ET Y los módulos de control de la máquina que pueden ser el módulo del monitor, el módulo de monitoreo satelital (product link), el módulo de sistema hidráulico ,módulo de la transmisión y el módulo de control electrónico del motor(ECM) .

Figura 36

Puerto de diagnóstico en la máquina para conectar el adapter.

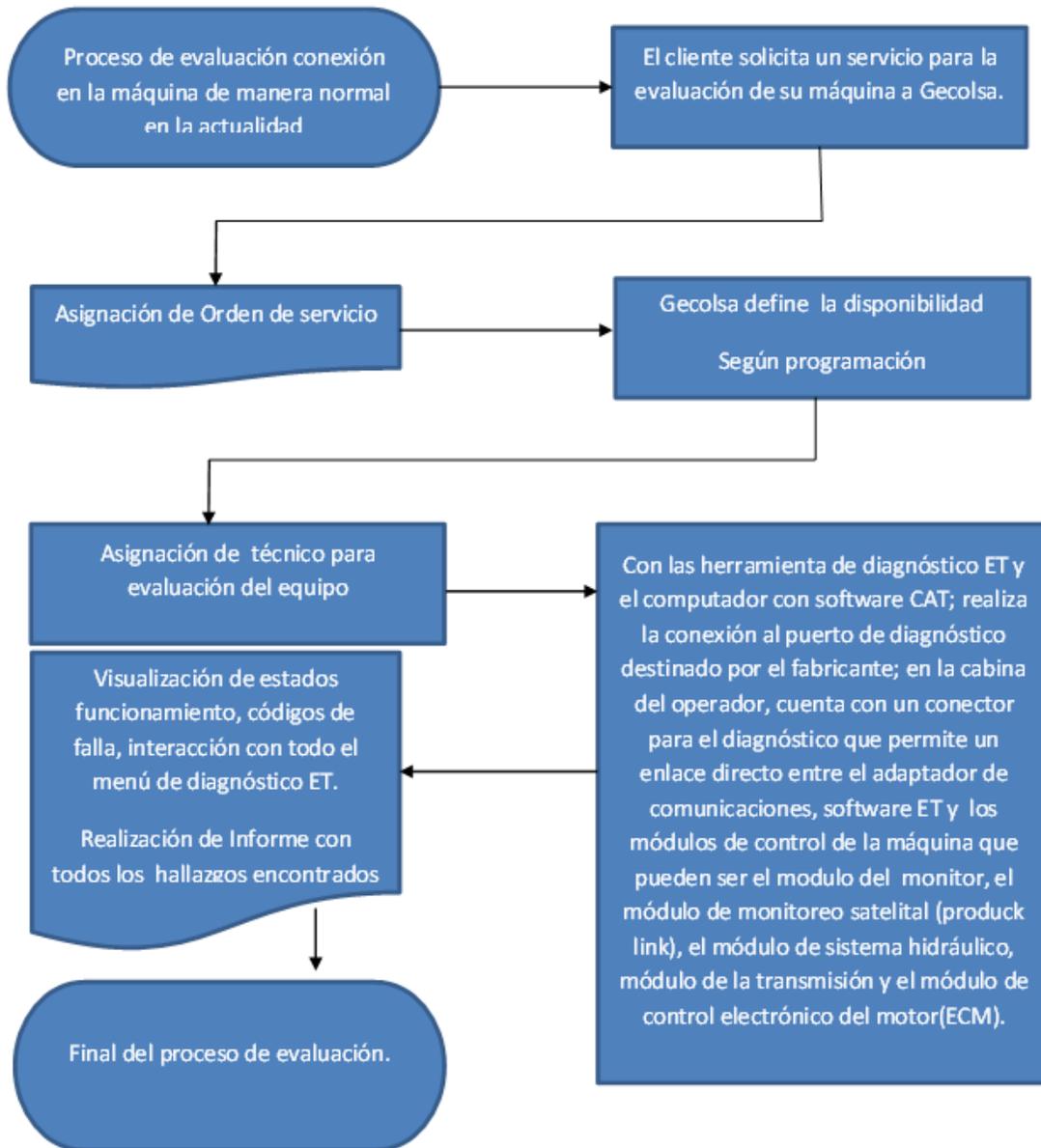


Fuente: propia

Como se observa en la figura 37, todas las máquinas tendrán un conector de herramienta de servicio, normalmente un Deutsch HD redondo de 9 pines conector. Este conector se utiliza para conectar un adaptador de comunicaciones a la ECM y hacer posible el enlace de datos.

Figura 37

Proceso de evaluación conexión en la máquina de manera normal en la actualidad.



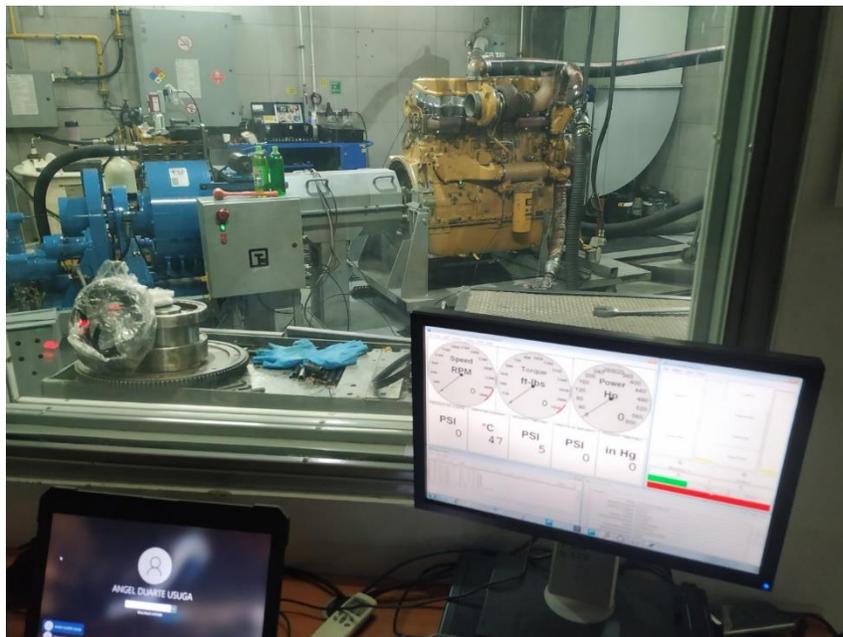
Fuente: propia (desarrollo del diagrama de flujo, basados en los procedimientos de Gecolsa sede sabaneta).

Caso 2: Proceso de conexión en el banco de rendimiento del motor (dinamómetro) el motor como componente independiente.

- Descripción del proceso
- Solicitud del cliente para un servicio de prueba de rendimiento con la herramienta del dinamómetro que se encuentra en las instalaciones de Gecolsa.
- Se recibe el motor en el taller enviado por el cliente.
- Se ingresa a la programación (turno) del dinamómetro del taller para la realización de prueba de rendimiento.

Figura 38

Realización de las pruebas de rendimiento en el dinamómetro.



Fuente: Propia

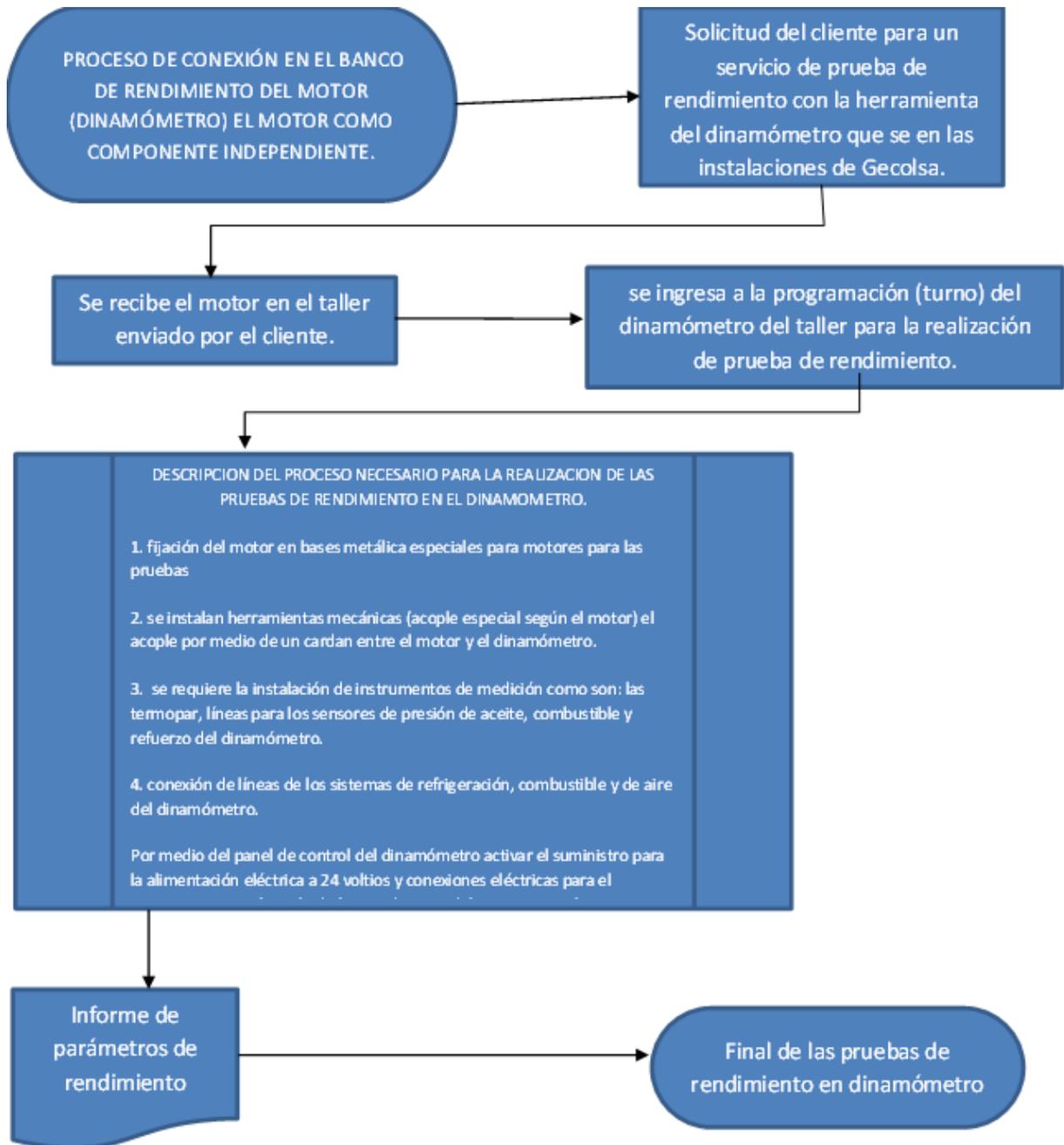
Se describe el paso a paso establecido y necesario para las pruebas:

- Fijación del motor en bases metálica especiales para motores para las pruebas
- Se instalan herramientas mecánicas (acople especial según el motor) el acople por medio de un cardan entre el motor y el dinamómetro.
- Se requiere la instalación de instrumentos de medición como son: el termopar, líneas para los sensores de presión de aceite, combustible y refuerzo del dinamómetro.
- Conexión de líneas de los sistemas de refrigeración, combustible y de aire del dinamómetro.

Se procede por medio del panel de control del dinamómetro activar el suministro para la alimentación eléctrica a 24 voltios y conexiones eléctricas para el monitoreo y visualización de las condiciones del motor; para el monitoreo de las condiciones de trabajo del motor es necesario las herramientas de diagnóstico adaptador Cat et y software.

Figura 39

Proceso de conexión en el Banco de Rendimiento del motor.



Fuente: Propia.

6.6 Cálculos de cantidades y descripción de los elementos

6.6.1 Parámetros de trabajo del sistema

En esta sección se dan a conocer los datos de trabajo del sistema en su desempeño y del cableado que se está utilizando

la tabla 10 muestran los parámetros de trabajo y especificaciones de los conductores del sistema de interconexión.

Tabla 10.

Especificaciones del cableado utilizado según la conducción y capacidades requeridas por el sistema basado en información indicada por capacitancia entre conductores

Especificaciones para conductores de protocolo J1939			
	MINIMO	NOMINAL	MAXIMO
Impedancia(ohm)	108	120	132
Capacitancia entre conductores (Pf/m)	0	40	75
Capacitancia entre conductores y el blindaje (Pf/m)	0	70	110

Fuente: Propia.

6.6.2 Elementos utilizados para la fabricación

Los elementos son seleccionados con la información recolectada y plasmada en los manuales del fabricante.

Tabla 11.

Materiales comerciales necesarios para la interconexión.

Cantidad	Descripción	Número de parte comercial
6 metros	Cableado diferentes colores.	AWG 16
1	Resistencia de 120 ohmios Cat.	174-3016
1	Pinzas caimán (positivo y negativo).	
1	Conector Delphi.	245-1042
1	Conector de servicio ET.	9W-1951
20	Pines hembra Caterpillar.	9X-3402
20	Pines macho Caterpillar.	9X-3401
1	Herramientas manuales (pinzas pelacables, pinzas ponchadoras).	
1	Multímetro.	
3	Extractor de pines.	151-6320
1	Fuente de alimentación 12 voltios.	

Fuente: Propia

La tabla 11 muestra los materiales comerciales necesarios para el desarrollo de la interconexión como son componentes, herramientas manuales y de diagnóstico específicas para su respectivo proceso de ensamble con cada uno de sus conectores. Además, cuenta con las referencias originales de la marca donde se requiere de componentes originales para la conexión.

Con la toda la información, se procede a definir los elementos y materiales electrónicos necesarios para hacer posible la interconexión. Seguidamente, se busca la materialización e implementación de la interconexión, realizando el proceso de ensamble descrito de manera técnica:

- **Ensamblaje de circuito de interconexión**

Se ensambló el cableado basados en el plano eléctrico del sistema CR ver anexo B y el esquema de interconexión de la figura 45, estos hacen referencia a cada uno de los pines y de la posición indicada de cada cable, utilizando los conectores y de los pines hembra se realizó empalme del cableado que según los esquemas eléctricos o figuras se encuentran identificados por un número y un color en el esquema, en el cual se identificó el cableado de la alimentación con voltaje de trabajo del sistema (positivo, negativo).

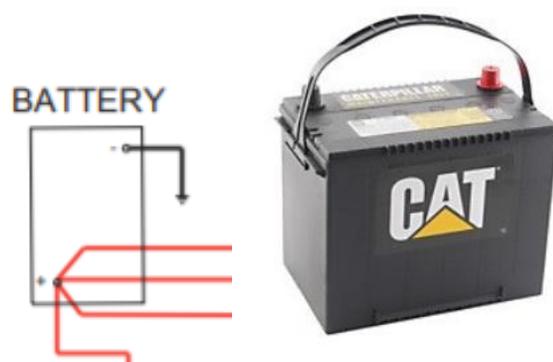
Además, se identificó una resistencia de 120 ohmios que se utiliza en los sistemas de comunicación para evitar ruidos e interferencias, además que el transporte de datos sea más efectivo que compone el sistema, por lo cual fue necesario incluir otro ramal eléctrico

para la conexión de la resistencia mencionada. Los componentes que se tuvieron en cuenta para el diseño de la interconexión:

En la figura 41 se muestra la fuente de energía de 12 voltios la cual es encargada de suministrar alimentación eléctrica, cuenta con dos terminales una positiva y otra negativa. En estas terminales se ubican las pinzas tipo caimán para la alimentación del circuito en todo momento necesario para su funcionamiento.

Figura 40

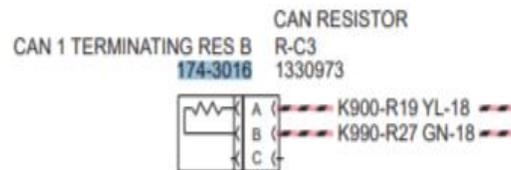
Fuente de alimentación eléctrica 12V.



Fuente: Propia.

Figura 41

Resistencia 120 ohmios tipo conector de tres pines referencia comercial 174-3016.



Fuente: <https://sis2.cat.com>

Resistor del conjunto de tapón Cat® (3 clavijas) (120 ohmios)

Descripción:

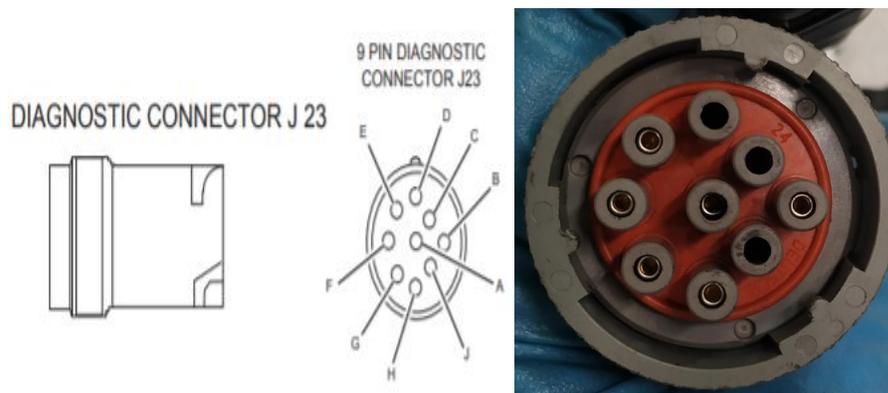
Los resistores del conjunto de tapón Cat bloquean las conexiones con cables en función de la cantidad de clavijas y mecanismos de bloqueo

- Atributos:
- Nailon negro
- Pestillo integrado
- Duradero
- Hermético a las condiciones ambientales
- Resistente al aceite y al combustible

En la figura 43 se da muestra del conector de diagnóstico en el cual se presenta la nomenclatura por medio de letras que son necesarias para la ubicación de cada uno de los cables en su correcta posición basados en el esquema eléctrico del motor ver anexo E.

Figura 42

Conector de diagnóstico.

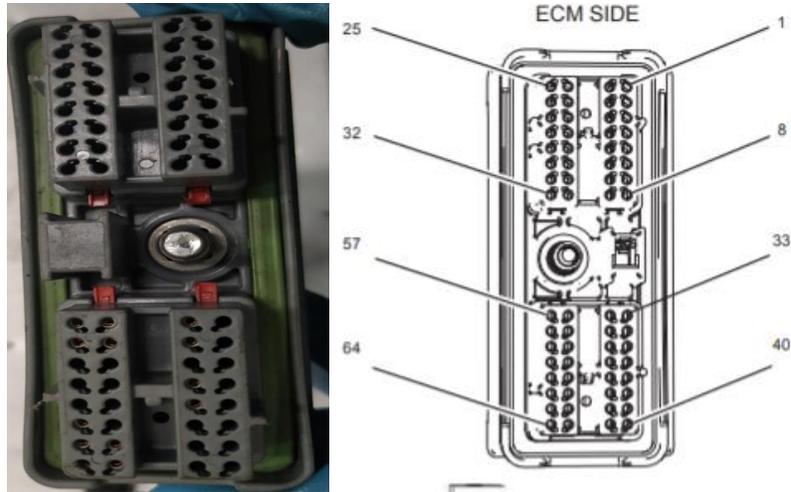


Fuente: Propia.

En la figura 44 se muestra el conector del cableado del motor a la ECM, Indicando la nomenclatura por medio de números del 1 al 64 que son el número de pines máximos para este conector de los motores CR CAT en los que indica la posición de cada espacio para un cable con sus respectivo pin, esta ubicación fue necesaria para el ensamble de la interconexión.

Figura 43

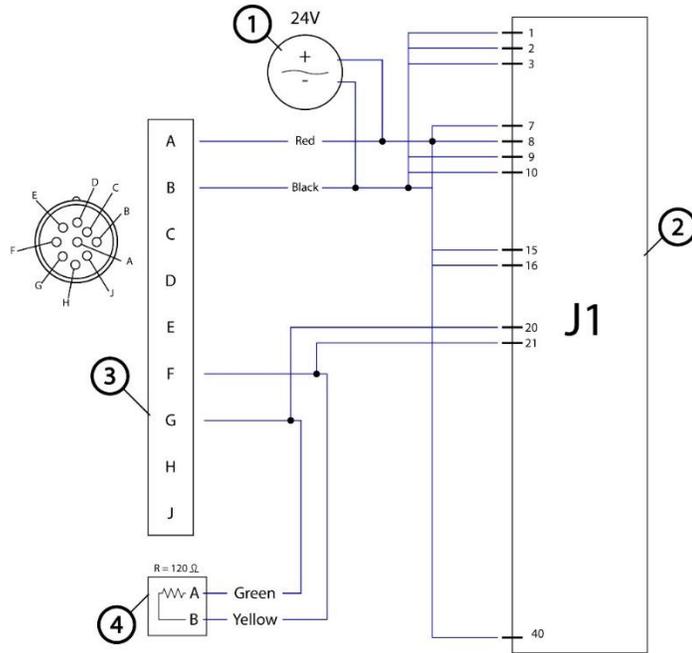
Conectores y cableado para el circuito y conexiones de la interfaz en el sistema CR.



En la figura 45 se muestra el esquema eléctrico de la interconexión desarrollada en la cual se realiza la representación de los componentes en la ubicación correcta con la numeración de los pines en los que se realizó la conexión del conector del cableado del motor y de los demás elementos que componen la interconexión de manera gráfica, de qué manera que por medio de este grafico detallado se enlazaron en un circuito independiente que cumpliera todas las características de conexión descritas en el esquema eléctrico completo del motor, para garantizar la correcta comunicación entre el módulo y el adaptador de comunicaciones por medio de esta interconexión

Figura 44

Esquema eléctrico de la interconexión.



Fuente: propia

Tabla 12.

Listado de los elementos que se presentan de forma gráfica.

1	Alimentación 24 voltios
2	Conector Delphi
3	Conector de servicio ET
4	Resistencia de 120

Fuente: Propia.

6.6.3 Descripción del sistema y la interconexión

En este apartado se presenta la descripción del sistema eléctrico con sus características para el desarrollo del diseño e implementación de la interconexión, fue necesario utilizar un módulo de control electrónico del motor ECM y cableado de los sensores del motor entre otros elementos propios que componen el sistema de control de un motor con sistema de inyección CR Caterpillar; al igual que la herramienta ET: ELECTRONIC TECHNICIAN (Adaptador de comunicaciones y computador software licenciado por Caterpillar). Todo lo descrito se observa en la figura 46.

Figura 45

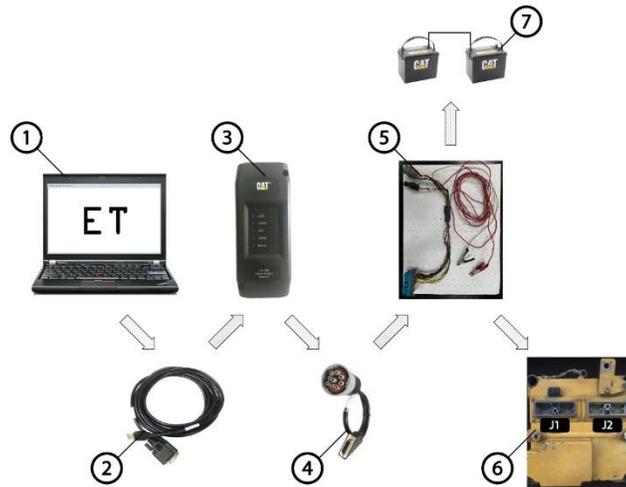
Elementos que se requieren para la conexión y diagnóstico.



Fuente: Propia.

Figura 46

Elementos individualizados para la interconexión.



Fuente: Propia.

Tabla 13.

Listado de los elementos que se presentan en la figura 40.

1	COMPUTADOR CON SOFTWARE ET
2	CABLEADO DE CONEXIÓN ENTRE EL PC Y EL ADAPTER
3	ADAPTADOR DE COMUNICACIONES
4	CABLEADO ENTRE EL ADAPTER Y EL PUERTO DE DIAGNOSTICO
5	INTERCONEXION
6	ECM MODULO DE CONTROL ELECTRONICO

Fuente: Propia.

6.7 Desarrollo y materialización de la interconexión, construcción y ensamble de la interconexión.

Para la comunicación entre el operador, la computadora y el módulo (ECM) se requirió de:

- Computador con software instalado: es la herramienta con la que el personal interactúa en el funcionamiento de los diferentes estados de un motor o módulo.
- Módulo de control electrónico (ECM):
- Arnés del motor: Es el cableado con el que se enlazan los sensores los actuadores del motor y el ECM para su comunicación; con las herramientas de diagnóstico y la interconexión permitirá simular las entradas y salidas del módulo. Este Arnés o cableado eléctrico es el que utilizaremos en la ubicación del conector J2 que nos comunicará con cada uno de los sensores o swiches.
- Interconexión: es el cableado con los conectores específicos para conectar en 4 puntos de este cableado que son:

En un punto 1: con el conector J1 del ECM es donde utilizaremos la interconexión el arnés eléctrico que nosotros mismos fabricamos para la alimentación del ECM.

En un punto 2: con el conector o puerto de diagnóstico del adaptador de comunicaciones.

En un punto 3: conexión con la resistencia de la resistencia 120

En un punto 4: cableado para la alimentación del circuito alimentación de 24 voltios.

- Computador con software Caterpillar instalado: es la herramienta con la que el personal interactúa en el funcionamiento de los diferentes estados del sistema de alimentación de combustible de un motor o módulo electrónico ECM.
- Alimentación electrónica por 24 voltios por medio de una batería o un convertidor de voltaje de 110 a 24 voltios
- Adaptador de comunicaciones ET: Esta herramienta es la que facilita la comunicación entre el ECM (Modulo de Control Electrónico) y el módulo didáctico o motor.
- Personal con conocimientos básicos en ET (trainer) y manejo de la herramienta de diagnóstico (VER ANEXO: CAT ET) el operador o personal que realiza procesos de conexión con la interconexión y las herramientas de diagnóstico electrónicas.

Para una posible alimentación de este módulo verificamos el voltaje del ECM que trabajamos (en este caso 24 V). Ubicamos todos los pines positivos y negativos de batería de este conector. En las instalaciones de la compañía se realizaron pruebas con sistemas de protección personal como guantes y gafas y con personal capacitado para la respectiva conexión. Se instalaron resistencias o componentes apropiados para la comunicación real del módulo y el adaptador; éstas fueron ubicadas en las líneas CAT o CAN DATA LINK según las indicaciones de personal capacitado y esquemas eléctricos proporcionados por Caterpillar.

6.7.1 Introducción a la implementación de la interconexión

En la actualidad los vehículos modernos a diésel vienen con el sistema común riel, este sistema incorpora sensores y actuadores para mejorar la eficiencia, rendimiento y

consumo de combustible del motor, además ayuda a reducir las emisiones de gases contaminantes en porcentajes notables.

El diagnóstico de sensores y actuadores se debe realizar con la ayuda de herramientas de diagnóstico automotriz, multímetro, osciloscopio y scanner, además de un conocimiento previo de cada sensor, actuador y funciones de la ECU, motivo por el cual se debe contar con el personal calificado para realizar el mantenimiento

6.7.2 Descripción de los pasos de conexión.

Se agrupa y ubican herramientas listadas en la tabla 14, las cuales fueron necesarias para la debida conexión.

Tabla 14.

Elementos requeridos para la conexión.

Elementos requeridos
Pc con software ET.
Adaptador de comunicaciones ET.
Batería 24 v. O alimentación 24v
Interconexión desarrollada para sistemas CR.

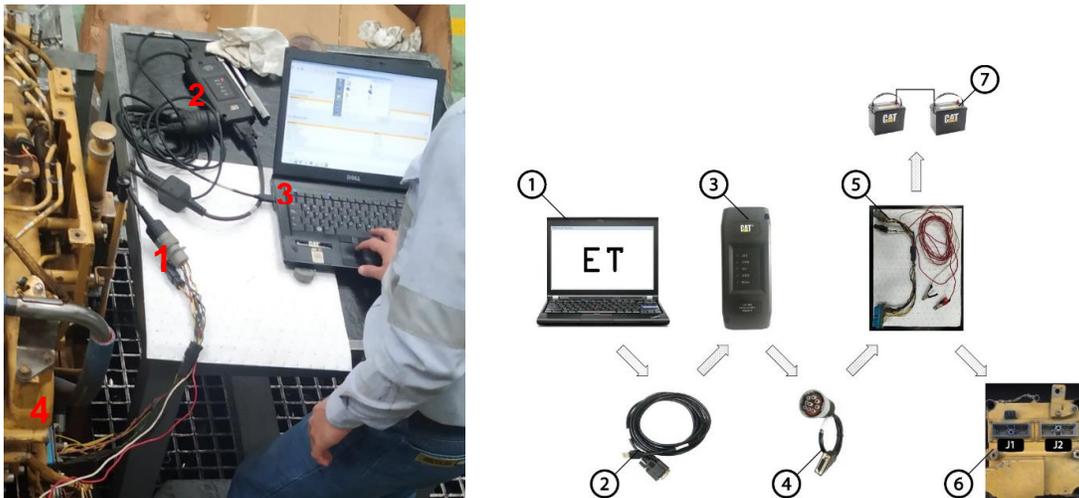
Fuente:Propia.

- Se Realiza proceso de conexión al sistema electrónico por medio de la interconexión desarrollada en este proyecto y así conocer su historial de funcionamiento y disponer del menú del software y diferentes pruebas al sistema. Cada proceso de conexión requiere un orden.

Nota: Para la fuente de alimentación de 24 V se utilizó baterías CAT, pero se puede utilizar un convertor de voltaje de 110 V a 24 V.

Figura 47

Proceso de conexión de la herramienta de diagnostico



Fuente: Propia

Se evidencia la instalación de la interconexión en el motor con sistema CR removido de la maquina; Se logra detallar cada uno de los elementos que intervienen según la figura 47; en la figura 48 en el ítem 1 es observada la interconexión conectada con la herramienta de diagnóstico adaptador de comunicaciones (ítem 2) y con el (ECM) módulo de control electrónico (ítem 4). Para interactuar con este ECM es necesario un computador con

software ET Caterpillar licenciado (ítem 3), el cual es conectado a la herramienta de diagnóstico (2) logrando así verificar estados del motor.

- Se realiza el proceso de conexión del adapter Caterpillar al computador con software et licenciado.
- Se conecta la interconexión implementa entre el adaptador de comunicaciones y el ECM (Modulo de control electrónico del motor).
- Se realiza conexión del cableado de la interconexión a la alimentación de 24 voltios.
- De esta forma ya se logra la interacción con el módulo de control electrónico por medio de todas las funciones que nos brinda el menú del software et Caterpillar.

Se muestra en la figura 49 la imagen del software ET en la cual se muestra que se detectó la ECM y se está generando de manera correcta la comunicación con el adapter y el cumplimiento de los protocolos del sistema

Figura 48

Módulo conexión software Caterpillar.



Fuente: Propia.

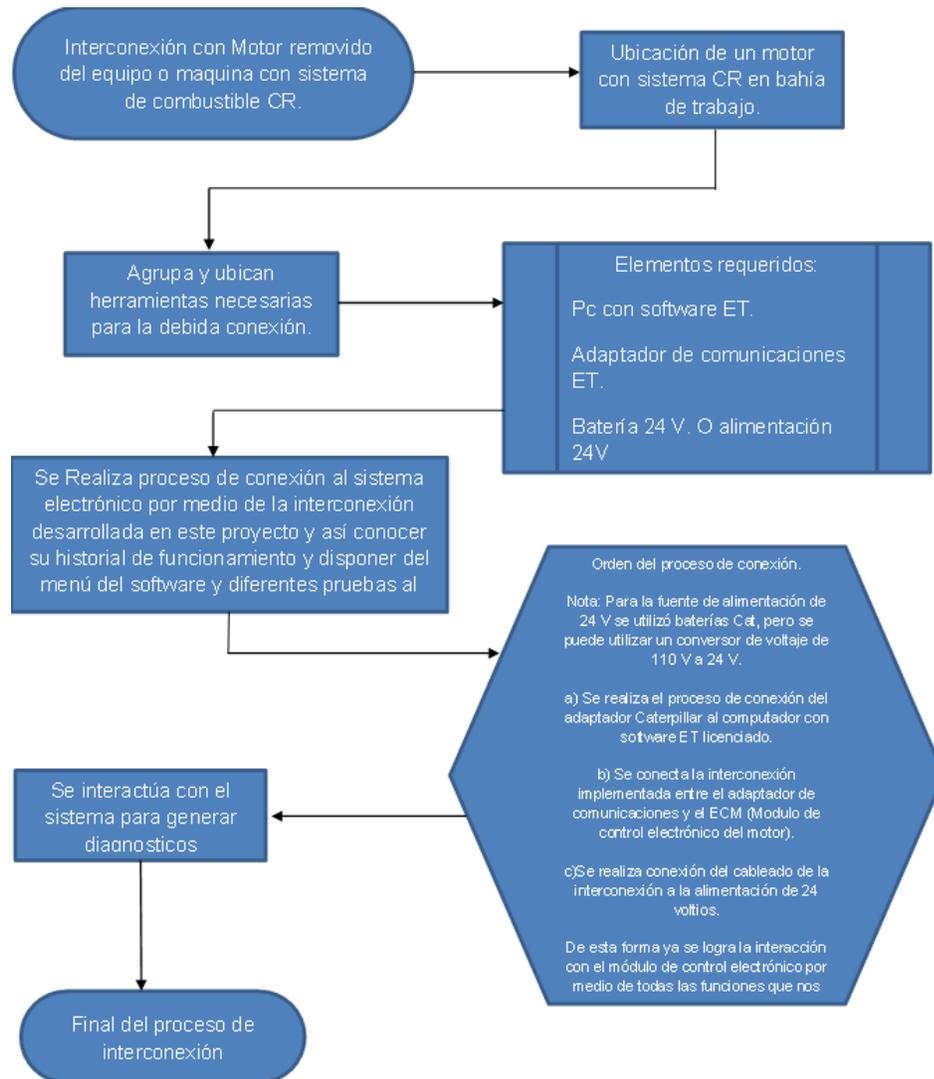
6.7.3 Desempeño obtenido con la interconexión desarrollada en este proyecto; presentación de los 3 casos diferentes de conexión.

La implementación del diseño de la interconexión permitió obtener diferentes resultados, con elementos que interactúan en el sistema CR y las herramientas de diagnóstico mostrando datos por medio del software CAT, permitiendo visualizar estados de diagnóstico con la información arrojada en tiempo real de forma numérica con un código y descriptiva con un enunciado. Por medio de varias conexiones que se pueden realizar en el sistema, se describen los diferentes procesos de conexión.

- **Caso 1**

Figura 49

Interconexión con Motor removido del equipo o máquina con sistema de combustible CR.



Fuente: Propia.

Tabla 15.**Elementos requeridos Interconexión con motor removido.**

Elementos requeridos
Pc con software ET.
Adaptador de comunicaciones ET.
Batería 24 V. O alimentación 24V
Interconexión desarrollada para sistemas CR.

Figura 50

Representación donde intenta detectar comunicación con el ECM.

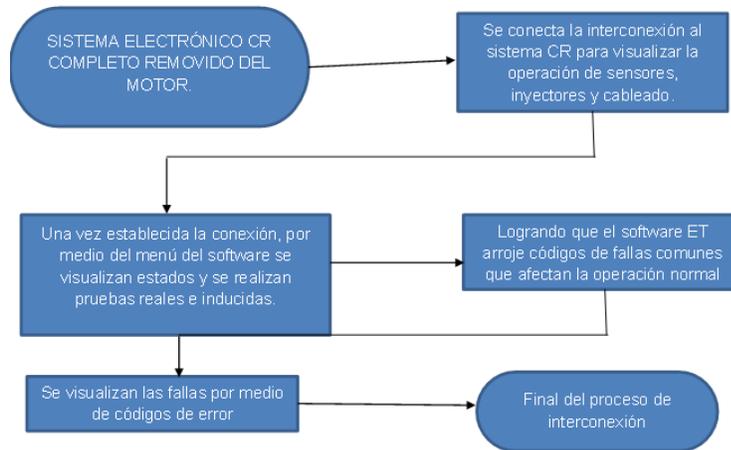


Fuente: Propia.

- **Caso 2.**

Figura 51

Sistema electrónico CR completo removido del motor.



Fuente: Propia.

- **Caso 3:** ECM del motor independiente del sistema electrónico.

Figura 52

Conexión entre ECM y la interconexión



Fuente: Propia.

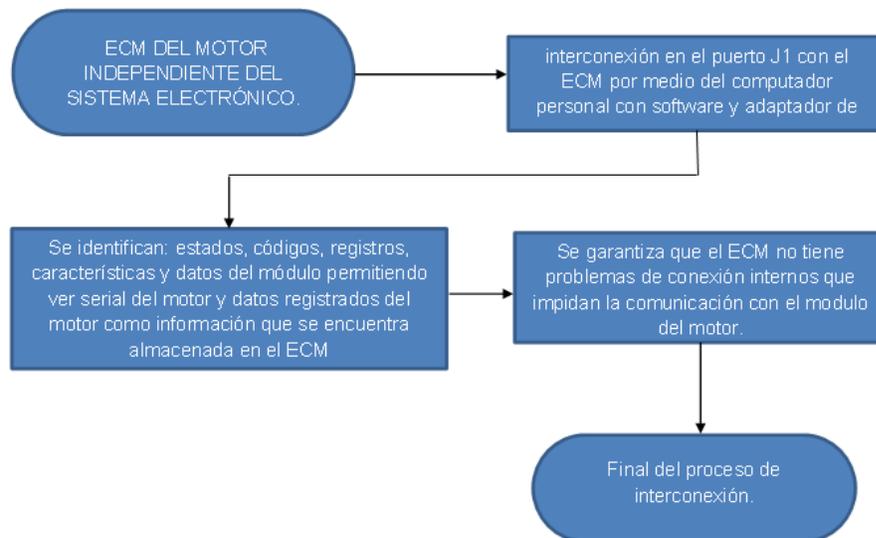
En la figura 53, se tiene una vista de la conexión de la interconexión en el puerto J1 con el ECM y por medio del computador personal con software y adaptador de comunicaciones se logra identificar: estados, códigos, registros, características y datos del módulo permitiendo ver serial del motor y datos registrados del motor como información que se encuentra almacenada en el ECM, además de garantizar que el ECM no tiene problemas de conexión internos que impidan la comunicación con el módulo del motor.

Conexión ECM, interconexión, adaptador de comunicaciones, computador sistema electrónico del motor.

Se conectó la interconexión al sistema CR y se logró visualizar la operación de sensores, inyectores y cableado. La conexión permite por medio del menú del software visualizar estados y realizar pruebas reales e inducidas, logrando que el software ET arroje códigos de fallas comunes que afectan la operación normal y esto se visualiza por medio de códigos.

Figura 53

ECM del motor independiente del sistema electrónico.



Fuente: Propia.

6.8 Inducción de fallas

6.8.1 Alternativas para la inducción de fallas.

Por medio de la inducción de fallas se generan cambios de estado en la operación del sistema, produciendo fallas comunes que afectan la operación normal y permite visualizar códigos por medio de: integración de circuito 555 que ayuda a manipular el funcionamiento de cada uno de los sensores, desconexiones o cortos inducidos por el personal que interactúa en el sistema electrónico.

Figura 54

Proceso de integración con el circuito de la interconexión conectado el circuito integrado 555 para la inducción de fallas.



Fuente: Propia.

El circuito 555 es el dispositivo que ayuda a simular el funcionamiento de cada uno de los sensores que tiene como método de trabajo el pulso de ancho modulado (PWM), el cual es quien controla el ciclo de trabajo en una señal. Este circuito es utilizado para generar retardos como temporizador por medio de resistencias variables manipuladas por el operador, además por sus propiedades que es muy estable al momento de generar oscilaciones precisas.

- **Procesos con la interconexión desarrollada.**

En el proceso de la interconexión se realizan diferentes procedimientos siguiendo un orden lógico, utilizando cada uno de los elementos necesarios para la posible conexión y así poder interactuar con cada uno de estos componentes, culminando de una forma satisfactoria con cada uno de estos procesos llevando la manipulación de una forma segura.

Figura 55

Fallas generadas.

Code	Description
C6.4 320D (GDC73788)	
91-8	Throttle Position Sensor : Abnormal Frequency, Pulse Width, or Period
95-3	Fuel Filter Differential Pressure Sensor : Voltage Above Normal
100-3	Engine Oil Pressure Sensor : Voltage Above Normal
110-3	Engine Coolant Temperature Sensor : Voltage Above Normal
172-3	Intake Manifold Air Temperature Sensor : Voltage Above Normal
174-3	Fuel Temperature Sensor : Voltage Above Normal
460-3	Fuel Pressure Sensor - After Fuel Filter : Voltage Above Normal
1779-5	Fuel Rail #1 Pressure Valve Solenoid : Current Below Normal
1785-3	Intake Manifold Pressure Sensor : Voltage Above Normal
1797-3	Fuel Rail Pressure Sensor : Voltage Above Normal

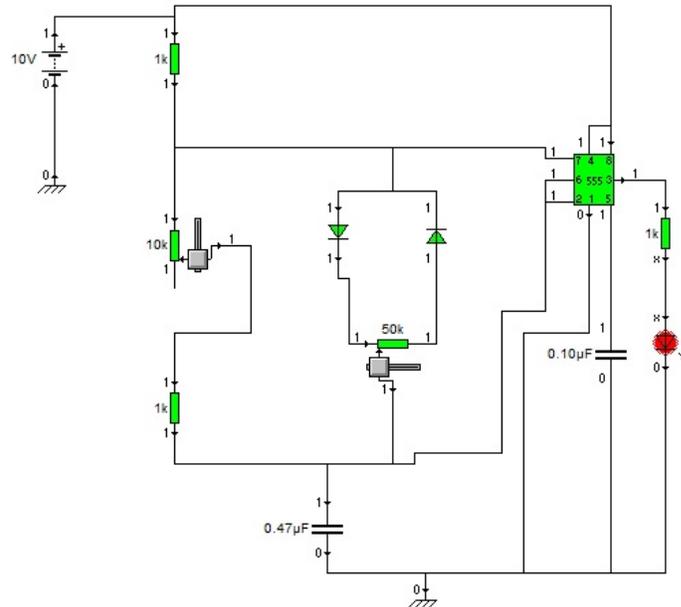
Active Codes [10] Active Events [0] Status Flags [1]

Fuente: Propia

- **Códigos inducidos según manipulación de la interconexión.**

De acuerdo con la información proporcionada por la comunicación entre el adaptador de comunicaciones y la ECM se identifican estados, códigos registrados, características, datos del módulo, además es posible verificar el estado correcto de los sensores, inyectores y cableado.

Al momento de generar fallas por medio del circuito 555 o la herramienta de diagnóstico se puede observar una serie de fallas observadas en la figura 54, estas permiten visualizar códigos de falla (Los códigos tienen un número único) por medio de la herramienta de diagnóstico (interconexión, circuito 555, computador, adaptador ET), para la identificación y solución de problemas que se encuentra proporcionada en la sección de servicio en la página del fabricante. Los códigos indican que se ha producido un problema en el funcionamiento del motor.

Figura 56*Circuito 555*

Fuente: Propia. Desarrollado en el software Cocodrile.

En la siguiente tabla se detallan los elementos del circuito de la figura 55.

Tabla 16.**Elementos Circuito 555.**

ELEMENTOS ELECTRONICOS UTILIZADOS CIRCUITO 555		
CANTIDAD	DESCRIPCION	CAPACIDAD
1	FUENTE DE ALIMENTACION.	12 V.
1	INTEGRADO	555
2	RESISTENCIA	1 KΩ
2	POTENCIOMETRO	50 KΩ
2	DIODOS	
2	CAPACITOR	0.1 Uf
1	DIODO LED	

Fuente: Propia

Con cada uno de estos elementos se puede realizar la configuración de un circuito oscilador de onda cuadrada de frecuencia variable y con modulación de pulso de ancho modulado (PWM) el cual es utilizado para así simular el funcionamiento de solenoides y sensores y generación de fallas controladas con este tipo PWM, en el área automotriz.

Figura 57

Circuito 555 en funcionamiento con la interconexión del sistema CR.



Fuente: Propia.

6.9 Procesos con la interconexión desarrollada.

Tabla 17.

Elementos necesarios para realizar la conexión.

Baterías 24 V
Interconexión
Computador con software
Herramienta diagnostico (ET)
Sensores
Harnnes eléctrico del motor
Circuito 555 generador de señales de pulso
Alimentación circuito 555

Fuente: Propia.

6.9.1 Datos de funcionamiento del motor y pruebas realización de pruebas

Tabla 18.

Características principales del motor C.6.6.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES MOTOR C 6.6	
Nº CILINDROS	6
VALVULAS POR CILINDRO	4
TIPO DE COMBUSTION	INYECCION DIRECTA
CILINDRAJE	6.6 L
SISETEMA DE COMBUSTIBLE	MODULO DE CONTROL ELECTRONICO, BOMBA DE INYECION E INYECTORES
ORDEN DE ENCENDIDO	1-5-3-6-2-4
SENSTIDO DE ROTACION DEL MOTOR	SENTIDO AGUJAS DEL RELOJ
POTENCIA	252 HP / 2200 RPM

Fuente: Propia.

Para la prueba de las señales de los sensores se utilizó, circuito 555 y resistencias variables con el fin de manipular las medidas, verificando los datos que nos proporciona el

software Cat ET por medio de la interconexión desarrollada versus el comportamiento de la resistencia obtenida en los sensores listados en la tabla 19.

Tabla 19. Tipos de sensores.

TIPO DE SENSOR	N° PINES
PRESION DE ACEITE	3
TEMPERATURA DE REFRIGERANTE	2
PRESION DEL RIEL DE COMBUSTIBLE	3
TEMPERATURA DE AIRE DE ADMISION	2
PRESION DE MULTIPLE DE ADMISION	3

Fuente: Propia

Descripción general de las pruebas:

- i. Se identifica el sensor a manipular en el sistema CR.
- ii. Se conecta la interconexión al sistema CR.
- iii. Se instala la herramienta de diagnóstico ET y computador.
- iv. Se induce la temperatura y/o presión física para así garantizar el buen funcionamiento del sensor a evaluar con las medidas que nos arroja la herramienta de diagnóstico.
- v. Se desconecta el sensor del conector.
- vi. Se instala el circuito 555 y resistencia variable.
- vii. Se induce la presión y temperatura por medio de las resistencias variables.
- viii. Con multímetro en la escala de ohm se verifica la resistencia cuando se manipula la medida observada en la herramienta de diagnóstico ET.

A continuación, se observan los resultados obtenidos en el proceso de prueba. Con los parámetros de funcionamiento de sensores de presión y temperatura.

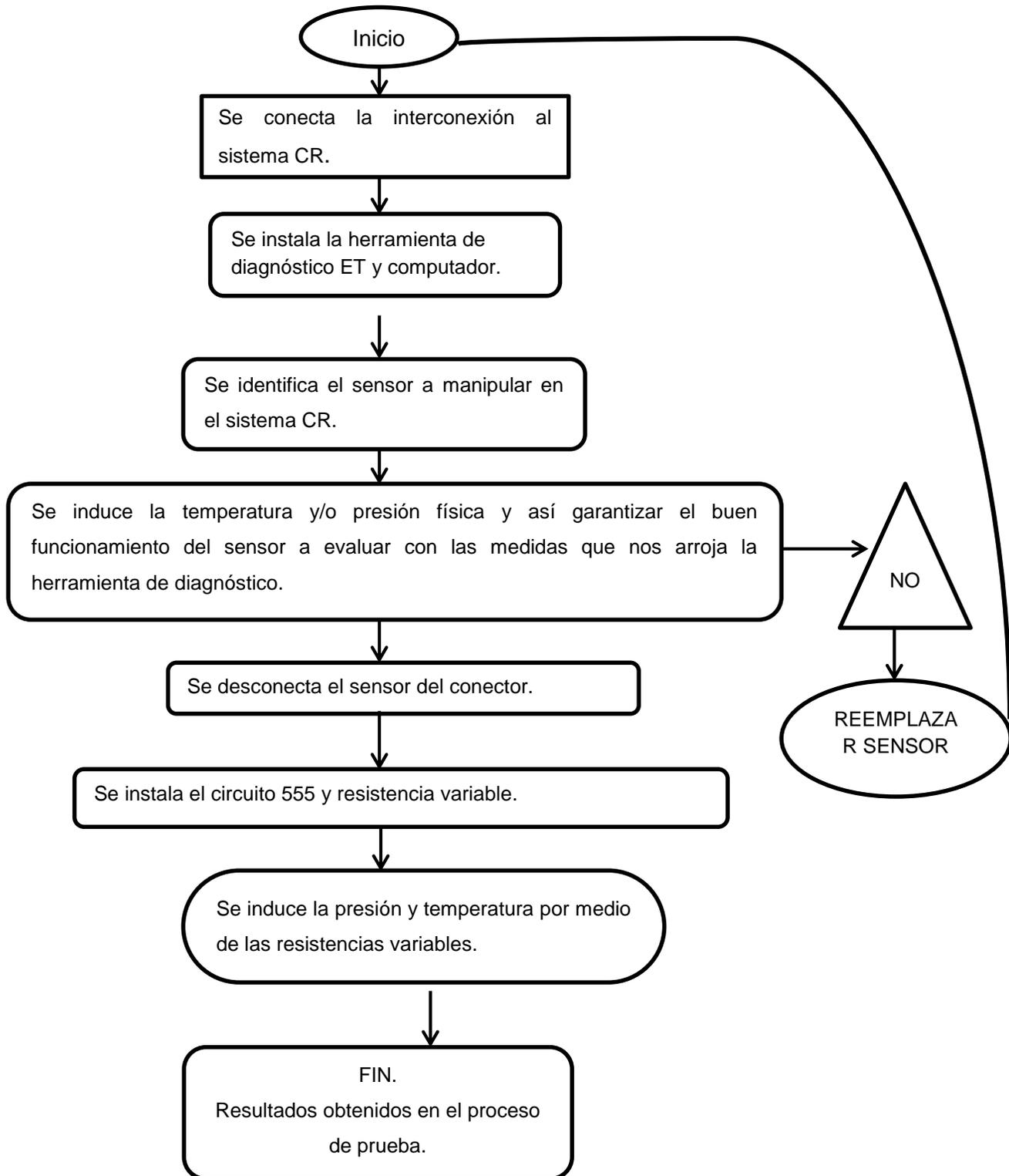
Todos los ECM tienen unos parámetros establecidos; estos definen los rangos altos y bajos para enviar un código de falla visualizado por medio de la herramienta de diagnóstico software ET.

Cuando el ECM detecta que las señales altas de los sensores que está por fuera de la operación normal de trabajo, hará que se active un código; señal por encima de lo normal o señal en corto circuito.

Cuando hay rangos por debajo de los valores mínimos permisibles de trabajo del sensor también se genera un código de falla indicando que el sensor no está trabajando en el rango de operación o la señal está por debajo de la gama normal o el sensor ha fallado.

Cuando se pierde la señal de un sensor, el ECM analiza la información inestable o no válida porque el procesamiento de datos es intermitente en rangos anormales, lo que valida el módulo como un código de fallas.

Ver (Anexo B). Tablas con descripción de códigos de falla del motor.

Figura 58*Resultados proceso de prueba.*

- **Sensor de presión de aceite de motor.**

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento del sensor dependiendo la presión a la que se encuentra el sistema de lubricación del motor.

Tabla 20.

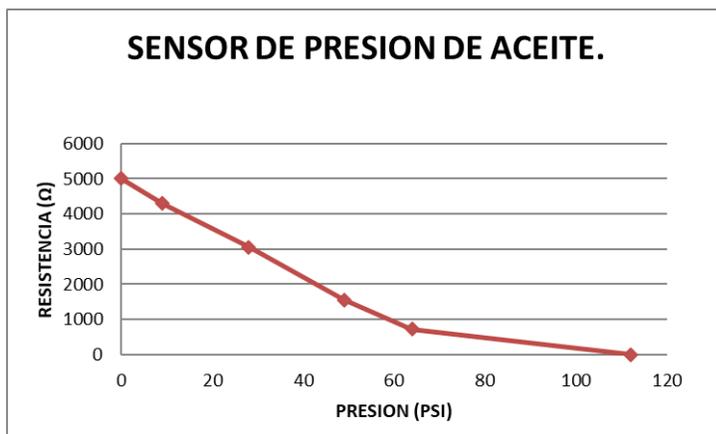
Sensor de presión de aceite.

SENSOR DE PRESION DE ACEITE	
PRESION (PSI)	RESISTENCIA (Ω)
0	5000
9	4300
28	3060
49	1560
64	730
112	1.8

Fuente: Propia.

Figura 59.

Resistencia vs Presión de aceite.



Fuente: Propia.

Según la gráfica se observa que la resistencia cambia de acuerdo con la variación que se provoca manualmente cuando se interviene la presión de aceite de motor.

En el eje “X” se tienen los datos de la presión con separación de 20 PSI en cada resultado obtenido y en el eje “Y” datos de la resistencia con separación de 1000 ohm (Ω), según lo observado en la gráfica tenemos que su comportamiento viene descendentemente, a medida que aumentamos la presión, la resistencia disminuye; por lo que se logra concluir que el comportamiento es inversamente proporcional entre la resistencia y la presión.

Cuando se reduce la presión a menos de 0 PSI o aumentamos a más de 120 PSI inmediatamente nos muestra una falla en la herramienta de diagnóstico ET provocando trabajo anormal del motor.

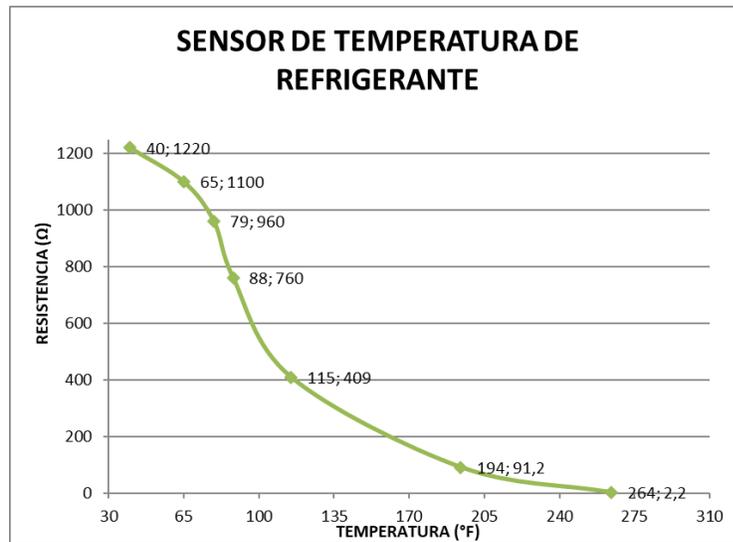
- **Sensor de temperatura de refrigerante del motor.**

Los datos obtenidos entre la temperatura y la resistencia se evidencian en las siguientes tablas, donde evaluamos el comportamiento de la temperatura de líquido refrigerante del motor en medida °F.

Tabla 21.

Sensor de temperatura de refrigerante.

SENSOR DE TEMPERATURA DE REFRIGERANTE	
TEMPERATURA (°F)	RESISTENCIA (Ω)
40	1220
65	1100
79	960
88	760
115	409
194	91.2
264	2.2

Figura 60*Resistencia vs. Temperatura de refrigerante.***Fuente:** Propia.

Formula conversión de grados Fahrenheit (°F) a grados centígrado (°C)

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8}$$

Formula conversión de grados centígrado (°C) a grados kelvin (°K)

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

Cuando se sobre pasa la temperatura ya sea por debajo o por encima del rango de trabajo, la herramienta de diagnóstico se arrojan códigos de falla, provocando un mal funcionamiento en el sistema del motor en general.

La temperatura que proporciona la herramienta de diagnóstico viene dada en grados Fahrenheit, se hacen las debidas conversiones con el fin de evidenciar la temperatura en grados kelvin ya que esta empieza en el cero (0) absoluto.

“Sensor de presión del riel de combustible.

En la tabla encontrada a continuación se toman los datos obtenidos cuando se tiene la interconexión instalada y se alimenta este sensor a 5 Voltios. Este voltaje es proporcionado por el ECM de la máquina.

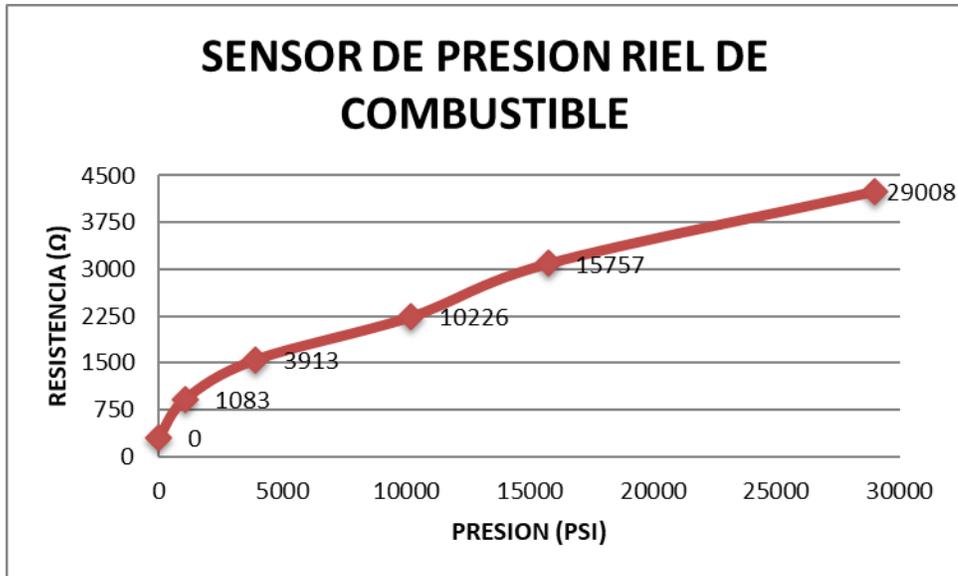
Tabla 22.

Datos sensor de presión riel de combustible.

SENSOR DE PRESION RIEL DE COMBUSTIBLE	
PRESION (PSI)	RESISTENCIA (Ω)
0	300
1083	920
3913	1550
10226	2240
15757	3090
29008	4250

Figura 61

Resistencia vs Presión Riel de Combustible.



Fuente: Propia.

En la gráfica mostrada se concluye que el comportamiento de la resistencia VS la presión es directamente proporcional debido a sus cambios.

Este sensor detecta presiones muy altas el múltiple de presión del riel de combustible y envía estos datos al ECM para compararlos y así realizar el proceso de seguridad en el sistema de inyección, ya sea generando una advertencia, derrateo del motor o en su defecto apagarlo, interviniendo sobre cada uno de los componentes (sensores, solenoides e inyectores).

En esta grafica que va en ascenso se puede concluir que a medida que se aumenta la resistencia, por medio de la interconexión envía los datos al ECM y con la herramienta de diagnóstico evidenciamos que la presión del riel de combustible aumenta como se observa en una curva donde tenemos como eje "X" la presión en PSI con separación de valores de 5000 PSI por los valores tan altos en esta presión.

Y en el eje “Y” la resistencia Ω también con altas separaciones de 250 ohmios. Para así más fácil evidenciar el comportamiento de esta gráfica.

- **Sensor de temperatura de aire de admisión.**

Al igual que en el sensor de temperatura de refrigerante del motor realizamos el mismo proceso para lograr obtener los datos entre la temperatura de aire de admisión que va hacia el ECM y la resistencia que se muestran en las siguientes tablas.

También se evalúan el comportamiento de la temperatura de aire de admisión del motor en 3 diferentes sistemas de medida °F.

Tabla 23.

Datos sensor de temperatura de aire de admisión en grados Fahrenheit.

SENSOR DE TEMPERATURA AIRE DE ADMISION	
TEMPERATURA (°F)	RESISTENCIA (Ω)
25	5200
50	3000
75	1700
120	800
168	143
225	2.1

Fuente: Propia.

Respecto al sistema de temperatura de admisión se manejan valores muy similares al sistema de temperatura de refrigerante del motor, acá se observa que la gráfica va en descenso, lo que se concluye que es inversamente proporcional el comportamiento entre la temperatura en K observada en el eje “X” y la resistencia Ω observada en el eje “Y”.

- **Sensor de presión múltiple de entrada de admisión.**

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento de la curva que nos proporciona el sensor dependiendo la presión del múltiple de entrada de admisión.

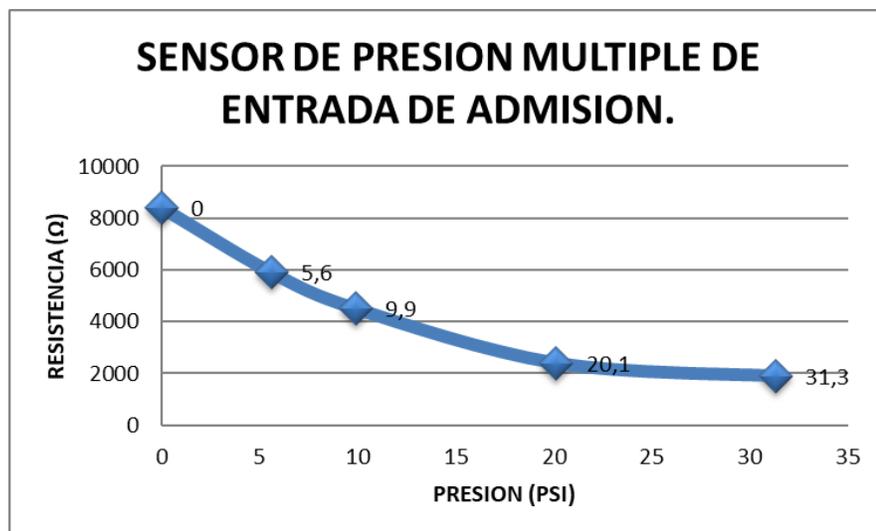
Tabla 24.

Datos sensor de presión múltiple de entrada de admisión.

SENSOR DE PRESION MULTIPLE DE ENTRADA DE ADMISION	
PRESION (PSI)	RESISTENCIA (Ω)
0	8400
5.6	5900
9.9	4500
20.1	2400
31.3	1900

Figura 62

Resistencia vs Presión múltiple de entrada de admisión.



Fuente: Propia.

Las variaciones inducidas por medio de la resistencia variable, lo observado según la gráfica y según los monitoreo por medio de la herramienta de diagnóstico se analizan los comportamientos obtenidos; también se evidencia la curva de la gráfica que es inversamente proporcional la resistencia respecto a la presión.

En la gráfica contamos en el eje “X” la presión dada en PSI y en el eje “Y” la resistencia Ω contando con valores de separación en el eje “X” de 5 PSI y en el eje “Y” DE 2000 Ω (OHM).

Se concluye que cuando se tiene una presión de (20 a 30) PSI aproximadamente, el descenso de la curva pierde fuerza, debido a que está dando por finalizado el rango de trabajo.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se examinaron las características de los módulos didácticos relacionados con los motores Diésel encontrándose que los diferentes proyectos seleccionados presentan características comunes en su funcionamiento del sistema electrónico de combustible ,cada uno de ellos utilizo con diferentes motores comerciales que se encuentran en la industria actualmente tanto vehicular como industrial, además que su finalidad está planteada para el aprendizaje y la capacitación en los diferentes sistemas de la alimentación electrónica de combustible utilizando según el motor y la marca, además cada módulo presenta diferentes softwares de modelación o de visualización de estados de funcionamiento y fallas .todo mostrando de manera didáctica y detallada para la comprensión de los parámetros de funcionamiento y de diagnóstico analizado en cada uno de estos proyectos que permitió concluir que la importancia del desarrollo de estos módulos y el impacto que tiene en los procesos de capacitación y entrenamiento en las diferentes instituciones o empresas en las que fue planteado y desarrollado cada módulo didáctico para generar un impacto positivo de cada una de las necesidades de aprendizaje que se plantearon en estos trabajos.
- Se mostraron los procedimientos de conexión y comunicación para sistemas de riel común en motores Caterpillar identificándolas conexiones que se deben tener en cuenta para lograr una comunicación con el ECM, por medio de esquemas eléctricos que fueron requerimientos de desarrollo para materializar la interconexión, se recolectó información específica del sistema electrónico y de comunicación en un motor con

sistema de inyección CR Caterpillar, con la finalidad de lograr la comunicación por medio de una interconexión entre los diferentes componentes y elementos Principales del sistema de control electrónico. Concluyendo que por medio del desarrollo de la interconexión se realizaron procesos de diagnóstico diferentes a los procesos actuales de la compañía GECOLSA sede sabaneta en los que no fue necesario la maquina o la herramienta de prueba de rendimiento dinamómetro para la interacción con el sistema, siendo de gran aporte para mejorar los procesos de diagnóstico y capacitación.

- Se establecieron las variables de entrada y salida que permiten evaluar el funcionamiento del módulo de control electrónico por medio de la implementación de la interconexión en conjunto con el sistema de inyección CR y software Caterpillar logrando visualizar los aspectos claves que permiten la comunicación con el sistema de control y sus variables. Con la finalidad de la obtención de datos y visualización del funcionamiento básico y la descripción de las conexiones principales, de manera práctica mostrando para qué sirve el sistema de diagnóstico Caterpillar en un sistema de inyección electrónico de tipo CR de manera autónoma, cumpliendo con los protocolos y características propias del sistema.
- Se desarrolló un sistema de interconexión que permite la comunicación entre el módulo de control electrónico del motor y el software de diagnóstico ET Caterpillar identificando el proceso de comunicación en sistemas de inyección electrónica CR concluyendo que intervienen variables electrónicas que se definieron y se deben de tener en cuenta para el desarrollo e implementación de la interconexión para tener una comunicación y detectar de manera exitosa fallas existentes; logrando que su funcionalidad y aplicabilidad en estos motores sea pudiera realizar de manera segura y

eficiente, ya que cumple todas las características de trabajo indicadas por el fabricante para estos sistemas, por lo que fue necesario utilizar partes originales para garantizar la integridad del operador y de los elementos del sistema CR en los procesos de conexión y comunicación.

- Se establecieron los niveles de variación de las señales que permiten identificar fallas en motores diésel Caterpillar permitiendo identificar los parámetros de las variables principales de entrada de los sensores del sistema y las señales de salida para los actuadores, lo que permitió realizar pruebas inducidas con el sistema de control electrónico y la interconexión por medio de procesos de inducción de fallas como la desconexión de los sensores que hacen parte del sistema y generan un código de falla visualizado por medio del software ET en tiempo real, para ello se utilizaron componentes electrónicos como potenciómetros de diferentes capacidades y circuito 555 generador de señales de pulso que lograron generar variaciones en el funcionamiento que se visualizaron con los códigos de falla por medio de las herramientas de diagnóstico propias de la marca CAT (interconexión, SOFTWARE ET en un computador y adaptador de comunicaciones), concluyendo que la interconexión presenta un gran potencial de aprendizaje didáctico y de diagnóstico de manera tangible para capacitación o entrenamiento del personal en este tipo de sistemas.
- Finalmente, se implementó una interconexión para motores Caterpillar con sistema de inyección de riel común que permite a técnicos, practicantes y personal que tenga interés en el aprendizaje y funcionalidad por medio de las diferentes conexiones realizadas a los elementos del sistema de control electrónico mostradas en los resultados, concluyendo que la interconexión es una herramienta para interactuar con

el sistema CR cuando el motor se encuentra removido de la máquina, o si se quiere evaluar un elemento específico del sistema como la ECM, facilitando la adquisición de conocimientos prácticos de las conexiones necesarias para su funcionamiento y diagnóstico permitiendo analizar y comprender de manera práctica cómo se relaciona entre sí, logrando la comunicación con el sistema y convirtiéndose en un recurso importante de capacitación, herramienta técnica y estudio.

7.2 Recomendaciones

Es importante seguir promoviendo la investigación de los diferentes trabajos de grados que ya fueron diseñados o implementados basados y dirigidos a sistemas actuales de inyección electrónica como es el sistema CR, que se encuentran actualmente con gran presencia en el mercado vehicular e industrial, ya que al seguir fomentando este tipo de investigaciones se facilita el acceso a conocimientos prácticos de desarrollos pedagógicos para este tipo de sistemas de combustible que cada vez son más electrónicos con la finalidad de mejorar la eficiencia, rendimiento y reducir la emisión de gases contaminantes por medio del control electrónico.

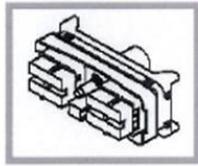
Se invita y recomienda a los investigadores, aprendices, técnicos e interesados de carreras afines analizar los aportes de esta interconexión para profundizar en temas de aplicación, mejoras y de implementación en otros tipos de sistemas que tienen otras características de funcionamiento o de conexión, pero que con este mismo principio o modelo de conexión y con información clara de los manuales de servicio y parámetros de funcionamiento se agrupe la documentación adecuada del tipo de sistema a trabajar que permita generar diferentes interconexiones o procesos de conexión para sistemas

electrónicos de control ,con el fin de que los estudios académicos se dirijan a mejorar los procesos sea de diagnóstico o capacitación en nuestra industria o universidades.

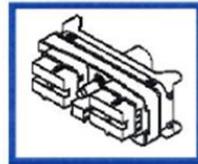
8. Anexos.

A. Conector de Servicio CR

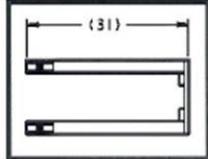
Harness End Connector (Gray, OEM side)
245-1042 (28170033)



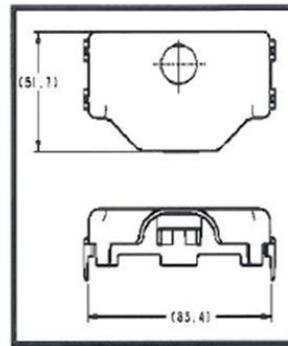
Harness End Connector (Blue, Engine side)
245-1043 (28170048)



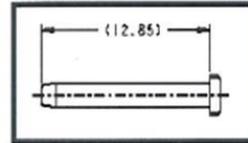
Connector Lock (2 Required)
245-1044 (28170034)



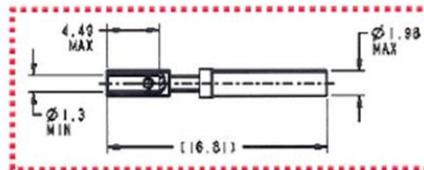
Connector Cover 245-1045 (28170035)



Blanking Plug
245-1048 (28170036)



Socket 267-9572 (28170085)



Note: This socket allows the use of the Deutsch crimping tool

A. Diagrama de ECM.

	- BATTERY	1		CRANK/CAM SPEED 5V 100mA SNDR SUPPLY	10
	- BATTERY	2		CRANK SPEED SENSOR SIGNAL	52
	- BATTERY	3		CAM SPEED SENSOR SIGNAL	53
		4		FUEL RAIL PRESS 5V 200mA SNDR SUPPLY	48
		5		FUEL RAIL PRESSURE SENSOR SIGNAL	51
		6		FUEL RAIL PRESSURE SENSOR GROUND	40
	+ BATTERY	7		OIL/DIFFER PRESS 5V 200mA SNDR SUPPLY	47
	+ BATTERY	8		OIL PRESS DIFFERENTIAL PRESS SNDR GND	39
	- BATTERY	9		OIL PRESSURE SENSOR SIGNAL	56
	- BATTERY	10		DIFFERENTIAL PRESSURE SENSOR SIGNAL	54
	DF PWM 2 SHIELD	11		PRESSURE SENSOR 5V 200mA SUPPLY	46
	DF PWM 2 -	12		INTAKE MANIFOLD/FUEL PRESS SNDR GND	38
	DF PWM 2 +	13		INTAKE MANIFOLD PRESSURE SNDR SIGNAL	55
		14		LOW FUEL PRESSURE SENSOR SIGNAL	50
	+ BATTERY	15		COOLANT TEMPERATURE SENSOR SIGNAL	43
	+ BATTERY	16		COOLANT TEMPERATURE SENSOR GROUND	37
	DOUT 0.3A 5	17		INTAKE AIR TEMPERATURE SNDR SIGNAL	42
	DOUT 0.3A 6	18		FUEL TEMPERATURE SENSOR SIGNAL	41
	DOUT 0.3A 7	19		FUEL PUMP SOLENOID SIGNAL	25
	CAN A HIGH	20		FUEL PUMP SOLENOID RETURN	26
	CAN A LOW	21		INJECTOR (1) POWER SUPPLY	57
	CAN A SHIELD	22		INJECTOR (1) RETURN	35
	ATA/CDL HIGH	23		INJECTOR (2) POWER SUPPLY	58
	ATA/CDL LOW	24		INJECTOR (2) RETURN	34
		25		INJECTOR (3) POWER SUPPLY	59
	1 PWM 2A 3	26		INJECTOR (3) RETURN	33
		27		INJECTOR (4) POWER SUPPLY	64
		28		INJECTOR (4) RETURN	8
	1 PWM 2A 2	29		INJECTOR (5) POWER SUPPLY	63
	CAN B SHIELD	30		INJECTOR (5) RETURN	7
	AIN ACT 8	31		INJECTOR (6) POWER SUPPLY	62
	1 PWM 2A 1	32		INJECTOR (6) RETURN	6
	VS RETURN 1	33		VS 13V	18
J1	VS RETURN 1	34	J2	VS RETURN 2	45
	SWG RETURN	35		ATA/CDL HIGH	21
	SWB 2	36		ATA/CDL LOW	20
	SWB 1	37		CAN A HIGH	24
	SWG 11	38		CAN A LOW	23
	SWG 10	39		CAN A SHIELD	22
	SWK 0	40			32
	VS 5 200mA	41		AIN PAS 1	36
	VS 5 200mA	42		1 PWM 2A 3	17
	VS 8 100mA	43			15
	SWG 9	44		VS RETURN 2	44
	SWG 8	45			16
	SWG 7	46		DOUT 0.3A 5	11
	SWG 6	47		DF PWM 1 SHIELD	30
	SWG 5	48		ACCEL RETURN 2	4
	SWG 4	49		AIN PAS 5	49
	SWG 3	50			14
	SWG 2	51			5
	SWG 1	52		ACCEL RETURN 1	2
	AIN ACT/ 1 1	53		ACCEL 2	3
	AIN ACT 7	54		ACCEL 1	1
	AIN ACT 5	55		DOUT 0.3A 7	13
	AIN ACT 4	56		1 PWM 2A 2	9
	DOUT 1A 1	57		DF PWM 1 +	28
	DOUT 0.3A 10	58		DOUT 0.3A 6	12
	DOUT 0.3A 9	59			19
	DOUT 0.3A 8	60			80
	DOUT 0.3A 4	61			61
	DOUT 0.3A 3	62			31
	DOUT 0.3A 2	63		DF PWM 1 -	29
	DOUT 0.3A 1	64	GROUND		27

B. Tabla de códigos activos.

Códigos de diagnóstico

Los códigos de diagnóstico advierten al operador que se ha detectado un problema en el sistema electrónico. Los códigos de diagnóstico también indican la naturaleza del problema. El Técnico Electrónico (ET) de Caterpillar es un programa de software diseñado para ejecutarse en una computadora personal. Los códigos de diagnóstico se pueden observar en una computadora personal que tenga el software Cat ET. Los códigos de diagnóstico constan del Identificador de módulo (MID), el Identificador de componente (CID) y el Identificador de la modalidad de falla (FMI).

La tabla 1 es una lista de los códigos de diagnóstico para el motor. Los códigos de diagnóstico tienen referencias cruzadas con la prueba de funcionamiento o el procedimiento apropiados que pueden utilizarse para localizar y solucionar el código.

Se describen más explicaciones sobre los códigos de diagnóstico después de la tabla 1.

Referencia cruzada entre el código CID-FMI, el código de destellos, el código SPN-FMI y la prueba o el procedimiento de funcionamiento			
"Código CID-FMI"	Código de destellos	Código SPN-FMI	Prueba de funcionamiento o procedimiento
1-2 Inyector del cilindro No. 1 : irregular, intermitente o incorrecto	111	651-02	"Respuesta del inyector - Probar"
1-5 Inyector del cilindro No. 1 : corriente por debajo de lo normal	111	651-05	"Solenoides del inyector - Probar"
1-6 Inyector del cilindro No. 1 : corriente por encima de lo normal	111	651-06	"Solenoides del inyector - Probar"
1-7 Inyector del cilindro No. 1 : no responde debidamente	111	651-07	"Respuesta del inyector - Probar"
2-2 Inyector del cilindro No. 2 : irregular, intermitente o incorrecto	112	652-02	"Respuesta del inyector - Probar"
2-5 Inyector del cilindro No. 2 : corriente por debajo de lo normal	112	652-05	"Solenoides del inyector - Probar"
2-6 Inyector del cilindro No. 2 : corriente por encima de lo normal	112	652-06	"Solenoides del inyector - Probar"
2-7 Inyector del cilindro No. 2 : no responde debidamente	112	652-07	"Respuesta del inyector - Probar"

0100-03	Engine Oil Pressure Sensor voltage above normal	J100-03	100-03
0100-04	Engine Oil Pressure Sensor voltage below normal	J100-04	100-04
0100-10	Engine Oil Pressure Sensor abnormal rate of change	J100-10	100-10
0110-03	Engine Coolant Temperature Sensor voltage above normal	J110-03	110-03
0110-04	Engine Coolant Temperature Sensor voltage below normal	J110-04	110-04

Puede ser que algunos síntomas del motor no estén relacionados con el sistema de control electrónico. Reúna la información sobre la queja en que se describen los síntomas. Verifique que la queja no se deba a la operación normal del motor.

Efectúe los siguientes pasos para determinar el problema.

1. Repare primero todos los códigos de diagnóstico activos.
2. Recoja información del operador.
3. Verifique que la queja no se deba a la operación normal del motor.
4. Realice una inspección visual del motor. Inspeccione los siguientes elementos:

- Cableado
- Conectores
- Nivel de combustible
- Suministro de combustible
- Nivel de aceite del motor
- Suministro de aceite del motor
- Nivel de refrigerante

5. Vea si hay los siguientes problemas en el cableado y los conectores:

- Daños
- Abrasión
- Corrosión
- Accesorio incorrecto

6. Vea si hay códigos de diagnóstico registrados.

- Determine si los códigos de diagnóstico registrados guardan relación con las causas probables.
- Determine si los códigos de diagnóstico registrados ocurren al mismo tiempo que los síntomas.
- Determine si los códigos de diagnóstico registrados se registran repetidamente.

Si estas inspecciones no revelan ningún problema, utilice el procedimiento que mejor describa los síntomas.

C. ET.



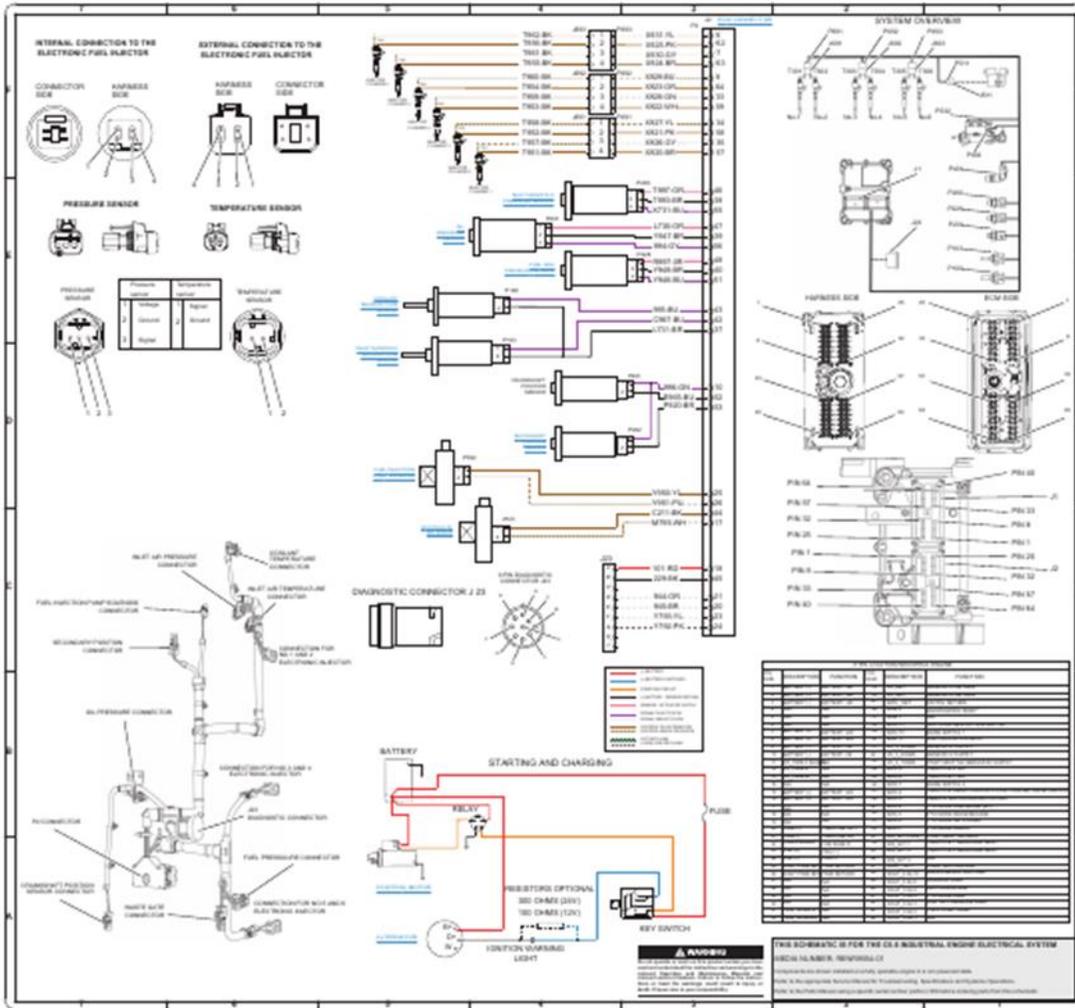
- What is Cat ET
- PC Requirements
- Demo



ECM Summary

- The ECM Summary screen allows user to view all of the useful ECM information
- All available ECMs are retrieved and their information displayed on the screen
- When reporting problems or are requesting help for the service tool, you need to give the information that is displayed on the ECM Summary screen

Available ECM(s)	Description	Value
3406E Truck (8N2784387)	3406E Truck (8N2784387)	
	Vehicle ID	CAT Truck #8
	Engine Serial Number	8N2784387
	ECM Serial Number	10450006A
	Personality Module Part Number	11433271-01
	Personality Module Firmware Date	JUN05
	Personality Module Code	1
	ECM Description	8N2784387 10:55:29 AM



E. Autorización

AUTORIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO.

Los autores Juan Diego Amado Salazar y Alejandro Trujillo Castro del presente proyecto solicitaron la autorización al distribuidor Gecolsa, para exponer información de procesos técnicos de la compañía e información del sistema de inyección electrónica de riel común de combustible consignada en los manuales de servicio del fabricante Caterpillar incluida en el proyecto de grado.

"Implementación de una Interconexión para Motores Caterpillar con Sistema de Inyección de Riel Común" que ha sido desarrollado para obtener el título de: Ingeniería electromecánica, en la universidad Antonio Nariño.

En la condición de autores y en concordancia con la aprobación de la solicitud.

La firma del ingeniero de servicio de la compañía como aprobación de lo anteriormente mencionado, y entregar una copia en formato digital a la universidad Antonio Nariño sede Medellín.



Juan Guillermo Pulgarin Vergara

Ingeniero de servicio empresa GECOLSA CAT.

9. Bibliografía

- A. Castillejo Calle, "Sistemas de Inyección en Motores Diesel", trabajo de fin de grado, Univ. Sevilla, 2014 [En línea]. Disponible en: [https://www2.unavarra.es/gesadj/servicioBiblioteca/tutoriales/Citar_referenciar_\(IEE E\).pdf](https://www2.unavarra.es/gesadj/servicioBiblioteca/tutoriales/Citar_referenciar_(IEE E).pdf) [Accedido: marzo 2021]
- V. Blasco, "Breve Historia del Nacimiento del Motor Diésel", pp. 1-3 [En línea]. Disponible en: http://www.geocities.ws/tecnilibros/articulos/Biografia_Diesel.pdf [Accedido: marzo 2021]
- C. Flórez Zulategui, "Estudio evolutivo, análisis de la repercusión y perspectiva de futuro del motor diésel", trabajo de fin de grado, Univ. Sevilla, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11441/100564> [Accedido: junio 2021]
- S. Consuegra Pacheco, "Módulo Motores Diésel", Ins. Tec. Soledad Atlántico, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://itsa.edu.co/docs/17-S-Consuegra-Modulo-Motores-Diesel.pdf> [Accedido: marzo 2021]
- M. A. Islas, " Introducción a los motores Caterpillar", FERREYROS S.A.A., 2006 [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/30567361/INTRODUCCI%C3%93N_A_LOS_MOTORES_CATERPILLAR [Accedido: marzo 2021]
- R. A. Fernández, " Sistema de Combustible Common Rail en Motores Diésel Caterpillar", trabajo de fin de grado, Univ. May. San Andrés, Bolivia, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11515/P-1583-Fernandez%20Villarroel%2C%20Ricardo%20Andres.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accedido: marzo 2021]
- Caterpillar Inc, "Fuel injection system", 2007.
- R. P Araújo y S. D. Cárdenas, " Diseño e implementación de un tablero didáctico para simulación de un sistema de inyección electrónica a gasolina M.P.F.I.", trabajo de fin de

- grado, Univ. Intl. Ecuador, 2010 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/183/4/T-UIDE-0813.pdf> [Accedido: marzo 2021]
- W. A. Cruz, "Diseño, construcción e implementación de un sistema Simulador de funcionamiento y fallas didáctico de motor Electrónico Caterpillar c15, para el Centro de Desarrollo Técnico de la empresa ILASA", trabajo de fin de grado, Univ. Intl. Ecuador, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1850> [Accedido: marzo 2021]
- E. R. Chamorro y O. S. Lara, " Modelación y simulación de los inyectores HEUI de un motor CAT C7", trabajo de fin de grado, Univ. Téc. N. Ibarra, Ecuador, 2000 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7984/2/ARTÍCULO.pdf> [Accedido: marzo 2021]
- D. E. Troya y F. X. Vásquez, " Construcción de Simuladores de Inyección Diésel con Bomba Lineal y Sistema Bomba Inyector", trabajo de fin de grado, Univ. S. Fco. Quito, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4690/1/112550.pdf> [Accedido: marzo 2021]
- F. M. Alulema, L. Mena y M. Cruz, " Diseño y construcción de un banco de pruebas de la bomba de inyección rotativa con mandos electrónicos en motores diésel (Chevrolet D-Max 3.0)", Univ. Fuerzas Armadas ESPE, Extensión Latacunga, 2013 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7228> [Accedido: marzo 2021]
- Caterpillar Inc, " High pressure fuel lines", 2007.
- P. Cazau, "Investigación en Ciencias Sociales", Rev. de Occidente, vol. 451, pp. 121–123, 2018
- J. J. Orejuela, "Investigar sin angustia, claves estratégicas para desarrollar/orientar proyectos de investigación", Univ. EAFIT, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://www.eafit.edu.co/investigacion/noticias/PublishingImages/Paginas/en-la-u-se-estudia-la-ciencia-de-investigar/investigar-sin-angustia-la-ciencia-de-investigar.pdf>

- [Accedido: marzo 2021]
- N. S. Romero, "Diseño e implementación de un simulador de sensores para fines de entrenamiento de personal técnico mecánico en maquinaria Caterpillar", trabajo de fin de grado, Pontificia Univ. Católica del Perú, 2015 [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6090> [Accedido: marzo 2021]
- W. Penzo, "Diseño y elaboración de actividades de aprendizaje", Dep. Psiquiatría y Psicología Clínica, Univ. de Barcelona [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/16200477.pdf> [Accedido: marzo 2021]
- Caterpillar Inc, "Fuel Pressure Sensor", 2015.
- Caterpillar Inc, "Intake Manifold Pressure Sensor", 2015.
- Caterpillar Inc, "Coolant Temperature Sensor", 2015.
- Caterpillar Inc, "Engine Oil Pressure Sensor", 2015.
- Caterpillar Inc, "Fuel Pressure Sensor", 2015.
- Caterpillar Inc, "Injector", 2015.
- Caterpillar Inc, "Pressure Sensor", 2015.
- Caterpillar Inc, "Temperature Sensor", 2015.
- Caterpillar Inc, "Speed/Time Sensor", 2015.
- Caterpillar Inc, "174-3016: Conjunto de enchufe" [En línea]. Disponible en: <https://parts.cat.com/es/catcorp/electronics/connectors-and-terminals/174-3016>
- Araujo, R., & Cardenas., S. (2010). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA A GASOLINA M.P.F.I.* [UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/183/4/T-UIDE-0813.pdf>
- Cayetano, J. (2014). Universidad Nacional Del Centro Del Peru. *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*, 10–11. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Cazau, P., La, I. A., En, I., Investigación, C., & Científica, E. I. (2018). Investigación en Ciencias Sociales. *Revista de Occidente*, 2018-Dicem(451), 121–123.

